

FOLIA FORESTALIA 477

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1981

HEIKKI VEIJALAINEN

HIVENLANNOITUKSEN VAIKUTUS
ISTUTUSMÄNNIKÖN KEHITYKSEEN
TURVEMAALLA

LONG-TERM RESPONSES OF SCOTS PINE TO
MICRONUTRIENT FERTILIZATION ON ACID
PEAT SOIL



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Olavi Huikari
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Tuomas Heiramo
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Seppo Oja

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallista ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 477

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1981

Heikki Veijalainen

HIVENLANNOITUKSEN VAIKUTUS ISTUTUSMÄNNIKÖN
KEHITYKSEEN TURVEMAALLA

Long-term responses of Scots pine to micronutrient
fertilization on acid peat soil

ODC 2--114.444:237.4:232.425.1
ISBN 951-40-0525-2
ISSN 0015-5543

VEIJALAINEN, H. 1981. Hivenlannoituksen vaikutus istutusmännikön kehitykseen turvemaalla. Summary: Long-term responses of Scots pine to micro-nutrient fertilization on acid peat soil. *Folia For.* 477:1—15.

Tutkimuksessa esitetään tuloksia vuonna 1959 Leivonmäen Kivisuolle (61°51'N, 25°59'E) perustetusta istutusmännikön hivenlannoituskokeesta, joka sai istutuksen yhteydessä voimakkaan NPK-lannoituksen sekä hivenlannoituskäsittelety kahtena toistona. Kupari-, mangaano- ja sinkkisulfaatteja sekä lannoiteboraattia käytettiin 50 kg/ha kaikkina mahdollisina yhdistelminä. Myöhemmin koealoille istutettiin kuusen taimia. Puuston mittausta ja kasvuhäiriöiden inventointi suoritettiin syksyllä 1978, jolloin mänty oli kasvanut koealoilla 20 vuotta. Lannoiteboraatti lisäsi puuston kesipituutta ja runkojen keskikokoa sekä vähensi kasvuhäiriön esiintymistä. Täten voitiin osoittaa, että kasvualustassa oli riittämättömästi booria männyn viljelyä ajatellen. Kuparisulfaatin vaikutus näkyi nopeutuneena yksittäisten puiden järeytymisenä sekä kasvuhäiriöiden vähentymisenä. Myös mangaanosulfaatti vähensi kasvuhäiriöitä. Sinkkisulfaatin vaikutukset olivat merkityksettömiä. Monipuolinen hivenlannoitus antoi parhaan tuloksen kasvuhäiriön ehkäisyssä. Hivenlannoituksilla ei voitu todeta selviä puun tuotosta lisääviä vaikutuksia, koska koealojen runkoluvuissa esiintyi suuria eroja, jotka eivät olleet hivenlannoituksen aiheuttamia. Parhailla hivenlannoituskoealoilla mäntypuuston tilavuus oli 80—91 m³/ha ja kasvu v. 1978 8,5—10,3 m³/ha. Kuusialikasvos oli menestynyt heikosti. Se oli pisintä koealoilla, joiden mäntypuusto oli harvaa.

Results from a micronutrient fertilization experiment in a Scots pine plantation containing a more recent admixture of Norway spruce on a drained peatland, Leivonmäki-Kivisuo (61°51'N, 25°59'E) are reported. Basic NPK fertilization, afforestation and BCuMnZn-experiment with two replications was conducted in 1959. The lay-out was 2⁴-factorial. Cu, Mn and Zn were broadcasted as sulphates, B as fertilizer borate, each at a rate of 50 kg per hectare. Stand measurements and a survey of growth disturbances were conducted in 1978.

Fertilizer borate increased the mean height of the pines and the mean volume of the stems. In addition it had a preventive effect of growth disorders. Boron deficiency in Scots pine was thus demonstrated at Kivisuo. Copper sulphate had a positive effect on the size of the stems and on growth disturbances. Zinc sulphate was ineffective, but manganese sulphate seemed to decrease the disorders. In practice, a mixture of all four micronutrients best prevented the appearance of disorder symptoms. An unsuccessful attempt was made to find out how much micronutrient fertilizers increase the total timber production. A great variation in the number of stems per hectare, which was due to the microrelief of the site, masked these factorial effects. Maximum yields of micronutrient plots were 80—91 m³/ha (8,5—10,3 m³ in 1978) and the mean yield of the control plots 70 m³/ha. Spruces were highest on plots where the number of pines was the smallest, but in general their growth was poor.

SISÄLTÖ

1. JOHDANTO	4
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	5
3. TULOKSET	6
31. Hivenlannoituksen vaikutus puuston kehitykseen	6
311. Pituus, pituuskasvu ja läpimitta	6
312. Tilavuus	7
313. Vuotuinen tilavuuskasvu	8
314. Rungon keskikoko	9
315. Runkoluku	9
32. Hivenlannoituksen vaikutus kasvuhäiriön esiintymiseen	10
4. TULOSTEN TARKASTELU	11
5. YHDISTELMÄ	13
51. Tutkimuksen teoreettinen merkitys	13
52. Tutkimuksen metsätaloudellinen merkitys	13
KIRJALLISUUS	14
SUMMARY	15

1. JOHDANTO

Hivenravinteiden on arveltu rajoittavan puiden kasvua ojitetuilla turvemaidella (Lukkala 1951, Huikari 1974). Suopeltojen turpeiden hivenravinnepitoisuuksien alhaisuus (Kurki 1972), hivenlannoituksella saadut positiiviset vaikutukset peltokasveilla (mm. Tähtinen 1976, Kähäri ja Jaakkola 1977), viime aikoina todetut puiden neulasten erittäin alhaiset hivenravinnepitoisuudet (Paarlahi ym. 1971, Kolari 1979) ja tuhkalannoituskokeiden tulokset turvemaidella (Huikari 1953, Huikari ja Kosonen 1978) ovat osoittaneet, että tutkijoiden arviot voivat olla aiheellisia.

