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

66

HELSINKI 1969

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

66

HELSINKI 1969

COMMUNICATIONES

INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

66

66.1 Paavilainen, Eero. 1968. Juuristotutkimuksia Kivisuon metsänlannoituskoekentällä. *Summary:* Root studies at the Kivisuo forest fertilization area ..... 1—31

66.2 Kuusela, Kullervo. 1968. Growing stock management in central European and British forestry. *Seloste:* Puuston järjestely Keski-Euroopan ja Britannian metsätaloudessa ..... 1—33

66.3 Tiihonen, Paavo. 1968. IV valtakunnan metsien inventointi. 4l. Suomen metsävarat vuosina 1960—63. *Summary:* Fourth national forest inventory in Finland. 4. Forest resources in Finland in 1960—63 ..... 1—30

66.4 Juutinen, Paavo. 1968. Mäntymittarin *(Bupalus piniarius* L.) esiintymisestä Kaakkois-Suomessa vuosina 1957—59. *Referat:* Zum Vorkommen des Kiefernspanners *(Bupalus piniarius* L.) in Südost-Finnland in den Jahren 1957—59. ..... 1—26

66.5 Vuokila, Yrjö. 1968. Karsiminen ja kasvu. *Summary:* Pruning and increment ..... 1—61

66.6 Hakkila, Pentti & Uusvaara, Olli. 1968. On the basic density of plantation-grown Norway spruce. *Seloste:* Viljelykuusikoitten puuaineen tiheydestä ..... 1—23

66.7 Hari, Pertti. 1968. A growth model for a biological population, applied to a stand of pine ..... 1—16

66.8 Hakkila, Pentti. 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. *Seloste:* Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa ..... 1—60

JUURISTOTUTKIMUKSIA KIVISUON METSÄNLANNOITUSKOEKENTÄLLÄ

EERO PAAVILAINEN

ROOT STUDIES AT THE KIVISUO FOREST FERTILIZATION AREA

SUMMARY

HELSINKI 1968

Helsinki 1968. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitoksen Pohjois-Satakunnan tutkimusaseman työohjelmaan on kuulunut usean vuoden ajan soilla kasvavien puiden juurisuhteiden selvittely. Eräitä tutkimusten tuloksia on saatettu julkisuuteen (MTJ 61.1, 61.6, 62.1, 63.6, Fol. For. 31), ja myös esillä oleva tutkimus kuuluu osana tähän juuristotutkimusten sarjaan.

Esitän parhaat kiitokset tunnollisesta työstä niille kymmenille apulaisilleni, jotka ovat osallistuneet juuristotutkimuksiin kuluneiden vuosien aikana. Kauimmin ovat tässä työssä olleet mukana metsäteknikko Matti Mäkitalo, kenttämestari Esko Mansikkaviita, silloiset metsäharjoittelijat Seppo Alakoski, Sulo Lehtinen ja Kalle Nevanranta sekä rouvat Helinä Nevanranta ja Maija-Liisa Viiri. Julkaisujen kokoonpanossa ja viimeistelyssä on apunani ollut rouva Eila Mello.

Tutkimuksen käsikirjoituksen ovat tarkastaneet professorit Olavi Huikari ja Sakari Saarnijoki. Kiitän heitä saamistani neuvoista. Muun muassa tämän tutkimuksen suorittamista varten olen saanut nuorten tieteenharjoittajien apurahan, josta myös olen kiitollinen.

Parkanossa, lokakuun 15 päivänä 1967.

Eero Paavilainen

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1. Johdanto 5
2. Aineisto ja menetelmät 6
3. Tulokset 10
   31. Kokonaisjuurimäärä 10
   32. Juuriston syvyysjakautuminen 12
   33. Männyn lyhytjuuret 17
   34. Juuriston sisältämät ravinteet 18
   35. Juuriston ja verson välinen suhde 24
4. Yhdistelmä 27

Kirjallisuutta 28

Summary 30

1. JOHDANTO

Puiden juuristojen rakenteen ja ekologian tunteminen on eräs soiden metsätaloudellisen hyväksikäytön tärkeä perusta. Erityisesti tarvitaan tietoja juuristojen suhtautumisesta maan vesi- ja ravinnetalouden järjestelyyn erilaisissa turvemailla vallitsevissa olosuhteissa.

Soilla kasvavien puiden juuriston ja maan vesitalouden välistä vuorosuhdetta koskevia tutkimuksia on tehty maassamme jo useita. Kysymystä on aluksi selvitetty tutkimalla yksittäisten puiden esiin kaivettuja juuristoja (Kokkonen 1923, Multamäki 1923, Laitakari 1927, 1934), mutta myöhemmin on siirrytty tutkimaan kokonaisten metsiköiden juuristosuhteita (Kalela 1946, Heikurainen 1955 a, 1955 b, 1958, Paavilainen 1966 a, 1966 c, 1967 b). On suoritettu myös asiaa valaisevia laboratoriokokeita puuntaimilla (Huikari 1954, 1959).

Turvemaiden ravinnetalouden järjestelyn — lannoituksen — vaikutusta puiden juuristosuhteisiin on tutkittu vielä vähän. Käytettävissä on kyllä Ruotsissa tehtyjen tutkimusten tuloksia, mutta ne ovat koskeneet lähinnä juuristojen mykoritsasuhteita, juurten määrän ja syvyysjakautumisen selvittelyn jäädessä vähäiseksi (Malmström 1935, 1952, Björkman 1941). Suomessa on tekijä esittänyt kvantitatiivisia tutkimustuloksia lannoituksen vaikutuksesta soilla kasvavien mäntyjen juuristoon (Paavilainen 1966 b, 1967 a). Näissä alustavissa tutkimuksissa on mm. selvinnyt (Paavilainen 1967 a), että NPK-lannoitus (100 kg/ha N, 150 kg/ha P_2O_5, 100 kg/ha K_2O) lisäsi rämemännikön juurten määrää viiden vuoden kuluessa. Tämä juurimäärän kasvu havaittiin aivan turpeen pintakerroksessa, enintään 10 cm:n syvyydessä. Lannoitus lisäsi enemmän männyn kuin pintakasvillisuuden juuriston pituutta, mutta juuriston painon lisäyksessä ei ollut vastaavaa eroa. Lannoituksesta johtuvaksi ohuiden juurten kuivapainon kasvuksi saatiin viiden vuoden aikana 800 kg/ha. Männyn lyhytjuurten määrä pitkäjuurten pituusyksikköä kohden lisääntyi todennäköisesti vain 0—3 cm:n syvyydessä.

Käsillä oleva tutkimus on jatkoa tekijän edellä mainittuihin lannoituksen vaikutusta rämemännikön juuristoon koskeviin tutkimuksiin. Tutkimusalueeksi valittiin tällä kerralla Leivonmäen Kivisuolla sijaitseva metsänlannoituskoekenttä, joka tarjosi eräissä suhteissa poikkeuksellisen hyvät edelly-

tykset juurten tutkimiselle. Sanottu koekenttä perustettiin v. 1945 hydroturpeen nostoa varten, minkä johdosta alue avo-ojitettiin käyttämällä 22 m:n levyisiä sarkoja ja jokaisen saran keskelle tehtiin tämän lisäksi vielä salaoja. Suon pinta tasoitettiin ja koko alueelle levitettiin useita kertoja n. 30 cm:n paksuinen hydroturvekerros turpeen kuivattamista ja paloittelua varten. Suon pinnalle levitetyssä turpeessa ollut vesi haihtui suurimmaksi osaksi, mutta myös valui alla olevaan turpeeseen tasoittaen täten kasvualustan ravinteisuuseroja. Lopetettaessa turpeen nosto v. 1953 jäi näin jäljelle tehokkaasti ojitettu ja kasvualustan puolesta erittäin tasalaatuinen, miltei täysin kasvipeitettä vailla oleva koekenttä. Kun kaikille tässä tutkimuksessa käytetyille koealoille istutettiin samanikäisiä (2/0) männyn taimia touko—kesäkuussa 1959, oli lähtökohta juuristojen kehitykselle paitsi kasvualustan myös puuston puolesta mahdollisimman samanlainen. Koealojen juurisuhteissa myöhemmin havaittavat erot johtuvat tämän takia ratkaisevasti taimille istutuksen yhteydessä annetun lannoituksen laadusta.

Kivisuolle on lannoituksen jälkeen tullut joukko kasvilajeja, joiden runsaus korreloi positiivisesti NPK-tekijöihin ja kasvillisuuden ravinteisuussarjaan (vrt. Reinikainen 1964, 1965). Tähän ryhmään kuuluvia lajeja ovat *Chamaenerium angustifolium*, *Eriophorum angustifolium*, *Dryopteris spinulosa*, *Betula verrucosa*, *Betula pubescens*, *Pohlia nutans* ja *Polytrichum commune*. Alueen pintakasvillisuuteen kuuluu myös vaatimattomampia lajeja, kuten mm. *Empetrum nigrum*, *Eriophorum vaginatum*, *Polytrichum strictum* ja *Rubus chamaemorus*.

Tässä tutkimuksessa on siis pyritty selvittämään lannoituksen vaikutusta männyn ja edellä kuvatun pintakasvillisuuden juuriston ensi kehitykseen. Tutkimus on suoritettu kahdeksan vuotta männyn istutuksen ja lannoituksen jälkeen.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Kivisuon metsänlannoituskoekenttä sijaitsee Leivonmäen kunnassa. Koekenttä on 150 m merenpinnan yläpuolella. Vuoden keskilämpötila on alueella + 3°C, vuoden kuumimman ja kylmimmän kuukauden keskilämpötilojen ero 27°C, termisen kasvukauden ($\geqq$ 5°C) pituus 160 vrk ja vuotuinen sademäärä 550 mm (Huikari ja Paarlahti 1966).

Tutkimus suoritettiin Kivisuon kokeella n:o I (ks. Huikari ja Paarlahti m.t.). Tämä koe on perustettu touko—kesäkuussa vuonna 1959 istuttamalla koulimattomia 2-vuotiaita (2/0) männyn taimia 2 m:n välein sekä suorittamalla hajalannoitus. Taimet on kasvatettu Tammisaaren taimitarhassa, siementen kotipaikka on Itä-Uusimaa. Koe sisältää kaksi sarjaa, jotka on lannoitettu keskenään samalla tavalla. Lannoitteina on käytetty kalkkiammoniumsalpietaria (25 % N), hienofosfaattia (33 % P_2O_5) ja kali-

Taulukko 1. Turpeen ravinnepitoisuus ja pH eräillä koealoilla Huikarin ja Paarlahden (1966) mukaan.
Table 1. Nutrient content and pH of peat in some sample plots (Huikari and Paarlahti 1966).

Koealan n:o *No. of sample plot*	NH_3 mg/100 g	NO_3 mg/100 g	P_2O_5 mg/100 g	K_2O mg/100 g	CaO mg/100 g	pH
14	14.0	5.58	2.48	33.4	244.0	4.0
41	10.4	4.05	2.33	22.3	210.0	4.0
91	15.3	4.46	2.94	21.6	223.0	4.1
192	29.0	4.70	7.62	25.8	293.0	4.2
159	9.9	2.52	2.17	16.9	189.0	4.1

suolaa (50 % K_2O). Ennen lannoitusta on alue ollut hyvin fosfori- ja kaliköyhää (taulukko 1). Kasvupaikan karuutta osoittavat myös turpeen alhaiset pH-arvot koekentällä.

Kun kokeen n:o I kaikkia koealoja ei voitu tutkia, rajoitettiin tutkimus koskemaan taulukossa 2 mainittuja nollakoealoja ja eri tavoilla lannoitettuja koealoja. Viimeksi mainitut koealat valittiin siten, että jokaisesta ravinteesta (N, P, K) oli seuraavat kolme tasoa.

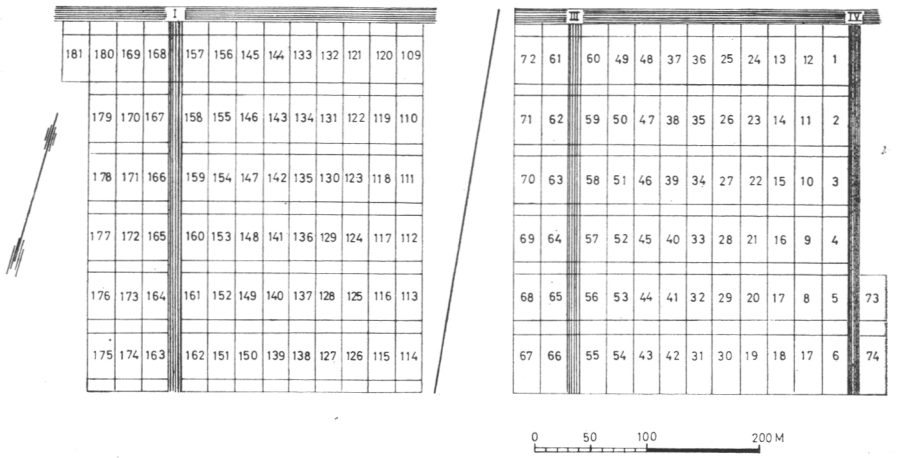
N_I = 50 kg/ha N, P_I = 66 kg/ha P_2O_5, K_I = 50 kg/ha K_2O
N_{II} = 100 » N, P_{II} = 132 » P_2O_5, K_{II} = 100 » K_2O
N_{III} = 200 » N, P_{III} = 198 » P_2O_5, K_{III} = 200 » K_2O

Lannoiteyhdistelmissä oli kunkin ravinteen taso sama, siis esim. $N_IP_IK_I$, $N_{III}P_{III}K_{III}$ jne. Sellaiset lannoiteyhdistelmät, joissa olisi esiintynyt eri tasojen välisiä kombinaatioita, kuten N_IP_{II}, $N_{II}P_I$ jne. jäivät siten tutkimuksen ulkopuolelle. Tutkittujen koealojen sijainti selviää kuvasta 1, ja niiden puuston keskipituus taulukosta 3.

Juuristotutkimuksissa käytettiin Kalelan (1949, 1954, 1955) ja Heikuraisen (1955 a, 1955 b) kehittämää menetelmää, joka perustuu tietyn suuruisessa maanäytteessä olevien juurten erotteluun ja mittaamiseen. Näytteiden poikkileikkauspinta-ala oli 4 × 5 cm ja ne otettiin 21 cm:n syvyyteen asti. Jokaiselta koealalta otettiin neljätoista näytettä. Näytteenottopaikat määrättiin ennakolta siten, että niiden sijainti koealojen rajoihin

Taulukko 2. Tutkitut koealat.
Table 2. Sample plots studied.

Lannoitetaso *Fertilization rate*	Lannoite — *Fertilizer*							
	0	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
	Koealan n:o — *No. of sample plot*							
I	4, 14, 24, 34	69, 176	63, 170	66, 173	31, 139	52, 160	42, 150	1, 109
II	41, 51, 55, 62	70, 177	64, 171	67, 174	36, 144	57, 164	46, 154	16, 124
III	72, 112, 122	71, 178	65, 172	68, 175	40, 148	61, 168	50, 158	30, 138
	132, 142, 149							
	159, 169, 179							



Kuva 1. Kivisuon koe n:o I.
Figure 1. Experiment no. I at Kivisuo.

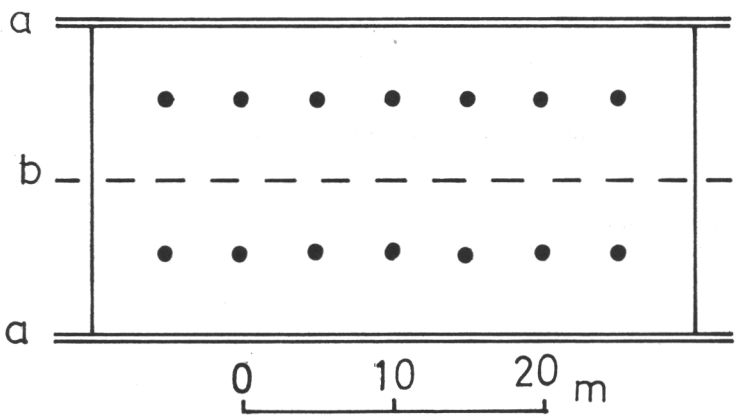
ja ojiin nähden oli kaikilla koealoilla sama (kuva 2). Näytteenottoaika oli 31. 5.—8. 6. 1967.

Juuristonäytteet jaettiin karikkeiden ja elävän sammalkerroksen poistamisen jälkeen pinnasta lähtien seitsemään 3 cm:ä paksuun osaan. Nämä näyteosat suljettiin välittömästi muovipusseihin, minkä jälkeen laboratoriossa eroteltiin niissä olleet juuret vesihuuhtelua apuna käyttäen. Ne näytteet, joita ei voitu välittömästi tutkia, säilytettiin pakastekaapissa. Vesihuuhtelun jälkeen tutkittiin jäljelle jäänyt karkeahko aines yksityiskohtaisesti erottelemalla pinseteillä kaikki näytteessä tavatut juuret turvemassasta. Männyn juuret eroteltiin muista juurista ja jokaisen näyteosan juurista mitattiin seuraavat tunnukset:

— männyn juurten pituus
— männyn lyhytjuurten lukumäärä
— pintakasvillisuuden juurten pituus
— männyn ja pintakasvillisuuden juurten yhteinen kuivapaino.

Taulukko 3. Männyn keskipituus eri tavalla lannoitetuilla koealoilla vuoden 1966 elokuussa.
Table 3. Mean pine height in variously fertilized sample plots in August 1966.

Lannoitetaso *Fertilization rate*	Lannoite — *Fertilizer*							
	O	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
	Keskipituus, cm — *Mean height, cm*							
I	—	65	116	91	186	107	220	180
II	—	64	163	77	194	100	214	199
III	—	75	154	66	182	111	208	159
Keskiarvo — *Average*	87	68	144	78	187	106	214	179



Kuva 2. Esimerkki juuristonäytteiden otosta koealalla. Näytteenottopaikat on merkitty pisteillä.
Figure 2. Example of root sampling on a sample plot. The root sampling sites are marked with dots.
a = avo-oja — *open ditch* b = salaoja — *covered ditch*

Yksityisen juurenosan pituus mitattiin yhden senttimetrin tarkkuudella. Männyn lyhytjuurten lukumäärä laskettiin joka viidennestä tutkittavana olleesta juurenosasta. Aineisto käsittää kaikkiaan 5 782 erillisesti tutkittua 3 × 4 × 5 cm:n kokoista näyteosaa.

Lopuksi yhdistettiin samanlaisen lannoituksen saaneiden rinnakkaiskoealojen juuret samoin kuin myös nollakoealojen juuret sekä määritettiin kunkin näin saadun näyte-erän juurten typpi-, fosfori- ja kalipitoisuus. Ravinneanalyysin suoritti Viljavuuspalvelu Oy.

Tutkitut koealat on sijoitettu Kivisuon alueelle systemaattisesti, jotta niitä voitaisiin käyttää mahdollisimman tehokkaasti opetustarkoituksiin retkeilykohteina. Tämän vuoksi ei aineistosta voida suorittaa samanlaista matemaattista luotettavuustarkastelua kuin satunnaisnäytteiden perusteella. Viitteitä tulosten luotettavuusrajoista saadaan kuitenkin aineiston hajontaa osoittavien lukujen perusteella. Seuraavasta asetelmasta nähdään eräiden juuristosta mitattujen tunnusten keskihajonta käytettäessä aineistosta logaritmisia arvoja.

	Keskihajonta s_{log}
Männyn juurten pituus	0.193
Pintakasvillisuuden juurten pituus	0.153
Juurten kuivapaino	0.177

Pintakasvillisuuden juurten pituuden keskihajonta oli pienin ja männyn juurten pituuden keskihajonta suurin. Männyn juurten pituudenkin hajonta on kuitenkin pienempi kuin esimerkiksi kolmessa tekijän käyttämässä aineistossa (Paavilainen 1966 a), joissa vastaava keskihajonta oli: 0.225,

0.244 ja 0.273. Tämä johtunee paitsi kasvualustan homogeenisuudesta tutkimusalueella mahdollisesti myös siitä, että lannoitus on pienentänyt hajontaa. Oheisesta asetelmasta ilmenee männyn juurten pituuden keskihajonta lannoittamattomilla ja lannoitetuilla koealoilla sekä koko aineistossa

	s_{log}
Lannoittamattomat koealat	0.232
Lannoitetut koealat	0.178
Koko aineisto	0.193

Esitetty vertailu viittaa siihen, että tämän tutkimuksen aineiston perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä ainakin yhtä suurella luotettavuudella kuin aikaisemmissa juuristotutkimuksissa.

Aineiston laadusta antaa käsityksen myös eri koesarjoista saatujen tulosten vertailu. Samalla tavalla lannoitetuilla rinnakkaiskoealoilla tulisi näet päätyä samaan tulokseen, mikäli aineisto kuvaa luotettavasti juuriston rakennetta, ja mikäli juuriston rakenne on yleensä muuttunut lannoituksen vaikutuksesta. Seuraavaan asetelmaan on merkitty toistoista saatujen tulosten välinen korrelaatio eräiden mitattujen tunnusten osalta.

	r
Männyn keskipituus	0.904***
Männyn juurten pituus	0.750***
Juurten kuivapaino	0.545***
Kaikkien juurten yhteinen pituus	0.324
Pintakasvillisuuden juurten pituus	0.212
Männyn lyhytjuurten lukumäärä (kpl/juuri-dm)	—0.068

Männyn keskipituus on varsin samanlainen kummankin koesarjan samalla tavalla lannoitetuilla koealoilla. Juuristosta mitattuihin tunnuksiin nähden on yhteensopivuus pienempi, mutta korrelaatio on kuitenkin merkitsevä männyn juurten pituuden ja juurten kuivapainon osalta. Vähiten on lannoitus todennäköisesti vaikuttanut pitkäjuurten pituusyksikköä kohden laskettuun lyhytjuurten lukumäärään.

3. TULOKSET

31. Kokonaisjuurimäärä

Juurten kokonaismäärä tarkoittaa tutkimusmenetelmästä johtuen lähinnä ohuiden, alle 5 mm:n vahvuisten juurten määrää. Tämän vuoksi saadaan juuriston kuivapainoksi todellista pienemmät arvot. Juurten pituussummiin ei sitä vastoin vaikuta sanottavasti, että osa paksuimmista juurista jää pois laskelmista.

Taulukko 4. Juurten kuivapaino.
Table 4. Dry weight of the roots.

Lannoitetaso *Fertilization rate*	Lannoite — *Fertilizer*							
	0	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
	Juurten kuivapaino, kg/ha — *Dry weight of roots, kg/ha*							
I	—	240	378	761	699	396	795	1 567
II	—	533	608	742	1 088	792	1 251	1 061
III	—	638	1 056	458	825	922	1 393	741
Keskiarvo — *Average*	347	470	681	654	871	703	1 146	1 123

Taulukosta 4, johon on merkitty juurten painoa koskevat tulokset, todetaan, että yhtä poikkeusta lukuunottamatta juurten kuivapaino oli lannoitetuilla koealoilla suurempi kuin nollakoealoilla. Juurten määrä on lisääntynyt etenkin PK- ja NKP-lannoituksen saaneilla koealoilla, joissa suurimmat juurten kuivapainon arvot olivat 3—4-kertaiset nollakoealoihin verrattuna. NPK-lannoituksen aiheuttama juuriston kuivapainon lisäys oli keskimäärin 776 kg/ha eli samaa suuruusluokkaa tekijän aikaisemman tutkimuksen kanssa (P a a v i l a i n e n 1967 a), jonka mukaan NPK-lannoituksesta johtuva ohuiden juurten kuivapainon lisäys oli 800 kg/ha.

Ovatko erot lannoittamattomien ja lannoitettujen koealojen välillä kaikissa tapauksissa merkitseviä, on luonnollisesti epävarmaa. Suuntaa näyttävä vertailu saadaan suorittamalla aineistosta varianssianalyysi ja Tukey'n testi (vrt. esim. M a t t i l a 1966). Lannoittamattomien koealojen juurten kuivapainon keskiarvoa 347 kg/ha merkitsevästi suurempi kuivapaino olisi tässä tapauksessa 603 kg/ha.

Juurten pituus eri koealoilla on esitetty taulukossa 5. Keskiarvojen vertailua varten voidaan mainita, että lannoittamattomien koealojen männyn juurten pituuden keskiarvoa 119 m/m^2 merkitsevästi suurempi juurimäärä on varianssianalyysin mukaan 290 m/m^2. Pintakasvillisuuden juuriston pituuden nollakoealojen keskiarvoa 355 m/m^2 merkitsevästi suurempi keskiarvo on vastaavasti 718 m/m^2.

Taulukosta 5 ilmenee, että männyn juuriston pituus on olennaisesti lisääntynyt nollakoealoihin verrattuna vain siinä tapauksessa, että on käytetty fosforia joko yksinään taikka typen ja/tai kalin kanssa. Fosforin puute, joka on Kivisuolla pääsyynä männyn maanpäällisten osien heikkoon kasvuun (H u i k a r i ja P a a r l a h t i 1966), on siis myös juurten kasvua ehkäisevä minimitekijä.

Fosforin puute ei näytä haittaavan pintakasvillisuuden juurten kasvua yhtä voimakkaasti kuin männyn juurten kasvua. Taulukosta 5 havaitaan, että pintakasvillisuuden juurten pituus on lisääntynyt paitsi fosforia myös typpeä ja kalia käytettäessä. Männyn ja pintakasvillisuuden juuriston erilaisesta suhtautumisesta lannoitukseen johtuu, että fosforia sisältäneiden lan-

Taulukko 5. Juurten pituus.
Table 5. Root length.

Lannoitetaso *Fertilization rate*	Lannoite — *Fertilizer*							
	0	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
	Männyn juuria, m/m² — *Pine roots, m/m²*							
I	—	90	233	179	478	141	640	575
II	—	47	337	90	706	170	538	320
III	—	92	322	72	424	179	576	248
Keskiarvo — *Average*	119	76	297	114	536	163	585	381
	Pintakasvillisuuden juuria, m/m² — *Ground vegetation roots, m/m²*							
I	—	375	365	847	586	467	442	606
II	—	854	424	1 159	859	784	867	637
III	—	743	905	854	739	1 117	867	781
Keskiarvo — *Average*	355	657	565	953	728	789	725	675
	Juuria kaikkiaan, m/m² — *Total roots, m/m²*							
I	—	465	598	1 026	1 064	608	1 082	1 181
II	—	901	761	1 249	1 565	954	1 405	957
III	—	835	1 227	926	1 163	1 296	1 443	1 029
Keskiarvo — *Average*	474	734	862	1 067	1 264	953	1 310	1 056
	Männyn juuria, % kaikista juurista — *Pine roots, % of total*							
I	—	19	39	17	45	23	59	49
II	—	5	44	7	45	18	38	33
III	—	11	26	8	36	14	40	24
I—III	25	10	35	11	42	17	45	36

noitteiden käyttö on lisännyt männyn juurten prosentuaalista osuutta kaikista juurista. Kun fosforia on ollut mukana, on männyn juuria ollut tutkituilla koealoilla 24—59 % kaikista juurista, mutta pelkkää typpeä ja/tai kalia saaneilla koealoilla vain 5—23 % juurten kokonaispituudesta.

Tekijä on myös aikaisemmassa tutkimuksessaan tullut siihen tulokseen, että NPK-lannoitus lisää suhteellisesti enemmän männyn kuin pintakasvillisuuden juuriston pituutta (P a a v i l a i n e n 1967 a). Tämä tulos on voinut johtua nyt esillä olevan tutkimuksen aineiston valossa nimenomaan siitä, että kasvualustaan on lisätty fosforia.

Juurten kokonaispituuksien vertailu lannoittamattomien ja lannoitettujen koealojen välillä antaa vastaavanlaisen tuloksen kuin kuivapainojenkin vertailu. Nollakoealoilla juurten pituus (keskimäärin 474 m/m²) on vähemmän kuin puolet useimpien lannoitettujen koealojen juurten kokonaispituudesta.

32. Juuriston syvyysjakautuminen

Juuriston syvyysjakautumista tutkittiin mittaamalla juurten määrä kolmen senttimetrin kerroksittain suon pinnasta 21 cm:n syvyyteen asti. Juurten esiintymisen alarajaa ei tässä tutkimuksessa siis pyritty selvittämään.

Juurten kuivapaino eri syvyyksissä nähdään taulukosta 6. Tulokset osoittavat, että lannoittamattomien ja lannoitettujen koealojen välinen ero juur-

Taulukko 6. Juurten kuivapaino eri syvyyksissä. *Table 6. Root dry weight at various depths.*

Syvyys, cm *Depth, cm*	Lannoite — *Fertilizer*								Lannoite — *Fertilizer*							
	O	N	P	K	NP	NK	PK	NPK	O	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
	Juurten kuivapaino kg/ha — *Dry weight of roots, kg/ha*								% juurten kokonaiskuivapainosta — % *of total root dry weight*							
	Lannoitetaso I — *Fertilization rate I*								Lannoitetaso I — *Fertilization rate I*							
0—3	—	68.0	88.5	160.5	178.0	69.5	178.5	370.5	—	28	23	21	25	18	23	24
3—6	—	74.5	113.5	222.5	209.5	110.5	266.5	482.0	—	31	30	29	30	28	34	31
6—9	—	60.5	73.5	164.0	108.5	90.5	168.5	221.5	—	25	20	22	16	23	21	14
9—12	—	14.0	43.0	71.5	63.5	63.5	97.5	214.5	—	6	11	9	9	16	12	14
12—15	—	13.0	32.5	61.0	73.0	37.0	35.0	99.5	—	6	9	8	10	9	4	6
15—18	—	6.5	18.0	47.0	39.0	21.0	24.0	34.5	—	3	5	6	6	5	3	2
18—21	—	3.0	8.5	34.0	27.0	4.0	25.0	144.5	—	1	2	5	4	1	3	9
	Lannoitetaso II — *Fertilization rate II*								Lannoitetaso II — *Fertilization rate II*							
0—3	—	89.0	235.5	113.0	385.5	325.0	448.5	584.0	—	17	39	15	35	41	36	55
3—6	—	125.5	171.5	141.5	177.5	226.0	313.5	195.0	—	24	28	19	16	29	25	18
6—9	—	123.5	103.0	132.5	216.5	96.0	184.5	146.5	—	23	17	18	20	12	15	14
9—12	—	74.5	47.5	109.0	95.5	74.0	110.5	51.5	—	14	8	15	9	9	9	5
12—15	—	55.5	27.0	90.0	100.0	24.5	102.0	21.0	—	10	4	12	9	3	8	2
15—18	—	39.0	16.0	90.5	71.0	16.5	43.0	32.0	—	7	3	12	7	2	3	3
18—21	—	26.0	7.5	65.0	42.0	30.0	48.5	31.0	—	5	1	9	4	4	4	3
	Lannoitetaso III — *Fertilization rate III*								Lannoitetaso III — *Fertilization rate III*							
0—3	—	193.5	222.5	51.5	237.0	335.5	447.0	259.0	—	30	21	11	29	37	32	35
3—6	—	213.0	311.0	112.5	163.0	251.5	280.0	221.5	—	34	30	25	20	27	20	30
6—9	—	95.5	244.0	85.0	228.0	135.0	256.5	79.5	—	15	23	19	28	15	18	11
9—12	—	42.5	88.5	91.5	74.0	70.5	155.0	59.5	—	7	8	20	9	8	11	8
12—15	—	41.0	117.5	44.5	54.0	40.5	121.0	40.5	—	6	11	10	6	4	9	5
15—18	—	28.5	42.5	38.5	46.0	49.0	76.5	46.5	—	4	4	8	5	5	6	6
18—21	—	23.5	30.0	34.0	23.0	39.5	56.5	34.0	—	4	3	7	3	4	4	5
	Keskiarvo eri lannoitetasoista — *Average of various fertilization rates*								Keskiarvo eri lannoitetasoista — *Average of various fertilization rates*							
0—3	96.0	116.8	182.2	108.3	266.8	243.3	358.0	404.5	28	25	27	17	31	35	31	36
3—6	105.5	137.7	198.7	158.8	183.3	196.0	286.7	299.5	30	29	29	24	21	28	25	27
6—9	79.5	93.2	140.2	127.2	184.3	107.2	203.2	149.2	23	20	20	19	21	15	18	13
9—12	26.5	43.7	59.7	90.7	77.7	69.3	121.0	108.5	8	9	9	14	9	10	11	10
12—15	20.5	36.5	59.0	65.2	75.7	34.0	86.0	53.7	6	8	9	10	9	5	7	5
15—18	12.0	24.7	25.5	58.7	52.0	28.8	47.8	37.7	3	5	4	9	6	4	4	3
18—21	6.5	17.5	15.3	44.3	30.7	24.5	43.3	69.8	2	4	2	7	3	3	4	6

Taulukko 7. Juurten pituus eri syvyyksissä. *Table 7. Root length at various depths.*

N_I = N 50 kg/ha, P_I = P_2O_5 66 kg/ha, K_I = K_2O 50 kg/ha
N_{II} = N 100 kg/ha, P_{II} = P_2O_5 132 kg/ha, K_{II} = K_2O 100 kg/ha
N_{III} = N 200 kg/ha, P_{III} = P_2O_5 198 kg/ha, K_{III} = K_2O 200 kg/ha

Syvyys, cm *Depth, cm*	Männyn juuria *Pine roots*		Muita juuria *Other roots*		Yhteensä *Total*	Männyn juuria *Pine roots*		Muita juuria *Other roots*		Yhteensä *Total*	Männyn juuria *Pine roots*		Muita juuria *Other roots*		Yhteensä *Total*
	m/m²	%	m/m²	%	m/m²	m/m²	%	m/m²	%	m/m²	m/m²	%	m/m²	%	m/m²
	O-koealat — *Controls*					N_{II}					N_{III}				
0—3	38.0	35	71.5	65	109.5	18.0	13	122.0	87	140.0	35.5	17	170.0	83	205.5
3—6	33.0	28	86.5	72	119.5	6.0	3	184.0	97	190.0	32.5	16	172.0	84	204.5
6—9	19.0	21	73.5	79	92.5	7.0	4	153.5	96	160.5	14.0	10	131.5	90	145.5
9—12	12.0	20	49.0	80	61.0	7.0	5	141.5	95	148.5	5.5	5	107.5	95	113.0
12—15	8.5	21	32.5	79	41.0	5.0	5	104.5	95	109.5	—	—	54.5	100	54.5
15—18	5.5	18	25.5	82	31.0	1.5	2	78.0	98	79.5	0.5	1	56.0	99	56.5
18—21	3.0	16	16.0	84	19.0	2.0	3	70.0	97	72.0	3.5	6	51.5	94	55.0
	N_I					P_{II}					P_{III}				
0—3	15.0	27	41.5	73	56.5	116.5	52	109.0	48	225.5	127.5	46	150.0	54	277.5
3—6	19.5	14	117.5	86	137.0	90.5	48	97.5	52	188.0	89.0	29	219.5	71	308.5
6—9	23.0	15	134.0	85	157.0	44.5	34	86.0	66	130.5	40.0	19	175.0	81	215.0
9—12	13.5	27	36.0	73	49.5	45.0	46	52.0	54	97.0	29.5	20	119.5	80	149.0
12—15	10.0	32	21.0	68	31.0	23.5	40	35.5	60	59.0	19.0	17	95.5	83	114.5
15—18	4.0	17	19.5	83	23.5	11.5	27	31.5	73	43.0	10.0	13	66.5	87	76.5
18—21	4.5	45	5.5	55	10.0	5.5	31	12.0	69	17.5	6.5	8	79.0	92	85.5
	P_I					K_{II}					K_{III}				
0—3	72.5	55	58.5	45	131.0	29.5	18	131.0	82	160.5	20.0	19	84.0	81	104.0
3—6	55.5	38	89.5	62	145.0	18.0	9	187.0	91	205.0	27.0	15	157.5	85	184.5
6—9	47.0	38	76.5	62	123.5	11.0	5	190.0	95	201.0	7.5	4	166.0	96	173.5
9—12	15.5	19	64.0	81	79.5	13.0	6	197.0	94	210.0	8.0	5	147.5	95	155.5
12—15	17.0	34	33.5	66	50.5	7.0	5	146.0	95	153.0	6.5	6	103.0	94	109.5
15—18	19.0	43	25.0	57	44.0	4.0	2	182.5	98	186.5	1.0	1	106.0	99	107.0
18—21	6.5	27	18.0	73	24.5	7.0	5	125.5	95	132.5	1.5	2	89.5	98	91.0
	K_I														
0—3	44.5	27	119.0	73	163.5										
3—6	50.5	24	163.5	76	214.0										
6—9	39.5	18	174.5	82	214.0										
9—12	14.5	10	125.5	90	140.0										
12—15	8.5	7	109.5	93	118.0										
15—18	9.5	10	86.0	90	95.5										
18—21	12.0	15	69.0	85	81.0										

ten syvyysjakautumisessa on varsin pieni. Vain pelkän kalilannoituksen saaneilla koealoilla näyttäisi juuristo hieman syventyneen nollakoealoihin verrattuna.

Lannoitus on edellä esitetyn mukaan lisännyt juurten kuivapainoa kaikissa tutkituissa syvyyksissä. Tämä tulos poikkeaa siitä, minkä tekijä on aikaisemmin saanut. Paavilaisen (1967 a) mukaan lannoituksen aiheuttama juurimäärän kasvu havaittiin vain aivan turpeen pintakerroksessa, enintään 10 cm:n syvyydessä. Tulosten erilaisuuteen mahdollisesti vaikuttavista tekijöistä mainittakoon ennen muuta:

— juuriston rakenne lannoitettaessa
— lannoituksesta kulunut aika.

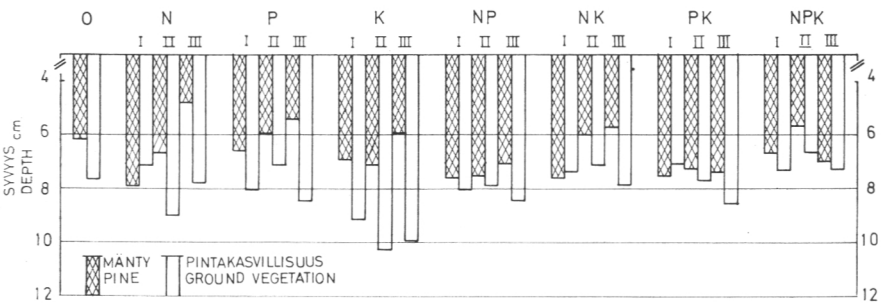
Aikaisemmassa tutkimuksessa oli kysymys ojitetulle suolle luontaisesti syntyneestä männyn taimistosta, jossa puiden ja pintakasvillisuuden juuristo levittäytyy tiheänä verkkona puiden välikohtiin. Juuristo on tässä tapauksessa vallannut käytettävissä olevan kasvutilan jo ennen lannoitusta ja reagoi nopeasti ja voimakkaasti ravinteiden lisäykseen suon pintakerroksessa.

Kivisuolla lannoitus annettiin istutetuille männyn taimille, joiden välinen maa-alue oli miltei kokonaan ilman kasvipeitettä. Juuret levittäytyivät puiden välikohtiin vasta lannoituksen jälkeen, jolloin ravinteet ovat kenties ehtineet huuhtoutua paljaasta maanpinnasta syvällekin. Ravinteita saattaa olla melko syvällä myös siitä syystä, että lannoituksesta on kulunut Kivisuolla jo kahdeksan vuotta eli kolme vuotta pitempi aika kuin Paavilaisen (m.t.) tutkimuksen koealoilla.

On myös otettava huomioon se mahdollisuus, että juuriston kehitys on ehkä riippumaton ravinteiden syvyysjakautumisesta. Se, että juuriston ja ravinteiden syvyysjakautumisen välillä yleensä vallitsee korrelaatio, voi johtua jostakin muusta näihin kumpaankin voimakkaasti vaikuttavasta tekijästä, jollainen saattaa olla oligotrofisilla soilla turpeen ilmatila kasvukauden aikana (esim. Paavilainen 1967 b).

Taulukkoon 7 on koottu tulokset, jotka osoittavat männyn ja pintakasvillisuuden juurten pituuden eri syvyyksissä. Siitä ilmenee, että fosforia sisältäneiden lannoitteiden käyttö on lisännyt männyn juurten prosentuaalista osuutta kokonaisjuurimäärästä kaikissa tutkituissa syvyyksissä. Männyn juurten suhteellinen osuus kaikista juurista näyttää kuitenkin yleensä hieman pienenevän suon pinnasta syvemmälle mentäessä.

Viimeksi mainittu seikka havaitaan myös kuvasta 3, jossa on esitetty eri syvyyksissä olevien juurten pituudella punnittu juuriston keskisyvyys (vrt. Kalela 1949, Heikurainen 1955 b) tutkituilla koealoilla. Pintakasvillisuuden juuriston keskisyvyys on paria poikkeusta lukuunottamatta suurempi kuin männyn juuriston keskisyvyys. Erityisen selvä on ero pelkän kalilannoituksen saaneilla ruuduilla, joissa pintakasvillisuuden juuriston keskisyvyys on keskimäärin 2 cm:ä suurempi kuin nollakoealoilla, mutta männyn



Kuva 3. Eri syvyyksissä olevien juurten pituudella punnittu juuriston keskisyvyys.
Figure 3. Average depth of root system weighted by root length at various depths.

juuriston syvyys on kummassakin lähes sama. Tämä viittaa siihen, että kali olisi kulkeutunut hieman syvemmälle kuin muut ravinteet ja aiheuttanut pintakasvillisuuden juuriston syvenemistä. Männyllä, jolla fosfori on juurten kasvua ehkäisevä minimitekijä, ei vastaavaa ilmiötä ole havaittavissa. Muuten osoittaa kuva 3, että lannoittamattomien ja lannoitettujen koealojen juuriston syvyysjakautuminen on lähes samanlainen, niinkuin jo edellä on todettu.

33. Männyn lyhytjuuret

Aineiston esittelyn yhteydessä viitattiin siihen, että lannoituksen vaikutus männyn lyhytjuurten lukumäärään (kpl/juuri-dm) on todennäköisesti varsin vähäinen. Taulukosta 8 havaitaan, että näin on todella asian laita. Lyhytjuurten kokonaistiheydessä on vain pieniä eroja lannoittamattomien ja eri tavalla lannoitettujen koealojen välillä. Lyhytjuurten lukumäärä pitkäjuurten pituusyksikköä kohden ei tämän mukaan ole muuttunut lannoituksen vaikutuksesta.

Lyhytjuurten syvyysjakautumista tarkastellaan vain 0—15 cm:n syvyydessä, koska sitä syvemmältä saadut tulokset ovat varsin epävarmoja. Taulukosta 9 havaitaan, ettei nollakoealojen ja lannoitettujen koealojen välillä ole selviä eroja. Lyhytjuurten tiheys pienenee useimmilla koealoilla suon

Taulukko 8. Männyn lyhytjuurten kokonaistiheys.
Table 8. Total density of pine short roots.

Lannoitetaso *Fertilization rate*	Lannoite — *Fertilizer*							
	O	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
	Lyhytjuuria, kpl/juuri-dm — *Short-roots, number/root-dm*							
I	—	37.0	32.1	38.0	40.6	36.5	39.9	30.2
II	—	38.3	34.5	37.1	40.7	36.0	38.9	37.9
III	—	36.7	35.9	37.5	39.6	39.8	35.3	36.6
Keskiarvo — *Average*	36.2	37.3	34.2	37.5	40.3	37.4	38.0	34.9

Taulukko 9. Männyn lyhytjuurten tiheys eri syvyyksissä.
Table 9. Density of pine short-roots at various depths.

Syvyys, cm *Depth, cm*	Lannoite — *Fertilizer*							
	O	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
	Lyhytjuuria, kpl/juuri-dm — *Short-roots, number/root-dm*							
	Lannoitetaso I — *Fertilization rate I*							
0—3	—	38.2	35.1	38.4	40.3	38.0	41.1	35.3
3—6	—	36.6	34.0	36.2	42.2	34.9	41.3	32.9
6—9	—	36.8	33.7	40.7	41.6	36.7	39.5	29.6
9—12	—	37.1	33.4	36.0	40.5	41.2	40.8	29.0
12—15	—	(44.8)	34.7	42.0	39.3	38.7	40.4	31.0
	Lannoitetaso II — *Fertilization rate II*							
0—3	—	35.6	36.2	41.6	44.4	37.2	38.8	41.8
3—6	—	51.3	39.1	39.6	43.0	37.0	39.4	37.9
6—9	—	30.4	29.1	37.5	40.8	38.6	42.5	36.2
9—12	—	32.5	27.5	34.1	38.6	32.2	34.2	35.5
12—15	—	—	23.0	41.1	38.2	30.7	41.1	32.5
	Lannoitetaso III — *Fertilization rate III*							
0—3	—	41.7	41.7	40.0	40.0	42.5	36.4	38.8
3—6	—	35.2	34.5	40.4	39.5	40.1	34.8	34.6
6—9	—	37.4	33.6	31.1	41.2	37.9	36.6	34.2
9—12	—	34.3	30.6	34.2	38.9	34.5	34.2	40.2
12—15	—	—	34.7	32.3	40.1	41.6	35.0	38.1
	Keskiarvo eri lannoitetasoista — *Average of various fertilization rates*							
0—3	37.4	38.5	37.7	40.0	41.6	39.2	38.8	38.6
3—6	36.1	41.0	35.9	38.7	41.6	37.3	38.5	35.1
6—9	34.9	34.9	32.1	36.4	41.2	37.7	39.5	33.3
9—12	35.8	34.6	30.5	34.8	39.3	36.0	36.4	34.9
12—15	38.4	—	30.8	38.5	39.2	37.0	38.8	33.9

pinnasta syvemmälle mentäessä, kuten aikaisemmissakin rämemänniköiden juuristosuhteita koskevissa tutkimuksissa on todettu (esim. Heikurainen 1955 a, b, Paavilainen 1966 a, 1967 a).

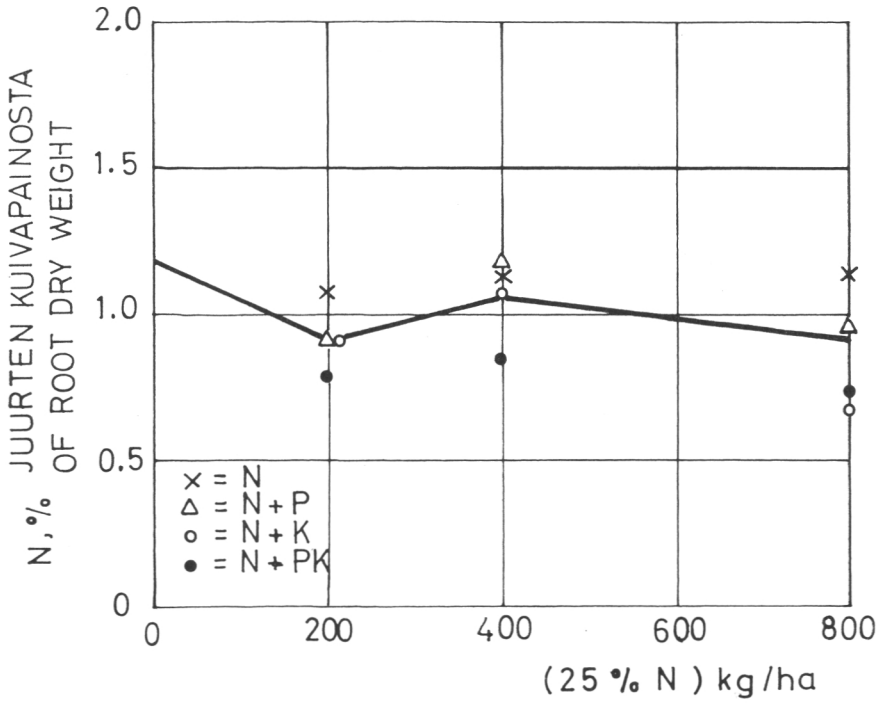
Nyt saatu tulos, ettei lannoitus ole vaikuttanut sanottavasti lyhytjuurten kokonaistiheyteen, poikkeaa tekijän (Paavilainen 1967 a) aikaisemmin esittämästä. Kyseisessä tutkimuksessa tultiin sellaiseen tulokseen, että NPK-lannoitus lisäsi lyhytjuurten lukumäärää pitkäjuurten pituusyksikköä kohden, mutta ainoastaan 0—3 cm:n syvyydessä. Erilaisen tuloksen syynä ovat mahdollisesti olleet samat tekijät, joiden merkitystä on tarkasteltu juuriston syvyysjakautumista koskevien tulosten esittelyn yhteydessä.

34. Juuriston sisältämät ravinteet

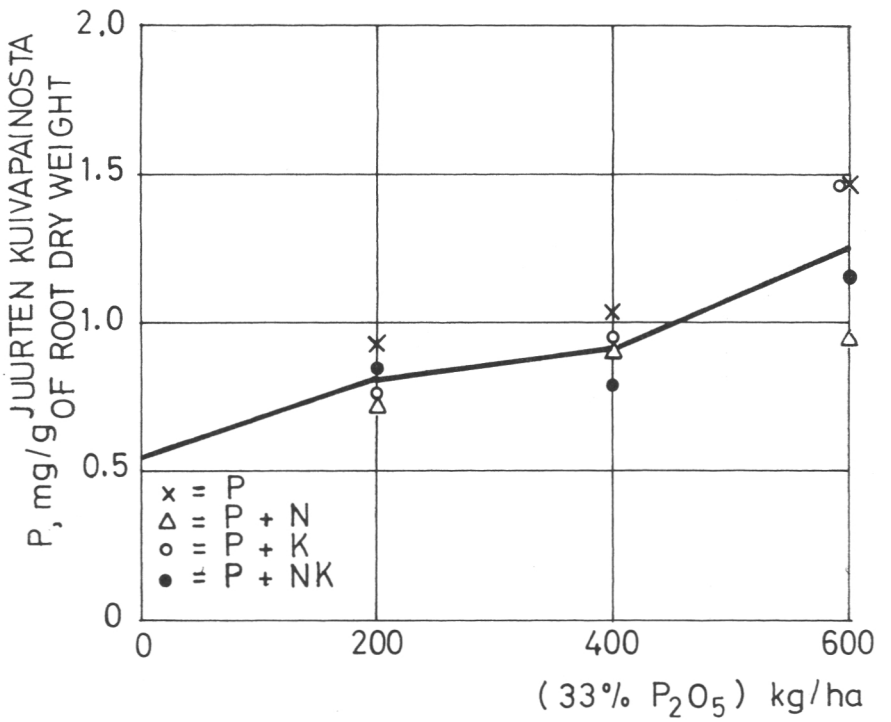
Juurten typpi-, fosfori- ja kalipitoisuus nähdään taulukosta 10. Typpeä (kokonaistyppi) on nollakoealoilla keskimäärin 1.17 % juurten kuivapainosta eikä minkään lannoitteen käyttö ole ilmeisesti lisännyt typen määrää juurten

Taulukko 10. Juurten ravinnepitoisuus. *Table 10. Nutrient content of roots.*

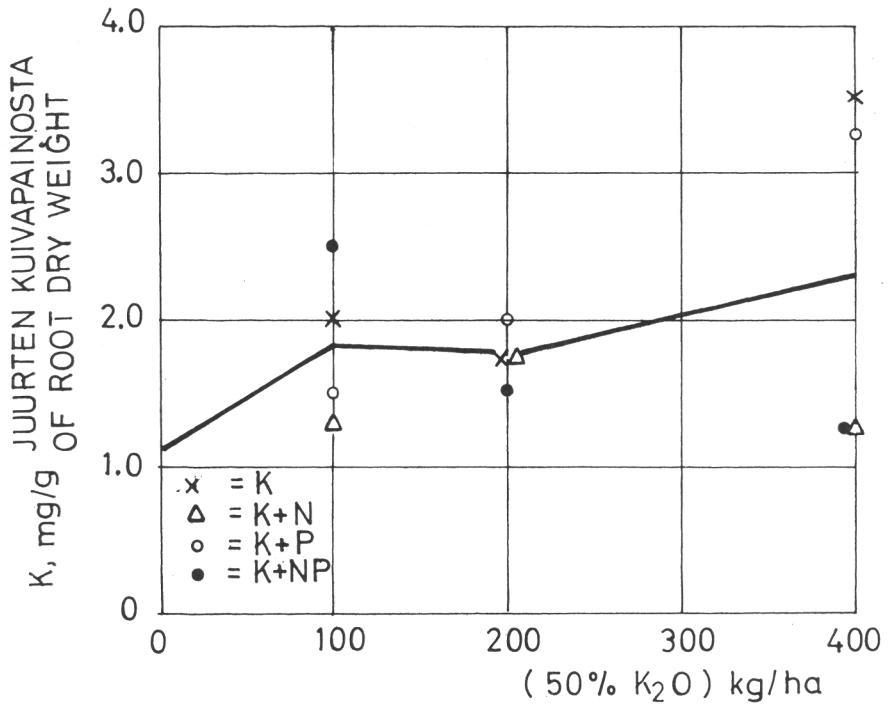
Lannoitetaso *Fertilization rate*	Lannoite — *Fertilizer*								Lannoite — *Fertilizer*							
	O	N	P	K	NP	NK	PK	NPK	O	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
	N, % juurten kuivapainosta — *N, % of root dry weight*								N, kg/ha							
I	—	1.07	0.78	0.73	0.90	0.90	0.73	0.78	—	2.6	2.9	5.6	6.3	3.6	5.8	12.2
II	—	1.12	1.02	0.84	1.17	1.06	0.95	0.84	—	6.0	6.2	6.2	12.7	8.4	11.9	8.9
III	—	1.23	0.95	1.17	0.95	0.67	1.02	0.73	—	7.8	10.0	5.4	7.8	6.2	14.2	5.4
Keskiarvo — *Average* ...	1.17	1.14	0.92	0.91	1.01	0.88	0.90	0.78	4.1	5.5	6.4	5.7	8.9	6.1	10.6	8.8
	P, mg/g juurten kuivapainosta — *P, mg/g of root dry weight*								P, kg/ha							
I	—	0.63	0.92	0.51	0.71	0.58	0.75	0.84	—	0.2	0.3	0.4	0.5	0.2	0.6	1.3
II	—	0.50	1.03	0.48	0.89	0.58	0.94	0.79	—	0.3	0.6	0.4	1.0	0.5	1.2	0.8
III	—	0.46	1.46	0.50	0.93	0.53	1.45	1.15	—	0.3	1.5	0.2	0.8	0.5	2.0	0.9
Keskiarvo — *Average* ...	0.58	0.53	1.14	0.50	0.84	0.56	1.05	0.93	0.2	0.3	0.8	0.3	0.8	0.4	1.3	1.0
	K, mg/g juurten kuivapainosta — *K, mg/g of root dry weight*								K, kg/ha							
I	—	1.50	1.00	2.00	1.00	1.25	1.50	2.50	—	0.4	0.4	1.5	0.7	0.5	1.2	3.9
II	—	0.75	1.25	1.75	1.00	1.75	2.00	1.50	—	0.4	0.8	1.3	1.1	1.4	2.5	1.6
III	—	0.75	2.00	3.50	0.75	1.25	3.25	1.25	—	0.5	2.1	1.6	0.6	1.2	4.5	0.9
Keskiarvo — *Average* ...	1.00	1.00	1.42	2.42	0.92	1.42	2.25	1.75	0.3	0.4	1.1	1.5	0.8	1.0	2.7	2.1



Kuva 4. Juurten typpipitoisuuden suhde lannoituksessa annetun typen määrään.
Figure 4. The correlation between the nitrogen content of the roots and the nitrogen fertilization rate.



Kuva 5. Juurten fosforipitoisuuden suhde lannoituksessa annetun fosforin määrään.
Figure 5. The correlation between the root phosphorus content and the phosphorus fertilization rate.



Kuva 6. Juurten kalipitoisuuden suhde lannoituksessa annetun kalin määrään.
Figure 6. The correlation between the root potassium content and the potassium fertilization rate.

kuivapainoyksikköä kohden. Juurten typpipitoisuuden ja lannoituksessa annetun typen määrän välillä ei ole riippuvuussuhdetta, kuten kuvasta 4 havaitaan.

Juurten fosforipitoisuus on fosforia saaneilla koealoilla selvästi suurempi kuin muilla koealoilla (taulukko 10). Fosforin osuus juurten kuivapainosta on sitä suurempi, mitä enemmän tätä ravinnetta on annettu lannoituksessa (kuva 5). Vastaavasti todetaan taulukosta 10 ja kuvasta 6, että juurten kalipitoisuus on suurin niillä koealoilla, jotka ovat saaneet lannoituksessa eniten kalia. Juurten fosfori- ja kalipitoisuus on siis Kivisuolla riippuvuussuhteessa näiden ravinteiden määrään kasvualustassa.

Taulukossa 10 esitettyjen lukujen mukaan on ohuiden juurten muodostukseen kulunut eri ravinteita 1 000 kg:n suuruista kuiva-ainemäärää kohden seuraavasti:

N	6.7—12.3 kg
P	0.5— 1.5 »
K	0.8— 3.5 »

Jos oletetaan, että juurten kuivapaino lisääntyy 800 kg/ha annettaessa 100 kg N, 150 kg P_2O_5 ja 100 kg K_2O hehtaarille (vrt. s. 11), voidaan laskea

Taulukko 11. Juuriston sisältämän typen määrä eri syvyyksissä.
Table 11. Nitrogen content of roots at various depths.

Syvyys, cm *Depth, cm*	Lannoite — *Fertilizer*							
	O	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
	N, kg/ha							
	Lannoitetaso I — *Fertilization rate I*							
0—3	—	0.73	0.69	1.17	1.60	0.63	1.30	2.89
3—6	—	0.80	0.89	1.62	1.89	0.99	1.95	3.76
6—9	—	0.65	0.57	1.20	0.98	0.81	1.23	1.73
9—12	—	0.15	0.34	0.52	0.57	0.57	0.71	1.67
12—15	—	0.14	0.25	0.45	0.66	0.33	0.26	0.78
15—18	—	0.07	0.14	0.34	0.35	0.19	0.18	0.27
18—21	—	0.03	0.07	0.25	0.24	0.04	0.18	1.13
	Lannoitetaso II — *Fertilization rate II*							
0—3	—	1.00	2.40	0.95	4.51	3.44	4.26	4.91
3—6	—	1.41	1.75	1.19	2.08	2.40	2.98	1.64
6—9	—	1.38	1.05	1.11	2.53	1.02	1.75	1.23
9—12	—	0.83	0.48	0.92	1.12	0.78	1.05	0.43
12—15	—	0.62	0.28	0.76	1.17	0.26	0.97	0.18
15—18	—	0.44	0.16	0.76	0.83	0.17	0.41	0.27
18—21	—	0.29	0.08	0.55	0.49	0.32	0.46	0.26
	Lannoitetaso III — *Fertilization rate III*							
0—3	—	2.38	2.11	0.60	2.25	2.25	4.56	1.89
3—6	—	2.62	2.95	1.32	1.55	1.69	2.86	1.62
6—9	—	1.17	2.32	0.99	2.17	0.90	2.62	0.58
9—12	—	0.52	0.84	1.07	0.70	0.47	1.58	0.43
12—15	—	0.50	1.12	0.52	0.51	0.27	1.23	0.30
15—18	—	0.35	0.40	0.45	0.44	0.33	0.78	0.34
18—21	—	0.29	0.28	0.40	0.22	0.26	0.58	0.25
	Keskiarvo eri lannoitetasoista — *Average of various fertilization rates*							
0—3	1.12	1.37	1.73	0.91	2.79	2.11	3.37	3.23
3—6	1.23	1.61	1.86	1.38	1.84	1.69	2.60	2.34
6—9	0.93	1.07	1.31	1.10	1.89	0.91	1.87	1.18
9—12	0.31	0.50	0.55	0.84	0.80	0.61	1.11	0.84
12—15	0.24	0.42	0.55	0.58	0.78	0.29	0.82	0.42
15—18	0.14	0.29	0.23	0.52	0.54	0.23	0.46	0.29
18—21	0.08	0.20	0.14	0.40	0.32	0.21	0.41	0.55

ohuiden juurten muodostukseen kuluvan keskimäärin seuraavat prosenttimäärät lannoituksessa annetuista ravinteista.

N	5.4—9.8 %
P	0.6—1.8 »
K	0.7—3.4 »

Ohuiden juurten sisältämän typen määrä on Kivisuon koealoilla 2.6—14.2 kg/ha, fosforin 0.2—2.0 kg/ha ja kalin määrä 0.3—4.5 kg/ha (taulukko 10).

Juuriston sisältämien ravinteiden syvyysjakautuminen on esitetty taulukoissa 11—13. Niiden perusteella voidaan todeta, että juuristoon sitoutuneen

Taulukko 12. Juuriston sisältämän fosforin määrä eri syvyyksissä.
Table 12. Phosphorus content of roots at various depths.

Syvyys, cm *Depth, cm*	Lannoite — *Fertilizer*							
	0	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
	P, kg/ha							
	Lannoitetaso I — *Fertilization rate I*							
0—3	—	0.04	0.08	0.08	0.13	0.04	0.13	0.31
3—6	—	0.05	0.10	0.11	0.15	0.06	0.20	0.40
6—9	—	0.04	0.07	0.08	0.08	0.05	0.13	0.19
9—12	—	0.01	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	0.18
12—15	—	0.01	0.03	0.03	0.05	0.02	0.03	0.08
15—18	—	△	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03
18—21	—	△	0.01	0.02	0.02	△	0.02	0.12
	Lannoitetaso II — *Fertilization rate II*							
0—3	—	0.04	0.24	0.05	0.34	0.19	0.42	0.46
3—6	—	0.06	0.18	0.07	0.16	0.13	0.29	0.15
6—9	—	0.06	0.11	0.06	0.19	0.06	0.17	0.12
9—12	—	0.04	0.05	0.05	0.08	0.04	0.10	0.04
12—15	—	0.03	0.03	0.04	0.09	0.01	0.10	0.02
15—18	—	0.02	0.02	0.04	0.06	0.01	△	0.03
18—21	—	0.01	0.01	0.03	0.04	0.02	0.05	0.02
	Lannoitetaso III — *Fertilization rate III*							
0—3	—	0.09	0.32	0.03	0.22	0.18	0.65	0.30
3—6	—	0.10	0.45	0.06	0.15	0.13	0.41	0.25
6—9	—	0.04	0.36	0.04	0.21	0.07	0.37	0.09
9—12	—	0.02	0.13	0.05	0.07	0.04	0.22	0.07
12—15	—	0.02	0.17	0.02	0.05	0.02	0.18	0.05
15—18	—	0.01	0.06	0.02	0.04	0.03	0.11	0.05
18—21	—	0.01	0.04	0.02	0.02	0.02	0.08	0.04
	Keskiarvo eri lannoitetasoista — *Average of various fertilization rates*							
0—3	0.06	0.06	0.21	0.05	0.23	0.14	0.40	0.36
3—6	0.06	0.07	0.24	0.08	0.15	0.11	0.30	0.27
6—9	0.05	0.05	0.18	0.06	0.16	0.06	0.22	0.13
9—12	0.02	0.02	0.07	0.05	0.06	0.04	0.13	0.10
12—15	0.01	0.02	0.08	0.03	0.06	0.02	0.10	0.05
15—18	0.01	0.01	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.04
18—21	△	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.05	0.06

typen, fosforin ja kalin määrä vähenee selvästi suon pinnasta syvemmälle mentäessä. Esimerkiksi NPK-lannoitetuilla koealoilla on juuriston sisältämän typen määrä keskimäärin 3.23 kg/ha, fosforin 0.36 kg/ha ja kalin 0.71 kg/ha. Noin kymmenen senttimetriä syvemmällä eli 9—12 cm:n syvyydessä ovat vastaavat luvut enää: N 0.84 kg/ha, P 0.10 kg/ha ja K 0.23 kg/ha. Kaikissa tutkituissa syvyyksissä havaitaan juurten ravinteisuudessa verraten selvät erot lannoittamattomien ja eri tavalla lannoitettujen koealojen välillä samaan tapaan kuin juuriston sisältämien ravinteiden kokonaismäärää koskevien lukujen perusteella (vrt. taulukko 10).

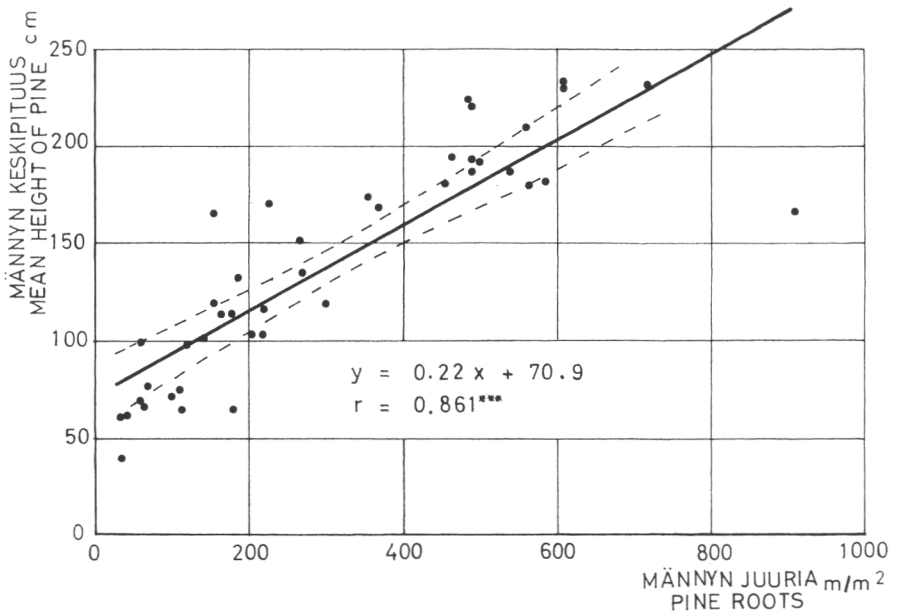
Taulukko 13. Juuriston sisältämän kalin määrä eri syvyyksissä.
Table 13. Potassium content of roots at various depths.

Syvyys, cm *Depth, cm*	Lannoite — *Fertilizer*							
	O	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
	K, kg/ha							
	Lannoitetaso I — *Fertilization rate I*							
0—3	—	0.10	0.09	0.32	0.18	0.09	0.27	0.93
3—6	—	0.11	0.11	0.44	0.21	0.14	0.40	1.20
6—9	—	0.09	0.07	0.33	0.11	0.11	0.25	0.55
9—12	—	0.02	0.04	0.14	0.06	0.08	0.15	0.54
12—15	—	0.02	0.03	0.12	0.07	0.05	0.05	0.25
15—18	—	0.01	0.02	0.09	0.04	0.03	0.04	0.09
18- 21	—	△	0.01	0.07	0.03	△	0.04	0.36
	Lannoitetaso II — *Fertilization rate II*							
0- 3	—	0.07	0.29	0.20	0.39	0.57	0.90	0.88
3—6	—	0.09	0.21	0.25	0.18	0.40	0.63	0.29
6—9	—	0.09	0.13	0.23	0.22	0.17	0.37	0.22
9—12	—	0.06	0.06	0.19	0.10	0.13	0.22	0.08
12—15	—	0.04	0.03	0.16	0.10	0.04	0.20	0.03
15—18	—	0.03	0.02	0.16	0.07	0.03	0.09	0.05
18—21	—	0.02	0.01	0.11	0.04	0.05	0.10	0.05
	Lannoitetaso III — *Fertilization rate III*							
0—3	—	0.15	0.44	0.18	0.18	0.42	1.45	0.32
3—6	—	0.16	0.62	0.39	0.12	0.31	0.91	0.28
6—9	—	0.07	0.49	0.30	0.17	0.17	0.83	0.10
9—12	—	0.03	0.18	0.32	0.06	0.09	0.50	0.07
12—15	—	0.03	0.23	0.16	0.04	0.05	0.39	0.05
15—18	—	0.02	0.08	0.13	0.03	0.06	0.25	0.06
18—21	—	0.02	0.06	0.12	0.02	0.05	0.18	0.04
	Keskiarvo eri lannoitetasoista — *Average of various fertilization rates*							
0—3	0.10	0.11	0.27	0.23	0.25	0.36	0.87	0.71
3—6	0.11	0.12	0.31	0.36	0.17	0.28	0.65	0.59
6—9	0.08	0.08	0.23	0.29	0.17	0.15	0.48	0.29
9—12	0.03	0.04	0.09	0.22	0.07	0.10	0.29	0.23
12—15	0.02	0.03	0.10	0.15	0.07	0.05	0.21	0.11
15—18	0.01	0.02	0.04	0.13	0.05	0.04	0.13	0.07
18—21	0.01	0.01	0.03	0.10	0.03	0.03	0.11	0.15

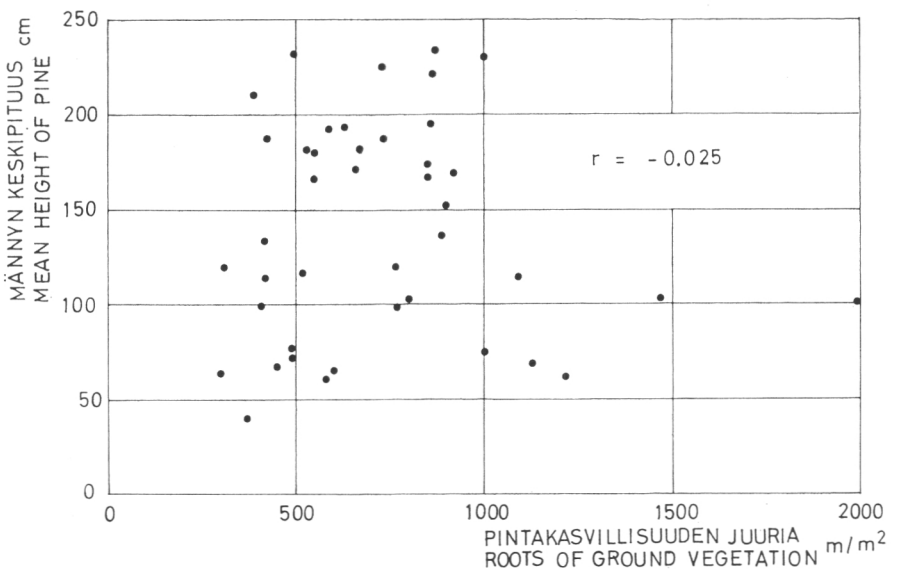
35. Juuriston ja verson välinen suhde

Männyn keskipituuden ja juurten pituuden välillä on Kivisuolla selvä korrelaatio (kuva 7). Lannoituksesta johtuva kuiva-aineen tuoton lisäys jakautuu tämän mukaan määrätyssä suhteessa puiden maanpäällisten ja maanalaisten osien kesken. Tällainen jakautuma onkin todennäköisesti edullista puiden kasvun kannalta. Aikaisemmissa tutkimuksissa on päätelty, että puuston kasvun paraneminen lannoituksen vaikutuksesta edellyttää alunperin huonokasvuisessa metsikössä nimenomaan juurten kokonaismäärän tuntuvaa lisääntymistä (Zöttl 1964, Paavilainen 1967a).

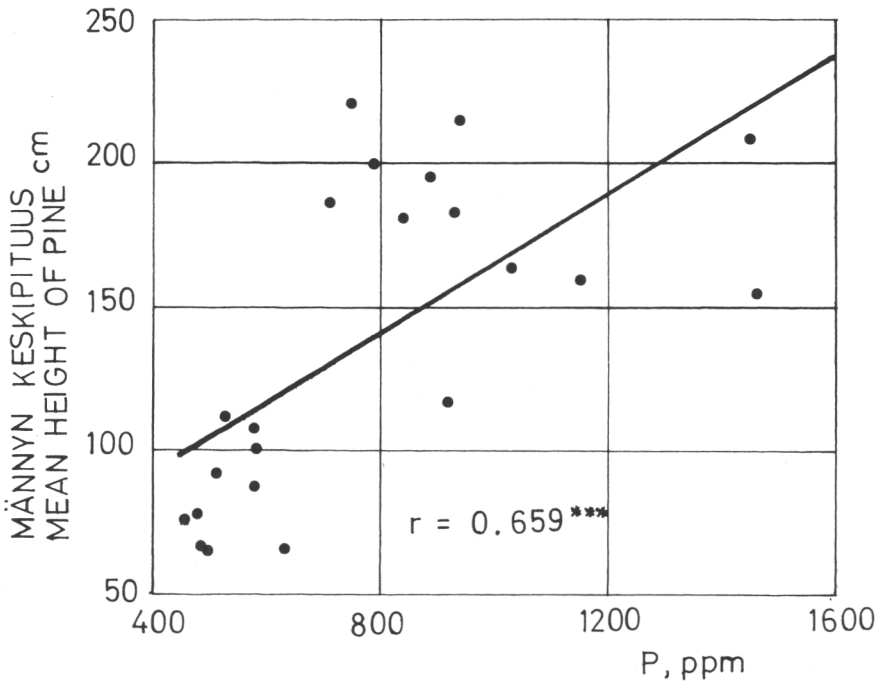
Pintakasvillisuuden juuriston pituuden ja männyn keskipituuden välillä ei ole vuorosuhdetta (kuva 8). Tämä sekä kuvassa 7 esitetty tulos osoittavat,



Kuva 7. Männyn keskipituuden suhde männyn juurten määrään.
Figure 7. The correlation between mean pine height and pine root quantity.



Kuva 8. Männyn keskipituuden suhde pintakasvillisuuden juurten määrään.
Figure 8. The correlation between mean pine height and the quantity of ground vegetation roots.



Kuva 9. Männyn keskipituuden suhde juurten fosforipitoisuuteen.
Figure 9. The correlation between mean pine height and the phosphorus content of the roots.

että pintakasvillisuuden juuriston ja männyn juuriston kehitys on riippuvainen jossakin määrin eri tekijöistä. Tällaisena tekijänä on aikaisemmin (s. 11) mainittu kasvupaikan ravinteisuus ja nimenomaan fosforin määrä kasvualustassa.

Laskettaessa männyn keskipituuden ja juurten typpi-, fosfori- ja kalipitoisuuden sekä N/P-suhteen välinen korrelaatio saatiin tulokseksi seuraavassa asetelmassa esitetyt kertoimet.

		r
Männyn keskipituus:	N	— 0.031
	P	0.659***
	K	0.089
	N/P	— 0.753***

Korrelaatio on merkitsevä vain juurten fosforipitoisuuden sekä N/P-suhteen osalta.

Kuvasta 9 havaitaan, että puiden kasvu on heikko, kun juurten fosforipitoisuus on alle 600 ppm. Neulasten fosforipitoisuuden vastaaviksi rajaarvoiksi männyllä ja kuusella on tavallisesti esitetty 1 100—1 300 ppm (mm. Süchting 1949, Puustjärvi 1962, Themlitz 1967).

Juurten typen ja fosforin suhde on myös verraten selvässä korrelaatiossa puiden kasvun kanssa. N/P-suhde 15 näyttää jakavan puut hyvä- ja huonokasvuisiin. Neulasten vastaavaksi N/P-suhteeksi on saatu suometsissä n. 16 (P u u s t j ä r v i m.t.).

4. YHDISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin lannoituksen vaikutusta männyn ja pintakasvillisuuden juuriston ensi kehitykseen turvemaalla. Tutkimus suoritettiin Leivonmäen kunnassa sijaitsevalla Kivisuon metsänlannoituskoekentällä kahdeksan vuotta männyn istutuksen ja lannoituksen jälkeen.

Juurten kokonaismäärän todettiin kasvaneen lannoituksen vaikutuksesta. Useimmilla lannoitetuilla koealoilla juuria oli yli kaksi kertaa niin paljon kuin nollakoealoilla. Männyn juuriston pituus oli selvästi lisääntynyt vain siinä tapauksessa, että oli käytetty fosforia, mutta pintakasvillisuuden juuriston pituus myös pelkästään typpeä ja/tai kalia käytettäessä. Tämän vuoksi fosforia sisältäneiden lannoitteiden käyttö oli lisännyt männyn juurten prosentuaalista osuutta kaikista juurista.

Juuriston syvyysjakautuminen oli lähes samanlainen lannoittamattomilla ja lannoitetuilla koealoilla. Pintakasvillisuuden juuret olivat keskimäärin syvemmällä kuin männyn juuret. Tämä juuriston syvyyden ero oli selvin pelkän kalilannoituksen saaneilla koealoilla.

Lannoituksen ei todettu vaikuttaneen männyn lyhytjuurten määrään (kpl/juuri-dm), eikä niiden syvyysjakautumiseen.

Juurten fosfori- ja kalipitoisuus olivat riippuvuussuhteessa näiden ravinteiden määrään kasvualustassa. Juurten typpipitoisuuden ja lannoituksessa annetun typen määrän välillä ei ollut riippuvuussuhdetta. Juuriston ravinteisuuserot lannoittamattomien ja eri tavalla lannoitettujen koealojen välillä ilmenivät samansuuntaisina kaikissa tutkituissa syvyyksissä, 21 cm:n syvyyteen asti.

Männyn keskipituus ja juurten pituus olivat keskenään korrelaatiossa. Pintakasvillisuuden juurten pituuden ja männyn pituuden välillä ei ollut vuorosuhdetta. Männyn keskipituus oli korrelaatiossa myös juurten fosforipitoisuuden sekä N/P-suhteen kanssa.

Tutkimus antaa aiheen päätelmään, että juuriston kemiallinen analyysi saattaa tulla kysymykseen suometsien ravinnetarpeen selvittelyssä. Juurten fosfori- ja kalipitoisuus näyttää osoittavan näiden ravinteiden määrää kasvualustassa. Tämän lisäksi juurten fosforipitoisuus sekä N/P-suhde korreloivat puuston kasvun kanssa. Raja-arvoiksi, jotka osoittavat fosforin puutteen sekä jakavat puut hyvä- ja huonokasvuisiin, saatiin tässä tutkimuksessa:

P ..... 600 ppm
N/P ..... 15 ·

KIRJALLISUUTTA

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

Heikurainen, L. 1955 a. Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände auf Moorböden im Laufe des Jahres (Selostus: Rämemänniköiden juuriston vuodenajoittaisista muutoksista). AFF 65.2.

—»— 1955 b Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen (Referat: Der Wurzelaufbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine in Beeinflussung durch die Entwässerung). AFF 65.3.

—»— 1958 Sekametsiköiden juuristoista ojitetulla suolla (Referat: Der Wurzelaufbau Mischwäldern auf entwässerten Moorböden) AFF 67.2.

Huikari, O. 1954. Experiments on the effect of anaerobic media upon birch, pine and spruce seedlings (Selostus: Kokeita kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koivun, männyn ja kuusen taimiin). MTJ 42.5.

—»— 1959. On the effect of anaerobic media upon the roots of birch, pine and spruce seedlings (Selostus: Kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koivun, männyn ja kuusen taimien juuristoihin). MTJ 50.9.

—»— ja Paarlahti, K. 1966. Kivisuon metsänlannoituskokeet. Kenttäopas.

Kalela, E. K. 1946. Rämemänniköiden uudistamisen perusteista. MA 1946, s. 5—11.

—»— 1949. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhteista. I. (Summary: On the horizontal roots in pine and spruce stand. I). AFF 57.2.

—»— 1954. Mäntysiemenpuiden ja -puustojen juurisuhteista. (Referat: Über die Wurzelverhältnisse der Kiefernsamenbäume und -baumbestände). AFF 61.28.

—»— 1955. Über die Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände im Laufe der Vegetationsperiode (Selostus: Männikön juurisuhteiden kasvukautisesta vaihtelusta). AFF 65.1.

Kokkonen, P. 1923. Beobachtungen über das Wurzelsystem der Kiefer in Moorböden. AFF 25.11.

Laitakari, E. 1927. Männyn juuristo. Morfologinen tutkimus (Summary: The root system of pine *(Pinus silvestris)*. A morphological investigation). AFF 33.1.

—»— 1934. Koivun juuristo. (Summary: The root system of birch *Betula verrucosa* and *odorata)*. AFF 41.2.

Malmström, C. 1935. Om näringsförhållandenas betydelse för torvmarkers skogsproduktiva förmåga (Referat: Über die Bedeutung der Nährstoffbedingungen für das waldproduktive Vermögen der Torfböden). MS 28, s. 571—650.

—»— 1952. Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. MTJ 40.17.

Mattila, S. 1966. Tilastotiede. I.

Multamäki, S. E. 1923. Tutkimuksia ojitettujen soiden metsänkasvusta (Referat: Untersuchungen über das Waldwachstum entwässerter Torfböden). AFF 27.1

Paavilainen, E. 1966 a. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juurisuhteisiin (Summary: On the effect of drainage on root systems of Scots pine on peat soils). MTJ 61.1.

—»— 1966 b. Istutettujen männyn taimien juuriston ensi kehityksestä tupasvilla-rämeellä (Summary: Initial development of root systems of Scots pine transplants in an *Eriophorum vaginatum* swamp). MTJ 61.6.