Neulas- ja maa-analyysimenetelmien kehittäessä on voitu paneutua myös turvemaiden puustojen hivenravinneongelmiin entistä tarkemmin. Hivenravinneanalyysin tulkin-taa vaikeuttava ohentumisilmiö on kuvattu turvemaidella kasvavista männyistä (Paarlahi ym. 1971, Veijalainen 1977), ja puiden hivenravinnepuutosten oireistoista on koostettu yhteenveto myös suomenkielellä (Kolari 1979). Samalla turvemaidellamme paikoitellen runsaastikin esiintyvistä mäntyjen kasvuhäiriöistä (Veijalainen 1978) ainakin osa on voitu tunnistaa ulkomailla kuvattujen, osin ko-keellisesti aikaansaattujen hivenravinnepuu-tosoireiden avulla (mm. Kolari 1979, Silfverberg 1979).

Suomessa turvemaidelle 1950-luvulla perus-tettujen lukuisien hivenlannoituskokeiden mittaukset eivät ole osoittaneet merkittäviä pituuskasvunlisäyksiä eräitä poikkeuksia lu-kuunottamatta (Veijalainen 1980). Yleensä koejärjestelyt olivat tuolloin vielä epätäydellisiä (Pietiläinen ja Veijalainen 1979), joten saatuja muuta-mia positiivisia tuloksia ei ole vielä voitu hyväksyä riittäväksi näytöksi hivenlannoit-tuksen puuston kasvua lisäävästä vaikutuk-sesta.

Toisaalta vanhat, puun tuhalla suoritetut lannoitukset 1930—40-luvuilta ovat lisän-

neet puuston kasvua enemmän kuin pelkän pääravinnelannoituksen vaikutukseksi voi-daan laskea (Lukkala 1951). Tämä aiheutunee tuhkan kolminaisesta vaikutus-tavasta. Tuhkan kemiallinen analyysi on nimittäin osoittanut, että tuhka useimmiten sisältää turvemaidelle tärkeiden fosforin ja kaliumin ohella myös kalsiumia (runsaasti), magnesiumia sekä lukuisia hivenravinteita (esim. Pietiläinen ja Veijalainen 1979), joista ainakin booria on puiden kannalta merkityksellisiä määriä (ks. Veijalainen 1980). Täten PK-lannoitusvaikutuksen ohella kyseeseen tulevat myös maanparannusvaikutus ja hiven-lannoitusvaikutus. Koska suon kalkituksella yksistään tai yhdessä PK-lannoituksen kans-sa ei yleensä ole saatu aikaan kasvunlisäyk-siä (Huikari 1973), huomio kiinnittyy hivenravinteisiin.

Tässä tutkimuksessa pyritään selvittä-mään Cu-, B-, Mn- ja Zn-lannoituksen pitkäaikaisvaikutuksia mäntypuuston kasvuun ja kasvuhäiriöiden esiintymiseen. Sama koe antaa mahdollisuuden tutkia eri hivenravinteiden välisiä yhdysvaikutuksia ja virhetekijöitä, jotka saattavat häiritä erityi-sesti hivenlannoituskokeiden tulkintaa.

Tutkimusta ohjanneessa työryhmässä ovat toimineet prof. Olavi Huikari (puh.joht.), joka on myös kokeen perustaja sekä FL Antti Reinikainen. He ovat vastanneet käsikirjoituksen asiallisesta tarkistamisesta ja neuvoillaan myötävaikuttaneet tutki-muksen edistymiseen. Käsikirjoituksen tarkastivat myös prof. Eero Paavilainen, prof. Yrjö Vuokila, FK Klaus Silfverberg ja FK Kimmo Kolari. Työn eri vaiheissa ovat avustaneet FK Leena Louhikytö-Kuikka, FK Riitta Heinonen ja yo. Anne Vuollekoski (ATK), metsäteknikko Kauko Taimi apulaisineen ja FK Hannu Nousiainen (mittaustyöt), yo. Inkeri Suopanki (lustonmittaus), yo. Tiina Kauppi, yo. Raimo Mäkelä ja yo. Yrjö Sulkala (laskenta), Maija Tuuri (konekirjoitus), taideopisk. Päivi Lempinen (piirroset) sekä FK John Derome (käännösten tarkistus). Metsähallitus on avustanut kokeen perustamis- ja hoitotoissa. Tutkimus on osa laajemmasta kasvu-häiriöprojektistä, joka käynnistettiin vuonna 1976 ns. suhdannepidätysvarojen turvin.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Leivonmäen Kivisuon sijaitsee Keski-Suomessa, 135 metriä meren pinnan yläpuolella (61°53'N, 25°59'E). Vuoden keskilämpötila on +3 °C ja sademäärä 550 mm. Vuonna 1960 suoritettujen määritysten mukaan lannoittamattomalla koealalla 91 (ks. kuva 1) turpeen pH-luku oli 4,1 ja NH₃ 15,3, NO₃ 4,5 sekä ns. vaihtuvat P₂O₅ 2,9, K₂O 21,6 ja CaO 223 mg/100 g (H u i k a r i ja P a a r l a h t i 1973).

Alunperin Kivisuon metsänlannoituskoekenttä oli lähes sadan hehtaarin laajuinen hydroturpeen kuivatuskentäksi v. 1947 lapiotyönä ojitetun paksuturpeisen tupasvillanevan keskiosa. Avo-ojien väli on 23—23,5 m (nyt mitatuilla koealoilla), ja kunkin saran keskellä on lisäksi nykyisin paikoitellen rappeutunut holvisalaoja. Turpeen kuivatusta varten suon pintaa oli tasoitettu.

Turpeen kuivatuksen loputtua v. 1953 perustettiin Kivisuolle keväällä 1959 mm. lannoituskoeket I ja II vastaitutettuun männyn taimistoon. Taimet olivat alkupe-
rältäään itäsuomalaisia, 2-vuotiaita, koulimattomia. Istutusväli oli kaksi metriä, joten hehtaarille tuli 2500 männyn tainta. Kivisuon koe II on hivenlannoitusko-
e, johon istutettiin männyn taimien lisäksi vuonna 1964 koulittuja 3-vuotiaita kuusen rotutaimia (Miehkikkälä) 2500 kpl/ha (H u i k a r i ja P a a r l a h t i 1973), koska männyn taimien kuolleisuus oli paikoitellen run-
sasta. Turpeen paksuus koekentällä oli 3,5—4,5 m. Suon pinnalle oli jäänyt maatonutta hydroturvejätettä arviolta 5—10 cm paksu kerros. Tällä sekä pintaturpeen kuorimisella on arveltu ainakin aluksi olleen kasvualus-
tan ravinteisuuseroja tasoittava vaikutus sekä eräänlainen muokkausvaikutus (H u i k a r i ja P a a r l a h t i 1973).

Peruslannoitus oli hivenlannoituskokeessa seuraava (v. 1959):

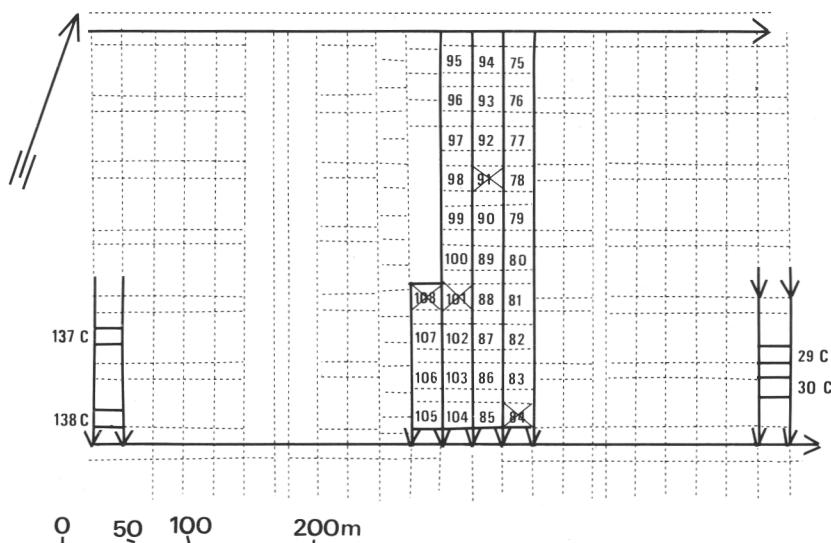
Oulunsalpietari (25 % N)	600 kg/ha
Hienofosfaatti (14,4 % P)	600 kg/ha
Kalisuola (41,5 % K)	400 kg/ha

Vertailukoealat (2 + 2 kpl) jouduttiin valitsemaan läheiseltä I-kokeelta. Niiden typpilannoitus oli 400 (29c, 137c) tai 800 (30c, 138c) kg/ha oulunsalpietaria. Fosforin ja kaliumin määrät olivat samat kuin hivenlannoituskokeessa. Toinen vertailukoealari (29c, 30c) oli suon keskiosasta (1-toisto), toinen (137c ja 138c) 2-toistolta, suon ravinteisemmasta laitosasta, paksuturpeiselta alueelta nekin (ks. kuva 1), missä kasvuhäiriöesiintymät olivat yleisiä vielä 1970-luvulla (V e i j a l a i n e n 1975). 2-toiston vertailukoealoja käytettiin vain osassa luvun 32 laskelmista. Vertailukoealojen pinta-ala oli 276—322 m², kun se hivenlannoituskoaloilla oli 451—529 m². Lisäksi I-kokeelta puuttuu kuusentaimisto.

Kokeessa käytetyt hivenlannoitteet olivat:

Cu = kuparisulfaatti (25 % Cu)	50 kg/ha
B = lannoiteboraatti (14 % B)	''
Mn = mangaanosulfaatti (26 % Mn)	''
Zn = sinkkisulfaatti (23 % Zn)	''

Koe on 2⁴-faktoriaalinen kahdella toistolla. Hivenlannoituskäsittelet eivät ole arvottuja, vaan ne ovat jossain määrin systemaattisessa järjestyksessä kah-



Kuva 1. Kivisuon hivenlannoituskoekenttä ja vertailukoealojen sijainti.

Fig. 1. Micronutrient experiment at Kivisuon and location of the control plots.

deksi lohkoissa, joista ensimmäiseen kuuluvat koealat 75—91 (ks. kuva 1). Peräkkäisten koealojen välillä on noin 10 metrin lannoittamaton vaippa, joka on rai-vauxsin pidetty puuttomana. Koealoilta on jouduttu raivaamaan koivukasvusto useita kertoja. Vierekkäisiä ruutuja erottavat avo-ojat. Systemaattista asetelmaa ovat vähentämässä neljä täysin lannoittamatonta, sijainniltaan arvottua koealaa (ei voitu kuutioida puuston kitulaisuuden vuoksi) sekä käytettävissä olleen saran pituus (10 koealaa/sarka).