—»— 1966 c. On the relationships between the root systems of white birch and Norway spruce and the ground water table. (Selostus: Hieskoivun ja kuusen juuriston suhteesta pohjavesipintaan mustikkakorvessa). MTJ 62.1.

—»— 1967 a. Lannoituksen vaikutus rämemännikön juurisuhteisiin (Summary: The effect of fertilization on the root systems of swamp pine stands). FF 31.

—»— 1967 b. Männyn juuriston suhteesta turpeen ilmatilaan (Summary: Relationships between the root system of Scots pine and the air content of peat). MTJ 63.6.

Puustjärvi, V. 1962. Suometsien fosforiravitsemuksesta ja neulasten P/N-suhteesta neulasanalyysin valossa (Summary: On the phosphorus nutrition of wet peatland forests and on the P/N ratio in their needles). Suo 1962, s. 21—24.

Reinikainen, A. 1964. Kasvillisuustutkimuksia Kivisuon rahkaturvealustaisilla lannoitusaloilla (Referat: Vegetationsuntersuchungen auf dem Walddüngungsversuchsfeld von Kivisuo in Mittel-Finnland). FF 6.

—»— 1965. Vegetationsuntersuchungen auf dem Walddüngs-Versuchsfeld des Moores Kivisuo, Kirchsp. Leivonmäki, Mittelfinnland. MTJ 59.5.

Süchting, H. 1949. Lehrbuch der Bodenkunde und Pflanzenernährung. Hannover.

Themlitz, R. 1967. Aussagewert von Boden- und Nadelanalysen. International Potash Institute, Colloqium on forest fertilization, Jyväskylä, 1967.

Zöttl, H. 1964. Düngung und Feinwurzelverteilung in Fichtenbeständen. Mitt. St. Forstverw. Bayer. 34, s. 333—342.

AFF — Acta Forestalia Fennica
FF — Folia Forestalia
MA — Metsätaloudellinen Aikakauslehti
MS — Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut (Skogsförsöksanstalt)
MTJ — Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae.

ROOT STUDIES AT THE KIVISUO FOREST FERTILIZATION AREA

Summary

The effect of fertilization on the primary development of pine and ground vegetation roots in peat was studied. The field work was carried out at experiment no. I of the Kivisuo forest fertilization experimental field in the commune of Leivonmäki. This experiment was set up in May—June 1959. 2-year old (2 + 0) pine seedlings were planted at 2-meter spacings and broadcast-fertilized. The experiment consists of two series with replicate fertilization programs. The fertilizers used were calcium-ammonium saltpeter (25 % N), ground phosphate (33 % P_2O_5), and potassium chloride (50 % K_2O). Before fertilization, the phosphorus and potassium supplies were very low (table 1). The sample plots studied are described in table 2, their locations are given in figure 1, and the mean stand heights in table 3.

A method based on separating and measuring the roots in soil samples has been used. The horizontal area of the samples was 4 × 5 cm and their depth 21 cm. Fourteen samples were taken from each plot. The relationships of the sampling sites to the sample plot boundaries and the ditches were fixed in advance; the same relationships were used for each plot (figure 2). The samples were taken between May 31 and June 8, 1967. The samples were sectioned vertically into seven 3-cm parts; for each of these, the following determinations were made:

— length of pine roots
— number of pine short-roots
— length of ground vegetation roots
— total dry weight of pine and ground vegetation roots.

After these, the nitrogen, phosphorus and potassium contents of the roots from each sample plot were determined.

According to the results, fertilization caused an increase in the total amount of roots (table 4). In most fertilized plots, the root quantity was over twice that on the controls. The length of the pine root system had increased clearly only where phosphorus had been given, and of the ground vegetation roots also where only nitrogen and/or potassium had been given (table 5). Thus the application of phosphatic fertilizers had increased the relative portion of pine roots in the total. Phosphorus deficiency was thus the minimum factor limiting pine root growth in the experimental area.

Tables 6 and 7 and figure 3 show that the vertical distribution of roots was practically the same in fertilized and unfertilized sample plots. The roots on the ground vegetation were, on an average, deeper than those of pine. This depth difference was most pronounced in the sample plots receiving only potassic fertilizers. This indicates that potassium had penetrated to a slightly greater depth than the other nutrients and caused the deepening of the root systems of ground vegetation. This is not the case for pine roots, which are strongest affected by phosphorus.

Fertilization had no effect on the number of pine short-roots per root-dm or their vertical distribution (tables 8 and 9).

The phosphorus and potassium contents of the roots were correlated with the amount of these nutrients in the growing medium (figure 5 and 6). There was no correlation between the nitrogen content of the roots and the rate of nitrogen application (figure 4). In the formation of slender roots, the following nutrient quantities had been used in the Kivisuo experimental area for 1 000 kg dry matter (table 10):

N	6.7—12.3 kg
P	0.5— 1.5 »
K	0.8— 3.5 »

The nitrogen content of roots varied from 2.6 to 14.2 kg/ha, the phosphorus, from 0.2 to 2.0 kg/ha, and the potassium content from 0.4 to 4.5 kg/ha (table 10). The nutritional differences in the roots in unfertilized and variously fertilized plots were similar at all depths studied, to the depth of 21 cm (tables 11—13).

The average pine height and the total root length were correlated (figure 7). There was no correlation between the length of the ground vegetation roots and pine height (figure 8). Calculations of the correlation between the average pine height and the nitrogen, phosphorus and potassium contents and the N/P ratio of the roots gave the following coefficients:

		r
Mean pine height:	N	— 0.031
	P	0.659***
	K	0.089
	N/P	— 0.753***

The study leads to the conclusion that root analysis may be useful in determining the nutrient requirements of peatland forests. The phosphorus and potassium content of the roots seems to indicate the availability of these nutrients on the site. The phosphorus content and N/P ratio also seem to exhibit a correlation with the growth of the tree stand. Limiting values indicating phosphorus deficiency and marking the limit between well and poorly growing trees, were in this study the following (cf. also figure 9):

P	600 ppm
N/P	15 ·

GROWING STOCK MANAGEMENT IN CENTRAL EUROPEAN AND IN BRITISH FORESTRY

KULLERVO KUUSELA

SELOSTE:

PUUSTON JÄRJESTELY KESKI-EUROOPAN JA BRITANNIAN METSÄTALOUDESSA

HELSINKI 1968

Helsinki 1968. Valtion painatuskeskus

Preface

The Food and Agricultural Organization of the United Nations arranged an Ad Hoc Working Party on Forest Management April 1966 in Rome. In the papers and discussions of the meeting there was an obvious discrepancy between the principles of growing stock management in central European and in British forestry. As the problem is of vital importance also to Finnish forestry, the author of this paper applied for and received a travel grant from the National Research Council for Agriculture and Forestry to study the principles of growing stock management in central Europe and in Great Britain. The trip included Salzburg in Austria, Freiburg in Baden-Württenberg, and several places in England and Scotland, amongst them the Forest Research Station at Alice Holt Lodge. This paper proposes to analyse the discrepancies mentioned above and to outline a synthesis applicable to Finnish conditions.

I am greatly indebted to numerous scientists and forest officers in Austria, Germany and Great Britain with whom I discussed the topic. I should like to mention especially Prof. Dr. W a l t e r B i t t e r l i c h, Prof. Dr. M. P r o d a n, Prof. Dr. G. S p e i d e l, Mr. R. T. B r a d l e y and Mr. D. J o h n s t o n. Without their willingness to put their expert knowledge at my disposal, my study would have come to little.

I am grateful, also, to Prof. Dr. L a u r i H e i k i n h e i m o, who has read the manuscript and made many valuable remarks which have improved this paper.

Kullervo Kuusela

Contents

page

Introduction 5

Elements and objectives of forest enterprise 5
Actions of growing stock management 6
Criteria of success 7
Technical criteria 7
Economic criteria 7

Growing stock management in central European and in British forestry 10

Criteria of management 10
Stand establishment 11
Thinning 12
Rotation 13
Additional features in forest conditions 14

Notes toward synthesis 17

References — Kirjallisuus 30

Seloste — Summary in Finnish 32

INTRODUCTION

Elements and objectives of forest enterprise

Land, growing stock, and human activity are the principal productive elements in forestry as an economic activity. Land as a site for trees is the basic element on which the growing stock is established and maintained by inputs of capital and human activity. Growing stock as a producing element may be natural or man-made. It also represents capital accumulated with or without human activity and it is partly or totally convertable into money by cutting.

Although the fertility of land can be increased by improvement measures, the site quality is considered comparatively unchangeable. Growing stock, on the other hand, is very sensitive to treatments, which may have a strong and long lasting influence on the yield in future. Growing stock is a dynamic, changing and changeable element. It grows and is renewable. Parts of it are being continually removed in the form of end products. The average annual removal in Finland is approx. 4 percent of the growing stock, and the physical characteristics of the product trees are more or less equal with those trees needed in the forest as producing stock. All these features and the long period needed to grow trees from seedlings to mature stock serve to stress the importance of growing stock management.

The treatment in this paper is limited to the growing stock comprising stands of even-aged management. Each stand consists of trees of the same age established approximately at the same time.

The objectives of a forest enterprise may be both material and intangible (S p e i d e l 1965 a; 1967). The principal objective is usually profit and is defined as the maximum long term profitability in growing and selling trees. The objective can be expressed by technical and economic standards, by volume units and by money. The intangible objectives are difficult or impossible to estimate in terms of money. They may satisfy the personal, non-material needs of the enterpriser or they may be social benefits which satisfy the multiple needs of community. Often the non-profit objectives, such as the protective influence of the forest against erosion, are empediments from the economic point of view of the forest enterpriser. The discussion in this paper is limited mainly to the growing stock management aiming at material objectives.

The tree stands are the units of the growing stock. The revenue from each stand can be expressed as stumpage prices of the wood removed in thinnings and in the final cut. In the cases where trees are sold standing, the stumpage is the prize the enterpriser gets from the standing trees. If the trees are sold as timber at the road side, or to the user, the stumpage is the difference between the selling price and the logging, hauling, and other costs, including the profit from logging operations. It is considered to be the gross revenue from the growing and the selling of standing trees (net conversion surplus, Cost studies . . . , 1967).

The net revenue (operating surplus, Cost studies . . . , 1967) is the gross revenue minus the stand establishment costs, including the tending of young stands and the costs of administration. In a single stand there is a long time lag between the occurrence of the establishment costs and the revenues. The administration costs are estimated on an annual basis. In a forest consisting of numerous stands of different ages, the costs and revenues are calculated annually.

Actions of growing stock management

The principal steps in developing the growing stock are stand establishment including the tending of young stands, thinnings, and felling (final cutting). The time from the stand establishment to the felling, which is followed by the establishment of a new stand, is rotation in even-aged management. The actual rotation applied under changing market conditions may differ from the prescribed rotation. The latter is the time from stand establishment to maturity and it is described by physical or economic stand characteristics.

The stand can be established by natural seeding or by cultivation (artificial seeding and planting). Establishment of a new stand subsequent to the felling of the old one is called regeneration. Afforestation is the establishment of a stand on a site which has heretofore been treeless and usually put to uses other than forestry.

Thinning, or intermediate harvesting of a stand, is characterized as follows: Intensity is the average annual volume per unit area (hectare, acre, etc.) removed over a period of one or more thinning cycles. Weight is the volume per unit area removed in a particular thinning. Cycle is the number of years between successive thinnings. Type of thinning describes the qualitative nature of the thinning, which may be high or low thinning, etc. The prescribed combination of thinning procedures form a thinning regime (J o h n s t o n, etc., 1967).

The choice of tree species and of stand types for different site quality classes determines the productivity of the growing stock for a long time. Damages caused by diseases, windfalls, destructive cutting, etc., and the possibilities of using new, fast-growing tree species call for the estimation of the productivity of current stands which are immature on the basis of the prescribed rotation. If the felling of the current stand and the establishment of a new one is considered to be more profitable than growing the current stand, the latter is regenerated as having been poorly productive.

Criteria of success

Technical criteria

Although the objectives of the growing stock management are essentially economic, they are often defined by physical or technical standards which are used either as substitutes for the more complex economic standards, or because of theoretical misconceptions, there are no generally accepted economic criteria. For example the greatest profit is considered attainable by selecting tree species having the highest rate of growth and by applying a thinning regime and a rotation of the highest mean volume yield per unit area. Under variable market conditions the objective may be defined: to produce the highest mean yield of pulp wood, saw timber, etc., per unit area.

The technical criteria are more easily grasped than the economic, and by using them, many difficulties in predicting the market conditions for the distant future can be, at least temporarily, ignored. The decision to use technical criteria may be based on economic analyses, or intuitively grasped relations between the technical and economic criteria. However, the technical and physical standards are very often used to satisfy particular silvicultural practices or bio-romantic ideas preferred by the managers who do not question the cost of their preferences.

Economic criteria

The economic evaluation of the management practices has been difficult because the lack of agreement on the proper techniques for assessing the consequences of alternative procedures. »Forestry . . . . . has witnessed continuing controversy between the views of economists concerned to see that forests produce the highest contribution to profit, taking into account the time between investment and return, and the more romantic foresters concerned to achieve big annual profits without particular regard to the capital employed or the time taken to build it up.» (J o h n s t o n, etc., 1967, p. 111).

There are several economic standards which can be used to estimate the economic success of a single stand or of a forest of many stands. Many general principles of growing stock management can be worked out using the methods which take the forest as an analysis unit, but the consequences of alternative procedures in most cases can be estimated by single stand methods only.

Net annual income (forest rent) can be applied in a single stand or in regulated forest considerations (Keltikangas 1966). Net income of a stand is the surplus of gross income from thinnings and felling over costs of stand establishment and administration during the rotation. Divided by the number of years in the rotation, it gives the net annual income. The time element, i.e., the time lag between costs and income, and the cost of capital or the possibilities for alternative uses of capital do not come under consideration.

Net annual income of a forest is the surplus of the average annual gross income over annual expenses. In a regulate forest (normal forest consisting of stands in different age classes on equal areas) it equals the mean net annual income of the unit stand. The net annual income is an applicable measure of succes in theoretical considerations and in cases where the forest is approximately fully regulated, but in forests of uneven age class conditions it is an inaccurate criterion of success because the area of fellings and consequently the gross income of a given year may be exceptionally high or low.

The net discounted revenue of a project is the difference between discounted revenues and discounted expenditures using a predetermined rate of discount in the calculation. In the case of growing a stand the net discounted revenue at the time of the stand establishment has been called soil expectation value. It measures the profit discounted to the beginning of the single project (stand establishment, thinning regime, growing a stand during a rotation, etc.) assuming a predetermined cost, expressed in the discount rate, to the capital invested in the project. The cost of capital may be said to measure the benefits lost because of the time lag between the investment and revenue. There are assumed to be alternative uses for the capital available and the discount rate is the measure of the estimated earnings from these alternative investments, or in other words, the measure of the opportunity cost of the capital invested in the project (Keltikangas 1941; Johnston, etc., 1967).

If the net discounted revenue as a criterion of success is applied in the production process of a single stand, the process is continued until a marginal rate of return set by the discount percentage is reached and the net discounted revenue is zero (Davis 1967, pp. 222—244). Thus a forest where each growing stock treatment is controlled by the net discounted revenue and where each treatment giving the net discounted revenue less than zero

is abandoned, is a going concern functioning on the marginal rate of return expressed by the discount rate. The average overall rate of return from the forest where the growing stock treatments are conrolled by the net discounted revenue is greater than the discount rate because all projects and treatments having smaller earning power than the discount rate are abandoned.

Another measure of investment earning power is the internal rate of return on a single project. It measures the interest earned on the total sum of money invested, while the net discounted revenue estimates the profit assuming a predetermined cost of the capital. In calculating the net discounted revenue, the discounting rate which gives the net revenue zero is the internal rate of return. The internal rate of return is not considered as an appropriate criterion nor as control of successful management as the net discounted revenue (Johnston, etc., 1967). This opinion is obviously correct if forestry is admitted to be or forced to be carried out in conditions of the predetermined opportunity cost of the capital.

The marginal rate of return is an economic criterion applicable in managing the existing growing stock as an accumulated capital convertable into money under the conditions of an opportunity cost of the capital (Davis 1967, pp. 457—460). The net income from a regulate forest can be increased to its highest point by increasing the prescribed rotation, mean volume and the felling volume of the growing stock.

In the marginal analyses of input — output relationships the increase of net income is compared to the required increase of growing stock value, and this relationship, expressed in percentage, is the marginal rate of return. Maximization of the net income occurs when the marginal increase of the growing stock value no longer increases returns. At this point the marginal rate of return is zero, which is acceptable if there are no possibilities for alternative investments outside the project, and if the opportunity cost of capital is zero. If there are possibilities for alternative investments, the increase of the growing stock value is stopped at the point where the marginal rate of return equals the opportunity cost of the capital.

The following relationships between the economic criteria mentioned above are worth mentioning: The marginal rate of return is zero in a regulate growing stock having the rotation of maximum net annual income. The rotation in a growing stock of a regulate forest which is managed, e.g., at 3 percent as the marginal rate of return, approximately equals the rotation of the maximum net discounted revenue by discounting at the rate of 3 percent in the case of a single stand.

GROWING STOCK MANAGEMENT IN CENTRAL EUROPEAN AND IN BRITISH FORESTRY

Criteria of management

The objectives of central European forestry are in most cases defined in technical terms. The main objective is to produce timber needed by the community in the greatest amounts and of best quality (e.g. Dienstanweisung . . . , 1960; S t e i n l i n 1966). Many decisions, e.g. concerning the number of plants per hectare, and the desirable mixture of deciduous species, are based on silvicultural theories without economic consideration proper.

Although not always explicitely defined, the economic criterion of success is the net annual income per hectare calculated for the forests as going concerns. Because most forests and especially those publicly owned have been for at least 100 years under regular management and are more or less fully regulated, the net annual income can be estimated on the basis of the annual business statistics. However, the manager has no definite standard by which to estimate the value of alternative courses of action. Decreasing net income calls for more economic management, but it does not tell explicitly where the increased costs should be most urgently eliminated.

Along with the material objectives the social benefits of forests are emphasized especially in the mountainous areas and in the neighbourhood of urban centers. The social benefits of the forest are often an acceptable excuse for the small net income.

In British forestry the net discounted revenue is the criterion of success. At least in theory, a project is acceptable only if it earns at least 3.5 percent interest on the capital invested and a project which earns a greater net discounted revenue is preferred to the project which earns a smaller revenue. The Government's investment policy is based on the rate of 5 percent as opportunity cost and the real timber prices are expected to increase 1.5 percent per annum (J o h n s t o n, etc. 1967). However, a marginal rate of return markedly smaller than 5 percent is acceptable in many public projects because of their social benefits.

Stand establishment

A dominant feature in central European forestry is the establishment of stands sufficiently dense to utilize fully the site productivity and to improve the quality of the tree stems by self-pruning. In most production forests the stands are regenerated by cultivation. The number of spruce plants (2 + 2 years old) per hectare is at least 5 000 per hectare and the number of pine plants (1 + 1 years old) 15 000—20 000 per hectare. According to the current statistics the average number of plants per hectare of regenerated area has been about 12 000 (A d o m a t 1965, S t e i n l i n 1966).

Ground preparation and weeding of young stands are intensive and fertilisers are used on sites of poor productivity. Regeneration from natural seeding is largely accepted on poor sites and in protection forests on mountains. In some management systems the natural seeding obtained by shelter and seed trees is a current procedure.

Since in many cases the net income from deciduous species such as beech and oak is negative (S t e i n l i n 1966), there is a tendency to regenerate deciduous stands into coniferous. On the other hand, in order to have a healthy forest a certain amount of deciduous mixture is considered desirable. For example, in Baden-Württenberg the optimum composition of tree species measured in percentage of volume is defined thus: Spruce 55, pine 10, beech 30, oak and other deciduous species 5.

One general objective is to keep all land capable of growing trees under forest. The area available for afforestation is limited to marginal fields.

In Great Britain, where the forest area is increasing as a result of the national afforestation programme, the objective is to have the site keep up a tree stand earning at least 3.5 percent interest on the establishment investment. Poorer sites are planted only because of the social benefits from the forest.

In order to eliminate all unnecessary establishment costs the number of plants per hectare in afforestation and in artificial regeneration is limited to the minimum for a fully stocked stand. Previously the number of plants was 3 000—3 500 per hectare, now it is 2 000—2 300. Ground preparation and weeding are intensive and fertilization of the planted areas is a current practice. It has been found profitable to guarantee the rapid development of planted seedlings.

Natural regeneration is comparatively rare and almost nonexistent on the peaty sites under the humid conditions of Scotland and western England. Natural seedlings are not accepted because the net discounted revenue of natural seedling stands, which are mostly native species such as Scots pine,

is smaller than the net discounted revenue of planted stands of high production species, such as Corsican pine and lodgepole pine. Natural seedlings are considered to be a part of harmful weed vegetation.

Thinning

The objective of thinning in central European forestry is to harvest those trees which would be wasted as mortality and to better the quality of standing stock. Thinnings start early in dense young stands, their intensity is comparatively low and the thinning cycle is 5—10 years. The type of thinning is to remove trees from below (Hilfstabellen . . . , 1965).

The density of standing stock is kept as high as is necessary for maximum volume production. Consequently the thinning yield in management tables is 35—40 percent of the total volume yield during the rotation. According to cutting statistics, it varies from 25—40 percent. This low thinning intensity is one cause of a large mean volume per hectare.

The thinning regime described above is carried out in public and in large private forests. In small private and in farm forests the thinning intensity is often higher than in public forests, and thinnings may be more or less of the selection type.

In Great Britain (Johnston, etc., 1967) the alternative courses of thinning are analysed on the basis of net discounted revenue, using a discount rate of 3.5 percent. The discounted revenue has been found to decrease with delay in thinning from 25 to 35 years, to increase with increasing weight of thinning and with decrease of v/V ratio (v is the average volume of thinned trees and V the average volume of standing trees before thinning). The discounted volume increases with delay in thinning from 25 to 35 years and with increasing weight, and is unaffected by the type of thinning. Thus it is more profitable to thin early than to delay the first thinning, with great than small weight, and from below than from above.

On the best sites and in cases of fast-growing species the thinning is prescribed to start at 17—25 years after stand establishment, and on poor sites with slow-growing species at 25—40 years. The normal thinning yield per annum from fully stocked stands is 70 percent of the maximum mean yield. Thus if the mean annual yield during a rotation of maximum mean yield is 10 m^3 per hectare the annual thinning yield is 7 m^3 per hectare during the thinning life. This means that about 45 percent of the total volume production is removed in the form of thinnings, and because the rotations in British forestry are shorter than in central European forestry, the British thinning intensity is markedly higher (Forest Management Tables, 1966; Bradley 1967).

The prescribed thinning cycle is 5 years. In fast-growing stands it can be 3—4 years and in slow-growing as well as in later ages 5—10 years. The rules can be adjusted according to the harvesting and roading conditions in order to guarantee economic extraction. In those areas where road construction costs are high, the first thinning and roading investment is often delayed in order to increase their profitability.

Thinning yield forecasts and control are based on the prescribed thinning yield as a fixed portion of the maximum mean yield given by the yield class number. In addition there are basal area tables which can be used in controlling the density of standing stock. Compared to central European conditions, in British forestry the stand density is lower and therefore the current volume production may be smaller than the full volume production.

Rotation

In accordance with the objective to produce the greatest amount of the most valuable timber per hectare, the rotation in central European forestry is near the rotation of maximum income per hectare. In public and in large private forests under continuous management, the optimum rotation is considered to be 110—120 years. Parts of stands are sometimes grown as an overstorey above the new generation longer than the prescribed rotation age. In small private and in farm forests the actual rotation is often 60—70 years but longer rotation also occur (S p e i d e l 1965). As an example of age class conditions the following table from Süd-Baden is presented (A b e t z 1955):

age class, years	0	1—20	21—40	41—60	61—80	81—100	101—120	121—140
				percentage				
farm forest	4	17	22	28	16	9	4	—
state forests	2	19	14	14	14	11	13	13
community forests	2	18	17	16	12	10	11	14

Owing to the long rotation and comparatively low thinning intensity, the mean volume of the growing stock is large, and according to the management inventories the mean volumes have been increasing in many districts during the past 100 years. The mean volume is regularly 250—300 m^3 per hectare (stem wood in solid measure up to 7 cm of diameter, including bark) under conditions where the annual removal is 6—7 m^3 per hectare. Thus the volume of the annual removal is only approx. 2.5 percent of the growing stock volume (S t e i n l i n 1966; Cost studies . . . , 1967).

The advantages of the long rotation are as follows: The regeneration and consequent expenditures occur on each site only once in 110—120 years. The current regeneration costs are smaller than in a forest managed with shorter

rotation. The current open area under regeneration is usually less than 1—2 % and the regeneration does not markedly decrease the protective influence of the forest. The proportion of large size timber in removal is high which has the advantage of keeping the logging costs low since they increase rapidly with decreasing tree diameter, especially with the use of the current logging machines. On the other hand, these advantages are offset by the low opportunity cost of capital, which is obviously about zero.

In British forestry the guide to optimum rotation is based on the maximum net discounted revenue assuming a particular pricesize relationship and the discount rate of 3.5 percent. Depending on the tree species and site productivity, the rotation of maximum net discounted revenue varies from 50 to 75 years (J o h n s t o n, etc., 1967, p. 331). In a generalized drillbook guide (B r a d l e y 1967) the ranges of rotations are presented within which the net discounted revenue does not fall more than £ 5 per acre below the maximum, a range allowable in practice. High production tree species on the best sites (maximum mean annual yield at least 20 m^3 per hectare) show the most critical relationship and a range of $\pm$ 5 years around the guide rotation. In slow-growing species and in the lowest yield class (maximum mean annual yield approx. 5 m^3 per hectare) the divergence of the number of years is 15 before and 25 after the indicated age of the guide rotation.

The optimum rotations are close to those of maximum mean annual volume yield. The prescribed guide rotation is shortest in the case of tree species growing fast at an early age (e.g., Corsican and lodgepole pine, larch, Sitka spruce and Douglas fir) on best sites, and longest in the case of tree species having a late culmination of the annual volume yield (e.g., Norway spruce) and on poorest sites (e.g., Scots pine).

The optimum felling age of a single stand is based on the future yield and costs of silvicultural operations for the existing crop, on the roading costs, costs for the regeneration, and on the revenue from the successor crop. Net discounted revenue is the criterion of the possible alternative courses. In practice, low yielding Scots pine and larch stands are often replaced as poorly productive at an early age by high yielding lodgepole pine and Sitka spruce.

Additional features in forest conditions

The current conditions in central European forestry show many features of a serious economic crisis (e.g. S p e i d e l 1966, 1967 a; Cost studies . . . , 1967). The profitability is very low in large areas, especially in farm forestry. In the case of deciduous species the net income is negative.

The main reasons for the decrease in profitability are these (S p e i d e l 1966, 1967; S t e i n l i n 1966; Forststatistische Jahrbücher, Baden-Württenberg; Cost studies . . . , 1967):

From the year 1955 to 1966 the prices of wood decreased 25 percent and since then they have remained approximately unchanged. On the other hand, the annual increase of labour costs has been 7—8 percent without a corresponding increase in labour productivity. The costs have increased 3 percent per annum per cubic meter since 1955. The portion of personnel costs have increased to 50—70 per cent of the total costs including harvesting. In the forests, which have been under regular management, the possible increase of wood production is estimated to be about 1 percent per annum and the possibilities of rationalizing and mechanizing the work are considered to be poorer under central European conditions than in northern Europe and in North America.

The following data illustrate the cost structure and net income in public forests of 300 000 hectares in Baden-Württenberg in 1966:

	per annum	
	DM/ha	DM/m³
Administration	88.3	15.3
Harvesting	101.4	17.6
Silviculture	46.6	8.1
Roading	36.0	6.2
Social costs	85.9	14.0
Other costs	18.6	4.1
Taxes	25.2	4.4
Total costs	402.0	69.6
Net income	45.4	7.9

In 1965 the net income by tree species in DM per m³ for spruce was 24.60, for pine 0.40, for beech —25.0 and for oak —26.50.

The silvicultural and especially the stand establishment costs are comparatively the greatest. The stand establishment without social payments costs 2 500—6 000 DM/ha and the total costs of stand establishment, silviculture and forest protection are in large areas 61—77 DM/ha or approx. 7 000 DM per annually regenerated area, assuming a 100-year rotation (A d a m a t 1965). The administration costs, also, seem to be rather heavy. Obviously there are possibilities for rationalization in the field of administration and silviculture.

Under conditions where the net annual income is the criterion of success there may be an unnoticed tendency to increase, for example, the stand establishment costs. Compared with the income from final felling the estab-

lishment cost is small and a small increase in it is seemingly negligible, even compared with the annual gross income of the forest. However, every small extra cost in stand establishment accumulates during a long rotation into a heavy burden on the profitability of tree growing. A reason for the crisis of central European forestry may be the use of unsuitable criterion of economic success.

British forestry is still in the stage of large scale investment in order to build up the growing stock needed for production. The portion of fellings is approx. 15 percent of the current annual removal, and the felling occurs mostly in poorly productive stands to be replaced before calculated maturity. Only single stands have reached the calculated felling age so far. Therefore it is too early to make definite comparisions between central European and British forestry. The stand establishment costs seem to be markedly smaller in British forestry where they vary depending on the ground condition £ 35—60 per acre (£ 86—148 per hectare).

Under the best market conditions the calculated profitability is obviously attainable. The increasing labour and personnal costs are a problem in British forestry, also, and there are signs that in many areas the prescribed 3.5 percent marginal rate of return may not be attainable (comp. M u t c h 1967). In Scotland the sites poorer than the yield class of approximately 140 H.ft (equals the maximum mean annual volume yield of 12 m^3 per hectare) are not considered profitable for afforestation at the current stumpage price level. This means that a 3.5 percent rate of return is either too high as an opportunity cost of capital invested in forestry, or that large areas of rather high productivity will remain unused for forestry. On the other hand, forestry offers work in serious unemployment areas and produces wood for dependent industries; it therefore may be classified as economic activity where low social opportunity cost of capital is acceptable.

NOTES TOWARDS SYNTHESIS

There is an obvious discrepancy between the basic principles of growing stock management in central European and in British forestry. Both areas have the basically same social and economic system. Although the central European growing stock is inherited, and the British growing stock is under an investment and building process, this does not seem to be a sufficient explanation. The crucial problem can be simplified by the determination of the optimum rotation. As one objective of this paper is to clarify the principles for Finnish conditions, the criteria of rotation are summarized using local yield, revenue and cost data.

The yield table, for example, illustrates the development and yield of Scots pine on Vaccinium forest site type (N y y s s ö n e n 1958). Development of the total volume yield and the volume of standing stock in the example stand is described in Fig. 1. (All volumes are in solid cubic meters of stem wood from stump to the top of tree, excluding bark.) The stand is supposed to undergo regular thinning, which is considered good silvicultural practice in Finland. The removed volume up to the age of 60 years is 46 % of the total increment, up to the of 80 years 54 %, and of 110 years 60 %. The current annual volume increment, mean annual volume increment and current annual increment of saw timber volume as functions of stand age are set forth in Fig. 2.

The principal physical characteristics as functions of rotation in a fully regulated forest based on the stand data are presented in Figures 3 and 4. The mean volume of the regulate forest, i.e., the growing stock volume tied to the production, increases rapidly with increasing rotation age. The rotation of maximum volume production is approx. 77 years.

In Finnish forestry there are three principal timber products (assortments). The most valuable is s a w t i m b e r. The minimum saw timber log length is approx. 16 feet and at least 6 inches in top diameter. The minimum top diameter of p u l p w o o d log 2 meters long is 8 cm and of s m a l l t i m b e r log 1 meter long it is 5 cm. The total of saw timber, pulp and small timber is the volume of usable wood.

The rotation of maximum usable wood production is approximately 82 years and of maximum saw timber production more than 110 years (Fig.4).

The net annual income per hectare as a function of stand age or rotation

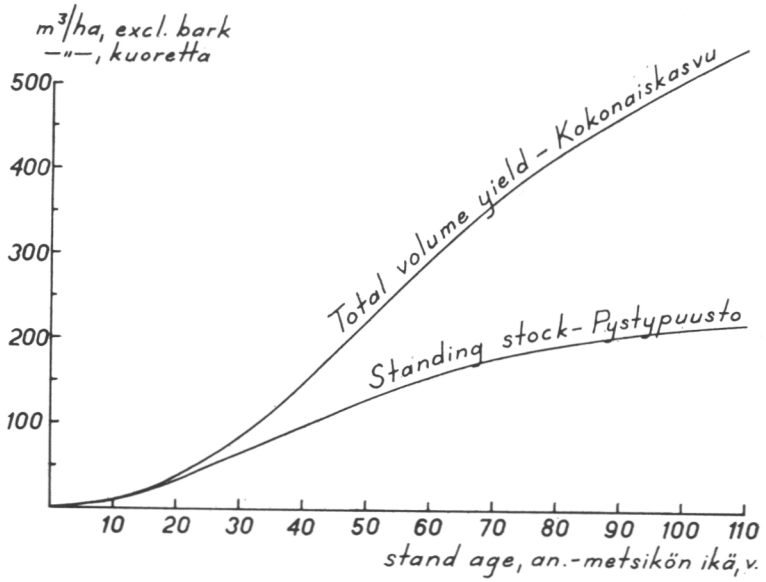


Fig. 1. Development of the total volume yield and standing stock in the example stand.

Kuva 1. Kokonaiskasvun ja pystypuuston kehittyminen esimerkkimetsikössä.

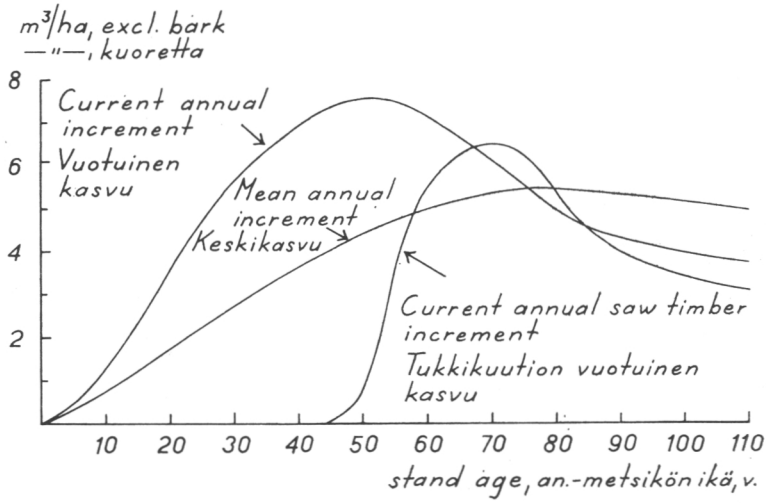


Fig. 2. Development of the current annual volume increment, mean annual volume increment and current annual increment of saw timber volume in the example stand.

Kuva 2. Vuotuisen kasvun, keskikasvun ja tukkikuution vuotuisen kasvun kehittyminen esimerkkimetsikössä.

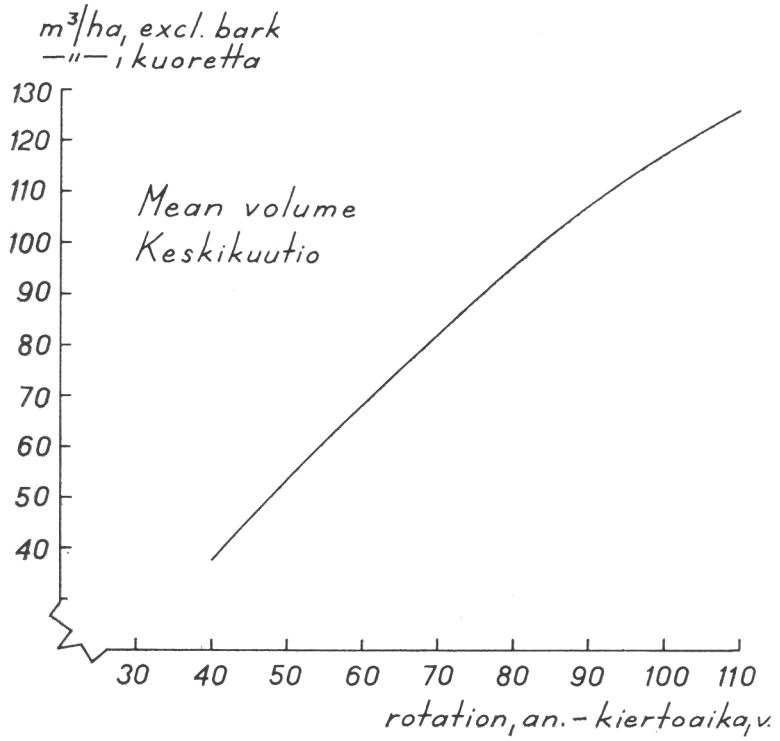


Fig. 3. Mean volume of regulate forest as a function of rotation.
Kuva 3. Normaalimetsän keskikuutio kiertoajan funktiona.

in the regulate forest is presented in Fig. 5. The net annual income from the regulate forest is the difference of gross income from thinnings and final felling and production costs. In the example the stumpage price of saw timber is 34.0—36.0 Fmk/m³, depending on the diameter of saw logs, of pulp wood 18.2 Fmk/m³, and of small timber 5.1 Fmk/m³. The production costs are in two parts. Administration costs (v) are fixed, i.e., they are assumed not to vary as a function of rotation, and are estimated at 10 Fmk per hectare per annum. Stand establishment costs (c) are variable, i.e., in the regulate forest their amount per annum varies as a function of rotation. The estimate of stand establishment costs is 600 Fmk per hectare. For example, if the rotation is 100 years, the stand establishment costs in a regulate forest are 6 Fmk per hectare per annum.

The rotation of maximum gross annual income is approx. 110 years and of maximum net annual income approx. 113 years. Increasing stand establishment costs increase the rotation based on this criterion. It can be mentioned in this connection that the maximum net annual income is attainable by a large mean volume (Figures 3 and 10).

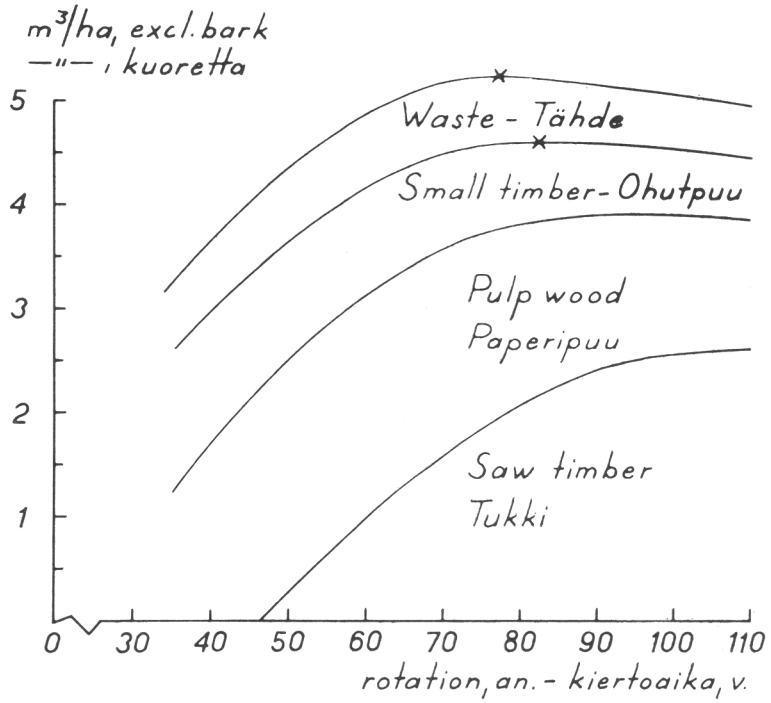


Fig. 4. Annual volume yield and yield in timber products in regulate forest as a function of rotation.

Kuva 4. Normaalimetsän vuotuinen kuutiokasvu ja tuotos puutavaralajeina kiertoajan funktiona.

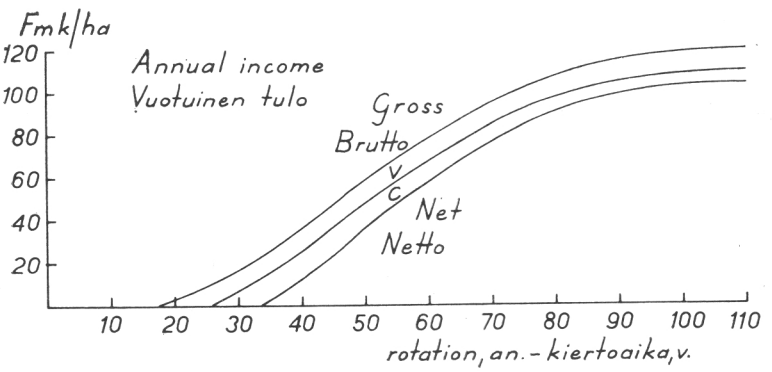


Fig. 5. Annual income in regulate forest as a function of rotation.

Kuva 5. Normaalimetsän vuotuinen tulo kiertoajan funktiona.

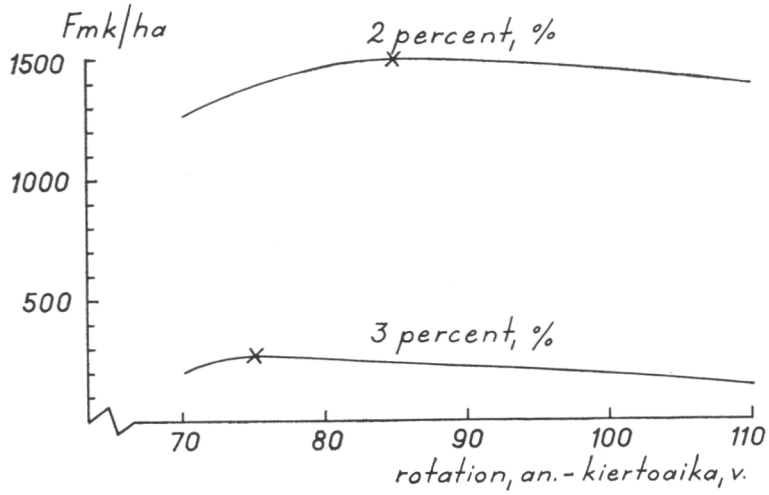


Fig 6. Net discounted revenue on 2 and 3 percent opportunity cost level of the example stand as a function of rotation.

Kuva 6. Esimerkkimetsikön diskontattu nettotulo kiertoajan funktiona kahdella vaihtoehtoissijoitusten korkotasolla.

Net discounted revenue earned by the stand establishment investment under the price and cost conditions of the example stand, assuming 2 and 3 percent as the opportunity cost of the capital, is presented in Fig. 6. The rotations of maximum net discounted revenue are correspondingly approx. 85 and 75 years. Using the rotation of 80 years the internal rate of return is 3.4 percent (Fig. 7). Thus under the price and cost conditions of the example stand the maximum opportunity cost of capital can be 3.4 percent and if it is higher the production costs must be decreased or if this is not possible, the forestry can not be continued as a profitable industry.

Marginal rate of return calculated as a percentage of the increased income against the corresponding increase of growing stock value in the regulate forest is presented in Fig. 8. Using the marginal rate of return as the criterion the rotation is approx. 74 years under conditions where the opportunity cost of capital is 3 percent, and approx. 83 years if the opportunity cost is 2 percent. These rotations equal in size class the rotations of maximum net discounted revenue under conditions where the discounting rate is 3 and 2 percent (Fig. 6). When the marginal rate of return or the opportunity cost of capital is zero, the rotation equals the rotation of maximum net annual income (Fig. 5).

Finally in Fig. 9 there are presented some percentages which illustrate the regulate forest as a going concern. At the rotation when the marginal rate of return is 2 percent the overall volume increment percentage (annual

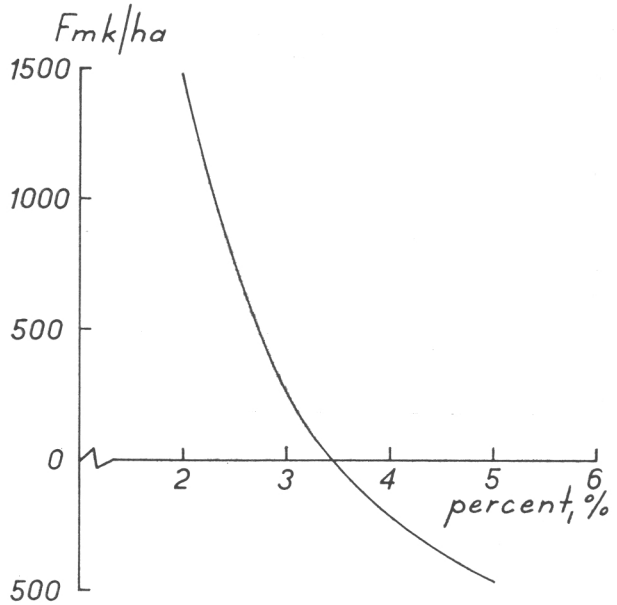


Fig. 7. Net discounted revenue of the example stand with rotation of 80 years as a function of discounting rate.
Kuva 7. Esimerkkimetsikön diskontattu nettotulo diskonttausprosentin funktiona, kun kiertoaika on 80 v.

volume increment against the growing stock volume) is 5.3, and the value increment percentage (annual value increment against the felling value of the growing stock) is 5.9. If the value, e.g. the market price, of the site is for example 300 Fmk/ha, the percentage of net annual income against the summation of the felling value of the growing stock and site value is 4.3.

On the basis of the discussion above an important conclusion is obvious: Forestry is an industry where the marginal rate of return is comparatively low. In the growing conditions of southern Finland and in accordance with the current interpretation of the law for private forestry, a pine stand on a Vaccinium forest site type is mature for felling at the age of about 80 years. The marginal rate of return of the regulate growing stock with the rotation of 80 years is approx. 2.2 percent. The current felling ages vary from 80 years to 110 years. A reasonable opportunity cost of capital in determining the relative value of alternative courses in growing stock management is 2—3 %. A markedly heavier opportunity cost would make forestry impossible as a profitable industry in large areas which are now forested. The rate of return of cultivation investments on the best sites can be 5—6 percent, on average sites it is 3—4 percent and in northern Finland approx. 2 percent.

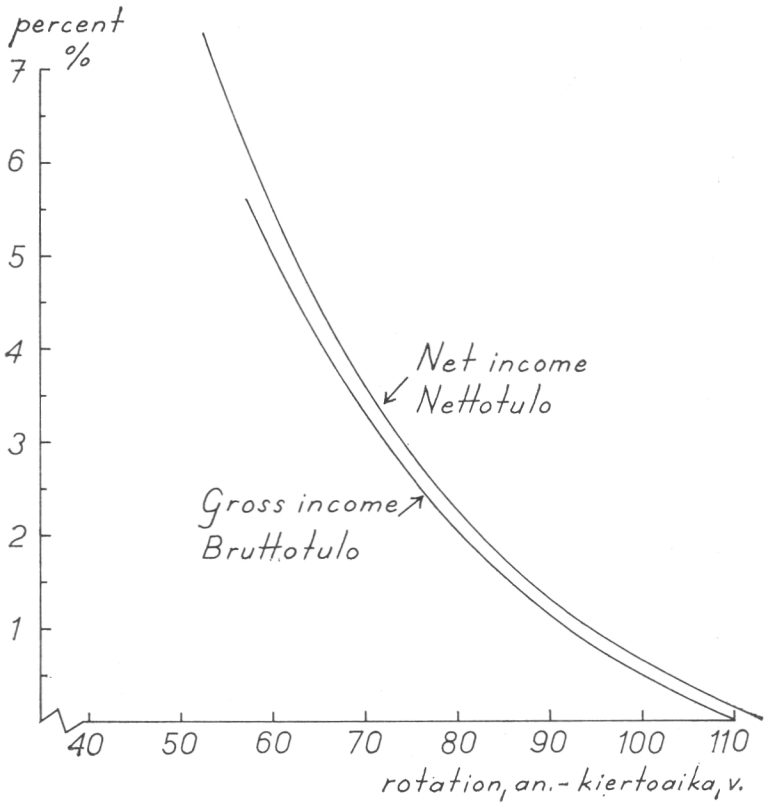


Fig. 8. Marginal rate of return in the regulate forest as a function of rotation.

Kuva 8. Normaalimetsän suhteellinen rajakannattavuus kiertoajan funktiona.

On the other hand, the growing of wood, once started by establishment investment, is a cost free, natural process, which is a great advantage compared with those of most other industries (H e i k i n k e i m o, etc., 1967).

The difference between the principles of growing stock management of central European and of British forestry can be illustrated and clarified by the following schematic calculation in Table 1 and Fig. 10. The marginal rate of return or the opportunity cost of capital is assumed to be 3 percent; i.e., the enterpriser, either a private person, company or government, is capable of earning 3 percent by investments outside forestry which is the marginal rate of return from a regulate forest based on a rotation of 75 years. In order to increase the income from the forest where the rotation is 75 years the enterpriser has to increase the rotation and mean volume (Figures 3 and 10) and to decrease the marginal rate of return. The maximum

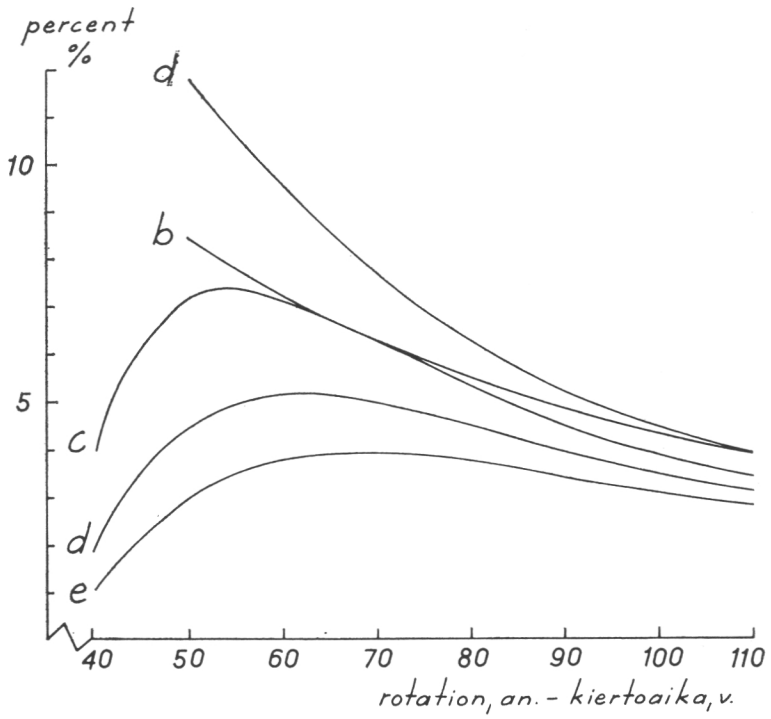


Fig. 9. Value increment percentage (a), volume increment percentage (b), net annual income against the summation of the felling value of the growing stock and site value = 0 (c), = 300 Fmk/ha (d), = 700 Fmk/ha (e), all as functions of rotation of regulate forest.

Kuva 9. Arvokasvuprosentti (a), kuutiokasvuprosentti (b), vuotuisen nettotulon suhde puuston hakkuuarvon ja maanarvon summaan kun maanarvo on 0 (c), 300 mk/ha (d) ja 700 mk/ha (e). Kaikki nämä tunnukset ovat normaalimetsän kiertoajan funktiona.

net income will be reached at the rotation of 110 years after saving and investing 1 650 Fmk/ha in the growing stock. This would increase the net income by 18 Fmk/ha per annum. On the other hand, an amount of capital which equals this increase of growing stock value would earn 49.5 Fmk per ha per annum in alternative investments. Under these economic conditions it is obviously unprofitable to attain a higher income than 85 Fmk per ha per annum from the forest at the cost of decreasing marginal rate of return.

In the lower part of Table 1. there is an example which illustrates the importance of rotation decisions in the scale of national economy. A regulate forest on an area of 10 mill. ha and with the rotation of 110 years is changed into a regulate forest with the rotation of 75 years without changing the uses of wood in dependent wood processing industries, and investing the released capital in investments outside forestry earning an interest of 3 percent. Since the saw timber yield decreases, a sum of money is to be used

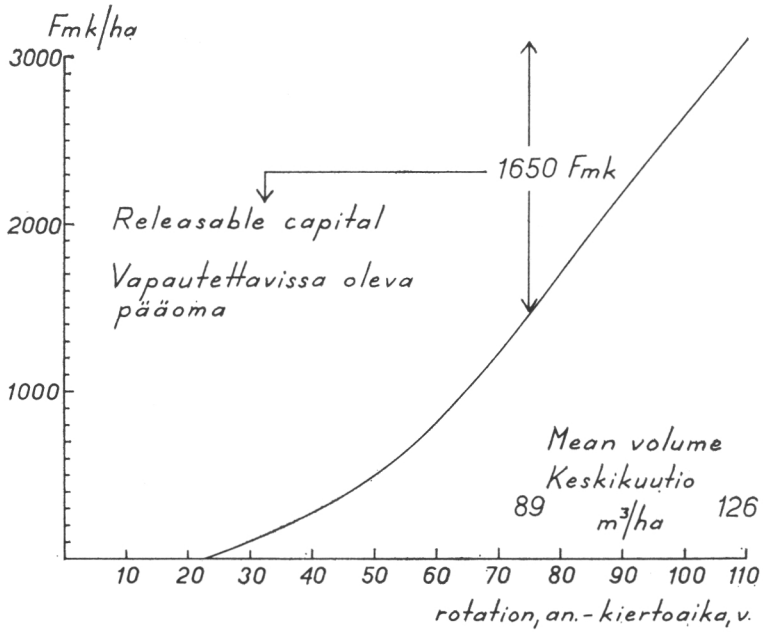


Fig. 10. Felling value of the growing stock of regulate forest as a function of rotation and the releasable capital from changing the rotation from 110 years to 75 years.

Kuva 10. Normaalimetsän puuston hakkuuarvo kiertoajan funktiona ja vapautuva pääoma, kun kiertoaika lyhennetään 110 vuodesta 75 vuoteen.

to purchase the needed amount of saw timber, part of which is earned by selling the increased amount of pulp wood (including the small timber). In the total results the net income from the forest decreases from 1 030 million to 850 million Fmk per annum; the capital income from other industries is 495 million Fmk, and 115 million Fmk are used for purchasing the needed amount of saw timber. The total increase of income in the national economy is 200 million Fmk as a result of changing the rotation and investing the released capital (16 500 million Fmk) in other industries.

This example, although possibly not realisable in practice, illustrates the principal reason for difference between the central European and the British principles of growing stock management. In most cases those who administrate forestry are not capable of utilizing the possibilities of alternative investments outside forestry, and they want to keep the almost idle marginal amounts of growing stock volume in their hands in order to increase the net income, despite the small marginal rate of return. This course of action is not advisable from the point of view of those responsible for the well-being of the national economy.

Table 1. The economic results of regulate forests based on two rotations and under conditions where the interest of marginal capital from alternative investments is 3 and 0 %.
Taulukko 1. Kahden kiertoajan normaalimetsän taloudellinen tulos, kun rajapääoman vaihtoehtoisten sijoitusten korko on 3 ja 0 %.

Marginal rate of return, % — *Suhteellinen rajakannattavuus, %*	3			0
Rotation, years — *Kiertoaika, vuotta*	75			110
Net income from the forest, Fmk/ha/an — *Nettotulo metsästä, mk/ha/v.*	85			103
Difference of net incomes — *Nettotulojen erotus*		18		
Felling value of growing stock, Fmk/ha — *Puuston hakkuuarvo, mk/ha*	1 450			3 100
Difference of felling values — *Hakkuuarvojen erotus*		1 650		
Income from alternative investments: — *Tulo vaihtoehtoisista sijoituksista:* 3 % × 1 650 Fmk/ha/an.—*3 % × 1 650 mk/ha/v.*	49.5			—
Total income, Fmk/ha/an. — *Kokonaistulo, mk/ha/v.*	134.5			103.0
Difference of total incomes — *Kokonaistulojen erotus*		31.5		
Saw timber yield, m³/ha/an. — *Tukkien tuotos, m³/ha/v.*	1.8			2.6
Difference of saw timber yields — *Tukkien tuotoksen erotus*		0.7		
Pulp wood yield, m³/ha/an. — *Pinotavaran tuotos, m³/ha/v.*	2.8			1.9
Difference of pulp wood yield — *Pinotavaran tuotoksen erotus*		0.9		
Yield of usable wood, m³/ha/an. — *Käyttöpuun tuotos, m³/ha/v.*	4.6			4.6

Total result if the rotation is changed from 110 years to 75 years in a regulate forest of 10 mill. ha without changing the use of wood — *Kokonaistulos, jos 10 milj. ha:n metsässä 110 vuoden kiertoaika muutetaan 75 vuodeksi muuttamatta puun käyttöä*

Saw timber to be purchased — *Ostettava tukkia*	0.7 m³/ha/an.		25.2 Fmk/ha/an.	
Saleable pulp wood — *Myytävissä pinotavaraa*	0.9	»	13.7	»
Difference needed for purchasing saw timber — *Tukin ostoon tarvittava erotus*			11.5	»
Rotation years — *Kiertoaika, vuotta*	75		110	
Net income from forestry, mill. Fmk/an. — *Nettotulo metsätaloudesta, milj. mk/v.*	850		1 030	
Capital income from other industries, mill. Fmk/an. — *Pääomatulot muualta, milj. mk/v.*	495		—	
Money needed for purchasing saw timber, mill. Fmk/an. — *Tarvittava raha tukkien ostoon, milj. mk/v.*	115		—	
Total income, mill. Fmk/an. — *Kokonaistulo, milj. mk/v.*	1 230		1 030	
Increase of total income as a result of changing rotation, mill. Fmk/an. — *Kokonaistulon lisäys kiertoajan muuttamisesta, milj. mk/v.*		200		

In individual cases the principles of growing stock management are dependent on the type of enterpriser (e.g., K i l a n d e r 1966). In farm forestry the short rotations and heavy thinnings are common courses of action because an average farmer has numerous alternative uses of capital. In public forests the rotations tend to be markedly longer than in private forestry because the employees of public enterprisers have only one alternative use for capital, to produce timber. On the other hand, the great amount and value of growing stock has many advantages. In changing wood price conditions a forest enterpriser who has big volume in old stands is capable of earning more in a time of high prices than an enterpriser who has a smaller and younger growing stock. An enterpriser who has specialized in forestry and who has not a banker's ability to handle capital, is satisfied with high income per unit area and a small marginal rate of return. Sometimes the taxation policy favours the owners of growing stock producing the maximum yield. An enterpriser who grows timber and carries out industrial processing of wood may find it profitable to have a lower marginal rate of return in forestry than in the processing industry. Thus varying criteria of success are necessary in varying economic conditions.

From the point of view of the current Finnish conditions the alternative uses of capital in the growing stock offer some noteworthy possibilities. Continuous production of wood for the enlarged forest industries requires the realization of a large national forest improvement programme (E r v a s t i, etc., 1965). The main objectives are regeneration of poorly productive stands, and peat land improvements by ditching, fertilizing and afforesting. The annual area of forest cultivation is planned to be about 300 000 ha in 1972 and the current swamp diching area is already more than 250 000 ha per annum. The area of productive stands is markedly increasing. Although there are corresponding public financing plans, the main difficulty in implementing the forest improvement programme is to find capital for improvement investments. The current growing stock and alternative courses for its management offer financing possibilities, which are illustrated in Table 2.

It is assumed that a forest on an area of 100 hectares and managed on a 90-years rotation and with a marginal rate of return of 1.1 percent (compare Fig. 8), the enterpriser has a chance of increasing his forest area by site improvement and cultivation measures on an area of 10 hectares where the new stands are assumed to grow as the example stand presented in Figures 1, 2, 6, 7.

If the enterpriser decreases the rotation from 90 years to 80 years and uses part of the released capital in stand establishment investments on the available area of 10 hectares and if the stand establishment costs are not more than approx. 1 200 Fmk/ha, he will increase his wood production and his annual income and decrease the marginal rate of return of the growing

Table 2. Two alternative courses for managing a forest area.
Taulukko 2. Kaksi vaihtoehtoa metsätalouden harjoittamiseksi samalla alueella.

	Rotation 90 years *Kiertoaika 90 vuotta*	Rotation 80 years *Kiertoaika 80 vuotta*
Area available for afforestation — *Metsitettävissä oleva alue*	10 ha	—
Forested area — *Metsitetty ala*	100 ha	110 ha
Timber production per annum — *Tuotos vuotta kohti*	460 m^3	506 m^3
Net annual income — *Nettotulo vuotta kohti*	9 800 Fmk	10 000 Fmk
Growing stock volume — *Puuston kuutio*	10 700 m^3	10 500 m^3
Felling value of growing stock — *Puuston hakkuuarvo*	220 000 Fmk	187 000 Fmk
Fifference of felling values of growin stock — *Puuston hakkuuarvojen erotus*	33 000 Fmk	

stock (Table 2). During the increase of productive forest area the supply of timber is increased immediately, there will be a continuous increase in timber production and the forest improvement measures will be financed on the own capital. This process is possible in Finland where the current rotations in the southern part of country are 90—110 years and where there are over-aged stands on large areas, especially in the northern part of country.

To the criteria of the growing stock management discussed above, the marginal rate of return and net discounted revenue seem to be most applicable. The use of both presupposes determination of the opportunity cost for the capital accumulated in the growing stock, or planned investment in alternative projects.

Since an enterpriser who has only the possibility of carrying on forestry as his trade can maximize his income from a certain area by decreasing the marginal rate of return to zero, the smallest reasonable opportunity cost is zero.

The greatest reasonable opportunity cost under Finnish conditions is based on the growth of stands, current price-cost relationships. The earning power of the total sum of money invested in artificial stand establishment on the best sites in southern Finland is 6 percent, on average sites 4.5—5.5 percent and on the poorest sites 3 percent. In northern Finland on the best sites it is about 2.5 percent. Those estimates, calculated on data of fully stocked sample plot stands, may be considered as maximum estimates. Under the average timber growing conditions the expected internal rate of return on stand establishment costs is 3—4 percent in southern Finland and about 2 percent in northern Finland.

On the other hand the rotations in accordance with the law for private forests, show that the marginal rate of return in the current growing stock cannot be more than 2—3 percent. The felling age according to the data

from national forest inventories shows that the marginal rate of return is 0—2 percent in large areas, and even lass than zero in northern over-aged forests. As a conclusion, an enterpriser carrying on forestry as a trade has to be satisfied with 2—3 percent as the marginal rate of return.

Under regulate forest conditions, the marginal rate of return decreases with the increasing mean volume of growing stock, i.e., with increasing rotation and decreasing intensity of thinning. Thus the thinning regime and felling age decisions regulate the marginal rate of return in managing the current growing stock as an accumulated capital. If there is predetermined opportunity cost, e.g., 2 percent, these parts of the growing stock which are producing a lower marginal rate of return than 2 percent are thinned or replaced by new, faster growing stocks.

The net discounted revenue regulates the investment policy. The value and preferability of every cost input is determined by its net discounted revenue using the same predetermined level of opportunity cost, which is used in marginal analysis, as the discounting rate. All projects which have a net discounted revenue less than zero are abandoned, while those having the highest net discounted revenue are preferred. Thus the following table may be used for deciding the employment of a limited amount of capital:

Project	Alternative cause of action	Net discounted revenue per 100 Fmk of invested money
A	A_1	70
	A_2	—13
	A_3	40
B		— 4
C		30
D	D_1	90
	D_2	50
E		—35

Obviously projects B and E and alternatives A_2, A_3 and D_2 will be abandoned so far as the consideration is carried out on a purely economic basis because they fail to meed predetermined level of opportunity cost. The preferability sequence of the acceptable projects are D_1, A_1 and C. If the projects D_1 and A_1 can only be realized under the ceiling of available capital, the project C will be abandoned, also.

As a final conclusion, the marginal analyses can be used as the criterion in managing the current growing stock as accumulated and producing capital, and the net discounted revenue in regulating the investment policy, both limited by the predetermined opportunity cost and available capital. If the capital can be loaned by the opportunity cost, the former is the only limit.

References — Kirjallisuus

Abetz, K. 1955. Bäuerliche Waldwirtschaft. Dargestellt an den Verhältnissen in Baden. Hamburg u. Berlin.

Adomat, R. 1965. Betriebswirtschaftliche Untersuchungen über die Holzarten Fichte, Forle, Buche und Eiche im Bad. — Württ. Staatswald. HZbl. 1965, s. 799.

Bradley, R. T. 1967. Thinning control in British Woodlands. Forestry Commission Booklet No. 17. 1967.

Cost studies in European Forestry. 1967. Kostnadsstudier i europeiskt skogsbruk. Edited by Einar Stridsberg & Karl Viktor Algvere. Studia Forestalia Suecica No. 49.

Davis, Kenneth H. 1967. Forest Management. New York, etc.

Dienstanweisung für die Forsteinrichtung in den Staats- und Körperschaftlichen Waldungen. 1960. Landsforstverwaltung Baden-Württenberg.

Ervasti, Seppo, Lauri Heikinheimo, Viljo Holopainen, Kullervo Kuusela and Gustaf Sirén. 1965. The development of Finland's forests in 1964—2000. Silva Fennica 117.

Forest Management Tables. Forestry Commission Booklet No. 16. 1966.

Forststatistische Jahrbücher. 1965. 1966. Baden-Württenberg.

Heikinheimo, Lauri, Kullervo Kuusela ja Sampsa Sivonen. 1967. Metsätalouden hinta-, kustannus- ja kannattavuusarvio. Suomen Pankin Taloustieteellisen Tutkimuslaitoksen Julkaisuja. Helsinki.

Hilfstabellen für Forsteinrichtung. 1965. Teil I und Teil II. Baden-Württenbergische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt. Abt. Biometric.

Johnston, D. R., A. J. Grayson and R. T. Bradley. 1967. Forest Planning. London.

Keltikangas, Valter. 1941. Korkoakorolle-periaate ja metsätalouteen pitkäaikaisesti sijoitettujen kustannusten kannattavuus. MA 1941, s. 176—179.

—»— 1966. Metsänkorko ja metsämaan korko rahoituskysymysten näkökulmasta. MA No. 11, 1966.

Kilander, Kjell. 1966. Economic aspects of forest management. WM/EFC: WPFM—66/5A. FAO. Rome.

Mutch, W. E. S. 1967. National forestry finance in Britain: a criticism of present policy. Scottish Forestry. Vol. 21 No. 4.

Nyyssönen, Aarne. 1958. Kiertoaika ja sen määrittäminen. Summary: Rotation and its determination. Metsäntutkimuslaitoksen Julkaisuja 49.

Speidel, G. 1965. Der Bauernwald als Problem der forstlichen Betriebswirtschaftslehre. AFZ 1965, s. 165.

—»— 1965 a. Die wirtschatliche Zielsetzung im Forstbetrieb. FHW. 1965, s. 242.

—»— 1966. Die Wirtschaftliche Lage der Forstbetriebe in der Bundesrepublik. FHW 1966, s. 230.

—»— 1967. Forstliche Betriebswirtschaftslehre. Hamburg und Berlin.
—»— 1967 a. Kann die Krise der deutschen Forstwirtschaft überwunden werden? AFZ 1967, s. 148.
S t e i n l i n, H. 1966. Ein Vergleich von Aufwänden und Erträgen in einer sogenannten »klassischen» und einer sogenannten »modernen» Forstwirtschaft. Baden-Württenbergische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt. Abt. Waldarbeit. Interne Mitteilung Nr. 11. Freiburg.

Abbreviations — Lyhennykset

AFZ = Allgemeine Forstzeitschrift
FHW = Der Forst- u. Holzwirt.
HZbl = Holz-Zentralblatt.
MA = Metsätaloudellinen Aikakauslehti.

SELOSTE:

Puuston järjestely Keski-Euroopan ja Britannian metsätaloudessa

Puuston järjestelyn ja metsänhoidon harjoittamisen tavoitteet on Keski-Euroopassa kuvattu pääasiassa käyttämällä puuston ja hakkuukertymän fyysisiä tunnuksia. Tavoitteeksi on yleensä asetettu tuottaa pinta-alayksikköä kohti mahdollisimman paljon ja mahdollisimman hyvälaatuisina sellaisia puutavaralajeja, joita yhteiskunta tarvitsee. Metsätalouden tuottavuuden kriteeriona on metsän korko, so. nettotulo pinta-alayksikköä kohti. Lukuunottamatta pienialaisia yksityismetsiä, puuston kuutiomäärä ja rakenne sekä noudatettu kiertoaika vastaavat niitä tunnuksia ja arvoja, jotka saadaan, kun tavoitteena on suurin nettotulo pinta-alayksikköä kohti. Vastaavasti puuston suhteellinen rajakannattavuus on likimääräisesti 0, so. puuston kuutiomäärä on niin suuri, että nettotuloa ei voi enää lisätä suurentamalla puuston kuutiomäärää. Yrittäjä toimii niinkuin hänellä ei olisi pääoman vaihtoehtoisen sijoituksen mahdollisuutta. Pienmetsien ja näistä ennen muuta maatilametsien omistajat soveltavat korkeimman metsänkoron kiertoaikaa lyhyempiä kiertoaikoja. Koska heillä on tarvetta, mahdollisuuksia ja he haluavat käyttää pääomansijoitusta metsätalouden ulkopuolella, he eivät kasvata metsiköitä yhtä vanhoiksi eivätkä yhtä tiheinä, kuin ne kasvatetaan valtion, julkisten yhteisöjen ja suurmetsänomistajien metsissä.

Keski-Euroopan metsätaloudelle on ominaista vaikea kustannuskriisi, so. metsätulo hehtaaria kohti on pienentynyt usean vuoden aikana. Osittain tämä saattaa johtua siitä, että kustannusten ja investointien kannattavuutta ei selvitetä ja että pienenevä metsän korko ei sinänsä osoita, mitkä osat puuntuotantokustannuksia ovat suhteellisesti eniten liian suuria.

Britannian metsätaloudessa pyritään investoinnit ohjaamaan, että ne tuottavat vähintään 5 %:n koron. Kannattavuuden kriteeriona on sijoituksen ajankohtaan diskontattu nettotulo. Kun puun hintojen oletetaan nousevan 1.5 % vuodessa, niin metsikön perustamiskustannuksille ja puun kasvatusmenoille asetetaan laskelmissa 3.5 %:n korkovaatimus. Tämän kannattavuuden tason saavuttaminen edellyttää pienempiä uudistamiskustannuksia, voimakkaampia harvennuksia ja lyhyempää kiertoaikaa kuin on havaittavissa Keski-Euroopan metsätaloudessa. Edellä mainittua alempaan kannattavuuden tasoon tyydytään silloin, kun metsätalouden sosiaaliset edut puoltavat sitä.

Diskontatun nettotulon käyttö kannattavuuden kriteeriona johtunee pääosaksi Britannian metsätalouden luonteesta. Varsinaisten talousmetsien perustaminen on alkanut noin 50 vuotta sitten ja yhä vielä metsätalous on paljaan maan metsittämisinvestointia. Varojen myöntäjät vaativat, että metsätalouden investoinnit ovat yhtä kannattavia kuin muut vastaavanlaiset pitkäaikaiset sijoitukset.

Suomen metsätaloutta koskevina päätelminä voidaan ensinnäkin suoritettujen kannattavuuslaskelmien perusteella todeta, että metsätalouden harjoittajan on tyydyttävä verraten alhaiseen vaihtoehtoisten sijoitusten korkotasoon. Yli 5 %:n korko on saatavissa vain sellaisille investoinneille, joissa voidaan käyttää olemassa olevaa

puustoa hyväksi tai kun metsikkö perustetaan poikkeuksellisen hyvälle kasvupaikalle. Paljaan maan metsitysinvestoinnille on tähänastisissa hinta- ja kustannusolosuhteissa odotettavissa maan eteläpuoliskossa keskimäärin 3—4 %:n korko ja Pohjois-Suomessa noin 2 %:n korko. Samoin yksityismetsälain tähänastisen soveltamisen mukaan metsiköt on kasvatettava niin vanhoiksi, että suhteellinen rajakannattavuus on 2—3 %. Toisaalta kerran alulle pantu puuston kasvutapahtuma on kiertoajan pituisen jakson kutakuinkin kustannukseton luonnon kasvuprosessi, jonka tuottaman raakapuun varaan voidaan perustaa suhteellisesti kannattavampaa jalostusteollisuutta. Tämän vuoksi kansantalouden kannalta on tarkoituksenmukaista pitää ne maa-alat, joita muut elinkeinot eivät tarvitse, puuta kasvavina.

Yksityistapauksissa puuston järjestelyn periaatteet ovat suuresti riippuvaisia yrittäjän luonteesta. Niinpä yksityismetsien ja ennen muuta maatilametsien omistaja, jolla on paljon vaihtoehtoisia pääomankäytön mahdollisuuksia, on taipuvainen käyttämään vahvoja harvennuksia ja suhteellisen lyhyttä kiertoaikaa. Tällöin hänen kokonaistulonsa muodostuvat suuremmiksi, kuin jos hän säilyttäisi suuria pääomia puustossa, jonka suhteellinen rajakannattavuus on pieni. Julkisessa metsätaloudessa kiertoajat ovat yleensä pitempiä ja keskikuutio suurempi kuin yksityismetsätaloudessa ja tämä näyttää johtuvan ennen muuta siitä, että julkista metsätaloutta harjoittavilla viranomaisilla ei ole muuta mahdollisuutta kuin pääoman käyttäminen puun kasvattamiseen.

Toisaalta metsänomistaja, jolla on suuri kuutiomäärä puuta metsässään, voi käyttää edukseen hintasuhdanteita ja saada tällä tavalla puulleen korkeamman hinnan kuin omistaja, jonka kuutiomäärä on pieni. Monilla metsänomistajilla ei ole myöskään ammattitaitoa käsitellä pääomia metsätalouden ulkopuolella, joten he pyrkivät saamaan mahdollisimman suuren tulon pinta-alayksikköä kohti. Joskus myös metsätalouden verotus suosii suurien puustopääomien pitämistä metsässä.

Puuston järjestelyä ohjaavista taloudellisista kriteerioista näyttää suhteellinen rajakannattavuus sopivalta silloin, kun harkitaan puustoon kertyneiden pääomien käsittelyä. Diskontattu nettotulo taas sopii investointien ohjaamiseen kannattavimpiin kohteisiin ja kustannusten tarkkailuun.

IV VALTAKUNNAN METSIEN INVENTOINTI

4. SUOMEN METSÄVARAT VUOSINA 1960—63

PAAVO TIIHONEN

FOURTH NATIONAL FOREST INVENTORY IN FINLAND

4. FOREST RESOURCES IN FINLAND IN 1960—63

SUMMARY IN ENGLISH

HELSINKI 1968

Helsinki 1968. Valtion painatuskeskus

Sisällysluettelo

Sivu

Johdanto 5

Tulosten esitystapa 6

Maa-ala pääryhmittäin 7

Puuston rakenne ja määrä 8
- Puulajien vallitsevuus 8
- Ikäluokkasuhteet 9
- Kehitysluokkasuhteet 11
- Keskikuutiomäärä 12
- Kuutiomäärä metsämaalla ja kokonaiskuutiomäärä 13
- Järeysrakenne ja tukkipuusto 15
- Keskikasvu 19
- Kasvu metsämaalla ja kokonaiskasvu 20

Inventointia edeltänyt metsien käsittely ja metsien metsänhoidollinen tila 22

Käsittelyn tarve 26

Hakkuusuunnite 28

Summary in English 29

Johdanto

Vuosina 1960—63 suoritettu valtakunnan metsien IV inventointi eroaa aikaisemmista inventoinneista sekä työn suunnittelun että käytännöllisen suorituksen osalta. Inventoinnissa rajoituttiin aluksi vain maan eteläpuoliskoon, jossa kenttätyöt suoritettiin kesäkausina 1960—61. Vuoden 1962 valtion tulo- ja menoarvioesitykseen sisällytetyn määrärahan turvin voitiin inventointia jatkaa myös maan pohjoispuoliskossa. Professori Yrjö Ilvessalon esityksen mukaisesti inventoinnin määräraha muutettiin mainitussa menoarviossa kiinteäksi vuotuismäärärahaksi, mikä teki mahdolliseksi saattaa IV inventoinnin kenttätyöt päätökseen maan pohjoispuoliskossa v. 1963 kesäkauden aikana. Samanaikaisesti voitiin ryhtyä suunnittelemaan kiinteän määrärahan puitteissa jatkuvaa inventointia. IV inventoinnin aikana saavutettiin siis etenkin käytännön metsätalouden kannalta edullinen muutos.

IV inventoinnin suoritustavasta johtuen julkaistiin inventoinnin päätulokset erikseen maan etelä- ja pohjoispuoliskosta, aluksi lyhyinä ennakkotietoina ja sitten täydellisinä jäljempänä mainituissa metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjan niteissä. Koko maata koskevan yhdistelmäjulkaisun laadintaa ei pidetty, inventoinnin suoritustavasta johtuen, aluksi tarpeellisena. Pian ilmeni kuitenkin, että käytännöllisistä syistä ja tulosten vastaisen vertailun kannalta oli perusteltua yhdistää ja julkaista maan etelä- ja pohjoispuoliskon inventoinnin keskeisimmät tulokset koko maata käsittävinä samassa julkaisussa. Tehtävään ryhdyttiin syksyllä v. 1966. Yhdistelmätyön tuloksena on valmistunut tämä julkaisu.

Tulosten esitystapa

Kuten johdannossa on viitattu, tähän julkaisuun on koottu eräitä aikaisemmin julkaistuja valtakunnan metsien IV inventoinnissa saatuja maan etelä- ja pohjoispuoliskoa koskevia päätuloksia. Osa maan eri osien ja pääosa koko maata koskevista tuloksista on laskettu tämän julkaisun laadinnan yhteydessä. Maan eteläpuoliskolla tarkoitetaan aluetta, joka käsittää eteläiset metsänhoitolautakuntien alueet Oulun läänin etelärajaan saakka, maan pohjoispuolisko käsittää mainitun rajan pohjoispuolella olevat Kainuun, Pohjois-Pohjanmaan, Koillis-Suomen ja Lapin metsänhoitolautakuntien alueet. Inventoinnin näytteen tiheyttä valaisee suppeasti taulukko 1.

Puuston kuvaus kohdistuu pääosiltaan ns. uuden käsitteen mukaiseen metsämaahan, joka sisältää vanhan käsitteen mukaisen kasvullisen metsämaan (I-maat), huonokasvuisen metsämaan parhaat kuviot (II → I-ryhmä) ja vähäisen määrän metsänkasvatusta silmällä pitäen ojitettuja joutomaasoita (III → I-ryhmä). Huonokasvuisen metsämaan heikoin osa (II → III-ryhmä) on liitetty joutomaahan (III-maat). Mainittuja luokkia samoin kuin maiden ryhmitystä ja luokitusta yleensä on selostettu jäljempänä mainittujen julkaisujen lisäksi etenkin julkaisussa: Yrjö Ilvessalo. 1965. Metsän-

Taulukko 1. Arvioimislinjojen pituus ja koealojen lukumäärä.
Table 1. Length of survey lines and number of sample plots.

Maan osa *Part of the country*	Metsämaalla *On forest land*	Yhteensä maa-alueella *On the total land area*	Vedet mukaan luettuna *Incl. water areas*
	Arvioimislinjaa, km — *Survey line, km*		
Eteläpuolisko — *Southern half*	3 979	5 903	6 924
Pohjoispuolisko — *Northern half*	2 772	4 643	5 042
Koko maa — *The whole country*	6 751	10 546	11 966
Maan osa	Koealojen lukumäärä — *Number of sample plots*		
Eteläpuolisko	15 480	16 412	—
Pohjoispuolisko	10 850	18 341	—
Koko maa	26 330	34 753	—

arvioiminen. Tässä julkaisussa esitettävissä III ja IV inventoinnin tulosten vertailuissa on laskentaperusteena ollut joko vanhan käsitteen mukainen kasvullinen tai koko metsämaa. Vertailua valaisevissa taulukoissa todetaan pinta-alan käsite, muissa taulukoissa on laskennan perusteena siis uuden käsitteen mukainen metsämaa.

Inventoinnin kenttätöiden ja tulosten laskennan yksityiskohtaisen suorituksen suhteen viitataan seuraaviin julkaisuihin.

Yrjö Ilvessalo. 1962. IV valtakunnan metsien inventointi. 1. Maan eteläpuoliskon vesistöalueryhmät. *Summary:* Fourth national forest inventory. 1. Southern water system areas. — Metsäntutkimuslait. julk. (MTJ) 56. 1.

—»— 1963. IV valtakunnan metsien inventointi. 2. Maan eteläpuoliskon metsänhoitolautakuntien alueryhmät. *Summary:* Fourth national inventory. 2. Southern forestry board districts. — MTJ 57. 4.

Kullervo Kuusela ja Paavo Tiihonen. 1964. Suomen metsävarat ja niiden kehittyminen vuosina 1951—63. *Summary:* Forest Resources of Finland and their development in 1951—63. — Metsätaloud. Aikakauslehti No 8.