Koe II ja vertailukoealat 29c ja 30c mitattiin vuonna 1978. Aluksi tarkistettiin koealojen koko ja luettiin runkoluvut. Koeputki valittiin systemaattisesti yleensä joka neljäs puu, jonka tuli olla elävä, muutoin siirryttiin rivissä seuraavan elossa olevan mittaukseen. Seitsemällä koealalla joka toinen puu jouduttiin ottamaan koepuiksi. Koeputkien lukumääräksi tuli 15-28 kpl/koeala.

Varsinaiset mittaukset suoritettiin lokakuussa 1978. Koeputkien läpimitta rinnankorkeudelta määritettiin 1 mm:n tarkkuudella. Yläläpimitta otettiin 6,0 m:n korkeudelta 1 cm:n tarkkuudella. Koeputkien kokonaispituus ja viiden viimeisen vuoden pituuskasvu mitattiin desimetrin tarkkuudella. Sädekasvumittaus suoritettiin takautuvasti viidestä vuosilustosta 1/100 mm:n tarkkuudella käyttäen ADDO-X lustonmittauslaitteistoa. Lisäksi jokaisesta koepuusta määritettiin kasvuhäiriön aste käyttäen 3-luokkaista asteikkoa (1 = terve, 2 = lievä kasvuhäiriö, 3 = latvakato). Lisäksi mitattiin hivenlannoituskoealojen kuu-

sien kokonaispituus 1 cm:n tarkkuudella.

Puuston tilavuus määritettiin käyttäen Metsän-tutkimuslaitoksen POHJ-2-ohjelmaa, jossa tukkipuiksi luetaan rungot, joiden tilavuus ylittää 100 l. Tutkimuksessa käytettiin vain puuston kuorellisia tilavuuksia.

Vertailukoealoilta 137c ja 138c mitattiin syyskuussa 1980 elävien mäntyjen kokonaispituus vuoden 1978 lopussa (cm:n tarkkuus), D_{1,3} (mm) ja määritettiin kasvuhäiriö 5-luokituksella. Lisäluokkia edelliseen verrattuna olivat 4 = kuollut kasvuhäiriön seurauksena 5 = puuttuu (= kuollut taimivaiheessa). Alkeisyksikkönä käytettiin systemaattisesti joka toista mäntyä tai sen istutuspaikkaa. Täten otoksen suuruudeksi tuli 39 alkeisyksikköä molemmille koealoille.

Faktoriaalisten vaikutusten laskemiseen käytettiin Yatesin käsinlaskentamenetelmää ja tilastollisten merkitsevyyksien laskemiseen F-testiä Cochran & Coxin (1964) suosittelemalla tavalla. Samaan teokseen perustuu myös suoritettu faktoriaalisten erillisvaikutusten (differential responses) tarkastelu.

Koska hivenravinteiden kemiallisia symboleja joudutaan tässä tutkimuksessa käyttämään kolmessa eri tarkoituksessa (ravinne, lannoite tai faktori), ovat ne faktorimerkityksessään varustetut sulkeilla.

Koepuukohtaisessa osatutkimuksessa käytettiin erotteluanalyysiohjelmaa (*Stepwise discriminant analysis, Health Sciences Computing Facility, University of California, Los Angeles 90024*).

3. TULOKSET

31. Hivenlannoituksen vaikutus mäntypuuston kehitykseen

311. Pituus, pituuskasvu ja läpimitta

Mäntypuuston keskipituus vertailukoealoilla (NPK-lannoitus) oli 6,92 m ja hivenlannoitetuilla keskimäärin 7,28 m. Varianssi-analyysin mukaan hivenlannoituskäsittelyillä ei ollut merkitsevää vaikutusta mäntyjen pituuskasvuun. Pisimpiä männyt olivat koealoilla, jotka olivat saaneet pelkän kuparisulfaattilannoituksen (7,57 m). Lyhintä mäntypuusto oli sinkkisulfaattilla lannoitetuilla ruuduilla (6,87 m) (taulukko 1).

Koko kokeessa mäntyjen keskipituus oli 7,25 m. Lisäämällä tähän eri hivenravinteiden faktoriaaliset keskivaikutukset (taulukko 2) saadaan arviot puuston keskipituudesta eri hivenlannoituskäsittelyillä koko kokeessa.

Todettiin vain lannoiteboraatin lisännen männyn pituuskasvua (21,6 cm). Erillisvaikutusten tarkastelu osoitti lisäksi, että boorin vaikutus ilman kuparia oli +37 cm (ks. taulukko 2). Muiden käytettyjen hivenlan-

noitteiden vaikutus jäi merkityksettömäksi mäntyjen pituuskasvutarkastelussa.

Mäntypuustojen pituuteen runkoluvulla ei todettu olevan vaikutusta, joten faktoriaaliset vaikutukset ovat tämän kasvuparametrin kohdalla myös riippumattomia kokeessa todetuista suurista koealojen välisistä runkolokuvavaihteluista.

Alueelle istutetut kuuset olivat jääneet alikasvokseksi, joka oli sitä pitempää, mitä harvempaa mäntypuusto oli (taulukko 1). Lähes kaikki kuuset (98,8 %) olivat edelleen elossa. Hivenlannoituksen vaikutukset eivät tulleet näkyviin.

Mäntypuuston paksuuskehityksen vertailua heikensi puuston vaihteleva tiheys. Runkojen läpimitta oli suurin niillä koealoilla, joilla runkoluku oli pieni (kuva 2). Hivenlannoitteiden vaikutus keskiläpimittaan ilmeni ainoastaan lähes merkitsevinä negatiivisina (CuB)- ja (CuMn)-yhdysvaikutuksina (liite 1).