Paavo Tiihonen. 1965. Suomen eteläpuoliskon metsien puuston rakenne kehitysluokittain vuosina 1960—61. *Summary:* The structure of the growing stock of the forests in the southern half of Finland by development classes in 1960—61. — MTJ 60. 1.

—»— 1966. IV valtakunnan metsien inventointi. 3. Maan pohjoispuoliskon vesistöjen ja metsänhoitolautakuntien alueryhmät. *Summary:* Fourth national forest inventory in Finland. 3. Northern water system areas and forestry board districts. — MTJ 60. 6.

—»— 1967. Suomen pohjoispuoliskon metsien rakenne kehitysluokittain vuosina 1962—63. Valtakunnan metsien IV inventoinnin tuloksia. *Summary:* The structure of the forests in the northern half of Finland by development classes in 1962—63. Results of the fourth national forest inventory. — MTJ 62. 3.

Maa-ala pääryhmittäin

Taulukko 2 valaisee kokonaismaa-alan jakaantumista inventoinnissa erotettuihin kolmeen pääryhmään. Taulukon metsämaa tarkoittaa uuden

Taulukko 2. Maa-alan jakaantuminen pääryhmiin.
Table 2. Distribution of the land area into main groups.

Maan osa *Part of the country*	Metsämaata *Forest land*	Joutomaata *Waste land*	Viljelys- yms. maata *Cultivated land, etc.*	Yhteensä maata *Total of land*
	1 000 ha ja % — *1 000 hectares and per cent*			
Eteläpuolisko — *Southern half*	10 822	1 464	3 804	16 090
	67.3	9.1	23.6	100.0
Pohjoispuolisko — *Northern half*	8 630	5 317	503	14 450
	59.7	36.8	3.5	100.0
Koko maa — *The whole country*	19 452	6 781	4 307	30 540
	63.7	22.2	14.1	100.0

Taulukko 3. Metsämaa v. 1960—63 ja 1951—53.
Table 3. The forest land area in 1960—63 and 1951—53.
Vanhan käsitteen mukaiset metsämaan luokat — *Forest land of the former concept*

Maan osa *Part of the country*	Inventointi *Inventory*	Kasvullista *Productive*	Huonokasvuista *Poorly productive*	Yhteensä *Total*
		metsämaata — *forest land* 1 000 ha — *1 000 hectares*		
Eteläpuolisko — *Southern half*	1960—63	9 821	1 623	11 444
	1951—53	9 958	1 722	11 680
Pohjoispuolisko — *Northern half*	1960—63	7 088	3 209	10 297
	1951—53	7 394	2 800	10 194
Koko maa — *The whole country*	1960—63	16 909	4 832	21 741
	1951—53	17 352	4 522	21 874

käsitteen mukaista metsämaata (ks. s. 6), joka vanhan käsitteen mukaisen kasvullisen metsämaan lisäksi sisältää edellä mainittuja II → I ja III → I-ryhmän maita yhteensä 2 543 000 ha. Vanhan käsitteen mukaisten metsämaan luokkien alat nähdään taulukosta 3. Tuloksista ilmenevä kasvullisen ja koko metsämaan alan väheneminen voi aiheutua uusien teiden, peltojen, tonttialueiden yms. rakentamisesta tai arvioiden tilastollisesta virheestä. Tämän samoin kuin jäljempänä esitettyjen vertailujen osalta on syytä korostaa eri inventointien luokitusperusteiden eroja ja IV inventoinnin harvahkoa linjaverkostoa etenkin maan pohjoispuoliskossa (Vert. s. 14.).

Maaluokkien tarkastelua täydentävät taulukosta 4 nähtävät ojitettujen soiden alan muutoksia valaisevat eri inventointien tulokset.

Taulukko 4. Ojitetut suot v. 1960—63 ja 1951—53.
Table 4. Drained swamps in 1960—63 and 1951—53.

Maan osa *Part of the country*	Inventointi *Inventory*	Suoala *Swamp area* 1 000 ha	Ojitettuja soita *Drained swamps*	
			1 000 ha	%
Eteläpuolisko — *Southern half*	1960—63	3 846	1 030	26.8
	1951—53	3 846	681	17.7
Pohjoispuolisko — *Northern half*	1960—63	5 940	472	7.9
	1951—53	5 896	236	4.0
Koko maa — *The whole country*	1960—63	9 786	1 502	15.3
	1951—53	9 742	917	9.4

Puuston rakenne ja määrä

Puulajien vallitsevuus

Metsien puulajisuhteita valaisevien tulosten (taulukko 5) mukaan on aukeiden alojen osuus metsämaan alasta huomattavan suuri etenkin maan

Taulukko 5. Metsien puulajivaltaisuus.
Table 5. Dominance of tree species.

Maan osa *Part of the country*	Mänty- *Pine*	Kuusi- *Spruce*	Lehtipuu- *Hardwoods*	Aukeat alat *Open areas*	Yhteensä *Total*	Pinta-ala *Area*
	valtaisia metsiä *as dominant species*					
	ryhmän alasta, % *Per cent of the area of the group*					1 000 ha
Eteläpuolisko — *Southern half* ...	47.8	39.1	11.2	1.9	100.0	10 822
Pohjoispuolisko — *Northern half* ..	62.9	24.3	8.4	4.4	100.0	8 630
Koko maa — *The whole country*	54.5	32.5	10.0	3.0	100.0	19 452

pohjoispuoliskossa. Vanhan käsitteen mukaiseen kasvulliseen metsämaahan kohdistunut vertailu osoittaa, että aukeiden alojen määrässä on tapahtunut huomattavaa lisäystä inventointien välisenä aikana. Syynä on kuitenkin osittain eri inventointien luokitusperusteiden erot. IV inventoinnin aukeiden alojen määrään sisältyy runsaammin kuin III inventoinnissa avohakkuualoja, joilla metsänviljely on joko viivästynyt tai epäonnistunut. Yksittäisiä siemen- ja suojuspuita sisältäviä alueita on IV inventoinnissa luettu aukeisiin aloihin yleisemmin kuin III inventoinnissa. Taulukosta 6 ilmenevä lehtipuuvaltaisten metsien alan pieneneminen johtuu samoin huomattavalta osalta luokitusperusteiden eroista. Todettakoon lähinnä, että IV inventoinnissa kiinnitettiin aikaisempaa suurempaa huomiota ylispuustoa sisältäviin mänty- ja kuusitaimistoihin (vrt. myös Ilvessalo 1962, s. 23).

Taulukko 6. Puulajivaltaisuus vanhan käsitteen mukaisilla kasvullisilla metsämailla v. 1960—63 ja 1951—53.
Table 6. Dominance of tree species in 1960—63 and 1951—53 on the productive forest land of the former concept.

Maan osa *Part of the country*	Inventointi *Inventory*	Mänty- *Pine*	Kuusi- *Spruce*	Lehtipuu- *Hardwoods*	Aukeat alat *Open areas*	Yhteensä *Total*
		valtaisia metsiä *as dominant species*				
		% alasta — *Per cent of the area*				
Eteläpuolisko — *Southern half* ...	1960—63	44.1	42.3	11.8	1.8	100.0
	1951—53	42.7	39.1	17.5	0.7	100.0
Pohjoispuolisko — *Northern half* ..	1960—63	59.1	28.9	7.4	4.6	100.0
	1951—53	59.1	30.1	10.1	0.7	100.0
Koko maa — *The whole country*	1960—63	50.4	36.6	10.0	3.0	100.0
	1951—53	49.7	35.3	14.3	0.7	100.0

Ikäluokkasuhteet

Metsien ikäluokkasuhteita kuvaavista tuloksista (taulukko 7) kiinnittää huomiota taimistoikäluokan — alle 20 v., pohjoispuoliskossa myös 21—40 v. — suurehko osuus metsämaan alasta. Vanhojen ikäluokkien metsiköitä

Taulukko 7. Ikäluokkasuhteet.
Table 7. Proportion of age classes.

Maan osa *Part of the country*	Vallitseva puulaji *Dominant tree species*	Ikäluokka, v. — *Age class, years*							
		≤ 20	21—40	41—60	61—80	81—100	101—120	121—160	161+
		Metsämaan alasta, % — *Per cent of the forest area*							
Eteläpuolisko — *Southern half*	Mänty	14.6	12.8	24.6	24.9	14.2	5.9	[1]) 3.0	
	Kuusi	6.6	11.9	30.4	31.7	12.3	4.2	[1]) 2.9	
	Koivu	4.2	18.0	43.4	30.3	3.6	0.4	[1]) 0.1	
Pohjoispuolisko *Northern half*	Mänty	15.9	14.4	9.5	7.4	8.3	8.2	15.8	20.5
	Kuusi	0.4	0.7	4.0	7.2	10.8	12.1	23.9	40.9
	Koivu	2.0	7.3	12.9	22.4	19.6	17.7	14.0	4.1
Koko maa — *The whole country*	Mänty — *Pine*	15.3	13.6	16.9	16.0	11.2	7.1	[1]) 19.9	
	Kuusi — *Spruce*	4.5	8.3	21.7	23.7	11.8	6.8	[1]) 23.2	
	Koivu — *Birch*	3.3	13.7	30.9	27.0	10.2	7.6	[1]) 7.3	
	Kaikki [2]) — *All* [2])	10.3	11.9	19.1	18.9	10.9	6.8	[1]) 19.1	

[1]) Ikäluokat 121—160 ja 161+ yhteensä. — *Total of age classes 121—160 and 161+.*
[2]) Leppävaltaiset mukaanluettuna, aukeita aloja 3.0 %. — *Incl. alderdominated stands, the open areas cover 3 per cent.*

Taulukko 8. Ikäluokkasuhteet vallitsevan puulajin mukaan ryhmittäen v. 1960—63 ja 1951—53.
Table 8. Proportion of age classes in 1960—63 and 1951—53 by groups of dominant tree species.
Kasvullinen metsämaa. — *Productive forest land.*

Maan osa *Part of the country*	Vallitseva puulaji *Dominant tree species*	Inventointi *Inventory*	Ikäluokka, v. — *Age class, years*							
			≤ 20	21—40	41—60	61—80	81—100	101—120	121—160	161+
			% alasta — *Per cent of the area*							
Etelä-puolisko — *Southern half*	Mänty — *Pine* ...	1960—63	14	12	24	26	15	6	3	
		1951—53	6	14	28	27	16	6	2	1
	Kuusi — *Spruce* .	1960—63	7	12	30	32	12	4	3	
		1951—53	2	10	31	33	15	6	3	0
	Koivu — *Birch* ..	1960—63	3	17	44	32	4	0	0	
		1951—53	6	24	43	21	5	1		
	Kaikki [1])	1960—63	10.1	13.1	27.9	28.2	12.1	4.4	2.4	
	All [1]) ..	1951—53	5.3	14.7	31.0	27.4	13.7	4.8	2.0	0.4
Pohjois-puolisko — *Northern half*	Mänty ...	1960—63	15	13	9	7	9	9	17	21
		1951—53	4	10	8	9	14	12	18	25
	Kuusi ...	1960—63	0	1	4	7	11	12	24	41
		1951—53	0	1	4	8	13	17	31	26
	Koivu ...	1960—63	2	9	14	17	19	[2]) 39		
		1951—53	3	12	16	15	20	[2]) 34		
	Kaikki [1])	1960—63	9.0	8.6	7.8	7.7	9.5	10.2	18.2	24.4
		1951—53	2.9	7.7	7.5	9.2	13.9	13.9	21.5	22.7

[1]) Aukeiden alojen luvut nähdään taulukosta 6. — *The figures for the open areas are presented in Table 6.*
[2]) Ikäluokka 101+. — *Age class 101+ years.*

on toisaalta huomattava määrä. Mainitut piirteet ilmenevät myös III ja IV inventoinnin tulosten vertailua valaisevasta taulukosta 8. Tulosten mukaan on taimistoikäluokkien metsiköiden alassa tapahtunut sekä maan etelä- että pohjoispuoliskossa merkittävää lisäystä inventointien välisenä aikana. Viitaten puulajisuhteita koskevaan tarkasteluun on syytä korostaa, että taimistoikäluokkien metsiköt sisältävät runsaasti päämetsän kehitystä haittaavia ylispuita. Vanhojen ikäluokkien alassa ei ole tapahtunut huomattavaa supistumista. Epäedullisena piirteenä on todettava, että maan pohjoispuoliskon nykymetsissä yleisesti vielä kasvatettaviksi kelvollisten 81—120 v. vanhojen metsiköiden alassa on ilmeisesti tapahtunut vähenemistä.

Kehitysluokkasuhteet

Metsäpinta-alan jakaantumista eri kehitysluokkien kesken valaistaan vain taulukossa 9 esitetyillä IV inventoinnin tuloksilla. Aukeat alat on esitetty omana luokkanaan, vaikka pääosa niistä voitaisiin inventoinnin tulosten mukaisesti yhdistää vajaatuottoisten metsiköiden (8. kehitysl.) luokkaan. Taimistoista todettakoon tässä, että luokkaan sisältyy etenkin

Taulukko 9. Metsäalan jakaantuminen kehitysluokkiin.
Table 9. Distribution of the forest land area into development classes.

Maan osa *Part of the country*	Vallitseva puulaji *Dominant tree species*	Kehitysluokka — *Development class* 1	2	3	4	5	6	7	8	Yhteensä *Total* %	Yhteensä *Total* Metsäpinta-ala *Area of forest land 1 000 ha*
		Aukeat alat *Open areas*	Taimisto [1] *Seedling stand* [1] a	b	Nuori harvennusmetsikkö *Young thinning stand*	Varsinainen harvennusmetsikkö *Ordinary thinning stand*	Väljennysmetsikkö *Accretion* stand	Uudistusmetsikkö *Regeneration* stand	Vajaatuott. metsiköt *Stands to be renewed as underproductive*		
		Metsäalasta, % — *Per cent of the area of forest land*									
Etelä-puolisko — *Southern half*	Mänty — *Pine*		9.5	5.5	10.3	27.7	23.0	22.5	1.5	100.0	5 174
	Kuusi — *Spruce* ...		1.6	4.3	7.7	33.1	20.9	21.0	11.4	100.0	4 228
	Lehtipuut *Hardwoods*		1.8	0.4	6.3	21.8	22.2	6.6	40.9	100.0	1 215
	Yhteensä *Total*	1.9	5.4	4.4	8.6	28.6	21.7	19.7	9.7	100.0	10 822
Pohjois-puolisko — *Northern half*	Mänty ...		7.7	16.9	8.1	16.7	12.9	35.3	2.4	100.0	5 427
	Kuusi ...		0.3	0.3	0.8	10.8	11.4	11.8	64.6	100.0	2 101
	Lehtipuut		1.3	0.4	3.8	18.8	3.2	11.2	61.3	100.0	724
	Yhteensä	4.3	5.0	10.8	5.6	14.7	11.2	26.0	22.4	100.0	8 630

[1]) a = ei merkittävässä määrin ylispuita, b = taimisto + ylispuut. — *a = standards only in insignificant number, b = seedling stand with standards.*

maan pohjoispuoliskossa huomattava määrä vanhan käsitteen mukaisesta huonokasvuisesta metsämaasta erotetun II→I-ryhmän maiden taimistoja. Osa väljennysmetsiköistä on suhteellisen vanhoja ja iän puolesta niitä voitaisiin käsitellä uudistushakkuilla. »Normaalin» uudistusvaiheen ja vajaatuottoisten luokan metsiköiden osuus on maan eteläpuoliskossa lähes 30 %, maan pohjoispuoliskossa miltei puolet metsämaan kokonaisalasta.

Keskikuutiomäärä

Puuston kuutiomäärää koskevat tulokset ilmaistaan kuorellisina kiintokuutiometreinä. Keskimäärin metsämaan hehtaaria kohden lasketut tulokset, keskikuutiomäärät, nähdään taulukosta 10. Lähinnä on syytä todeta,

Taulukko 10. Keskikuutiomäärä.
Table 10. The mean volume.

Kiintokuutiometriä kuorineen. — *Solid cu. m. incl. bark.*

Maan osa *Part of the country*	Mänty-	Kuusi-	Lehtipuu- valtaiset metsät *Dominant species*	Aukeat alat *Open areas*	Keskimäärin *Average*
	Pine	*Spruce*	*Hardwoods*		
	m³/ha, kuorineen — *cu. m./ha incl. bark*				
Eteläpuolisko — *Southern half*	73	110	85	2	88
Pohjoispuolisko — *Northern half*	47	73	39	7	51
Koko maa — *The whole country*	60	98	67	5	71

Maan osa	Ikäryhmä, v. — *Age group, years*				Keskimäärin *Average*
	≤ 40	41—80	81—120	121+	
Eteläpuolisko	39	105	111[1])		88
Pohjoispuolisko	20	48	67	64	51
Koko maa	31	94	78[1])		71

[1]) Ikäryhmät 81—120 ja 121+ yhteensä. — *Total of age groups 81—120 and 121+.*

Taulukko 11. Keskikuutiomäärä kehitysluokittain.
Table 11. Mean volume by development classes.

Keskimäärin kaikkien puulajien metsiköissä. — *Average for stands of all tree species.*

Maan osa *Part of the country*	Kehitysluokka [1]) — *Development class* [1])								Keskimäärin *On an average*
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	m³/ha, kuorineen — *cu. m./ha, incl. bark*								
Eteläpuolisko — *Southern half*	2	2	40	40	91	138	103	70	88
Pohjoispuolisko — *Northern half*	7	3	23	25	62	96	54	56	51
Koko maa — *The whole country* ...	3	2	29	35	82	125	78	61	71

[1]) Kehitysluokat, kts. taulukko 9. — *Development classes, see Table 9.*

että keskikuutiomäärä on sekä maan etelä- että pohjoispuoliskossa suurin kuusivaltaisissa metsiköissä. Taulukossa 11 on esitetty kehitysluokittaiset keskikuutiomäärät. Väljennysmetsiköiden keskikuutiomäärä on suurin sekä etelä- että pohjoispuoliskossa. Aukeiden alojen (1. kehitysl.) keskikuutiomäärä koostuu pienikokoisesta alikasvospuustosta sekä yksittäisistä siemen-, suojus- ja jättöpuista. Eri inventointien keskikuutiomääriä havainnollistavat seuraavan asetelman luvut.

Maan osa *Part of the country*	Inventointi *Inventory*	Kasvullinen *Productive* metsämaa — *forest land* m³/ha kuorineen *cu. m./ha, incl. bark*	Koko *Total*
Eteläpuolisko — *Southern half*	1960—63	94	84
	1951—53	94	84
Pohjoispuolisko — *Northern half*	1960—63	56	44
	1951—53	63	50
Koko maa — *The whole country*	1960—63	78	65
	1951—53	81	68

Kokonaislukuina ilmaistuissa keskikuutiomäärissä on eroja vain maan pohjoispuoliskon ja koko maan tuloksissa. Erojen syitä tarkastellaan suppeasti kokonaiskuutiomäärien vertailun yhteydessä.

Kuutiomäärä metsämaalla ja kokonaiskuutiomäärä

Yhdenmukaisesti muiden tulosten laskennan kanssa on puuston kokonaiskuutiomäärän samoin kuin vuotuisen kokonaiskasvun laskentaperusteena ollut ensin uuden käsitteen mukainen metsämaa. Taulukossa 12 esitetyn koko maan tuloksen (1 390 milj. m³) lisäksi on inventoinnin mittausten

Taulukko 12. Puuston kuutiomäärä.
Table 12. Total growing stock.
Kiintokuutiometriä kuorineen. — *Solid cu. m. incl. bark.*

Maan osa *Part of the country*	Mänty *Pine*		Kuusi *Spruce*		Lehtipuut *Hardwoods*		Yhteensä *Total*	
	milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³ *Mill. cu.m.*	%
Eteläpuolisko — *Southern half*	365	38.3	398	41.8	189	19.9	952	100.0
Pohjoispuolisko — *Northern half*	228	52.1	130	29.7	80	18.2	438	100.0
Koko maa — *The whole country* ...	593	42.7	528	38.0	269	19.3	[1]) 1 390	100.0

[1]) Joutomaalla puustoa 20 milj. m³, yhteensä siis 1 410 milj. m³. — *The growing stock on waste lands totals 20 mill. cu. m., which makes 1 410 mill. cu. m. in all.*

piiriin tullut taulukon alahuomautuksessa mainittu vähäinen määrä uuden metsämaakäsitteen mukaisessa luokituksessa joutomaalla, vanhassa luokituksessa huonokasvuisen metsämaan heikkopuustoisimmalla osalla (II→III-ryhmä) kasvanutta puustoa. Taulukossa 13 esitetyssä kehitysluokittaisten kokonaiskuutiomäärien laskennassa on samoin rajoituttu vain uuden käsitteen mukaiseen metsämaahan.

Taulukko 13. Puuston kokonaiskuutiomäärä kehitysluokittain.
Table 13. Total growing stock by development classes.

Maan osa *Part of the country*	Kehitysluokka — *Development class*								Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	milj. m³ kuorineen ja % — *Million cu.m., incl. bark, and per cent*								
Eteläpuolisko —	0	1	19	38	280	323	218	73	952
Southern half	0.0	0.1	2.0	4.0	29.4	33.9	22.9	7.7	100.0
Pohjoispuolisko —	2	1	21	12	79	93	121	109	438
Northern half	0.6	0.3	4.9	2.7	18.0	21.2	27.5	24.8	100.0
Koko maa —	2	2	40	50	359	416	339	182	[1]) 1 390
The whole country ...	0.1	0.1	2.9	3.6	25.8	30.0	24.4	13.1	100.0

[1]) Kts. taul. 12 alahuom. — *See Table 12, the footnote.*

Todettakoon, että puuston kuutiomäärää koskevat tulokset tarkoittavat inventoinnin suorituksen ajankohtana mittausten piiriin tulleen elävän puuston määrää. Tuloksiin ei siis sisälly maan eri osissa vaihtelevassa määrin esiintyviä kuolleita puita eli keloja, joiden kokonaismäärän arvioksi koko maassa saatiin III inventoinnissa 38.3 milj. m³, mihin sisältyvät vain metsämaalla esiintyneet, verraten »terveet» pystyyn kuivuneet ja tuulen kaatamat kelot. IV inventoinnissa suoritettiin myös keloja koskevat mittaukset, mutta tulosten yksityiskohtaista laskentaa ei pidetty inventoinnin harvahkosta linjavälistä johtuen perusteltuna. Prof. Reino Kalliolan[1]) suorittaman kelojen esiintymisen runsaussuhteita koskevan erillistutkimuksen perusteella voidaan päätellä, että kelojen kokonaismäärä on edelleenkin huomattavan suuri, joskin alueittaista vähenemistä on havaittavissa.

Taulukon 14 tulosten laskennan perusteena on ollut vanhan käsitteen mukainen koko metsämaa. Tulosten mukaan on puuston kokonaiskuutiomäärä pienentynyt inventointien välisenä aikana koko maassa 83 milj. m³ eli runsaat 5 %. Vähennys keskittyy mäntyyn ja lehtipuihin ja edelleen maan pohjoispuoliskoon. Kasvullisten metsämaiden alan vähenemisen ohella mainittakoon keskikuutiomäärän pienentyminen maan pohjoispuoliskossa. III inventoinnin vuosien jälkeen suoritettujen laajamittaisten avohakkuiden seurauksena syntyneet taimistot eivät vielä ilmene IV inventoin-

[1]) Reino Kalliola. 1966. The reduction of the area of forests in natural condition in Finland in the light of some maps based upon national forest inventories. — Annales Botanici Fennici 3, 442—448. (Reprint).

Taulukko 14. Vuosien 1960—63 ja 1951—53 inventointien kokonaiskuutiomäärien vertailu.

Table 14. Comparison of the total volumes of the inventories in 1960—63 and 1951—53.

Vanhan käsitteen mukainen koko metsämaa.

Total forest land area of the former concept.

Maan osa *Part of the country*	Inventointi *Inventory*	Mänty *Pine*		Kuusi *Spruce*		Lehtipuut *Hardwoods*		Yhteensä *Total*	
		milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³ *Mill. cu.m.*	%
Eteläpuolisko —	1960—63	370	38.7	398	41.5	189	19.8	957	100.0
Southern half	1951—53	392	40.0	378	38.6	210	21.4	980	100.0
Pohjoispuolisko —	1960—63	236	52.1	132	29.1	85	18.8	453	100.0
Northern half	1951—53	261	50.9	155	30.2	97	18.9	513	100.0
Koko maa —	1960—63	606	43.0	530	37.6	274	19.4	1 410	100.0
The whole country ...	1951—53	653	43.7	533	35.7	307	20.6	1 493	100.0

nin puuston määrää osoittavissa tuloksissa. Toistettakoon myös IV inventoinnin harvahkosta linjaverkostosta mahdollisesti aiheutuva epätarkkuus tuloksiin sekä edelleen eräät muut erot eri inventointien menetelmissä. Viitattakoon myös jäljempänä esitettäviin kasvutuloksiin. Eri näkökohtien yhdistelmänä näyttää kuitenkin ilmeiseltä, että inventointien välisenä aikana on lähinnä maan pohjoispuoliskossa todella tapahtunut huomattavaa puuston kuutiomäärän vähenemistä.

Todettakoon, että III inventoinnin [1]) tulosten luotettavuutta koskevien laskelmien mukaan koko maan metsäpinta-alaan liittyvä poikkeavuus oli kaksinkertaisen keskivirheen rajoissa ± 150 000 ha eli 0.7 %. Kokonaiskuutiomäärän kaksinkertainen keskivirhe oli ± 11 milj. m³. Suoritetut koelaskelmat viittaavat siihen, että vastaavat IV inventoinnin tulosten keskivirheet saattavat olla edellisiin verrattuina noin kaksinkertaiset.

Järeysrakenne ja tukkipuusto

Järeyssuhteiden tarkastelua varten on puuston kuorellinen kokonaiskuutiomäärä ryhmitetty rinnankorkeusläpimitan (kuoren päältä) mukaisiin luokkiin. Kaikki puulajit yhdistäen saadut tulokset nähdään taulukosta 15. Taulukko 16 valaisee järeyssuhteiden muutoksia III ja IV inventoinnin välisenä aikana. Taulukon tuloksista ilmenee useassa yhteydessä korostettu rinnankorkeudelta vähintään 20 cm täyttävien runkojen osuuden eli ns. järeän puuston huomattava lisääntyminen maan eteläpuoliskossa. Pohjoispuoliskossa on suhteellisissa osuuksissa tapahtunut vain vähäisiä muutoksia.

[1]) Yrjö Ilvessalo. 1956. Suomen metsät vuosista 1921—24 vuosiin 1951—53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. *Summary: The forests of Finland from 1921—24 to 1951—53. A survey based on three national forest inventories. MTJ 47.1.*

Taulukko 15. Puuston järeysrakenne puulajien yhteismääränä.
Table 15. Dbh-groups of the growing stock as total of all species.

Maan osa *Part of the country*	Läpimitta rinnankorkeudelta — *Diameter at breast height*								Yhteensä *Total*	
	≤ 10 cm		10.1—20		20.1—30		30.1+ cm			
	milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³ *Mill. cu.m.*	%
Eteläpuolisko — *Southern half*	96.3	10.1	348.9	36.7	407.4	42.8	99.4	10.4	952	100.0
Pohjoispuolisko — *Northern half*	56.3	12.9	159.2	36.3	148.9	34.0	73.6	16.8	438	100.0
Koko maa — *The whole country* ...	152.6	11.0	508.1	36.6	556.3	40.0	173.0	12.4	[1]) 1 390	100.0

[1]) Kts. taul. 12 alahuom. — *See Table 12, the footnote.*

Taulukko 16. Järeysrakenne (läpimittaryhmät rinnankork.) v. 1960—63 ja 1951—53.
Table 16. Distribution of the growing stock on Dbh-groups in 1960—63 and 1951—53.
Vanhan käsitteen mukainen koko metsämaa, kiintokuutiometriä kuorineen.
Total forest land area of the former concept, solid cubic metres including bark.

Maan osa *Part of the country*	Inventointi *Inventory*	≤ 10 cm		10.1—20		20.1—30		30.1+ cm		Yhteensä *Total*	
		milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³ *Mill. cu.m.*	%
Eteläpuolisko *Southern half*	1960—63	100.3	10.5	349.7	36.5	407.7	42.6	99.3	10.4	957	100.0
	1951—53	122.0	12.5	421.0	42.9	368.0	37.6	69.0	7.0	980	100.0
Pohjoispuolisko — *Northern half*	1960—63	62.0	13.7	166.0	36.6	150.0	33.1	75.0	16.6	453	100.0
	1951—53	67.0	13.0	194.0	37.8	168.0	32.8	84.0	16.4	513	100.0
Koko maa — *The whole country*	1960—63	162.3	11.5	515.7	36.6	557.7	39.5	174.3	12.4	1 410	100.0
	1951—53	189.0	12.7	615.0	41.2	536.0	35.9	153.0	10.2	1 493	100.0

Puulajeittaisten järeyssuhteiden esittelyssä rajoitutaan vain taulukosta 17 nähtäviin IV inventoinnin tuloksiin.

Tukkipuiden määrittämisperusteet olivat IV inventoinnissa samat kuin III inventoinnissakin. Rinnankorkeudelta vähintään 18 cm täyttävistä rungoista luettiin tukkipuiksi sellaiset havupuurungot, joista olisi voitu tehdä ainakin yksi 18′ × 6″ (läpimitta latvasta kuoren päältä) kokoinen III-laatuluokan tukki. Lehtipuilla vastaavat mitat olivat 18′ × 7″ (keskeltä kuoren päältä) tai 12′ × 8″.

Keskimäärin metsämaan hehtaaria kohden lasketut tulokset esitetään taulukossa 18. Vertailumielessä todettakoon, että III inventoinnissa saatiin keskimäärin hehtaaria kohden koko metsämaalla seuraavat tulokset: eteläpuolisko 87.0 runkoa, pohjoispuolisko 42.6 ja koko maa 66.3 runkoa. Vas-

Taulukko 17. Puuston järeysrakenne puulajeittain.
Table 17. Dbh-groups of the growing stock by tree species.

Maan osa *Part of the country*	Mänty — *Pine*				Kuusi — *Spruce*				Lehtipuut — *Hardwoods*			
	Läpimitta rinnankorkeudelta — *Diameter at breast height*											
	–10 cm	10,1–20	20,1–30	30,1+ cm	–10 cm	10,1–20	20,1–30	30,1+ cm	–10 cm	10,1–20	20,1–30	30,1+ cm
	Kuorellisesta kuutiomäärästä, % — *Per cent of the growing stock incl. bark*											
Eteläpuolisko — *Southern half*	7	30	49	14	10	39	41	10	18	42	34	6
Pohjoispuolisko — *Northern half*	8	28	40	24	12	44	32	12	30	49	17	4
Koko maa — *The whole country* ...	7	29	46	18	11	40	39	10	22	44	29	5

Taulukko 18. Tukkipuurunkojen lukumäärä keskimäärin hehtaaria kohden.
Table 18. Number of saw and veneer timber trees per hectare of forest land.

Maan osa *Part of the country*	Puulaji *Tree species*	Rinnankorkeusläpimittaluokka, cm — *Dbh-class, cm.*							Yhteensä *Total*
		19	21	23	25	27	29	31+	
Eteläpuolisko *Southern half*	Mänty	8.3	11.5	10.6	8.7	6.5	4.1	5.5	55.2
	Kuusi	9.2	11.5	9.8	7.1	4.6	2.8	4.0	49.0
	Lehtipuut ...	1.8	3.0	2.5	1.7	1.0	0.6	0.7	11.3
	Kaikki	19.3	26.0	22.9	17.5	12.1	7.5	10.2	115.5
Pohjois-puolisko — *Northern half*	Mänty	5.0	7.1	6.8	5.7	4.2	3.1	7.0	38.9
	Kuusi	2.2	3.3	3.2	2.3	1.4	1.0	2.0	15.4
	Lehtipuut ...	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.7
	Kaikki	7.3	10.6	10.2	8.1	5.6	4.1	9.1	55.0
Koko maa — *The whole country*	Mänty — *Pine*	6.8	9.5	8.9	7.4	5.5	3.7	6.2	48.0
	Kuusi — *Spruce*	6.1	7.9	6.9	4.9	3.2	2.0	3.1	34.1
	Lehtipuut — *Hardwoods*	1.1	1.8	1.5	1.0	0.6	0.3	0.4	6.7
	Kaikki — *All*	14.0	19.2	17.3	13.3	9.3	6.0	9.7	88.8

taavat keskimääräistulokset kasvullisella metsämaalla olivat 99.8, 56.5 ja 81.3 runkoa. Tulosten vertailun perusteella voidaan päätellä, että tukkipuiden lukumäärä keskimäärin hehtaaria kohden on suurentunut inventointien välisenä aikana etenkin maan eteläpuoliskossa.

Tukkipuiden kokonaislukumäärä (metsämaalla) on esitetty ensin taulukossa 19 ja lisäksi kehitysluokittain taulukossa 20. Lähinnä korostettakoon kuusitukkipuurunkojen suurehkoa osuutta maan eteläpuoliskon kokonaislukumäärästä. Maan pohjoispuoliskossa männyn osuus on ylivoimaisesti suurin. Kehitysluokittaisista tuloksista ilmenee mm., että maan eteläpuoliskon harvennus- ja väljennysmetsiköt sisältävät huomattavan määrän tukkipuurunkoja.

Taulukko 19. Tukkipuurunkojen kokonaislukumäärä.
Table 19. Total number of saw and veneer timber trees.

Maan osa *Part of the country*	Puulaji *Tree species*	Rinnankorkeusläpimittaluokka, cm — *Dbh-class, cm.*							Yhteensä *Total*
		19	21	23	25	27	29	31+	
		milj. runkoa — *Million of stems*							
Eteläpuolisko *Southern half*	Mänty	89.5	124.2	114.6	94.4	70.5	44.9	60.1	598.2
	Kuusi	99.9	125.2	106.0	76.4	50.1	30.5	42.6	530.7
	Lehtipuut ...	19.9	32.2	28.0	17.8	10.6	6.5	7.8	122.8
	Yhteensä	209.3	281.6	248.6	188.6	131.2	81.9	110.5	1 251.7
Pohjois-puolisko — *Northern half*	Mänty	43.1	59.8	58.0	49.3	36.8	26.3	61.5	334.8
	Kuusi	19.1	29.1	27.5	19.5	12.9	8.7	17.3	134.1
	Lehtipuut ...	1.3	2.2	1.3	1.0	0.6	0.0	0.6	7.0
	Yhteensä	63.5	91.1	86.8	69.8	50.3	35.0	79.4	475.9
Koko maa — *The whole country*	Mänty — *Pine*	132.6	184.0	172.6	143.7	107.3	71.2	121.6	933.0
	Kuusi — *Spruce*	119.0	154.3	133.5	95.9	63.0	39.2	59.9	664.8
	Lehtipuut — *Hardwoods*	21.2	34.4	29.3	18.8	11.2	6.5	8.4	129.8
	Yhteensä — *Total*	272.8	372.7	335.4	258.4	181.5	116.9	189.9	[1] 1 727.6

[1] Joutomaalla (II→ III-ryhmän mailla) lisäksi vähäinen määrä mäntytukkipuurunkoja.
On waste lands (group II→ III) there is in addition a minor number of pine saw timber trees.

Taulukko 20. Tukkipuurunkojen kokonaislukumäärä kehitysluokittain.
Table 20. Total number of saw and veneer timber trees by development classes.

Maan osa *Part of the country*	Puulaji *Tree species*	Kehitysluokka — *Development class*							Yhteensä *Total*
		1—2	3	4	5	6	7	8	
		milj. runkoa — *Million of stems*							
Eteläpuolisko *Southern half*	Yhteensä — *Total*	0.0	24.2	20.2	270.5	518.1	350.1	68.6	1 251.7
Pohj.puolisko *Northern half*	Yhteensä — *Total*	0.8	23.1	6.3	61.1	135.7	152.1	96.8	475.9
Koko maa — *The whole country*	Mänty — *Pine*	0.6	33.0	14.8	178.1	378.5	288.1	39.9	933.0
	Kuusi — *Spruce*		8.9	5.7	126.6	219.4	190.7	113.5	664.8
	Lehtipuut — *Hardwoods*	0.2	5.4	6.0	26.9	55.9	23.4	12.0	129.8
	Yhteensä — *Total*	0.8	47.3	26.5	331.6	653.8	502.2	165.4	[1] 1 727.6

[1] Kts. taul. 19 alahuom. — *See. Table 19, the footnote.*

Vaikka tukkipuuvarasto koostuu miltei yksinomaan uuden käsitteen mukaiselta metsämaalta, esitetään eri inventointien tulosten vertailu omassa taulukossa (taul. 21). Havaitaan, että tukkipuiden kokonaislukumäärä on lisääntynyt inventointien välisenä aikana maan eteläpuoliskossa n. 23 %, pohjoispuoliskossa n. 10 % ja koko maassa n. 19 %. Maan eteläpuoliskossa lisäystä havaitaan kaikissa läpimittaluokkaryhmissä, pohjoispuoliskossa lisäys koostuu yksinomaan pieniläpimittaisista rungoista.

Taulukko 21. Tukkipuurunkojen kokonaislukumäärä v. 1960—63 ja 1951—53.
Table 21. Total number of saw and veneer timber trees in 1960—63 and 1951—53.
Vanhan käsitteen mukainen koko metsämaa.
Total forest land area of the former concept.

Maan osa *Part of the country*	Puulaji *Tree species*	Rinnankorkeusläpimittaryhmä, cm — *Dbh-group, cm* Milj. runkoa — *Million of stems*							
		≤ 25	25.1—30	30.1+	Yhteensä *Total*	≤ 25	25.1—30	30.1+	Yhteensä *Total*
		1960—63				1951—53			
Eteläpuolisko *Southern half*	Mänty	379.6	158.5	60.1	598.2	335.7	140.0	45.6	521.3
	Kuusi	374.2	113.9	42.6	530.7	289.3	83.4	24.7	397.4
	Lehtipuut ...	90.4	24.6	7.8	122.8	68.1	22.4	6.2	96.7
	Yhteensä	844.2	297.0	110.5	1 251.7	693.1	245.8	76.5	1 015.4
Pohjois-puolisko *Northern half*	Mänty	191.3	82.3	61.8	335.4	155.8	90.4	63.0	309.2
	Kuusi	89.2	27.8	17.1	134.1	66.9	34.0	17.2	118.1
	Lehtipuut ...	5.2	1.1	0.7	7.0	3.9	2.7	0.8	7.4
	Yhteensä	285.7	111.2	79.6	476.5	226.6	127.1	81.0	434.7
Koko maa — *The whole country*	Mänty — *Pine*	570.9	240.8	121.9	933.6	491.5	230.4	108.6	830.5
	Kuusi — *Spruce*	463.4	141.7	59.7	664.8	356.2	117.4	41.9	515.5
	Lehtipuut — *Hardwoods*	95.6	25.7	8.5	129.8	72.0	25.1	7.0	104.1
	Yhteensä — *Total*	1 129.9	408.2	190.1	1 728.2	919.7	372.9	157.5	1 450.1

Keskikasvu

Puuston kasvu ilmaistaan kuorettomina kiintokuutiometreinä. Keskimäärin vuotta ja hehtaaria kohden saadut kasvutulokset, keskikasvuluvut, esitetään taulukossa 22. Taulukosta 23 nähdään edelleen kehitysluokittaiset keskikasvut. Eri puulajivaltaisissa metsiköissä keskikasvujen suhteelliset erot ovat, metsiköiden kasvupaikka- ja ikäluokkasuhteista johtuen, keskimäärin pienemmät kuin vastaavat keskikuutiomäärien erot (vrt. taulukko 10).

Taulukko 22. Keskikasvu.
Table 22. Mean annual growth.
Kiintokuutiometriä kuoretta. — *Solid cu. m. excl. bark.*

Maan osa *Part of the country*	Mänty- valtaiset metsät *Dominant species: Pine*	Kuusi- valtaiset metsät *Dominant species: Spruce*	Lehtipuu- valtaiset metsät *Dominant species: Hardwoods*	Aukeat alat *Open areas*	Keskimäärin *Average*
	m³/ha — cu.m./ha				
Eteläpuolisko — *Southern half*	2.3	3.9	3.8	0.0	3.1
Pohjoispuolisko — *Northern half*	1.1	1.2	1.1	0.2	1.0
Koko maa — *The whole country*	1.7	3.0	2.7	0.1	2.2

Maan osa	Ikäryhmä, v. — *Age group, years* ≤ 40	41—80	81—120	121+	Keskimäärin
Eteläpuolisko — *Southern half*	2.3	3.7	[1]) 2.6		3.1
Pohjoispuolisko — *Northern half*	0.6	1.6	1.5	[2]) 0.9	1.0
Koko maa — *The whole country*	1.6	3.3	[1]) 1.5		2.2

[1]) Ikäryhmät 81—120 ja 121+ yhteensä. — *Age groups 81—120 and 121+ in total.*
[2]) Ikäryhmät 121—160 ja 161+ yhteensä. — *Age groups 121—160 and 161+ in total.*

Taulukko 23. Keskikasvu kehitysluokittain.
Table 23. Mean annual growth by development classes.
Keskimäärin kaikkien puulajien metsiköissä. — *Averages in stands of all tree species.*

Maan osa *Part of the country*	Kehitysluokka — *Development class* 1	2	3	4	5	6	7	8	Keskimäärin *Average*
	m³/ha kuoretta — *cu.m./ha, excl. bark*								
Eteläpuolisko — *Southern half*	0.1	0.2	1.8	2.3	3.8	4.1	2.9	2.6	3.1
Pohjoispuolisko — *Northern half*	0.2	0.2	0.5	1.1	1.9	1.9	0.8	1.0	1.0
Koko maa — *The whole country* ...	0.2	0.2	0.9	1.9	3.3	3.4	1.8	1.5	2.2

Kasvu metsämaalla ja kokonaiskasvu

Koko maan puuston vuotuisen kokonaiskasvun arvioksi on taulukon 24 mukaan saatu 42.3 milj. m³. Tulos tarkoittaa uuden käsitteen mukaisen metsämaan puuston vuotuista kasvua. Taulukon alaviitteessä esitetty joutomaan pääryhmään luettujen metsiköiden (II → III-ryhmän) vuotuisen kokonaiskasvun arvio on 0.47 milj. m³. Toistettakoon, että vastaava kokonaiskuutiomäärä on taulukon 12 alaviitan mukaisesti 20 milj. m³. Yhdenmukaisesti puuston kokonaiskuutiomäärää koskevien tulosten kanssa nähdään taulukosta 25 puuston vuotuinen kokonaiskasvu kehitysluokittain.

Taulukko 24. Puuston vuotuinen kasvu.
Table 24. Total annual growth of the stock.
Kiintokuutiometriä kuoretta. — *Solid cu. m. excl. bark.*

Maan osa *Part of the country*	Mänty *Pine*		Kuusi *Spruce*		Lehtipuut *Hardwoods*		Yhteensä *Total*	
	milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³ *Mill. cu.m.*	%
Eteläpuolisko — *Southern half*	10.81	32.5	14.50	43.5	7.99	24.0	33.30	100.0
Pohjoispuolisko — *Northern half*	4.76	52.9	2.07	23.0	2.17	24.1	9.00	100.0
Koko maa — *The whole country* ...	15.57	36.8	16.57	39.2	10.16	24.0	[1] 42.30	100.0

[1] Joutomaan puuston vuotuinen kokonaiskasvu 0.47 milj. m³, yhteensä siis 42.77 milj. m³.
The total annual growth on waste lands is 0.47 mill. cu. m., the sum thus being 42.77 mill. cu. m.

Taulukko 25. Puuston vuotuinen kokonaiskasvu kehitysluokittain.
Table 25. Total annual growth of the stock by development classes.
Kaikkien puulajien metsiköt. — *Stands of all species.*

Maan osa *Part of the country*	Kehitysluokka — *Development class*								Yhteensä *Total*
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Milj. m³ kuoretta ja % — *Million cu.m., excl. bark, and per cent*								
Eteläpuolisko — *Southern half*	0.03	0.11	0.84	2.20	11.87	9.48	6.00	2.77	33.30
	0.1	0.4	2.5	6.6	35.6	28.5	18.0	8.3	100.0
Pohjoispuolisko — *Northern half*	0.06	0.08	0.48	0.54	2.35	1.79	1.86	1.84	9.00
	0.7	0.9	5.3	6.0	26.1	19.9	20.7	20.4	100.0
Koko maa — *The whole country* ...	0.09	0.19	1.32	2.74	14.22	11.27	7.86	4.61	[1] 42.30
	0.2	0.5	3.1	6.5	33.6	26.6	18.6	10.9	100.0

[1] Kts. taul. 24 alahuom. — *See Table 24, the footnote.*

Taulukko 26 valaisee metsämaa-käsitteen osalta vertauskelpoisia III ja IV inventoinnin kokonaiskasvutuloksia. IV inventoinnissa saatu koko maan puuston vuotuisen kokonaiskasvun arvio on n. 7 % III inventoinnin tulosta pienempi. Ero on kaksi prosenttiyksikköä suurempi kuin edellä (s. 14) esitetty vastaava kokonaiskuutiomäärien ero. Vuotuisen kokonaiskasvun pienentyminen johtunee lähinnä puuston kokonaiskuutiomäärän vähenemisestä ja metsien vanhenemisesta, osittain muista kokonaiskuutiomäärän tarkastelun yhteydessä esitetyistä syistä. Kasvun väheneminen aiheutunee myös osaksi sääsuhteiden aiheuttamasta kasvun vaihtelusta. Jos kasvutuloksiin tehdään ns. kasvuindeksien mukainen korjaus, saadaan maan eteläpuoliskon vuotuisen kokonaiskasvun arvioksi 33.50 milj. m³ asemesta 35.80 milj. m³, vastaavan III inventoinnin tuloksen ollessa 35.92 milj. m³ (Ilvessalo 1963, s. 35). Maan pohjoispuoliskon muutos voidaan arvioida

Taulukko 26. Vuosien 1960—63 ja 1951—53 inventointien kokonaiskasvujen vertailu.
Table 26. Comparison of the total annual growths of the inventories in 1960—63 and 1951—53.

Vanhan käsitteen mukainen koko metsämaa.
Total forest land area of the former concept.

Maan osa *Part of the country*	Inventointi *Inventory*	Mänty *Pine*		Kuusi *Spruce*		Lehtipuut *Hardwoods*		Yhteensä *Total*	
		milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³ *Mill. cu.m.*	%
Eteläpuolisko —	1960—63	10.91	32.6	14.56	43.4	8.03	24.0	33.50	100.0
Southern half	1951—53	12.60	35.9	13.80	39.3	8.70	24.8	35.10	100.0
Pohjoispuolisko —	1960—63	4.84	52.2	2.12	22.9	2.31	24.9	9.27	100.0
Northern half	1951—53	5.30	48.6	3.10	28.5	2.50	22.9	10.90	100.0
Koko maa —	1960—63	15.75	36.8	16.68	39.0	10.34	24.2	42.77	100.0
The whole country ...	1951—53	17.90	38.9	16.90	36.8	11.20	24.3	46.00	100.0

vain likimääräisesti, koska koivulle ei voitu laskea riittävän luotettavia kasvuindeksisarjoja. Kaikki puulajit yhdistäen suurentaa kasvuindeksien mukainen »tasokorjaus» joka tapauksessa IV inventoinnin mukaista kasvutulosta myös maan pohjoispuoliskossa. Ns. normaalitason mukaisesti korjaten saadaan lisäyksen likimääräisarvioksi 0.5 milj. m³. Kasvuindeksien mukaisesti korjattuna jää IV inventoinnissa saatu koko maan puuston vuotuisen kasvun arvio n. 1.0—1.2 milj. m³ vastaavaa III inventoinnin kasvutulosta (46.0 milj. m³) pienemmäksi.

Inventointia edeltänyt metsien käsittely ja metsien metsänhoidollinen tila

Maan eteläpuoliskon osalta on Ilvessalo (1963, s. 50—51) tarkastellut suppeasti metsien käsittelyn kehitystä I, II ja IV inventoinnin tulosten valossa. Tässä rajoitutaan vain esittämään IV inventoinnin tulokset (taulukko 27). Otsikon mukaisesti metsien käsittelyn arviointi kohdistui inventointia edeltäneeseen 10-vuotiskauteen. Suoritetut tutkimukset osoittavat, että hakkuun ajankohdan arvionti on varsinkin yli 5 v. vanhoilla hakkuualoilla epävarmaa. Taulukon 27 tulokset luonnehtivat siten lähinnä suuruusluokkaa ja eri toimenpiteiden keskinäisiä suhteita.

Metsien metsänhoidollisen tilan tarkastelussa rajoitutaan vain IV inventoinnin tuloksiin. Metsämaa on jaettu kahteen pääryhmään. Taulukossa 28 esitetään kehittämiskelpoisten ja taulukossa 29 kehittämiskelvottomien eli vajaatuottoisten luokkaan luettujen metsiköiden metsänhoidollista tilaa koskevat tulokset. Taulukon 28 alaviitan mukaisesti on kaikkiaan 10 % paljaiden alojen pinta-alasta yhdistetty uudistusvaiheen metsikköihin. Pää-

Taulukko 27. Metsien käsittely likimäärin inventoinnin edellisenä 10-vuotiskautena.
Table 27. Treatment of the forests during the decade preceding the inventory.

Ryhmä ja alaryhmä *Group and sub-group*	Eteläpuolisko *Southern half*	Pohjoispuolisko *Northern half*	Koko maa *The whole country*
	Pinta-ala likimäärin 10-vuotiskautena, 1 000 ha *Area approximately during the decade, 1 000 hectares*		
Metsänviljely — *Forest cultivation*	319	132	451
1. Kylvö — *Seeding*	234	75	309
2. Istutus — *Planting*	85	57	142
Taimiston hoito — *Tending of seedling stands*	357	317	674
1. Perkaus — *Cleaning*	61	43	104
2. Vapautus — *Liberation*	296	274	570
Ylispuiden poisto — *Removal of standards*	287	117	404
Kasvatushakkuu — *Intermediate cutting*	3 478	630	4 108
1. Harvennus — *Thinning*	2 100	409	2 509
2. Väljennys — *Accretion*	1 378	221	1 599
Poimintaharvennus — *Selection thinning*	761	253	1 014
Uudistushakkuu — *Regeneration cutting*	989	1 071	2 060
1. Avohakkuu — *Clear-cutting*	220	437	657
2. Siemenpuuhakkuu — *Seed-tree cutting*	342	509	851
3. Suojuspuuhakkuu — *Shelterwood cutting*	427	125	552
Harsintahakkuu — *Selection cutting*	798	323	1 121
1. Ei hävittävä — *Not destroying*	642	203	845
2. Hävittävä — *Destroying*	156	120	276
Ei mitään tehty — *Nothing done*	3 939	5 934	9 873
Koko metsäala — *Total area of forest land*	10 822	8 630	19 452

osa paljaista aloista on liitetty, inventoinnin tulosten mukaisesti, vajaatuottoisiin aloihin. Taulukoiden 28 ja 29 summalukujen keskinäisiä suhteita valaisevat seuraavan asetelman luvut. Havaitaan, että IV inventoinnin tulosten mukaan lähes viidesosa eli 18 % koko uuden käsitteen mukaisesta metsämaan alasta on luettu vajaatuottoisten luokkaan.

Ryhmä — *Group*	Eteläpuolisko *Southern half*		Pohjoispuolisko *Northern half*		Koko maa *The whole country*	
	1 000 ha	%	1 000 ha	%	1 000 ha	%
Kaikkiaan kehityskelpoisia metsiä — *Total of the forests capable for development*	9 594	88.6	6 363	73.7	15 957	82.0
Kaikkiaan vajaatuottoista alaa — *Total of underproductive areas*	1 228	11.4	2 267	26.3	3 495	18.0
Yhteensä — *Total*	10 822	100.0	8 630	100.0	19 452	100.0

Metsänhoidollista tilaa koskevien, III ja IV inventoinnin tuloksiin perustuvien vertailujen suhteen viitataan tulosten laskentaperusteiden esittelyn yhteydessä mainittuihin julkaisuihin.

Taulukko 28. Kehittämiskelpoisten metsien metsänhoidollinen tila.
Table 28. Silvicultural condition of forests capable for development.

Metsänhoidollinen tila *Silvicultural condition*	Kehitysluokkaryhmä *Development class group*	Eteläpuolisko *Southern half*		Pohjoispuolisko *Northern half*		Koko maa *The whole country*	
		1 000 ha	%	1 000 ha	%	1 000 ha	%
Hyvä — *Good*	1. Taimistot — *Seedling stands* ..	302	28.5	189	13.9	491	20.3
	2. Kasvatusvaiheen metsiköt — *Stands in the stage of raising* ...	1 186	18.6	305	11.2	1 491	16.4
	3. Uudistusvaiheen metsiköt [1]) — *Stands in the stage of regeneration*[1])	456	21.1	119	5.2	575	12.9
	Yhteensä — *Total*	1 944	20.3	613	9.7	2 557	16.0
Tyydyttävä *Satisfactory*	1. Taimistot	506	47.7	722	53.1	1 228	50.7
	2. Kasvatusvaiheen metsiköt	2 983	46.8	1 488	54.7	4 471	49.1
	3. Uudistusvaiheen metsiköt	916	42.4	1 020	44.7	1 936	43.6
	Yhteensä — *Total*	4 405	45.9	3 230	50.8	7 635	47.9
Hoitotehtävä viivästynyt *Silvicultural measure delayed*	1. Taimistot	213	20.1	416	30.6	629	26.0
	2. Kasvatusvaiheen metsiköt	1 542	24.2	767	28.2	2 309	25.4
	3. Uudistusvaiheen metsiköt	510	23.6	1 034	45.3	1 544	34.8
	Yhteensä — *Total*	2 265	23.6	2 217	34.8	4 482	28.1
Levolla parannettava *Improvement with rest*	1. Taimistot	39	3.7	30	2.2	69	2.9
	2. Kasvatusvaiheen metsiköt	191	3.0	63	2.3	254	2.8
	3. Uudistusvaiheen metsiköt	15	0.7	18	0.8	33	0.7
	Yhteensä — *Total*	245	2.5	111	1.7	356	2.2
Harsinnan heikontama *Impaired by selection cutting*	1. Taimistot	0	0.0	3	0.2	3	0.1
	2. Kasvatusvaiheen metsiköt	472	7.4	98	3.6	570	6.3
	3. Uudistusvaiheen metsiköt	263	12.2	91	4.0	354	8.0
	Yhteensä — *Total*	735	7.7	192	3.0	927	5.8
Yhteensä — *Total*	1. Taimistot	1 060	100.0	1 360	100.0	2 420	100.0
	2. Kasvatusvaiheen metsiköt	6 374	100.0	2 721	100.0	9 095	100.0
	3. Uudistusvaiheen metsiköt	2 160	100.0	2 282	100.0	4 442	100.0
	Yhteensä — *Total*	9 594	100.0	6 363	100.0	15 957	100.0

[1]) Käsittää myös 10 % aukeista aloista. — *This group includes 10 % of the open areas.*

Taulukko 29. Vajaatuottoisten alojen ryhmät.
Table 29. Groups of underproductive areas.

Ryhmä — *Group*	Eteläpuolisko *Southern half*		Pohjoispuolisko *Northern half*		Koko maa *The whole country*	
	1 000 ha	%	1 000 ha	%	1 000 ha	%
Puulaji muutettava — *Change of tree species*	763	62.1	1 438	63.4	2 201	63.0
Harsimalla pilattu — *Spoilt by heavy selection cutting*	112	9.1	121	5.3	233	6.7
Jätemetsikkö — *Poor residual stand*	44	3.6	52	2.3	96	2.7
Yli-ikäinen — *Overmature*	34	2.8	224	9.9	258	7.4
Muu uusittava metsikkö — *Other poor stands waiting for regeneration*	97	7.9	92	4.1	189	5.4
Yhteensä — *Total*	1 050	85.5	1 927	85.0	2 977	85.2
Hoitamattomat paljaat alat — *Unmanaged open areas*	178	14.5	340	15.0	518	14.8
Kaikkiaan vajaatuottoista alaa — *Total of underproductive areas*	1 228	100.0	2 267	100.0	3 495	100.0

Käsittelyn tarve

Inventoinnin tulosten osoittama kuva erilaisten metsänhoidollisten hoitotoimenpiteiden tarpeesta ilmenee taulukosta 30. Toimenpiteiden arviointi kohdistui likimäärin lähi 10-vuotiskauteen. Useista käytännöllisistä syistä

Taulukko 30. Arvioitu metsien käsittelyn tarve n. 10-vuotiskautena 1962—71 (1963—74).

Table 30. Estimated need of treatment of the forests during the 10-year period 1962—71 (1963—74).

Toimenpide — *Measure*	Etelä-puolisko *Southern half*	Pohjois-puolisko *Northern half*	Koko maa *The whole country*
	Likimääräinen pinta-ala n. 10-vuotiskautena, 1 000 ha. *Approximate area during the 10-year period, 1 000 hectares*		
Raivaus [1]) — *Clearing*[1])	650	548	1 198
Metsänviljely [2]) — *Forest cultivation* [2])	1 464	2 361	3 825
Mänty — *Pine*	709	2 151	2 860
Kuusi — *Spruce*	641	112	753
Täydennys — *Supplementary cultivation*	114	98	212
Taimiston hoito — *Tending of seedling stands*	1 228	1 391	2 619
Perkaus — *Cleaning*	589	510	1 099
Vapautus — *Liberation*	639	881	1 520
Ylispuiden poisto — *Removal of standards*	302	220	522
Kasvatushakkuu (harvennus) — *Intermediate cutting (thinning)*	5 105	1 927	7 032
Kunnostus — *Improvement*	238	50	288
Nuoreikon harvennus — *Young stand's thinning*	720	297	1 017
Varsinainen harvennus — *Ordinary thinning*	2 433	935	3 368
Väljennys — *Accretion thinning*	1 714	645	2 359
Uudistushakkuu — *Regeneration cutting*	2 439	3 448	5 887
Siemenpuuhakkuu — *Seed-tree cutting*	618	1 004	1 622
Suojuspuuhakkuu — *Shelter-tree cutting*	918	590	1 508
Avohakkuu — *Clear cutting*	903	1 854	2 757
Toimenpide ei tarpeen — *No measure needed*	1 376	1 342	2 718
Koko metsäpinta-ala [3]) — *Total forest land area* [3])	10 822	8 630	19 452

[1]) Ei sisällä uudistushakkuisiin liittyvää raivausta. — *Excluding clearing in connection with cuttings for regeneration.*

[2]) Liittyy huomattavalta osalta avohakkuuseen. — *To a considerable degree in connection with clear-cutting.*

[3]) Eri toimenpideryhmien pinta-alojen summa ylittää koko metsäpinta-alan, koska osalla metsikkökuvioita on ehdotettu kahta eri toimenpidettä. — *The sum of the areas of different measures exceeds that for the total forest area, because in some of the stand figures, two different measures have been suggested.*

johtuen ei taulukon lukuja voida pitää lähi 10-vuotiskauden työohjelmana. Tulokset osoittavat lähinnä metsien tilaa ja tilan vaatimaa toimenpiteiden tarvetta inventoinnin ajankohtana. Taulukon tulokset tarjoavat kuitenkin perustan käytännön metsänhoito-ohjelmien laadinnalle.

Metsien vastaisen käsittelyn tarpeen yhdistelmänä voidaan todeta, että uudistushakkuilla ja metsänviljelyllä on keskeinen merkitys sekä maan etelä- että pohjoispuoliskon metsien kunnostamisessa. Tasaveroisena metsien uudistamisen kanssa on tarpeen suorittaa myös metsien kasvatukseen ja kunnostukseen tähtääviä erilaisia metsänhoito- ja metsänparannustöitä.

Hakkuusuunnite

IV inventoinnin tulosten (julkaisut s. 7) perusteella laaditut hakkuusuunnitteet kohdistuvat maan eteläpuoliskon osalta vuosiin 1962—71 ja pohjoispuoliskon osalta vuosiin 1964—73. Suunnitteiden laskentaperusteiden suhteen viitataan etenkin Ilvessalon (1962, s. 88—92) esittämiin yksityiskohtaisiin selostuksiin. Ilvessalo määritti maan eteläpuoliskon kokonaishakkuusuunnitteen vuosien 1951—53 inventoinnin II suunnitteen [1]) määräiseksi. Prof. Kullervo Kuuselan ja kirjoittajan yhteistyönä laatima maan pohjoispuoliskon hakkuusuunnite muodostui kokonaismäärältään 1 milj. m³ aikaisempaa suunnitetta pienemmäksi. Laskennassa on edellytetty vain nykyisten luonnon- ja kansallispuistojen jäävän hakkuiden ulkopuolelle. IV inventoinnin tulokset antoivat myös aiheen tarkistaa maan eri osien suunnitteiden puulaji- ja puutavaralajirakennetta. Sen johdosta, että v. 1963 aloitettu V inventointi [2]) on edelleen antanut aiheen eräisiin alueittaisiin suurennuksiin, rajoitutaan taulukossa 31 maan eri osia erottamatta vain koko maan hakkuusuunnitteen kokonaismäärää ja puulajirakennetta valaisevien tulosten esittelyyn.

Taulukko 31. Hakkuusuunnite.
Table 31. Allowable cut.

Koko maa keskimäärin vuotta kohden, kuoretta.
The whole country an average per year, excl. bark.

Mänty *Pine*		Kuusi *Spruce*		Lehtipuut *Hardwoods*		Yhteensä *Total*	
milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³	%	milj. m³ Mill. cu. m.	%
14.11	31.0	18.08	39.7	13.36	29.3	45.55	100.0

[1]) Yrjö Ilvessalo. 1959. Suomen metsien hakkuumahdollisuudet metsävarojen kehittämiseen tähtäävän hakkuusuunnitteen valossa. — Metsäntutkimuslait. julk. 51. 9.
[2]) Kullervo Kuusela. 1967. Helsingin, Lounais-Suomen, Satakunnan, Uudenmaan-Hämeen, Pohjois-Hämeen ja Itä-Hämeen metsävarat vuosina 1964—65. — Folia Forestalia 27.

The Fourth National Forest Inventory in Finland

4. Forest resources in Finland in 1960—63

Summary

The Fourth National Forest Inventory in Finland, which was carried out in 1960—63, was first — in 1960—61 — restricted to the southern half of the country. In 1962—63, however, it was possible to carry on works in the northern half of the country. Because of this division of the inventory, the principal results obtained from the southern and the northern halves of Finland were published separately, first as brief preliminary reports and later, in the form of complete investigations in the volume of the Forest Research Institute's series mentioned on p. 7. Soon it was found reasonable to compile the most central results for the two halves of the country into one entity and to publish them together.

Except for the data concerning the whole country, Tables 2—30 also present the results for its southern and northern parts separately. Table 31 presents the allowable cut for the whole country. In the present paper, the southern half of the country refers to the area covered by the southern forestry board districts, i.e., that situated to the south of the southern border of the administrative district of Oulu. Correspondingly, the northern half of the country refers to the area of the four forestry board districts located to the north of the border mentioned. The descriptions of the growing stock principally concern the so-called forest land of the new concept which includes the productive forest land and a specified part of the poorly productive forest land of the former concept as well as a small area of waste-land swamps that have been drained for forest growth. The poorest forests of the poorly productive forest land were included with waste lands. The basis of calculation for comparison of the results of the fourth inventory with those of the third was the productive and the total forest land of the former concept. In the present work the tables showing such comparisons have been constructed on this basis, the rest being based on the forest land of the new concept. Information on the field works of the inventory as well as a detailed report on the calculation of the results can be found from the papers mentioned on p. 7. Table 1 shows the density of the inventory in broad outline.

In the present paper the text has been limited to a few complementary notes of the tables, which give the following information: Distribution of the land area by main groups (Table 2, p. 7), classification of the forest land of the old concept (Table 3, p. 8), the peatland area (Table 4, p. 8), tree species composition, age classes, and development classes of the forests (Tables 5—9), volume and structure of the growing stock (Tables 10—26), stand treatment during the 10-year period preceding the inventory (Table 27, p. 23), silvicultural condition of the forests (Tables 28—29, p. 24—25), and the need of silvicultural measures (Table 30, p. 26). Table 31 (p. 28) presents an estimate of the allowable cut of the whole country.

The differences occuring in the results between the Third and the Fourth Inventory are probably partly due to differences in the basis of classification. Inaccuracies may also occur in the results of the Fourth Inventory due to the relatively small density of the survey-line net employed. So, for instance, the decrease in the area of stands covered by broad-leaved trees, as revealed by Table 6, is due to a considerable extent to differences in the principles of classification. It might be mentioned that in the Fourth Inventory more attention than before was given to seedling stands of pine and spruce with standards. On the basis of the data presented on the volume of the growing stock it seems that, particularly, in the northern half of the country, the decrease shown by the results has really taken place in the time between the last inventories (Table 14, p. 15). Because of the decrease in the total volume and evidently also due to unfavorable growth conditions, the total annual increment, too, has decreased in the northern half of the country (Table 26, p. 22). The quantity of large-sized timber, on the other hand, has increased, especially in the southern half of the country. This, in turn, has lead to an increase in the quantity of sawtimber.

With regard to the future treatment of the forests (Table 30, p. 26), one might conclude that regeneration cuttings and forest cultivation are of central importance for the improvement of the forests both in the southern and northern halves of the country. Simultaneously, however, there is also reason to carry out other works aiming at improved timber production and silvicultural condition of the Finnish forests.

MÄNTYMITTARIN (*BUPALUS PINIARIUS* L.) ESIINTYMISESTÄ KAAKKOIS-SUOMESSA VUOSINA 1957—59

PAAVO JUUTINEN

ZUM VORKOMMEN DES KIEFERNSPANNERS (*BUPALUS PINIARIUS* L.) IN SÜDOST-FINNLAND IN DEN JAHREN 1957—59

REFERAT

HELSINKI 1968

Helsinki 1968. Valtion painatuskeskus

Alkusanat

1950-luvulla sattui maamme metsissä muutaman vuoden aikana poikkeuksellisen runsaasti mittariperhosten (*Lepidoptera, Geometridae)* toukkien aiheuttamia tuhoja. Vuosina 1954—56 esiintyi tunturimittari (*Oporinia autumnata* Bkh.) etenkin länsi- ja pohjois-Lapissa aikaan saaden metsähallinnon Perä-Pohjolan piirikuntakonttorin keräämien tietojen mukaan nimenomaan kesällä 1955 tuntuvia vaurioita tunturikoivikoissa ainakin 120 000 ha:n alalla. Samoin havaittiin kesällä 1955 lumimittarin (*Operophthera fagata* Scharf.) vioituksia useamman tuhannen hehtaarin laajuisissa koivumetsissä keski-Suomessa Kivijärveltä Sonkajärvelle ulottuvalla alueella, ja 1957 alkoi kaakkois-Suomessa mäntymittarin (*Bupalus piniarius* L.) esiintyminen, joka jo seuraavana vuotena sai varsin merkittävät mittasuhteet.

Voitaneen sanoa, että useimpien suurtuholaisina esiintyvien, puiden lehtiä tai neulasia tuhoavien hyönteislajien taloudellinen merkitys (so. vioitusten vaikutus puiden kasvuun ja kuivumiseen sekä ns. seuraustuhojen esiintymiseen) samoin kuin monet niiden runsaudenvaihteluunkin liittyvät kysymykset ovat meillä vielä vaillinaisesti tunnettuja. Tästä syystä olisikin kaikkia tuhotapauksia pyrittävä käyttämään mainittujen kysymysten selvittelyyn, koska esim. puiden toipumiskykyä koskevilla tarkoilla tiedoilla on ensiarvoisen tärkeä käytännöllinen merkitys silloin kun tuhot esiintyvät niin voimakkaina, että on syytä ryhtyä harkitsemaan torjuntatoimenpiteisiin turvautumista.

Useasta syystä — ennen kaikkea tutkijavoimain vähyydestä johtuen — voitiin Metsäntutkimuslaitoksen toimesta edellä mainituissa tapauksissa kuitenkin suorittaa vain mäntymittaria koskevia tutkimuksia. Vaikka nämäkin jouduttiin toimittamaan jokseenkin suppeissa puitteissa ja lisäksi ennakolta aavistamattomista syistä keskeyttämään jo keväällä 1960, jolloin mm. puuston toipumiskysymys jäi lopullisesti selvittämättä, lienee saatujen tulosten julkaiseminen kuitenkin puolustettavissa nimenomaan siitä syystä, että kirjallisuudessa aikaisemmin esitetyt tiedot maassamme sattuneista mäntymittarin joukkoesiintymisistä ovat hyvin niukat.

Käsikirjoituksena ovat tutkimukseen ystävällisesti tutustuneet professori Esko Kangas, päämetsänhoitaja Jaakko Simolinna ja metsänhoitaja Teppo Nuortimo, joiden kanssa minulla oli tilaisuus olla läheisessä yhteistyössä myös torjuntatoimenpiteitä suunniteltaessa ja

toteutettaessa. Metsänhoitaja Risto Repo on hyväntahtoisesti antanut käytettäväkseni Taipalsaaren tuhoalueilta ottamaansa valokuva-aineistoa, ja monet sekä ao. metsänhoitolautakuntien että metsänhoitoyhdistysten toimihenkilöt ovat tavalla tai toisella osallistuneet myös käsillä olevassa tutkimuksessa esitettyjen aineistojen kokoamiseen.

Fil. toht. Jouko Kaisila on ystävällisesti määrittänyt kootusta mäntymittariaineistosta tavatut *Semiothisa liturata* Cl.- ja *Palimpsestis duplaris* L. -yksilöt, samoin kuin fil. maist. Lauri Tiensuu kasvatusten yhteydessä taltioidun tachinidi- ja herra Jonny Perkiömäki vastaavan ichneumonidi-materiaalin.

Tarpeellisten kenttä- ja laboratorioapulaisten palkkaaminen kävi päinsä pääasiassa Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiön minulle myöntämän apurahan turvin.

Kaikesta saamastani tuesta pyydän saada tässä yhteydessä lausua parhaimmat kiitokseni.

Helsingissä 19. päivänä helmikuuta 1968

Paavo Juutinen

Sisällysluettelo

Sivu

Mäntymittarin aikaisemmasta esiintymisestä 7

Vuosien 1957—59 tuhoalueet ja niiden metsät 8

Gradation aikaiset sääsuhteet 12

Koteloiden koekeruu ja koteloiden kasvatuksista saadut tulokset 13

Torjuntatoimenpiteet 19

Kirjallisuusluettelo 23

Deutsches Referat 25

Mäntymittarin aikaisemmasta esiintymisestä

Tietoja mäntymittarin keski-Euroopassa aiheuttamista tuhoista on olemassa ainakin vuodesta 1780 lähtien. Tämän jälkeen tuhot ovat toistuneet melko usein ja aiheuttaneet monesti huomattavia taloudellisia tappioita. Tunnetuista esiintymistä on seurauksiltaan tuhoisin ollut Baijerissa vuosina 1892—96 sattunut kalamiteetti, joka käsitti 40 000 ha valtion ja 10 000 ha muiden omistukseen kuuluneita metsiä ja jonka välittömänä tai välillisenä seurauksena jouduttiin puustoa hakkaamaan yhteensä 1 800 000 k-m³ (Escherich 1931).

Mäntymittarin esiintymisestä Skandinavian maissa mainittakoon, ettei Norjasta — vaikkakin laji on yleinen maan eteläosissa — ole olemassa tietoja sen aiheuttamista merkittävistä tuhoista (Bakke 1961). Ruotsissa mäntymittarin tiedetään esiintyneen lievempiä tai voimakkaampia vaurioita aiheuttaen vuosien 1886—1945 välisenä aikana kaikkiaan parinakymmenenä vuotena, yleisimmin etelä-Ruotsissa (Marianne Lekander 1951). Viimeisimmistä tuhokausista mainittakoon erityisesti vuodet 1943—45, jolloin paikoitellen jouduttiin suorittamaan lentopölytyksiäkin (Butovitsch 1947). Vuosina 1946—59 mäntymittari aiheutti jonkin verran tuhoa tiettävästi vain kesinä 1948 ja 1952 (vrt. B. Lekander 1955 a, Skogsstatistisk årsbok 1953—61).

Ensimmäinen kirjallisuudessa esiintyvä tieto mäntymittarituhoista Suomessa on tiettävästi vasta vuodelta 1929. »Tapio»-lehdessä julkaistussa, luultavastikin lehden toimitussihteerin I. Heimon (1930) laatimassa lyhyessä artikkelissa, jossa selostetaan arsenikkivalmisteiden käyttöä metsän tuholaisten torjunnassa, mainitaan mäntymittarista puheen ollen: »Saman hyönteisen tuhoalue huomattiin meillä viime kesänä Saimaalla eräässä saaressa, jossa puut noin 10 ha suuruisella alalla olivat toukkien pahoin turmelemat, ja tänä kesänä näyttää tuho uhkaavan levitä varsin laajalle alalle.» Tilannetta pidettiin jopa niin hälyttävänä, että — kuten artikkelissa kerrotaan — katsottiin aiheelliseksi kääntyä erään saksalaisen toiminimen puoleen ja tiedustella voisiko tämä ottaa suorittaakseen kyseisen tuhoalueen pölyttämisen. Prof. E. Kankaalta saamieni tietojen mukaan tuhoja esiintyi 1929 useissakin Saimaan saarissa, ja lisäksi hän oli jo edellisenä kesänä todennut mäntymittarin poikkeuksellisen voimakasta parveilua Karjalan kannaksella Pyhäjärven Sortanlahden läheisillä kuivilla

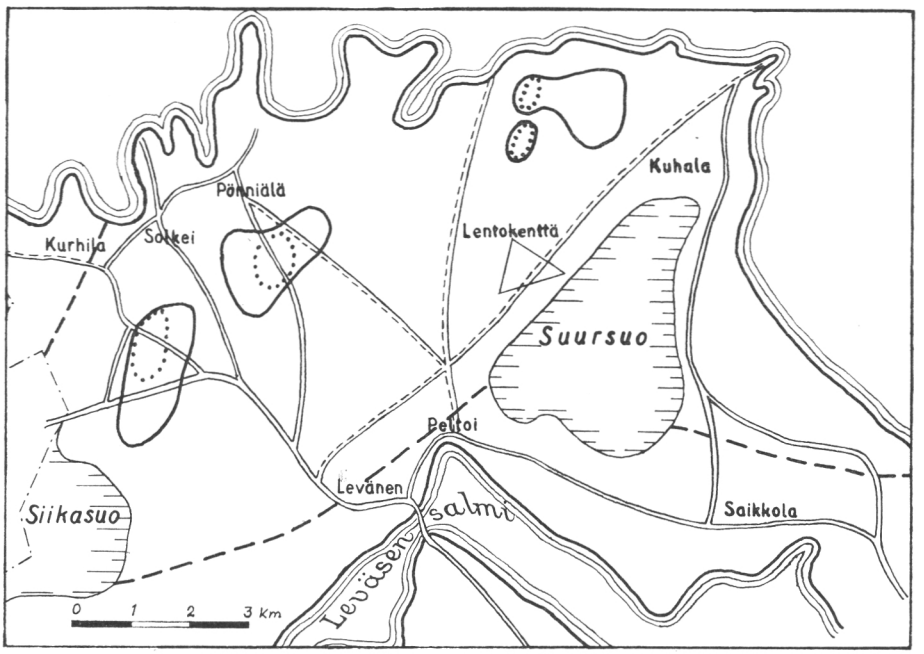
mäntykankailla, missä syksyllä havaittiinkin runsaasti toukkien vioitusten johdosta ruskettuneita mäntyjä. Alue, jolla tuhoja 1920-luvun viimeisinä vuosina sattui, on siis ollut laajempi kuin mitä mainitusta Heimon artikkelista voisi päätellä. Seuraavilta vuosilta ei kirjallisuudesta kuitenkaan ole löytynyt mitään tuhon jatkumiseen viittaavia yksityiskohtaisia tietoja. Ainoastaan metsätilastossa (1933) mainitaan mäntymittarin esiintyneen vv. 1930—31 »yksityisissä hoitoalueissa». Lienee kuitenkin mahdollista, että ainakin osa näistäkin havainnoista on koskenut samanaikaisesti sattuneita ruskean mäntypistiäisen tuhoja, vaikka niistä onkin kyseisiltä vuosilta metsätilastossa erityinen maininta. Steiner (1931) mainitsee tutkimuksessaan, joka käsittelee loisten esiintymistä ja merkitystä Mecklenburgissa vv. 1927—30 sattuneen gradation aikana, että noina aikoina mäntymittari esiintyi muuallakin Saksassa, Puolassa, Suomessa ja Ruotsissa, vieläpä usein ja monesti suuria tuhoja aiheuttaen. Mitään tietolähteitä ei tässä yhteydessä kuitenkaan ole mainittu.

Edellisten lisäksi on mäntymittarin aikaansaamista tuhoista nyky-Suomen alueelta olemassa ennen 1950-lukua vain yksi havainto: prof. E. Kankaan antaman tiedon mukaan toukat söivät Joensuun lähellä Jaamankankaalla vuonna 1947 männyt melkein paljaiksi 3—5 ha:n alalta; tuhonalaisten metsiköiden kokonaispinta-ala lienee ollut 10-kunta hehtaaria (vrt. myös Saalas 1949).

Tiedot mäntymittarin joukkoesiintymisistä maassamme ovat siis erittäin niukat. Muiden mäntymetsissä suurtuhoja aiheuttavien hyönteislajien osalta mainittakoon, että laajahkoilla alueilla sattuneista mäntypistiäisten ja mänty-yökkösen tuhoista on kirjallisuudessa esitetty tietoja jo 1850- ja 1860-lukujen vaihteestakin (Blomqvist 1881, Ehnberg 1892). Kun mäntymittarin toukkien syöntitavasta johtuen tuhonalaisille metsiköille on luonteenomaista latvusten voimakas ruskettuminen, mikä ilmiö — jos on kysymys vähänkin tuntuvammista vioituksista — ei voi jäädä huomiotta, ja kun tuhojen ilmeneminen on todennäköistä vain maan eteläpuoliskossa (lajin levinnästä kts. Valle 1946), onkin luultavaa, ettei seurauksiltaan vakavia mäntymittarin suuresiintymisiä ole maassamme ainakaan 1800-luvun loppupuoliskolla ja 1900-luvun alkupuoliskolla sattunutkaan.

Vuosien 1957—59 tuhoalueet ja niiden metsät

Edellä esitettyä taustaa vasten oli jossain määrin yllättävää, että syksyllä 1957 saatiin tietoja mäntymittarin toukkien runsaslukuisesta esiintymisestä Taipalsaarella. Pahimpien tuhoalueiden — joilla puut syötiin täysin paljaiksi — yhteispinta-ala rajoittui tosin n. 10 hehtaariin, mutta sen lisäksi

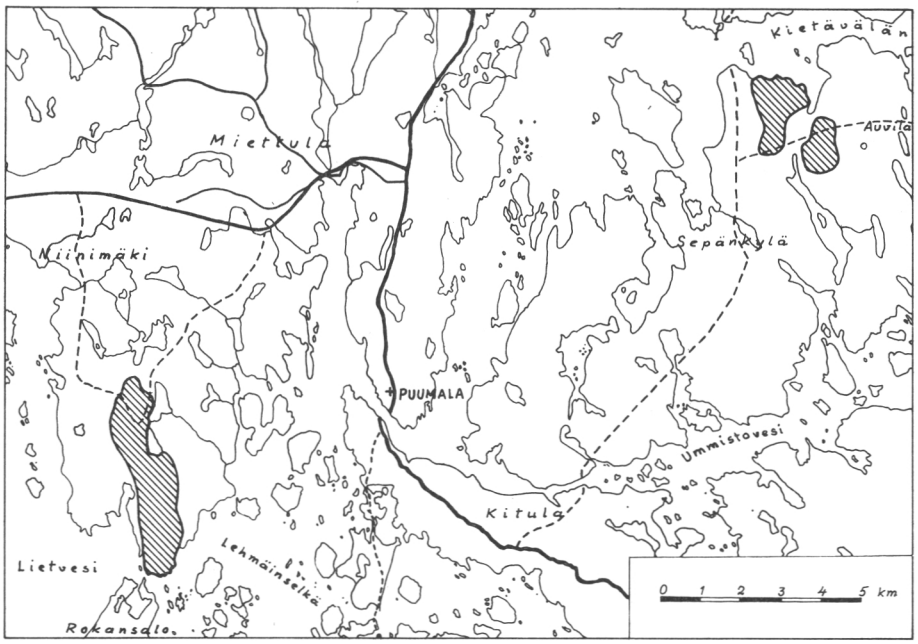


Kuva 1. Kaavamainen piirros mäntymittarin esiintymisalueesta Taipalsaarella (metsätekn. I. K a i p i a n laatiman luonnoksen mukaan). Pisteviiva = pahimmat tuhoalueet 1957, yhtenäinen viiva = pahimmat tuhoalueet 1958, katkoviiva = tuhoalueen länsi- ja eteläraja 1958.