Kaikilla koealoilla vuosiluston paksuus oli pienentynyt koko 1970-luvun loppupuoliskon ajan. Tiheimmissä puustoissa pienenty-

Taulukko 1. Kivisuo, koe II, puuston kasvutunnusten keskiarvot syksyllä 1978.
Table 1. Kivisuo, exp. II, means of growth parameters, autumn 1978.

Hivenlannoitus Micronutrient fertilization	MÄNTYPUUSTO — PINE STAND							KUuset — SPRUCES Pituus, m Height, m
	Tuotos Production m ³ /ha	Tukkipuuta Saw timber m ³ /ha	l/runko l/stem	Kasvu Growth 1974–78 m ³ /ha·a	Pituus, m Height, m	D _{1,3} cm	Runkoluku kpl/ha Number of stems/ha	
0	70,2	0,0	38,2	6,58	6,92	12,2	1949	—
Cu	83,8	9,2	44,7	7,95	7,57	12,4	1880	1,33
B	75,8	4,4	50,4	6,82	7,36	12,6	1512	1,23
Mn	61,0	0,0	44,2	5,97	7,14	12,2	1444	1,24
Zn	69,0	0,0	38,2	7,95	6,87	11,3	1812	1,18
Cu B	39,8	6,1	51,8	4,18	7,16	13,8	764	2,08
Cu Mn	75,4	3,1	45,0	7,00	7,13	12,6	1679	1,24
Cu Zn	58,8	7,0	50,2	5,73	7,25	14,0	1192	1,55
B Mn	70,6	2,0	50,1	6,76	7,41	13,4	1457	1,57
B Zn	80,5	0,0	45,8	7,08	7,41	12,0	1766	1,24
Mn Zn	82,2	0,0	36,5	7,55	7,10	10,8	2258	1,12
Cu B Mn	71,1	0,0	43,6	6,72	7,44	11,8	1639	1,20
Cu B Zn	82,2	2,8	44,8	6,80	7,52	12,0	1833	1,02
Cu Mn Zn	86,2	0,0	43,5	7,93	7,20	11,4	1989	0,87
B Mn Zn	59,4	6,0	49,2	5,92	7,33	12,8	1224	1,61
Cu B Mn Zn	74,0	3,7	43,9	6,64	7,27	11,2	1688	1,34
Keskiarvo — Mean	71,2	2,8	45,0	6,72	7,25	12,3	1630	1,32

Taulukko 2. Hivenravinteiden faktoriaaliset vaikutukset mäntyjen keskipituuteen.
Table 2. Factorial effects of micronutrients on the mean height of pines.

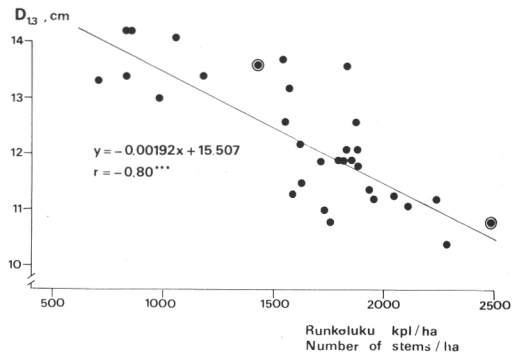
Faktori Factor	Keskivai- kutukset Mean responses	Erillisvaikutukset — Differential responses, cm							
		—Cu	+Cu	—B	+B	—Mn	+Mn	—Zn	+Zn
(Cu)	+12,7 cm	—	—	+28,3	—2,9	+23,6	+1,8	+11,9	+13,5
(B)	+21,6* cm	+37,1*	+6,0	—	—	+21,1	22,0	+15,6	+27,5
(Mn)	—0,3 cm	+10,6	—11,2	—0,7	+0,1	—	—	+2,9	—3,5
(Zn)	—2,3 cm	—3,1	—1,5	—8,2	+3,6	+0,9	—5,5	—	—

minen oli ollut voimakkainta (ks. kuva 3), mikä ehkä merkitsee puuston ikä huomioiden paitsi lähestyvää harvennustarvetta osalla koaloista (ks. Vuokila ja Väliaho 1980) myös lannoitusvaikutuksen päättymistä. On myös mahdollista, että kyseessä on ympäristöolosuhteiden, lähinnä ilmastan aiheuttama tilapäinen kasvun taantuma, mahdollisesti ojanperkaustarve.

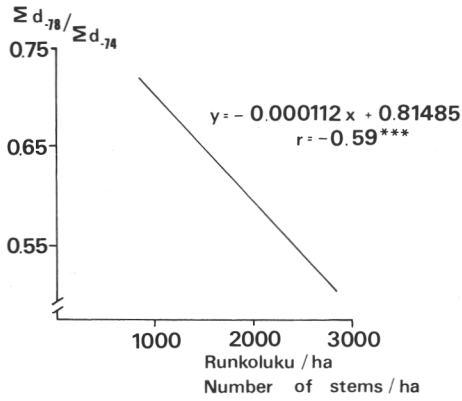
312. Tilavuus

Mäntypuuston kuorellinen tilavuus oli vuonna 1978 hivenlannoituskoaloilla keskimäärin 71,3 m³/ha ja vertailukoaloilla 70,2 m³/ha.

Suurin puuston tilavuus oli koaloilla, jotka olivat saaneet Cu Mn Zn -lannoituk-



Kuva 2. Puuston keskiläpimitan riippuvuus runkoluvusta.
Fig. 2. Relationship between D_{1,3} and number of stems per hectare.