Abb. 1. Schematische Darstellung vom Vorkommengebiet des Kiefernspanners in Taipalsaari (nach einer Skizze von Forsttechniker I. K a i p i a). Punktierte Linie = die schlimmsten Schadgebiete 1957, ausgezogene Linie = die schwersten Schadgebiete 1958, gestrichelte Linie = West- und Südgrenze des Schadgebiets 1958.

tapahtui lievempiä vioituksia usean sadan hehtaarin alalla (vrt. R e p o 1957). Myöhemmin kävi ilmi, että samanaikaisesti oli toukkia esiintynyt myös Puumalassa usean tilan mailla. Tarkkaa tietoa tuhosta kärsineiden metsiköiden laajuudesta ei käytettävissäni ole, mutta joka tapauksessa oli täälläkin kysymys yhteensä sadoista hehtaareista.

Kesällä 1958 tuho jatkui huolestumista herättävällä voimalla. Yleiskatsaus tuhoalueiden sijainnista Taipalsaarella on kaavamaisesti esitetty kuvassa 1. Kuten kartasta nähdään, oli 1957 muodostunut neljä erillistä tuhokeskusta, joista äärimmäisten etäisyys toisistaan oli lähes 10 km. Syksyyn 1958 mennessä oli pahoja tuhoja kärsineistä, osittain paljaiksikin syödyistä alueista pohjoisin laajentunut itään päin varsin huomattavasti, ja myös Pönniälän, Solkein ja Kurhilan kylien mailla olleet kaksi aluetta olivat kasvaneet kaksin — kolminkertaisiksi. Näitten pahimmin tuhoista kärsineiden männiköiden kokonaispinta-ala oli noin 500 ha. Tämän lisäksi todettiin voimakkuudeltaan vaihtelevaa tuhoa peräti noin 5 000 ha:n alalla Taipalsaaren kunnan pohjoisosat käsittävällä yhtenäisellä mäntymetsä-



Kuva 2. Pahimmat tuhoalueet Puumalassa (vinoviivoitus). Lievähköjä vioituksia esiintyi paitsi näiden alueiden ympärillä ainakin kartan vasemmassa reunassa olevan Niinimäen seuduilla.

Abb. 2. Die schwersten Schadgebiete in Puumala (schraffiert). Leichtere Schäden kamen ausser in der Umgebung dieser Gebiete mindestens in der Gegend von Niinimäki links auf der Karte vor.

alueella sekä Kuhalasta Saikkolaan ulottuvalla toisaalta Saimaan ja toisaalta soiden ja viljelysten rajoittamalla pitkällä metsäkannaksella. Pakkalan kankaille, peninkulman verran Kuhalasta kaakkoon oli syntynyt aivan uusi tuhokeskus, jossa jo varsin pahoin vioitettujen männiköiden pinta-ala käsitti n. 250 ha.

Puumalassa (kts. kuva 2) mäntymittarin toukkia esiintyi runsaasti kahdessa paikassa: kirkonkylän länsipuolella sijaitsevan Sorjolan kylän mailla männyt menettivät jo toisen kerran suurimman osan neulastostaan n. 4.5 km:n pituisella ja 1 km:n levyisellä mäntyalueella, ja Viljakansaaren pohjoisrannalla sattui niin ikään toistamiseen pahoja tuhoja n. 250 ha:n alalla. Pahasti vaurioituneiden männiköiden pinta-ala nousi siis n. 700 ha:iin, mutta tämän lisäksi esiintyi lieviä vioituksia melko suurella alalla.

Taipalsaaren ja Puumalan lisäksi tuhoja ilmeni kesällä 1958 myös Ruokolahdella, jossa niiden esiintymisestä ei edellisenä vuonna tiettävästi ollut tehty mitään havaintoja. Tuntuvasti vioitetut alueet sijaitsivat Syyspohjasta Utulaan päin olevilla kankailla ja käsittivät yhteensä n. 150 ha. On varsin luultavaa, että mäntymittarin toukkia esiintyi jossain määrin myös edellä lueteltujen alueiden ulkopuolella ja mahdollisesti myös muissakin

Saimaan ympärillä olevissa kunnissa, mutta kun laajojen alueiden yksityiskohtaiseen tutkimiseen ei ollut mahdollisuuksia ja kun mäntyjen latvusten harsuuntuminen nimenomaan kesällä 1959 johtui osittain myös jo tällöin alkaneista ruskean mäntypistiäisen tuhoista (vrt. J u u t i n e n 1967), ei tarkempaa tietoa näistä, voimakkuudeltaan joka tapauksessa vähäisiksi jääneistä esiintymistä ole olemassa.

Kaikilla tuhoalueilla oli kysymys laihoilla, kanerva- tai puolukkatyypin kankailla kasvavista, suurimmalta osalta aivan puhtaista männiköistä. Myös siellä täällä kuivilla kangasmailla olleet alaltaan vähäiset koivun sekaiset männiköt olivat kärsineet tuhoista suunnilleen samassa määrässä kuin ympäröivät mäntymetsät. Sen sijaan vioitukset olivat joissakin paikoin selvästikin lievempiä kosteammissa painanteissa tai järvien rannoilla. Toukkia ei myöskään tiettävästi millään paikkakunnalla esiintynyt ainakaan mainittavasti rämemänniköissä.



Kuva 3. Näkymä Taipalsaaren tuhoalueelta 11. XI. 1957. Valok. R. R e p o.

Abb. 3. Aus dem Schadgebiet von Taipalsaari 11. XI. 1957. Lichtbild R. R e p o.

Kehitysasteensa puolesta tuhonalaiset metsiköt olivat huomattavalta osalta nuorehkoja tai keski-ikäisiä, useassa tapauksessa melko tiheässä kasvatettuja, ko. alueille noihin aikoihin tyypillisiä ns. »parrumänniköitä». Kirjeessään maatalousministeriölle 3. VII. 1959 mainitsee lakit. lis. A. Puupponen mäntymittarin esiintymisestä Puumalassa mm.: »Tuholainen alkoi työn [Sorjolan kylässä] arviolta 4—50 vuotisessa, ehkä liian tiheäksi jääneessä, heikon puolukkatyypin, ehkä osittain sitäkin heikomman kasvupohjan männikössä. Näytti aluksi välttävän ainakin nuoria taimistoja ja paremmassa kasvuharvuudessa olevaa, aikaisemmin vesonnalla siihen saatettuja metsän osia, mutta on toisena vaikutusvuotenaan levinnyt myös viimeksimainittuihin.» Taipalsaarelta mainitsee Kukkonen (1958), ettei toukkia lokakuun alkupuolella 1958 löydetty tuhoalueilla olevista taimistoista tarkankaan hakemisen jälkeen. Samoin saatoin itse kesällä 1959 ko. kunnissa tarkastuksia suorittaessani todeta, että toukkien esiintyminen taimistoissa oli hyvin vähäistä. Myöskään kaikkein vanhimmissa männiköissä ei tiettävästi esiintynyt hyvin ankaria tuhoja, vaikkakin esim. Ruokolahdella jopa uudistusalojen siemenpuutkin kärsivät vaurioita.

Gradation aikaiset sääsuhteet

Kun useiden puiden neulasia tai lehtiä tuhoavien hyönteislajien joukkoesiintymisten on joko oletettu tai todettu jollakin tavalla riippuvan ilmastollisistakin tekijöistä — monessa tapauksessa niitä on edeltänyt useampiakin keskimääräistä lämpimämpiä ja vähäsateisempia kesiä (vrt. Juutinen 1967) — lienee paikallaan esittää lyhyt katsaus myös nyt puheena olevan gradation aikaisten ja sitä edeltäneiden vuosien, varsinkin kesäkausien sääoloihin. Keskimääräinen vuotuinen sademäärä sekä toukokuun, kesäkuukausien ja syyskuun yhteenlaskettujen sademäärien keskiarvo vuosilta 1921—50 sekä poikkeamat näistä arvoista vv. 1954—59 olivat Lappeenrannassa seuraavat (pitkäaikainen keskiarvo saatu julkaisusta Kuukausikatsaus Suomen sääoloihin 1959, muut arvot julkaisusta Suomen meteorologinen vuosikirja, sade- ja lumihavainnot 1954—59, viimeksi mainitut on pyöristetty täysiksi millimetreiksi):

	1921—50	1954	1955	1956	1957	1958	1959
				mm			
Touko- —syyskuu ..	322	+128	—80	—20	+46	—135	— 76
Koko vuosi	646	+183	+27	—13	+49	—253	—156

Runsassateista vuotta 1954 (erityisen sateisia olivat heinä-, elo- ja syyskuu) seurannut kesä 1955 oli suuressa osassa etelä-Suomea poikkeuksellisen kuiva (vrt. Erkamo 1958). Toukokuun sademäärä ylitti Lappeenran-

nassa keskimäärän 21 mm:llä, mutta kesäkuussa saatiin sadetta vain 18 mm, heinäkuussa 43 mm ja elokuussa 40 mm, pitkäaikaisten keskiarvojen ollessa vastaavasti 55, 68 ja 84 mm. Myös kesäkautena 1956 olisi sademäärä jäänyt verraten alhaiseksi, ellei elokuussa olisi satanut peräti 141 mm. 1957 oli alkukesä jokseenkin »normaali», mutta elo- ja varsinkin syyskuu tavanomaista sateisempia. Kesä samoin kuin koko vuosi 1958 oli vähäsateinen; erikoisesti mainittakoon, että kesäkuussa satoi 23 ja syyskuussa vain 13 mm. Huomattavan vähäiseksi jäi sademäärä seuraavanakin kesänä, jolloin vain elokuussa saatiin sadetta hieman tavallista enemmän. Sademäärän jakautuminen oli elokuussakin erikoislaatuinen, sillä Lappeenrannassa satoi ajalla 8.—23. VIII ainoastaan 0.2 mm.

Touko- —syyskuun lämpöoloista puheena olevina vuosina mainittakoon (Kuukausikatsaus Suomen sääoloihin 1954—59), että 1954 keskilämpötilat poikkesivat varsin vähän vuosien 1921—50 keskiarvoista. 1955 oli toukokuu hyvin kolea (keskilämpötilan poikkeama pitkäaikaisesta keskiarvosta —4.2°C), mutta varsinkin elokuu (+2.6°) ja syyskuu (+2.6°) tavallista lämpimämpiä. Kesällä 1956 nousi vain kesäkuun keskilämpötila normaalia korkeammaksi (+2.3°). Kesäkausina 1957—58 lämpötilat jäivät ensiksi mainitun vuoden heinäkuuta lukuun ottamatta tavallista alhaisemmiksi (kts. J u u t i n e n 1967: kuva 6). Niin kesäkuussa 1957 kuin touko-, heinä- ja elokuussa 1958 olivat negatiiviset poikkeamat 2° tai enemmän. 1959 olivat varsinaiset kesäkuukaudet tavallista lämpimämpiä, syyskuu sen sijaan kolea (poikkeama —2.3°). Lokakuu oli keskimääräistä tuntuvasti eli n. 1°C:n verran lämpimämpi vuosina 1955 ja 1958.

Gradatiota edeltäneinä vuosina oli siis koko kesä 1955 samoin kuin touko- ja kesäkuu seuraavana vuonna huomattavan vähäsateisia. Mikä merkitys tällä seikalla on ollut joukkoesiintymisen syntymiseen, ei kuitenkaan ole yksinomaan näiden havaintojen perusteella ratkaistavissa. Merkille pantavaa on, että myöskin kesät 1958 ja 1959 olivat kuivia ja viimeksi mainittu oli lisäksi huomattavan lämmin.

Koteloiden koekeruu ja koteloiden kasvatuksista saadut tulokset

Kun tuho syksyyn 1958 mennessä jo oli saavuttanut huomattavat mittasuhteet ja kun sen jatkuminen seuraavana vuonna tuntui todennäköisemmältä kuin päättyminen, pidin välttämättömänä, että keväällä 1959 suoritettaisiin tuhonalaisissa metsiköissä edes jossain määrin koteloiden koekeruita maassa talvehtineen terveen tuhonaiheuttajakannan suuruuden selvittämistä varten. Saamani apurahan turvin tällainen tutkimus voitiinkin toimittaa, joskaan ei siinä laajuudessa kuin olisi ollut suotavaa. Ilmeisestikin väärinkäsityksestä johtuen en vielä tuolloinkaan tiennyt

mitään mäntymittarin esiintymisestä Puumalassa ja kun myöskin Ruokolahdella sattuneista tuhoista saatiin ilmoitus vasta myöhemmin kesällä, rajoittuivat prognoositutkimukset valitettavasti yksinomaan Taipalsaarta koskeviksi.

Koteloiden koekeräykset suoritettiin kolmessa eri jaksossa (11.—14.V, 18.—22. V ja 2.—5. VI) seuraavanlaista menettelyä käyttäen. Ennen maastotöiden aloittamista vedettiin ilmakuvakarttaan (mittakaava 1: 20 000) kahdeksan pohjois—eteläsuunnassa ja neljä länsi—itäsuunnassa kulkevaa tarkastuslinjaa. Kun sivulla 9 esitetty karttaluonnos oli jo tällöin käytettävissä, sijoitettiin osa linjoista kulkevaksi pahojen tuhoalueiden halki, osa näiden välimaastoon ja kaksi linjaa toukkien esiintymisalueen eteläreunaan. Kaikilta linjoilta tarkasti tutkimuksen suorittanut 2-miehinen työryhmä koealan joka 100 m:n päästä (askelparein mitaten) mikäli koealan paikka sattui ainakin osaksi mäntyä kasvavalle metsäkuviolle. Koealalla irroitettiin sammalkerros puukolla 50 × 50 cm:n suuruiselta alalta vastaavankokoista vanerilevyä mittana käyttäen ja kaikki humuskerroksesta sekä mineraalimaan pintaosista löydetyt mittarikotelot taltioitiin koealoittain tavallisiin koeputkiin, jotka suljettiin väljähköllä vanutupolla. Työpäivän päätyttyä päivän kuluessa koottu aineisto vietiin kellariin tai muuhun viileään paikkaan, jossa putket saivat olla siihen saakka kunnes ne toimitettiin Metsäntutkimuslaitokseen, mikä tapahtui 14. V, 22. V ja 6. VI. Yhteensä koottiin 460 koealalta 1 856 koteloa. Kuljetusten aikana oli osa koeputkista kuitenkin auennut, jolloin niissä olleet kotelot olivat joko kadonneet tai sekoittuneet toisiinsa. Lopullinen aineisto käsitti tästä syystä vain 1 771 koteloa.

Laboratoriossa materiaalista pyrittiin erottelemaan pois mahdollisesti mukana tulleet muiden lajien kotelot. Valitettavasti tässä ei — vaikka koteloiden kokonaismäärä ei kovin suuri ollutkaan — täysin onnistuttu, sillä myöhemmin voitiin todeta, että aineistosta oli kuoriutunut myös seuraavia perhoslajeja: *Ematurga atomaria* L. (9 yks.), *Semiothisa liturata* Cl. (1 yks.) ja *Palimpsestis duplaris* L. (1 yks.). Luultavaa on, että myöskin loisittujen ja muista syistä tuhoutuneiden koteloiden joukossa oli jonkin verran varsinkin *Ematurgan* koteloita. Nimenomaan prognoosin kannalta ei näin vähäisillä määrillä kuitenkaan voinut olla mitään käytännöllistä merkitystä. Eri sukupuolten osuutta mäntymittarimateriaalissa ei tässä vaiheessa voitu määrittää.

Koska luultiin, että luotettavin kuva terveiden mäntymittariyksilöiden määrästä saataisiin, jos niiden annettaisiin kuoriutua laboratoriossa, ei koteloita avattu, vaan koko aineisto sijoitettiin edelleenkin vanutupoilla suljetuissa niputetuissa koeputkissa muovipusseihin, joihin kuivumisen estämiseksi vielä pantiin avonaiset vesiastiat. Kasvatus tapahtui huoneen lämpötilassa. Tarkastus toimitettiin joka arkipäivä ja sen yhteydessä teh-

tiin kuoriutuneiden mäntymittareiden yksilöluvusta ja sukupuolesta merkinnät vastaaviin koealalomakkeisiin. Varmasti mäntymittareiksi todettuja perhosia ei taltioitu. Sen sijaan kaikki muut perhoset sekä kuoriutuneet loispistiäiset ja -kärpäset otettiin talteen ja varustettiin koealaa ja kuoriutumispäivämäärää koskevilla merkinnöillä.

Kasvatukseen otetusta 1 771 kotelosta kuoriutui 514 mäntymittaria ja 185 loiskärpästä sekä 481 kotelosta loispistiäisiä, jonka lisäksi 591 koteloa tuhoutui erilaatuisista, etupäässä tuntemattomista syistä.

Erikoisesti herättää huomiota, että muiden syiden kuin loisten takia tuhoutuneiden koteloiden määrä oli varsin suuri eli melko tarkalleen kolmannes koko materiaalista. Näistä vain vajaat 5 % oli petojen rikkomia; luultavimmin olivat kysymyksessä olleet elateridien toukat (vrt. Friederichs, Schaerffenberg ja Sturm 1941). Eräissä tapauksissa on pikkunisäkkäillä todettu keski-Euroopassa olleen huomattava merkitys mäntymittarin koteloiden tuhoajina (vrt. esim. Jucht 1925), ja samoin ne hävittivät paikoitellen etelä-Suomessakin vuosien 1959—63 gradation aikana suuria määriä jättäytyneenä kotelokoppa-asteella talvehtinutta ruskeaa mäntypistiäistä (vrt. Juutinen 1967). Keväällä 1959 Taipalsaarelta kootussa mäntymittariaineistossa oli sen sijaan tuskin ollenkaan pikkunisäkkäiden tuhoamia koteloita. Valtaosa tähän ryhmään kuuluneista oli ulkonaisesti koskemattomia, joko kuivuneita tai useimmiten mädänneitä koteloita, joissa osassa oli merkkejä erilaatuisten sientenkin esiintymisestä. Vaikkakin kirjallisuudessa esitettyjen havaintojen mukaan tällä tavoin tapahtuvalla koteloiden tuhoutumisella saattaa joissakin tapauksissa olla huomattavakin merkitys (kts. Escherich 1931), on kuitenkin otettava huomioon, että tuhoutuminen voi ainakin välillisesti johtua myös kasvatusolosuhteista (kts. Jahn ja Sinreich 1957).

Tätä kysymystä valaisevat jossain määrin ne tulokset, jotka saatiin lounaisimmalta ensimmäisenä tuhovuotena pahoin syödyltä alueelta, missä kaksi tarkastuslinjaa »A» ja »B» leikkasivat toisensa. A-linjan koealat tarkastettiin 11. V ja B-linjan 13. V. Leikkauspistettä lähinnä sijainneella viidellä koealalla oli ensiksi mainitulla yhteensä 42 koteloa, viimeksi mainitulla 45. Koteloita oli siis suunnilleen yhtä paljon, mutta kun A-linjan koteloista oli tuhoutunut »muista syistä» vain 26 %, oli vastaava määrä B-linjalla peräti 98 %. On näin ollen todennäköistä, että säilytys- tai kasvatusolosuhteilla on ainakin joissakin erissä ollut vaikutusta koteloiden tuhoutumiseen. Terveiden (samoin kuin loisittujenkin) mäntymittariyksilöiden määrä oli todellisuudessa siis ilmeisestikin suurempi kuin mitä kasvatuksista saadut tulokset osoittivat.

Ensimmäisestä, 14. V kasvatukseen otetusta erästä kuoriutuivät mäntymittarikoiraat 23.—30. V ja naaraat 24. V—2. VI, toisesta erästä (otettu laboratorioon 22. V) vastaavasti 26. V—5. VI ja 25. V—6. VI. (Kesäkuussa

tarkastettiin koealoja etupäässä tuhoalueen laidoilta, joissa koteloiden määrä oli melko vähäinen.) Kirjallisuudessa esitettyjen tietojen mukaan (vrt. esim. Escherich 1931) mäntymittari on selvästi protandrinen, ts. koiraat kuoriutuvat ennen kuin naaraat. Nyt puheena olevissakin kasvatuksissa koiraat kuoriutuivat keskimäärin jonkin verran naaraita aikaisemmin, joskin ero oli etenkin ensimmäisessä erässä varsin vähäinen. Yhteensä saatiin naaraita 208 ja koiraita 306 yks., joten siis ♀♀: ♂♂ = 1:1.47. *Ematurga*-yksilöt kuoriutuivat 19.—26. V ja 24. V—2. VI. Kuoriutuneesta 9 yksilöstä oli 6 koirasta.

Tarkkoja havaintoja siitä, koska parveilu tapahtui luonnossa Taipalsaarella, ei ole käytettävissäni. Eri tahoilta saatujen tietojen mukaan lienee pääparveilu vuonna 1958, jolloin kevät oli myöhäinen ja kesäkuukin jonkin verran keskimääräistä viileämpi, siirtynyt heinäkuun puolelle. Seuraavana kesänä havaittiin huomiota herättävän voimakasta parveilua ainakin jo 14. VI alkaneella viikolla. Prof. E. Kankaalta kirjeitse saamani tiedon mukaan lensivät ensimmäiset mäntymittarit kesällä 1959 Luopioisissa 13.—16. VI, ja vilkkaimmillaan oli parveilu noin viikko tämän jälkeen.

Kasvatuksessa saadut loiskärpäset kuuluivat lajeihin *Blondelia piniariae* Htg. ja *Eucarcelia rutilla* Vill. Ensiksi mainittua oli 168, viimeksi mainittua vain 16 yks. (Lisäksi yhtä kärpäsyksilöä ei saatu taltioiduksi.) Mäntymittarin ja loiskärpästen kuoriutumishuippujen ero oli laboratorio-olosuhteissa n. 1 ½ viikkoa. Hertingin (1960) mukaan *Bl. piniariae* kuoriutuu luonnossa noin 3 viikkoa mäntymittarin jälkeen; *E. rutillan* lentoaika sattuu hieman myöhäisemmäksi eli heinä- —elokuulle. Kummankin lajin eri sukupuolten kuoriutumisajankohtien ääriarvot olivat ensimmäisessä ja toisessa kasvatuserässä seuraavat:

	Bl. piniariae		*E. rutilla*	
	1. erä	2. erä	1. erä	2. erä
♂♂	1.— 8. VI	3.—12. VI	2.—9. VI	6.—13. VI
♀♀	3.—11. VI	7.—15. (24.) VI	6.—8. VI	9.—16. VI

Lajien välillä ei siis laboratoriossa ollut kovinkaan suurta eroa, mutta sen sijaan kuoriutuivat kummankin lajin koiraat jonkin verran naaraita aikaisemmin. Ensimmäisessä erässä oli runsaslukuisempana esiintyneen *Bl. piniariaen* koiraiden kuoriutumishuippu 3. VI ja naaraiden 6. VI, toisessa erässä ei ero ollut näin selvä, sillä koiraita kuoriutui runsaasti sekä 7.—8. että 10. VI. Kummankin lajin yksilöistä oli enemmistö koiraita (*Bl. piniariaella* ♀♀: ♂♂ = 1: 1.46 ja *E rutillalla* 1: 2.20).

Kasvatuksista saatua loispistiäismateriaalia on yksityiskohtaisesti käsitelty erillisessä tutkimuksessa (Perkiömäki 1968). Tämän tutkimuksen mukaan aineisto käsitti seuraavat lajit:

	Yks.
Anomalon biguttatum Grav.	290
Poecilostictus cothurnatus Grav.	68
Ichneumon sp.	64
Heteropelma calcator Wesm.	39
Barichneumon locutor Thunb.	6
Aoplus ruficeps Grav.	4
Mesochorus politus Grav.	4
Cratichneumon nigritarius Grav.	2

Näitten lisäksi tavattiin kolmea muuta lajia yksi yksilö kutakin, mutta kun kasvatukseen otettu materiaali sisälsi jonkin verran myös muiden perhoslajien kuin mäntymittarin koteloita, ei isäntälajista näissä tapauksissa voinut olla täyttä varmuutta.

Ehdottomasti runsaslukuisin oli siis *Anomalon biguttatum*, jonka yksilömäärä käsitti hieman yli 60 % kaikista kasvatetuista ichneumonideista. Myöskin keski-Euroopassa laji on eräissä tapauksissa esiintynyt mäntymittarin pääasiallisimpana loisena ja vaikuttanut jopa ratkaisevastikin gradatioiden päättymiseen (Seitner 1921, Steiner 1931). Merkille pantavaa on, että *Cratichneumon nigritariusta* saatiin vain 2 yks., vaikka tämä laji on Keski-Euroopassa eräs kaikkein tärkeimmistä mäntymittarin toukka- ja koteloloisista (vrt Escherich 1931) ja esiintyi merkittävänä loisena myöskin Ruotsissa vuosien 1943—45 gradation aikana (Heqvist 1949). Aineisto käsitti myös yhden toistaiseksi lähemmin määrittämättömän *Ichneumon*-lajin, joka myöskin on — yksilömäärän huomioon ottaen — epäilyksettä nimenomaan mäntymittarin loinen.

Ainoa todettu hyperparasiitti oli *Mesochorus politus*, joka kirjallisuudessa esitettyjen tietojen mukaan saattaa joskus esiintyä varsin runsaslukuisena. Niinpä Dowden (1933) mainitsee, että 1930 Puolasta kootusta 600 *Blondelia piniariae* -pupariosta kuoriutui peräti 299 *M. politus* -aikuista (vrt. myös Steiner 1931, Heqvist 1949). Mainittakoon, että yhdestä taipalsaarelaisesta kotelosta kuoriutui 22 kiilupistiäistä, joita ei edellä esitetystä syystä ole määritetty. Mahdollisesti kysymyksessä oli tässäkin tapauksessa jomman kumman loiskärpäslajin loinen (vrt. Herting 1960). Hyperparasiittien osuus oli joka tapauksessa nyt puheena olevassa materiaalissa merkille pantavan vähäinen.

Kolmen yleisimmän lajilleen määritetyn ichneumonidin kuoriutumisen ääripäivämäärät olivat eri ajankohtina kasvatukseen otetuissa koteloerissä seuraavat:

	H. calcator	*P. cothurnatus*	*A. biguttatum*
1. erä (14. V)	30. V—4. VI	7.—17. VI	12. VI— 8. VII
2. erä (22. V)	2. VI—9. VI	7.—20. VI	14. VI—14. VII

H. calcator kuoriutui näin ollen kaikkein aikaisimmin, jopa osittain ennen loiskärpäsiäkin, *P. cothurnatus* viimeksi mainittujen kanssa samanaikaisesti tai jonkin verran niiden jälkeen ja *A. biguttatum* suurimmaksi osaksi selvästi muita loislajeja myöhäisemmin (vrt. Steiner 1931, Heqvist 1949). *A. biguttatumin* kuoriutumista kesti lisäksi varsin kauan aikaa: ensimmäisessä erässä 27 ja toisessa 31 vrk. Steinerin (op.c.) mukaan *Anomalon* poiketen muista mäntymittarin loisista ei ole protandrinen laji. Nyt puheena olevissa kasvatuksissa näin ei kuitenkaan ollut asianlaita, sillä koiraiden kuoriutuminen alkoi kummassakin erässä viikon verran naaraita aikaisemmin ja vilkkaimpien kuoriutumiskausienkin välillä oli selvä samansuuntainen ero.

Kaiken kaikkiaan oli Taipalsaarelta keväällä 1959 kerätystä 1 771 kotelosta loisittuja siis 666 kpl. eli 37.6 %. Todellisuudessa loisprosentti on ilmeisesti ollut suurempikin, koska osa loistoukista ja -koteloista todennäköisesti tuhoutui nimenomaan kasvatusolosuhteista johtuen. On hyvin luultavaa, että tachinidien tuhoutuminen oli vähäisempää kuin ichneumonidien, koska suuri osa viimeksi mainituista joutui olemaan laboratoriossa varsin pitkän ajan (vrt. Steiner 1931). Tärkeimmät loislajit olivat yleisyysjärjestyksessä *Anomalon biguttatum*, *Blondelia piniariae*, *Poecilostictus cothurnatus*, *Ichneumon* sp. ja *Heteropelma calcator*, muilla lajeilla oli suhteellisen vähäinen merkitys.

Kun mäntymittarien kuoriutuminen kootusta materiaalista oli päättynyt, merkittiin terveiden yksilöiden määrät neliömetriä kohden laskettuna tarkastuslinjoittain ja koealoittain ao. alueen ilmakuvakartasta tehtyyn peitepiirrokseen. Tällöin voitiin todeta, että koteloiden määrä oli huomattavan suuri noin 3 km leveällä vyöhykkeellä, joka suuntautui Kurhilan kylästä itäkoilliseen kohti Sarviniemeä.

Tällä alueella oli terveitä koteloita keskimäärin 30 % koko aineistosta. Kun otettiin huomioon kasvatuksissa todennäköisesti tuhoutuneiden yksilöiden osuus, arvioitiin todellisuudessa ainakin kolmanneksen koteloista olleen terveitä. Koska kuljetusten aikana kadonneet tai toisiinsa sekoittuneet kotelot, joita ei otettu kasvatettaviksi, jakautuivat terveisiin, loisittuihin ja muista syistä tuhoutuneisiin arvattavastikin samassa suhteessa kuin kasvatettu aineisto, oli mainitulla vyöhykkeellä kaksi pinta-alaltaan n. 1 200 ha käsittävää aluetta (yhteensä siis 2 400 ha), joilla terveitä yksilöitä oli keskimäärin yli 8 kpl/m^2. Kotelotiheys ei tietenkään näilläkään alueilla ollut tasainen. Runsaimmin koteloita löytyi sivulla 9 olevaan karttaan yhtenäisellä viivalla merkityiltä tuhoalueilta, mutta suuria tiheyksiä todettiin monin paikoin näiden ulkopuoleltakin. Suurin havaittu kotelomäärä neliömetriä kohden oli 180 kpl, joista terveitä 100 kpl.

Myöskin Kuhalasta kaakkoon suuntautuvalle metsäkannakselle vedetyllä lyhyellä arvioimislinjalla oli eräillä koealoilla terveitä yksilöitä 15—

24 kpl/m². Epäilyksettä olivat kotelotiheydet myös Pakkalan kankailla, Puumalan kummallakin tuhoalueella ja paikoitellen Ruokolahdellakin — joissa kohteissa tutkimuksia ei suoritettu — ainakin samaa suuruusluokkaa kuin edellä mainituilla Taipalsaaren alueilla. Näin ollen voitiin arvioida, että todennäköisesti lähes 4 000 ha:n alalla oli terveitä mäntymittareita keskimäärin yli 8 yks./m².

Torjuntatoimenpiteet

Kun vastaavanlaisia prognoositutkimuksia ei maassamme ollut aikaisemmin suoritettu ja kun havaintoja puuston toipumisesta useampia vuosia kestäneen mäntymittarituhon jälkeen ei myöskään ollut olemassa, ei ratkaisun tekeminen torjuntatoimenpiteiden välttämättömyydestä kesällä 1959 ollut suinkaan helppoa, etenkin kun koteloiden määrä varsin laajoilla aloilla vain melko vähän ylitti Schwerdtfegerin (1930) tunnetun kriitillisen luvun 6 kpl/m². (Lisäksi koiraita oli enemmän kuin naaraita.) Kriitillisten lukujen soveltamisen ja puuston toipumismahdollisuuksien esittelyn osalta rajoituttakoon tässä yhteydessä vain viittaamaan Butovitschin (1947) tutkimukseen, jossa varsinkin viimeksi mainittua kysymystä on laajasti käsitelty.

Näkökohdista, jotka antoivat aihetta vakavasti harkita torjuntatoimenpiteisiin ryhtymistä, on ennen kaikkea mainittava seuraavat: (1) Puuston kunto oli Taipalsaaren pahimmin tuhoista kärsineissä metsiköissä ja kummallakin Puumalan tuhoalueella varsin huono. (2) Kasvatuksissa tapahtuneen, tuntemattomista syistä johtuneen koteloiden tuhoutumisen takia jäi epäselväksi kuinka suuri kuoriutuneiden mäntymittareiden määrä oli todellisuudessa. (3) Parveilevia perhosia havaittiin monin paikoin suorastaan valtavin määrin, ja ilmeisesti parveilu ja muninta tapahtuivat säitten puolesta suotuisissa olosuhteissa. (4) Kesä muodostui sekä lämpimäksi että vähäsateiseksi ja todennäköisesti siis varsinkin toukkien kehityksen kannalta edulliseksi. (Eckstein, 1923, on jopa olettanut, että sen sijaan tällaiset kesät olisivat epäsuotuisia loishyönteisten lisääntymiselle.) (5) Vaikka loisprosentti oli jo huomattavan korkea, ei kuitenkaan ollut ehdottoman varmaa, että tuho olisi kokonaan loppunut jo vuoden 1959 aikana. (6) Ruotsissa tehtyjen tutkimusten mukaan (Lekander 1955 b) saattaa mäntymittarin vioittamissa metsiköissä esiintyä niin pahoja ytimennävertäjien ja pikikärsäkkäiden aiheuttamia seuraustuhoja, että niiden johdosta puista voi kuivua jopa kolmasosa. (7) Edellisenä talvena (1958—59) oli etelä-Suomessa sattunut voimakkaita lumituhoja. Vaikkakin pääasialliset tuhoalueet sijaitsivat Uudellamaalla ja Hämeessä (vrt. Suominen 1963), oli lumenmurtoja todettavissa Taipalsaarenkin kankailla. Puu-

määrän suhteellisen vähäisyyden vuoksi katkenneet puut olivat suurimmalta osalta jääneet metsään. Seuraustuhoja aiheuttava hyönteiskanta oli alueella siis ilmeisestikin jo tässä vaiheessa tavanomaista suurempi. (8) Mäntymittarin toukkien lisäksi todettiin kesällä ko. metsiköissä muitakin tuholaisia. Puumalassa oli pahoin vioitettujen mäntyjen latvuksissa huomiota herättävässä määrässä kirvoja (joiden lisääntymiselle kesä oli hyvin suotuisa) sekä neulasia tuhoavia kärsäkäsaikuisia, ja Taipalsaarella todettiin esiintyvän neljän mäntypistiäislajin samoin kuin vähäisessä määrässä myöskin mäntykiitäjän toukkia. Jo prognoositutkimusten yhteydessä oli Taipalsaarelta löydetty runsaanlaisesti ruskean mäntypistiäisen tyhjiä kotelokoppia (vrt. J u u t i n e n 1967).

Kokonaisuudessaan arvioitiin edellä esitetyt näkökohdat niin merkityksellisiksi, että tuhoalueiden pölyttäminen katsottiin tarpeelliseksi. Valtion myöntämän avun turvin tämä kävikin mahdolliseksi, ja pölytys suoritettiin DDT-valmisteita käyttäen 10.—21. VIII. 59. Torjuntatoimenpiteiden käytännöllisen toteutuksen esittely on tässä yhteydessä tarpeeton, koska tätä puolta on torjunnan johdosta vastannut metsänhoitaja J. S i m o l i n n a käsitellyt jo melko pian tapahtuman jälkeen ilmestyneessä artikkelissaan (S i m o l i n n a 1960).

Koska kysymyksessä oli ensimmäinen maamme metsissä toimitettu lentopölytys, eikä sen teknillisestäkään suorituksesta näin ollen ollut kokemuksia olemassa, päätettiin käyttää melkoista suurempia pölytemääriä kuin Ruotsissa oli mäntymittarin torjunnassa käytetty. Puhtaan DDT:n määrä vaihteli 1.2—1.6 kg/ha. Näinkään suurilla annostuksilla ei tuohon aikaan kuitenkaan katsottu olevan pitkäaikaisia ja vakavaa laatua olevia haitallisia sivuvaikutuksia (vrt. B u t o v i t s c h 1955).

Pölytyksen tehoa tarkkailtiin maastoon levitettyjen mustasta vuorauspaperista leikattujen, 2 m²:n suuruisten kontrollipaperien avulla. Tällaisia oli Taipalsaarella 50, Puumalassa 20 ja Ruokolahdella 10 eli yhteensä siis 80 kpl. Ennen pölytystä todettiin papereille pudonneen hyvin vähän kuolleita toukkia (esim. Taipalsaarella 30 paperille välittömästi torjuntatoimenpiteiden aloittamista edeltäneenä päivänä yhteensä vain 8 toukkaa). Esimerkkinä pölytyksen vaikutuksesta esitettäköön havaintosarja Puumalasta, jossa pölytys aloitettiin 19. VIII, mutta suoritettiin pääasiallisesti vasta seuraavana päivänä. Kontrollipapereilla (yhteensä siis 40 m²) todettiin kuolleita toukkia eri päivinä seuraavat määrät:

	18. VIII	19. VIII	20. VIII	21. VIII	22. VIII	23. VIII
Toukkia, kpl.	0	1 087	2 824	433	53	3

Pölytys vaikutti siis varsin nopeasti, mihin eräinä syinä lienevät olleet käytetyn pölytemäärän suuruus ja jokseenkin korkeat päivälämpötilat.

Koko laajalla käsitellyllä alueella todettiin kuolleita toukkia olleen keskimäärin 70 kpl/m², pahimmissa metsiköissä Taipalsaarella ja Puumalassa 110 kpl/m². Suurin havaittu määrä oli 310 kpl/m². Todellisuudessa kuolleiden toukkien määrä oli ilmeisesti suurempi, sillä kuolevien toukkien havaittiin kerääntyneen suurin joukoin papereiden nurkissa painoina olleiden kivien tai puunkappaleiden alle, ja näin ollen osa toukista luultavastikin on ehtinyt ryömiä poiskin millään tavoin reunustamattomilta papereilta.

Käsitellyiltä alueilta pölytyksen jälkeen kaadetuista koepuista löytyi eläviä toukkia vain vähäisessä määrässä. Marraskuussa 1959 suoritetuissa tarkastuksissa todettiin tuhoja sattuneen pääasiassa pölytysalueiden ulkopuolella jonkin verran Puumalassa sekä varsinkin Ruokolahdella, jossa ennestään hyvin lievästi vioittuneet männyt olivat menettäneet ¼—½ neulastostaan melko laajalla alalla. Keväällä 1960 suoritettujen koekeruiden mukaan oli koteloiden kokonaismäärä Taipalsaarella 0.2, Ruokolahdella 3.8 ja Puumalassa 0.2 kpl/m². Tuhonaiheuttajakanta oli siis pienentynyt aivan romahdusmaisesti, eikä kesällä 1960 mainittavaa tuhoa esiintynytkään tietääkseni millään paikkakunnalla.

Vuodesta 1963 lähtien on Metsäntutkimuslaitoksen toimesta kerätty eräiltä laajoilta eteläsuomalaisilta kangasalueilta joka syksy koteloita ja kotelokoppia tavoitteena paremman kuvan saaminen tärkeimpien mäntymetsissä suurtuholaisina esiintyvien perhos- ja pistiäislajien runsaudenvaihtelusta. Mainittakoon tässä yhteydessä, että mäntymittarin koteloita on näissä keräyksissä löydetty seuraavat kokonaismäärät (kpl/m²):

	1963	1964	1965	1966	1967
Taipalsaari	—	0.04	—	0.20	0.28
Virttaankangas	0.16	—	—	0	0.50
Hämeenkangas	0	—	0	0.08	0

Keräykset on toimitettu yleensä lokakuussa. Vaikkakin joinakin syksyinä (esim. 1958) mäntymittarin toukkia on puissa jossain määrin vielä marraskuun alussakin, voidaan joka tapauksessa sanoa, että kotelotiheys on sellaisillakin kuivilla kangasmailla, joilla hyönteisten aiheuttamat neulastuhot ovat kaikkein yleisimmät, tavallisesti erittäin alhainen.

Tutkimuksia mäntymittarin aiheuttamien neulastuhojen vaikutuksesta puiden kasvuun ja kuivumiseen ei useammasta seikasta johtuen voitu suorittaa. Kasvussa mahdollisesti tapahtuneiden vaihteluiden selvittely olisi sinänsä tietenkin käynyt päinsä vielä myöhemminkin, mutta kun otetaan huomioon, että näilläkin alueilla sattui kesinä 1960—61 ruskean mäntypistiäisen aiheuttamia vioituksia, pelkästään mäntymittarituhojen vaikutus tuskin olisi ollutkaan tyydyttävän tarkasti määritettävissä.

Varmoja tietoja puiden kuolemisesta jo ensimmäisen tuhovuoden jälkeen ei liene olemas. a. Kevääseen 1959 mennessä oli yksittäisiä puita kuollut mm. Puumalassa sellaisillakin alueilla, joilla tuho 1957 ei ilmeisestikään ollut kaikkein ankarinta laatua. Mikäli tuho olisi saanut kesällä ja syksyllä 1959 jatkua, on aivan ilmeistä, että puuston jopa totaalinen tuhoutuminen olisi ollut odotettavissa varsin laajoilla aloilla. Lisäksi olisi todennäköisesti esiintynyt kovakuoriaisten aiheuttamia seuraustuhoja, jotka nyt supistuivat tiettävästi varsin vähäisiksi. Torjuntatoimenpiteet olivat siis epäilemättä paikallaan, joskin varsinkin jos koteloiden koekeräyksiä olisi ollut mahdollista suorittaa laajemmissa puitteissa ja koteloiden kasvatustuloksiin olisi voitu enemmän luottaa, käsiteltävät metsikötkin olisi todennäköisesti voitu rajoittaa tarkemmin ja näin ollen keskittää torjuntatoimenpiteet ainakin jossain määrin suppeammille alueille.

Kirjallisuusluettelo

Bakke, A., 1961 — Skogsinsekter. Oslo.

Blomqvist, A. G., 1881 — Några i forstligt hänseende anmärkningsvärda naturföreteelser under de senaste åren. Finska Forstför. Medd. 2: 125—133.

Butovitsch, V., 1947 — Redogörelse för flygbekämpningskampanjen mot tallmätaren under åren 1944—45. Medd. Stat. Skogsforskn.inst. 35.9: 1—108.

—»— 1955 — Die Anwendung von DDT in der Forstwirtschaft. P. Müller, DDT I: 197—299. Basel.

Dowden, P. B., 1933 — Lydella nigripes and L. piniariae, fly parasites of certain tree-defoliating caterpillars. J. Agric. Res. 46: 963—995.

Eckstein, F., 1923 — Zoologisch-meteorologische Studien. Erste Mitteilung: Über den Einfluss von Standort und Klima auf die Gradation des Kiefernspanners (*Bupalus piniarius* L.). Z. angew. Ent. 9: 247—305.

Ehnberg, K. J., 1892 — Några ord om insektförhärjningarna i Finlands skogar. Finska Forstför. Medd. 9: 26—36.

Erkamo, V., 1958 — Kesän 1955 kuivuudesta ja sen vaikutuksista kasveihin erityisesti Etelä-Suomessa. Ann. Bot. Soc. Vanamo 30.2: 1—45.

Escherich, K., 1931 — Die Forstinsekten Mitteleuropas III. Berlin.

Friederichs, K., Schaerffenberg, B. ja Sturm, H., 1941 — Über die Feinde des Kiefernspanners, mit Berücksichtigung des Mischwaldes. Z. angew. Ent. 27: 621—641.

H(eim)o, I., 1930 — Taistelukeinoja metsän tuhohyönteisiä vastaan. Tapio 23: 272—273.

Heqvist, K.-J., 1949 — Några iakttagelser över tallmätarens parasiter under senaste härjningen i södra och mellersta Sverige (1943—1945). Medd. Stat. Skogsforskn.inst. 37.3: 1—18.

Herting, B., 1960 — Biologie der westpaläarktischen Raupenfliegen Dipt., Tachinidae. Monogr. angew. Ent. Nr. 16: 1—188.

Jahn, E. ja Sinreich, A., 1957 — Zum Auftreten des Kiefernspanners, *Bupalus piniarius* L. im Burgenland in den Jahren 1952—1956. Z. angew. Ent. 41: 184—195.

Jucht, 1925 — Ein Beitrag zur Kiefernspannerfrage. Z. angew. Ent. 11: 213—245.

Juutinen, P., 1967 — Zur Bionomie und zum Vorkommen der Roten Kiefernbuschhornblattwespe (*Neodiprion sertifer* Geoffr.) in Finnland in den Jahren 1959—65. Metsäntutkimusl. julk. 63.5: 1—129.

Kukkonen, P., 1958 — Uhkaako suurtuho sittenkin pohjois-Taipalsaaren männiköitä? Metsälehti n:o 42: 4—5.

Kuukausikatsaus Suomen sääoloihin 1954—59. Helsinki.

Lekander, B., 1955 a — Skogsinsekternas uppträdande i Sverige under tiden 1946—1950. Medd. Stat. Skogsforskn.inst. 44.1: 1—46.

—»— 1955 b — Om märgborrens och större tallvivelns uppträdande i skog tidigare angripen av tallfly- och tallmätarlarver. Medd. Stat. Skogsforskn.inst. 44.3: 1—31.

Lekander, Marianne, 1951 — Skogsinsekternas uppträdande i Sverige under tiden 1741—1945. Medd. Stat. Skogsforskn.inst. 39.5: 1—207.

Metsätilasto (Suomen virallinen tilasto XVII). 1933. Helsinki.

Perkiömäki, J., 1968 — Zur Kenntnis der Parasiten des Kiefernspanners (Bupalus piniarius L.) in Finnland. Ann. Ent. Fenn. 34.

Repo, R., 1957 — Hyönteistuhoja Taipalsaarella. Metsälehti n:o 49: 4.

Saalas, U., 1949 — Suomen metsähyönteiset. Porvoo—Helsinki.

Schwerdtfeger, F., 1930 — Beobachtungen und Untersuchungen zur Biologie und Bekämpfung des Kiefernspanners 1929 in der Letzlinger Heide. Z. Forst-u. Jagdw. 62: 65—93, 133—166.

Seitner, M., 1921 — Der Kiefernspanner in Galizien 1915—1917. Cbl. ges. Forstw. 47: 198—213.

Simolinna, J., 1960 — Aerial control of the pine looper (Bupalus piniarius L.) in Finland. Agric. Aviation 2: 79—83.

Skogsstatistisk årsbok. Sveriges officiella statistik. Skogshushållning. 1953—61. Stockholm.

Steiner, P., 1931— Zur Kenntnis der Parasiten des Kiefernspanners. Z. angew. Ent. 17: 601—630.

Suomen meteorologinen vuosikirja niteet 54—59. Sade- ja lumihavainnot 1954—59. Helsinki.

Suominen, O., 1963 — Metsiköiden alttius lumituhoon. Silva Fennica 112.5: 1—35.

Valle, K. J., 1946 — Suurperhoset IV. Suomen Eläimet 5. Porvoo—Helsinki.

ZUM VORKOMMEN DES KIEFERNSPANNERS (BUPALUS PINIARIUS L.) IN SÜDOST-FINNLAND IN DEN JAHREN 1957—59

Referat

Die Angaben über ernstere Nadelschäden durch den Kiefernspanner im heutigen Bereich Finnlands vor dem hier besprochenen Zeitpunkt sind sehr spärlich: Im Jahre 1929 kamen Larven sehr zahlreich in Südost-Finnland vor, namentlich auf gewissen Inseln des Saimaa-Sees, und 1947 in Nord-Karelien in der Umgebung der Stadt Joensuu. Im Jahre 1947 handelte es sich um etwa 10 ha, und auch in dem erstgenannten Falle war die Bodenfläche der am ärgsten geschädigten Waldbestände offenbar ziemlich klein.

Im Jahre 1957 setzte die grösste bisher bekannte Kalamität in Südost-Finnland in den Kirchspielen Taipalsaari, Ruokolahti und Puumala ein. Im folgenden Herbst (1958) wurden in Taipalsaari ca. 750 ha recht schwer geschädigter Kiefernbestände gefunden, und leichtere Schäden wurden ausserdem in einem Gebiet von ca. 5 000 ha festgestellt. In Ruokolahti umfassten die ernster geschädigten Waldbestände ca. 150 ha, und in Puumala hatten die Kiefern in einem Gebiet von ca. 700 ha schon zum zweitenmal den grössten Teil ihrer Benadelung eingebüsst. Über den Umfang der leichter befallenen Kiefernbestände — möglicherweise auch in anderen am Saimaa-See gelegenen Kirchspielen — liegen keine genaueren Angaben vor.

In allen Schadgebieten handelte es sich um grösstenteils ganz reine, ziemlich dichte Kiefernbestände jüngeren oder mittleren Alters auf Waldboden vom *Calluna*- oder *Vaccinium*-Typ. In den Jungwüchsen und Bruchwäldern wurden nur wening oder überhaupt keine Larven gefunden.

Was die Witterungsverhältnisse während der Gradation und in den vorausgegangenen Jahren betrifft, so war der Sommer 1955 aussergewöhnlich trocken, und auch im nächsten Jahr waren Mai und Juni sehr arm an Niederschlägen. Auch die Sommer 1958—59 waren trocken, und der letztere ausserdem sehr heiss.

Aus verschiedenen Gründen konnten erst im Frühjahr 1959 Puppen eingesammelt werden, und auch dann nur in ziemlich engem Rahmen in Taipalsaari. Das eingesammelte Material wurde im Labor zu Imagines gezüchtet, und dabei ging offenbar ausgesprochen wegen der Zuchtverhältnisse ein Teil der sonst gesunden Kiefernspanner- und Parasitenindividuen ein. Aus den in Zucht genommenen 1 771 Puppen schlüpften 514 Kiefernspanner und 185 Schmarotzerfliegen sowie aus 481 Puppen Parasitenwespen, und ausserdem gingen nicht weniger als 591 Puppen aus verschiedenen, in erster Linie unbekannten Ursachen zugrunde.

Die aus den Zuchten erhaltenen Schmarotzerfliegen gehörten zu den Arten *Blondelia piniariae* Htg. (168 Exx.) und *Eucarcelia rutilla* Vill. (16 Exx.). Das in diesem Zusammenhang gesammelte Ichneumoniden-Material ist eingehender in einer Untersuchung für sich behandelt (P e r k i ö m ä k i 1968). Ein Verzeichnis von den festgestellten Ichneumonidenarten und deren Individuenzahlen befindet sich auf S. 17. Als einziger Hyperparasit wurde *Mesochorus politus* Grav. gefunden. Ausserdem schlüpften aus einer Puppe 22 nicht determinierte Chalcididen, die höchstwahrscheinlich ebenfalls

Parasiten der Tachiniden waren. Die Zahl der Hyperparasiten war auf jeden Fall sehr gering. Die wichtigsten Parasiten des Kiefernspanners waren, der Häufigkeit nach geordnet: *Anomalon biguttatum*, *Blondelia piniariae*, *Poecilostictus cothurnatus*, ferner eine vorläufig nicht determinierte *Ichneumon*-Art und *Heteropelma calcator*. Die übrigen Arten waren relativ belanglos.

Aufgrund der Probesammlungen und Zuchten von Puppen liess sich feststellen, dass in Taipalsaari die Anzahl der gesunden Kiefernspanner in einem Gebiet von nahezu 3 000 ha durchschnittlich etwas über 8 St./m² betrug. Unserer Schätzung gemäss — u.a. aufgrund des zahlreichen Vorkommens der Larven — befanden sich in allen Schadgebieten nahezu 4 000 ha Kiefernwald, wo die Puppendichte durchschnittlich mindestens der genannten Grössenklasse entsprach.

Da die Kalamität ganz offensichtlich noch im Jahre 1959 fortzudauern schien, und da der Baumbestand mancherorts schon sehr geschwächt war, hielten wir die Bestäubung der Schadgebiete für notwendig. Dank staatlicher Beihilfe wurde diese Massnahme ermöglicht, und die Bestäubung wurde dann mit DDT-Präparaten in der Zeit vom 10.—21. VIII. 1959 vorgenommen. Die Durchführung der Bekämpfung in der Praxis ist schon in einer früher erschienenen Publikation besprochen worden (Simolinna 1960).

Der Effekt der Bestäubung wurde mit Hilfe von schwarzen, 2 m² grossen, im Gelände ausgebreiteten Papierbogen kontrolliert. Als Beispiel für die Wirkung der Bestäubung ist S. 20 eine Beobachtungsserie aus Puumala wiedergegeben, wo mit der Bestäubung am 19. VIII angefangen wurde; in der Hauptsache war die Bekämpfung aber erst am nächsten Tag durchgeführt worden. Die Zahlen geben die Menge der auf insgesamt 40 m² gefallenen toten Larven an den genannten Tagen an.

Auf den nach der Bestäubung gefällten Bäumen wurden nur spärlich lebende Larven gefunden. Bei den Kontrolluntersuchungen im November 1959 ergab sich, dass Schäden hauptsächlich ausserhalb der bestäubten Gebiete vorgekommen waren, bis zu gewissem Grad in Puumala und insbesondere in Ruokolahti. Nach den Probesammlungen im Frühjahr 1960 betrug die Gesamtanzahl der Puppen in Taipalsaari 0.2, in Ruokolahti 3.8 und in Puumala 0.2 St./m². Im Sommer 1960 kamen unseres Wissens nirgends mehr Schäden vor.

KARSIMINEN JA KASVU

YRJÖ VUOKILA

SUMMARY IN ENGLISH

PRUNING AND INCREMENT

HELSINKI 1968

Helsinki 1968. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Syksyllä 1955 ja keväällä 1956 Metsäntutkimuslaitoksen palveluksessa ollessani suunnittelin ja perustin silloisen esimieheni, professori Yrjö Ilvessalon suostumuksella pysyviä karsimiskokeita maan eteläosan vaihteleville kasvupaikoille mänty- ja koivumetsikköihin. Neljän vuoden kuluttua kokeiden perustamisesta minulla oli tilaisuus suorittaa osassa näitä kokeita mittauksia, joiden tuloksena julkaistiin alustavia tietoja karsimisen vaikutuksesta puun kasvuun (Vuokila 1960). Tällöin oli kuitenkin selvästi havaittavissa, ettei karsimisen aiheuttama kasvureaktio ollut vielä ehtinyt päättyä, vaan että uuden tutkimuksen suorittaminen joskus myöhemmin olisi suotavaa.

Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosaston nykyisen esimiehen, professori Kullervo Kuuselan myötävaikutuksella minulle onkin sittemmin tarjoutunut tilaisuus jatkotutkimuksiin mainitun laitoksen ns. sivullisen tutkijan ominaisuudessa, vaikka tällä välin olen siirtynyt Helsingin yliopiston palvelukseen. Sivullisen tutkijan asemasta johtuu edelleen, että tutkimus on painettu Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjassa.

Tutkimukseen tarvittavat varat olen saanut Valtion maatalous-metsätieteelliseltä toimikunnalta. Apurahaa on tarvittu maasto- ja laskentatöiden suorittamiseen, mistä on ohjeitteni mukaan vastannut metsänhoitaja Jouko Laasasenaho. Aineiston tilastomatemaattisessa käsittelyssä on avustanut fil. maisteri Erkki Mikkola. Tutkimukseen sisältyvät piirrokset ovat rouva Irma Nylanderin käsialaa.

Tutkimuksen valmistuessa haluan esittää kaikille edellä mainituille parhaat kiitokseni.

Helsingissä marraskuussa 1967.

Yrjö Vuokila

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1. Johdanto 7
2. Tutkimusmenetelmä 9
3. Tutkimusaineisto 14
4. Maastomittaukset 17
5. Aineiston tilastomatemaattinen käsittely 19
6. Elävien oksien karsimisen vaikutus puun kasvuun 21
   61. Pituuskasvu 21
   62. Latvuksen kehitys 24
   63. Paksuuskasvu rinnankorkeudella 29
   64. Runkomuodon kehitys 32
   65. Tulosten tarkastelua 44
7. Metsänhoidollisia päätelmiä 50
8. Piirteitä männyn karsimisen kannattavuudesta 53

Kirjallisuusluettelo 57

Summary in English 60

1. JOHDANTO

Puun rungon käyttökelpoisuutta ja arvoa voidaan pyrkiä parantamaan kahdella tavalla, joko sen kokoa tai sen laatua suotuisasti kehittävin toimenpitein.

Erään menetelmän puiden koon lisäämiseksi tarjoavat kasvatushakkuut ja hakkuut yleensä, joiden seurauksena jäljelle jäävissä puissa tapahtuu vaihtelevan suuruinen paksuuskasvun paraneminen. Kasvupaikan vesitalouden järjestely, ts. kuivatus, pyrkii vesiperäisillä mailla samaan hyötytavoitteeseen. Uusin menetelmä on lannoitus, jonka tarkoituksena on kasvupaikan ravinnetalouden keinollisen säätelyn kautta saavuttaa haluttu päämäärä, puun lisääntynyt kasvu.

Metsänkasvatuksessa on 1960-luvulla kiinnitetty tavanomaista enemmän huomiota puuntuotannon määrällisiin tavoitteisiin. Tämä johtunee paljolta sovelletusta kantohintapolitiikasta, missä rungon laatu on jäänyt toisarvoiseen asemaan ostoerän määrän ja osittain myös runkojen keskikoon rinnalla. Yleisen mielenkiinnon kohteena ollut valtakunnallinen metsätaseongelma on omalta osaltaan ollut työntämässä laatunäkökohtia taka-alalle. Jopa vaneriteollisuudenkin taholla on uhkaamassa olevan raaka-ainepulan vuoksi toimenpiteet keskitetty koivupuun kasvattamista yleensä edistävään valistustyöhön. Laatupuun kasvattaminen, joka vielä 1930-luvulla katsottiin metsänhoidon keskeiseksi tavoitteeksi (vrt. L a p p i - S e p p ä l ä 1937, L a i t a k a r i 1937), on siis saanut väistyä ainakin toistaiseksi »massatuotannon» periaatteen tieltä.

Laatunäkökohtien unohtamiseen katsottaneen Suomessa olevan varaa siitä syystä, että enin osa hakkuukertymästä saadaan luontaisesti syntyneistä metsiköistä, missä tiheän taimisto- ja riukuasteen synnyttämä yksilökilpailu pitää huolen rungon puhdistumisesta oksistaan. Lisääntyvä metsänviljely merkitsee kuitenkin sellaisten metsiköiden syntymistä enenevin määrin, joissa harva alkuasento luo voimakkaan oksiston, mitä myöhempi tiheä asentokaan ei kykene tehokkaasti poistamaan rungon tyviosista. Metsänviljelytalouden aikana jouduttaneen laatunäkökohtiin siis jälleen kiinnittämään huomiota. Ainakaan siltä osin, minkä puuntuotannosta saha- ja vaneriteollisuus käyttävät hyväkseen (vrt. R a u t v u o r i 1967), tuskin selviydytään ilman laadun keinolliseen parantamiseen tähtääviä toimenpi-

teitä metsänviljelyn yleistyttyä. Metsäpuiden karsiminen tullee näin pakostakin jälleen lisääntymään.

Karsimiseen liittyy kuitenkin aina tietynlainen riski. Huolimattomasti suoritettuna se saattaa aiheuttaa puussa niin suuren mekaanisen vaurion tai lahovian, että toivottu hyöty vaihtuu aiheutetuksi tappioksi. Silloin kun karsimisen yhteydessä poistetaan eläviä oksia, tulee lisäksi esille kysymys, vaikuttaako tämä jollakin tavalla puun tulevaan kasvuun. Kasvun lisäämiseen tähtäävänä aikakautena ei ymmärrettävästi suosita toimenpiteitä, jotka aiheuttavat kasvutappioita.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on viimeksi mainitun ongelman selvittely kotimaisen aineiston pohjalta. Pyrkimyksenä on tutkia, kuinka paljon eläviä oksia voidaan karsia puun kasvua heikentämättä, kuinka suuria kasvutappioita aiheuttaa voimakas karsiminen ja kuinka puu kykenee — jos kykenee lainkaan — toipumaan erittäin voimakkaan karsimisen aiheuttamasta latvuksen supistamisesta. Näiden tulosten tarjoamalta pohjalta pyritään lisäksi tekemään metsänhoidollisia päätelmiä ja esittämään näkökohtia karsimisen liiketaloudellisesta kannattavuudesta.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ

Karsiminen suoritetaan puuston varhaisessa kehitysvaiheessa, jolloin runkoluku hehtaaria kohden on suuri. Huomattava osa karsimishetkellä metsikössä olevista puista ei siis kykene varttumaan niihin mittoihin, jolloin karsimisen laatua kohottava vaikutus alkaa taloudellisessa mielessä varsinaisesti toteutua. Karsiminen kohdistuu tästä syystä sieltä täältä valittuihin puuyksilöihin, joilla arvioidaan olevan parhaat mahdollisuudet sen taloudellisen hyödyn tarjoamiseen, mihin toimenpiteellä pyritään. Karsitut puut joutuvat näin ollen kasvamaan pääosaltaan karsimattomien puiden vallitsemassa ympäristössä.

Esitetty käytännöllinen näkökohta tarjoaa mahdollisuuden p u u y k s i l ö n käyttämiseksi tutkimuksen perusyksikkönä. Yksittäiset sieltä täältä valitut koepuut — vaikka ne kasvavatkin karsimattomien puiden keskellä — muodostavat tutkimuskokonaisuuden, mikä vastaa käytännön metsätalouden asettamia edellytyksiä. Puuyksilötutkimuksen tietä voidaan tehdä päätelmiä, jotka ovat suoraan käytäntöön sovellettavissa.

T u t k i m u s m e t s i k ö i d e n v a l i n t a tapahtui tässä tutkimuksessa, aivan kuten karsittavien metsiköiden valinta käytännössäkin, subjektiivisesti. Tutkimuskohteiksi pyrittiin löytämään sopivassa kehitysvaiheessa (vrt. s. 15) olevia metsiköitä eri puolilta maan eteläosaa. Aineistoon pyrittiin saamaan käytettävissä olleiden mahdollisuuksien mukaan vaihtelua myös kasvupaikan ja puulajin osalta.

K o e p u i d e n v a l i n t a tapahtui niin ikään karsimiskäytännön tapaan harkintaan perustuen. Subjektiivinen valinta oli paikallaan senkin tähden, että tutkimukset pyrittiin keskittämään kasvukyvyltään ja elinympäristöltään samankaltaisiin yksilöihin. Koepuiden sijoittelu eri karsisimisasteisiin tapahtui sitä vastoin arpomalla.

K a r s i m i s a s t e i t a suunniteltaessa oli tarkoituksena peittää koko se vaihtelualue, mikä metsäpuiden karsimisessa voi tulla kysymykseen. Voimakkain aste määriteltiin tästä syystä sellaiseksi, että se johtaisi puun luontaisen kuoleman rajamaille, kun taas vertailuasteena tuli olla tavanomaiseen tapaan karsimaton tila. Kokeisiin sisällytettiin neljä karsimisen kannalta erilaista astetta seuraavan asetelman osoittamin perustein:

Karsimisaste *Degree of pruning*	Karsittu elävän latvuksen pituudesta, % *Percentage pruned of live-crown length*
Karsimaton — *Unpruned*	0
Lievä — *Light*	20
Voimakas — *Heavy*	50
Erittäin voimakas — *Very heavy*	80

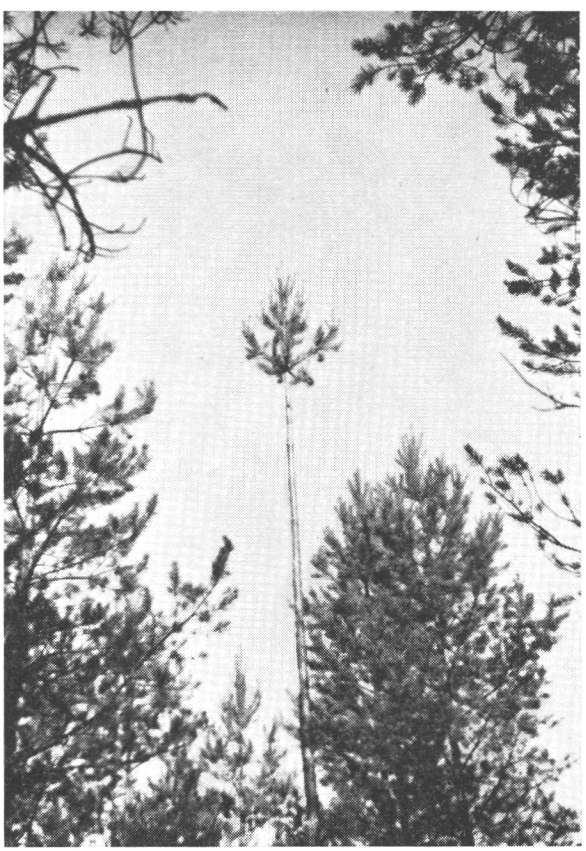
Havainnollisen käsityksen voimakkaasti ja erittäin voimakkaasti karsittujen puiden ulkonäöstä antavat kuvat 1 ja 2, jotka otettiin välittömästi karsimisen jälkeen. Kuvista voidaan todeta, että erittäin voimakkaan karsimisen kohteeksi joutuneet puuyksilöt säilyttivät vain pienehkön latvatupsun, mutta että voimakkaan karsimisen jälkeinen latvus oli vielä verraten kookas.



Kuva 1. Mänty, jonka elävän latvuksen pituudesta on karsittu 50 %.
Fig. 1. Pine pruned to 50 per cent of live-crown length.

Yksityiskohtaisen käsityksen karsimisasteista antaa taulukko 1. Siinä esitetyistä tiedoista todettakoon aluksi latvussuhteen (= latvuksen pituuden osuus puun koko pituudesta) vaihtelu eri tavoin karsituissa puissa. Lievässä karsimisasteessa vaihteli jäljelle jäänyt latvussuhde rajoissa 40—47 %, voimakkaassa 25—31 % ja erittäin voimakkaassa 9—17 %. Lievä aste merkitsi 2—3 alimman elävän oksakiehkuran poistamista, kun taas erittäin voimakkaassa asteessa jäi sama määrä ylimpiä kiehkuroita. Voitaneen edelleen päätellä, että voimakas karsiminen oli prosenttilukunsa keskeisyydestä huolimatta lähempänä lievää astetta, koska poistettavat oksat edustavat tavallisesti hyötysuhteeltaan keskimääräistä heikompaa ainesta.

Lievä karsiminen merkitsi taulukon 1 mukaan rungon vapauttamista oksistaan ainakin 5 m:n, eräässä tapauksessa jopa 6.8 m:n korkeudelle. Tämä vastaa käytännön vaatimusta, n. 16′—18′:n oksatonta tyvitukkia, usein



Kuva 2. Mänty, jonka elävän latvuksen pituudesta on karsittu 80 %.
Fig. 2. Pine pruned to 80 per cent of live-crown length.

Taulukko 1. Tietoja karsimisasteista säilyneiden puiden mittausten perusteella.
Table 1. Information on pruning degrees, based upon surviving sample trees.

Koe n:o *Exp. no.* Puulaji *Tree species*	Kars. aste *Degree of pruning*	Karsittu *Pruned*		Jäänyt oksakiehkuroita *) *Branch whirls left* *)	Karsimiskorkeus, m *Height of pruning, m.*	Elävä latvus karsimisen jälkeen, m *Live crown after pruning, m.*	Latvussuhde karsimisen jälkeen, % *Crown ratio after pruning, %*
		oksakiehkuroita *) *whirls* *)	eläviä oksia *live branches*				
2.	20	—	11	—	6.4	5.4	46
Koivu	50	—	30	—	8.4	3.4	29
Birch	80	—	53	—	10.3	1.8	15
3.	20	2	10	8	5.8	3.9	40
Mänty	50	6	28	6	7.2	2.5	26
Pine	80	9	45	3	8.7	1.0	10
4.	20	—	9	—	6.8	4.8	41
Koivu	50	—	29	—	8.4	3.4	29
	80	—	51	—	9.7	2.0	17
5.	20	2	7	10	5.0	3.8	43
Mänty	50	6	24	7	6.2	2.2	26
	80	10	42	3	8.0	0.8	9
6.	20	2	9	10	6.1	4.2	41
Mänty	50	7	29	6	7.9	2.6	25
	80	9	43	3	8.4	1.2	13
7.	20	2	9	8	6.0	4.3	42
Mänty	50	5	22	6	7.3	2.8	28
	80	7	34	3	8.5	1.4	14
8.	20	3	11	10	5.0	4.4	47
Mänty	50	7	29	7	6.8	3.0	31
	80	10	43	3	8.0	1.3	14

*) Koivikoissa ei kiehkuroiden lukumäärää voida arvioida. — *The number of branch whirls cannot be ascertained in birch stands.*

ylittääkin sen. Varsinaista kaupallista mielenkiintoa ei tätä voimakkaammilla karsimistoimenpiteillä tavallisesti ole, mistä johtuen voimakas ja erittäin voimakas karsimisaste sellaisina kuin niitä tässä tutkimuksessa sovellettiin ovat paikallaan enemmän kasvuteoreettisista kuin käytännöllisistä syistä.

K a r s i m i n e n suoritettiin karsimisraudalla ja oksasahalla mahdollisimman huolellisesti. Kaikesta huolimatta jouduttiin eräiden erittäin voimakkaasti karsittujen puiden kohdalla toteamaan, että latvan huippuosissa karsiminen ilmeisesti aiheutti melkoista vauriota. Tämä johtui paitsi hankalasta karsimiskorkeudesta myös siitä, että oksien koko suhteessa rungon paksuuteen on ylemmillä korkeuksilla yleensä suuri. Missä määrin karsimisen aiheuttamat mekaaniset vauriot ovat vaikuttaneet ko. puiden kasvuun, ei ole tiedossa tässä vaiheessa, jolloin puut ovat edelleen pystyssä jatkotutkimuksia varten.

Karsimisen jälkeen puut jätettiin kasvamaan myöhemmin tapahtuvia mittauksia varten. Neljä vuotta karsimisen jälkeen suoritettiin eräissä koemetsiköissä tutkimuksia, joiden perusteella julkaistiin alustavia tuloksia (Vuokila 1960). Vasta esillä olevaan tutkimukseen sisältyy kuitenkin koko koeaineisto käsittäen karsimista seuranneen 10-vuotiskauden. Tässä yhteydessä on lisäksi todettava, ettei karsittuja puita kokeita perustettaessa autettu niiden kasvutilaa lisäämällä, kuten käytännössä usein saatetaan menetellä, vaan karsitut puut ovat karsimisesta kuluneen 10-vuotiskauden aikana saaneet olla samassa asemassa kuin karsimattomat puut. Tämä on otettava huomioon tutkimuksen tuloksia tulkittaessa.

3. TUTKIMUSAINEISTO

Karsimiskokeiden perustaminen tapahtui osaksi syksyllä 1955 kasvukauden päätyttyä, osaksi keväällä 1956 ennen kasvukauden alkua. Kaikkiaan perustettiin 8 karsimiskoetta, niistä 2 rauduskoivikoissa ja 6 männiköissä. Yksi männikkökoe, koe n:o 1, tuhoutui kuitenkin 10-vuotiskauden aikana, sillä alue luovutettiin toiseen maankäyttötarkoitukseen. V. 1966 suoritetuissa mittauksissa oli näin ollen jäljellä 7 koetta.

K o e m e t s i k ö i t ä koskevat perustiedot on esitetty taulukossa 2. Taulukosta havaitaan, että tutkimusaineisto käsittää Etelä-Suomen tärkeimmät metsätyypit kanervatyyppiä lukuun ottamatta. Tuhoutunut koe oli juuri viimeksi mainittua kasvupaikkaluokkaa edustava. Kanervatyypin puuttuminen aineistosta ei liene kuitenkaan merkittävä heikkous, koska näin huonolla kasvupaikalla karsimisen tavoitteiden saavuttaminen on kaikkein epätodennäköisintä. Kuitenkin olisi ainakin kasvuteorian kehittelyn kannalta ollut suotavaa, että myös kanervatyyppi olisi säilynyt aineistossa.

Kaikki koemetsiköt olivat luontaisesti syntyneitä ja siten alkuvaiheessa suhteellisen tiheinä kasvaneita. Tämä on otettava huomioon tutkimuksen tuloksia tarkasteltaessa. Ilman muuta ei näet voida olettaa, että karsimisen vaikutus puun kasvuun olisi täysin samankaltainen keinollisesti perustetuissa ja luontaisesti syntyneissä metsiköissä. Puun alimpien oksien merkitys sen elintoiminnalle lienee istutusmetsiköissä ainakin jossain määrin edullisempi kuin luontaisesti syntyneissä siinä kehitysvaiheessa, missä karsiminen tavallisesti suoritetaan.

Metsiköt olivat kaikki alusta alkaen vähintään tyydyttävästi hoidettuja. Kokeiden perustamishetkellä metsiköt olivat silmävaraisesti arvioiden tiheysasteessa, mitä voidaan pitää käytännön metsätaloudessa tavanomaisena. Tihein oli todennäköisesti koemetsikkö 4, vaikka otettaisiin huomioon hyvä kasvupaikkakin. Metsiköiden puustojen teknillistä laatua voidaan pitää Etelä-Suomelle tyypillisenä. Poikkeuksellista oksikkuutta ei aineistossa esiinny lainkaan.

K o e p u i t a sisältyi kokeisiin alunperin 184 kpl, joista kutakin karsimisastetta edusti tasan neljännes, 46 kpl. Yhden kokeen tuhoutumisen vuoksi koepuiden lukumäärä laski 160:een. Myös koko 10-vuotiskauden säilyneissä kokeissa tapahtui puiden katoamista. Paljon puita tuhoutui,

Taulukko 2. Perustietoja koemetsiköistä karsimishetkellä.
Table 2. Basic information on sample stands at time of pruning.

Koe n:o *Experiment no.*	Sijainti *Location*	Metsätyyppi *Forest site type* (Cajander 1909)	Puulaji *Tree species*	Ikä, v *Age, years*	Kars.hetki *Time of pruning*	Koepuita *Number of sample trees*
2 *)	Vilppula	MT	Koivu *Birch*	25	14/9 -55	24
3	»	VT —	Mänty *Pine*	30	»	24
4	Lapinjärvi	OMT	Koivu	35	22/9 -55	24
5	Ruotsinkylä	VT	Mänty	35	24/9 -55	24
6	Luumäki	VT +	Mänty	35	3/6 -56	24
7	Valkeala	MT	Mänty	30	5/6 -56	24
8	»	OMT	Mänty	25	6/6 -56	16

*) Koe n:o 1 tuhoutunut kokonaan. — *Experiment No. 1 completely destroyed.*

kuten alla oleva asetelma osoittaa, erittäin voimakkaasti karsittujen puiden ryhmästä. Tämä tarkoituksellisesti äärimmilleen viety karsiminen johti useissa tapauksissa sellaisenaan puun kuolemaan. Toisinaan oli kuoleman välittömänä aiheuttajana puun kestokyvyn heikkenemistä seurannut luonnontuho. Täyttä varmuutta jokaisen puun kuoleman lopullisesta syystä ei kuitenkaan voitu saada, koska puut oli omistajan toimesta yleensä poistettu metsästä. Myös karsimattomien sekä lievästi ja voimakkaasti karsittujen puiden katoamista tapahtui. Syynä eivät olleet karsiminen ja sen jälkeisen kuoleman aiheuttama puun kaataminen vaan tutkimuksesta ja tutkijasta riippumattomat tekijät.

Koko 10-vuotiskauden säilyneitä koepuita on eri karsimisasteissa seuraavat määrät:

Karsimisaste *Degree of pruning*	Koko 10-vuotiskauden säilyneitä koepuita, kpl *Number of sample trees left at the end of the 10-year period*
Karsimaton — *Unpruned*	36
Lievä — *Light*	40
Voimakas — *Heavy*	34
Erittäin voimakas — *Very heavy*	34
Yhteensä — *Total*	144

Taulukossa 3 on esitetty eräitä tietoja koepuista. Niiden perusteella voidaan muodostaa käsitys koepuiden koosta karsimishetkellä ja eri karsimisasteisiin kuuluvien puiden samankaltaisuudesta.

Karsitut puut olivat karsimishetkellä rinnankorkeudelta n. 10 cm:n paksuisia, mikä vastaa sitä sorvauksessa jäävää pölkkyä, minkä ei tarvitse

Taulukko 3. Tietoja koko 10-vuotiskauden säilyneistä koepuista ennen karsimista.
Table 3. Information before pruning on sample trees survived during the whole 10-year period.

Koe n:o *Exp. no.* Puulaji *Tree species*	Kars.aste *Degree of pruning*	Koepuita *Sample trees*		Keskiläpimitta, cm *Mean diameter, cm.*	Keskipituus, m *Mean height, m.*	Elävän latvuksen pituus, m *Length of live crown, m.*	Latvussuhde, % *Crown ratio, %*
		kaikkiaan *in all*	säilynyt *survived*				
2.	0	6	6	10.0	11.9	7.0	59
Koivu	20	6	6	9.8	11.8	7.0	59
Birch	50	6	6	9.8	11.8	6.8	58
	80	6	6	10.2	12.1	7.1	59
3.	0	6	5	9.7	9.3	4.8	52
Mänty	20	6	6	9.8	9.7	5.0	52
Pine	50	6	3	9.4	9.7	5.1	53
	80	6	1	9.1	9.7	5.2	54
4.	0	6	6	9.6	11.7	7.3	62
Koivu	20	6	6	9.7	11.6	7.0	60
	50	6	6	9.4	11.8	7.3	62
	80	6	6	9.4	11.7	7.0	60
5.	0	6	6	9.2	8.5	4.9	58
Mänty	20	6	6	9.6	8.8	5.0	57
	50	6	5	9.3	8.4	4.7	56
	80	6	6	9.3	8.8	4.8	55
6.	0	6	5	10.5	10.6	5.7	54
Mänty	20	6	6	10.0	10.3	5.1	50
	50	6	4	10.3	10.5	5.2	50
	80	6	6	10.2	9.6	5.0	52
7.	0	6	4	10.0	10.1	5.6	55
Mänty	20	6	6	9.6	10.3	5.4	52
	50	6	6	10.3	10.1	5.4	53
	80	6	5	9.9	9.9	5.4	55
8.	0	4	4	10.5	9.1	5.4	59
Mänty	20	4	4	10.3	9.4	5.8	62
	50	4	4	10.4	9.8	5.9	60
	80	4	4	10.0	9.3	5.6	60

vaneriteollisuudessa olla oksatonta. Latvuksen suhteellinen osuus puun koko pituudesta vaihteli rajoissa 50—62 %.

Eri karsimisasteiden koepuiden koossa oli vähäisiä eroja, rinnankorkeusläpimitassa äärimmäistapauksessa 0.7 cm ja pituudessa 1.0 m. Latvussuhde vaihteli enintään 3 prosenttiyksikköä. Kaiken kaikkiaan koepuut olivat karsimishetkellä kuitenkin varsin samankokoisia. Näin pieni kokoero ei todennäköisesti vaikuta niin merkittävästi tuloksiin kuin mahdollinen vaihtelu koepuiden kasvupotentiaalissa juuri karsimishetkellä. Kasvukyvyn erot pyrittiin ottamaan huomioon jäljempänä (s. 20) selostettavalla tavalla.

4. MAASTOMITTAUKSET

Maastomittaukset käsillä olevaa tutkimusta varten suoritettiin kesällä 1966, kun 10 täyttä kasvukautta oli kulunut kokeiden perustamisesta.

Tarkimmat mittaustulokset olisi luonnollisesti saatu siten, että koepuut olisi kaadettu, jolloin olisi voitu suorittaa monipuolisia analyysejä puun kasvusta ja jolloin havainto- ja mittausvirheet olisivat jääneet minimiinsä. Kun kokeet kuitenkin haluttiin säilyttää myöhempiä tutkimuksia varten, oli tyydyttävä pystypuiden tutkimiseen kevytmetallitikkaita apuna käyttäen.

Suoritettaessa havaintoja pystypuista jäi pituuskasvun vuotuisen kehityksen selvittely epätarkaksi, vaikka tarkkuuden lisäämiseksi tehtiin kaikki voitava. Kun kairaukset olisivat voineet vaarantaa koepuiden normaalin jatkokehityksen, ei niitä suoritettu niin paljon kuin paksuuskasvun kehityksen monipuolista tarkastelua ajatellen olisi ehkä ollut suotavaa. Kiipeilykin oli tehtävä erityisen varovasti koepuiden suojelemiseksi tarpeettomilta vaurioilta.

Maastotöiden pääosan käsittivät kasvun kairaukset rungon eri korkeuksilta. Niiden suoritusta suunniteltaessa oli tarjolla kaksi periaatteellisesti erilaista vaihtoehtoa, suhteelliset korkeudet ja määräkorkeudet.

Puukohtaisissa tutkimuksissa on käytetty varsin paljon suhteellisia mittauskorkeuksia (esim. 0.1, 0.2, ... 0.9). Etuna on pidetty sitä, että erikokoisten puiden havainnot ovat vertailukelpoisia. Tässä tutkimuksessa omaksuttiin mittauskorkeuksiksi määräkorkeudet, koska aineisto perustuu tietoisesti mahdollisimman samankokoisiin puuyksilöihin. Valintaan vaikutti osaltaan myös se, että karsimisella pyritään nimenomaan määrämittaisen tyvitukin teknillisen laadun parantamiseen.

Kairaukset, jotka ulottuivat ytimeen, suoritettiin kannon korkeudelta ja lisäksi 0.5, 1.3, 2, 4, 6 ja 8 m:n korkeuksilta kannon yläpuolella. Milloin puuta ja kiipeäjää vahingoittamatta oli mahdollista, kasvunäytteitä otettiin myös 10 m:n korkeudelta. Kairaussuunta vaihteli siten, että kaikissa karsimisasteissa tehtiin havaintoja joka pääilmansuunnasta. Samassa puussa kairaus tapahtui kaikilla korkeuksilla aina samassa ilmansuunnassa.

Jokaisella korkeudella suoritettiin läpimitan mittaus kuoren päältä kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa millimetrin tarkkuudella, jolloin toisena mittaussuuntana oli kairauksen suunta. Kuoren paksuus mitattiin kairauksen suunnassa molemmilta puolilta puuta.

Männyn pituuskasvun vuotuisarvojen arviointi tapahtui pääasiassa kirjavaksi väritetyn vertailutangon avulla, missä väri vaihtui 1 dm:n välein. Ylimpään kiipeilykorkeuteen ehtineelle apumiehelle ojennettiin tämä latvuksen vihreydestä selvästi erottuva tanko, minkä hän alhaalta annettujen ohjeiden mukaisesti sijoitti niin, että kärki tuli ylimmän mitattavan latvakasvaimen huipun tasalle. Seipääseen vertaillen voitiin tämän jälkeen latvakasvainten pituudet arvioida maasta käsin kiipeilijän havaintojen tukemina. Kun käytettävissä oli kiikari, voitiin männyn latvakasvainten selväpiirteisyyden vuoksi havainnot suorittaa niin luotettavasti kuin se näissä olosuhteissa ylimalkaan oli mahdollista. Kulumassa olevan kasvukauden kasvain jäi keskeneräisyytensä vuoksi mittausten ulkopuolelle. Koivuja tutkittaessa oli tyydyttävä toteamaan vain puun pituudessa koko 10-vuotiskautena tapahtunut kasvu vertaamalla saatua pituuslukua kokeita perustettaessa suoritetun pituusmittauksen tulokseen.

Kiipeilyn yhteydessä mitattiin alimpien kuolleiden oksien ja elävän latvuksen alareunan korkeus. Yksittäistä, vähintään kahden kuivan oksakiehkuran muusta latvuksesta erottamaa elävää oksaa ei tällöin otettu huomioon. Kokeen perustamisvaiheessa tehtyjen merkintöjen ja maalitäplien avulla tarkistettiin karsimattomien ja lievästi karsittujen puiden elävän latvuksen alareunan korkeus kokeen alussa, jotta voitaisiin luotettavasti todeta rajan siirtyminen ylöspäin 10-vuotiskauden aikana.

Puun pituus voitiin yleensä määrittää ylimmän kiipeilykorkeuden tasolta vertailutankoa apuna käyttäen. Aina mitattiin pituus kuitenkin myös korkeusmittarilla. Neulasnäytteiden ottoa harkittiin, mutta se osoittautui pienikokoisissa pystypuissa kiipeilijän kannalta vaaralliseksi, koska sen olisi tullut ulottua aivan latvuksen huippuun asti.

Kunkin puun ympäristöä tutkittiin mittaamalla etäisyys naapuripuihin ja merkitsemällä muistiin näiden rinnankorkeusläpimitat ja pituudet. Koepuiden latvusprojektiot mitattiin Cajanuksen putkea apuna käyttäen. Kantojen ja tiedustelujen avulla pyrittiin selvittämään, oliko metsikössä tapahtunut hakkuita kokeen aikana. Pyrittiin lisäksi silmävaraisesti arvioimaan, oliko karsiminen aiheuttanut puun vajoamista biologisessa asemassa.

Lopuksi uusittiin koepuiden numerointi mahdollisia myöhempiä tutkimuksia varten.

5. AINEISTON TILASTOMATEMAATTINEN KÄSITTELY

Aineiston tilastomatemaattisen käsittelyn tarkoituksena oli erivahvoin karsimisastein käsiteltyjen puiden kasvussa todettujen erojen merkitsevyyden toteaminen.

Ongelmana ennen varsinaisen käsittelyn aloittamista oli kysymys siitä, miten olisi tarkastelussa otettava huomioon ns. puuttuvat arvot, ts. tutkimuskauden aikana kadonneiden puiden kasvu.

Milloin katoamisen syynä on muu kuin käsittelyn aiheuttama kuolema, voidaan ajatella käytettäväksi menetelmää, jonka on esittänyt Yates (vrt. Jeffers 1960, s. 57). Sen mukaan puuttuva arvo korvataan luvulla, joka minimoi virheiden neliösumman. Näin menetellen puuttuva arvo otetaan huomioon puhtaasti laskentateknillisenä, eikä se muuta sitä päätelmää, mihin mitatut arvot oikeuttavat.

Kun puu kuolee käsittelyn seurauksena, ei kasvua enää tapahdu, ja puuttuva arvo on 0. Sen seikan selvittämiseksi, mistä kasvukaudesta alkaen kussakin erillistapauksessa kasvu voidaan nollata ja mikä kasvu on ollut ennen kuolemaa, olisi kuolleet puut voitava tutkia samaan tapaan kuin elossa olevatkin. Tähän ei lukuisissa tapauksissa nyt ollut mahdollisuutta sen vuoksi, että kuolleet puut oli omistajan toimesta korjattu pois metsästä. Sitä paitsi ei katoamisen syytä voitu läheskään aina luotettavasti todeta.

Kun aineiston tilastomatemaattisessa käsittelyssä on etua siitä, että kutakin käsittelyä edustaa sama havaintomäärä, jäi jäljelle vain vaihtoehto, että muiden käsittelyasteiden havaintojen lukumäärä pienennettiin arpomalla vähäisintä säilyneiden koepuiden määrää edustavan käsittelyasteen tasolle. Täten tosin menetettiin vapausasteita, mikä vastaavasti heikensi tarkastelua.

Omaksutusta menetelmästä seurasi, että erojen merkitsevyyttä koskevassa analyysissa jouduttiin erittäin voimakkaasti karsittujen puiden kasvua suhteessa muihin tarkastelemaan vain hengissä säilyneiden puiden perusteella. Näin saatiin mainitusta käsittelyasteesta kokonaisuutena liian positiivinen käsitys. Erittäin voimakkaasti karsittujen puiden kasvun suuruutta koskevat tiedot joudutaan jäljempänäkin esittämään hengissä säilyneiden puiden kasvuhavaintojen nojalla. Toisaalta voitaneen väittää, että kiinnostavaa onkin lähinnä se, kuinka kasvaa sellainen puu, joka vaikeuksista huolimatta säilyy hengissä. Ilmeisesti ei enää kuluneen 10-vuotiskauden jälkeen

esiinny voimakkaimmin karsittujen puiden joukossa kuolleisuutta, joka voitaisiin asettaa välittömästi syy-yhteyteen karsimisen kanssa.

Tilastomatemaattinen käsittely oli luonteeltaan varianssianalyysiä, missä pienin vaihteluyksikkö oli puuyksilö. Houkuttelevana vaihtoehtona olisi tällaisessa tutkimuksessa käyttää käsittely-yksikkönä puupareja. Koska tutkimusta ei alunperin suunniteltu viimeksi mainitulle periaatteelle, ei sitä voitu liioin aineiston tilastomatemaattisessa käsittelyssä soveltaa.

Puiden mahdolliset kasvutasoerot pyrittiin ottamaan käsittelyssä huomioon. Varianssianalyysi suoritettiin paitsi todella mitatuin vuotuisarvoin myös muunnetuin arvoin, jolloin muuntotehtävän tarkoituksena oli puiden kasvutasoerojen eliminoiminen.

Kasvutason mittana muuntotehtävää suoritettaessa pidettiin karsimista edeltäneen 5-vuotiskauden kasvua. Muunnettuina arvoina käytettiin kunkin karsimista seuranneen kasvukauden kasvuluvun ja karsimista edeltäneen 5-vuotiskauden keskimääräisen vuotuisen kasvun erotusta. Tältä pohjalta toimeenpannun varianssianalyysin tulokset muodostuivat paikoin olennaisesti erilaisiksi kuin mitatuin vuotuisarvoin tapahtuneen analyysin.

Varianssianalyysejä suoritettiin lisäksi eri tasoissa, yksi-, kaksi- ja nelisuuntaisina. Yksisuuntainen analyysi tapahtui vertailemalla kokeitta n vuoronperään kunkin eläviin oksiin kohdistuneen karsimisasteen puiden kasvua karsimattomien puiden vastaaviin vuotuisarvoihin. Kun analyysissä näin menetellen oli varsin vähän vapausasteita, tulivat merkitseviksi vain kaikkein selvimmät erot karsimisasteiden välillä. Erojen merkitsevyyden tulkinnassa käytettiin paitsi tavanomaista F-testiä myös ns. Tukeyn testiä (vrt. Mattila 1963, s. 66), jälkimmäistä taulukoinnin puutteellisuuden vuoksi vain 5 %:n riskitasolla, mitä yleisesti pidetään erojen merkitsevyyden minimivaatimuksena. Molemmat testityypit antoivat varsin yhdenmukaisia tuloksia.

Vapausasteiden lisäämiseksi suoritetussa kaksisuuntaisessa analyysissä olivat vaihtelusuuntina metsikkö ja käsittely, joten kokeita tarkasteltiin yhtenä kokonaisuutena, kuitenkin mänty- ja koivuaineistot erottaen. Erojen merkitsevyyttä tutkittiin Tukeyn testin avulla mainitulla riskitasolla. Nelisuuntaisessa varianssianalyysissä vaihtelusuuntia olivat metsikkö, puuyksilö, käsittely, mittauskorkeus. Erojen merkitsevyyttä tutkittiin tällöin vain F-testillä useilla riskitasoilla. Mänty- ja koivuaineistot käsiteltiin nytkin erikseen.

Kaiken kaikkiaan suoritetut monipuoliset analyysit olivat omiaan osoittamaan, että yhden tietyllä tavalla suoritetun analyysin todistusvoima voi olla vähäinen. Luotettavan kuvan saamiseksi erojen merkitsevyydestä olisi varmaan yleisestikin välttämätöntä suorittaa lukuisia varianssianalyysejä, koska laskelmien perusteissa on metsätieteissä usein tulkinnan varaa.

6. ELÄVIEN OKSIEN KARSIMISEN VAIKUTUS PUUN KASVUUN

Tietyn käsittelyn vaikutusta puun kehitykseen tutkittaessa on yleensä tapana ja aiheellistakin keskittää päähuomio rungon kuutiokasvuun. Tavallisesti tällöin on kysymys rungon kuutiosisällöstä ilman kuorta kiintokuutioyksikköinä.

Puita karsittaessa ei rungon kiintokuutiosisällössä tapahtuvilla muutoksilla, mahdollisilla kasvutappioillakaan, ole välttämättä käytännöllistä merkitystä. Koska karsimisen tarkoituksena on laatupuun kasvattaminen, on tärkeintä, miten toimenpide vaikuttaa sen rungonosan kasvuun ja kehitykseen, minkä laatua parantamaan se on tarkoitettu. Myyntitoimituksessa rungon tyviosa kuutioidaan joko tukin keskeltä (koivulla) tai latvasta (havupuilla) mitatun läpimitan perusteella teknisinä kuutiojalkoina.

Mainituista syistä kohdistetaan jäljempänä tässä tutkimuksessa päähuomio paksuuskasvuun rungon eri korkeuksilla. Tulosten tarkastelu aloitetaan kuitenkin pituuskasvun ja latvuksen kehityksen esittelyllä, koska nämä paljolta selittävät paksuuskasvussa havaittavia reaktioita. Riippuuhan puun paksuuskasvun toipuminen karsimisen jälkeen ratkaisevasti siitä, kuinka nopeasti puu kykenee pituuskasvun avulla kehittämään pienennetyn latvuksensa jälkeen täyttä kasvukykyä vastaavaksi.

61. Pituuskasvu

Kuten maastotöiden selostuksen yhteydessä (s. 17) todettiin, pystypuiden pituuskasvun arviointi on parhaimmillaankin tieteellisiä tarkoituksia varten epätarkkaa. Heikohkosta havaintotarkkuudesta puolestaan seuraa, ettei aineiston tilastomatemaattisella käsittelyllä, esim. varianssianalyysillä, ole kiistatonta todistusvoimaa.

Mainitusta syystä seuraavassa tarkastellaan eri karsimisasteiden puiden pituuskasvua vain keskiarvojen avulla pyrkimättä osoittamaan tilastomatemaattisesti, mitkä havaituista eroista ovat merkitseviä. Koska koivun pituuskasvun vuotuisarvojen toteaminen on pystypuista mahdotonta, karsittujen puiden pituuskasvun vuotuiskehitystä 10-vuotiskauden aikana voidaan tarkastella vain mäntyaineistosta.

Taulukko 4. Säilyneiden puiden keskipituuden kehitys 10-vuotiskautena.
Table 4. Development of mean height of surviving trees during the 10-year period.

Koe n:o *Exp. no.* Puulaji *Tree species*	Kars.aste *Degree of pruning*	Keskipituus, m *Mean height, m.*		Kasvu, m *Increment m.*	Suhteellinen kasvu, % *Relative increment, %*
		kauden alussa *at beginning of period*	kauden lopussa *at end of period*		
2.	0	11.9	15.6	3.7	100
Koivu	20	11.8	15.9	4.1	111
Birch	50	11.8	15.2	3.4	92
	80	12.1	15.6	3.5	95
3.	0	9.3	12.6	3.3	100
Mänty	20	9.7	12.7	3.0	91
Pine	50	9.7	12.2	2.5	76
	80	9.7	11.4	1.7	52
4.	0	11.7	16.5	4.8	100
Koivu	20	11.6	15.6	4.0	83
	50	11.8	16.2	4.4	92
	80	11.7	15.0	3.3	69
5.	0	8.5	12.4	3.9	100
Mänty	20	8.8	12.7	3.9	100
	50	8.4	11.9	3.5	90
	80	8.8	11.3	2.5	64
6.	0	10.6	13.2	2.6	100
Mänty	20	10.3	12.9	2.6	100
	50	10.5	12.6	2.1	81
	80	9.6	11.0	1.4	54
7.	0	10.1	13.6	3.5	100
Mänty	20	10.3	13.8	3.5	100
	50	10.1	13.1	3.0	86
	80	9.9	12.8	2.9	83
8.	0	9.1	13.6	4.5	100
Mänty	20	9.4	13.5	4.1	91
	50	9.8	13.1	3.3	73
	80	9.3	12.8	3.5	78

Taulukossa 4 esitetään koemetsiköittäin kunkin karsimisasteen puiden pituuden keskimääräinen kehitys 10-vuotiskauden kuluessa. Luvut perustuvat kokeita perustettaessa ja 10-vuotiskauden päätyttyä varhemmin esitetyllä tavalla suoritettuihin pituusmittauksiin (vrt. s. 18). Taulukon lukuja tarkasteltaessa on otettava huomioon, että ne erittäin voimakkaassa karsimisasteessa osoittavat koko 10-vuotiskauden hengissä säilyneiden puiden pituuden kehitystä (vrt. s. 19).

Kun taulukosta 4 lasketaan erikseen männylle ja koivulle säilyneiden koepuiden lukumäärillä painotetut keskiarvot, saadaan seuraavan asetelman osoittamat luvut.

Puulaji *Tree species*	Karsimisaste — *Degree of pruning* 0	20	50	80
	Suht. pituuskasvu — *Relative height increment*			
Mänty — *Pine*	100	97	82	69
Koivu — *Birch*	100	97	92	82

Asetelman mukaan lievästä elävien oksien karsimisesta olisi seurauksena sekä männyllä että koivulla keskimäärin 3 %:n pituuskasvutappio ensimmäisen 10-vuotiskauden aikana karsimisen jälkeen. Näin pieni ero ei liene kuitenkaan todellinen yksistään siitä syystä, mitä edellä sanottiin havaintotarkkuudesta. Asetelmassa esitetty keskiarvo, 97, muodostuu sitä paitsi luvuista, jotka koivulla vaihtelevat välillä 83—111 ja männyllä 91—100. Männyn kohdalla voidaan lisäksi havaita, että kolmessa kokeessa viidestä lievästi karsittujen puiden kasvu on keskimäärin täsmälleen sama kuin karsimattomien. Lievä elävien oksien karsiminen sellaisena kuin se on määritelty tässä tutkimuksessa ei siis ilmeisestikään vähennä puun pituuskasvua.

Jos elävien oksien karsiminen on voimakasta, ts. jos vihreän latvuksen pituudesta poistetaan puolet, on siitä asetelman mukaan ensimmäisen 10-vuotiskauden kuluessa seurauksena männyllä keskimäärin 18 %:n ja koivulla 8 %:n heikkeneminen pituuskasvussa. Absoluuttisesti tämä merkitsee edellisellä 0.5 m:n ja jälkimmäisellä 0.35 m:n menetystä. Kasvutappioprosentit ovat siksi suuria, etteivät ne voine johtua systemaattisista havaintovirheistä.

Ero karsimattomien ja eloon jääneiden erittäin voimakkaasti karsittujen puiden pituuskasvussa 10 vuoden aikana on mäntykokeiden mukaan 31 % ja koivukokeiden perusteella 18 %. Vastaavat kasvutappioluvut absoluuttisin arvoin ovat 1.15 ja 0.85 m. Vaikka vaihtelu on nytkin kokeesta toiseen huomattavan suuri, voitaneen päätellä, että todettu kasvutappio on todellinen eikä vain havaintovirheistä aiheutuva.

Koivun mäntyä paremman pituuskasvukyvyn voisi olettaa johtuvan siitä, että tämä puulaji kasvaa keskimäärin paremmilla kasvupaikoilla kuin mänty. Tutkimuksen tulokset eivät kuitenkaan tue käsitystä, että kasvupaikan laadulla, ainakaan vaihtelualueella VT—OMT, olisi merkitystä pituuskasvutappion suuruuteen voimakkaasti karsituissa puissa. Mäntykokeiden tulosten vertailu antaa kuitenkin aihetta viitata siihen mahdollisuuteen, että erittäin voimakkaasti karsittujen puiden pituuskasvun elpyminen olisi paremmilla kasvupaikoilla nopeampaa kuin huonommilla. Vaikka aineistosta ei voida löytää suoranaista todistetta, voidaan myös olettaa, että erittäin voimakkaasti karsittujen puiden kuolleisuus olisi edellisillä vähäisempää kuin jälkimmäisillä.

Vuotuisen pituuskasvun kehitys ensimmäisen 10-vuotiskauden kuluessa karsimisen jälkeen mäntykokeiden keskiarvona käy ilmi taulukosta 5 ja kuvasta 3.

Taulukko 5. Pituuskasvun keskimääräiset suhteelliset vuotuisarvot mäntyaineiston mukaan (karsimaton = 100).
Table 5. Mean relative values of height increment, based on pine experiments (unpruned = 100).

Kars.aste *Degree of pruning*	Vuosi karsimisen jälkeen — *Year after pruning*									
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
	Suhteellinen pituuskasvu, % — *Relative height increment*, %									
20	100	104	103	104	105	99	95	99	104	104
50	94	91	85	82	82	86	80	88	91	98
80	84	68	74	78	68	60	62	69	72	78

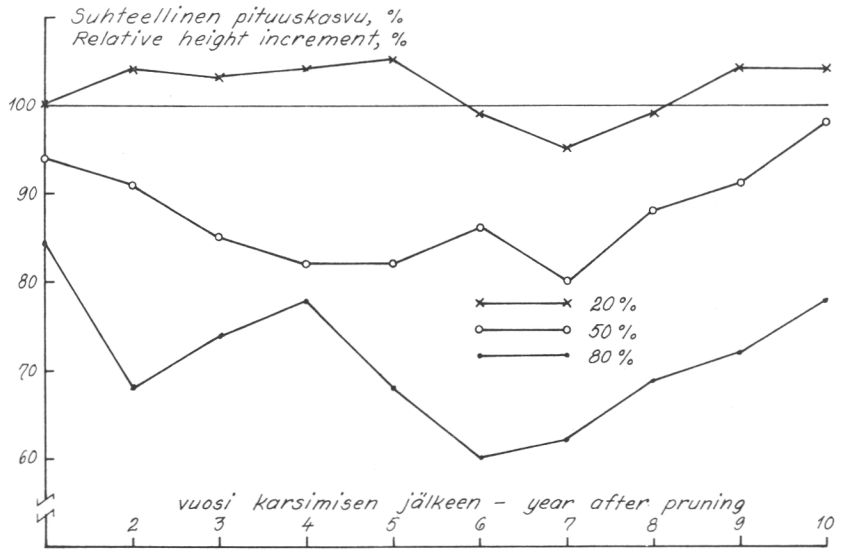
Lievästi karsittujen mäntyjen pituuskasvun vuotuisarvot vaihtelevat molemmin puolin karsimattomien puiden kontrollilukua 100. Neljänä kasvukautena on karsittujen puiden kasvu ollut joko sama tai niukasti pienempi kuin karsimattomien, kuutena taas parempi. Kysymyksessä lienee tyypillinen satunnaisvaihtelu, jolle ei voida antaa erityismerkitystä.

Kahtena ensimmäisenä kasvukautena voimakkaasti karsitut männyt säilyttävät tämän aineiston mukaan pituuskasvunsa korkeana, yli 90 %:n karsimattomien puiden vastaavasta tunnuksesta. Vuosina 3—7 on selvä lamakausi, jolloin pituuskasvu laskee äärimmäistapauksessa 80 %:iin. Kymmenvuotiskauden kolmeen viimeiseen vuoteen sattuu kuitenkin nousukausi, joka johtaa voimakkaasti karsittujen puiden pituuskasvun lähes karsimattomien puiden tasalle. Onko kysymyksessä vain tilapäinen nousu, jota myöhemmin seuraa jälleen laskukausi, on mahdotonta päätellä tästä aineistosta. Suurimmat pituuskasvutappiot syntyvät joka tapauksessa ensimmäisen karsimista seuraavan 10-vuotiskauden keskivaiheella.

Myös erittäin voimakkaasti karsittujen mäntyjen pituuskasvussa voidaan havaita sama kehityssuunta kuin yllä. Aluksi pituuskasvu on verraten korkea, ensimmäisenä kasvukautena keskimäärin 84 %, mutta sitä seuraava laskukausi johtaa alimmillaan 60 %:iin karsimattomien puiden tasosta. Kymmenvuotiskauden lopulla pituuskasvu osoittaa selviä toipumisen merkkejä, mutta vielä 10. kasvukautenakaan ei kasvu nouse 1. kasvukauden tasolle. Kykeneekö pituuskasvu erittäin voimakkaasti karsituissa puissa koskaan saavuttamaan karsimattomien puiden arvoja, ei voida päätellä havaintokauden lyhyyden vuoksi. Kasvun nouseva suunta viittaa kuitenkin siihen, että pituuskasvu tulee ehkä 10-vuotiskauden lopussa saavutetusta tasosta vielä elpymään.

62. Latvuksen kehitys

Pituuskasvu merkitsee karsimisen kautta supistuneen latvuksen laajenemista uusilla yhteyttävillä oksakiehkuroilla. Puussa voi toisaalta tapahtua



Kuva 3. Suhteellisen pituuskasvun vuotuinen kehitys eri karsimisasteissa mäntykokeiden keskiarvona (karsimaton = 100).
Fig. 3. Relative annual height increment in different pruning degrees, according to pine experiments (unpruned = 100).

myös alimpien oksien kuolemista, mikä lyhentää yhteyttävää latvusta. Tämän tutkimuksen kannalta on pidettävä mielenkiintoisimpana sitä hetkeä, jolloin alimpien oksien kuoleminen alkaa karsituissa puissa. Metsikköolosuhteissa elävissä päävaltapuissa tätä hetkeä voitaneen luonnehtia kehitysasteena, jolloin latvus on saavuttanut kyseisen metsikön puille kasvun maksimiin riittävän suuruuden.

Taulukossa 6 esitetään koepuiden latvusten pituuden, karsimiskorkeuden ja latvussuhteen keskimääräinen kehitys kokeittain 10-vuotiskauden aikana. Taulukosta voidaan todeta, että karsimattomien puiden latvussuhde, ts. elävän latvuksen pituuden osuus koko pituudesta, oli kokeen perustamishetkellä männiköissä 52—59 % ja koivikoissa 59—62 %. Alimpien oksien kuoleminen oli männiköissä kuluneena 10-vuotiskautena niin voimakasta, että karsimattomien puiden latvussuhde supistui 48—53 %:iin hyvästä pituuskasvusta huolimatta. Varsin harvassa asennossa kasvavassa koivikkokokeessa n:o 2 latvussuhde poikkeuksellisesti kohosi 59 %:sta 65 %:iin, kun se tiheässä koivikkokokeessa n:o 4 laski männikkökokeiden tapaan 62 %:sta 55 %:iin.

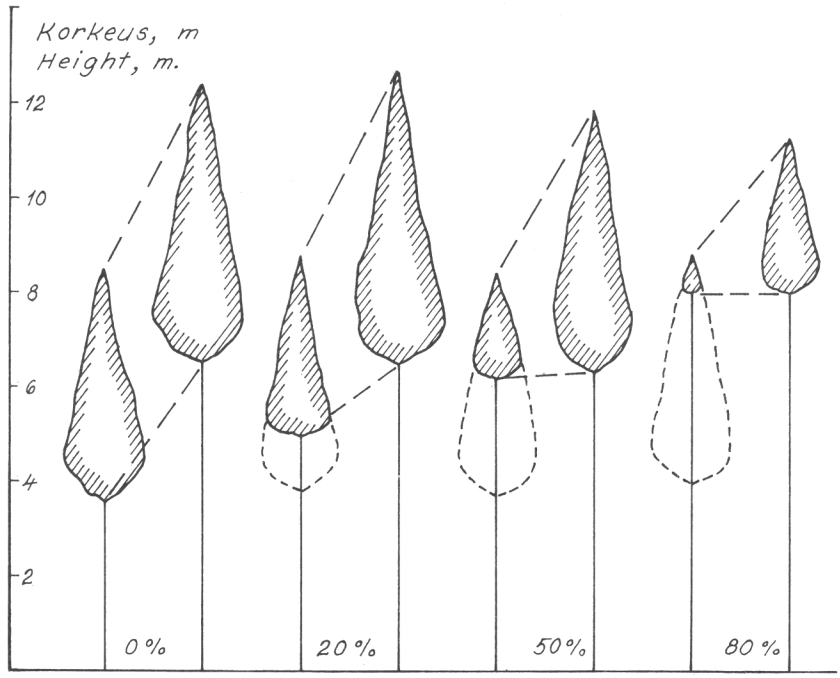
Lievästi karsien latvussuhde pienennettiin 40—47 %:iin. Kuluneen 10-vuotiskauden aikana lievästi karsittujen puiden latvussuhde nousi männiköissä 46—57 %:iin ja koivikoissa 53—59 %:iin, ts. karsimattomien puiden

Taulukko 6. Säilyneiden puiden elävän latvuksen pituuden (E), karsi(utu)miskorkeuden (K) ja latvussuhteen (L) kehitys 10-vuotiskauden aikana.
Table 6. Development of live-crown length (E), (self-) pruning height (K) and crown ratio (L) of surviving trees during the 10-year period.

Koe n:o *Exp. no.* Puulaji *Tree species*	Kars.aste *Degree of pruning*	Kokeen alussa *On starting the experiment*			10 vuoden kuluttua *After 10 years*			10-vuotiskauden kasvu (muutos), i *10-year increment (change), i*		
		E m	K m	L %	E m	K m	L %	i_E m	i_K m	i_L %
2.	0	7.0	4.9	59	10.1	5.5	65	3.1	0.6	6
Koivu	20	5.4	6.4	46	9.4	6.5	59	4.0	0.1	13
Birch	50	3.4	8.4	29	6.8	8.4	45	3.4	—	16
	80	1.8	10.3	15	5.3	10.3	34	3.5	—	19
3.	0	4.8	4.5	52	6.1	6.5	48	1.3	2.0	— 4
Mänty	20	3.9	5.8	40	6.3	6.4	50	2.4	0.6	10
Pine	50	2.5	7.2	26	4.9	7.3	40	2.4	0.1	14
	80	1.0	8.7	10	2.7	8.7	24	1.7	—	14
4.	0	7.3	4.4	62	9.0	7.5	55	1.7	3.1	— 7
Koivu	20	4.8	6.8	41	8.2	7.4	53	3.4	0.6	12
	50	3.4	8.4	29	7.7	8.5	48	4.3	0.1	19
	80	2.0	9.7	17	5.3	9.7	35	3.3	—	18
5.	0	4.9	3.6	58	5.9	6.5	48	1.0	2.9	— 10
Mänty	20	3.8	5.0	43	6.2	6.5	49	2.4	1.5	6
	50	2.2	6.2	26	5.6	6.3	47	3.4	0.1	21
	80	0.8	8.0	9	3.3	8.0	29	2.5	—	20
6.	0	5.7	4.9	54	6.6	6.6	50	0.9	1.7	— 4
Mänty	20	4.2	6.1	41	5.9	7.0	46	1.7	0.9	5
	50	2.6	7.9	25	4.5	8.1	36	1.9	0.2	11
	80	1.2	8.4	13	2.6	8.4	24	1.4	—	11
7.	0	5.6	4.5	55	6.7	6.9	49	1.1	2.4	— 6
Mänty	20	4.3	6.0	42	6.5	7.3	47	2.2	1.3	5
	50	2.8	7.3	28	5.6	7.5	43	2.8	0.2	15
	80	1.4	8.5	14	4.3	8.5	34	2.9	—	20
8.	0	5.4	3.7	59	7.2	6.4	53	1.8	2.7	— 6
Mänty	20	4.4	5.0	47	7.7	5.8	57	3.3	0.8	10
	50	3.0	6.8	31	5.9	7.2	45	2.9	0.4	14
	80	1.3	8.0	14	4.8	8.0	38	3.5	—	24

tasolle. Lievästi karsittujen puiden latvuksen rinnastettavuutta karsimattomiin puihin osoittaa myös se, että alimpien oksien kuoleminen oli niissä voimakasta, 0.6—1.5 m 10 vuodessa eri metsiköissä. Poikkeuksena on jälleen koemetsikkö n:o 2, missä alaoksien kuoleminen on edellä mainitusta syystä päässyt alkuun vasta kauden lopussa.

Voimakas karsiminen pienensi latvussuhteen 25—31 %:iin. Tutkitun 10-vuotiskauden lopussa oli latvussuhde männiköissä 36—47 %. Jos jätetään yksi koemetsikkö tarkastelun ulkopuolelle, vaihteli latvussuhde rajoissa 40—47 %, mikä on täsmälleen sama kuin lievän karsimisen jälkeen jäänyt latvussuhde 10-vuotiskauden alussa. Koivikoissa voimakkaasti karsittujen



Kuva 4. Puun ja sen latvuksen pituuden kehitys 10-vuotiskauden kuluessa männikkökokeessa 5.
Fig. 4. Development of tree height and crown length during the 10-year period in pine experiment no. 5.

puiden latvuksen paraneminen johti 10-vuotiskauden lopussa 45—48 %:n latvussuhteeseen, ja useissa voimakkaasti karsituissa koivuissa alaoksien kuoleminen pääsi alkuun juuri 10-vuotiskauden lopulla. Tämä merkinnee, että karsimisen aiheuttama tasapainotilan järkkyminen rungon ja latvuksen välillä on mennyt 10 vuodessa ohi. Kun tutkittiin niiden puiden latvussuhdetta, joissa oksien kuoleminen oli päässyt alkuun, havaittiin sen olevan keskimäärin 40 %.

Erittäin voimakkaan karsimisen jälkeen hengissä säilyneiden puiden latvussuhde oli 10-vuotiskauden lopussa 24—38 %, eräissä metsiköissä siis varsin lähellä edellä esitettyä, eräänlaista kriitillistä arvoa, 40 %.

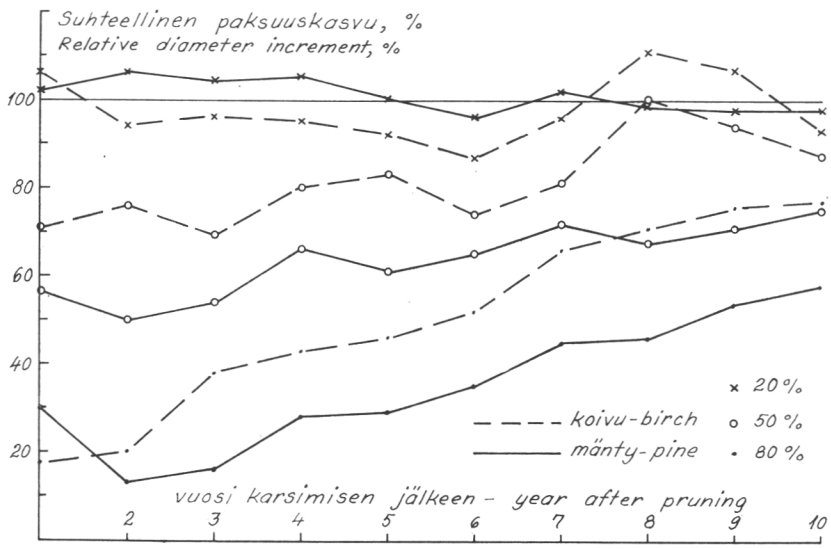
Kun verrataan keskenään eri karsimisasteiden puiden elävän latvuksen absoluuttisen pituuden kehitystä, havaitaan sen olleen voimakkaassa karsimisasteessa paras. Voimakas karsiminen on sallinut korkean pituuskasvun, eikä ole toisaalta johtanut alaoksien kuolemiseen ennen kuin aivan 10-vuotiskauden lopulla muutamissa puissa. Myös erittäin voimakkaasti karsittujen puiden latvusten kehitys oli taulukon 6 mukaan useilla koealoilla samalla tasolla kuin lievässä karsimisasteessa. Latvussuhteen lisääntymisprosentti

Taulukko 7. Säilyneiden puiden kuorellisen keskiläpimitan kehitys rinnankorkeudella 10-vuotiskauden aikana.
Table 7. Development of mean diameter above bark at breast height during the 10-year period.

Koe n:o *Exp. no.* Puulaji *Tree species*	Kars.aste *Degree of pruning*	Keskiläpimitta, cm *Mean diameter, cm.*		Kasvu cm *Increment, cm.*	Suhteellinen kasvu, % *Relative increment, %*
		kauden alussa *at beginning of period*	kauden lopussa *at end of period*		
2.	0	10.0	14.2	4.2	100
Koivu	20	9.8	14.1	4.3	102
Birch	50	9.8	13.2	3.4	81
	80	10.2	12.5	2.3	55
3.	0	9.7	12.8	3.1	100
Mänty	20	9.8	13.0	3.2	103
Pine	50	9.4	12.0	2.6	84
	80	9.1	9.7	0.6	19
4.	0	9.6	13.8	4.2	100
Koivu	20	9.7	13.5	3.8	90
	50	9.4	12.7	3.3	79
	80	9.4	11.3	1.9	45
5.	0	9.2	12.5	3.3	100
Mänty	20	9.6	12.8	3.2	97
	50	9.3	12.0	2.7	82
	80	9.3	10.7	1.4	42
6.	0	10.5	13.2	2.7	100
Mänty	20	10.0	12.8	2.8	104
	50	10.3	11.6	1.3	48
	80	10.2	10.7	0.5	19
7.	0	10.0	12.7	2.7	100
Mänty	20	9.6	12.3	2.7	100
	50	10.3	12.2	1.9	70
	80	9.9	11.5	1.6	59
8.	0	10.5	14.8	4.3	100
Mänty	20	10.3	14.6	4.3	100
	50	10.4	13.4	3.0	70
	80	10.0	12.2	2.2	51

oli pituuskasvutappiosta huolimatta erittäin voimakkaassa karsimisasteessa tavallisesti suurin.

Latvuksen kehitystä eri karsimisasteissa 10-vuotiskauden aikana havainnollistaa myös kuva 4, joka perustuu männikkökokeeseen n:o 5. Kuvasta nähdään, että erittäin voimakkaasti karsittujen puiden latvus oli 10 vuoden kuluttua vielä selvästi pienempi kuin muiden karsimisasteiden puiden mutta että näiden puiden latvusten suhteellinen kehitys oli 10-vuotiskauden aikana erittäin voimakasta. Edelleen todetaan kuvasta, että voimakkaasti karsittujen puiden latvus oli 10-vuotiskauden päätyttyä mittasuhteiltaan karsimattomien ja lievästi karsittujen puiden kaltainen.



Kuva 5. Suhteellisen paksuuskasvun vuotuinen kehitys rinnankorkeudella eri karsimisasteissa (karsimaton = 100).
Fig. 5. Relative annual diameter increment at breast height in different pruning degrees (unpruned = 100).

63. Paksuuskasvu rinnankorkeudella

Rinnankorkeusläpimitta, Suomessa Ilvessalon (1947, s. 9) määrittelemästä kannosta lähtien, on tietynlainen perusläpimitta puun kasvua kuvattaessa. Taulukko 7 havainnollistaa paksuuskasvua rinnankorkeudella 10-vuotiskauden alussa ja lopussa suoritettujen mittausten keskiarvoina kokeittain. Läpimitat ovat kuorenpäällisiä. Ei ole kuitenkaan perusteltua syytä olettaa, että karsiminen vaikuttaisi jollakin tavalla kuoren paksuuden kehitykseen rinnankorkeudella.

Lievästi karsitut ja karsimattomat puut kasvoivat paksuutta 10-vuotiskauden kuluessa varsin samanlaisella nopeudella. Eroa oli vain yhdessä tapauksessa enemmän kuin 1 mm, koivikkokokeessa 4 poikkeuksellisesti 4 mm. Jos viimeksi mainittua pidetään satunnaistekijöistä johtuvana, aineiston perusteella voidaan päätellä, ettei lievä karsiminen vaikuta heikentävästi rungon paksuuskasvuun rinnankorkeudella.

Voimakas karsiminen taannutti selvästi paksuuskasvua. Kaikkien kokeiden keskiarvona saadaan paksuuskasvutappioksi rinnankorkeudella 10-vuotiskauden aikana 9 mm vaihtelurajojen ollessa 5—14 mm. Keskiarvon laskemiseen kaikista kokeista oikeuttaa toteamus, ettei tämän aineiston mukaan ole

Taulukko 8. Paksuuskasvun keskimääräiset suhteelliset vuotuisarvot rinnankorkeudella (karsimaton = 100).
Table 8. Mean relative values of diameter increment at breast height (unpruned = 100).

Puulaji *Tree species*	Kars.aste *Degree of pruning*	Vuosi karsimisen jälkeen — *Year after pruning*										
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	1.—10.
		Suhteellinen paksuuskasvu — *Relative diameter increment*										
Koivu	20	106	94	96	95	92	87	96	111	107	93	97
Birch	50	71	76	69	80	83	74	81	100	94	88	81
	80	17	20	38	43	46	52	66	71	76	77	49
Mänty	20	102	106	104	105	100	96	102	99	98	98	99
Pine	50	56	50	54	66	61	65	72	68	71	75	63
	80	30	13	16	28	29	35	45	46	54	58	35

johdonmukaista eroa eri kasvupaikkojen enempää kuin puulajienkaan välillä.

Myöskään erittäin voimakkaasti karsittujen puiden kasvuun ei kasvupaikan laadulla näytä olleen vaikutusta. Keskimäärin erittäin voimakas karsiminen aiheutti koemetsiköissä 10 vuodessa 19 mm:n tappion paksuuskasvussa rinnankorkeudella. Tämä keskiarvo saatiin säilyneiden puiden lukumäärillä painottaen luvuista, jotka vaihtelivat rajoissa 11—25 mm. Kun kysymyksessä on koko 10-vuotiskauden hengissä säilyneiden puiden perusteella tehty laskelma ja kun tiedetään lukuisien puiden kuolleen karsimisen seurauksena, antavat edellä esitetyt korkeat tappioluvut itse asiassa liian edullisen kuvan erittäin voimakkaasta karsimisasteesta.

Paksuuskasvun vuotuista kehitystä 10-vuotiskauden kuluessa havainnollistavat taulukko 8 ja kuva 5. Kummassakin niistä on vertailutasona karsimattomien puiden vastaava kasvuluku, jolle on annettu arvo 100.

Lievästi karsittujen puiden paksuuskasvun vuotuisarvot vaihtelevat taulukossa ja kuvassa molemmin puolin lukua 100, mikä osoittanee, ettei lievä käsittely vaikuta heikentävästi puiden kasvuun. Lievästi karsitut männyt kasvoivat keskimäärin 99 % ja koivut 97 % karsimattomien puiden kasvusta tutkimusjakson aikana. Lievästi karsitut koivut kasvoivat 7 kasvukautena 10:stä vähemmän paksuutta kuin karsimattomat.

Lievästi karsittujen koivujen paksuuskasvun pienemmyys samalla tavalla karsittujen mäntyjen kasvuun verrattuna saa lisämerkitystä siitä, että voimakkaasti karsittujen koivujen kasvukyky oli poikkeuksetta koko tutkimusjakson ajan korkeampi kuin mäntyjen. Voimakkaasti karsitut koivut saavuttivat 8. kasvukautena jopa karsimattomien puiden tason, mutta kahtena viimeisenä kasvukautena kasvu jälleen laski. Voimakkaasti karsitut männyt eivät saavuttaneet koko 10-vuotiskauden aikana karsimattomien puiden kasvutasoa, vaikka kehityksen yleissuunta olikin nouseva. Kymmenentenä kasvukautena voimakkaasti karsitut männyt kasvoivat edelleen

Taulukko 9. Paksuuskasvussa rinnankorkeudella karsittujen ja karsimattomien puiden välillä havaittujen erojen merkitsevyys 5 %:n luotettavuustasolla kolmea varianssianalyysilaskelmaa apuna käyttäen.
Table 9. Significance at 5 per cent level of differences in diameter increment of pruned trees at breast height compared with that of unpruned trees on the basis of three different analyses of variance.

Puulaji *Tree species*	Kars.aste *Degree of pruning*	Vuosi karsimisen jälkeen — *Year after pruning*									
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
		Merkitsevyys — *Significance*									
Koivu	50	***	**	***	**	*	*	*			
Birch	80	***	***	***	***	***	**	**			
Mänty	50	**	***	**	*	*	*	*	*	*	*
Pine	80	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

vain 75 % siitä, mihin karsimattomat puut ovat kyenneet. Koko 10-vuotiskautena voimakkaasti karsitut koivut menettivät paksuuskasvustaan keskimäärin 19 % ja männyt 37 %.

Myös erittäin voimakkaassa karsimisasteessa koivut kasvoivat paremmin kuin männyt. Koivut saavuttivat 10-vuotiskauden lopulla, kuten kuva 5 osoittaa, saman kasvutason kuin astetta lievemmin karsitut männyt. Korkeimmillaan oli kasvu 10. kasvukautena karsimisen jälkeen, jolloin se koivuilla oli 77 % ja männyillä 58 % karsimattomien puiden kasvusta. Nimenomaan tässä karsimisasteessa saattaa eroihin olla vaikuttamassa se, että koivikot kasvavat keskimäärin paremmilla kasvupaikoilla kuin männiköt.

Missä määrin erot karsittujen ja karsimattomien puiden vuotuisissa kasvuissa ovat tilastomatemaattisesti merkitseviä, käy ilmi taulukosta 9. Siinä esitetyillä tähtiryhmillä ei ole kuitenkaan tavanomaista merkitystä siten, että tähtien lukumäärästä voitaisiin päätellä ilman muuta, minä kasvukausina erot olivat eri luotettavuustasoilla merkitseviä. Kolme tähteä merkitsee, että kysymyksessä oleva ero todettiin merkitseväksi 5 %:n luotettavuustasolla kolmessa erillisessä varianssianalyysissä, joista eräs oli muunnetuin arvoin tapahtunut yksisuuntainen analyysi ja kaksi muuta kaksisuuntaisia, toinen mitatuin ja toinen muunnetuin arvoin (vrt. s. 20).

Taulukosta havaitaan, että voimakas karsiminen aiheutti tässä aineistossa koivun paksuuskasvun merkitsevän alenemisen 7 kasvukautena karsimisen jälkeen. Vastaavasti männyn reaktio voimakkaaseen karsimiseen kesti suoritetun tarkastelun nojalla arvostellen ainakin koko ensimmäisen 10-vuotiskauden.

Nimenomaan männyn osalta voidaan panna lisäksi merkille, että ensimmäisenä kasvukautena voimakkaan ja erittäin voimakkaan karsimisen jälkeen kasvu oli suurempi kuin 2—4 kasvukautena sen jälkeen.

Taulukko 10. Paksuuskasvun keskimääräiset suhteelliset vuotuisarvot rungon eri korkeuksilla (karsimaton = 100).
Table 10. Mean relative values of diameter increment at different heights (unpruned = 100).

Puulaji *Tree species*	Kars.aste *Degree of pruning*	Korkeus, m *Height, m.*	Vuosi karsimisen jälkeen — *Year after pruning*										
			1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	1.—10.
			Suhteellinen paksuuskasvu — *Relative diameter increment*										
Koivu *Birch*	20	0	93	93	98	98	83	99	82	96	103	98	93
		2	95	87	98	92	98	89	96	107	101	100	95
		4	101	98	109	96	114	93	92	103	95	88	98
		6	99	97	104	93	92	93	89	92	90	99	94
		8	97	88	92	96	100	93	88	91	97	86	92
		10	78	89	103	81	92	93	88	94	88	90	89
	50	0	50	61	66	79	76	75	77	88	79	82	71
		2	63	68	77	76	80	76	82	92	93	83	78
		4	66	75	91	82	103	80	78	93	85	79	83
		6	66	94	95	84	85	85	84	88	86	71	84
		8	78	106	93	91	88	80	78	83	83	70	86
		10	78	101	90	72	80	78	75	85	79	69	81
	80	0	15	9	24	38	47	51	62	62	69	68	40
		2	25	29	51	44	49	58	77	72	73	78	53
		4	29	34	49	57	63	67	82	75	81	78	60
		6	13	44	59	62	68	81	79	73	72	77	61
		8	21	74	76	65	71	73	63	64	67	63	63
		10	26	127	107	60	66	74	75	86	83	87	77
Mänty *Pine*	20	0	104	97	102	99	99	107	100	105	111	107	101
		2	110	112	107	109	109	109	109	102	109	107	106
		4	98	100	105	102	101	97	109	106	105	104	99
		6	95	103	96	99	106	108	111	99	105	103	100
		8	101	104	100	99	102	102	107	100	100	103	100
		10	100	118	121	111	105	103	101	97	105	100	102
	50	0	54	47	51	60	59	60	66	65	70	74	59
		2	59	52	57	68	71	73	77	68	76	91	69
		4	64	60	73	73	68	77	82	78	77	77	73
		6	70	82	88	86	81	89	89	76	76	80	82
		8	78	99	88	81	77	79	84	75	76	83	83
		10	98	110	102	88	74	68	70	62	72	73	82
	80	0	34	14	16	25	26	36	40	44	54	64	34
		2	30	13	20	33	36	37	43	46	55	65	38
		4	36	19	29	43	45	48	59	58	62	66	46
		6	33	36	52	63	59	63	68	65	66	69	56
		8	54	89	89	77	59	62	66	62	59	70	69

64. Runkomuodon kehitys

Runkomuodon kehitystä pyritään tarkastelemaan seuraavassa esittämällä aluksi eri karsimisasteiden puiden suhteellista paksuuskasvua koskevia tietoja rungon eri korkeuksilla 2 m:n välein (kuvat 6—11) niin, että karsi-

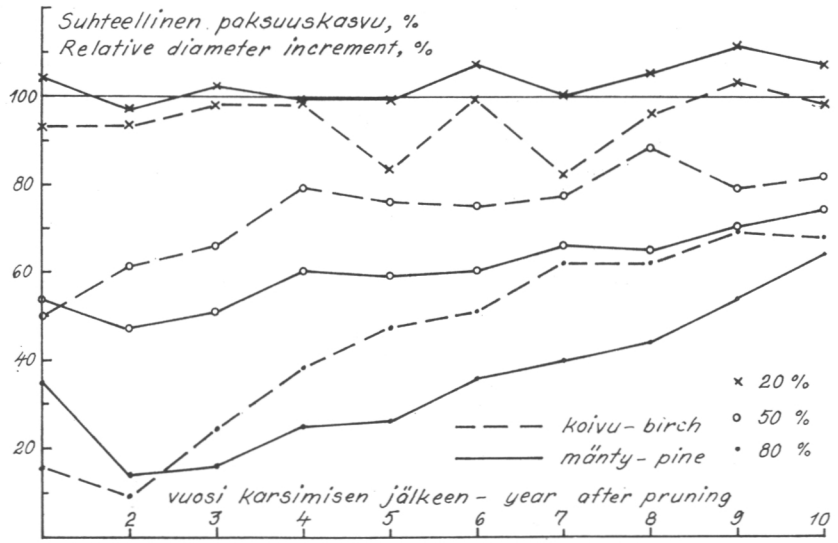
Taulukko 11. Paksuuskasvussa eri tavoin karsittujen ja karsimattomien puiden välillä rungon eri korkeuksilla havaittujen erojen merkitsevyys 5 %:n luotettavuustasolla kolmea erillistä varianssianalyysiä käyttäen.

Table 11. Significance at 5 per cent level of differences in diameter increment at different heights of the stem between unpruned trees and those pruned in accordance with different pruning degrees based on three separate analyses of variance.

Puulaji *Tree species*	Korkeus, m *Height, m.*	Kars.aste *Degree of pruning*	Vuosi karsimisen jälkeen — *Year after pruning*									
			1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
			Merkitsevyys — *Significance*									
Koivu *Birch*	0	50	***	***	***							
		80	***	***	***	***	***	*	*			
	2	50	***	***	*	**	*	*				
		80	***	***	***	***	***	**				
	4	50	***	**		*		*	*			*
		80	***	***	***	***	***	***	**	*	*	*
	6	50	***									
		80	***	***	***	***			*			
	8	50							**			
		80	***			**	*	*	***	*	*	**
Mänty *Pine*	0	50	**	***	***	**	**	*	*	*		*
		80	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
	2	50	**	***	**	*			*	*		
		80	***	***	***	***	***	***	***	***	***	*
	4	50	***	***	**	***	**			*		*
		80	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
	6	50	***	*						**	**	**
		80	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
	8	50			*	**	**	**	*	*	**	*
		80	***	*		**	***	***	***	***	***	***

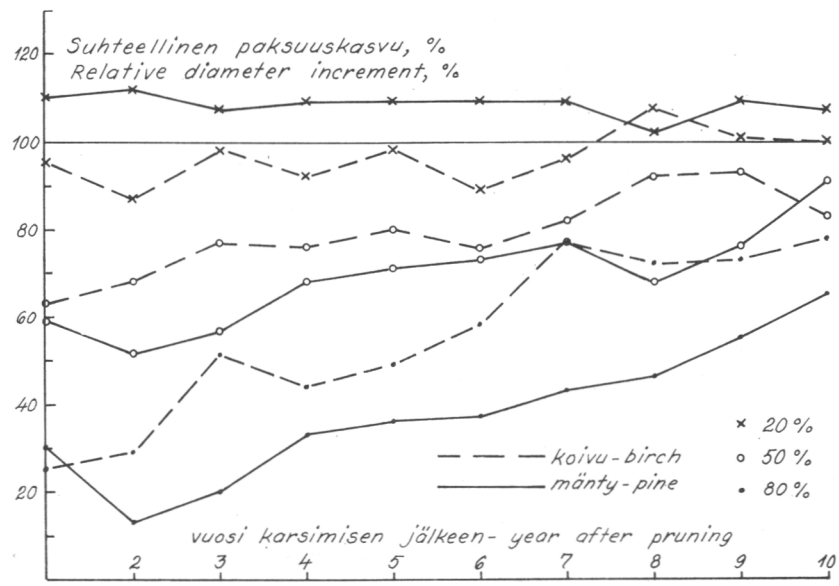
mattomien puiden kasvua merkitään luvulla 100. Kuvien 12—15 avulla havainnollistetaan voimakkaasti ja erittäin voimakkaasti karsittujen puiden runkomuodon muutoksen rytmiä yhdistämällä eri korkeuksien mittaustulokset samanaikaisesti tarkasteltaviksi. Lopuksi esitetään, mitä runkomuodon muuttuminen merkitsee absoluuttisin mitoin (kuva 16 ja taulukko 12).

Kuvien 6—15 graafisia esityksiä vastaavat numeeriset tiedot löytyvät taulukosta 10, ja erojen merkitsevyyttä havainnollistaa taulukko 11. Viimeksi mainittu taulukko on rakenteeltaan samanlainen kuin taulukko 9 (vrt. s. 31). Kun lievän karsimisen ei todettu millään korkeudella vaikuttaneen merkitsevästi rungon paksuuskasvuun, puuttuvat taulukosta 11 tätä karsimisastetta koskevat tiedot.



Kuva 6. Suhteellisen paksuuskasvun vuotuinen kehitys kannon korkeudella eri karsimisasteissa (karsimaton = 100).

Fig. 6. Relative annual diameter increment at stump height in different pruning degrees (unpruned = 100).



Kuva 7. Suhteellisen paksuuskasvun vuotuinen kehitys 2 metrin korkeudella eri karsimisasteissa (karsimaton = 100).

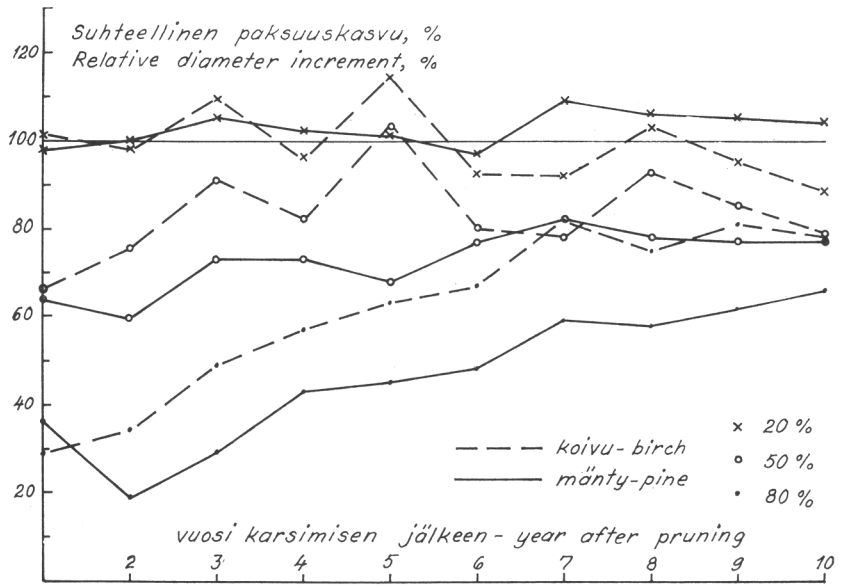
Fig. 7. Relative annual diameter incrment at 2-meter height in different prunin degrees (unpruned = 100).

K a n n o n korkeudella (vrt. kuva 6) lievästi karsitut männyt kasvoivat kuluneen 10-vuotiskauden aikana keskimäärin 1 %:n enemmän, koivut 7 % vähemmän kuin karsimattomat puut. Nämä enempää kuin vuotuiset kasvuerotkaan eivät ole tilastomatemaattisesti merkitseviä. Voimakkaasti karsitut koivut menettivät paksuuskasvustaan 10 vuodessa keskimäärin 29 % ja männyt 41 %. Koivulla oli vain kolmen ensimmäisen vuoden kasvu merkitsevästi karsimattomien puiden kasvusta poikkeava, mutta männyllä kasvutappio oli merkitsevä koko 10-vuotiskauden ajan. Erittäin voimakkaasti karsittujen koivujen 10-vuotiskauden kasvutappio oli 60 % ja mäntyjen 66 %. Koivulla kolmen viimeisen vuoden kasvutappio oli tilastomatemaattisesti merkityksetön. Merkille pantavaa on vihdoin se alhainen taso, jolle sekä erittäin voimakkaasti karsittujen koivujen että mäntyjen kasvu vajosi ensimmäisen karsimista seuraavan kasvukauden jälkeen.

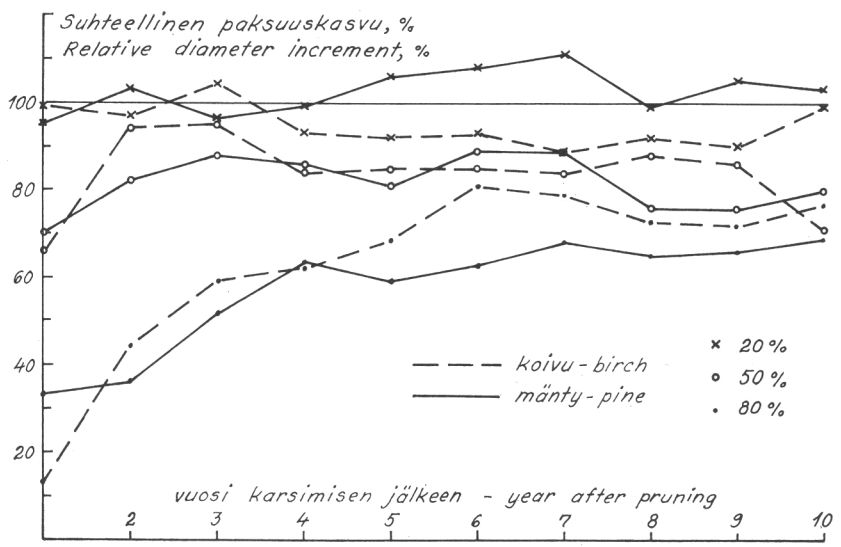
2 m : n k o r k e u d e l l a (kuva 7) oli paksuuskasvun kehitystrendi varsin samankaltainen kuin kannon korkeudella. Kuitenkin olivat etenkin voimakkaasti ja erittäin voimakkaasti karsittujen puiden suhteelliset kasvuluvut jonkin verran korkeampia kuin edellä. Lievästi karsitut koivut kasvoivat 95 %, voimakkaasti karsitut 78 % ja erittäin voimakkaasti karsitut 53 % karsimattomien puiden 10-vuotiskauden arvoista. Vastaavat prosenttiluvut männyllä olivat 106, 69 ja 38. Koivulla oli kuuden ensimmäisen kasvukauden kuluessa sekä voimakkaasti että erittäin voimakkaasti karsittujen puiden kasvu merkitsevästi karsimattomien puiden kasvusta poikkeava. Mäntyjen osalta on neljän ensimmäisen kasvukauden sekä 7. ja 8. kasvukauden luvuista tehtävissä vastaava päätelmä voimakkaassa karsimisasteessa. Erittäin voimakkaasti karsituissa männyissä vaikutti käsittely paksuuskasvua merkitsevästi heikentävänä koko 10-vuotiskauden.

4 m : n k o r k e u d e l l a (kuva 8) oli lievästi karsittujen ja karsimattomien puiden kasvu edelleen hyvin samankaltainen. Edelliseen mittauskorkeuteen verrattuna havaitaan voimakkaasti ja erittäin voimakkaasti karsittujen puiden suhteellisen kasvun parantuneen. Voimakkaasti karsitut koivut kasvoivat 83 % ja männyt 73 % sekä erittäin voimakkaasti karsitut koivut 60 % ja männyt 46 % karsimattomien puiden 10-vuotiskauden kasvuarvoista. Voimakkaasti karsittujen koivujen kasvun ero karsimattomiin verrattuna oli merkitsevä 1., 2., 4., 6., 7. ja 10. kasvukautena. Vastaavasti käsiteltyjen mäntyjen merkitsevät kasvutappiot osuivat kasvukausille 1.—5. sekä 8. ja 10. Erittäin voimakkaasti karsittujen puiden kasvutaso oli koko 10-vuotiskauden sekä koivulla että männyllä merkitsevästi karsimattomien tasoa alhaisempi.

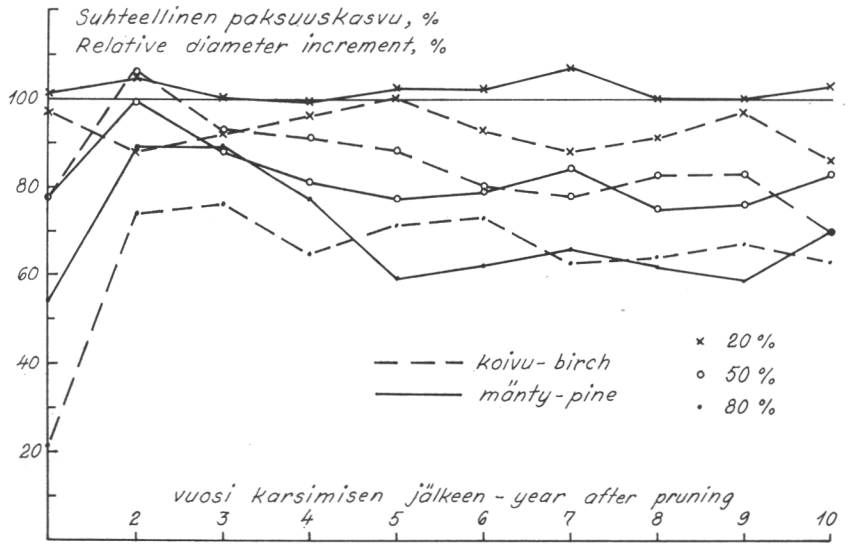
Runkomuodon määrityksen kannalta Suomessa tärkeällä 6 m : n k o r k e u d e l l a mitattua paksuuskasvua havainnollistaa kuva 9. Kuvasta havaitaan, että voimakkaasti karsittujen puiden paksuuskasvu kohosi tällä korkeudella eräinä kasvukausina lähelle lievästi karsittujen ja karsimatto-



Kuva 8. Suhteellisen paksuuskasvun vuotuinen kehitys 4 metrin korkeudella eri karsimisasteissa (karsimaton = 100).
Fig. 8. Relative annual diameter increment at 4-meter height in different pruning degrees (unpruned = 100).



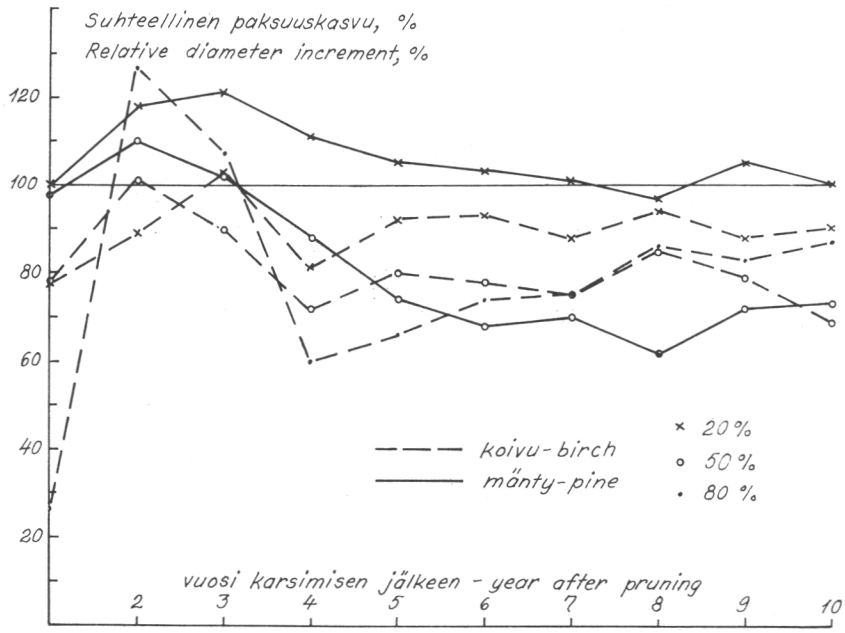
Kuva 9. Suhteellisen paksuuskasvun vuotuinen kehitys 6 metrin korkeudella eri karsimisasteissa (karsimaton = 100).
Fig. 9. Relative annual diameter increment at 6-meter height in different pruning degrees (unpruned = 100).



Kuva 10. Suhteellisen paksuuskasvun vuotuinen kehitys 8 metrin korkeudella eri karsimisasteissa (karsimaton = 100).
Fig. 10. Relative annual diameter increment at 8-meter height in different pruning degrees (unpruned = 100).

mien puiden arvoja. Voimakkaasti karsituilla koivuilla vain ensimmäisen kasvukauden paksuuskasvu poikkesi merkitsevästi karsimattomien puiden vastaavasta arvosta. Voimakkaasti karsittujen mäntyjen paksuuskasvu karsimattomiin puihin verrattuna oli korkeimmillaan 3.—7. kasvukautena, jonka jakson molemmin puolin syntyi merkitseviä kasvutappioita. Erittäin voimakkaasti karsitut männyt kasvoivat koko 10-vuotiskauden merkitsevästi heikommin kuin karsimattomat puut. Koivulla tapahtui merkitsevää kasvutappiota neljänä ensimmäisenä kasvukautena ja lisäksi 7. kasvukautena. Tarkastelun alaisena olevan ja sitä alempien mittauskorkeuksien paksuuskasvun vertailusta voidaan tehdä se johtopäätös, että voimakas ja erittäin voimakas karsiminen vaikuttavat runkomuotoa parantavasti siinä rungon osassa, joka on taloudellisesti arvokkain ja josta metsänkasvattaja karsimistoimituksen yhteydessä on lähinnä kiinnostunut. Kasvutappiota syntyy kuitenkin myös 6 m:n korkeudella karsimisen seurauksena. Voimakkaasti karsituissa puissa tämä tappio on keskimäärin 16—18 %, erittäin voimakkaasti karsituissa 39—44 %.

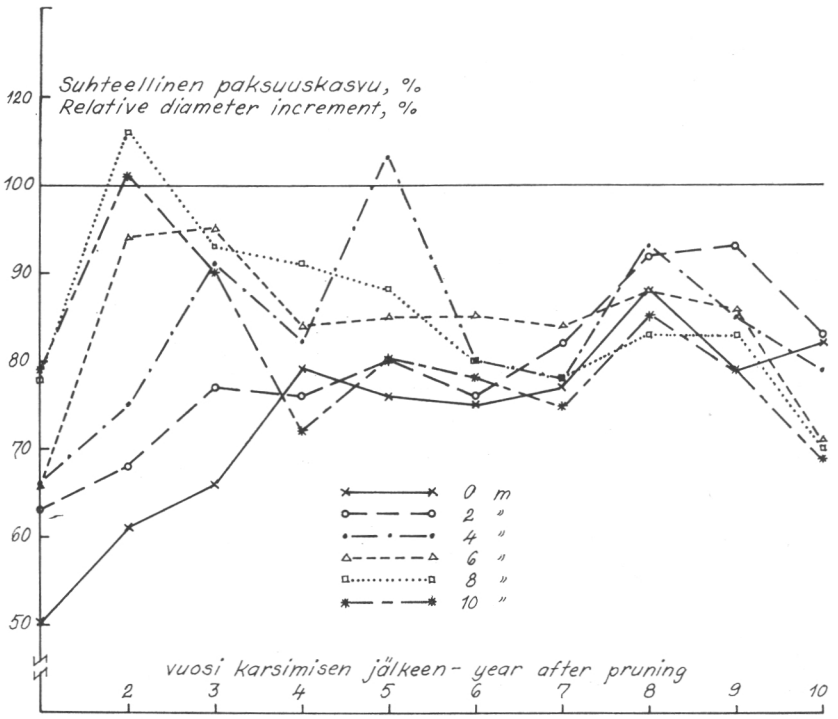
8 m : n k o r k e u d e l l a (kuva 10) on merkille pantavana piirteenä karsittujen puiden paksuuskasvun nopea elpyminen. Paksuuskasvu oli sekä koivulla että männyllä korkeimmillaan yleensä 2. kasvukautena, jolloin se oli voimakkaasti karsituissa puissa puulajista riippumatta karsimattomien puiden tasolla ja erittäin voimakkaasti karsituissa männyissä varsin lähellä



Kuva 11. Suhteellisen paksuuskasvun vuotuinen kehitys 10 metrin korkeudella eri karsimisasteissa (karsimaton = 100).
Fig. 11. Relative annual diameter increment at 10-meter height in different pruning degrees (unpruned = 100).

sitä. Tämän huipun jälkeen seurasi kuitenkin kasvun taantuminen karsituissa puissa, ja tästä johtuen jäi 10-vuotiskauden paksuuskasvu voimakkaassa karsimisasteessa 83—86 %:iin ja erittäin voimakkaassa karsimisasteessa 63—69 %:iin karsimattomien puiden kasvusta. Lamakaudesta eivät karsitut männyt toipuneet koko 10-vuotiskautena, sillä voimakkaan karsimisasteen kahta ensimmäistä kasvukautta lukuun ottamatta näiden puiden kasvu oli merkitsevästi karsimattomien puiden kasvusta poikkeava. Koivulla syntyi voimakkaassa karsimisasteessa kuitenkin vain yhtenä kasvukautena varianssianalyysien perusteella arvostellen merkitsevää kasvutappiota, erittäin voimakkaassa karsimisasteessa kuitenkin kahdeksana.

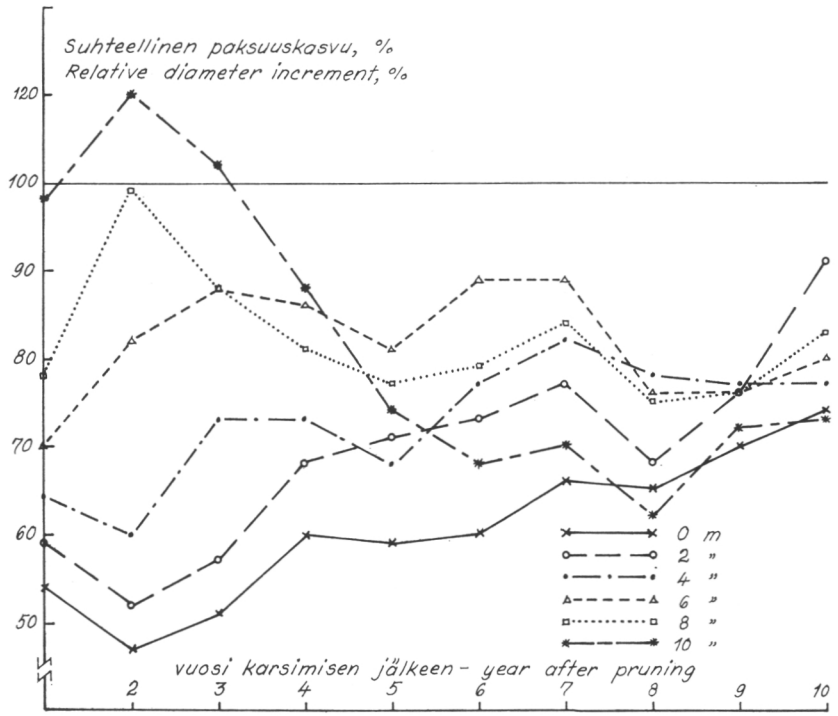
1 0 m : n k o r k e u d e l t a (kuva 11) oli käytettävissä niin vähän havaintoja, ettei varianssianalyysejä suoritettu. Samasta syystä myös keskiarvot ovat tällä korkeudella epätarkempia kuin edellisillä. Kuitenkin voidaan kuvasta nytkin havaita kasvun erittäin nopea toipuminen etenkin 2. ja 3. kasvukautena sekä tätä seuraava tietynlainen lamakausi, vaikka paksuuskasvun taso jääkin tämän jälkeen verraten korkealle tasolle. Kasvutappion suuruudeksi todettiin tällä korkeudella voimakkaassa karsimisasteessa 18—19 % ja erittäin voimakkaasti karsituissa koivuissa 23 %.



Kuva 12. Suhteellisen paksuuskasvun vuotuinen kehitys rungon eri korkeuksilla voimakkaasti (50 %) karsituissa koivuissa (karsimaton = 100).
Fig. 12. Relative annual diameter increment at different heights of the stem in birches pruned heavily, 50 per cent of live-crown length (unpruned = 100).

Kuvaan 12 on kerätty edellisistä kuvista voimakkaasti karsittujen koivujen eri korkeuksien paksuuskasvua koskevat tiedot. Tuloksena on graafinen esitys, joka antaa havainnollisen käsityksen karsimisesta aiheutuvan runkomuodon muutoksen äkillisyydestä ja kestoajasta.

Kuvasta voidaan todeta, että heti ensimmäisenä kasvukautena karsimisen jälkeen tapahtui voimakas kasvutavan muutos siten, että ylempien korkeuksien paksuuskasvu lisääntyi alempien kustannuksella. Runkomuodon muuttuminen oli voimakkaimmillaan toisena kasvukautena, jolloin 8—10 metrin korkeuksilla rungon paksuuskasvua osoittava suhdeluku oli lähes kaksinkertainen kannon korkeuteen verrattuna. Vielä kolmantenakin kasvukautena runkomuoto selvästi parani 6 m:n mittaisella tyviosalla, mutta tätä ylempänä, vihreän latvuksen sisällä, kehitys alkoi osoittaa runkomuotoa huonontavaa suuntaa. Merkittävästi runkomuotoa parantavaa reaktiota kesti voimakkaasti karsituissa koivuissa yleensäkin vain kolme kasvukautta. Tämän jälkeen rungon tyviosan (6 m) paksuuskasvu näyttää saavuttaneen jälleen tasapainon. Tätä ylempänä näyttäytyi lievä vastavaikutus

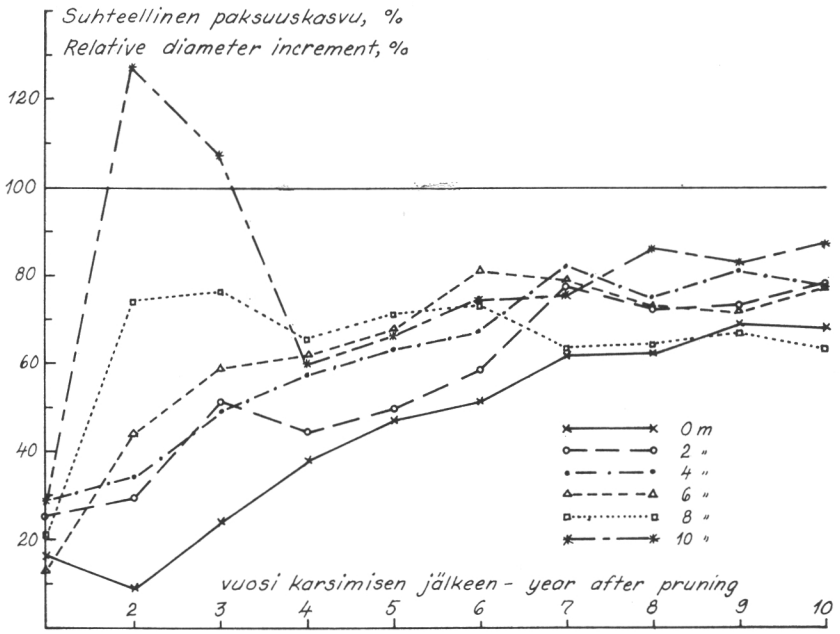


Kuva 13. Suhteellisen paksuuskasvun vuotuinen kehitys rungon eri korkeuksilla voimakkaasti (50 %) karsituissa männyissä (karsimaton = 100).
Fig. 13. Relative annual diameter increment at different heights of the stem in pines pruned heavily, 50 per cent of live-crown length (unpruned = 100).

niin, että runkomuodon huononeminen voimistui. Aivan 10-vuotiskauden lopulla graafinen esitys antaa sitä paitsi viitettä siihen suuntaan, että runkomuoto alkaisi kokonaisuutena huonontua. Tilastollista merkitsevyyttä ei tällä päätelmällä kuitenkaan ole.

Kun koivun kasvureaktio voimakkaan karsimisen jälkeen kolmen kasvukauden kuluttua vaimeni, paksuuskasvu asettui kaikilla korkeuksilla tasolle, joka oli selvästi alhaisempi kuin karsimattomissa puissa. Kuvasta 12 voidaan arvioida, että voimakkaasti karsittujen koivujen paksuuskasvu tulee todennäköisesti tutkitun 10-vuotiskauden jälkeenkin muodostumaan huonommaksi kuin karsimattomien puiden, ts. että voimakas karsiminen aiheutti paksuuskasvun pysyvän taantumisen kautta koko rungon. Kahtena viimeisenä tutkittuna kasvukautena paksuuskasvu osoitti yleisesti jopa alenevaa suuntaa.

Kuvan 13 antama käsitys voimakkaasti karsittujen mäntyjen runkomuodon kehityksestä on paljolta samanlainen kuin mitä edellä esitettiin koivusta. Runkomuodon muuttumisreaktio näyttää männyllä olleen kui-

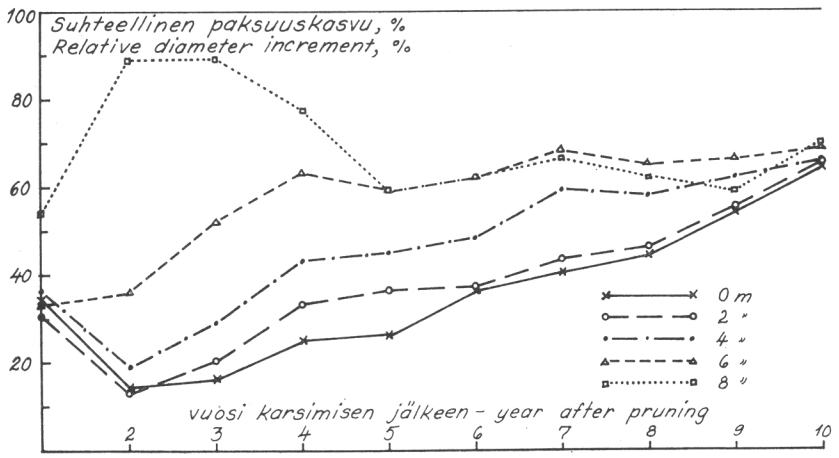


Kuva 14. Suhteellisen paksuuskasvun vuotuinen kehitys rungon eri korkeuksilla erittäin voimakkaasti (80 %) karsituissa koivuissa (karsimaton = 100). *Fig. 14. Relative annual diameter increment at different heights of the stem in birches pruned very heavily, 80 per cent of live-crown length (unpruned = 100).*

tenkin selvästi voimakkaampi ja kestäneen pitempään kuin koivulla. Rungon 6 m:n pituisella tyviosalla jatkui runkomuodon paraneminen 7—8 kasvukautta karsimisen jälkeen, joskin voimakkaana vain 3—4 vuotta. Voimakkaimmillaan oli runkomuodon paranemisilmiö männylläkin 2. kasvukautena. Ylemmillä korkeuksilla, jotka ovat virheän latvuksen sisällä tai sen alarajalla, runkomuodon paraneminen kesti vain 3 kasvukautta, minkä jälkeen alkoi runkomuodon huononeminen etenkin 10 metrin korkeudella. Tämä vahvistaa sitä olettamusta, että runkomuodon paraneminen karsitussa osassa voi johtaa muodon huononemiseen ylemmillä korkeuksilla. Mäntyaineistosta ei voida löytää kuitenkaan yhtä selvää viitettä kuin koivuaineistosta siihen, että myös karsitussa osassa runkoa käsittelyreaktion mentyä ohi muodon paranemista seuraisi eräänlainen vastavaikutus, joka pyrkisi palauttamaan runkomuodon karsimista edeltäneeseen tasoon.

Myös männystä voidaan tehdä päätelmä, että voimakas karsiminen aiheutti paksuuskasvun pysyvän alenemisen, vaikka parina viimeisenä tutkittuna kasvukautena paksuuskasvu osoittikin nousevaa suuntaa.