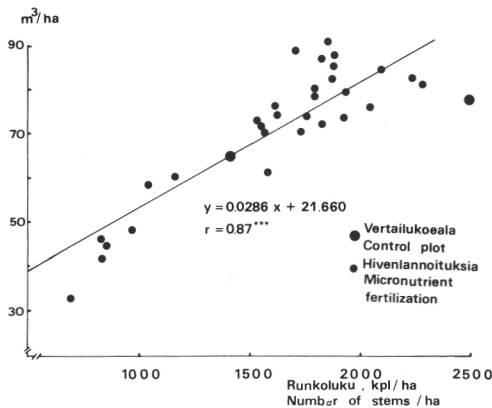
Kuva 3. Vuotuisen paksuuskasvun keskimääräinen muutos runkoluvultaan erilaisilla koealoilla vuodesta 1974 vuoteen 1978.

Fig. 3. Mean change in yearly diameter growth on experimental plots with different number of stems per hectare.

sen. Yli 80 m³:n keskimääräinen tilavuus mitattiin seuraavilta hivenlannoituskoealoilta:

Cu Mn Zn	86,2 m ³ /ha
Cu	83,8 "
Cu B Zn	82,2 "
Mn Zn	82,2 "
B Zn	80,5 "

Suurin yksittäisen koealan puuston tilavuus oli 91,2 m³, ja kolmanneksella koealoista puuston tilavuus ylitti 80 m³ (kuva 4).



Kuva 4. Puuston kuutiomäärän riippuvuus runkoluvusta.

Fig. 4. Correlation between the total volume of pine stands and number of stems per hectare.

Selvästi pienin oli kuutiomäärä CuB-koealoilla (39,8 m³/ha), mikä on 30,4 m³/ha alle kontrollikoealojen keskiarvon (ks. taulukko 1). Varianssianalyysin mukaan lannoituskäsitteilyjen väliset erot eivät olleet merkittäviä, joskin eräitä keskiarvojen välisiä merkittäviä eroja todettiin: CuB-lannoituksen saaneet koealat olivat tuottaneet puuta vähemmän kuin hivenlannoittamattomat koealat ja kaikki hivenlannoitetut koealat seuraavia lukuunottamatta:

Mn	61,0 m ³ /ha
Cu Zn	58,8 "
B Mn Zn	59,4 "

Yksin annettuna kupari oli hivenravinteista tuloa tukeva havainto, että kuparin poisjättäminen eli BMnZn-lannoitus antoi kolmen hivenravinteen yhdistelmistä heikoimman ja CuMnZn parhaan kasvutuloksen koko kokeessa (taulukko 1).

Kuparin positiivinen vaikutus näkyi selvimmin tarkasteltaessa ns. tukkipuun määriä (taulukko 1 ja liite 1). Esille tulee melkein merkittävä kuparin faktoriaalinen, tukkipuosuutta lisäävä vaikutus sekä negatiiviset (CuB)- ja (CuMn)-yhdysoikutukset.

Millään hivenlannoitteista ei todettu olevan merkittäviä faktoriaalisia vaikutuksia puuston kokonaistilavuuteen. Eräät toisen asteen korkeat yhdysvaikutukset osoittivat kokeen sisältävän tekijöitä, jotka häiritsivät tämän kasvuparametrin tulkintaa (ks. liite 1).

Runkoluku vaikutti voimakkaasti puuston kokonaistuotokseen (kuva 4). Kun runkoluku oli yli 1500 kpl/ha, oli hivenlannoitettujen koealojen (n = 23) puuston tilavuus 78,5 m³/ha. Koealoilla, joiden runkoluku oli yli 1700 kpl/ha, oli keskitilavuus jo 81,0 m³/ha (n = 17).

313. Vuotuinen tilavuuskasvu

Vuosina 1974—1978 oli kokeen puuston tilavuudesta syntynyt lähes 50 %. Tänä aikana vuotuinen tilavuuskasvu oli vertailukoealoilla keskimäärin 6,58 m³/ha ja hivenlannoitetuilla koealoilla 6,73 m³/ha. Vuonna 1978 vastaavat kasvutulokset olivat 7,46 m³/ha (vertailu) ja 7,41 m³/ha (hivenlannoitukset). Nopeinta oli vuotuinen kasvu seuraavilla hivenlannoituskoealoilla:

	1974—78	1978
Cu	7,95 m ³ /ha	9,10 m ³ /ha
Zn	7,95 "	7,05 "
Cu Mn Zn	7,93 "	8,60 "
Mn Zn	7,55 "	8,30 "

Parhaimmillaan yksittäisten koealojen kasvu vuonna 1978 oli 8,5—10,3 m³. Kaikki nämä koealat (7 kpl) olivat hivenlannoitettuja. Vertailua huonompia hivenlannoituskoealoja olivat vuotuiselta tilavuuskasvultaan seuraavat (ks. myös taulukko 1):

	1974—78	1978
CuB	4,18 m ³ /ha	5,15 m ³ /ha
Mn	5,97 "	6,35 "
Cu Zn	5,73 "	6,50 "
B Mn Zn	5,92 "	6,60 "

Mikään hivenravinteiden faktoriaalisista päävaikutuksista ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä (ks. liite 1).