Erittäin voimakas karsiminen ei kuvan 14 mukaan aiheuttanut vielä ensimmäisenä kasvukautena sen jälkeen olennaista muutosta koivurungon

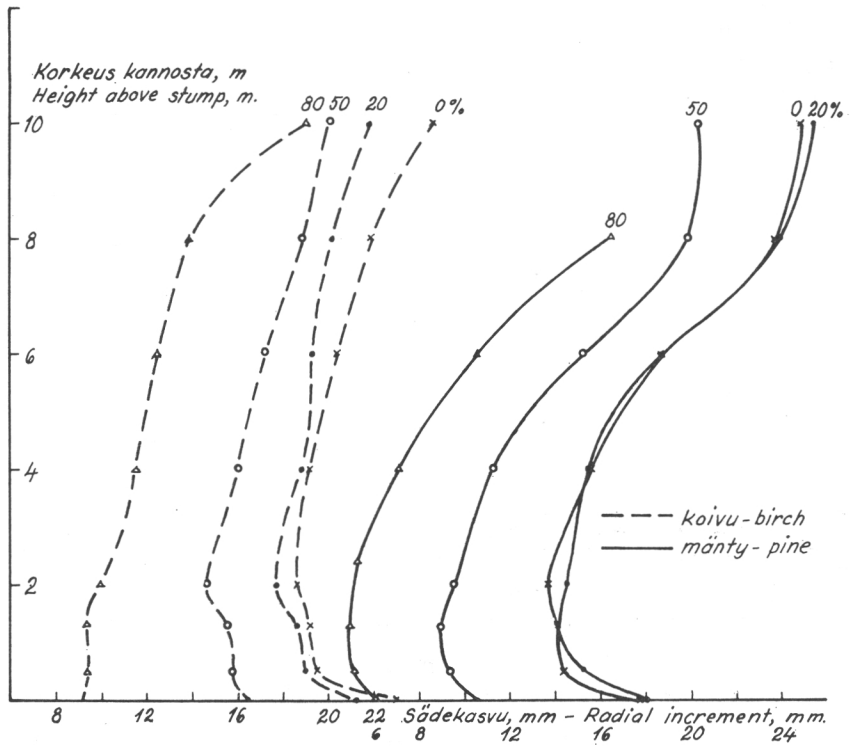


Kuva 15. Suhteellisen paksuuskasvun vuotuinen kehitys rungon eri korkeuksilla erittäin voimakkaasti (80 %) karsituissa männyissä (karsimaton = 100).
Fig. 15. Relative annual diameter increment at different heights of the stem in pines pruned very heavily, 80 per cent of live-crown length (unpruned = 100).

muotoon. Toisena kasvukautena reaktio oli kuitenkin niin suuri, että esim. 10 metrin korkeudelta mitatun paksuuskasvun suhdeluku oli 14-kertainen kannon korkeuden vastaavaan kasvuun verrattuna. Toinen ja kolmas kasvukausi olivat nimenomaan ylempien korkeuksien voimakkaan kasvun aikaa, kun taas tyvessä erot olivat vähäisemmät. Neljäntenä kasvukautena kasvuerot olivat yllättävän pienet kautta koko rungon. Kuitenkin runkomuodon paranemista lievänä ilmiönä tapahtui 6 m:n mittaisella tyviosalla vielä 6. kasvukauteen saakka. Reaktio oli siis erittäin voimakkaan karsimisen jälkeen jossain määrin, ei kuitenkaan niin paljon kuin ehkä olettaisi, voimakkaampi ja kestoajaltaan lievästi pitempi kuin voimakkaan karsimisen jälkeen. Ehkä tästä syystä runkomuodon huononemisilmiö, mihin voimakkaan karsimisen yhteydessä viitattiin, ei tule yhtä selvästi näkyviin.

Erittäin voimakkaasti karsittujen mäntyjen runkomuodon paraneminen jatkui kuvan 15 mukaan ainakin 8 kasvukautta käsittelyn jälkeen, ehkä aivan lievänä vielä 9. kasvukautenakin, mutta 10-vuotiskauden lopussa paranemisprosessi näyttää kokonaan päättyneen. Suurimmillaan oli muutos 2. ja 3. kasvukautena. Kun kuvasta 15 puuttuu 10 metrin korkeuden paksuuskasvun kehitystä kuvaava viiva, kuvien 14 ja 15 nopeasta vertailusta on ehkä tuloksena päätelmä, että männyn reaktio olisi heikompi kuin koivun. Kuvien tarkka vertailu osoittaa päinvastoin männyn reaktion olleen koivun vastaavaa voimakkaampi.

Kuten olettaa saattaa, erittäin voimakas karsiminen aiheutti koko rungon kasvutason alenemisen niissä puissa, jotka jäivät henkiin. Useille puillehan se merkitsi kuolemaa.



Kuva 16. Sädekasvu 10-vuotiskauden kuluessa rungon eri korkeuksilla karsimisasteittain.

Fig. 16. Radial increment during 10-year period at different heights of the stem, by degrees of pruning.

Paksuuskasvun absoluuttista suuruutta eri korkeuksilla esittää kuva 16. Kuva osoittaa, että tyven tukeminen, jota puun kehityksessä yleisesti esiintyy, heikkeni karsimisen seurauksena. Selvimmin tämä tuli tässä aineistossa näkyviin erittäin voimakkaasti karsituissa koivuissa, joissa rungon paksuuskasvu karsimista seuranneena 10-vuotiskautena oli kannon korkeudella pienimmillään, kun vastaava kohta normaalisti on 1—2 metrin korkeudella. Kuvasta voidaan saada lisäksi vahvistusta siihen edellä esitettyyn päätelmään, ettei lievä karsiminen vaikuttanut männyn rungon paksuuskasvuun. Koivulla on kuitenkin havaittavissa merkkejä siitä, että lievä karsiminen olisi vaikuttanut kasvua jossain määrin pienentävästi, vaikkei tätä ole edellä voitu osoittaa tilastomatemaattisesti merkitseväksi vuotuiskasvujen tarkastelun pohjalta lähtien. Kuvassa 16 havaittava ero karsimattomien ja lievästi karsittujen koivujen paksuuskasvussa on siis yksittäisten puiden reaktiovaihteluiden valossa merkityksetön. Voimakkaan ja erittäin voimakkaan karsimisen suuri vaikutus tulee kuvasta 16 esille havainnollisella tavalla.

Taulukko 12. Absoluuttinen kasvutappio rungon eri korkeuksilla voimakkaasti (50 %) ja erittäin voimakkaasti (80 %) karsituissa puissa 10 vuoden kuluessa karsimisen jälkeen.

Table 12. Absolute loss in increment at different heights of the stem in trees pruned heavily (50 per cent) and very heavily (80 per cent) for 10 years following pruning.

Korkeus, m *Height, m.*	Koivu — *Birch*		Mänty — *Pine*	
	Karsimisaste — *Degree of pruning*			
	50	80	50	80
	Tappio, mm — *Loss, mm.*			
0	13	28	14	23
1.3	7	20	10	18
2	8	17	8	17
4	7	16	8	17
6	7	16	7	16
8	6	16	8	15
10	9	11	9	—

Myös taulukosta 12 nähdään, että kasvutappio oli absoluuttisin mitoin suurin kannon korkeudella ja väheni voimakkaasti rinnankorkeudelle tultaessa. Sitä vastoin tästä ylöspäin oli kasvutappion suuruus likimain vakio, voimakkaasti karsituissa puissa 6—10 mm 10-vuotiskauden kuluessa ja erittäin voimakkaasti karsituissa 15—20 mm. Jos ajatellaan runkomuotoa esim. kotimaisissa kuutioimistaulukoissa (Ilvessalo 1947) sovellettuun tapaan, ei siis voida puhua olennaisesta runkomuodon paranemisesta. Se on pikemminkin teoreettinen kuin käytännöllisesti merkittävä. Syynä tähän lienee reaktion lyhytaikaisuus.

65. Tulosten tarkastelua

Tässä tutkimuksessa on todettu, että lievä karsiminen, missä poistetaan 20 % elävän latvuksen pituudesta, ts. 2—3 alinta oksakiehkuraa, ei vaikuta männyn ja koivun kasvuun. Sen pituuden, rinnankorkeusläpimitan ja runkomuodon kehitys jatkuu karsimisen jälkeen muuttumattomana. Koivulla on tosin havaittu viitteitä siihen suuntaan, että lievä karsiminen aiheuttaisi paksuuskasvun vähäistä heikkenemistä koko rungon pituudella. Tilastomatemaattista merkitsevyyttä ei tällä havainnolla ole kuitenkaan todettu olevan.

Esitetty tutkimustulos on samankaltainen lukuisien muiden tutkimusten antamien tulosten kanssa (esim. Hartig 1872, Nägeli 1952, Meyer 1959). Tässä yhteydessä on kuitenkin todettava, että eräissä selvittelyissä on lievästi karsittujen puiden havaittu kasvaneen paksuutta jossain määrin paremmin kuin karsimattomien, joskaan tilastomatemaattisesti merkitsevää eroa ei ole kyetty osoittamaan (vrt. Kienitz 1928, Razumov 1952,

Stein 1955). Selityksenä lievän karsimisen paksuuskasvua kiihottavalle vaikutukselle on pidetty sitä, että sulkeutuneissa metsiköissä alimpien oksien ravinnehyötysuhde olisi negatiivinen, missä tapauksessa karsiminen vapauttaisi puun epätaloudellisista oksista (vrt. Møller 1958). Tunnettuahan on, että oksien merkitys puun ravinnetaloudelle vaihtelee huomattavasti. Niinpä Labyak ja Schumacher (1954) ovat tulleet siihen tulokseen, että puun pituuden alimmassa kolmanneksessa oleva oksa, jossa on vähemmän kuin kolme sivuhaaraa, on päärungon kannalta hyödytön ja että maksimaalin tuoton omaava oksa on 15 %:n korkeudella puun latvasta.

Vaikka nyt esillä olevan tutkimuksen aineisto ei oikeutakaan sellaiseen päätelmään, voidaan ulkomaisten tutkimusten perusteella (esim. Stein 1955) olettaa, ettei latvuksen alimman kolmanneksen poistaminen Suomen oloissakaan ehkä vaikuta olennaisesti puun paksuuskasvua heikentävästi (vrt. kuitenkin Ladefoged 1946, Lehtpere 1957). Tämä olettamus pitänee parhaiten paikkansa siinä tapauksessa, että karsimisen jälkeen jää vihreää latvusta vielä 40 % puun pituudesta (vrt. Weck 1947, Labyak ja Schumacher 1954). Äärimmäistapauksena voidaan mainita Dahmsin (1954) tulos, jonka mukaan vihreää latvusta tarvitaan vain kolmannes rungon pituudesta maksimaalin paksuuskasvun saavuttamiseen.

Tämän tutkimuksen mukaan voimakas karsiminen, missä poistetaan 50 % elävän latvuksen pituudesta ja minkä jälkeen latvussuhde on 25—31 % puun pituudesta, aiheuttaa tuntuvia paksuuskasvutappioita (vrt. myös Lückhoff 1949, Meyer 1959). Merkille pantavaa on erityisesti se, että rungon paksuuskasvun heikkeneminen näyttää tämän aineiston mukaan muodostuvan pysyväksi. Voimakkaasti karsittujen puiden kasvun jääminen pysyvästi karsimattomista jälkeen on sitäkin merkillisempää, kun tutkitun 10-vuotiskauden lopussa näin käsitellyt puut saavuttivat latvussuhteensa puolesta edellä mainitun 40 %:n tason, mitä pidetään riittävänä maksimaalin kasvun saavuttamiseen.

Selityksenä esitettyyn havaintoon lienee se, että voimakkaasti karsittu puu vajoaa yleisesti karsimisen vuoksi sosiaalisessa asteikossa päävaltapuusta lisävaltapuuksi ensimmäisen 10-vuotiskauden aikana. Valta-aseman heikkenemiseen on eräänä syynä voimakkaasti karsitun puun pituuskasvukyvyn aleneminen. Puolen metrin suuruusluokkaa oleva pituuskasvutappio 10 vuodessa, mikä tämän tutkimuksen mukaan voimakkaasta karsimisesta aiheutuu, on ilmeisesti puuyksilöiden välisessä kilpailussa valta-asemasta erittäin merkitsevä tekijä. Tulos voi tosin olla toinen, jos puita samanaikaisesti karsimisen kanssa autetaan siten, että yksilökilpailua niiden ympärillä helpotetaan (vrt. Minckler 1967). Näinhän ei tässä tutkimuksessa kuitenkaan menetelty.

Pituuskasvusta karsimisen jälkeen on olemassa varsin ristiriitaisia tutkimustuloksia. Lievän karsimisen on useissa tutkimuksissa havaittu, ei kuiten-

kaan tavallisesti tilastomatemaattisesti merkitsevästi, kiihottavan pituuskasvua (vrt. Lundh 1924, Helmers 1946, Ladefoged 1946, Stein 1955. Lehtpere 1957). Kaikkein yleisin lienee kuitenkin käsitys, että verraten voimakaskaan karsiminen, esim. noin puolen yhteyttävän latvuksen poistaminen, ei vaikuta puun pituuskasvuun (Lückhoff 1949, Young ja Kramer 1952, Bennett 1955, Meyer 1959). Syynä pituuskasvun muuttumattomuuteen pidetään sitä, että uusien versojen kasvu keskittyy kasvukauden alkuun ja että puu käyttää siihen ja neulasten muodostamiseen varsinkin katastrofivuosina vararavintojaan, kun taas paksuuskasvu riippuu enemmän olemassaolevien neulasten yhteyttämiskyvystä (Gäumann 1928, 1935).

Kirjallisuudesta on kuitenkin löydettävissä tuloksia, jotka tukevat tässä tutkimuksessa tehtyä päätelmää, jonka mukaan pituuskasvu merkittävästi taantuu, jos puolet latvuksen pituudesta poistetaan karsimalla (vrt. Helmers 1946, Stein 1955, Ralston 1953, Oksbjerg 1956). Samat tutkimukset tukevat myös sitä käsitystä, että pituuskasvun taantuminen tuo mukanaan puun sosiaalisen aseman heikkenemisen sen elinympäristössä. Todettakoon esimerkin omaisesti, että Stiell (1959) on arvioinut, että 12 % koepuista menetti valta-asemansa hänen kokeensa aikana 50 %:n karsimisen seurauksena (vrt. myös Oksbjerg 1962). Käsillä olevan tutkimuksen maastotöissä tuli kuitenkin selvästi esille, kuinka vaikeaa on pystypuista mennä päättelemään, milloin puu on vajonnut päävaltapuun asemasta lisävaltapuuksi. Paras indikaattori mahdollisesti tapahtuneelle muutokselle on ilmeisesti pituuskasvu, joka ei voi pitkään heikentyä valta-aseman siitä kärsimättä.

Erittäin voimakas karsiminen, missä poistetaan 80 % elävän latvuksen pituudesta ja jätetään vain 2—3 ylintä oksakiehkuraa, johtaa lukuisissa tapauksissa puun kuolemaan. Kuoleman syynä voi olla karsimistoimituksessa syntynyt mekaaninen vaurio tai käsittelyn radikaalisuus tietyn elinympäristön yksilökilpailun kovuuteen nähden. Kuoleman välittömänä aiheuttajana voi yhtä hyvin olla kuitenkin jokin luonnontuho, lumi, hyönteiset tai sienet, jonka alttiutta karsiminen lisää. Henkiin jäävissä puissa erittäin voimakas karsiminen aiheuttaa sekä pituus- että paksuuskasvun huomattavan taantumisen. Äärimmilleen karsittu puu menettää normaaleissa metsikköolosuhteissa enemmin tai myöhemmin vallitsevan asemansa, ellei ryhdytä erikoistoimenpiteisiin puun pysyttämiseksi valta-asemassa omassa elinympäristössään. Näin voimakkaan karsimisen kielteisistä seurauksista ovat tutkimukset antaneet samankaltaisia tuloksia (Stein 1955, Oksbjerg 1956, Slabaugh 1957, Stiell 1959).

Erittäin voimakkaan karsimisen aiheuttama kasvutappio ja valta-aseman menetys riippuvat kuitenkin ratkaisevasti siitä, kohdistuuko karsiminen vain valitseviin puuyksilöihin vai karsitaanko metsikön kaikki puut. Jälkimmäi-

sessä tapauksessa saattavat erittäin voimakkaankin käsittelyn negatiiviset seuraukset olla yllättävän vähäisiä (vrt. Lückhoff 1949). Tällaista kallista menetelmää on sovellettu ainakin Etelä-Afrikassa (Olesen 1964), missä työvoima on halpaa.

Voimakkaan karsimisen runkomuotoa parantava vaikutus on Suomessakin ollut jo pitkään tunnettu (vrt. Blomqvist 1879, Lassila 1916, Lakari 1920, Lappi-Seppälä 1934, 1937). Tämä ilmiö on tullut selvänä esille myös esillä olevan tutkimuksen aineistosta. Runkomuodon muutosreaktio on havaittu kuitenkin suhteellisen lyhytaikaiseksi ja kestävän voimakkaimpienkin toimenpiteiden jälkeen korkeana vain 3—4 vuotta. Enimmillään on muutosprosessi toisena kasvukautena karsimisesta. Mainitun vaiheen jälkeen näyttää runkomuodon kehitys tämän aineiston mukaan kääntyvän huononevaan suuntaan latvuksen sisällä olevassa rungonosassa, kun positiivinen kehitys karsitussa osassa jatkuu vielä vaimeana muutamia vuosia. Aivan 10-vuotiskauden lopulla on aineistosta löydettävissä piirteitä, jotka viittovat siihen suuntaan, että runkomuoto alkaisi kehityksessään kääntyä kokonaisuudessaan huononevaan suuntaan. Vaikka tämä ei pitäisikään paikkaansa, runkomuodon paranemisilmiöllä ei näytä kaiken kaikkiaan olevan sellaista käytännöllistä merkitystä, että se vaikuttaisi olennaisesti karsimiskäsittelyn kannattavuuteen.

Runkomuodon paraneminen selitetään yleensä Metzgerin (1893) runkomuototeorian avulla. Karsimisen seurauksena latvuksen painopiste, mihin tuulen paine vaikuttaa, äkillisesti nousee. Tämä merkitsee enentyvää taivutuspainetta karsitussa osassa runkoa ja mekaanista ärsykettä tämän rungonosan tukemiseen (vrt. Hartig 1872, Frankhauser 1912). Mainittu runkomuototeoria selittää joka tapauksessa runkomuodon muutoksen äkillisyyden, jos kohta olettaisi kestoajan muodostuvan nyt havaittua pitemmäksi.

Karsimisen vaikutukset eivät rajoitu vain maanpäällisiin osiin, vaan yhtä hyvin juuristoon. Oksbjerg (1956) on todennut, että juuristo joutuu assimilaattien vähentyneen saannin vuoksi muuttumaan ja pienentämään kasvuaan, mistä vuorostaan maanpäällisten osien kasvun täytyy kärsiä. Hän on havainnut jo kahden vuoden kuluttua karsimisesta, että juurisysteemi oli muuttunut hennommaksi, piiskamaisemmaksi, että mykorritsat olivat vähemmän reheviä kuin ennen käsittelyä ja että löytyi runsaasti tai osittain lahonneita juurenkärkiä. Kun karsittu puu joutuu tämänkaltaisen juuriston kanssa osallistumaan ympäröivien puiden ylläpitämään juuristokilpailuun, voi seurauksena olla osittain tästäkin syystä valta-aseman menetys. Kilpailun epäsuhdetta lisää Oksbjergin (mt.) mukaan vielä sekin, että karsittujen puiden ympärillä kasvavien puiden oksat saavat lisää valoa siitä syystä, että karsimista on suoritettu.

Eräänä keinona kasvukykynsä tehokkaana säilyttämiseksi käyttävät

karsitut puut parantunutta yhteyttämistoimintaa. Kaikkein selvimpänä neulaskoon suureneminen ja niiden vihertyminen tulevat näkyviin ns. silmukarsimisen jälkeen, jolloin runkoon ja uusiin kasvaimiin syntyy erittäin suurikokoisia ja elinvoimaisen näköisiä neulasia (vrt. Ahola 1955). Käsillä olevan tutkimuksen maastotöiden yhteydessä ei voitu kerätä neulasnäytteitä vertailevia havaintoja varten. Tämä olisi ehkä ollut myöhäistäkin, koska neulasreaktio on todennäköisesti voimakkaimmillaan heti karsimisen jälkeen, mihin viittasivat alustavan tutkimuksen havainnot (Vuokila 1960). Nämä neulaset ovat tietenkin 10-vuotiskauden päättyessä jo varisseet.

Puulajit reagoivat karsimiseen toisistaan poikkeavasti (vrt. esim. Zederbauer 1909, Mayer — Wegelin 1959). Tämä lienee ilmaston vaihtelun ohella syynä siihen, että eri tutkimukset ovat antaneet toisistaan huomattavasti poikkeavia tuloksia. Myös tässä tutkimuksessa on havaittu koivun reagoivan jossain määrin toisin kuin mänty. Syynä koivun ja männyn reaktioeroihin voi tosin olla myös se tosiseikka, että edellistä puulajia sisältävät kokeet ovat keskimäärin paremmalla kasvupaikalla kuin jälkimmäisen. Ainakin erittäin voimakkaasti karsittujen koivujen mäntyä nopeampi toipuminen selittynee juuri kasvupaikkaeroilla. Joka tapauksessa näyttää se käsitys olevan yleinen, että kasvutappio on sitä vähäisempi mitä paremmalla kasvupaikalla karsitut puut ovat (vrt. Meyer 1959). Vastakkaista mielipidettä edustaa kuitenkin Lückhoff (1949), jonka mukaan puut kestävät latvuksen supistamisen paremmin heikoilla kasvupaikoilla, koska neulasten yhteyttämiskapasiteetti on näillä ravinteiden puutteen vuoksi epätäydellisesti hyväksikäytetty ennen karsimista. Selityksenä Lückhoffin päätelmään lienee hänen kokeittensa erikoisuus, sillä ne edustavat sellaista poikkeuksellista lähtökohtaa, että metsikön kaikki puut karsitaan.

Jossain määrin vaikuttanee tuloksiin se, suoritetaanko karsiminen yhtenä vai useampana erillisenä toimituksena. Tätä enemmän on kuitenkin epäilemättä merkitystä sillä, missä ikävaiheessa puut karsitaan. Kasvutappio on Møllerin (1960) mukaan sitä pienempi, mitä nuorempana puu karsitaan (vrt. myös Craib 1939). Selityksenä tähän on nuoruusvaiheen suuri kasvunopeus ja poistettujen oksakiehkuroiden vähälukuisuus. Jos 50 %:n karsiminen merkitsee esim. 2—3 oksakiehkuran poistamista, on luonnollista, että latvus ja puun kasvukyky ovat ennallaan viimeistään 2—3 vuoden kuluttua. Mayer — Wegelin (1959) suosittelee kuitenkin sitä lievempää karsimista, mitä nuoremmasta puustosta on kysymys. Aivan nuoren puuston karsiminen merkinnee toisaalta sitä, että karsiminen on joskus tulevaisuudessa uusittava, mikäli halutaan saavuttaa tietty taloudellisesti välttämätön karsimiskorkeus.

Edellä jo viitattiin ilmaston merkitykseen karsimisen aiheuttamien kasvutappioiden kannalta. Eri puolilla maailmaa suoritettujen tutkimusten vertailu on omiaan vahvistamaan sitä loogista olettamusta, että kasvun heik-

keneminen tietynasteisen karsimisen jälkeen on ehkä suurin piirtein samankaltainen kaikkialla mutta että sen kestoaika on sitä lyhyempi mitä suotuisammasta ilmastosta on kysymys. Tällä lienee lisäksi merkitystä myös sitä tietä, että karuissa ilmasto-oloissa puu menettää yleisemmin valta-asemansa kuin suotuisammassa ilmastossa, mistä syystä karsimisen aloittama kasvun väheneminen muuttuu pysyväksi ja jatkuu senkin jälkeen, kun karsimisen välitön vaikutus on jo lakannut. Kun karsimiskokeita on suoritettu vaihtelevin puulajein, jää ilmastoa koskeva päättely kuitenkin kiistatonta todistelua vaille.

7. METSÄNHOIDOLLISIA PÄÄTELMIÄ

Tutkimuksen tulokset tukevat niitä suosituksia, joita käytännössä pidetään yleisesti oikeina ja joita esitettiin jo aineiston alustavan tarkastelun yhteydessä 4 vuoden koeajan perusteella (Vuokila 1960).

Karsimista suositellaan yleensä sovellettavaksi parhailla kasvupaikoilla (vrt. Craib 1939, Heikinheimo 1953, Meyer 1959). Käytännössä tämä merkitsee Kalelan (1961) mukaan mustikkatyyppiä tai sitä parempaa kasvupaikkaa. Vaikka tämän tutkimuksen tulokset tukevatkin mainittua suositusta puiden kasvureaktioiden valossa vain erittäin voimakkaan karsimisen osalta, sitä on pidettävä periaatteessa oikeana liiketaloudellisista syistä. Mitä parempi kasvupaikka, sitä nopeammin karsimiseen sijoitettu pääoma saadaan takaisin korkoineen. Biologista estettä ei tiettävästi ole kuitenkaan olemassa eläviin oksiin kohdistuvan karsimisen soveltamiseksi vaikkapa kaikkein karuimmillakin kasvupaikoilla (vrt. Lückhoff 1949).

Karsimista suunniteltaessa ei ole välttämätöntä odottaa kehitysvaihetta, jolloin oksien luontainen kuoleminen on edistynyt tavoiteltua karsimiskorkeutta vastaavaksi. Muutamien alimpien elävien oksakiehkuroiden poistaminen ei vaikuta ainakaan tyydyttävän tiheissä, luontaisesti syntyneissä koivu- ja mäntymetsiköissä, tuskinpa keinollisesti perustetuissakaan, puun kasvuun ja kehitykseen. Ainakin 20 % elävän latvuksen pituudesta voidaan tämän tutkimuksen mukaan poistaa näissä olosuhteissa ilman kielteisiä seurauksia. Tätä voimakkaammat karsimistoimenpiteet saattavat olla mahdollisia ainakin siinä tapauksessa, että karsimisen jälkeen jää edelleen 40 % puun pituudesta elävää latvusta.

Kuten esim. Sarvas (1956) esittää, karsittaviksi olisi valittava kaikkein elinvoimaisimpia valtapuita. Ensisijaisen huomion kiinnittäminen hienooksaisuuteen (vrt. Laitakari 1937) voi johtaa siihen, että karsitaan yksilöiden välisessä kilpailussa jälkeen jääneitä tai jäämässä olevia puita.

Etenkin viimeksi mainitussa tapauksessa ja yleensäkin karsimiseen olisi liitettävä aina harvennushakkuu, jonka tarkoituksena on karsittujen puiden auttaminen (vrt. Heikinheimo 1953). Karsi varovasti ja harvenna voimakkaasti, on usein esitetty suositus (vrt. esim. Callin 1967). Myöhemminkin kasvatushakkuiden toistuessa olisi karsituille puille varattava riittävästi kasvutilaa. Vaikka karsittaviksi valittaisiin elinvoimaisimpia puu-

yksilöitä ja vaikka karsiminen olisi niin lievää, ettei se hidasta kasvua, voi moni karsittu puu menettää valta-asemansa, ellei sitä hakkuin auteta. Puun ulkoisiin tunnusmerkkeihin nojautuva yksilövalinta ei yleensä ole siinä määrin erheetöntä, että se kykenisi estämään ne taloudelliset tappiot, mitä karsittujen puiden ennenaikainen poistaminen niiden vallitsevuuden menetyksen jälkeen tuo mukanaan. Hyvänä esimerkkinä subjektiivisen valinnan epäluotettavuudesta on eräs karsimiskoe (Slabaugh 1957), missä karsimattomista vertailupuistakin 12 % menetti valta-asemansa kokeen kestäessä.

Karsittujen puiden auttaminen kasvatushakkuiden yhteydessä on sitäkin tärkeämpää, mikäli karsiminen on ollut niin voimakasta, että se aiheuttaa heikkenemistä maanalaisten ja -päällisten osien kasvussa. Juuriston kehityksessä esiintyvät häiriöt ja pituuskasvun taantuminen merkitsevät yleensä voimakkaasti karsitulle puulle sen valta-aseman menetystä, ellei hakkuin helpoteta yksilökilpailua sen ympärillä. Voimakas elävien oksien karsiminen ilman hakkuutoimenpiteiden myötävaikutusta johtaa näin ainakin Suomen olosuhteissa siihen, että karsimisen liiketaloudelliset tavoitteet jäävät saavuttamatta.

Karsiminen on suoritettava kehitysvaiheessa, jolloin koko työ voidaan keskittää yhteen kertaan. Käytännössä näin voidaan menetellä puiden ollessa rinnankorkeusläpimitaltaan n. 10 cm (vrt. Kalela 1961). Mikäli karsiminen tapahtuu huomattavasti tätä aikaisemmin, ei voida saavuttaa sitä oksattoman osan pituutta, ts. sellaista tyvitukin mittaa, johon toimenpiteellä pyritään. Viimeksi mainitussa tapauksessa on myöhemmässä kehitysvaiheessa suoritettava lisäkarsiminen, mikä ei kustannuksia ajatellen liene tavallisesti järkevää.

Karsittavien puiden lukumäärästä on olemassa jossain määrin eriäviä mielipiteitä. Löf (1931) esittää karsittaviksi 350 runkoa hehtaarilla, Lappi-Seppälä (1934) 400—500 kpl, Cronström (1935) 400—600 kpl, Kalela (1961) 500—600 kpl ja Salwen (1968) peräti 1 000 kpl. Eräänlaisena keskiarvona voitaneen pitää 500 kpl/ha. Tässä yhteydessä on todettava, että mikäli karsittaisiin metsikön kaikki puut, voitaisiin todennäköisesti suorittaa voimakkaampia otteita kasvua heikentämättä kuin yksittäispuita karsittaessa (Lückhoff 1949). Kysymys on kuitenkin puhtaasti ekonominen ja vaatisi lisätutkimuksia, ennen kuin menetelmää voitaisiin vakavissaan esittää meille sovellettavaksi.

Karsimisen ensisijaisena tavoitteena tulee epäilemättä aina olemaan rungon tyviosan laadun parantaminen. Karsimista voitaneen kuitenkin käyttää myös puhtaasti metsähoidollisena menetelmänä tietyissä erikoistapauksissa. Niinpä voimakasta karsimista on käytetty menestyksellisesti mm. lumen taivuttamien puiden oikaisemiseen. Roberts ja Clapp (1956) ovat todenneet, että käytännöllisesti katsoen kaikki taipuneet puut, joiden kallistuma pystysuuntaan nähden on pienempi kuin 60°, suoristuvat

itsestään, mutta että tätä voimakkaammin taipuneiden osalta on erittäin voimakas karsiminen tehokas keino. Meilläkin tämä menetelmä saattaisi olla kokeilemisen arvoinen tiheikkövaiheen koivikoissa ja ehkä kaikkein perustelluimmin niissä visakoivikoissa, missä on tiheän asennon avulla pyrittävä estämään pensastumista, mutta missä tästä syystä lumen taivutus on yleistä. Viimeksi mainitun tutkimuksen tulosten perusteella (vrt. myös Lückhoff 1949) on aihetta olettaa, etteivät kasvutappiot muodostuisi tällaisessa tapauksessa niin suuriksi kuin hajallaan olevien puiden karsimiskokeet osoittavat.

Toinen mahdollisuus karsimisen soveltamisesta metsänhoidollisena apukeinona esiintyy taimistovaiheessa. Taimistoissa on aina muista poikkeavia kasvuisia yksilöitä, jotka pelkästään etumatkansa vuoksi kehittyvät oksikkaiksi ja ympäristöään liiallisesti häiritseviksi. Sen sijaan että nämä puut poistetaan susipuina, olisi syytä kokeilla, voitaisiinko karsimista soveltaa muodossa tai toisessa tällaisten rohkikasvuisten yksilöiden kasvuinnon tilapäiseksi lamauttamiseksi ja niiden naapureiden elinehtojen parantamiseksi. Tämäkin kysymys lienee lähinnä liiketaloudellinen, sillä taimistovaiheen yksilöiden karsimiselle ei olettaisi olevan biologisia esteitä.

8. PIIRTEITÄ MÄNNYN KARSIMISEN KANNATTAVUUDESTA

Karsimisen kannattavuutta pohdittaessa olisi tarpeellista tietää, minkälaisia hintoja karsituista rungoista tulevaisuudessa maksetaan. Kantohintasuhteiden ennustaminen 50—60 vuoden etäisyydelle nykyajasta on kuitenkin vain arvailua ja sellaisena merkityksetöntä.

Ainoa käyttökelpoinen vaihtoehto näissä olosuhteissa on pyrkiä tekemään kannattavuuspäätelmät karsimisen aiheuttaman rungon arvonnousun perusteella vertaamalla sitä investointikustannuksiin. Tällöinkin on pakko edelleen olettaa, että karsitun puun arvon noususta on tulevaisuudessa sama käsitys kuin tätä nykyä ja että puutavarasta maksetaan sen arvoa vastaava kantohinta. Tunnettua on tosin, että nykyisin laadun merkitys kantohinnan muodostumisessa ei ole niin suuri kuin sen ehkä tulisi olla.

Tässä tutkimuksessa tehty päätelmä, että lievä elävien oksien karsiminen ei vähennä puun kasvua, on poistanut erään epävarmuustekijän karsimisen kannattavuutta koskevista laskelmista. Kasvutappio käytännön karsimistoimenpiteen seurauksena voidaan jättää tämän jälkeen laskelmista pois. Toisaalta männiköiden uusien kasvu- ja tuotostaulukoiden valmistuminen (Vuokila 1967) on tuonut lisätietoutta karsittujen puiden kehitysennusteluun. Vaikka tällaisten, muita tarkoituksia varten laadittujen taulukoiden soveltamiseen nyt kysymyksessä olevassa tapauksessa liittyykin melkoisia virhemahdollisuuksia, ovat perustiedot kyseisten laskelmien suorittamiseen nyt kuitenkin paremmat kuin ennen.

Kannattavuuslaskelmissa on lähdetty siitä, että karsiminen suoritetaan mäntyvaltapuiden ollessa rinnankorkeusläpimitaltaan 10—12 cm kuoren alta. Tässä kehitysvaiheessa, iän vaihdellessa kasvupaikan mukaan rajoissa 20—30 v, suoritetaan 500 rungon karsiminen (vrt. s. 51) kustannusten ollessa 0,20 mk runkoa kohden, ts. 100 mk/ha (vrt. Heiskanen ja Taipale 1963). Lisäksi oletetaan, että karsituista puista joudutaan poistamaan ennenaikaisesti harvennushakkuissa 10 % (vrt. Callin 1967), joten loppuhakkuussa on jäljellä 450 karsittua runkoa hehtaaria kohden.

Kasvu- ja tuotostaulukoiden perusteella (Vuokila 1967) voidaan arvioida, että karsittujen mäntyrunkojen tekninen kuutiomäärä päätehakkuun hetkellä maan eteläisessä sisäosassa, ns. Järvi-Suomessa, on seuraavan asetelman mukainen.

Metsätyyppi *Forest site type*	Karsimisesta kulunut, v *Time since pruning, years* 50	60
	j³ — *cu.ft.*	
OMT	5 100	6 350
MT	4 400	5 800
VT	3 700	5 200

Esitetyin perustein suoritettuihin laskelmiin nojautuen on taulukossa 13 esitetty, kuinka paljon enemmän tulisi karsituista puista maksaa kuutiojalkaa kohden kantohintaa kuin karsimattomista, jotta saavutettaisiin tietty kannattavuusprosentti. Huomattakoon kuitenkin, että kuutiojalkaa kohden laskettuun keskikantohintaeroon sisältyy taulukossa 13 myös karsimaton rungonosa. Parhaimman vertailupohjan kannattavuuspäätelmille antaa tästä syystä runkoa kohden laskettu kantohintaero, koska tätä voidaan suoraan verrata runkokohtaiseen arvonlisäykseen.

Karsittujen puiden arvonlisäystä Heiskasen ja Taipaleen (1963) mukaan esittää seuraava asetelma, jossa arvot ovat alkuperäistiedoista poiketen nykymarkkoina ja joka tarkoittaa edellä oletettua rungon kokoa karsimishetkellä.

Karsitun tyvitukin latvaläpimitta, tuumaa *Top diameter of the pruned butt log, inches*	Arvonlisäys, mk/runko *Value increase, Fmks/stem*
8	4,14
9	10,75
11	22,57

Yllä esitetyn asetelman ja taulukon 13 vastaavien arvojen vertailu ei ole täysin kiistatonta, koska se edellyttää karsittujen puiden tyvitukin dimensioiden tarkkaa tuntemusta eri tapauksissa. Kasvu- ja tuotostaulukoiden (Vuokila 1967) perusteella voidaan arvioida, että karsiminen antaa epäedullisimmassakin tapauksessa, ts. puolukkatyypillä ja 50 vuoden investointiajalla, 6 %:n koron pääomalle, mikäli metsänomistajalle maksetaan puusta sen arvoa vastaava kantohinta. Edelleen voidaan päätellä, ettei karsiminen meikäläisissä puuntuotanto-olosuhteissa parhaimmassakaan tapauksessa anna männyn kysymyksessä ollen enempää kuin 8—9 %:n koron pääomalle. Tällöin on kysymys parhaista kasvupaikoista. Jossain määrin yksinkertaistaen voitaneen sanoa, että karsiminen on kannattavaa VT:llä 6 %:n, MT:llä 7 %:n ja OMT:llä 8 %:n tasolla, mikäli karsimisen aiheuttama arvonnousu otetaan puutavaraa myytäessä täysmääräisesti huomioon.

Nyt esitetyt kannattavuuslaskelmat tukevat aikaisempia kotimaisia päätelmiä samasta asiasta. Mainittakoon, että Heiskanen ja Taipale (1963) ovat todenneet karsimisen olevan hyvin kannattava toimenpide MT:n

Taulukko 13. Karsitun ja karsimattoman mäntyrungon kantohintaero eri korkovaatimustasoilla.
Table 13. Difference required between the stumpage prices of pruned and unpruned pines to guarantee various rates of interest on investment.

Metsätyyppi *Forest site type*	Korkoprosentti — *Rate of interest, per cent* 3	4	5	6	7	8	9	10
	Kantohintaero, mk/j³ — *Difference in stumpage price, Fmks/cu.ft.*							
	Investointiaika 50 v — *Duration of investment 50 years*							
OMT	0.09	0.14	0.23	0.36	0.58	0.92	1.46	2.30
MT	0.10	0.16	0.26	0.42	0.67	1.06	1.69	2.67
VT	0.12	0.19	0.31	0.50	0.80	1.27	2.01	3.17
	Investointiaika 60 v — *Duration of investment 60 years*							
OMT	0.09	0.17	0.29	0.52	0.91	1.59	2.78	4.79
MT	0.12	0.18	0.32	0.57	1.00	1.75	3.04	5.25
VT	0.11	0.20	0.36	0.63	1.11	1.95	3.39	5.85
	Kantohintaero, mk/runko — *Difference in stumpage price, Fmks/stem*							
	Investointiaika 50 v — *Duration of investment 50 years*							
OMT—VT	0.97	1.58	2.55	4.09	6.54	10.42	16.53	26.08
	Investointiaika 60 v — *Duration of investment 60 years*							
OMT—VT	1.31	2.34	4.15	7.33	12.87	22.49	39.16	67.64

männiköissä ja todennäköisesti kannattava myös VT:n männiköissä. Korkoa saadaan heidän mukaansa aina yli 5 %:n, eräissä tapauksissa jopa yli 10 %:n. Rauduskoivun osalta Heiskanen (1966) on tullut siihen tulokseen, että kaikissa käytännön kannalta tärkeissä tapauksissa korko on lähes 7 % tai huomattavasti sen ylikin. Alle 7 %:n korko jää hänen mukaansa vain luontaisesti syntyneissä metsiköissä, kun sorvausikä on 80 v.

Esitettyä korkopäätelmää ovat omiaan tukemaan myös muut pohjoismaiset tutkimukset, joissa kannattavuusprosentiksi on saatu vaihdellen 5—8½ % (vrt. Wejdmark 1936, Sjöström 1956, Salwén 1958), siis likimain sama kuin tässä tutkimuksessa. Tulosten yhdenmukaisuuteen lienee syynä kustannustekijöiden samankaltaisuus pohjoismaissa.

Edellisistä poikkeava on Salwénin (1968) uusin kannanotto, jonka mukaan karsimiskustannuksille voidaan saada 16 %:n korko. Hänen päätelmänsä perustuu lyhyeen investointiaikaan ja suhteellisen pienikokoisen karsitun puun hyväksikäyttöön lautoina. Tulevaisuuden karsimistoimenpiteet Salwén yhdistää lannoitukseen, jolloin hänen mukaansa voidaan karsia 1 000 puuta hehtaarilla ja saadaan jo 15—20 vuoden kuluttua laatupuuta harvennushakkuiden yhteydessä. Hänen laskelmiensa lähtökohta on siten aikaisemmista merkittävästi poikkeava.

Karsimisen kannattavuutta ei voida tarkastella muusta taloustoiminnasta irrallisena. Ratkaisevana tekijänä karsimisalttiuden lisääntymiseen on harkinta, voidaanko 6—8 %:n korkoa pitää vaihtoehtoisten sijoitusten valossa edullisena.

Tämän tutkimuksen valmistumisvuonna, 1968, saadaan pitkäaikaisilta talletustileiltä, jotka voidaan nostaa vuoden väliajoin, 6 %:n korko. Etenkin jos oletetaan, että puutavaran kantohinnan muodostumisessa tulee inflaation vaikutus jatkuvasti huomioon otetuksi, on karsiminen taloudellisessa mielessä selvästi edullisempi kuin em. talletusmuoto. Karsiminen on kuitenkin pitkäaikainen sijoitus, joka sitoo pääoman 50—60 vuodeksi. Sijoitusaika on tavalliselle metsänomistajalle niin pitkä, että hän ei ehkä katso voivansa siihen ryhtyä.

Karsimisen vähäinen suosio johtunee toisaalta siitä riskistä, että metsänomistaja tai hänen poikansa ei aikanaan saakaan karsituista puista niiden todellista arvoa vastaavaa kantohintaa. Kun edellä esitetyt laskelmat lähtevät täyden kompensaation periaatteesta, ne itse asiassa asettavat kannattavuuskaton, jonka alapuolelle metsänomistaja todellisuudessa saattaa jäädä puutavaraa myydessään.

Ellei metsänomistajalle tavalla tai toisella turvata tiettyä kantohintaa karsituista puista, jäänee metsäpuiden karsiminen sen tarpeen metsänviljelyn mukana lisääntyessäkin varsin vähäiseksi. Sitä voitaneen pitää kiistattomasti houkuttelevana sijoituksena vain sellaisissa tapauksissa, missä puiden poikkeuksellinen oksikkuus voi aiheuttaa sen, että puutavara voidaan myydä vain huomattavasti alle käyvän markkinahinnan. Esim. hyvän kasvupaikan männyissä esiintyy taipumusta poikkeukselliseen oksikkuuteen.

Ainakin koivulla laatupuun kasvattaminen lienee kuitenkin siinä määrin merkittävä näkökohta, että karsimista olisi pyrittävä lisäämään esim. kantohintapoliittisin toimenpitein.

KIRJALLISUUSLUETTELO

A h o l a, V. K. 1955. Silmukarsinta. Summary: Bud pruning. — Metsätal. Aikakausl., s. 85—86.

B e n n e t t, F. A. 1955. The effect of pruning on the height and diameter growth of planted Slash pine. — J. For., s. 636—638.

B l o m q v i s t, A. G. 1879. Om uppqvistning af träd. — Finska Forstför. Medd. I, s. 167—196.

C a j a n d e r, A. K. 1909. Ueber Waldtypen. — Acta For. Fenn. 1.

C a l l i n, G. 1967. Om stamkvistning av tall. — Sv. Skogsvårdsför. Tidskr., s. 85—111.

C r a i b, I. J. 1939. Thinning, pruning and management studies on the main exotic conifers' crown in South Africa. — Dept. Agr. For. Sci. Bull. No. 196.

C r o n s t r ö m, E. 1935. Om uppqvistning av tallbestånd. — Yksityismetsänhoitajayhd. Vuosik. VIII, s. 39—44.

D a h m s, W. G. 1954. Growth of pruned Ponderosa pine. — J. For., s. 444—445.

F r a n k h a u s e r, F. 1912. Ueber den Einfluss der Aufästung auf die Stammform. — Zeitschr. f. Forstw.

G ä u m a n n, E. 1928. Die chemische Zusammensetzung des Fichten- und Tannenholzes in verschiedenen Jahreszeiten. — Flora.

—»— 1935. Der Stoffhaushalt der Buche im Laufe des Jahres. — Ber. der schweiz. bot. Gesellschaft.

H a r t i g, R. 1872. Einfluss verschieden starker Aufästung und Entnadelung auf den Zuwachs der Weymouthskiefer und gemeine Kiefer. — Zeitschr. f. Forst- u. Jagdw.

H e i k i n h e i m o, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumisesta. Summary: On natural pruning of tree stems. — Metsäntutkimusl. julk. 41.5.

H e i s k a n e n, V. 1966. Tutkimuksia rauduskoivikon karsimisen kannattavuudesta. Summary: Studies on the profitability of pruning of Common birch *(Betula verrucosa)* stands. — Acta For. Fenn. 81.2.

H e i s k a n e n, V. ja T a i p a l e, A. 1963. Tutkimuksia männyn karsimisesta. Summary: Studies on the pruning of pine. — Metsäntutkimusl. julk. 57.1.

H e l m e r s, A. E. 1946. Effect of pruning on growth of Western white pine. — J. For.

I l v e s s a l o, Y. 1947. Pystypuiden kuutioimistaulukot. Summary: Volume tables for standing trees. — Metsäntutkimusl. julk. 34.4.

J e f f e r s, J. N. R. 1960. Experimental design and analysis in forest research. Stockholm.

K a l e l a, E. K. 1961. Metsät ja metsien hoito. Porvoo—Helsinki.

K i e n i t z, M. 1928. Die Erziehung astreinen Holzes. — Silva.

L a b y a k, L. F. ja S c h u m a c h e r, F. X. 1954. The contribution of its branches to the main-stem growth of Loblolly pine. — J. For., s. 333—337.

L a d e f o g e d, K. 1946. De enkelte Kronedeles produktionsmaessige Betydning hos Rødgran. — S.F.F. beretning nr. 148, bd. XVI.

Laitakari, E. 1937. Laatupuun kasvattamisesta. Referat: Über die Erziehung von Qualitätsholz. — Silva Fenn. 39, s. 259—270.

Lakari, O. J. 1920. Tutkimuksia kuusen karsimisesta. Referat: Untersuchungen über die Ästung der Fichte. — Metsät. koelait. julk. 2.

Lappi-Seppälä, M. 1934. Karsimisesta ja sen metsänhoidollisesta merkityksestä. Referat: Über die Ästung und ihre waldbauliche Bedeutung. — Acta For. Fenn. 40.25.

—»— 1937. Karsimisesta arvopuun kasvatusta silmällä pitäen. Referat: Über Ästung mit Beachtung der Erziehung von Qualitätsholz. — Silva Fenn. 42, s. 120—136.

Lassila, I. 1916. Puiden karsimisesta. — S. Metsänh.yhd. Tapion käsikirj. n:o 11.

Lehtpere, R. 1957. The influence of high pruning on the growth of Douglas fir. — Forestry, s. 9—20.

Lundh, E. 1924. Den å Böda kronopark utförda grönkvistningen av tall. — Medd. Stat. Skogsförsöksanstalt.

Löf, A. 1931. Virkeskvalitens höjande genom uppkvistning. — Skogen, s. 3—7.

Lückhoff, H. A. 1949. The effect of live pruning on the growth of *Pinus patula*, *Pinus caribaea* and *Pinus taeda*. — J. South Afr. For. Ass., no. 18.

Mattila, S. 1963. Tilastotiede I. Helsinki.

Mayer-Wegelin, H. 1959. Die neuere Entwicklung der Technik des Aufästens. — Allg. Forstzeitschr.

Metzger, 1893. Der Wind als massgebender Faktor für das Wachstum der Bäume. — Münd. Forstl. Hefte 3.

Meyer, H. 1959. Der Einfluss von Kronenkürzungen an Fichten der II Altersklasse auf deren Höhen- und Stärkenwachstum. — Archiv f. Forstw., s. 812—849.

Minckler, L. S. 1967. Release and pruning can improve growth and quality of White oak. — J. For., s. 654—655.

Møller, C. M. 1958. Negative grene? — Dansk Skovfor. Tidsskr., s. 372—378.

—«— 1960. The influence of pruning on the growth of conifers. — Forestry 33, s. 37—53.

Nägeli, W. 1952. Aufästungsversuche in gleichaltrigen Nadelholzbeständen des schweizerischen Mittellandes. — Mitt. d. schw. Anst. f.d. forstl. Versuchsw., s. 271—354.

Oksbjerg, E. 1956. Virkningen af radikal grønkvistning. — Hedelsk. funktionaerblad.

—»— 1962. Some phenomena associated with pruning. — Forestry.

Olesen, P. O. 1964. Grønkvistningens indflytelse på nåletraeernes tilvaekst. — Dansk Skovfor. Tidsskr., s. 407—445.

Ralston, R. A. 1953. Effect of pruning on growth of Red pine. — Lake St. For. Exp. Sta. Tech. Note No. 405.

Rautvuori, E. 1967. Sahapuun laatukysymys. — Suomen Puutalous, s. 272—273, 282.

Razumov, V. P. 1952. Primenenie obrezki sučjev dlja ulučšenija kačestva drevesiny sosny. — Lesn. Hoz., s. 30—37.

Roberts, E. G. ja Clapp, R. T. 1956. Effect of pruning on the recovery of ice bent Slash pine. — J. For., s. 596—597.

Salwén, N. 1958. Synpunkter på kvistningens ekonomi vid kvistning av tall. — Sv. Skogsvårdsför. Tidskr., s. 201—212.

—»— 1968. Lönar sig stamkvistning? Ekonomiska kalkyler över stamkvistning av tall. — Skogen, s. 44—46.

Sarvas, R. 1956. Metsänhoidon tekniikkaa. Karsiminen. — Metsäkirja I, s. 521—523.

Sjöström, H. 1956. Förväxande träd. — Skogen, s. 557, 576.
Slabaugh, P. E. 1957. Effects of live crown removal on the growth of Red pine. — J. For., s. 904—906.
Stein, W. I. 1955. Pruning to different heights in young Douglas fir. — J. For., s. 352—355.
Stiell, W. M. 1959. Intermediate cuttings in Red and White pine plantations. — Tech. Note For. Res. Div. 81.
Vuokila, Y. 1960. Elävien oksien karsimisen vaikutuksesta männyn kasvuun. Summary: The effect of green pruning on the growth of Scots pine. — Metsäntutkimusl. julk. 52.1.
—»— 1967. Eriasteisin kasvatushakkuin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot maan eteläistä sisäosaa varten. Summary: Growth and yield tables for pine stands treated with intermediate cuttings of varying degree for southern Central- Finland. — Metsäntutkimusl. julk. 63.2.
Weck, J. 1947. Zur Zuwachsleistung der Douglas nach Grünastung. — Forst u. Holz, Nr. 12.
Wejdmark, P. 1936. Kvistningens ekonomi. — Skogen, s. 246—247.
Young, H. E. ja Kramer, P. J. 1952. The effect of pruning on the height and diameter growth of Loblolly pine. — J. For., s. 474—479.
Zederbauer, E. 1909. Untersuchungen über die Aufästung der Waldbäume. — Centralbl. f. d. gesamte Forstw., 10. Heft.

PRUNING AND INCREMENT

Summary in English

General opinion currently favours the principle of mass production. Nonetheless, the increasing application of artificial regeneration may once again draw attention to pruning with a view to the production of quality timber.

This report is concerned with a 10-year study of green pruning. Experiments were made with the following degrees of pruning (see also Table 1, p. 12):

Unpruned (control)	0	per	cent	(%)	of	live	crown	length	pruned
Light	20	»	»	»	»	»	»	»	»
Heavy	50	»	»	»	»	»	»	»	»
Very heavy	80	»	»	»	»	»	»	»	»

Originally, the material under study comprised 8 stands, 6 of them Scots pine *(Pinus silvestris)*, and 2 Common birch *(Betula verrucosa)*. By reason of the loss of one pine stand and individual trees in other stands, the final number of stands available for this study was 7, and that of sample trees 144 *(cf.* also Table 2, p. 15; Table 3, p. 16; set-up on p. 15).

The present investigation led to the conclusion that a light (20 %) reduction of live crown does not exercise any significant effect upon tree stem development. This applies particularly to Scots pine. There is an indication of minor loss of increment throughout the stem for Common birch *(cf.* Fig. 16, p. 43), although this is statistically insignificant.

Annual increment values at different heights of trees subjected to heavy pruning (50 %) and very heavy pruning (80 %) are presented in Tables 8 and 10 (p. 30, 32) and the significance of differences between pruned and unpruned trees in Tables 9 and 11 (p. 31, 33). The numbers of stars in the latter tables do not refer to the usual levels of significance; each star indicates a significant difference at 5 per cent level in one analysis of variance. If three stars appear in a column, this means that three separate analyses of variance with different basic consruction resulted in a significant difference at 5 per cent level between pruned and unpruned trees.

Heavy and very heavy pruning lead to a permanent decrease in diameter increment *(cf.* Figs. 12—15, pp. 39—42), although the crown of heavily pruned trees reaches the dimensions of maximum diameter increment at the end of the 10-year period. This is explained by the gradual loss of predominance resulting from reduced height increment.

During the first 10 years, heavily pruned birches lose 8 per cent, and very heavily pruned ones 18 per cent of their height increment. In absolute measurements, this means 0.35—0.5 m. The corresponding losses in height increment for pines subjected to heavy and very heavy pruning are 18 and 31 per cent, respectively, *i.e.* 0.85—1.15 m.

When no thinning is connected with pruning, this loss is adequate to lead the pruned tree to co-dominance and, finally, to suppression.

Heavy and very heavy pruning improve stem form, a reaction which is most pronounced during the second season of increment after pruning. However, the major reaction has passed within 3—4 years, following which the development of stem form seems to assume the opposite trend within the crown, and impairment is observable. It is also possible that the form development as a whole begins to deteriorate 7—8 years after pruning; in all likelihood, the form of unpruned trees is finally resumed. This conclusion is based upon some indications to be found in the material, although without statistical foundation at any level.

In view of the short duration of stem improvement, and its heavy concentration at the very base of the tree, this phenomenon assumes no major practical importance, even in such a favourable case that the improvement in form encountered could be considered permanent.

Some silvicultural recommendations have been made in the present report. No reason is apparent why pruning could not also be practised on rather poor sites. However, if the green pruning is to be radical, the site should be a good one. There is no need to wait until the natural mortality of branches has reached the height for which pruning is planned. At least 20 per cent of the live crown length can be removed without any fear for increment losses. Pruning may be even heavier than this, particularly if after pruning the crown still amounts to 40 per cent of the tree height. Trees to be pruned should be chosen from among the most vigorous predominants in the stand. Pruning should be accompanied by thinning, and the trees pruned should be favoured consistently in intermediate cuttings. This also holds good for light pruning, in consequence of the human inability to foresee, at an early phase of stand life, the ultimate outcome of the mutual competition between tree individuals. It is possible that pruning can be introduced to straighten trees bent by snow or ice. Moreover, it would be worthwhile to study whether the early pruning of robust advance growth in seedling stands is economically justifiable.

Finally, the economy of pruning is discussed, with particular reference to pine. In the present calculations, it has been assumed that 500 trees per hectare are pruned at a size of 10—12 cm. in dbh., without any subsequent loss of increment. The total pruning costs have been estimated at 100 Fmks per hectare *(cf.* H e i s k a n e n and T a i p a l e 1963). It has further been anticipated that 10 per cent of these trees are removed prematurely in thinnings, while 450 stems are present in the final cutting. The cubic volume content of pruned trees *(cf.* set-up on p. 54) has been estimated with new growth and yield tables (V u o k i l a 1967).

The comparison of value increase per stem attributable to pruning (H e i s k a n e n and T a i p a l e 1963) with the accumulated costs at the moment of final cutting reveals that theoretically pruning of pine is a profitable investment at 6 per cent level on rather poor sites. On the best sites, pruning yields interest of 8 per cent on the capital, provided full account of the increase in value of timber resulting from pruning is taken in the stumpage price.

Nobody knows what stumpage prices will be 50 to 60 years from now. Nonetheless. forest owners have currently available alternative investments of shorter duration, It is thus not likely that pruning will appeal to forest owners if they are not guaranteed a fair stumpage price for pruned timber. With the present uncertainty in regard to stumpage price, pruning seems to be an unquestionably sound investment only in those cases, mostly on the best sites, in which the extreme branchiness can result in stumpage prices which are much lower than the average.

ON THE BASIC DENSITY OF PLANTATION-GROWN NORWAY SPRUCE

PENTTI HAKKILA JA OLLI UUSVAARA

VILJELYKUUSIKOITTEN PUUAINEEN TIHEYDESTÄ

Lyhennelmä

HELSINKI 1968

Helsinki 1968. Valtion painatuskeskus

PREFACE

A series of investigations on the basic density and dry weight of wood was begun in spring 1962 at the Department of Forest Technology, Finnish Forest Research Institute. The first phase was limited to naturally regenerated forests. The present work, the third in the series, deals with Norway spruce plantations. It is hoped that a comparison of the results of these two studies will provide an answer to the question interesting wood users, viz. how the properties of the wood that will be produced by our future forests will relate to those of the wood produced today.

The authors received valuable advice in the initial phase of the work from Professor, Dr. Paavo Aro, and later from Professor, Dr. Veijo Heiskanen and Professor, Dr. Risto Sarvas. They also perused the manuscript. A considerable part of the field work was done by Mr. Teuri J. Salminen. The following persons also participated in the various phases of the study: Mrs. Taija Havanto, Mr. Pertti Juvonen, Miss Sirkka Renfors, Mrs. Aune Rytkönen and Mr. Evert Saviola. The statistical analyses were done at the State Computer Centre.

Sample plots outside the Forest Research Institute's own research forests were made available by Mr. Matti Haapala, Mr. Esko Laamanen and Mr. Eero Paavola.

The authors wish to thank sincerely all the persons mentioned.

Of the authors, Hakkila planned the study and wrote the manuscript. Uusvaara led the field and laboratory work.

Helsinki, January 1968

Pentti Hakkila *Olli Uusvaara*

CONTENTS

Page

1. Introduction 5
2. Material and method 7
3. Results 11
   31. Density variation between stems 11
   32. Density variation between stands 13
   33. Comparison between naturally regenerated stands and plantations 15
4. Summary 18

Literature cited 20

Lyhennelmä 23

1. INTRODUCTION

The process of intensifying silviculture in Finland is gradually beginning to have its influence on all branches of research in forest science. Artificial reforestation, drainage, fertilization and, in the next few years, perhaps also site preparation will bring the wood user face to face with a new situation at the latest when harvesting of the timber of the plantations begins on a large scale.

Finland's future forests are often supposed to yield timber which compared with the present will have wider annual rings and will come from younger stands on the average. It has long been known that many wood properties depend also on the growth rate and age of the tree. It can therefore be thought probable that the wood produced by plantations is more or less different from the wood that has grown in the naturally regenerated forests of today. B o y d (1967) stated that although the effect between species is variable, generally either the rate of growth itself, or the fact that fast-grown timber is usually harvested at an early age, is likely to lead to significant differences in the properties and utilization values of timber.

Plantation forests have hitherto not been given sufficient attention in Finland in wood research. Stem form, knottiness and other defects, bark percentage, amount of heartwood, density, percentage summerwood, fibre dimensions, extractives and many other properties require elucidation for plantation forests as well. The present study is a step in this direction, albeit rather limited in scope.

Density of wood is the one of the wood quality indicators that has been studied most in Finland and also in many other countries.[1]) This property is particularly important in the paper industry, as will emerge from the following.

Dense wood is composed on the average of thick-walled cells. Paper made of thin-walled cells is dense and opaque and has high tensile and bursting strength. Tearing strength, on the other hand, is highest in paper made of thick-walled cells (M i t c h e l l 1961). Thick-walled fibres also lengthen the beating time, make the sheet formation more difficult and the paper surface rougher and weaken the folding endurance (D a d s w e l l and W a r d r o p

[1]) The density values are expressed as basic densities, oven-dry weight in kilogrammes per green volume in cubic metres (kg/cu.m.).

1959). Thus, it is obvious that the most suitable fibres for a given occasion depend on the intended use of pulp and paper. As to the properties of groundwood pulp and newsprint, a very important end use of spruce wood in Finland, low-density wood seems to have certain advantages.

Perhaps even more important is that the yield of chemical and groundwood pulp depends on wood density. A solid cubic metre of pulpwood contains more fibre the higher the density. The sulphite pulp yield in kilogrammes per cubic metre of Norway spruce wood can be expressed with the following regression equation: Pulp yield = 20 + 433 · specific gravity + 8 · chlorine number (K l e m 1949).

The aim of the present study was to find out how great the differences in the basic density of timber are on an average between naturally regenerated, managed spruce forests and managed spruce plantations. To achieve the aim, a study was first made of the variation of wood density in plantations and the results were then compared with those of an earlier study, conducted at the Finnish Forest Research Institute, concerning the wood density of naturally regenerated forests (cf. H a k k i l a 1966). The study was confined to Norway spruce plantations *(Picea abies* (*L.*) Karst.) in southern Finland, and it is emphasized that other species and the northern half of the country should be studied later.

2. MATERIAL AND METHOD

The material was collected in 1965—1966 from the localities in southern Finland marked in Figure 1. It comprised 53 stands from each of which one sample plot was taken. Twenty-nine of these stands were on land owned by the Finnish Forest Research Institute or land placed at its disposal, eleven in other state forests, three in forests owned by the forest industry and the remaining ten stands in private farm forests.



Figure 1. The number and location of the sample stands.
Kuva 1. Tutkimuksen kohteena olleitten metsiköitten sijainti ja lukumäärä.

Nearly all the stands were established by planting, only two by direct seeding. The last two were among the oldest stands of the material. It was not possible in every case to be sure of the original spacing, but about one-half of the sample plots had been planted with 2 × 2 m and one-third with 1.5 × 1.5 m spacing. It was possible to assume, among other things from the stumps, that many of the stands had been shaded unnecessarily long by shelter trees. For this reason, they had not always grown as well as could be expected for Norway spruce plantations.

When the material was collected there were numerous spruce stands available that had been planted in the 1930s, but it was not possible to obtain

a sufficient number of sample plots of older age classes. The following table shows the distribution of the sample plots into age classes by forest site types.

Age of the stand, years	Forest site type [1] MT	OMT	Total
	Number of stands		
21—30	10	7	17
31—40	6	11	17
41—50	3	6	9
61—70	3	2	5
81—90	2	3	5
Total	24	29	53

A sample of 30 standing trees was collected from each stand beginning at random from any tree that the field workers happened to choose and taking the other sample trees in order from trees of the same or the neighbouring planting rows. However, badly damaged trees and trees that had grown at the edge of the stand were not accepted. A 5.5 mm thick core, which reached from the cambium to the pith, was bored at breast height from each sample tree.

Of the external tree characteristics, a note was made of the age, breast height diameter above the bark, tree height and the height of the lower limit of the living crown. The total of stems was 1590.

The mean age of the total material was 43 years, breast height diameter weighted by the cross-section area was 15.5 cm and arithmetic mean height 13.9 m (Table 1). The corresponding values as OMT and MT means for a 45-year-old stand in the growth and structure characteristics of cultivated Norway spruce stands presented by Mäkinen (1967) are 16.3 cm and 14.8 m.

Table 1. Information on sample trees.
Taulukko 1. Tietoja koepuista.

Property *Ominaisuus*	Range *Vaihteluväli*	$\bar{x}$	s
Age, years — *Ikä, vuotta*	26—88	42.6	17.1
Dbh, cm — $D_{1.3}$, *cm*	4—39	15.5	5.9
Height, m — *Pituus ,m*	4—29	13.9	5.2
Crown proportion, % — *Latvussuhde*, %	25—99	66.2	13.4

In addition to standing trees, one or two felled sample trees, if possible, were taken from each sample plot for detailed treatment, but felling of trees was not permitted in all the stands. From the felled trees, 65 in all,

[1]) OMT (*Oxalis-Myrtillus*-type) and MT (*Myrtillus*-type) are typical spruce sites in southern Finland, the former more fertile than the latter.

two increment cores instead of the customary single increment core were taken at breast height. Moreover, 3 cm thick discs were sawn from them at 2-m intervals from butt cross-section to the crown. The discs were used to study the variation in wood density in the longitudinal direction of the stem. This had to be known in order to convert density measured at breast height into the average wood density of the entire stem, or, shortly, tree density.

The basic density of plantation-grown Norway spruce seems at first to increase from the butt to a height of a couple of metres, but decreases subsequently towards the crown. Thus a sample taken at breast height gives a result which is higher than the tree density (Figure 2). In contrast, in the spruces of naturally regenerated, managed forests the wood density decreases from the stump to midway the stem, but increases again in the top part (H a k k i l a 1966). No increase in density in the upper part of the stem was observed in cultivated spruces.

In Figure 2 the curve which represents the smallest trees is closer to the pattern of naturally regenerated forests. This is because small trees, in addition to young ones, comprise also trees of suppressed tree classes in older stands, and thus resemble in their growth conditions mostly trees of naturally regenerated forests. Correspondingly, B a k e r (1967) reported that the wood density of *Pinus resinosa* changes from the butt of the stem towards the crown quite differently in naturally regenerated forests and in plantations.

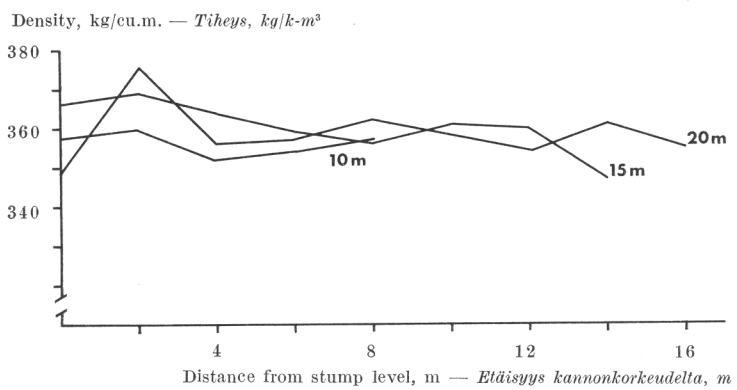


Figure 2. Wood density of 10, 15 and 20 m Norway spruces at different stem heights in plantation forests.

Kuva 2. Pituudeltaan 10-, 15- ja 20- metristen kuusien puuaineen tiheys rungon eri korkeuksilla viljelymetsiköissä.

The wood density of cores was determined by E r i c s o n's (1959) mercury immersion method which gives somewhat too low a density for cores so that the error is greater the lighter the weight of the wood in question (H a k-

kila 1966). This and the error of contrary effect caused by taking the sample at breast height were corrected by a regression equation based on the material of felled trees. The equation gives the tree density for a core extracted at breast height. The coefficient of correlation associated with the equation is 0.838. It can not be increased significantly by the inclusion of e.g. the stem height.

$$Y = 123.2 + 0.680\ X$$

Y = Tree density, kg/cu.m.
X = Basic density of an increment core taken at breast height, as shown by the mercury immersion method, kg/cu.m.

The standard deviation of the regression equation is 15.2 kg/solid cu.m. A part of this must arise from measuring errors, for the average difference between adjacent increment cores taken from the felled sample trees was 7 kg/solid cu.m. A part, again, is due to the irregularity of the variation of wood density in the longitudinal direction of the tree. Wahlgren, Hart and Maeglin (1966) concluded that the large between-tree variation in wood density at all heights in the stem of red, white and black spruces and some other species of Maine makes it difficult to predict tree density with a high degree of precision.

Tree density was calculated for each sample tree from the equation given. The further treatment of the material was performed by an Elliott-503 computer at the State Computer Centre, using the corrected tree density values.

3. RESULTS

31. DENSITY VARIATION BETWEEN STEMS

The average wood density of an entire stem, or tree density, varies from tree to tree according to both external and genetic factors. An example of this can be found in the material collected earlier by the Finnish Forest Research Institute from naturally regenerated forests. In this, the standard deviation in the tree density of 751 spruce stems was 30.0 kg/cu.m. or 7.8 per cent of the mean (H a k k i l a 1966). The trees of plantations constitute a more homogeneous entity, and between-tree variation in stands established by planting or direct seeding is smaller than in naturally regenerated forests. In the present material of 1 590 spruces, the between-tree deviation was 21.3 kg/cu.m. or 6.0 per cent of the mean.

An explanation of the density variation was sought in external tree characteristics. The following table gives a few typical coefficients of correlation when simple linear regression was employed.

Independent variable	Coefficient of correlation
Breast height diameter ..	—.035
Height	.127
Crown proportion	—.206
Age	.372
Height growth	—.318
Diameter growth	—.572

Tree density depends most distinctly on the age and growth rate of the tree. The correlation is positive in the former and negative in the latter case. Because of these correlations with opposing effect it is impossible to explain the variation in density merely on the basis of stem size. Large-sized trees are obtained partly from older plantations, partly from the fast-grown trees of younger plantations. Small trees, in contrast, come from the suppressed tree classes of older stands and from young stands.

The dependence of tree density on age is explained best by the logarithm of age. The following equation is obtained, but even it cannot explain more than 38 per cent of the total tree-to-tree variation of density.

Regression equation	R	$S_{y.x}$
$Y = 269.4 + 53.1 \cdot \log X_1$	.377	19.7

Y = Tree density, kg/cu.m.
X_1 = Age of the tree, years

If the breast height diameter is taken in addition to age as an independent variable, some idea of the effect of the growth rate on tree density is obtained. The following equation then has the greatest explanatory value.

Regression equation	R	$S_{y.x}$
$Y = 409.9 + 0.266\ X_1 - 109.8\ \sqrt{X_2}$	.584	17.3

Y = Tree density, kg/cu.m.
X_1 = Age of the tree, years
X_2 = Dbh above bark/age, cm/years

Opinions as to the correlation between wood density and growth rate are not unanimous. In some cases the correlation has been found to be only ostensible, caused by the juvenile wood phenomenon (cf. Turnbull 1947). However, the conflict arises partly from generalizing about observations made on a certain tree species and applying them to other species. It should be specifically noted that studies concerned with spruce are fairly unanimous in their results, including the present work. For instance, the correlation between wood density and growth rate in Norway spruce was reported to be negative by Hartig (1884), Cieslar and Janka (1902), Kinnman (1923), Volkert (1941), Klem (1944), Nylinder and Hägglund (1954), Aldridge and Hudson (1955 and 1958), Moltesen (1957), Hale (1962), Bernhart (1964), and Hakkila (1966). The same finding has been made for other species of spruce, such as white spruce (Keith 1961) and Sitka spruce (Brazier 1967).

The proportion of explained variation can be increased further to some extent by adding to the number of the independent variables in the regression equation (Table 2). The inclusion of a sixth variable no longer improves the equation significantly.

Even the best equation in the present material explains only 37 per cent of the wood density variation between stems. The standard deviation from the regression line remains 17.0 kg/cu.m. It may be mentioned for the sake of comparison that Klem (1965) succeeded in explaining 43 per cent of the variation between spruce stems, whereas the corresponding figure was 40 per cent in the material collected at the Finnish Forest Research Institute from naturally regenerated forests (Hakkila 1966). Only when

Table 2. Proportion of the total variation of tree density explained by an increasing number of external tree characteristics as independent variables.

Taulukko 2. Runkoa kuvaavien suureitten selittämän vaihtelun osuus rungon keskimääräisen puuaineen tiheyden kokonaisvaihtelusta riippumattomien muuttujien lukumäärän kasvaessa.

Number of variables *Muuttujien lukumäärä*	Independent variable — *Riippumaton muuttuja*							Explained variance, % *Selitetty varianssi, %*
	Dbh/age $D_{1.3}$/*ikä*	Height *Pituus*	Log (age/Dbh) *Log (ikä/*$D_{1.3}$*)*	(Height) ^{2} *(Pituus)* ^{2}	1/height *1/pituus*	(Dbh) ^{2} ($D_{1.3}$) ^{2}	R	
1	X						.546	30
2	X	X					.582	34
3		X	X	X			.595	35
4		X	X	X	X		.598	36
5		X	X	X	X	X	.605	37

the wood density variation between stems is explained by the anatomical properties of wood are considerably higher percentages attained (cf. R e c k 1965).

It is very difficult to relate wood density to environmental factors. It is generally held, in fact, that a considerable proportion of the variation is caused by genetic factors (cf. H a r r i s 1965). In addition, it is necessary to take into consideration measuring errors and the density variation within the stem, which affect the results especially in an material based on a single core taken from breast height, as in the present study. This point was mentioned in the introductory chapter.

3.2. DENSITY VARIATION BETWEEN STANDS

Analysis by stems shows that the density of wood produced by Norway spruce plantations depends at least on the age and growth rate of the tree. Genetic factos are also known to affect the density of spruce wood (K l e m 1957, E r i c s o n 1960, D i e t r i c h s o n 1964, K l e i n s c h m i t and K n i g g e 1967). For these reasons, there must be differences also between stands, as appears from the following table of variance.

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Variance	F-value
Among stands ...	314 442	52	6 047.0	22.96
Within stands	404 737	1 537	263.3	
Total	719 179	1 589		

According to the analysis of variance, there are highly significant differences also between the stands, but the general observation is valid that wood density variation between stands is smaller than the variation within a stand (cf. Goggans 1962).

The average wood density of a stand weighted by the stem volume in the present material is 352.0 kg/cu.m. The standard deviation is correspondingly 13.8 kg/cu.m. or 3.9 per cent of the mean.

If, instead of stem-to-stem variation, we take stand-to-stand variation, the variation within a stand can be disregarded. Considerably higher correlations are now obtained between the mean density of the stand and certain stand characteristics than in the stem- to-stem analysis.

Independent variable	Coefficient of correlation
Breast height diameter	.215
Height	.343
Crown proportion	—.397
Age	.587
Height growth	—.632
Diameter growth	—.801

Age and growth rate are again the best independent variables for density variation. The best equations are now:

Regression equation	R	$S_{y.x}$
$Y = 379.4 - 1\,035/X_1$	.599	11.0
$Y = 433.2 + 0.193\ X_1 - 144\ \sqrt{X_2}$	.822	7.8

Y = Weighted wood density of a stand, kg/cu.m.
X_1 = Mean age, years
X_2 = Mean Dbh above bark/mean age, cm/years

The equation can be improved further by taking the mean height of the stand into consideration. In that case the coefficient of multiple correlation 0.854 is obtained from using the following variables: logarithm of diameter growth, square of height growth and mean height. The equation explains 73 per cent of the stand-to-stand variation. It can thus be said that the variations in the age and rate of growth per tree are chiefly responsible for the differences that are encountered in the wood density between plantations. Density grows with age; on the other hand, it decreases when growth rate per tree increases. The unexplained standard deviation from regression is 7.2 kg/cu.m., that is 2.0 per cent of the average wood density of a stand.

The considerable increase in the explained portion of the total variation of wood density between stands compared with that between stems is partly due to the fact that the effect of measuring errors on the stand observations

is smaller. The authors' view is, however, that a more important factor may be the differences in genetic variation between stands and, on the other hand, within a stand.

33. COMPARISON BETWEEN NATURALLY REGENERATED STANDS AND PLANTATIONS

The possibility that a stand established by planting or direct seeding produces different wood to that yielded by a naturally regenerated forest does not lie, at least not primarily, in the planting or seeding event as such. The issue is above all that in plantations trees are grown from the outset in conditions that differ from those in naturally regenerated forests. What appears to be of the greatest importance in this respect is that trees of plantations grow, at least during the first two decades, more rapidly and are therefore harvested younger on an average. Tree age and growth rate, as we know, affect considerably the density of the wood produced.

For the following comparison of wood density of Norway spruce in plantations and naturally regenerated, managed forests, the data for the latter were obtained from the earlier study conducted at the Finnish Forest Research Institute. The material for that study was collected as increment cores from southern Finland, just as in the present work (cf. H a k k i l a 1966).

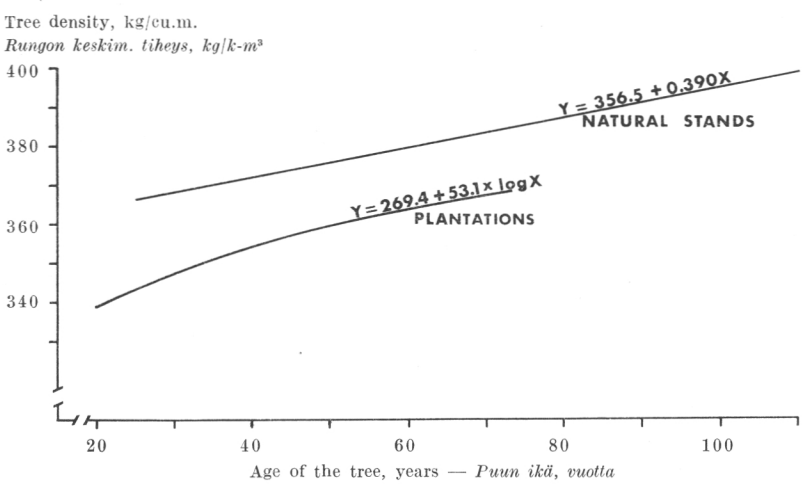


Figure 3. Correlation between tree density and age in natural and plantation forests of Norway spruce.

Kuva 4. Rungon keskimääräisen tiheyden riippuvuus puun iästä luontaisesti syntyneissä ja viljelykuusikoissa.

The wood of a Norway spruce tree that has reached a certain age is lower in density in plantations than in naturally regenerated stands (Figure 3). This is valid only on an average, for the standard deviation from the curves in the figure is great: 19.7 kg/ cu.m. for the trees of plantations and 27.6 kg/cu.m. for naturally regenerated trees. The difference between these two materials is 6.2 per cent at the age of 25 years and 4.3 per cent at the age of 70 years. The differences in the wood properties narrow when the stands become older and the plantations begin to receive also externally a greater number of the characteristics of naturally regenerated forests.

These differences in wood density are partly caused by differences in growth rate, but partly they may also be caused be genetic factors. It must be noted that the stands included in the material by no means always were as rapidly growing as is generally expected for plantations. There were signs in some stands that the plantation had been unnecessarily long under shelter trees. It should also be remembered that a considerable number of the sample plots had been planted with 1.5 m spacing, which today for economic reasons is considered to be an unnecessarily high planting density. Assuming that the spacing affects the growth rate of an individual tree, it may be assumed to influence also the wood density. The information available on the original spacing and thinnings of the stands in the material was so unreliable, however, that this point could not be studied in greater detail. Seed origin, or provenance, may also have an important effect on the wood density, but no information thereupon was available.

The comparison would not be fair if the forest site type were disregarded. The material representing plantations was collected solely from *Myrtillus* and *Oxalis-Myrtillus* sites, but a part of the trees in the naturally regenerated forests also grew on the poorer *Vaccinium* sites or even in undrained swamps. This was because spruce is cultivated in Finland only in the best forest soils. Had the material from naturally regenerated stands been similarly restricted to *Myrtillus* and *Oxalis-Myrtillus* types only, the differences from the plantation material would have been somewhat but perhaps not more than 1 per cent smaller.

It should be remembered that in the future spruce plantations, and naturally regenerated forests as well, may possibly be managed more intensively than has been customary up to the present. Young stands will be freed as early as possible, and fertilization and even site preparation will be used more commonly. In addition, economic factors have necessitated increasing the spacing of the plantations. Furthermore, seed is today collected partly from exceptionally fast-growing plus-trees or -stands whenever possible. But it is known that there is a negative genetic correlation between growth rate and wood density so that we cannot select only for volume or only for density (van Buijtenen 1963).

A high yield per hectare does not as such signify a low wood density, however. The change in wood properties which is possibly associated with increasing per-hectare yields depends on whether the growth increase is concentrated in fewer individual trees or whether it is partly achieved also by increasing the number of stems to be grown per unit of area. It is obvious that the change compared with the properties of the wood yielded by our present forests will be greater if the first-mentioned alternative is adopted. K l e m (1944) showed that with more planting space wood density decreases and the amount of knots increases. The production of one ton of sulphite pulp required 4.7 solid cu.m. of wood from young plots of Norway spruce with planting spaces of 1.25 × 1.25 metres, but 6.2 cu.m. from plots of the same age with planting spaces of 3.5 × 3.5 metres. When the stand gradually grew denser, the differences began to decrease (K l e m 1952). B r a a t h e (1953) made a comparison between fairly dense and more open plots and found the basic density of wood produced by the latter 5—6 per cent lower.

The difference between the materials compared is on an average about 5 per cent at a certain age. When timber harvested from plantations is compared with naturally regenerated, managed forests, it must be borne in mind, too, that cuttings take place in earlier phases in the former. Especially the first thinning is carried out at a fairly early age in the cultivated stands yielding exceptionally light timber. A theoretical example would be performance of the first commercial thinning of a naturally regenerated stand when the growing stock is 35 years old, versus first thinning of a plantation stand at the age of 30 years already. The timber from the cultivated stand would then be 6 per cent lighter, as can be seen from Figure 3. A relative difference of the same magnitude exists in the wood density of timber obtained in final cutting if the age of the growing stock is 90 or 70 years, correspondingly.

The timber harvested from future spruce plantations will have perhaps 5—6 per cent lower average wood density than that of spruce timber obtained from Finland's present forests. This means that wood consumption in the groundwood and chemical pulp industry, in cubic metres per ton of pulp, will increase in the future. The quality of some end products will, however, improve concurrently, for the decreasing and especially the evening out of density often is an advantage in pulp and paper manufactured of spruce wood.

The lowering of average wood density, due to better growth and other factors connected with the plantation forests, is great enough to be taken into consideration in the calculations of the wood production of our future forests. On the other hand, for the forest owner it might be uneconomical, for instance, to decrease the spacing of seedlings in order to raise the wood density of timber to a somewhat higher level.

SUMMARY

The present study is concerned with the stem-to-stem and the stand-to-stand variation in wood density in cultivated Norway spruce forests. The results are compared with those of an earlier study of the wood density in naturally regenerated, managed forests which was conducted at the Finnish Forest Research Institute (H a k k i l a 1966).

The material consists of 53 stands in southern Finland (Figure 1). Thirty standing trees were taken as sample trees from each stand, making a total material of 1 590 stems. Data on the sample trees are given in Table 1.

A 5.5 mm thick core was taken from each sample tree from breast height. The core density was determined by the mercury immersion method (absolutely dry weight per green volume). Density at breast height was converted to tree density by a regression equation which shows the tree density as a function of the density of the core taken from breast height. The equation is based on 65 felled sample trees the density of which was determined from discs sawn at 2-metre intervals.

The most important results were:

1. Only 37 per cent of the density variation between the stems could be explained on the basis of the external tree characteristics (Table 2). The best independent variables were growth rate and age in one form or another. The standard deviation from the regression was 17.0 kg/cu.m. A considerable part of this is supposed to be due to genetic factors.

2. Variation between the stands was also explained best by the growth rate and age of the stand. The proportion of the explained variation in the total variation between the stands was 73 per cent. The standard deviation from the regression was 7.2 kg/cu.m.

3. The density of Norway spruce wood increases with the age of the tree and the slow-down in growth rate. It is obvious, therefore, that young and fast-growing stands yield lighter timber than old and slow-grown stands.

4. It is above all because of the differences in the growth rate that wood density is lower in a cultivated forest that has reached a certain age than in our naturally regenerated present-day spruce forests of the same age. The difference between the materials under comparison was 5 per cent on an average, slightly more for young forests than for older forests (Fig. 3). It

must also be borne in mind that commercial cuttings are on an average done earlier in cultivated forests than in naturally regenerated forests.

It is particularly noteworthy, however, that the high yield per hectare of plantations does not itself necessarily presuppose a low wood density. The alteration of the wood properties in relation to increasing yield appears to depend in Norway spruce stands on whether the growth increase is concentrated in a fewer individual trees or whether it is partially the result also of increasing the number of stems cultivated per hectare.

5. The results suggest that our future spruce plantations will probably yield wood of about 5—6 per cent lower density than we harvest from our existing forests. The practical significance of this is that wood consumption in the groundwood and chemical pulp industry, in cubic metres per ton of pulp, will increase somewhat. On the other hand, the decrease in and evening out of wood density is an advantage for many properties of paper manufactured of spruce wood.

Literature cited

Aldridge, F. and Hudson, R. H. 1955. Growing quality softwoods. Quarterly Journal of Forestry 49: 109—114.

—»— 1958. Growing quality softwoods: Variation in strength and density of *Picea abies* — Specimens taken from a commercial consignment. Quarterly Journal of Forestry 52: 107—114.

Baker, Gregory. 1967. Estimating specific gravity of plantation-grown red pine. Forest Products Journal 17, No. 8: 21—24.

Bernhart, Albrecht. 1964. Über die Rohdichte von Fichtenholz. On the specific gravity of the wood of Norway spruce *(Picea abies* (L.) Karst.). Holz als Roh- und Werkstoff 22: 215—228.

Boyd, J. D. 1967. Effect of plantation conditions on wood properties and utilization. World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance. Section IV — Utilization.

Braathe, Peder. 1953. Undersøkelser over utviklingen av glissen gjenvekst av gran. Investigations concerning the development of Norway spruce regeneration which is irregularly spaced and of varying density. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 12: 209—301.

Brazier, J. D. 1967. Timber improvement. I. A study of the variation in wood characteristics in young Sitka spruce. Forestry 15: 117—128.

van Buijtenen, J. P. 1963. Heritability of wood properties and their relation to growth rate in *Pinus taeda*. World consultation on forest genetics and tree improvement. FAO/FORGEN 63—7/2. Stockholm.

Cieslar, A. and Janka, G. 1902. Studien über die Qualität rasch erwachsenen Fichtenholzes. Centralblatt für das gesammte Forstwesen 28: 337—403.

Dadswell, H. E. and Wardrop, A. B. 1959. Growing trees with wood properties desirable for paper manufacture. Reprint, Journal of Australian Pulp and Paper Industry Technical Association.

Dietrichson, Jon. 1964. Proveniensproblemet belyst ved studier av vekstrytme og klima. The provenance problem illustrated by studies of growth-rhythm and climate. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 19: 499—656.

Ericson, Börje. 1959. A mercury immersion method for determining the wood density of increment core sections. Statens Skogsforskningsinstitut. Avdelningen för skogsproduktion. Rapporter nr 1.

—»— 1960. Studies of the genetical wood density variation in Scots pine and Norway spruce. Studier över den ärftliga volymviktsvariationen hos tall och gran. Statens Skogsforskningsinstitut. Avdelningen för skogsproduktion. Rapporter nr 4.

Goggans, James F. 1962. The correlation, variation and inheritance of wood porperties in loblolly pine *(Pinus taeda* L.). North Carolina State College. School of Forestry. Technical Report No. 14.

Hakkila, Pentti. 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.

Hale, J. D. 1962. Minimum requirements for defining species norms for quality of variable woods. Tappi 45: 538—542.

Harris, Maddern J. 1965. The heritability of wood density. Proceedings of IUFRO Section 41. Melbourne.

Hartig, Robert. 1884. Der Einfluss des Baumalters und der Jahrringbreite auf die Beschaffenheit des Holzes. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung 60: 128—137.

Keith, C. T. 1961. Characteristics of annual rings in relation to wood quality in white spruce. Forest Pruducts Journal 13: 122—126.

Kinnman, Gunno. 1923. Kvalitetsfordringar på pappersved och skogsvårdsåtgärdernas avpassande därefter. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift 21: 201—225.

Kleinschmit, J. and Knigge, W. 1967. Durch Umwelt und Erbanlagen bedingte Variation der Trockensubstanzerzeugung, Struktur und Rohdichte junger Fichten (*Picea abies* Karst). Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 138. Jahrgang: 189—198.

Klem, Gustav G. 1944. Planteavstandens innflytelse på granvedens og sulfitcellulosens kvalitet. Effect of planting space on the quality of spruce wood and sulphite pulp. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 8: 257—293.

—»— 1949. Specific gravity of spruce wood, its variation in wood structure and pulp degree of delignification (Sieber chlorine no.), and the effect of these factors on yield and sulphite pulp quality. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 10: 369—396.

—»— 1952. Planteavstandens virkning på granvirkets kvalitet. The influence of spacing on spruce quality. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 11: 473—506.

—»— 1957. Kvalitetsundersøkelser av norsk och tysk gran. The quality of Norway spruce (*Picea abies*) of Norwegian and German origin. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 14: 285—314.

Klem, Gustav S. 1965. Tørrvolumvektsvariasjoner hos fremmende bartreslag og vanlig gran fra Sør- og Vestlandet. Variation in the specific gravity of foreign softwood species and Norway spruce from South and West Norway. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 20: 137—169.

Mitchell, Harold L. 1961. A concept of intrinsic wood quality, and nondestructive methods for determining quality in standing timber. Forest Products Laboratory Report No. 2233.

Moltesen, P. 1957. Tyndingens indflydelse på vedkvaliten. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift 55: 1—16.

Mäkinen, Veikko O. 1967. Viljelykuusikoiden kasvu- ja rakennetunnuksia. Growth and structure characteristics of cultivated spruce stands. Folia Forestalia 34.

Nylinder, Per and Hägglund, Erik. 1954. Ståndorts- och trädegenskapers inverken på utbyte och kvalitet vid framställning av sulfitmassa av gran. The influence of stand and tree properties on yield and quality of sulphite pulp of Swedish spruce (*Picea excelsa*). Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut. Band 44: 11.

Reck, S. 1965. Die Variation und Kovariation einiger anatomischer Holzmerkmale und ihre Beziehung zur Raumdichte bei Fichtenholz. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft. Nr. 60.

Turnbull, J. M. 1947. Some factors affecting wood density in pine stems. Union of South Africa, Department of Forestry. Publication No. 82.

Volkert, Erik. 1941. Untersuchungen über Grösse und Verteilung des Raumgewichts in Nadelholzstämmen. Schriftenreihe der Hermann-Göring-Akademie der Deutschen Forstwissenschaft. Band 2: 1—133.

Wahlgren, Harold E., Hart, Arthur C. and Maeglin, Robert R. 1966. Estimating tree specific gravity of Maine conifers. U. S. Forest Service Research Paper. FPL-61.

Viljelykuusikoitten puuaineen tiheydestä

Lyhennelmä

Käsillä olevassa tutkimuksessa selvitellään toisaalta runkojen ja toisaalta metsiköitten välistä puuaineen tiheyden vaihtelua viljelykuusikoissa. Tuloksia vertaillaan metsäntutkimuslaitoksessa aikaisemmin tehdyn, luontaisesti syntyneitten metsien puuaineen tiheyttä selvitelleen tutkimuksen (H a k k i l a 1966) tuloksiin.

»Aineisto sisältää 53 metsikköä Etelä-Suomesta (kuva 1). Kustakin metsiköstä on otettu 30 pystykoepuuta, joten kokonaisaineisto koostuu 1 590 rungosta. Tietoja koepuista on esitetty taulukossa 1.

Jokaisesta koepuusta otettiin 5.5 millin paksuinen kairanlastu rinnankorkeudelta. Lastun tiheys määritettiin elohopeaanupottamismenetelmää käyttäen. Rinnankorkeudelta määritetty tiheys muunnettiin koko rungon tiheydeksi regressioyhtälöllä, joka osoittaa rungon keskimääräisen tiheyden rinnankorkeudelta otetun lastun tiheyden funktiona. Yhtälö perustuu 65 kaadettuun koepuuhun, joitten tiheys määritettiin kahden metrin välein sahatuista kiekoista.

Tutkimuksen tärkeimmät tulokset ovat seuraavat.

1. Runkojen välisestä tiheyden vaihtelusta voitiin rungon ulkoisten tunnusten perusteella selittää vain 37 % (taulukko 2). Parhaat selittäjät olivat kasvunopeus ja ikä muodossa tai toisessa. Selittämätön hajonta oli 17.0 kg/k-m^3.

2. Myös metsiköitten välistä vaihtelua selittävät parhaiten metsikön kasvunopeus ja ikä. Selitetyn vaihtelun osuus oli 73 % metsiköitten välisestä kokonaisvaihtelusta. Selittämättä jääneen hajonnan suuruus oli 7.2 kg/k-m^3.

3. Kehittyvän kuusipuun tiheys lisääntyy puun iän kasvaessa ja kasvunopeuden hidastuessa. Tästä syystä on ilmeistä, että nuorista ja nopeakasvuisista metsiköistä saadaan kevyempää puutavaraa kukin vanhoista ja hidaskasvuisista.

4. Ennen kaikkea kasvunopeuden eroista johtuu, että tietyn iän saavuttaneessa viljelykuusikossa puuaineen tiheys on alhaisempi kuin luontaisesti syntyneissä nykymetsissämme vastaavassa iässä. Vertailtavien aineistojen välinen ero oli keskimäärin 5 %, nuorissa metsissä hieman suurempi kuin myöhäisemmällä iällä (kuva 3). Lisäksi on otettava huomioon, että viljelymetsiköissä hakkuut tapahtuvat aikaisemmin kuin luontaisesti syntyneissä.

Erityisesti on kuitenkin huomattava, että viljelymetsiköitten korkea hehtaarituotto ei sinänsä välttämättä edellytä alhaista puuaineen tiheyttä. Tuoton lisäykseen liittyvä puuaineen ominaisuuksien muuttuminen näyttää kuusikoissa riippuvan siitä, keskittyykö kasvunlisäys vain harvoihin puuyksilöihin vai tapahtuuko se osaksi myös kasvatettavien runkojen lukumäärää nostamalla.

5. Tulokset viittaavat siihen, että tulevaisuuden viljelykuusikoistamme korjataan puutavaraa, jonka puuaineen tiheys on keskimäärin alhaisempi kuin nykymetsistämme tulevassa tavarassa. Niin ollen kuusipuuta käyttävän hioke- ja selluteollisuuden tilavuusyksiköissä mitattu raaka-aineen kulutus tulee jonkin verran kohoamaan. Toisaalta on kuitenkin myös huomattava, että puuaineen tiheyden alentumisella ja tasoittumisella on edullinen vaikutus moniin kuusipuusta tehtävän paperin ominaisuuksiin.

A GROWTH MODEL FOR A BIOLOGICAL POPULATION, APPLIED TO A STAND OF PINE

PERTTI HARI

HELSINKI 1968

Helsinki 1968. Valtion painatuskeskus

Preface

I have received valuable assistance and constructive criticism from several persons in preparing this work.

Prof. Gustav Elfving has generously spent much of his time on the development and exact formulation of the problem. Several discussions with Prof. Kullervo Kuusela have provided better understanding of the biological foundations of the problem. Valuable suggestions have also been made by Mr. Pekka Kilkki and Mr. Sakari Salminen.

I wish to express my deepest gratitude to all these persons.

The work has been a part of the growth investigations carried out in the Department of Forest Mensuration and Management of the Forest Research Institute.

Helsinki, September 1968

Pertti Hari

Contents

	Page
A GROWTH MODEL	5
Principles	5
The functions v(s; i, j, . . . , l)	9
The function T(X)	10
Estimation of the regression coefficients a_i	10
Summary	10
APPLICATION	12
General	12
Determination of the soil fertility variable x	13
The density variable y	15
References	16

A GROWTH MODEL

Principles

In this paper we shall be concerned with a homogeneous biological population, the age of which is denoted by t. We suppose that the growth of the population is at each stage essentially determined by certain scalar variables $x, y, \ldots, z$. The state vector $X = (x, y, \ldots, z)$ usually changes with time, and hence is a function of the age t. Beside the objective age t, we introduce a new hypothetical concept, the relative age s, by the equation

$$s(t) = \int_0^t T(X(t))\ dt, \tag{1}$$

where $T(X(t))$ is another hypothetical quantity, to be called the rate of biological maturation. The relative age is supposed to reflect the development phase of the population. If two populations have the same s, they are in the same phase, and will — according to the model which we are trying to construct — develop in the same way under similar circumstances. We can calculate the relative age of a population only if its »history» is known, i.e., if we know $X(t')$ for $t' \leq t$.

We now restrict our attention to a particular measurable quantity V. If the population is a stand of pine, V can, for example, be the mean diameter, the mean height or the volume of the stand. The growth of the quantity V is the derivative $\frac{dV}{dt}$. According to the model sketched in the previous paragraph, this growth will depend only on the relative age s (and not on actual age t) and on the state vector X of the population, and hence

$$\frac{dV}{dt} = v(s(t),\ X(t)). \tag{2}$$

Integrating (2) from t_1 to t_2 we obtain

$$\int_{t_1}^{t_2} v(s(t),\ X(t))\ dt = V(t_2) - V(t_1) = \triangle V. \tag{3}$$

If we know the history of the population — i.e., the function $X(t)$ for all t — then we may, for any given pair of functions $T(X)$, $v(s, X)$, calculate the theoretical increment $\triangle V$ and compare it to the actual increment $\triangle W$. We may then try to determine the functions T and v on the basis of a large number of populations by means of some fitting procedure, for example in such a way that

$$\sum_i (\triangle V_i - \triangle W_i)^2 = \min. \tag{4}$$

The populations are labelled with $i = 1,2, \ldots$.

The functions v and T can be approximated in many ways. When regression analysis is used, difficulties will arise from the lack of appropriate scalar variables describing the circumstances of growth. If the population is a stand of pine, we have to begin with to determine these scalar variables $x, y, \ldots, z$. The regression analysis easily levels out a great deal of the variation that takes place in nature and thus the growth model becomes inaccurate. In addition the regression analysis has the inconvenience that we often have too many parameters to estimate.

In the following we propose an alternative which has the advantage that the growth model is elastic and there are relatively few parameters to be estimated.

We start with some preparatory remarks concerning the two-dimensional plane. Using the points (i, j) of the integer lattice, each point (x, y) of this plane can be presented in the form

$$(x,\ y) = \sum_{i,\ j} \alpha^i(x)\ \beta^j(y)\ (i,\ j), \tag{5}$$

where the interpolation factors α^i are functions of x defined by

$$\alpha^i(x) = \begin{cases} 0 & , \text{ if } i + 1 < x \\ [x] + 1 - x & , \text{ if } i \leq x \leq i + 1 \\ x - [x] & , \text{ if } i - 1 \leq x \leq i \\ 0 & , \text{ if } x < i - 1 \end{cases} \tag{6}$$

and correspondingly for β^j. As usual, $[x]$ denotes the largest integer less than or equal to x. In eq. (5) we consider (x, y) as well as all the (i, j) as vectors. Consider, for instance, the point $\left(2\frac{1}{3}, 1\frac{3}{4}\right)$. Then

$$\alpha^1 = 0,\ \alpha^2 = \frac{2}{3},\ \alpha^3 = \frac{1}{3},\ \alpha^4 = 0,\ \alpha^5 = 0,\ \ldots$$

$$\beta^1 = \frac{1}{4},\ \beta^2 = \frac{3}{4},\ \beta^3 = 0,\ \beta^4 = 0,\ \beta^5 = 0,\ \ldots$$

We calculate the sum in eq. (5) and obtain the correct point $\left(2\frac{1}{3}, 1\frac{3}{4}\right)$

$$\sum_{i,\,j} \alpha^i(x)\ \beta^j(y)\ (i,\ j) = \frac{2}{3}\frac{1}{4}\,(2,\ 1) + \frac{2}{3}\frac{3}{4}\,(2,\ 2) + \frac{1}{3}\frac{1}{4}\,(3,\ 1) + \frac{1}{3}\frac{3}{4}\,(3,\ 2) = \left(2\frac{1}{3},\ 1\frac{3}{4}\right)$$

The following figure may illustrate the situation:

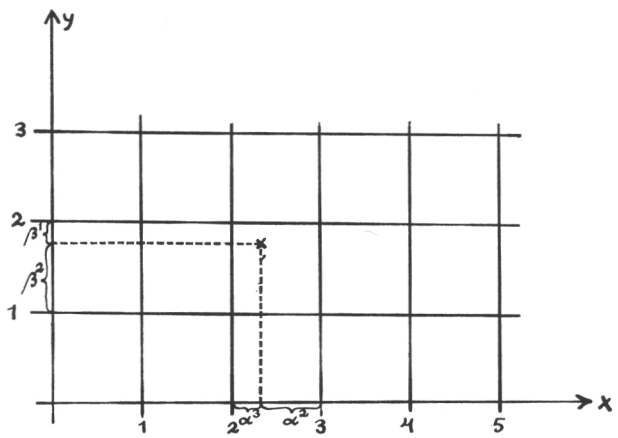


Figure 1

The representation (5) can easily be generalised to describe n-dimensional space. The point $(x, y, \ldots, z)$ will then be represented in the form

$$(x, y, \ldots, z) = \sum_{i,\,j,\,\ldots,\,l} \alpha^i(x)\ \beta^j(y) \cdots \gamma^l(z)\ (i,j, \ldots, l). \qquad (7)$$

Equation (7) is easily proved by induction. Its right hand side contains at most 2^n terms different from zero.

Let g be a function in n-dimensional space. We approximate the function g with the formula

$$g(X) \approx \sum_{i,\,j,\,\ldots,\,l} \alpha^i(x)\ \beta^j(y) \cdots \gamma^l(z)\ \ g(i,\ j,\ \ldots\ ,\ l). \tag{8}$$

The approximation provided by the interpolation formula (8) is the better the more regular the function g is; the formula is exact if g is a linear function. Then g can be represented as a scalar product as follows

$$g(X) = a \cdot X = a_1 x + a_2 y + \cdots + a_n z,$$

where $a = (a_1,\ a_2,\ \ldots\ ,\ a_n)$. We can apply eq. (7) to the scalar product above

$$\begin{aligned} g(X) = a \cdot & \sum_{i,\,j,\,\ldots,\,l} \alpha^i(x)\ \beta^j(y) \cdots \gamma^l(z)\ \ (i,\ j,\ \ldots,\ l) \qquad (9) \\ = & \sum_{i,\,j,\,\ldots,\,l} \alpha^i(x)\ \beta^j(y) \cdots \gamma^l(z)\ \ (a_1 i + a_2 j + \cdots + a_n l) \\ = & \sum_{i,\,j,\,\ldots,\,l} \alpha^i(x)\ \beta^j(y) \cdots \gamma^l(z)\ \ g(i,\ j,\ \ldots\ ,\ l). \end{aligned}$$

In (8) the function $g(X)$ is given in terms of its values in the corner points of the cell to which X belongs.

After these preparations we return to our growth model. Suppose that we know the function v for certain constant state vectors $X = (x^i, y^j, \ldots, z^l)$, as a function $v(s, X)$ of the relative age s. Usually the functions $v(s, X)$ are measured from nature. I will later return to this question. Usually the values of a component of the state vector constitute an ordered set which a priori has no metric. We thus may give conventional values to some of the states. For simplicity we may choose

$$\begin{aligned} x^i &= i \\ y^j &= j \\ &\cdots \\ z^l &= l \end{aligned}$$

Each value of the state vector determines corresponding numbers $\alpha^i,\ \beta^j, \ldots\ ,\ \gamma^l$, which mostly are zeros. In practical applications we can measure the values of the variables $x,\ y, \ldots\ ,\ z$ for each population and each time point.

We now approximate our function $v(s, X)$ by interpolation between the values at the integer lattice points of the state vector as we did in eq. (8):

$$v(s, X) = \sum_{i, j, \ldots, l} \alpha^i(x)\, \beta^j(y) \cdots \gamma^l(z)\, v(s;i, j, \ldots, l) \qquad (10)$$

In (10) we account for the changes in the environmental influences by means of the interpolation factors $\alpha^i, \beta^j, \ldots, \gamma^l$. In this way we can approximately calculate the growth at any given state from known growth rates as soon as we know the relative age and the state vector of the population.

The function v(s; i, j, . . . , l)

We have defined the functions $v(s;i, j, \ldots, l)$ of s as increment rate of the quantity V in a biological population that grows under the constant circumstances $(i, j, \ldots, l)$. (It is part of our model that this rate depends only on the relative age s.) The functions $v(s;i, j, \ldots, l)$ may be determined, for example, as follows. Denote $k = (i, j, \ldots, l)$. We let some populations grow under the constant circumstances k. For these populations we can measure the growth $f(t\ ;\ k)$ of the quantity V as a function of the age t and the circumstances k.

Denote $T_k = T(k)$. According to its definition, the relative age s under the constant circumstances k is

$$s(t) = \int_0^t T(k)\, dt = T_k\, t. \qquad (11)$$

Thus

$$t = \frac{s}{T_k} \qquad (12)$$

under the constant circumstances k.
We combine eq. (12) with the function $f(t;k)$. According to the definition of the function $v(s;k)$ we have

$$v(s;k) = f\left(\frac{s}{T_k}\ ;k\right).$$

In this way we may determine the functions $v(s;k)$ as soon as we know $T(X)$ at the points of the integer lattice.

The function T(X)

One may use various approximations for the function $T(X)$. The simplest is probably

$$T(X) = 1 + a_1(x - x^\circ) + a_2(y - y^\circ) + \cdots + a_n(z - z^\circ), \qquad (13)$$

where $(x^\circ, y^\circ, \ldots, z^\circ) = X^\circ$ is some suitable point of the integer lattice. Two functions $T_1(X)$ and $T_2(X)$ yield the same growth, if $T_1(X)/T_2(X) =$ constant. Hence $T(X)$ is determined only up to a constant factor, which we have chosen so as to make the constant term in (13) equal 1.

Estimation of the regression coefficients a_i.

Suppose that we have m test populations growing under different and varying circumstances. For each population we know the state vector as a function of the age t. For each hypothetical system of coefficients $(a_1, a_2, \ldots, a_n)$ we may according to (13) calculate the rate of maturation $T(X)$ at all time points t, and using this T we may calculate the rate of growth v according to eq. (2) and (10).

In order to determine the actual $a_1, a_2, \ldots, a_n$ we divide the growing time of each population into suitable periods. Denote the measured growth during the period j of the population l by $\triangle W_{jl}$. For each system of coefficients $a = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ we know the growth rate v. According to eq. (3) we may calculate the growth during the period j of the population l. Denote this growth by $\triangle V_{jl}(a)$. We then try to determine the coefficients a_i so that

$$\sum_{j,\,l} (\triangle W_{jl} - \triangle V_{jl}(a))^2 = \min. \qquad (14)$$

The minimization problem (13) can not be solved explicitly, since the sum $\sum (\triangle W_{jl} - \triangle V_{jl}(a))^2$ is only known as a numerical function of the regression coefficients a_i. Using a computer one may find an approximate solution of (14) by means of some iteration procedure.

Summary

When applying the growth model described we suggest the following procedure:

At first choose the scalar variables $x, y, \ldots, z$ which are the main growth factors. Then choose the values $x^i, y^j, \ldots, z^l$ which constitute the points

of the integer lattice. After this measure empirically the functions $f(t;i, j, \ldots, l)$, which in turn determine the functions $v(s;i, j, \ldots, l)$ for each hypothetical set $(a_1, a_2, \ldots, a_n)$. Finally, estimate the coefficients a_i according to the paragraph above. Now the model is ready for use and we can, for example, calculate the state vector $X(t)$ that gives the biggest yield. The variation problem mentioned above cannot be solved explicitly, but with a computer the solution can be approximated. The state vector $X(t)$ obtained in this way is a function of the age of the population. The result must be verified by experiments.

The growth model here presented differs considerably from regression analysis methods in its use of empirical data. In regression analysis we make separate observations from which we determine the parameters. In the growth model above we observe growth series under standard conditions. Using the growth series we then interpolate the growth under arbitrary circumstances. This method emphasizes the crucial role of age which corresponds to the actual biological situations. A model constructed in this way is elastic, as it is not necessary to assume that the effect of each growth variable is of some particular simple form (e.g. cx, cy^2 or c/t).

APPLICATION

General

The purpose of this part of the paper is to demonstrate the applicability of the model when the population is a pine stand.

We are now going to apply our model to the growth of the mean diameter of the trees of a pine stand. Of the material available on Finnish pine woods I find Vuokila's growth and yield tables most suitable for determining the functions $v(s;i, j, \ldots, l)$. The functions obtained in this way are, however, not quite satisfactory, since the method used in preparing the growth tables is likely to level out a considerable part of the variation occurring in nature, and the inclusion of this natural variation in the functions v is an essential feature of the proposed growth model. Our specific intention is to construct a growth model which is more sensitive to natural variation than regression analysis.

The method for determining the functions $v(s;i, j, \ldots, l)$ described on the page 9 is probably not very suitable for data concerning forests, as it takes too long time to obtain the necessary information. In the following we shall present one way of determining the functions $v(s;i, j, \ldots, l)$ from Vuokila's growth and yield tables. When more experience is gained, one will probably have to abandon these tables, but even with the functions v obtained in this way it is possible to classify the available material more accurately than previously. This is done using the soil fertility variable and the density variable which will be defined later. These new variables enable us to reconstruct the growth and yield tables in a new way, which will probably permit a satisfactory determination of the functions $v(s;i, j, \ldots, l)$.

Using Vuokila's tables we can, for a pine stand, determine the growth of the diameter, the mean height, and the total yield as a function of age under circumstances determined by the soil fertility, the tree density and the geographical location.

We suppose that we can describe soil fertility, tree density, and geographical location by means of the scalar variables x, y, and z. They will be chosen according to the following table:

$x = 1$ soil fertility equivalent to Vuokila's site class I
$x = 2$ » » » » » » » II
$x = 3$ » » » » » » » III
$x = 4$ » » » » » » » IV
$y = 1$ tree density equivalent to Vuokila's light treatment
$y = 2$ » » » » » medium »
$y = 3$ » » » » » heavy »
$z = 1$ stand located in Northern Finland
$z = 2$ » » » Central »
$z = 3$ » » » Southern »

Using the tables of Vuokila (1967) we determine the growth $f(t; i, j, l)$ of the mean diameter of the timber in the stand as a function of the age t under the circumstances $x = 1, 2, 3, 4$, $y = 1, 2, 3$, and $z = 3$. Using the tables we get points on the tf—plane with which we obtain:

$$f(t; 1, 1, 3) = \begin{cases} 0.25 - \dfrac{0.25}{20}\,(t - 35)\,, & \text{when } 14 \leq t \leq 35 \\ 0.25\,, & \text{when } 35 \leq t \leq 78 \end{cases} \tag{15}$$

$$f(t; 2, 1, 3) = \begin{cases} 0.21 - \dfrac{0.17}{20}\,(t - 35)\,, & \text{when } 15 \leq t \leq 35 \\ 0.21\,, & \text{when } 35 \leq t \leq 95 \end{cases}$$

and so on.

By means of the functions $f(t; i, j, l)$ we can define the functions $v(s; i, j, l)$ in the manner explained on the page 9.

In the following we shall illustrate how, by means of our growth model, the soil fertility of a stand can be determined in a new way using the soil fertility variable.

Determination of the soil fertility variable x

Consider a stand where it is assumed that the fertility does not change with time. We denote its age at the beginning of the investigation period by t_o, and the mean diameter under the bark of the trees by $D_u\,(t)$. We suppose that we possess an estimate of the density $y(t)$ of the stand for $t \leq t_o$. We are able to measure the mean diameter $D_u\,(t_o)$ at the age t_o. The variable z is constant for each stand and we know its value. The mean diameter of a stand calculated according to the model is a decreasing function of the fertility variable x, when the density variable $y(t)$ is known. Hence in the case of the fertility variable x being constant for $t \leq t_o$, we can solve x from the equation

$$D_u\ (t_o) = \int_0^{t_o} \sum_{i,\,j,\,l} \alpha^i(x)\beta^j(y)\gamma^l(z)\ v(s;\ i,\ j,\ l)\ dt. \tag{16}$$

The fertility variable calculated in this way is not exact, since the estimated density variable $y(t)$ causes some error, and besides the mean diameter changes very easily with tree felling. The result improves considerably if x is calculated according to the method above including also the mean height and the dominant height of the stand, and taking a weighted mean value of the three fertilities thus obtained.

As an example, we shall examine a permanent sample plot in the state forest of Nikkilä established by the Forest Research Institute in Finland.

When the test area was established, the stand of pines was 50 years old and the mean diameter $D_u(50) = 13.7$ cm. From the data available on the stand I have concluded that $y(t) \approx 2$, when $t \leq 50$.

We solve approximately the equation

$$13.7 = \int_0^{50} \sum_{i,\,j,\,l} \alpha^i(x)\beta^j(y)\gamma^l(z)\ v(s;\ i,\ j,\ l)\ \mathrm{dt} \tag{17}$$

We can immediately sum over j and l, since $\beta^2 = 1$ and $\gamma^3 = 1$, and the other β:s and γ:s are zeros, obtaining

$$13.7 = \int_0^{50} \sum_{i} \alpha^i(x)\ v(s;\ i,\ 2,\ 3)\ \mathrm{dt}. \tag{18}$$

For $x = 2$, according to the tables,

$$\int_0^{50} \sum_{i} \alpha^i(x)\ v(s;\ i,\ 2,\ 3)\ \mathrm{dt} = \int_0^{50} v(s;\ 2,\ 2,\ 3)\ \mathrm{dt} = 14.7 \tag{19}$$

The fertility of the stand is thus more than 2. The corresponding mean diameter is 13.4, when $x = 3$. Thus the value of the fertility variable of this plot is about 2.8.

The above-mentioned method of determining the soil fertility of a stand is appreciably more accurate than the conventional division into fertility categories. Another characterization of soil fertility now in common use is based on dominant height h_d and age. Even in this case it is implicitly assumed that fertility is a scalar variable. When the dominant height is used, the supposedly scalar fertility is characterized by a pair of numbers

$(h_d; t)$, which seems formally unsatisfactory and makes the comparison between two stands difficult. For instance, it is difficult to decide which of the two fertilities (14.7, 47) and (22.1, 61) is better. Besides, when the dominant height is used to characterize fertility, it is implicitly assumed that neither density nor tree felling influences the dominant height. According to the tables collected by Koivisto it apperars that these assumptions are invalid at least in the case of spruce. Also in pine woods there is considerable variation in dominant height between stands of different densities on Calluna type sites.

The density variable y

It is a common practice in forest sciences to describe the density of a stand by the basal area A per hectare. Even in this case it is implicitly assumed that the quantity in question is a scalar variable. Although the basal area gives a good idea of the value of the timber and changes caused by felling, the basal area alone is insufficient for describing the density since A depends also on other factors, namely, at least, on the soil fertility and the age of the stand. Thus to describe the density of a stand the number triple (A, t, x) is needed. But the density of a stand is assumed to be a scalar and therefore the above-mentioned method of describing the density is probable not the most suitable one. Using our growth model we can determine the density of a stand in a new way as a scalar variable y.

Suppose that the basal area of a stand is a function of the relative age s and of the state vector of the stand, $A = A(s; X)$ .We can approximate the function $A(s; X)$, as we have done in eq. (8), by

$$A(s; X) = \sum_{i, j, l} \alpha^i(x)\beta^j(y)\gamma^l(z)\ A(s; i, j, l), \tag{20}$$

where $A(s; i, j, l)$ is the basal area of a stand that grows under the circumstances $X = (i, j, l)$, and the state vector of the stand determines the coefficients α^i, β^j, and γ^l. The functions $A(s; i, j, l)$ are measured from nature in the same way as the functions $v(s; i, j, l)$. We denote by $A(t)$ the basal area of the pine stand that we are studying as a function of its age t. The approximation given by the equation (19) is a decreasing function of y. Hence we can at each age t solve the equation

$$A(t) = \sum_{i, j, l} \alpha^i(x(t))\beta^j(y(t))\gamma^l(z)\ A(s; i, j, l). \tag{21}$$

This equation determines the density $y(t)$ as a function of t. If the density of a stand changes considerably due to felling, the density variable determined by the equation (21) will not give an accurate picture of the growth environment, as some time will have to elapse before the growth potentiality of the stand is re-established. Therefore we have to allow for a period of accomodation.

We assume that the density of a stand has been $y(t) \approx y_0$ before a certain felling is undertaken at the age t_1 and that after this felling the density obtained from eq. (21) is on an average $y \approx y_1$. According to the conventional values we gave to y we have $y_1 > y_0$. If $y_1 - y_0 > 1$, the adjustment to the new density will take some time. We denote the time of accommodation by $a(t_1)$. During the time $a(t_1)$ one will have to use an »interpolated» density

$$y(t) = y_0 + \frac{t - t_1}{a(t_1)} (y_1 - y_0). \tag{22}$$

After the period $a(t_1)$ the density given by the equation (21) is used. The function $a(t_1)$ must be determined from empirical data. It is evidently an increasing function of t_1.

References

Koivisto, P.: Growth and yield tables. Helsinki 1959. (Finnish, summary in English).

Vuokila, Y.: Growth and yield tables for pine stands treated with intermediate cuttings of varying degree for southern central Finland. Helsinki 1967. (Finnish, summary in English).

GEOGRAPHICAL VARIATION OF SOME PROPERTIES OF PINE AND SPRUCE PULPWOOD IN FINLAND

PENTTI HAKKILA

ERÄITTEN MÄNTY- JA KUUSIPAPERIPUUN OMINAISUUKSIEN MAANTIETEELLINEN VAIHTELU SUOMESSA

HELSINKI 1968

Helsinki 1969. Valtion painatuskeskus

Preface

We know that there are differences in the yield and quality of the end products of pulpmills located in various parts of Finland. For our forest industry, which works under the strain of both shortage of raw material and a cost crisis, it would be important to know the reasons for these differences. One factor might be assumed to lie concealed in the raw wood itself, but the geographical variation of pulpwood properties has not been studied in our country to any sufficient extent.

At the Department of Forest Technology, Finnish Forest Research Institute, a study series dealing with the density of wood has been in progress for several years already. The first three investigations were carried out within a limited, quite narrow geographical region. The study at hand, which in 1966 was able to be connected with the same project, deals with the geographical variation of pulpwood properties, thus seeking to eliminate the shortcomings of previous investigations.

When work was started, the chief of the Department was Professor, Dr. Paavo Aro, who was later succeeded by Professor, Dr. Veijo Heiskanen. They have both contributed to the accomplishment of the investigation in several ways. The manuscript was read by Professor, Dr. Veijo Heiskanen. Mr. Juhani Kalla and Mr. Ilpo Palenius gave valuable advice in questions concerning pulp industry.

The bulk of the field work was supervised by Mr. Teuri J. Salminen. In addition, field work was carried out by Mr. Tapio Erkkilä, Mr. Karl Erik Malmberg and Mr. Ossi Välilä. The landings, at which the material was collected, were placed at our disposal by the Forest Service as well as local representatives of various forest industry companies.

The laboratory work was performed by Mrs. Taija Havanto, Mrs. Kaarina Koskinen and Miss Irma Kumpulainen. Furthermore, the material was treated by Mrs. Arja Panhelainen, Miss Sirkka Renfors, Mrs. Aune Rytkönen and Mr. Evert Saviola.

The acetone extractive determinations were done at the Finnish Pulp and Paper Research Institute under the supervision of Mr. Seppo Ka-

hila. Data processing was carried out at the Finnish State Computer Center, and in the statistical treatment of the material Mr. Risto Seppälä gave his valuable help. The Finnish manuscript was translated into English by Mr. Karl-Johan Ahlsved.

I wish to extend my warmest thanks to all the persons mentioned as well as to all other persons who have taken part in the work.

Helsinki, November 1968.

Pentti Hakkila

Contents

	Page
1. Introduction	7
2. Material	12
3. Methods	13
31. Collection of samples	13
32. Laboratory work	14
33. Statistical procedures	15
4. Results	17
41. Diameter	17
42. Ring width	19
43. Percentage of heartwood	22
44. Percentage of summerwood	25
45. Basic density	29
46. Extractives	36
47. Pulpwood properties by zones	43
5. Discussion	49
6. Summary	53
Literature cited	54
Lyhennelmä	60

1. INTRODUCTION

One presupposition for the development of a modern industry is research activity that also gives scope to investigations concerning the raw material. In this respect, the Finnish pulp industry has not followed the example of other branches of industry because even the fundamental properties of raw wood are still unclear. »If we want to find the reasons for the »stage of underdevelopment» of our methods of pulp manufacture, we cannot escape the observation that our knowledge of the structure and properties of wood are extremely deficient» (B r u u n 1967). The slight but still distinct increase in the wood consumption per ton of pulp in some mills during recent years, the differences in the yield and quality of the end products at mills located in different parts of Finland as well as other corresponding phenomena, however, have begun to draw attention. Particularly, the problem of the different properties of pulpwood from South- and North-Finland has become increasingly pressing, and interest in this problem has certainly not decreased in view of the many difficulties which beset North-Finnish industry.

As a result of this trend, research workers have ever more frequently been called on to provide industry with information; however, for the part of northern Finland in particular we have not been able to do more than confirm that the information wanted is not available due to lack of investigations. In the spring of 1966 the Department of Forest Technology, Finnish Forest Research Institute, eventually started an investigation in order to establish the geographical variation of the properties of the wood of Scots pine *(Pinus silvestris* L.) and Norway spruce *(Picea abies* (L.) Karst.), the two most important species from the viewpoint of pulping in Finland. When planning the present investigation, two primary considerations posed themselves: on the one hand, the urgent need of practical information and, on the other hand, the impossibility of including all the properties of wood within the scope of the study. Because of lack of efficient instruments, many properties of wood that are important in the manufacture of pulp and paper, such as fibre length, cell wall thickness, fibril orientation and cellulose content had to be excluded from the investigation.

On the other hand, it turned out to be useful and possible to include the proportion of summerwood to springwood on the volume basis, which is

denoted as percentage of summerwood, in the study. Compared with springwood, summerwood consists of thicker-walled cells so that a unit volume of wood contains more fibre the higher the percentage of summerwood. Both spring- and summerwood cells have their advantages in paper making. Springwood pulp forms a dense, relatively nonporous sheet with high tensile properties while summerwood pulp is a fast-draining pulp and forms a highly porous sheet with good formation and high tear (Jones, Campbell and Nelson 1966).

Another wood quality indicator, density, denotes the dry-matter weight per unit volume of wood, so that a cubic metre of pulpwood contains more fibre the higher the density. For instance, there is a linear correlation between the pulp yield and wood density in Norway spruce (Klem 1949), in southern yellow pines (Mitchell and Wheeler 1959) and in Scots pine (Makkonen 1967 a). In addition to this, density can also be used to predict the properties of paper obtained from pulpwood.

Percentage of summerwood and wood density give an indication of the cell wall thickness compared with lumen diameter, for summerwood, and dense wood in general, is composed of thick-walled cells. Thick-walled fibres retain their original rounded cross-section form in paper-making, while thin-walled fibres collapse, which facilitates the bonding of fibres (Runkel 1942). When southern pine is pulped, the springwood fibres collapse into ribbon-like forms 40—65 microns wide and 10—12 microns thick, or twice the cell wall thickness, but summerwood fibres retain their tubular form, 25—35 microns in diameter with wall thickness of 10—15 microns (Jones, Campbell and Nelson 1966). The percentage of collapsed fibres depends mainly on the cell wall thickness and the pulping process (Page 1967).

This behaviour of fibres affects the paper properties. The most suitable wood for a certain purpose depends on the type of paper and its end use. Paper made from thin-walled cells is dense and opaque with high tensile and bursting strength, while tear is highest in paper made from thickwalled fibres (Mitchell 1961). High-density wood is the most suitable for production of certain types of paper, while low-density wood is the best for other types.

When the proportion of thick-walled fibres increases, the beating time required in pulp production lengthens and sheet formation becomes more difficult. Simultaneously, the paper surface becomes rougher and the folding endurance of paper weakens (Dadswell and Wardrop 1959). Moreover, thin-walled springwood fibres require less bleaching to reach a desirable degree of whiteness (Edlin 1965). In general, it is desirable that the thickness of the cell wall should be less than half of the lumen diameter (Dadswell, Wardrop and Nichols 1959).

Wood density depends primarily on the ratio between the volume of cell walls and the total volume of intra- and intercellular spaces. A detrimental factor, however, is the extraneous materials in wood. These are extraparietal substances which are not considered an essential structural part of the cell wall or middle lamella. Many of them are readily soluble in neutralic organic solvents or cold water, and they are called extractives (Browning 1967). The importance of the role played by extractives is out of all proportion to the amount present in the tree. Not only are they of considerable value in understanding the biochemistry and taxonomy of trees, but they also contribute to many important wood properties, for instance in pulping (Anderson 1965). Because the amount of extractives in timber is known to vary between southern and northern Finland (Finnish Pulp and Paper Research Institute 1949 a and b) their existence must not be ignored in a study of the geographical variation of pulpwood properties.

Strictly speaking, the *actual density of wood* is concerned only with the amount of cell-wall substance present per unit of volume. In practice, on the other hand, only the *relative density of wood* is computed since it is impractical to attempt to separate the infiltration products from the wood substance proper. Figures for relative density, therefore, include both cell-wall substance and extractives (Brown, Panshin and Forsaith 1949). In this study, if not otherwise mentioned, the term density refers to the relative density.

The extractives that are soluble in organic solvents include fatty and resin acids, their esters, unsaponiable substances, waxes, colouring matters, etc. Most extractives are dissolved by the cooking liquour during delignification in the chemical pulping process. The pulp yield per unit weight of wood decreases correspondingly if the amount of extractives in pulpwood increases. Thus, the density of extracted wood gives a better idea of pulp yield than that based on unextracted wood (Barefoot, Hitchings and Ellwood 1964). Taras and Saucier (1966) developed linear regression equations to predict values for extracted density from values determined in unextracted material.

In addition to reduction of pulp yield, the extractives are often responsible for increased chemical consumption, inhibition of pulping reaction, equipment corrosion and lowering of pulp and paper properties (cf. Gardner and Hillis 1962). In pulp and paper manufacture free resin tends to coagulate and adhere to fibres and metal surfaces thus causing so called pitch troubles. Pitch has its source in the extractives that are incompletely removed in acidic pulping processes or groundwood pulping. Alkaline processes, on the other hand, can deal with resin so that pitch is no trouble in sulphate pulping of Scots pine.

Pitch is undesirable in paper making owing to its tendency to form deposits which may interfere with paper machine operation and which may be dispersed in the stock to form spots or cause holes in the finished paper (cf. Browning 1967). Resin deposited on fibre surfaces not only prevents bonding between a glue and the fibre material, but also between the fibres themselves. The ability of wood fibres to form bonds with each other, however, is a fundamental property of the fibres and a necessary requirement for paper strength (Brandal and Lindheim 1967). Extractives can also influence the colour changes which occur during manufacture of groundwood and newsprint and storage of the latter (Hillis and Swain 1962). Moreover, extractives are known to cause wettability and penetrability problems.

Softwoods contain more extractives than hardwoods on the average. Among the softwoods, on the other hand, the pines have a very high extractive content. As mentioned before, the sulphate pulp mills do not usually have serious problems with deresinification but are interested in a high yield of by-products derived from the extractives. In the sulphate process the resin is dissolved by the cooking chemicals and can be easily separated from the liquour. Because the recovery of the most inportant by-products — tall oil and turpentine — is profitable in sulphate pulping, a high extractive content is often desirable in Scots pine pulpwood. As for Norway spruce pulpwood, the opposite is true, and various measures must be resorted in order to reduce the amount of extractives and to change their composition before the pulping process (cf. Kahila 1964).

When inner sapwood changes to heartwood cell walls become infiltrated with various substances, which may add appreciably to the weight of wood. It is also known that the extractives in heartwood and sapwood differ in composition (Cohen 1962). Separate cookings of heartwood and sapwood of Scots pine and Norway spruce have shown that the two wood components behave differently in pulping. Differences are noted in the pulp yield, chemical consumption, yield and nature of by-products and properties of importance in paper manufacture (Bruun and Willberg 1964). For instance, a negative correlation exists between the sulphate pulp yield per a unit of weight of wood and the proportion of heartwood in Scots pine pulpwood (Makkonen 1967 a). From the point of view of pulping, sapwood and heartwood behave like different tree species (Bruun 1965).

In accordance with the afore-said, the wood properties to be studied in this investigation were chosen as follows: the percentage of summerwood, basic density, extractive content and percentage of heartwood. It was considered that knowledge of these properties will provide a satisfactory picture

of the pulp yield per cubic metre as well as of the properties of the wood and pulp in different parts of the country. In addition, the ring width was included in the examination because it, too, may be considered an indicator of pulpwood quality (cf. Kollmann and Coté 1968), likewise the average bolt diameter, which, for instance, influences the logging costs. The last-mentioned properties caused only a slight increase in the amount of work to be done.

Thus, the aim of the study came to include the determination of the geographical variation in bolt diameter, ring width, heartwood percentage, summerwood percentage, wood density, and extractive content of Scots pine and Norway spruce pulpwood. The investigation was confined exclusively to defect-free wood, whereas all defects, the significance of which, too, is different in various parts of the country, were excluded from the examination. The principal attempt was to compare the properties of pulpwood from large geographical regions and to divide the country into smaller areas within which the average properties of pulpwood are as uniform as possible. It was considered particularly important to establish the possible special properties of wood grown in northern Finland.

2. MATERIAL

The material was collected from May through September in 1966 and 1967 from 85 localities. A sample of 150 increment cores was taken from each tree species in each locality. This work had to be carried out during the summer because satisfactory cores cannot be bored from frozen wood. In order to get defect-free cores borings were carried out only on unbarked timber because green wood gives better cores than dry wood. Only bolts free from defects were accepted and the cores were always bored such that they did not include knotwood. Taking these conditions into consideration all bolts meeting the requirements with regard to the minimum top diameter, 7 cm under bark, were accepted. A certain amount of undersized bolts was also included in the material.

In certain cases the sample from a locality came to include exceptionally many pulpwood bolts from the tops of saw timber trees. Partly for this very reason the results obtained from a locality may differ to a considerable degree from the observations made in surrounding localities. However, the goal of this study was not to determine the properties of pulpwood of a certain locality, but to establish the geographical variation of average pulpwood properties within the range of the whole country.

Property	Number of cores		
	Per locality and species	Pine in total	Spruce in total
Diameter	150	12 750	12 300
Ring width	50	4 250	4 100
Percentage of heartwood	150	12 750	—
Percentage of summerwood	50	4 250	4 100
Basic density	100	8 500	8 200
Extractives	50	4 250	4 100
In total	150	12 750	12 300

The table shows the number of cores used for the study of each property. At first, the diameter of each core was measured and for pine, in addition, the length of the part consisting of heartwood. Thereafter, the cores representing a certain locality were divided into two parts such that 50 were used in studies on the extractives and the remaining 100 for determination of the basic density of the wood. From half of the latter group the ring width and the percentage of summerwood were furthermore determined.

3. METHODS

31. Collection of samples

Before starting the field work the localities from which it was intended to collect the study material were marked at uniform distances on a map of Finland. However, it was not always possible to find proper timber in the localities so determined, and in such instances the corresponding sample had to be collected from a place situated as close as possible to the locality originally marked out for sampling.

With regard to the representativeness of the samples, it was important that they consisted of timber from several different stands. For this reason samples were collected, whenever possible, from more than one landing in the same locality. On all occasions this was not, however, possible and, consequently, the number of landings studied in each locality varied between one and four.

The number of stacks at the landings studied varied, and in order to increase the representativeness of the material, cores were taken from as many stacks as possible. The sample from a certain locality included always 150 bolts; thus, the number of bolts representing individual stacks varied to a considerable degree. For practical reasons it was not reasonable to take apart the stacks for sampling, but the cores were bored at random from bolts situated in the ends and upper parts of the stacks.

When employing such a method, the question arises whether bolts situated in the end and upper parts of stacks actually represent all the bolts of the stacks in question. It is, as a matter of fact, known that workers, in order to make their work lighter, tend to place larger bolts in the lower parts of the stacks.

In order to check this circumstance samples of the diameter distribution of the bolts in the stacks under study were taken at random. The paired observations t-test carried out with this material indicates that the diameter of the bolts which were bored was significantly smaller than the average diameter for the whole stacks; however, the difference averages only 0.6 cm. A corresponding correction was made in the results describing the geographical variation of the average diameter of pulpwood bolts.

Consequently, sample bolts were only obtained, for practical reasons, from the end and upper parts of the stacks. Except for this restriction, the

bolts were taken at random. If, however, a bolt obtained in this way was defective, it was rejected and replaced with another.

From each bolt a core measuring 5.5 mm in diameter was bored from cambium to pith. When necessary, however, the place of boring could be moved in order to avoid knots. The cores collected in this way — 150 for each locality — were kept in paper tubes until they were treated in the laboratory.

32. Laboratory work

The aim of the investigation was not a comparison between individual bolts, stacks, or landings, but the determination of geographical variation, and the cores were handled in accordance with this situation.

First, the length of the core was measured and the bolt diameter determined on the basis of it. The average bolt diameter for a certain locality was calculated by weighting with the bolt volume, and the figure obtained in this way corrected by adding the value mentioned in the foregoing context in order to compensate for the sampling error.

The following task was to measure the length of the heartwood part in pine cores, which already had been marked in the field on the basis of differences in colour and moisture of the cores. The percentage of heartwood for the various localities was obtained by comparing the heartwood volume of the whole sample with the total volume of the same sample.

When these measurements had been taken, the cores were divided into two parts, one of which included 100 and the other, 50 cores for each locality and tree species. The former part was used to determine the basic density, summerwood percentage, and ring width, whereas the acetone extractive content was determined from the latter part of the cores.

The wood density was determined according to the mercury immersion method developed by Ericson (1959). In this connection there is only reason to mention that the cores were cut into three pieces, the outermost of which represented 50 %, the midmost 40 %, and the innermost 10 % of the total bolt volume. The density of each part was determined separately, and the average bolt density was obtained as their weighted mean. The average density of the 100 cores from each locality was then calculated as a mean weighted by the bolt volume. In this connection basic density refers to the dry weight of green wood in kilograms per solid cubic metre.

Half of the cores handled in the way mentioned above, or 50 for each locality, were also examined with the aid of a Swedish Addo ring-width meter in order to determine the ring width and the summerwood percentage. The innermost part of the cores, however, was not treated because it only represents 10 % of the bolt volume and because measuring the ring width

of this piece is difficult unless the borer has hit the pith directly. Disregarding the innermost part of the cores caused a systematic error in the average ring width and summerwood percentage. At least for pine the ring widths were measured too narrow and the summerwood percentage, too high; however, because of the small significance of the innermost part of the cores, the error is of minor importance only. On the other hand, the ring width tends to be too large in bored samples because the direction of the borer in most cases is more or less incorrect. The means of the bolts were calculated by localities as arithmetical means.

The 50 cores that were used for extractive content studies were cut into two pieces: sapwood and heartwood. In pine this division was based on the border between the heart- and sapwood; in spruce, on the other hand, the cores were cut into two pieces of equal length, the innermost of which represented 1/4 and the outermost, 3/4 of the bolt volume. These two lots of wood samples were both ground in a Wiley mill. The weight of the extractives soluble in acetone was determined from a 10 g sample of this ground wood which was leached for six hours in technical acetone in a Soxhlet apparatus.

The extractive contents obtained are probably lower than those of whole pulpwood bolts on an average because the cores had been stored for several months before they were analysed. During storage extractives escape from the cores; however, the results seem to agree with certain previous investigations (e.g. Finnish Pulp and Paper Research Institute, 1949) in consequence of which one can assume that they allow comparison to be made between pulpwood originating from different parts of the country.

33. Statistical procedure

The final aim was to establish the geographical variation in certain properties of pine and spruce pulpwood in such a way that Finland could be divided in regions within which the pulpwood properties would be as uniform as possible. For a task of classification of material including several variables the multiple discriminant analysis is an economical method.

Multiple discriminant analysis is a procedure for estimating the position of an observation, here a locality, on a line that best separates classes or groups. The estimated position is obtained as a linear function of the locality's test scores, in this particular case, the means of bolt diameter, ring width, amount of heartwood and extractives, percentage of summerwood and basic density. Since one »best» line may not exhaust the predictive power of the test battery in distinguishing among the classes, additional discriminant functions may be fitted. The maximum number of discriminants is indicated

by the lesser of the number of test scores per locality or number of groups minus one (cf. Cooley and Lohnes 1966). The best results were obtained when Finland was divided into four or three areas, and thus the number of discriminants was three or two correspondingly.

In the multiple discriminant analysis, it is attempted to classify the study material such that the among-groups variation is as great as possible in comparison with the within-groups variation. The analysis is based on covariance matrices of the variables. The grouping was carried out by uniting forestry board districts or water system areas so as to form different combinations.

The best result was obtained on a forestry board district basis. The two northernmost districts were divided into two parts, the remaining ones being dealt with as such. Of these 18 forestry board districts and four subdistricts, different regional combinations — 3, 4 or 5 in number — were formed.

Thus, combination of the geographical areas was based on deliberation and the material was processed by an Elliot-503 computer only in order to test the relative profitableness of the various suggestions. Wilk's lambda criterion for the discriminating power of the test battery was used to find out whether the centroids for the different regions differed significantly from each other. The grouping which gave the best test result, i.e., the highest F-value, was accepted as the final zone classification. The results obtained from this grouping are presented in paragraph 47.

In data-processing a program drawn up at the Finnish State Computer Centre on the basis of another program presented by Cooley and Lohnes (1966) was used. This program tests the separability between the groups and gives in addition, for instance, the normalized and scaled vectors as well as the means, standard deviations and correlation matrices of the discriminants. Likewise, the means, standard deviations and correlation matrices of the original variables are obtained both by groups and as the grand mean of the total material.

4. RESULTS

41. Diameter

The logging costs are affected by the bolt diameter. In addition, the diameter influences the buoyancy of the timber, the solid content of stacks, and the dimensioning of machines. Consequently, knowledge of the geographical variation of the diameter of pine and spruce pulpwood is of a certain significance.

Investigations which primarily aim at the establishment of the diameter distribution of timber assortments are usually carried out on the basis of a large material because mere measurement of diameters is simple and fast work. The main goal of the present study, however, was in investigation into the intrinsic properties of wood and, for this reason, its material is quite small for the study of diameter distribution. Because of this circumstance the information to be given in the following context is restricted to concern only average diameters for different localities. Even these figures have to be considered with a certain degree of reservation.

Figure 1 shows the average diameter, by localities, of the bolts included in the study material. The figures refer to the bolt diameter without bark as weighted by the cross-section area. The place of measurement was determined at random. Each figure represents the mean of measurements performed on 150 cores and has been corrected in order to avoid the systematical error caused by the method of sampling.

The differences occuring between various localities are mainly due to differences in stem form and size of the trees. In addition, however, they have also been affected by the grading rules for pulpwood and sawlogs that have been employed in each separate case. The greatest influence naturally comes from the minimum diameters for different timber assortments, which for pulpwood in most cases seem to have been 7 cm. However, there are always also bolts that do not meet the requirements. Differences between the localities are also due to the variation in the proportion of pulpwood converted from the top parts of saw timber trees because such pulpwood is larger in diameter than normal pulpwood (cf. M a k k o n e n 1959). The minimum diameter for saw logs that has been employed on each separate occasion is impossible to estimate afterwards, but it varies usually within

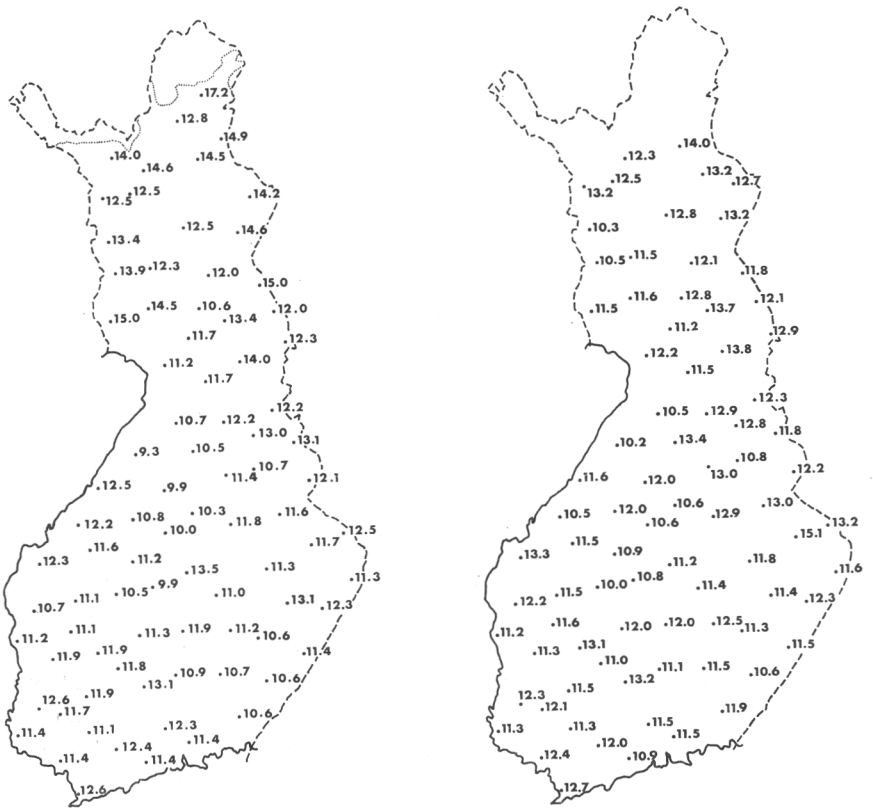


Figure 1. The local variation of diameter of pulpwood bolts without bark, in centimetres, in the present material.

Kuva 1. Paperipuun keskiläpimitta senttimetreinä kuoretta paikkakunnittain tutkimusaineistossa.

the range of 5—7 in. depending on the quality of the timber, the location of the stand, the price conditions, and the needs of the buyer.

The minimum diameter of spruce saw logs is usually slightly greater than that of pine logs. This is probably the main reason why pine pulpwood, except in the northernmost part of the country, is slightly smaller in diameter than spruce pulpwood. The difference, however, is very small.

In Table 1 the country has been divided into regions by latitudes, in the northernmost of which the average diameter of pulpwood bolts exceeds that encountered in other regions. In pine the difference is marked and statistically highly significant, and even in spruce the region north of the 66th parallel differs significantly from that south of the 64th parallel. In the first instance this is so because the trees of the northernmost areas — Koillis-Suomi and Lappi Forestry Board Districts — are often over-aged and

Table 1. Latitudinal variation of the diameter of pulpwood bolts.
Taulukko 1. Paperipuun keskusläpimitta kuoretta leveysasteittain.

Latitude — *Leveysaste*	Pine — *Mänty*		Spruce — *Kuusi*	
	Diameter, cm — *Läpimitta, cm*			
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
—62.00	11.6	0.7	11.7	0.7
62.01—64.00	11.4	0.9	11.8	1.0
64.01—66.00	11.7	1.2	12.1	1.1
66.01—	13.6	1.5	12.3	1.0

larger in size than in other parts of the country (cf. Tiihonen 1966). In addition, the knottiness and poor stem form of North-Finnish trees as well as the abundant occurrence of defects only rarely allow sawlogs of minimum top diameter to be prepared. Even the minimum diameter of pulpwood cannot be attained in the north as frequently as in the south.

According to material collected by Vuoristo (1936) more than 30 years ago, the average diameter of spruce pulpwood for all of Finland was 15.7 cm, which is very significantly larger than the average obtained in the present study: 11.8 cm for pine and 11.9 cm for spruce pulpwood. Consequently, the average diameter of pulpwood has decreased to a considerable extent in the course of three decades. Principally this change can be explained as being caused by the fact that the minimum diameter and the quality requirements for pulpwood and saw logs have been lowered. On the other hand, it ought to be kept in mind that even today the pulp and paper industries use considerable amounts of larger-sized wood which is bought as saw timber but used for the same purposes as pulpwood.

42. Ring width

The ring width as such does not influence the quantity and quality of the fibres, but on the basis of this characteristic, information can be gained concerning wood properties important from the viewpoint of paper technology, such as the percentage of heartwood, percentage of summerwood, or basic density. Knowledge of the ring width also helps those who are not familiar with local conditions to form a general picture of the structure of wood in certain parts of Finland.

One has to keep in mind that the results represent timber that has already been converted into pulpwood bolts. Consequently, the figures do not satisfactorily describe the variation of growth rate of individual trees, or still less, of tree stands in different parts of the country. As is generally known, growth slows down from south to north due to increasingly harsh climate and decreasing soil fertility. In the northernmost part of the country poor

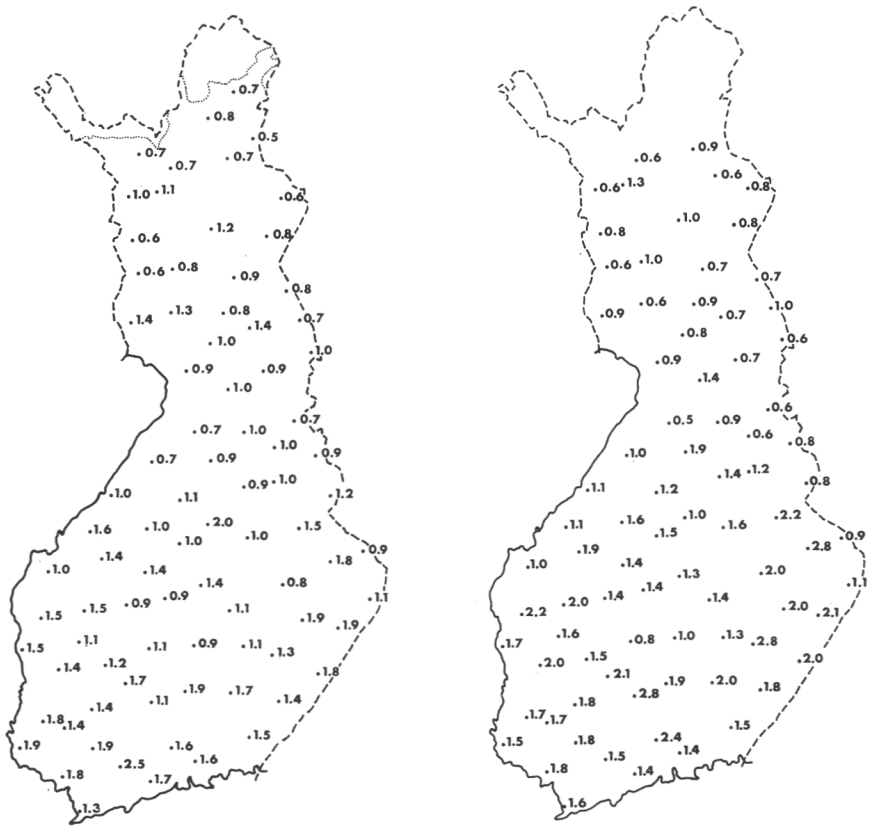


Figure 2. The local variation of ring width, in millimetres, in the present material.
Kuva 2. Paperipuun luston paksuus millimetreinä paikkakunnittain tutkimusaineistossa.

conditions make growth of first spruce and then pine impossible. Because of this circumstance and because of the over-aged growing stock in northern Finland, the average ring width of North-Finnish pulpwood is considerably smaller than that of pulpwood grown in southern Finland and extremely small in comparison with pulpwood from other countries (Fig. 2).

Table 2 shows the ring width in the outer and middle parts of pulpwood bolts as well as the average excluding the innermost 10 % of the bolt volume. In all parts of the country the annual rings of pine and spruce pulpwood grow narrower toward the cambium. On an average the rings of spruce pulpwood are slightly wider than those of pine pulpwood, and this is mainly due to the fact that spruce is encountered on better sites than pine. The northernmost part of the country, however, forms an exception in this respect. The variation between localities, too, is greater for spruce than

Table 2. Latitudinal variation of the ring width of pulpwood bolts.
Taulukko 2. Paperipuun vuosiluston paksuus leveysasteittain.

Latitude — *Leveysaste*	Part of the bolt *Pölkyn osa*				Average *Keskimäärin*	
	Middle *Keskiosa*		Outer *Pinta*			
	Ring width, mm — *Luston paksuus, mm*					
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Pine — *Mänty*					
—62.00	1.93	.38	1.34	.29	1.61	.33
62.01—64.00	1.48	.41	1.09	.29	1.27	.34
64.01—66.00	1.00	.15	0.77	.13	0.88	.12
66.01—	0.99	.31	0.74	.24	0.85	.27
	Spruce — *Kuusi*					
—62.00	2.05	.41	1.69	.40	1.85	.39
62.01—64.00	1.59	.49	1.41	.50	1.49	.49
64.01—66.00	1.05	.42	0.86	.39	0.95	.40
66.01—	0.93	.23	0.69	.15	0.79	.18

for pine. This, too, agrees with the expectations when considering the biological qualifications of these two tree species.

Vuoristo (1936) once carried out an investigation into the variation of the ring width of spruce pulpwood in different parts of Finland. As a justification of the worth of this study he states that repeating it in the future will provide a description of the development of this pulpwood quality indicator. However, comparison of the results of the present study with those of the previous investigation is difficult because the ring width was measured in different ways on these two occasions. For the part of northern Finland, however, the results are almost similar, but for southern Finland the figures presented in this work are clearly lower than those of the previous study. According to Vuoristo, the weighted mean for the whole country was 1.7 mm; now it is only 1.5 mm. Except for the different methods of measurement, this difference might also be caused by the decrease in the minimum diameter of pulpwood that has taken place in the meantime, and made possible harvesting of slow-grown spruce stems of suppressed tree classes.

Bruun (1967), too, has compared the ring width of pulpwood in different parts of Finland. The following table presents the results obtained by him, and here, the southernmost locality is placed at the top.

Locality	Pine pulpwood	Spruce pulpwood
	Ring width, mm.	
Kouvola	1.2	1.6
Rauma	0.9	1.7
Pohjanmaa	1.3	1.3
Oulu—Kuusamo	0.7	0.7
Kemi—Rovaniemi	0.6	0.6

The figures presented above are smaller than those of Fig. 2, but in this case, too, the difference might be caused by differences in the methods of measuring the ring width. However, the ring widths presented for South-Finnish pine pulpwood in the table are exceptionally narrow.

43. Percentage of heartwood

From the point of view of pulping, sapwood and heartwood behave like different tree species. Thus, even pulping pure pine or spruce is, in a way, a mixed process (B r u u n 1965). Irregular variation in the proportion of heartwood causes losses in the yield of pulp as well as a decrease in its quality. The percentage of heartwood also has a decisive influence on the floatability of timber because the weight of green pine and spruce pulpwood decreases about 3 kg/cu.m. for each unit per cent of heartwood (N y l i n d e r 1961 a and b). For these reasons it is advantageous to know the heartwood percentage of pulpwood in manufacturing pulp. The percentage of heartwood, however, was only detrmined for pine pulpwood because in this tree species the heartwood is readily identified from increment cores.

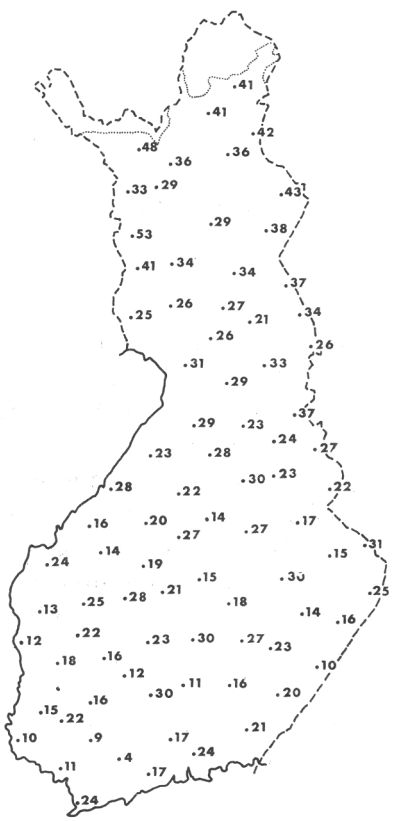


Figure 3. The local variation of percentage of heartwood in pine pulpwood in the present material.

Kuva 3. Mäntypaperipuun sydänpuuprosentti paikkakunnittain tutkimusaineistossa.

In Finland the percentage of heartwood in pine pulpwood increases from south to north (Fig. 3). The progression is quite clear and, consequently, the country can be divided on the basis of latitude into distinct zones (Table 3). This is a direct consequence of the decrease in the growth rate because slow growth and great age of the pine pulpwood are always connected with a high percentage of heartwood (cf. E n e r o t h 1922; L a p p i - S e p p ä l ä 1952; T a m m i n e n 1962). The better the site and climate, the smaller is the percentage of heartwood in pine (T r e n d e l e n b u r g and M a y e r - W e g e l i n 1955). The bolt diameter, on the other hand, in so

Table 3. Latitudinal variation of the percentage of heartwood in pine pulpwood.
Taulukko 3. Mäntypaperipuun sydänpuuprosentti leveysasteittain.

Latitude — *Leveysaste*	Percentage of heartwood — *Sydänpuuprosentti*	
	$\bar{x}$	s
—62.00	16.4	6.1
62.01—64.00	21.2	5.8
64.01—66.00	27.6	4.2
66.01—	35.5	7.8

far as it provides no direct description of the age of the pulpwood, does not have a similar influence on the amount of heartwood. In a simple linear regression the above-mentioned variables explain the local variation of the heartwood percentage of pine pulpwood as follows:

Independent variable	Coefficient of correlation
Ring width	—0.86
Logarithm of ring width	—0.88
Diameter	+0.51
Age	+0.88
Logarithm of age	+0.91

The variation of the heartwood percentage is primarily a consequence of the ring width and bolt age. The percentage of heartwood is best explained by the logarithm of age, in which case the correlation is positive (Fig. 4), and the logarithm of ring width, in which case the correlation is negative (Fig. 5). The former explains 83 % of the variation in the heartwood percentages between localities. Simultaneous use of these two variables does not increase the proportion of explained variation because the ring width and bolt age show a very marked mutual correlation. As the ring width of pine pulpwood and, consequently, the bolt age display a progressive change from south to north — as was explained in the preceeding section — these correlations offer a satisfactory explanation of the geographical variation of the heartwood percentage of pine pulpwood.

The unexplained variation may partly be due to the variation in the proportion of pulpwood made from the top parts of saw timber trees. In such pulpwood the proportion of heartwood is exceptionally low because the heartwood percentage of pine stems reaches its highest value at heights corresponding to 20—30 % of the tree height, but from this height on up to the crown, the heartwood percentage decreases (cf. Lappi-Seppälä 1952, Nylinder 1961a, Ericson 1966, Hakkila 1967). It should also be observed that heartwood formation starts at a later age in the north than in the south (cf. Knigge and Schulz 1966).

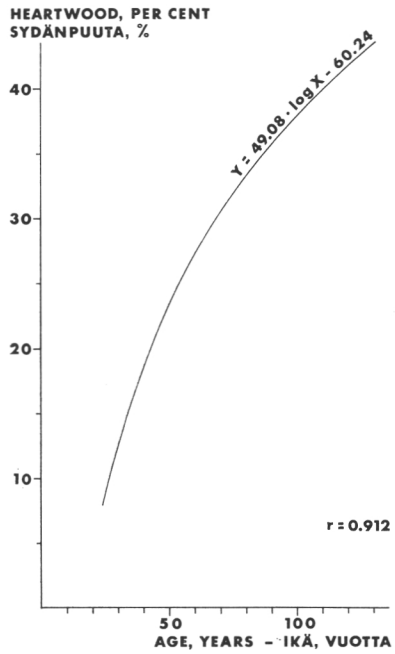


Figure 4. Correlation between the percentage of heartwood and the age of pine pulpwood.

Kuva 4. Sydänpuuprosentin riippuvuus pölkyn iästä mäntypaperipuussa.

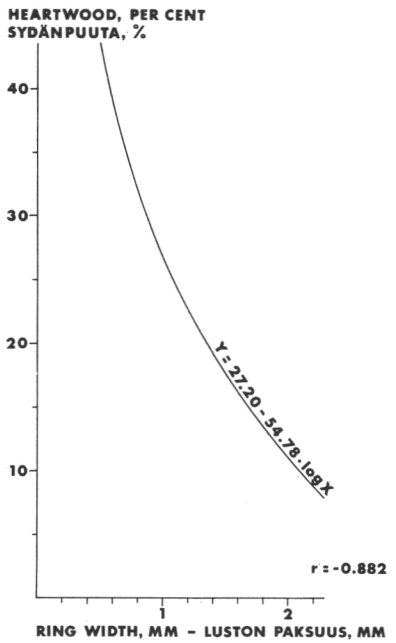


Figure 5. Correlation between the percentage of heartwood and the ring width in pine pulpwood.

Kuva 5. Sydänpuuprosentin riippuvuus luston paksuudesta mäntypaperipuussa.

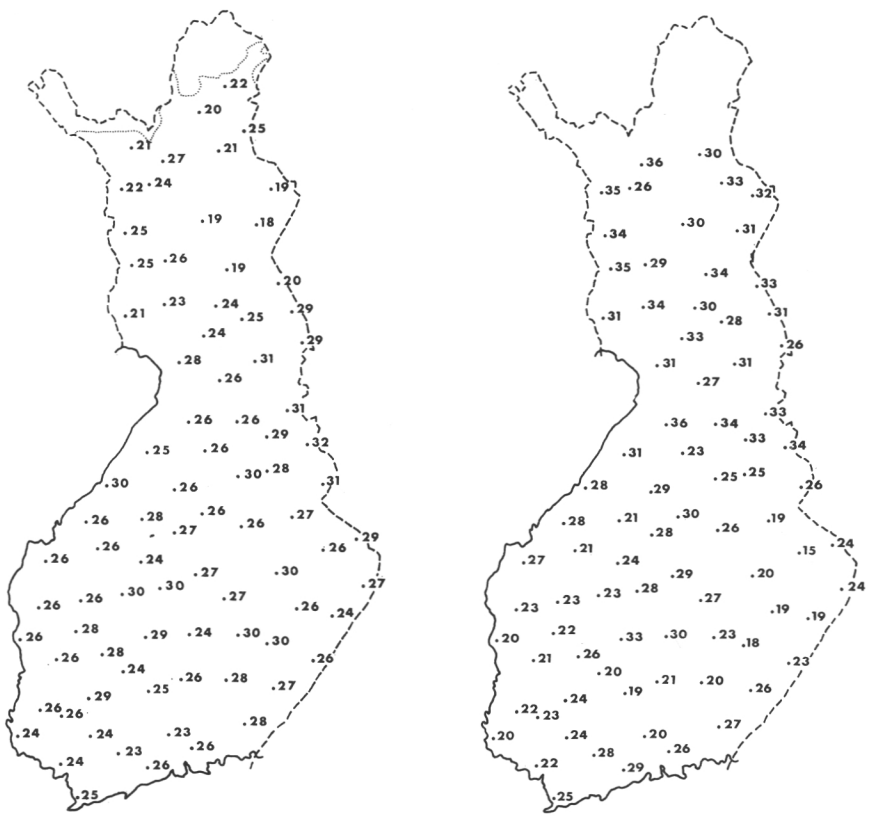
The geographical variation of the heartwood percentage of pulpwood in Finland has been previously studied by Bruun (1967). The following table, in which the topmost locality is the southernmost, is based on the results of his studies.

Locality	Pine pulpwood	Spruce pulpwood
	Percentage of heartwood	
Kouvola	18	26
Rauma	21	29
Pohjanmaa	14	20
Oulu—Kuusamo	24	36
Kemi—Rovaniemi	41	52

The table reveals the increase in the heartwood percentage from south to north. However, the low heartwood percentage obtained for the Pohjanmaa area conflicts with the results of the present investigation. The heartwood percentage of spruce is clearly higher than that of pine, a fact which is also mentioned by Eneroth (1922) and Dadswell and Hillis (1962).

44. Percentage of summerwood

Summerwood fibres differ from springwood fibres above all on the basis of cell wall thickness. Thus, according to M o r k's (1928) definition, summerwood includes tracheids in which the common cell wall in tangential direction between two cells is half or more of the radial width of lumen. If the joint width of two cell walls is less than this, the tracheids belong to springwood. According to various inventigators, summerwood of pine is 2.4—3.0 and that of spruce 1.9—2.8 times heavier than springwood (cf. T r e n d e l e n b u r g and M a y e r - W e g e l i n 1955). As summerwood and springwood fibres differ from each other to this extent, their proportional occurrence naturally is of decisive importance for the wood, pulp, and paper properties.



PINE — MÄNTY SPRUCE — KUUSI

Figure 6. The local variation of percentage of summerwood in the present material.
Kuva 6. Paperipuun kesäpuuprosentti paikkakunnittain tutkimusaineistossa.

The average percentage of summerwood of the pulpwood lots representing various localities was determined according to the same principles which were used for the calculation of the average ring width. Here, as is usual, the summerwood percentage refers to the proportion of the volume of summerwood of the total volume of green wood. It ought to be observed that if the summerwood percentage is determined on a weight basis instead of on a volume basis, the numerical values obtained would be higher.

The summerwood percentage of spruce increases toward the north; for pine, however, the change is not so clear (Fig. 6). The summerwood percentage of pine, too, at first seems to increase toward the north, but in the northernmost part of the country it drops to a level considerably lower than for other parts of Finland (Table 4). On the other hand, there is reason to bear in mind that the change occurring from north to south is not exclusively restricted to the proportion of summerwood; rather, there is also every reason to assume that a corresponding change also occurs in the inner composition of summer- and springwood. Particularly in spruce the increasingly gradual transition from spring- to summerwood that occurs as one moves north is accompanied by a decrease in the differences between spring- and summerwood. Thus, examination of the summerwood percentage alone might even be misleading.

In the outer parts of pulpwood bolts the summerwood percentage is on an average higher than in the inner parts. In spruce, however, the summerwood percentage for trees that have grown slowly when young may be high close to the pith, but in the present material the wood closest to the pith was disregarded.

Table 4. Latitudinal variation of the percentage of summerwood in pulpwood.
Taulukko 4. Paperipuun kesäpuuprosentti leveysasteittain.

Latitude — *Leveysaste*	Part of the bolt *Pölkyn osa*				Average *Keskimäärin*	
	Middle *Keskiosa*		Outer *Pinta*			
	Percentage of summerwood — *Kesäpuuprosentti*					
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Pine — *Mänty*					
—62.00	24.2	2.2	27.4	2.0	25.9	2.0
62.01—64.00	25.8	2.1	28.3	1.9	27.1	1.9
64.01—66.00	26.8	2.3	28.9	2.8	27.9	2.7
66.01—	21.6	3.0	23.3	2.9	22.6	2.9
	Spruce — *Kuusi*					
—62.00	21.1	3.1	24.6	3.4	23.0	3.1
62.01—64.00	23.4	4.1	25.2	4.2	24.4	4.1
64.01—66.00	28.9	4.1	31.2	4.4	30.2	4.2
66.01—	30.4	3.0	32.9	2.5	31.8	2.7

In spruce the percentage of summerwood seems to be strictly dependent on the ring width and this very well explains the geographical variation of the summerwood percentage of spruce pulpwood. The spring- and summerwood zones narrow with narrowing rings, but relatively taken, the proportion of summerwood increases. The logarithm of the ring width explains 80 % of the variation of the summerwood percentage of spruce pulpwood measured by localities (Fig. 7).