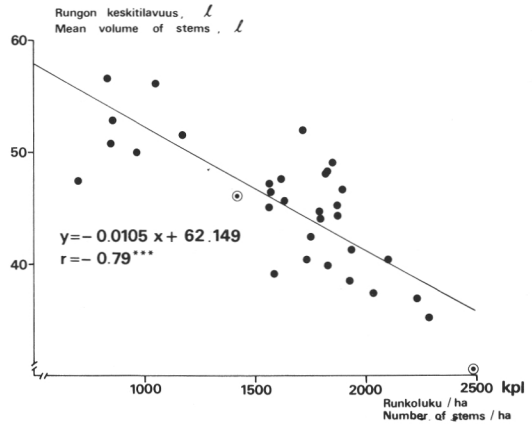
314. Rungon keskitilavuus

Kullekin koealalle laskettiin mäntypuuston tilavuuden ja runkolukutietojen perusteella runkojen keskitilavuus. Vertailukoealoilla se oli keskimäärin 38,2 l ja hivenlannoitetuilla koealoilla 45,4 l. Suurimmat, yli 50 litran keskitilavuudet mitattiin seuraavilta koealoilta:

Cu B	51,81
B	50,41
Cu Zn	50,21
B Mn	50,11

Vertailukoealoja pienempi runkotilavuus oli vain ZnMn-koealoilla (36,5 l) (taulukko 1). Rungon keskitilavuuteen vaikuttavista hivenravinteista osoittautui merkitseväksi vain boori, jonka faktoriaalinen vaikutus oli positiivinen (liite 1). Toisaalta (CuB)-yhdysovaikutus oli negatiivinen, mitä on pidettävä hieman yllättävänä, kun tarkastellaan edellistä asetelmaa. On kuitenkin muistettava, että tässä faktoriaalisessa kokeessa CuB-käsittelyn saaneita koealoja oli 8 kappaletta, mutta edelliseen asetelmaan niistä oli otettu vain 2 koealaa.

Koska runkoluku vaikutti myös runkojen keskitilavuuteen (kuva 5), on myös rungon keskikoon ja hivenlannoituksen välisiä riippuvuussuhteita tarkasteltava tietyin varauksin.



Kuva 5. Rungon keskitilavuuden riippuvuus runkoluvusta.

Fig. 5. Correlation between mean volume of pine stems and number of stems per hectare.

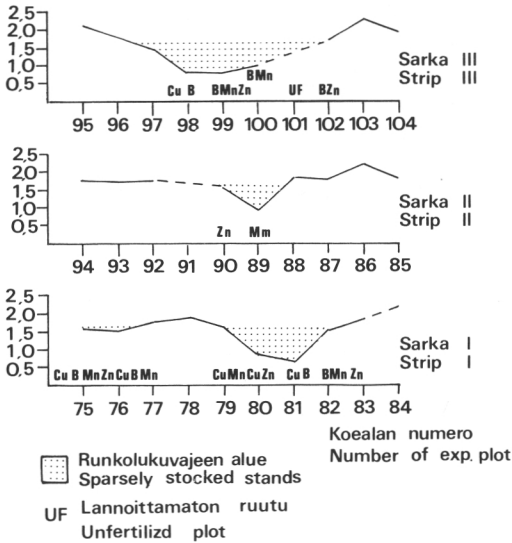
315. Runkoluku

Runkolukuun hivenravinteiden keskimääräiset faktoriaaliset vaikutukset olivat suhteellisen vähäisiä, kuten seuraavasta asetelmasta voidaan todeta (ks. myös liite 1):

(Cu)	—95 kpl/ha
(B)	—290 "
(Mn)	+84 "
(Zn)	+180 "

Vain yksi toisen asteen yhdysvaikutuksista tuli esille lähes merkitsevä. Faktoriaaliset päävaikutukset olivat suuruusluokaltaan sellaisia, ettei hivenlannoitus voinut yksin selittää koealojen suurta runkolukuvaihtelua. Täten runkolukuvajeeseen syynä saattoi olla suon luontaisesta kuvioinnista aiheutuva ilmiö. Tukea tälle olettamukselle antaa kuva 6, jonka mukaan runkolukuvajetta esiintyi lähinnä sarkojen keskiosien poikki ulottuvalla kaistalla. Otaksuttavasti ennen suon pinnan käsittelyä oli vastaava painanne tai rimpi ollut myös suon pintaprofiilissa. Sama ilmiö havaittiin myös vastaavassa puuston tilavuuksien tarkastelussa (kuva 7). Täten voidaan pitää selvitettyinä, että runkolukuvaihtelun eräs syy oli alunperin kasvu-alustassa. Välillisesti runkolukuvajausta lisäsi sanka horsmakasvusto 1960-luvun alussa (ks. Reinikainen 1965, Huikari ja Paarlahti 1966).

Runkoluku 1000 kpl/ha
Number of stems / ha in thousands



Kuva 6. Koealan sijainnin vaikutus runkolukuun.
Fig. 6. Effect of the location of experimental plots on the density of pine stands.

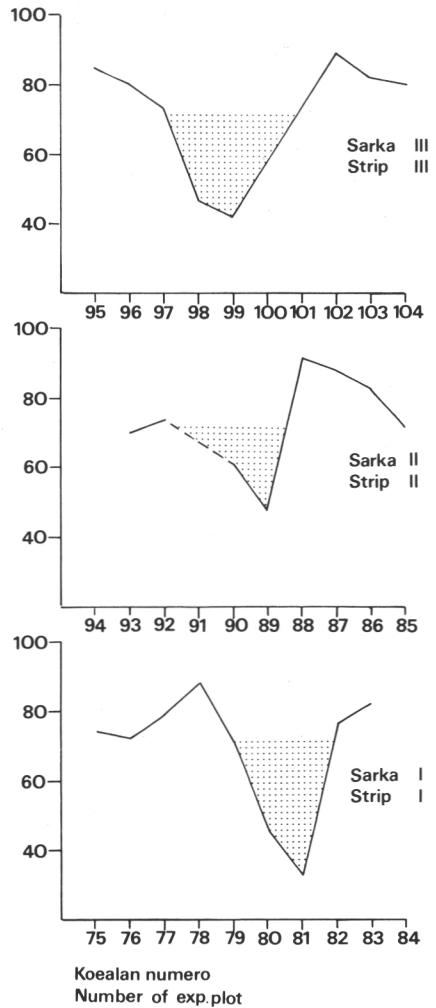
Vertailukoaloilla mäntyjä oli elossa 1413 ja 2484 sekä hivenlannoituskoealoilla keskimäärin 1608 kpl/ha (vaihteluväli 699—2283). Runsaspuustoisimpia hivenlannoituskoealoja olivat ZnMn-lannoituksen saaneet (2258 kpl/ha). Vähiten mäntyjä oli elossa CuB-koealoilla (764 kpl/ha) (taulukko 1).