The summerwood percentage of spruce pulpwood can be explained by the aid of the age of the tree even outside the zone of juvenile wood. An example of this is Fig. 8, which shows the correlation between the age of bolts and the summerwood percentage of this outer part.

The ring width does not affect the variation of the summerwood percentage of pine pulpwood according to the material for the whole country. When the correlation between the summerwood percentage and the ring width in spruce is as high as — 0.895, it is only — 0.021 for pine. Within a more restricted area, however, there exists a statistically significant correlation between the summerwood percentage and the ring width even for pine. In the southernmost parts of the country this correlation is strongest, — 0.580, but the geographical variation of the summerwood percentage of pine pulpwood cannot be explained on the basis of external characteristics of the pulpwood, such as the ring width or the bolt age. It is true that the North-Finnish pine pulpwood often comes from old forests and that the summerwood percentage of several conifers decreases as the trees grow old

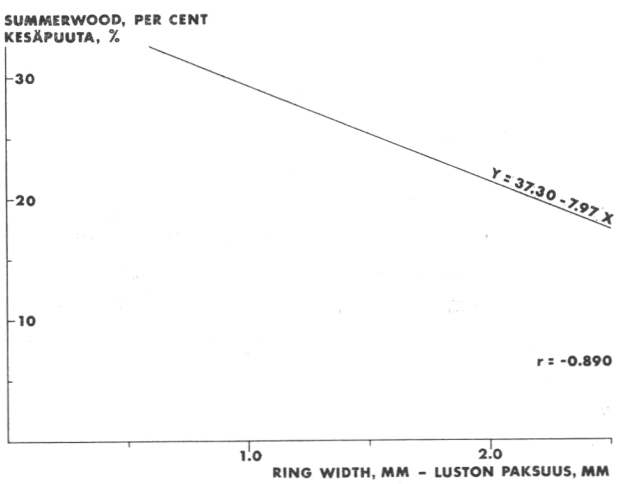


Figure 7. Correlation between the percentage of summerwood and the ring width in spruce pulpwood.

Kuva 7. Kesäpuuprosentin riippuvuus luston paksuudesta kuusipaperipuussa.

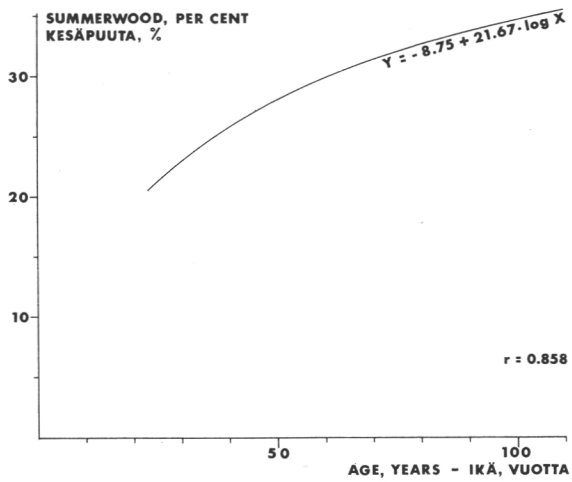


Figure 8. Correlation between the percentage of summerwood in the outer part of the bolt and the age of spruce pulpwood.

Kuva 8. Pölkyn pintaosan kesäpuuprosentin riippuvuus pölkyn iästä kuusipaperipuussa.

(cf. Larson 1957), but Lapland pine seems to be exceptionally low in summerwood in all its phases of development. Thus it may be simply that one of the properties of the geographical race of pine in Lapland is a low percentage of summerwood, at least under the conditions prevailing in the northernmost parts of Finland, where the growing season is extremely short. This possibility has previously been alluded to by Jalava (1933).

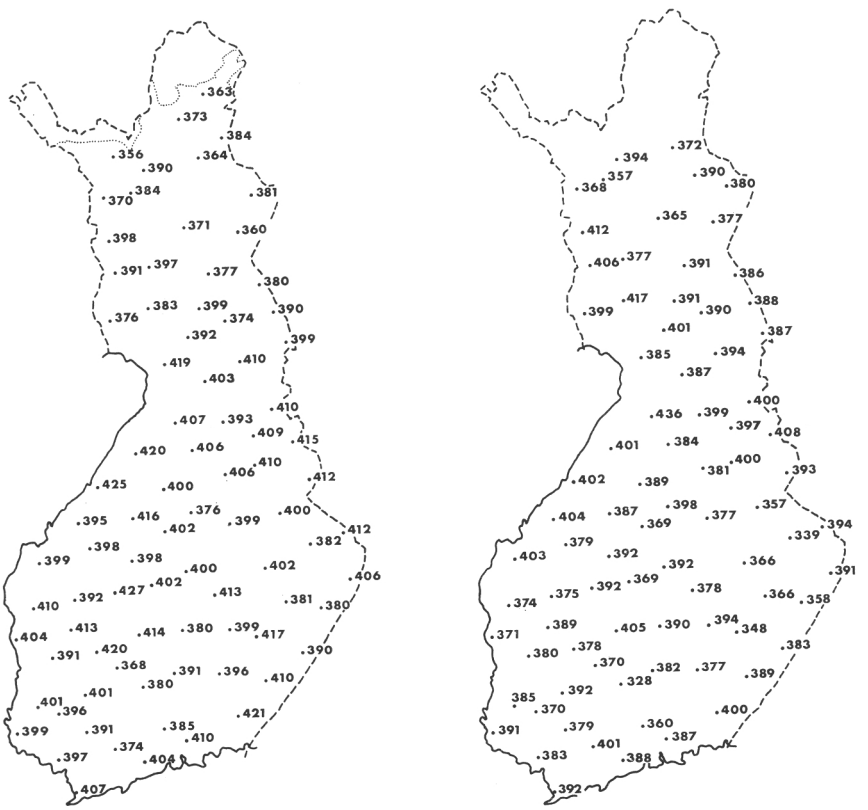
The low summerwood percentage of pine in Lapland was already observed by Liese (1928) who quotes that pine wood from Lapland was low, and Archangel pine extremely low, in summerwood. Jalava (1934) gives 28.2 as the summerwood percentage of pine in southern Finland and 21.9 for the pine of northern Finland. Siimes (1938), whose low figures are probably due to differences in the method of measurement, presents 21.9 and 17.7 % as the corresponding values. In Mikola's (1950) study on growth variations pine trees had the lowest percentage of summerwood in the northernmost part of Finland.

Forestry literature makes very little mention of the north-south variation of the summerwood percentage in spruce. Strekalovskij (1946), however, has observed that in the North-European part of the Soviet Union the summerwood percentage of spruce increases slightly as one moves north, and this statement agrees with the results of the present study.

45. Basic density

The basic density of wood has been studied more than any other pulpwood property because, aside from its effect on product quality, the density is of decisive importance for the pulp yield per unit volume of timber. For the same reason one of the most important goals of the present investigation, too, was to establish the geographical variation of the basic density of wood.

The basic density of pulpwood is not the same in all parts of Finland, and significant differences can be shown to prevail between certain large regions (Fig. 9). From east to west no clear pattern can be seen, it is true, but from north to south the change, at least for pine pulpwood, reaches a considerable extent (Table 5).



PINE — MÄNTY SPRUCE — KUUSI

Figure 9. The local variation of basic density, in kilograms per solid cubic metre, in the present material.

Kuva 9. Paperipuun puuaineen tiheys kilogrammoina kiintokuutiometriä kohti paikkakunnittain tutkimusaineistossa.

Table 5. Latitudinal variation of the basic density of pulpwood.
Taulukko 5. Paperipuun puuaineen tiheys leveysasteittain.

Latitude — *Leveysaste*	Part of the bolt — *Pölkyn osa*						Average *Keskimäärin*	
	Inner *Sisä*		Middle *Keski*		Outer *Pinta*			
	Basic density, kg/cu.m. — *Puuaineen tiheys, kg/k-m³*							
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Pine — *Mänty*							
—62.00	376	9	389	12	408	16	398	14
62.01—64.00	393	15	396	14	407	13	401	13
64.01—66.00	407	8	405	10	408	10	407	8
66.01—	393	12	378	14	376	15	379	12
	Spruce — *Kuusi*							
—62.00	374	16	370	18	387	18	379	17
62.01—64.00	382	16	377	18	387	16	383	16
64.01—66.00	407	15	394	14	398	15	397	14
66.01—	410	20	382	18	385	16	387	16

The basic density of pine pulpwood seems to reach its highest values in the area between the 64th and 66th parallels. The clearest change takes place to the north of this region because in Lapland pine pulpwood is exceptionally low in density. These observations are in good conformity with Jalava's (1946) adaption of Mayr's optimum theory (cf. Gayer and Fabricius 1921) for Finnish conditions according to which the basic density of pine wood is highest in Central-Finland. With regard to certain timber assortments, however, it ought to be observed that growth conditions aside, the differences between the timber assortments are also influenced by the age-class structure of the forests and the grading rules employed.

The basic density of spruce pulpwood does not show any regular variation from east to west, and even the variation from north to south is relatively small. According to table 5, the inter-zonal variation of spruce pulpwood is smaller, but the intra-zonal variation larger, than for pine pulpwood. The basic density of spruce pulpwood, too, seems to reach its highest value between the 64th and 66th parallels; however, the material from the northernmost part of the country does not show a marked drop as that for pine.

The variation in the basic density of pine and spruce pulpwood by localities may be explained to some extent by means of the ring width and the summerwood percentage. Such examination gives the following correlations:

Independent variable	Coefficient of correlation
Pine	
Ring width	—0.08
Logarithm of percentage of summerwood	0.78
Spruce	
Ring width	—0.70
Percentage of summerwood	0.63

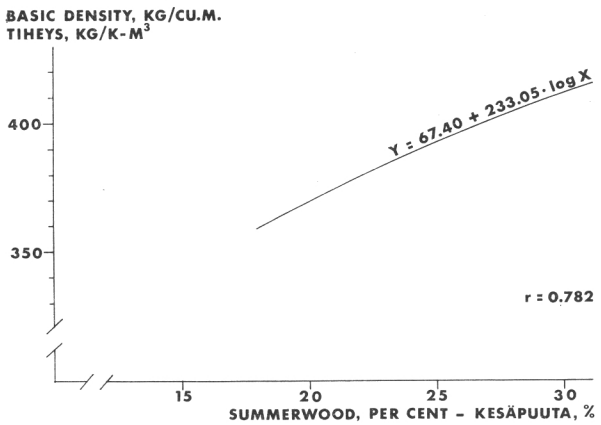


Figure 10. Correlation between the basic density and the percentage of summerwood in pine pulpwood.
Kuva 10. Puuaineen tiheyden riippuvuus kesäpuuprosentista mäntypaperipuussa.

The geographical variation of the basic density of pine wood cannot be explained in terms of the growth rate. This does not mean, however, that the rate of growth is without influence on the basic density of pine because, within more restricted geographical regions, one can, even on the basis of the present material, find significant negative correlations between the wood density and ring width. The summerwood percentage, however, is a quite reliable indicator because it explains 61 % of the geographical variation of the basic density of pine pulpwood (Fig. 10). The unexplained variation is probably partly due to variation in the proportion of pulpwood made from the top part of stems because, in the top part of pine stems, the basic density is lower than the average. Here, genetic factors are probably of greater importance because the basic density of wood is to a great extent a heritable property.

The geographical variation of the basic density of spruce pulpwood depends both on the ring width and the summerwood percentage. Judging from the narrow rings and high percentage of summerwood of North-Finnish spruce, however, the basic density of the wood should be considerably higher than it actually is. Thus, the density of Lapland spruce pulpwood does not conform to the patterns which can be drawn up for the ring width and percentage of summerwood in other parts of Finland. If, however, the localities north of the 66th parallel are excluded from the examination, the material for spruce pulpwood, too, gives closer correlations: the percentage of summerwood explains 59 % and the ring width 69 % of the variation of basic density (Fig. 11).

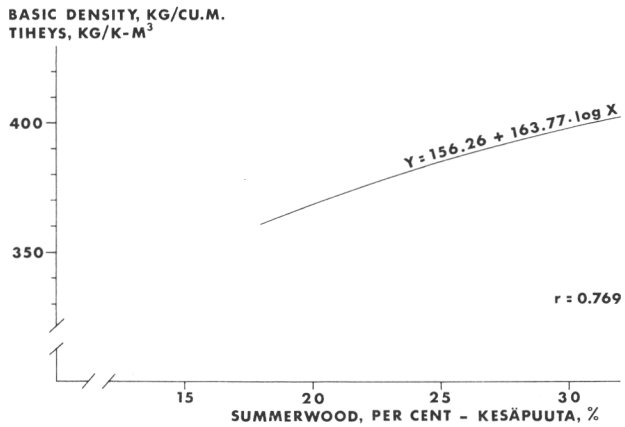


Figure 11. Correlation between the basic density and the percentage of summerwood south of the 66th parallel in spruce pulpwood.

Kuva 11. Puuaineen tiheyden riippuvuus kesäpuuprosentista kuusipaperipuussa 66. leveysasteen eteläpuolella.

Thus, the summerwood percentages for spruce in the north and those in the south are not quite comparable due to the fact that in the south same summerwood percentages correspond to a higher basic density than in the north. This has also been stated by Nylinder and Hägglund (1954). Correspondingly, spruce wood from northern origins is less dense than wood from southern origins when rings of the same width are compared in Norway (Klem 1933). For trees growing on the same site in Sweden ring width and percentage of summerwood are good measures of wood density in spruce, but this relationship does not necessarily hold for trees growing on different sites (Johansson 1940). According to Poller (1968), there was a significant difference in the percentage of summerwood of spruce between three localities in Germany, but no significant difference in the density could be shown. Strekalovskij (1946), too, mentions that ring width and percentage of summerwood are poor indices of the quality of northern spruce wood in the Soviet Union. According to another investigation carried out by Strekalovskij (1949), the summerwood percentage of northern spruce wood increased somewhat toward the north, even if the basic density of the wood remained unchanged. Here, too, heritability factors are probably in question because there is indication that the density of the summerwood is controlled genetically (Harris 1958, Goggans 1962).

Knowledge of the radial variation of wood density can be used when studying the differences between the density of saw mill chips and pulpwood. On the other hand, it can also be used when trying to envision how the

regeneration of forests in the future might influence the basic density of pulpwood and, consequently, the wood consumption in pulping. The relative values presented in the table below, in which the density of the innermost part of the bolts on each separate occasion has been indicated by 100, show the radial change in wood density. The figures represent not only wood proper, but also include the extractives, which, in pine pulpwood add more to the density of the inner parts of bolts than to that of their outer parts.

Latitude	Part of the bolt		
	Inner	Middle	Outer
	Relative value of basic density		
Pine			
—62.00	100.0	103.4	108.6
62.01—64.00	100.0	100.8	103.6
64.01—66.00	100.0	99.6	100.2
66.01	100.0	96.2	95.8
Spruce			
—62.00	100.0	98.9	103.5
62.01—64.00	100.0	98.7	101.3
64.01—66.00	100.0	96.8	97.8
66.01—	100.0	93.3	94.3

In southern Finland the density of pine pulpwood increases from pith to cambium. Moving northward, the differences grow smaller, and finally, in Lapland, the last-formed wood is lighter than that closest to the pith. Here in the south, the extractives decrease the difference between the inner and the outer parts of bolts, whereas in the north, they increase it. The change from north to south in the relative values can mainly be connected with the increasing age of pine forests toward the north. Indeed the basic density of Scots pine wood shows an increase up to a certain age, but the new wood produced by over-mature stems is light in comparison with the wood that has been formed earlier (Hakkila 1966). On the other hand, over-mature forests occur mainly in northern Finland (cf. Tiihonen 1966).

In spruce pulpwood the radial changes are smaller. Characteristic is the high density of the wood close to the pith; this fact has also been observed in connection with previous investigations (Nylinder 1953, Hakkila 1966). Except for this inner part, which is of minor importance, the density of spruce pulpwood seems, even in the north, to increase toward the cambium. As a matter of fact, the average density of spruce wood still increases at much greater ages than that of pine (Hakkila 1966).

When comparing density of pine and spruce pulpwood obtained from different parts of the country, one can observe that the density of pine pulpwood is higher in the south. This is also to be expected because in gen-

eral the density of pine is higher than that of spruce (Kollmann and Coté 1968). On the other hand, it is a little surprising that in Lapland the density of spruce pulpwood exceeds that of pine pulpwood. The following numbers indicate the density of spruce pulpwood as a per cent of that of pine pulpwood.

Latitude	Density of spruce pulpwood as a per cent of the density of pine pulpwood
—62.00	95.4
62.01—64.00	95.3
64.01—66.00	97.6
66.01—	102.0

In Finland no previous investigations have been made into the geographical variation of wood density, but at least for pine there are a number of more or less scattered observations which give certain indications of the wood density in different parts of the country. Thus, for instance, Siimes (1938) observed that the pine wood of the Kemijoki floating region was lighter than South-Finnish pine wood. Jalava (1952) gives 0.485 as the specific gravity of pine wood on a dry volume basis in southern Finland, and the corresponding value for northern Finland is 0.445. Sirén (1959) has compared pine of Central-Finnish origin with that of the local North-Finnish race and concluded that the basic density of the former was at least as high as that of the latter. Kalla (1967) has concluded, on the basis of a combination of data presented by various research workers that the density of pine wood growing on the 67th parallel is 5.6 % lower than that growing on the 62nd parallel. In a study carried out by the Finnish Forest Research Institute in cooperation with the Pulp and Paper Research Institute, the density of the study material was lowest in Inari, close to the northern border of the range of pine (Makkonen 1967a). Generally speaking, all these results agree with those obtained in the present study. In Sweden, too, Ericson (1960) and Stockman (1962) have indicated that the density of pine wood decreases toward the north. On the other hand, it ought to be observed that in a recent study the difference in wood density of pine pulpwood between South- and North-Finland was not significant (Uittoteho 1966).

As to the geographical variation of the density of spruce wood, the previous information available is scant. Nylinder and Hägglund (1954), however, have shown that the density is lower in southern Sweden than in North-Sweden. If the percentage of summerwood and the ring width remained unchanged, the basic density of spruce wood decreased toward the north, it is true, but as the ring width, on the other hand, increased

toward the south, the above conclusion was reached. According to the joint study of the Finnish Forest Research Institute and the Pulp and Paper Research Institute, local differences were small and conformed with those of the present study (Makkonen 1967b). In the study carried out by Uittoteho (1966) no statistically significant differences could be observed between the samples of spruce pulpwood of southern and northern origin respectively. Correspondigly, Strekalovskij (1949) has observed in the northern part of the Soviet Union that density changes in spruce wood in the north-south direction are negligible.

The geographical variation in the basic density of pulpwood is also partly due to the different stand structure in different parts of the country because northern pulpwood is on the average harvested from older forests than pulpwood of southern origin. A large part of the differences, however, are probably directly due to climatic and soil factors. Longitude and latitude can affect density only to the extent that they reflect differences in soil, rainfall, length of growing season, geographic race, or some other factors or combinations thereof (Mitchell and Wheeler 1959). The influence of climate, photoperiod, and other factors of widely separated sites leads eventually to the evolution of genetic types and problems of inheritance (Larson 1962). Thus, for instance, the highest percentages of summerwood in Douglas fir occur in those individual trees which have the longest periods available for summerwood formation (Kennedy 1961). On the other hand, the Norway spruce trees that flush early have a smaller percentage of summerwood per ring and a lower than average density (Mergen, Burley and Yetman 1964).

As an example of the geographical variation of the basic density of wood, the southern yellow pines in the U.S.A. might still be mentioned. They show a definite trend toward decreased wood density from south to north and from east to west (Zobel 1963). In *Pinus elliottii* this depends on the soil moisture supply so that density increases with increasing June and July precipitation and decreases with increasing January and February precipitation (Larson 1957). In a multiple regression analysis longitude, latitude, early rainfall, and late rainfall accounted for 85 per cent of the regional density variation of this tree species (Goddard and Strickland 1962). And the northward decrease of the density of *Pinus echinata* could not be attributed to geographic race but to either physiographic and/or climatic factors (Gilmore 1963). The environmental factors found to be related to the density of *Pinus strobus* and *Pinus resinosa* in Illinois were those that were associated with soil moisture available for tree growth (Gilmore 1968). Among investigations into spruce that of Bryan and Pearson (1955) ought to be mentioned; here the density of *Picea sitchensis* was observed to decrease toward the north in England.

Besides latitude and longitude, the altitude of the site, too, affects the basic density of wood. With increasing altitudes the density of both pine wood (Burger 1941 and 1948) and spruce wood (Janka 1909, Klem 1934, Burger 1953, Nylinder and Hägglund 1954, Vorreiter 1954, Nylinder 1959, Klem 1965) decreases. In Finland, however, the differences in altitude are relatively small — in the present material the difference between the extremes is less than 200 metres — so that the importance of this factor is probably much smaller than in some other countries. As, in addition, the material was collected at landings, one could not always be sure of the altitude of the original site and for this reason the influence of altitude was left out of the statistical analysis in the present work. It ought to be mentioned, however, that northern pulpwood comes on an average from higher altitudes than southern pulpwood, and this fact might have some influence on the differences between North- and South-Finland.

46. Extractives

The importance of extractives in the manufacture of pulp is greater than what would be expected on the basis of their proportion of the raw material. They decrease the yield of chemical pulp, affect the pulping process, and, at least in the sulphite pulp industry, influence the quality of the end product. In spruce pulpwood their presence is not desirable. Hence, spruce pulpwood has to be stored, even for long periods, in order to decrease the quantity of extractives or to change their chemical composition. The sulphate process, on the other hand, produces valuable byproducts from the extractives of pine pulpwood, and therefore a high extractive content of pine pulpwood might even be advantageous.

The present study was restricted to extractives soluble in acetone. The quantity of acetone extractives was determined from increment cores that had been stored under air-dry conditions for several months before the analysis was carried out. Because deficiency occurs in the quantities of extractives during storage, particularly with respect to volatile compounds, the extractive contents obtained here are lower than those of green wood. On the other hand, it ought to be noted that, even for pulpwood, part of the extractives always escapes before the pulping process (cf. Nordin and Selleby 1965).

The total quantity of extractives of pulpwood increases toward the north (Fig. 12). For pine the change is greater, but for spruce the differences between south and north are small.

The extractive content of pine pulpwood naturally reaches its highest values in the heartwood (Table 6). The method of study used here probably

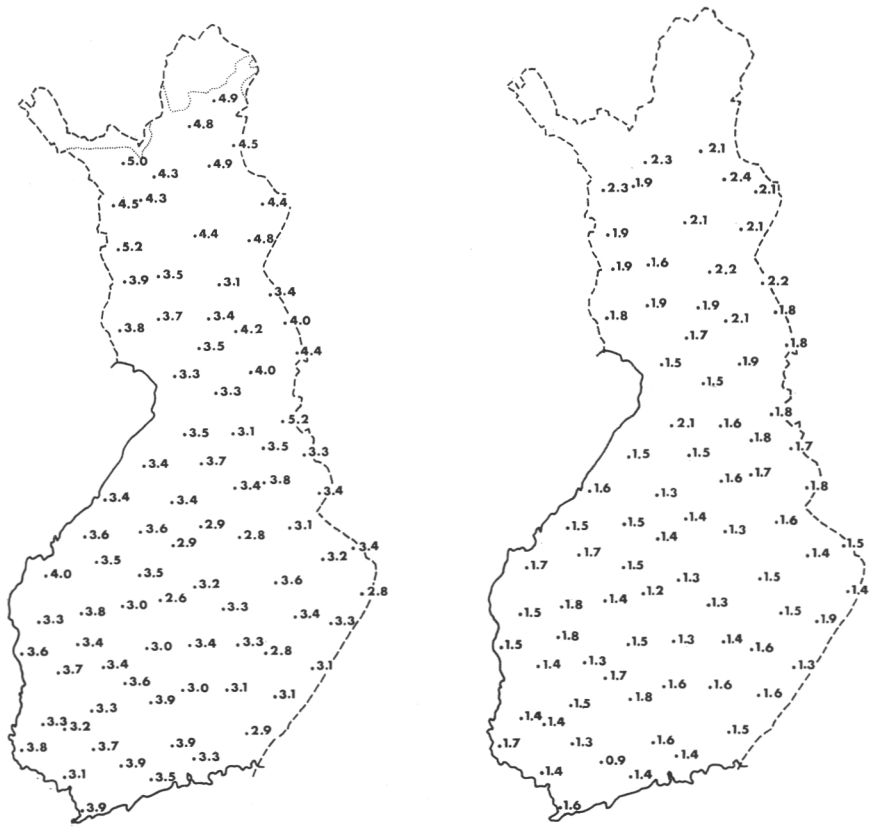


Figure 12. The local variation of acetone extractive content, in per cent of the dry weight of wood, in the present material.

Kuva 12. Paperipuun asetoniuutepitoisuus prosentteina puun kuivapainosta paikkakunnittain tutkimusaineistossa.

gave inflated extractive contents for sapwood because the core samples weight the inner part of sapwood too much. On the other hand, we know that there are more extractives in the inner parts of the sapwood than in newly formed sapwood (cf. A n d e r s o n 1962).

The extractive content of sapwood of pine is almost similar in different parts of Finland and, even for heartwood, the increase in the extractive content toward the north is relatively small. Thus, the average extractive content of pine pulpwood depends mainly on the heartwood percentage (Fig. 13), which, on the other hand, as shown in the foregoing context, mainly depends on the age or the ring width of the pulpwood (cf. K a n a k 1956). This furthermore affects the quality of the extractives because resins in heartwood and sapwood differ in composition. The resin acid content of

Table 6. Latitudinal variation of the acetone extractive content of pulpwood, in per cent of the dry weight of wood.

Taulukko 6. Paperipuun asetoniuutteitten määrä prosentteina puun painosta leveysasteittain.

Latitude — *Leveysaste*	Heartwood *Sydänpuu*		Sapwood *Pintapuu*		Average *Keskimäärin*	
	Extractives, per cent — *Uutteita*, %					
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Pine — *Mänty*					
—62.00	5.1	1.0	3.1	0.3	3.4	0.4
62.01—64.00	4.9	0.6	2.9	0.4	3.3	0.3
64.01—66.00	5.3	0.7	3.1	0.4	3.7	0.6
66.01—	6.0	0.9	3.3	0.5	4.2	0.6
	Spruce — *Kuusi*					
—62.00	1.5	0.1	1.5	0.2	1.5	0.2
62.01—64.00	1.6	0.2	1.5	0.2	1.5	0.2
64.01—66.00	1.7	0.1	1.7	0.2	1.7	0.2
66.01—	2.1	0.3	2.0	0.2	2.0	0.2

heartwood extractives is higher than that of sapwood extractives and its fatty acid contents is correspondingly lower (M u r t o 1951). Canal resin dominates the heartwood resin content and ray parenchyma resin dominates that of sapwood (C o h e n 1962).

The material of spruce pulpwood is deficient in as much as its heartwood percentage was not measured at all. The proportion of extractives of the inner and outer parts of spruce bolts was determined such that the cores were cut into two pieces of equal lengt, the inner of which represented 1/4

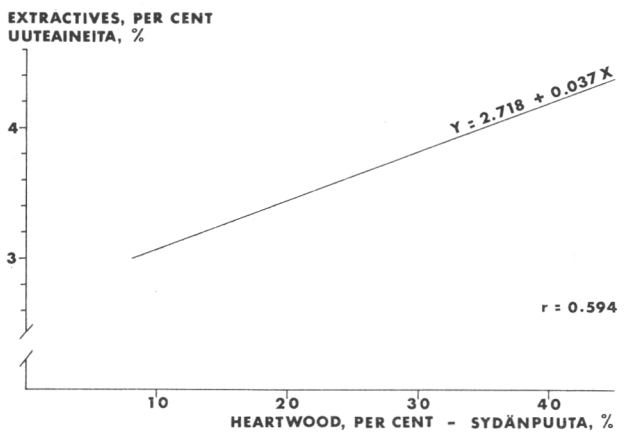


Figure 13. Correlation between the average acetone extractive content and the percentage of heartwood in pine pulpwood.

Kuva 13. Asetoniuutepitoisuuden riippuvuus sydänpuuprosentista mäntypaperipuussa.

and the outer 3/4 of the bolt volume. Thus, it was not possible to consider, in the determination of the average extractive content of the pulpwood, the percentage of heartwood and its increase toward the north. However, this was not even necessary for spruce pulpwood because the differences between the inner and outer parts with regard to the extractive content seemed to be minimal (Table 6).

Previous information on the variation of the extractive content of pine and spruce pulpwood in different parts of Finland have been presented in a study made by the Finnish Pulp and Paper Research Institute (1949 a and b). According to this study, the acetone extractive content of pine wood from Ruotsinkylä, South-Finland, was 2.6 % and that originating from Rovaniemi, North-Finland, 4.9 %. For spruce the corresponding figures were 1.5 and 1.9 %. According to the joint study of the Forest Research Institute and the Pulp and Paper Research Institute, the extractive content of pine wood was 2.8 % in southern Finland and 4.3 % for localities north of the 66th parallel, the corresponding figures for spruce being 1.3 and 1.9 % (M a k k o n e n 1967 a and b). The values for spruce agree completely with the results of the present study, but for pine the difference between northern and southern Finland is smaller according to the present investigation. K a l l a (1967), working from the annual statistics for tall oil and turpentine production published by the Finnish Cellulose Association, estimates a greater difference between South- and North-Finland.

When adapting the results to practical use, it ought to be kept in mind that the figures presented refer to extractive contents of defect-free wood. Including knots gives higher values. Thus, for instance, in a pine saw log the content of methanol benzene extractives was 3.5 % in the sapwood, 5.9 % in the heartwood, 12.1 % in the wood adjoining knots, and as much as 29.5 % in knotwood (J a y m e and B l i s c h n o k 1938). According to W e g e l i u s (1939), the ether extractive content of spruce knots is 5.4 %. H ä g g l u n d and L a r s o n (1937) arrived at still higher values; the ether extractive content of spruce knots was 8.1 % and the acetone extractive content 15.4 %.

On the basis of the basic density of wood and the percentage of extractives, the quantity of extractives can be calculated in terms of kilograms per solid cubic metre (Fig. 14 and Table 7). In the present material the acetone extractive content for heartwood of pine was about 20 kg/cu.m., the figure for North-Finland being slightly higher than that for South-Finland. The quantity of extractives in the heartwood of spruce was only 1/3 of this figure. In the sapwood of pine the acetone extractive content was about 12 kg/cu.m. in the whole country; for spruce the corresponding value was about one half of that for pine. Compared with pine, the proportion of extractives in spruce seems to increase slightly toward the north, which,

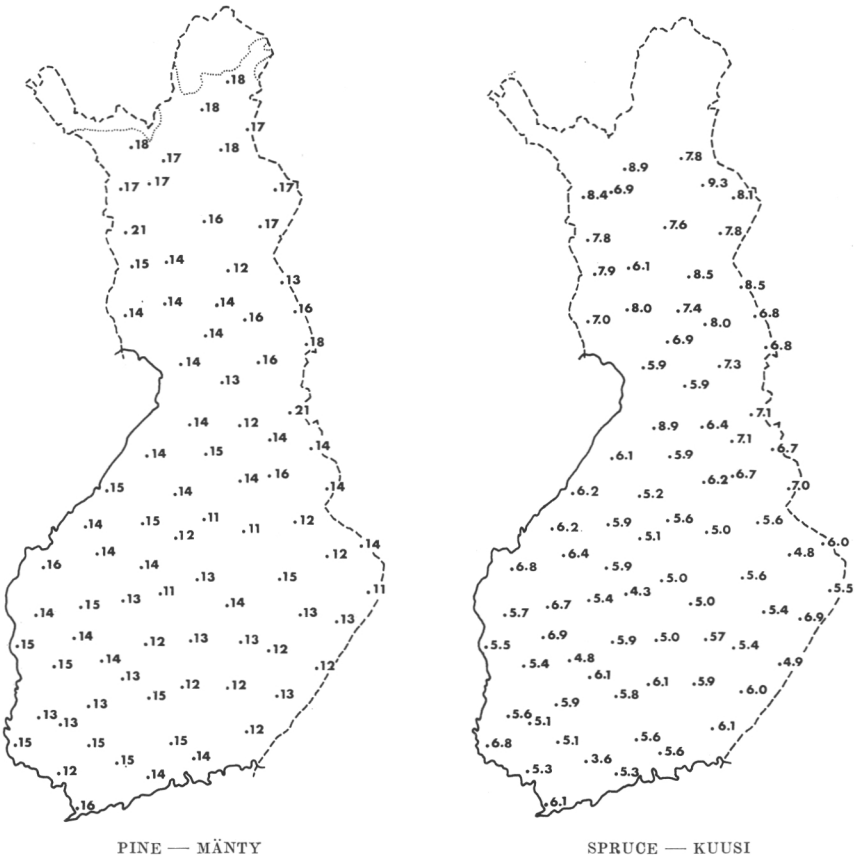


Figure 14. The local variation of acetone extractive content, in kilograms per solid cubic metre, in the present material.

Kuva 14. Paperipuun asetoniuutteitten määrä kilogrammoina kiintokuutiometriä kohti paikkakunnittain tutkimusaineistossa.

on the other hand, depends on the increase in density of spruce wood as compared with pine wood.

Latitude	Weight of extractives in spruce pulpwood as a per cent of the weight of extractives in pine pulpwood
—62.00	41
62.01—64.00	43
64.01—66.00	45
66.01—	49

The pulp yield is more dependent on the weight of extracted wood than that of unextracted wood. For this reason, the weights of extractives and extracted wood by latitudes are presented in Table 8. The density of extracted wood varies from north to south in the same way as that of unextracted wood. Regarding pine pulpwood, however, the difference between

Table 7. Latitudinal variation of the acetone extractive content of pulpwood, in kilograms per solid cubic metre.

Taulukko 7. Paperipuun asetoniuutteitten määrä kiloina kiintokuutiometriä kohti leveysasteittain.

Latitude — *Leveysaste*	Heartwood *Sydänpuu*		Sapwood *Pintapuu*		Average *Keskimäärin*	
	Extractives, kg/cu. — *Uutteita, kg/km.-m³*					
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	Pine — *Mänty*					
—62.00	19.1	3.5	12.6	1.1	13.5	1.2
62.01—64.00	19.2	2.4	11.6	1.5	13.2	1.3
64.01—66.00	21.5	3.0	12.5	1.8	14.9	2.3
66.01—	23.4	3.1	12.4	1.7	16.0	2.1
	Spruce — *Kuusi*					
—62.00	..		..		5.6	0.7
62.0 —64.00	..		..		5.7	0.7
64.01—66.00	..		..		6.7	0.8
66.01—	..		..		7.8	0.8

Table 8. Latitudinal variation of the weight of acetone extractives and extracted wood in pulpwood, in kilograms per solid cubic metre.

Taulukko 8. Paperipuun asetoniuutteitten ja uutetun puuaineen paino kiintokuutiometriä kohti leveysasteittain.

Latitude — *Leveysaste*	Basic density *Puuaineen tiheys*	Extractives *Uutteita*	Extracted wood *Uutettua puuta*
	Kg/cu.m. — *Kg/k-m³*		
	Pine — *Mänty*		
—62.00	397.6	13.5	384.1
62.01—64.00	401.2	13.2	388.0
64.01—66.00	407.0	14.9	392.1
66.01—	379.1	16.0	363.1
	Spruce — *Kuusi*		
—62.00	379.1	5.6	373.5
62.01—64.00	382.5	5.7	376.8
64.01—66.00	397.1	6.7	390.4
66.01—	386.6	7.8	378.8

North- and South-Finland is slightly greater for extracted than for unextracted wood; for spruce pulpwood, on the other hand, the initially small differences continually level out. Because of the greater content of extractives in pine, the weight ratios between these tree species change in favour of spruce after the extractives have been removed, as can be seen from the following table.

Latitude	Weight of extracted spruce pulpwood as a per cent of the weight of extracted pine pulpwood
—62.00	97.2
62.01—64.00	97.1
64.02—66.00	99.6
66.01—	104.3

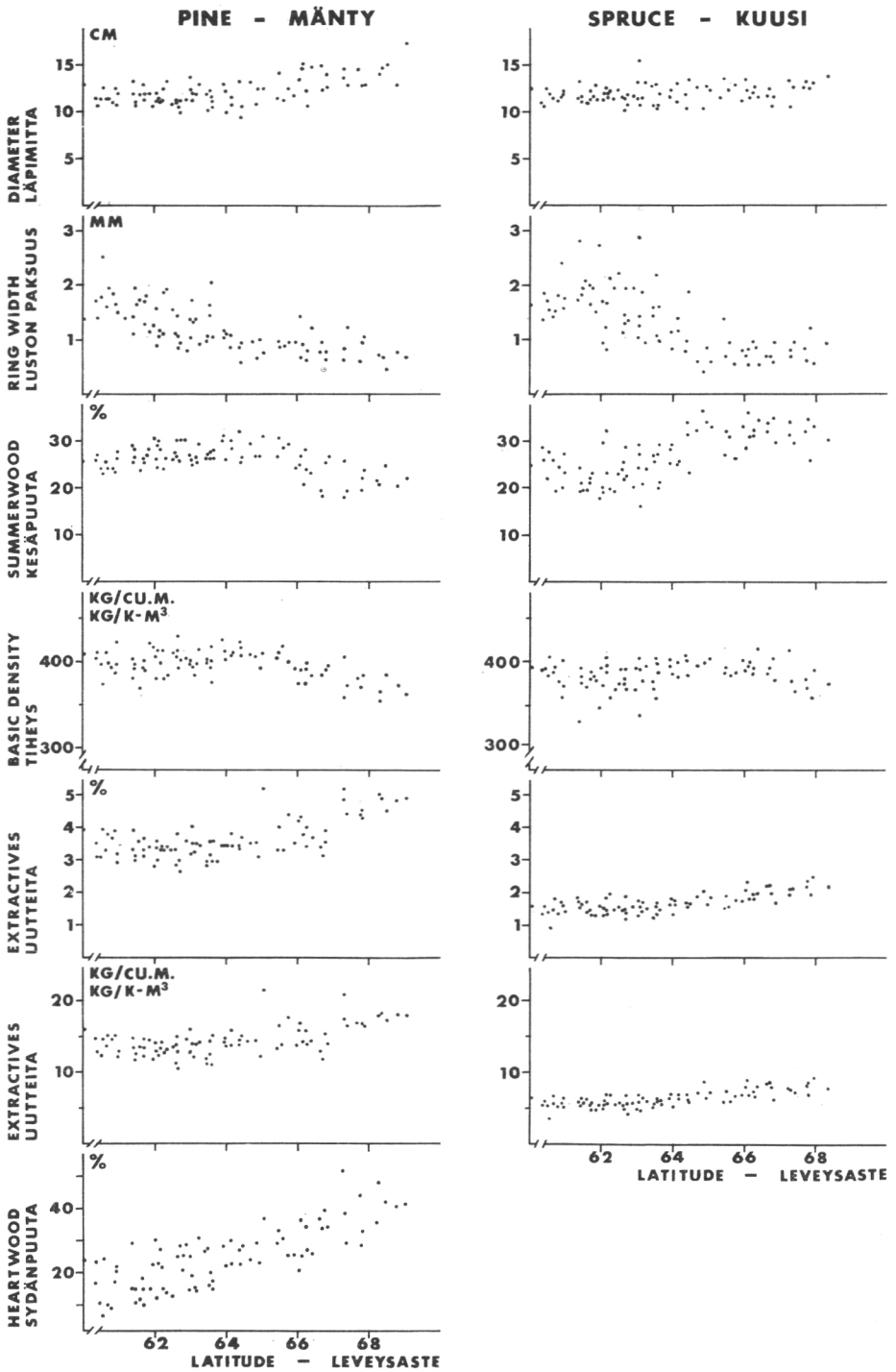


Figure 15. Variation of pulpwood properties in the north-south direction in Finland.
Kuva 15. Eräitten paperipuun ominaisuuksien vaihtelu Suomen pohjois-eteläsuunnassa.

47. Pulpwood zones

In the foregoing sections it has been indicated that in Finland the variation of the pulpwood properties shows a more or less distinct trend from north to south (Fig. 15). On the other hand, no corresponding phenomen has been observed for the east-west direction; however, this might only be due to the irregular and narrow shape of the country. Consequently, it is evident that the borders between the zones to be distinguished on the basis of the properties of pulpwood will run from east to west rather than from north to south. However, the formation of these zones does not only depend on latitude or longitude, but differences in altitude, soil, climatic conditions, geographical race, and structure and age of the forests between large regions may also influence the division.

The zone division arrived at in the present study is based on the best alternative obtained by uniting the data by forestry board districts in different ways, as was earlier explained. The use of the forestry board districts might seem questionable because their borders do not actually follow the most suitable zone borders. Thisis particularly true because in the north, where the properties of pine pulpwood seem to change the most rapidly, the forestry board districts are rather extensive in area. For this reason, the northernmost forestry board districts were divided into two parts in the examination. On the other hand, there is reason to emphasize that practical application of the results would be more difficult when using zones following, for instance, temperature conditions.

Classification by forestry board districts was carried out by means of multiple discriminant analysis and the aim was to minimize within-groups variation and to maximize among-groups variation. The best test result was offered by the alternative presented in Fig. 16 according to which Finland is divided on the basis of the forestry board districts into four ($F_{18,215} = 13.25$) zones for pine and three ($F_{10,150} = 14.45$) zones for spruce.

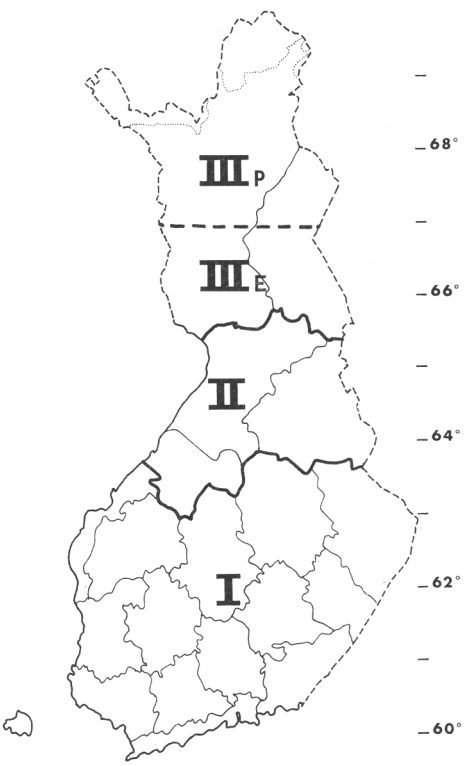


Figure 16. The pulpwood zones of Finland.
Kuva 16. Suomen paperipuuvyöhykkeet.

Table 9. The vectors used to distinguish among the pulpwood zones.
Taulukko 9. Paperipuuvyöhykkeitä erottelevat vektorit.

Pulpwood property *Paperipuun ominaisuus*	Normalized vectors *Normalisoidut vektorit*		Scaled vectors *Skaalatut vektorit*	
	Discriminant — *Diskriminantti*			
	1.	2.	1.	2
	Pine — *Mänty*			
Diameter — *Läpimitta*	1.044	— 0.695	10.1	— 6.8
Ring width — *Luston paksuus*	—11.018	—28.666	— 30.9	—80.5
Heartwood — *Sydänpuu*	0.426	— 0.734	23.8	—41.0
Summerwood — *Kesäpuu*	— 1.542	1.137	— 32.1	23.6
Density — *Tiheys*	— 0.166	0.338	— 17.7	36.0
Extractives — *Uutteet*	9.752	9.453	33.0	31.9
	Spruce — *Kuusi*			
Diameter — *Läpimitta*	— 0.531	—	— 73.1	—
Ring width — *Luston paksuus*	0.169	—	67.3	—
Summerwood — *Kesäpuu*	— 0.503	—	—176.9	—
Density — *Tiheys*	— 0.042	—	—170.0	—
Extractives — *Uutteet*	— 0.845	—	—157.3	—

For both of the tree species in question the zonal division was based on the bolt diameter, ring width, percentage of summerwood, basic density, and content of extractives and, in addition, for pine, on the heartwood percentage. Using these variables three discriminant functions were formed for pine, the proportion of the first of which was 88 %, the second 9 %, and the third only 3 % of the predictive power of the test battery in distinguishing among the geographical pulpwood zones. For spruce there were only two discriminant functions because the number of zones was smaller. The corresponding proportion of the first function was 97 %, that of the second one being only 3 %. Table 9 shows the normalized vectors of the most important discriminant functions, with the aid of which the score of the discriminant functions as well as the corresponding scaled vectors could be calculated, which, for their part, indicate the relative importance of each variable in the discriminant function.

The scaled vectors indicate that, among the properties of pine pulpwood studied here, none has a dominant position in the formation of zones. The bolt diameter, however, is of smaller importance than any other variable. Regarding spruce pulpwood, both the bolt diameter and ring width seem to be less important.

The normalized vectors, on the other hand, indicate that in pine the score value of the first, or the most important discriminant function, increases with increasing diameter, heartwood percentage and extractive content or with decreasing ring width, summerwood percentage and basic density. Thus, the score value of the first discriminant is highest in the

northernmost zone and lowest in the southernmost zone. The task that remains for the second discriminator of pine is to contrast zone II more sharply with the otherwise relatively even progression from north to south. The score value of the only important discriminator of spruce decreases from south to north, such that a greater diameter, narrower ring width, and higher percentage of summerwood, basic density and content of extractives are characteristic of spruce pulpwood in the northernmost zone.

Pulpwood zone	Pine Discriminator 1	Pine Discriminator 2	Spruce Discriminator 1
		Mean	
I	—70.2	133.1	—117.7
II	—63.5	150.6	—167.8
III E	—49.2	134.7	—212.1
III P	—27.8	135.0	

The pulpwood zones are a result of simultaneous analysis of several independent variables, which does not necessarily mean that the zone division leads to the best possible result for a certain individual variable. Hereby, it might also have happened that a property that is of minor importance for the pulp industry has gained more weight in the analysis than, for instance, the wood density because the variation has been more clearly dependent on the geographical location of the site. However, from the viewpoint of practical application of the results it was considered important to present only one common zone division; the use of several separate zone divisions would have been unnecessarily complicated to put into practice.

Tables 10 and 11 present the properties of pulpwood by zones. The averages representing the whole country were calculated by weighting the values by zones with the quantities of pine and spruce pulpwood felled within these zones in 1965 (Ervasti and Huttunen 1967) and 1966 (Huttunen 1968). On the basis of these tables the following summary can be made.

Zone I covers the main part of Finland; only the northernmost five forestry board districts remain outside of it. Of the pine pulpwood felled in 1965 and 1966 in Finland 66 % came from this zone, the corresponding percentage for spruce being 75 (cf. Ervasti and Huttunen 1967, Huttunen 1968). Division of this area into smaller parts would require a material considerably larger than that of the present study.

Within zone I the properties of pulpwood vary to a greater extent than within other zones. This is partly due to the size of the zone, but perhaps more so to the irregular variation of the forest site types, stand age and growth rate. The properties of the pulpwood are generally speaking the same

Table 10. The properties of pine pulpwood by zones.
Taulukko 10. Mäntypaperipuun ominaisuudet vyöhykkeittäin.

Property — *Ominaisuus*	Zone — *Vyöhyke*				Average *Keskimäärin*
	I	II	III E	III P	
Bolt diameter, cm. — *Pölkyn läpimitta, cm*	11.5	11.6	13.0	13.8	11.8
Ring width, mm — *Luston paksuus, mm*	1.4	0.9	1.0	0.8	1.2
Percentage of heartwood — *Sydänpuuprosentti*	18.9	26.7	30.0	39.0	22.6
Percentage of summerwood — *Kesäpuuprosentti*	26.4	28.3	24.0	21.9	26.2
Density, kg/cu.m. (unextracted) — *Tiheys, kg/k-m³ (uutteineen)*					
— Inner part — *Sisäosa*	384	408	397	392	390
— Middle part — *Keskiosa*	392	408	385	374	393
— Outer part — *Ulko-osa*	407	412	386	371	404
— Average — *Keskimäärin*	399	410	387	375	398
Density, kg/cu.m. (extracted) — *Tiheys, kg/k-m³ (uutteitta)*					
— Average — *Keskimäärin*	386	395	373	357	385
Acetone extractives, per cent — *Asetoniuutteita, %*					
— Heartwood — *Sydänpuu*	4.9	5.3	5.3	6.5	5.1
— Sapwood — *Pintapuu*	3.0	3.0	3.1	3.5	3.0
— Average — *Keskimäärin*	3.3	3.6	3.7	4.7	3.7
Acetone extractives, kg/cu.m. — *Asetoniuutteita, kg/k-m³*					
— Heartwood — *Sydänpuu*	18	21	20	25	19
— Sapwood — *Pintapuu*	12	12	12	13	12
— Average — *Keskimäärin*	13	15	14	18	14

Table 11. The properties of spruce pulpwood by zones.
Taulukko 11. Kuusipaperipuun ominaisuudet vyöhykkeittäin.

Property — *Ominaisuus*	Zone — *Vyöhyke*			Average *Keskimäärin*
	I	II	III	
Bolt diameter, cm. — *Pölkyn läpimitta, cm*	11.8	12.1	12.3	11.9
Ring width, mm. — *Luston paksuus, mm*	1.7	1.0	0.8	1.5
Percentage of summerwood — *Kesäpuuprosentti*	23.7	29.2	31.5	25.3
Density, kg/cu.m. (unextracted) — *Tiheys, kg/k-m³ (uutteineen)*				
— Inner part — *Sisäosa*	378	402	410	385
— Middle part — *Keskiosa*	373	393	383	377
— Outer part — *Ulko-osa*	386	398	386	388
— Average — *Keskimäärin*	380	396	387	383
Density, kg/cu.m. (extracted) — *Tiheys, kg/k-m³ (uutteitta)*				
— Average — *Keskimäärin*	374	389	379	377
Acetone extractives, per cent — *Asetoniuutteita, %*	1.5	1.6	2.0	1.6
Acetone extractives, kg/cu.m. — *Asetoniuutteita, k-m³*	6	7	8	6

as the averages for the whole country. The relatively slow-grown and old forests occuring within this zone yield pulpwood the heartwood percentage, summerwood percentage and density of which are higher than the averages for the same area. On the other hand, it is known that plantation-grown spruce produces exceptionally light pulpwood in South-Finland (H a k k i l a and U u s v a a r a 1968).

Z o n e II covers the forestry board districts of Keski-Pohjanmaa, Pohjois-Pohjanmaa and Kainuu. According to the afore mentioned sources, 18 % of the pine and 14 % of the spruce pulpwood cut in Finland in 1965 and 1966 came from these districts. Within this zone the proportion of sawtimber to pulpwood is smaller than in areas to the south of it; consequently, the proportion of pulpwood made from the top of sawtimber trees is also smaller than the average. This, on the other hand, increases the percentage of summerwood and the basic density of the average pulpwood.

In zone II tree growth is already essentially slower than in southern Finland and the variation in pulpwood properties from one cutting area to another is considerably smaller. Due to this fact and to the high age of the pulpwood, the summerwood percentage and basic density seem to be slightly higher than they are further to the south. The percentage of heartwood and the extractive content, too, seem to be higher.

Z o n e III is formed by the forestry board districts of Koillis-Suomi and Lapland. In 1965 and 1966 the proportion of pulpwood cut from this region was 16 % for pine and 11 % for spruce of the total for the whole country. Climatic and soil conditions are very severe here and grow poorer toward the north, so that the northern border of this zone forms the limit beyond which pine is not able to form forests. The average properties of pine pulpwood change even within zone III from north to south and, for this reason, it has been further divided, for the part of pine pulpwood, into two parts: III E and III P. The border between these subregions follows the 67th parallel.

The timber of zone III is characterized by extremely slow growth, abundance of over-mature trees, common occurrence of decay, short and abnormally tapering stems, and, for spruce, abundant knots. The local pine race of Lapland forms, at least for North-Finnish conditions, exceptionally little summerwood, whereas the Lapland spruce is characterized by a high summerwood percentage connected with narrow ring width. However, it ought to be noted that the spring- or summerwood formed by North-Finnish trees is not necessarily similar to that formed in southern Finland.

Special characteristics of North-Finnish pine pulpwood are the large average diameter that depends on the stem form, the slow growth and, in connection to the latter, the high percentage of heartwood and the high content of extractives as well as the low summerwood percentage and basic

density. All these properties are brought about in a more distinct way in the northern part of the zone. North-Finnish spruce pulpwood, too, is slightly larger in diameter than that from South-Finland, and it is also characterized by narrow rings and a high percentage of heartwood. The content of extractives exceeds that for southern spruce, but the differences are not great. The percentage of summerwood is high, but the differences between spring- and summerwood in spruce are smaller in the north than in the south. Contrary to pine pulpwood, the basic density of North-Finnish spruce pulpwood is at least equally high if not slightly higher in the north than in southern Finland.

In the main part of Finland spruce pulpwood is lower in density than pine pulpwood. Toward the north, however, the differences level out and, in the northernmost parts of the country, spruce pulpwood is even heavier. When studying extracted wood, a comparison is more advantageous for spruce than for pine.

Pulpwood zone	Basic density of spruce pulpwood as a per cent of basic density of pine pulpwood	
	Unextracted wood	Extracted wood
I	95.2	96.9
II	96.6	98.4
III E	100.0	101.6
III P	103.2	106.2

5. DISCUSSION

The principal results of the study are presented in Tables 10 and 11. When these results are adapted in practice, however, it has to be remembered that they are valid only for defect-free wood. Defects of different kinds as well as their influence on the properties of pulpwood were not considered in the present connection and were, on the contrary, even avoided. On the basis of practical knowledge, however, we know, for instance, that North-Finnish pulpwood is to a large extent subject to decay. Likewise we know that the knottines of North-Finnish spruce pulpwood exceeds the average. As these defects are of considerable importance for the pulp and paper industries, and as their occurrence evidently varies in different parts of the country, the geographical variation of defects should also be studied.

Knowledge of the variation of the properties of defect-free wood, however, is already a step forward when comparing the properties and relative value of North- and South-Finnish pulpwood. Wood density probably is of the greatest importance because the wood consumption per ton of chemical or groundwood pulp depends, to a decisive degree, on this factor. Therefore the importance of the geographical variation of this property will be examined in more detail in the following context.

The zones presented in Fig. 16 were determined on the basis of six properties for pine and five for spruce. Thus, the zone division is a result of an analysis of several independent variables and it is quite possible that the borders between these zones are not ideal in so far as wood density is concerned. Detailed examination of the samples collected from different localities, however, seems to indicate that the borders follow the variation in wood density to a satisfactory degree. Analysis of variance also indicates that there is a statistically significant difference in the density of pulpwood between the different zones.

Source of variation	Sum of squares	d.f.	Variance	F-value
	Pine pulpwood			
Among the zones	9 810	3	3 270	23.32
Within the zones	11 360	81	140	
Total	21 170	84		
	Spruce pulpwood			
Among the zones	3 296	2	1 648	6.61
Within the zones	19 691	79	249	
Total	22 987	81		

The analysis of variance table shows that the zone borders are better suited to pine than spruce pulpwood. As a matter of fact, however, the density of spruce pulpwood, too, is significantly different between the various zones even if the difference between zone I and III is significant only at the 95 per cent significance level. A similar comparison carried out on the density of extracted wood shows no significant difference between spruce pulpwood zones I and III.

On the basis of the basic density of wood, the relative wood consumption in terms of cubic metres per ton of groundwood can be calculated. The extractives remain usually as such in the groundwood and therefore the variation in their proportion does not affect the yield percentage. The differences in spruce pulpwood diameter between South- and North-Finland, too, are so small that their possible influence on the process of grinding has not to be taken into consideration in the comparison.

When calculating the relative wood consumption in cubic metres per ton of sulphate pulp of pine or sulphite pulp of spruce in different parts of Finland, we must know, besides the basic density of the wood, the pulp yield in per cent per unit weight of wood. In the present investigation the proportion of extractives of the weight of wood was established; thus, for calculation of the consumption figures it suffices to know the yield in per cents of extracted wood. For instance, depending on the lignin content, the yield percentage, too, is not constant over the whole country. The figures indicating the wood consumption within the different pulpwood zones were calculated as follows.

For pine the wood density figures presented in Table 10 were used, whereas for spruce the corresponding values were drawn from Table 11. The extractives, the proportions of which were drawn from the corresponding tables, were assumed to escape completely in the pine sulphate process, whereas, for the spruce sulphite process, 1/3 of the extractives was estimated to remain in the end product.

The content of carbohydrates of North-Finnish wood is probably smaller than that of South-Finnish wood. However, there is no exact information available on the size of this difference. Discussions with experts resulted in the following estimates of the yield percentages as calculated from extracted wood: 46 % for South-Finnish and 45 % for North-Finnish pine sulphate pulp as well as 50 % and 48 %, respectively, for spruce sulphite pulp. As the size of these percentages depends to an essential degree on the technique used in pulping, bleaching as well as other factors, in the following table absolute data on the wood consumption are not presented. The figures refer to relative values when the wood consumption in zone I is given the value 100 for both pine and spruce.

Zone	Pine sulphate pulp	Spruce sulphite pulp
	Relative wood consumption	
I	100	100
II	98	98
III E	106	102
III P	110	

In the foregoing context it has been indicated that North-Finnish defect-free pine pulpwood gives a lower sulphate pulp yield than South-Finnish pine pulpwood. In addition, a few other factors exercising a similar influence ought to be taken into consideration.

— Defects are present in North-Finnish pine pulpwood to a relatively great extent, as a result of decay, and the yield is accordingly lowered.

— Presently in northern Finland, residues, which have been left lying on the ground after earlier cuttings, and which are mainly tops of big trees, are collected for utilization. On the other hand, we know that even sound wood from the upper parts of the stem is considerably lower in density than the stem on an average. By the end of 1967 about 2 mill. cu. m., stacked measure, of this timber assortment had been collected (P e l k o n e n 1967); on the other hand, however, this is only a passing phenomenon because this assortment is estimated to be finished within the next few years.

— Considerable amounts of saw logs are also used for paper manufacture. This takes place, as a matter of fact, on a much smaller scale for pine than for spruce; however, there is reason to observe that in South-Finland pine saw logs are higher in density than pine pulpwood (H a k k i l a 1966), whereas, on the other hand, the situation might even be contrary to this in northern Finland. Unfortunately, the density of North-Finnish sawtimber has not been studied, but on the basis of its high age as well as the indications of Table 5, there is reason to assume that it is not heavier than pulpwood.

— A considerable source of raw material for sulphate pulp is the chips produced by the sawmill industry. A great part of these chips comes from slabs which, for their part, mainly represent the superficial parts of the butt of stems, or the part of pine stems highest in density. Thus, pine chips from southern Finland are considerably heavier than pine pulpwood from the same area (H a k k i l a 1968). On the other hand, it ought to be observed that sawmill chips of spruce are also used in southern Finland as a raw material for sulphate pulp, and this raw material, for its part, is clearly lighter than pine pulpwood. In North-Finland the proportion of sawmill chips used is smaller than in South-Finland; in addition, we may assume, on the basis of Table 5,

that the density of sawmill chips of pine in the north may be lower than that of pine pulpwood.

It may be concluded that the North- Finnish pulp industry that uses pine wood is in an unfavourable situation with regard to the raw material in comparison with South-Finnish mills. Its greater yields of byproducts are not able to compensate for the additional cost due to the greater wood consumption.

The properties of the raw material of the industry that uses spruce wood show a much smaller and more irregular variation in different parts of Finland. Regarding the yield of end products in particular the differences are small; however, within pulpwood zone II the wood consumption seems to be slightly smaller than elsewhere in Finland. There might even be more differences in the quality of the end product, but their examination does not fall within the scope of the present study.

Although pine predominates in the sulphate pulp industry, there is still reason to pay attention to the use of spruce wood in this industry. In South-Finland one must always be prepared for the fact that the consumption of spruce wood, whether it be a question of pulpwood, saw logs or sawmill chips, will always be greater than that of pine pulpwood. In northern Finland, on the other hand, the situation seems to be the reverse because extracted spruce wood is at least as dense if not even denser than pine wood in the north. Another problem is then posed by the yield of byproducts, which for spruce is naturally always smaller than for pine.

6. SUMMARY

The aim of the investigation was to establish the geographical variation in Finland of the diameter, ring width, heartwood percentage, summerwood percentage, wood density, and extractive content of pine and spruce pulpwood. These properties were compared within large regions, special attention being given to the differences between South- and North-Finland.

The material consisted of increment cores collected at timber landings from 85 localities in different parts of Finland. Each locality was represented by 150 cores for each tree species; thus, the total number of cores exceeded 25 000. Only completely defect-free samples were accepted and, consequently, the results are valid for defect-free wood only.

The detailed examination of the different properties presented in sections 41—46 indicates that the geographical variation of almost all the variables studied show a certain regularity from north to south (Fig. 15). On the other hand, no distinct pattern of variation was discovered on an east-west direction.

In accordance with one of the goals of the study, Finland was divided into pulpwood zones. This took place by means of a multiple discriminant analysis in which it was attempted to establish the most suitable zone division by grouping forestry board districts in different ways, such that the pulpwood properties within each zone would be as uniform as possible and the differences between the zones as great as possible. This procedure gave three zones, the northernmost of which was further divided into two parts for the part of pine pulpwood (Fig. 16).

Section 47 and, especially, Tables 10 and 11 describe the average properties of pine and spruce pulpwood in the different zones. It is clearly indicated that North-Finnish pine pulpwood is not in all respects as good as South-Finnish pine pulpwood. Particularly because of low density, the consumption of pine wood in solid cubic metres per ton of sulphate pulp is in northern Finland higher than on the average (Section 5). For spruce pulpwood the differences between South- and North-Finland are small with respect to wood density.

LITERATURE CITED

Anderson, Arthur, B. 1962. The influence of extractives on tree properties. II. Ponderosa pine *(Pinus ponderosa Dougl.)*. Journal of the Institute of Wood Science. Number 10: 29—47.

Anderson, Arthur and Zavarin, Eugene. 1965. The influence of extractives on tree properties. III. Incence cedar *(Libocedrus decurrens Torrey)*. Journal of the Institute of Wood Science. No. 15: 3—24.

Barefoot, A. C., Hitchings, R. G. and Ellwood, E. L. 1964. Wood characteristics and kraft paper properties of four selected loblolly pines. I. Effect of fiber morphology under identical cooking conditions. Tappi 47: 343—356.

Brandal, John and Lindheim, Anders. 1967. The influence of extractives in groundwood pulp on fibre bonding. Papirindustriens Forskningsinstitut. Meddelelse Nr. 209.

Brown, H. P., Panshin, A. J. and Forsaith, C. C. 1949. Textbook of wood technology. Volume I. New York.

Browning, B. L. 1967. Methods of wood chemistry. New York — London — Sydney.

Bruun, Henrik. 1965. Selluteollisuuden käyttämän männyn ja kuusen sydänpuupitoisuus. The heartwood contens in pulp wood of pine *(Pinus silvestris)* and spruce *(Picea abies)* from Finland. Kemian Teollisuus 22: 919—922.

—»— 1967. Maamme selluloosateollisuuden havupuun runkohalkaisijasta ja iästä. The relationship between trunk diameter and age of pulp wood of spruce *(Picea abies)* and pine *(Pinus silvestris)* from Finland. Kemian Teollisuus 24: 20—22.

Bruun, Henrik and Willberg, Jorma. 1964. The heartwood contents of pine *(Pinus silvestris)* and spruce *(Picea abies)*. Paperi ja Puu 46: 221—227.

Bryan, J. and Pearson, F. G. O. 1955. The quality of Sitka spruce grown in Great Britain. Empire Forestry Review 34: 144—159.

Burger, H. 1941. Holz, Blattmenge und Zuwachs. V. Fichten und Föhren verschiedener Herkunft auf verschiedenen Kulturorten. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen 22: 10—62.

—»— 1948. Holz, Blattmenge und Zuwachs. IX. Mitteilung. Die Föhre. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen 25: 435—493.

—»— 1953. Holz, Blattmenge und Zuwachs. XII. Mitteilung. Fichten im Plenterwald. Mitteilungen der Schweizerisehen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen 28: 109—156.

Cooley, William W. and Lohnes, Paul R. 1966. Multivariate procedures for the behavioral sciences. New York — London — Sydney.

Cohen, W. E. 1962. Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries. Chapter 13: The influence of resins on paper manufacture. New York and London.

Dadswell, H. E. and Hillis, W. E. 1962. Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries. Chapter 1: Wood. New York and London.

Dadswell, H. E. and Wardrop, A. B. 1959. Growing trees with wood properties desirable for paper manufacture. Reprint, Journal of Australian Pulp and Paper Industry Technical Association.

Dadswell, H. E., Watson, A. J. and Nichols, J. W. P. 1959. What are the wood properties required by the paper industry in the trees of the future? Tappi 42: 521—526.

Edlin, H. L. 1965. The summerwood: springwood ratio in conifers. The Journal of the Society of Foresters of Great Britain 38: 91—112.

Eneroth, O. 1922. Handbok i skogsteknologi. Vedens byggnad och egenskaper. Stockholm..

Ericson, Börje. 1959. A mercury immersion method for determining the wood density of increment core sections. Statens Skogsforskningsinstitut. Avdelningen för skogsproduktion. Rapporter nr 1.

—»— 1960. Studies of the genetical wood density variation in Scots pine and Norway spruce. Studier över den ärftliga volymviktsvariationen hos tall och gran. Statens Skogsforskningsinstitut. Avdelningen för skogsproduktion. Rapporter nr 4.

—»— 1966. Gallringens inverkan på vedens torr-råvolymvikt, höstvedhalt och kärnvedhalt hos tall och gran. Effect of thinning on the basic density and content of latewood and heartwood in Scots pine and Norway spruce. Skogshögskolan. Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser nr 10.

Ervasti, Seppo ja Huttunen, Terho. 1967. Suomen puunkäyttö vuonna 1965 ja ennakkotietoja vuodelta 1966. Wood utilization in Finland in 1965 and preliminary data for the year 1966. Folia Forestalia 35.

Finnish Pulp and Paper Research Institute. 1949a. Undersökningar beträffande cellulosavedens kvalitet, utförda under åren 1945—48. Granved och sulfitcellulosa. Centrallaboratorium AB. Kokförsöksavdelningens undersökningsrapport nr 37.

Finnish Pulp and Paper Research Institute. 1949b. Sulfatcellulosavedens kvalitet. Centrallaboratorium AB. Kokförsöksavdelningens undersökningsrapport nr 38.

Gardner, J. A. F. and Hillis, W. E. 1962. Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries. Chapter 11: The influence of extractives on the pulping of wood. New York and London.

Gayer, Karl und Fabricius, Ludwig. 1921. Die Forstbenutzung. Berlin.

Gilmore, A. R. 1963. More on specific gravity of shortleaf pine in southern Illinois. Journal of Forestry 61: 596—597.

—»— 1968. Geographic variations in specific gravity of white pine and red pine in Illinois. Forest Products Journal 18, No 11: 49—51.

Goddard, R. E. and Strickland, R. K. 1962. Geographic variation in wood specific gravity of slash pine. Tappi 45: 606—608.

Goggans, James F. 1962. The correlation, variation and inheritance of wood properties in loblolly pine *(Pinus taeda* L.). North Carolina State College. School of Forestry. Technical Report No. 14.

Hakkila, Pentti. 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. Puun laadun vaikutuksesta mäntysulfaattisellua valmistettaessa. Summary: On wood quality in sulphate pulping of Scots pine. Paperi ja Puu 49: 461—464.

Hakkila, Pentti and Uusvaara, Olli. 1968. On the basic density of plantation-grown Norway spruce. Viljelykuusikoitten puuaineen tiheydestä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 66.6.

Harris, J. M. 1958. The physical and mechanical properties of New Zealand grown Douglas fir. New Zealand Forest Service, Forest Research Institute, Technical Paper No. 24: 7—39.

Hillis, W. E. and Swain, T. 1962. Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries. Chapter 12: The influence of extractives on the color of groundwood and newsprint. New York and London.

Huttunen, Terho. 1968. Suomen puunkäyttö vuonna 1966, ennakkotietoja vuodelta 1967 ja ennuste vuodelle 1968. Wood utilization in Finland in 1966, preliminary data for 1967 and forecast for 1968. Folia Forestalia 46.

Hägglund, E. och Larsson, S. 1937. Om grankvistens kemiska sammansättning och dess förhållande vid sulfitkokningsprocessen. Svensk Papperstidning 40: 356—360.

Jalava, Matti. 1933. Suomalaisen männyn lujuusominaisuuksista. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 18.7.

—»— 1934. Suomalaisen männyn lujuusominaisuuksista. II. Strength properties of Finnish pine *(Pinus silvestris)*. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 19.6.

—»— 1946. Suomalaisen männyn, kuusen, koivun ja haavan lujuusominaisuuksista. Strength properties of Finnish pine, spruce, birch and aspen. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 33.3.

—»— 1952. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki.

Janka, Gabriel. 1909. Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der Österreichischen Bauhölzer. III. Technische Qualität des Fichtenholzes im Allgemeinen. Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Österreiches 35: 1—127.

Jayme, G. und Blischnok, B. 1938. Über die chemische Zusammensetzung der verschiedenen Anteile des Kiefernholzes. Holz als Roh- und Werkstoff 1: 538—543.

Johansson, David. 1940. Über Früh- und Spätholz in schwedischer Fichte und Kiefer und über ihren Einfluss auf die Eigenschaften von Sulfit- und Sulfatzellstoff. Holz als Roh- und Werkstoff 3: 73—78.

Jones, E. D., Campbell, R. T. and Nelson, G. G. Jr. 1966. Springwood-summerwood separation of southern pine pulp to improve paper qualities. Tappi 49: 410—414.

Kahila, Seppo. 1964. Pitch trouble caused by unbleached spruce sulphite pulp. Paperi ja Puu 46: 615—624.

Kalla, Juhani. 1966. Mäntypinotavaran kulutus valkaisemattoman sulfaattiselluloosan valmistuksessa Pohjois- ja Etelä-Suomessa. The consumption of pine pulpwood in the preparation of unbleached sulphate cellulose in northern and southern Finland. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 83: 149—160.

Kaňák, K. 1956. Resin content of *Pinus silvestris* L. stems under different site conditions in Bohemia. Sborník Ceskoslaw. akad. zemědělské 29: 645—656. (Cited from Forestry Abstracts 18).

Kennedy, R. W. 1961. Variation and periodicity of summerwood in some second-growth Douglas-fir. Tappi 41: 161—166.

Klem, Gustav G. 1934. Undersøkelser av granvirkets kvalitet. Untersuchungen über die Qualität des Fichtenholzes. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 5: 197—348.

Klem, Gustav S. 1965. Tørrvolumvektsvariasjoner hos fremmende bartreslag og vanlig gran fra Sør-og Vestlandet. Variations in the specific gravity of foreign softwood species and Norway spruce from South and West Norway. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. Bind 20: 137—169.

Knigge, Wolfgang und Schulz, Horst. 1966. Grundriss der Forstbenutzung. Hamburg and Berlin.

Kollmann, Franz E. P. and Côté, Wilfred A. Jr. 1968. Principles of wood science and technology. I. Solid wood. Berlin — Heidelberg — New York.

Lappi-Seppälä, M. 1952. Männyn sydänpuusta ja runkomuodosta. Über Verkernung und Stammform der Kiefer. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 40.25.

Larson, Philip R. 1957. Effect of environment on the percentage of summerwood and specific gravity of slash pine. Yale University, School of Forestry, Bulletin No. 63.

—»— 1962. A biological approach to wood quality. Tappi 45: 443—448.

Liese, J. 1928 Über die mechanischen Eigenschaften des Archangelskholzes. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 60: 43—47.

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

—»— 1967b. Vertaileva keittotutkimus eri osissa Suomea kasvaneen paperipuun sellusaannosta ja sellujen ominaisuuksista. Osa II. Kuusi. Oy Keskuslaboratorio. Seloste 793.

Makkonen, Olli. 1959. Pinotiheys mäntypaperipuiden laaturyhmän tunnuksena. Pile density as a characteristic of the quality group of pine pulpwood. Metsäteho Report 155.

Mergen, Francois, Burley, Jeffery and Yetman, Christopher W. 1964. Variation in growth characteristics and wood properties of Norway spruce. Tappi 47: 499—504.

Mikola, Peitsa. 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. On variations in tree growth and their significance to growth studies. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 38.5.

Mitchell, Harold L. 1961. A concept of intrinsic wood quality, and nondestructive methods for determining quality in standing timber. Forest Products Laboratory Report No. 2233.

Mitchell, H. L. and Wheeler, P. R. 1959. Wood quality of Mississippi's pine resources. Forest Products Laboratory Report No. 2143.

Mork, Elias, 1928. Die Qualität des Fichtenholzes unter besonderer Rücksichtsnahme auf Schleif- und Papierholz. Papier Fabrikant 26: 741—747.

Murto, Jaakko. 1951. Mäntypuumme pihka voiteluöljyn raaka-aineena. Helsinki.

Nordin, Bengt and Selleby, Lars. 1965. The effect of outside chip storage on the tall oil yield. Svensk Papperstidning 68, Nr 1: 1—6.

Nylinder, Per. 1953. Volymviktsvariationer hos planterad gran. Variations in density of planted spruce. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut. Band. 43: 3.

Nylinder, Per. 1961a. Om träd- och vedegenskapers inverkan på råvolymvikt och flytbarhet. I. Tall. Influence of tree features and wood properties on basic density and byoyancy. I. Scots pine *(Pinus silvestris)*. Kungl. Skogshögskolan — institution för virkeslära. Uppsatser nr R 35.

—»— 1961b. Om träd- och vedegenskapers inverkan på råvolymvikt och flytbarhet. II. Gran. Influence of tree features and wood properties on basic density and buoyancy II. Norway spruce *(Picea abies)*. Kungl. Skogshögskolan — institutionen för virkeslära. Uppsatser nr R 36.

Nylinder, Per och Hägglund, Erik. 1954. Ståndorts- och trädegenskapers inverkan på utbyte och kvalitet vid framställning av sulfitmassa av gran. The influence of stand and tree properties on yield and quality of sulphite pulp of Swedish spruce *(Picea excelsa)*. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut. Band 44: 11.

Page, D. H. 1967. The collapse behaviour of pulp fibres. Tappi 50: 449—455.

Pelkonen, Aarne. 1967. Lapin metsäteollisuuden ja metsätalouden yhteisistä tavoitteista. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 84: 376—379.

Poller, Siegfried. 1968. Zür physikalisch-mechanischen Beschaffenheit von Fichtenholz auf verschiedenen Standorten. Archiv für Forstwesen 17: 733—752.

Runkel, R. 1942. Zellwandforschung unter dem Blickpunkt dess technischen Einsatzes. Zugleich IV. Mitteilung »Zur Kenntnis der Zellvände tropischer Laubhölzer». Holz als Roh- und Werkstoff 5: 413—427.

Siimes, F. E. 1938. Suomalaisen mäntypuun rakenteellisista ja fysikalisista ominaisuuksista. Erikoisesti kutistumis- ja laajenemisilmiöstä puun vesipitoisuuden vaihdellessa. Helsinki.

Sirén, Gustaf. 1959. Eräitä havaintoja keskisuomalaisen ja paikallisen mäntyrodun biologisista ja teknillisistä ominaisuuksista Perä-Pohjolassa. Some observations on the biological and technical properties of the local and Central-Finnish pine provenances in North Finland. Silva Fennica 96.1.

Stockman, Lennart. 1962. The influence of some morphological factors on the quality of spruce sulphite and pine sulphate pulp. Svensk Papperstidning 65: 978—982.

Strekalovskij, N. I. 1946. The technical properties of northern spruce pulpwood. Sbornik Nauch. Issledovatel. Rabot Arkhangel. lesotekh. Inst. No. 8. (Cited from Forestry Abstracts 9).

—»— 1949. Physical and mechanical properties of the wood of northern spruce. Trudy Inst. Lesa, Akad. Nauk S.S.S.R. 4: 102—107. (Cited from Forestry Abstracts 15).

Tamminen, Zachris. 1962. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. I. Tall. Moisture content, density and other properties of wood and bark.I.Scots Pine. Kungl. Skogshögskolan — institutionen för virkeslära. Uppsatser nr R 41.

Taras, M. A. and Saucier, J. A. 1966. Influence of extractives on specific gravity of southern pine. Forest Products Journal 17: 97—99.

Tiihonen, Paavo. 1966. IV valtakunnan metsien inventointi. 3. Maan pohjoispuoliskon vesistöjen ja metsänhoitolautakuntien alueryhmät. Fourth national forest inventory in Finland. 3. Northern water system areas and forestry board districts. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 60.6.

Trendelenburg, R. und Mayer—Wegelin, H. 1955. Das Holz als Rohstoff. München.

Uittoteho ry. and Oy Keskuslaboratorio. 1966. Eräitä tutkimustuloksia mänty- ja kuusipaperipuun tilavuus- ja painosuhteista sekä niiden vaikutuksesta massan saantoon Etelä- ja Pohjois-Suomessa.

Vorreiter, L. 1954. Stammform und Holzeigenschaften der Bayernwald-Fichte. Holz als Roh- und Werkstoff 12: 47—54.

Vuoristo, Ilmari. 1936. Suomen puuvanuketeollisuuden käyttämän kuusipaperipuun laatututkimuksia. Untersuchungen über die Qualität des von der Zellulose- und Schleifholzindustrie verbrauchten Fichtenpapierholzes in Finnland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 23.2.

Wegelius, Th. 1939. The presence and properties of knots in Finnish spruce. Investigations concerning the origin and characteristics of branch and knot wood in Finnish spruce with particular consideration given to the raw material needs of the paper industry. Acta Forestalia Fennica 48: 1.

Zobel, Bruce. 1963. Breeding for wood properties in forest trees. World consultation on forest genetics and tree improvement. FAO/FORGEN 63-7/0. Stockholm.

ERÄITTEN MÄNTY- JA KUUSIPAPERIPUUN OMINAISUUKSIEN MAANTIETEELLINEN VAIHTELU SUOMESSA

Lyhennelmä

Tutkimuksen tavoitteena on ollut selvittää mänty- ja kuusipaperipuun pölkyn läpimitan, luston paksuuden, sydänpuuprosentin, kesäpuuprosentin, puuaineen tiheyden ja uuteainepitoisuuden maantieteellinen vaihtelu Suomessa. Näitä ominaisuuksia on vertailtu laajojen alueitten puitteissa, ja erityisesti on kiinnitetty huomiota Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä oleviin eroihin.

Aineisto on kerätty kairanlastuina puutavaravarastoilta 85 paikkakunnalta maamme eri osista. Kultakin paikkakunnalta otettiin 150 lastua puulajia kohti, joten aineiston kokonaismäärä oli yli 25 000 lastua. Vain täysin terveet näytteet hyväksyttiin. Tulokset edustavat siten virheetöntä puuainetta.

Eri ominaisuuksien yksityiskohtainen tarkastelu luvuissa 41—46 osoittaa, että lähes kaikkien tutkittujen muuttujien maantieteellisessä vaihtelussa voidaan havaita tiettyä pohjois-eteläsuuntaista säännönmukaisuutta (kuva 15). Sen sijaan selvää itä-länsisuuntaista vaihtelua ei voitu osoittaa.

Tutkimustavoitteen mukaisesti Suomi jaettiin paperipuuvyöhykkeisiin. Tämä tapahtui erotteluanalyysillä, jossa piirimetsälautakuntia eri tavoin ryhmittelemällä pyrittiin löytämään edullisin vyöhykejako siten, että paperipuun ominaisuudet ovat kunkin vyöhykkeen sisällä mahdollisimman yhtenäiset mutta että vyöhykkeitten väliset erot ovat toisaalta mahdollisimman suuret. Näin päädyttiin kolmeen vyöhykkeeseen, joista pohjoisin jakaantuu mäntypaperipuun osalta vielä kahteen osaan (kuva 16).

Mänty- ja kuusipaperipuun keskimääräisiä ominaisuuksia eri vyöhykkeissä on kuvattu luvussa 47 ja erityisesti taulukoissa 10 ja 11. Ne osoittavat selvästi, että Pohjois-Suomen mäntypaperipuu ei ole kaikissa suhteissa Etelä-Suomen mäntypaperipuun veroista. Erityisesti alhaisen puuaineen tiheyden johdosta mäntypuun kulutus kiintokuutiometreinä sulfaattisellutonnia kohti on Pohjois-Suomessa keskimääräistä korkeampi (luku 5). Kuusipaperipuulla erot Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä sen sijaan ovat pieniä, nimenomaan mitä tulee puuaineen tiheyteen.