Erotteluanalysysillä ei voitu todeta merkitseviä eroja Cu-, B- eikä CuB-koealoilla koe-puiden pituuden eikä rinnankorkeusläpimitan suhteen, vaikka runkolukuvaihtelu oli varsin äärevää, kuten seuraavasta asetelmasta havaitaan:

Hivenlannoitus	Runkoluku toistoilla kpl/ha	
	I	II
Cu	1823	1937
B	1855	1168
Cu B	699	828

Runkolukuvaje vaikutti tässä osa-aineistossa lähinnä puuston yläläpimittaa lisäävästi ja sen kautta kapenemiseen ja muutokertoimeen ja edelleen yksittäisten puiden tilavuutta lisäävään suuntaan. Tämä ei kuitenkaan riittänyt peittämään runkoluvun liiallisesta vähenemisestä aiheutuneita tappioita. Ilmiö ei liittynyt vain CuB-lannoitukseen, vaan toistui säännöllisesti kaikilla runkolukuvajauksesta kärsivillä koealoilla (kuva 6).

m³/ha



Kuva 7. Koealan sijainnin vaikutus mäntytuuston kokonaistuotokseen.

Fig. 7. Effect of the location of experimental plots on the total yields of pine stands.

32. Hivenlannoituksen vaikutus kasvuhäiriöiden esiintymiseen

Alunperin hehtaarille istutetuista 2500 taimesta oli kuollut hivenlannoitetuilla koealoilla jo taimivaiheessa yli kolmannes ja NPK-lannoitetuilla vertailukoaloilla noin 22 % suon laitaosissa sekä sen keskiosissa. Kasvuhäiriöön kuolleita esiintyi vain vertailukoaloilla 137c ja 138 c, kuten oheisesta asetelmasta havaitaan(%):

	NPK 29c, 30c	NPK 137c, 138c	Hiven- koe
Kuollut taimivaiheessa	22,0	21,8	35,7
Kuollut kasvuhäiriöön	—	28,2	—
Lievä kasvuhäiriö	31,2	21,8	26,1
Latvakato	4,4	26,9	0,7
Terveet puut	42,4	1,3	37,5
Yhteensä	100,0	100,0	100,0

Lieviä kasvuhäiriöitä oli runsaasti myös hivenlannoitetuilla alueilla. Asetelmaa tarkastelemalla saa sen kuvan, että lieviä kasvuhäiriöitä olisi eniten suon keskiosissa ja vähiten sen laitaosissa. Latvakatoa oli selvästi vähiten hivenlannoituskokeessa. Kun kasvuhäiriöiden osuus laskettiin elossa olevista puista, saatiin hiukan toisenlainen tulos, kuten seuraava asetelma osoittaa:

	Koepuita kpl	Kasvuhäiriö-%		Yhteensä
		Lievä	Latvakato	
29c, 30c	35	40,0	5,7	45,7
Hivenkoe	636	40,6	1,1	41,7
137c, 138c	39	53,8	43,6	97,4

Todetaan, että hivenlannoitettujen koealojen nykypuustossa kasvuhäiriöitä on huomattavasti vähemmän, kuin sijainnin perusteella voisi odottaa. Täysin kasvuhäiriöttömiä hivenlannoituskoealoja ei esiintynyt. Vähiten häiriöitä esiintyi seuraavilla lannoitusyhdistelmillä:

Cu B Mn Zn	19,0 %
Cu B Zn	31,2 %
B Mn Zn	33,4 %

Eniten kasvuhäiriöitä esiintyi keskimäärin seuraavilla koealoilla:

B Zn	60,4 %
Cu Zn	59,7 %
Mn	52,1 %

Suon keskiosan vertailukoealoja (29c, 30c) käytettäessä hivenlannoituksilla ei saatu

merkittävää kasvuhäiriöiden (mukana latvakadot) vähentymistä esille ($F = 1,5$), joskin kaikkien hivenravinteiden faktoriaalinen päävaikutus oli kasvuhäiriötä vähentävän suuntainen.

Kun vertailuruudut otettiin Kivisuon laitaosasta, saatiin hivenlannoitusvaikutuksesta melkein merkittävä ($F = 2,90^*$). Näin tarkasteltuna hivenravinteista mangaani, boori ja kupari vähensivät kasvuhäiriöitä. Sinkin vaikutuskin oli saman suuntainen, kuten oheisista faktoriaalisista keskivaikutuksista voidaan todeta:

(Mn)	— 13,3 %*
(B)	— 13,2 %*
(Cu)	— 12,8 %*
(Zn)	— 8,8 %
\bar{X}	= 45,3 %

Tulos osoittaa, että kasvuhäiriön torjuntaan Kivisuolla tulisi käyttää usean hivenravinteiden seosta. Suon keskiosassa hivenlannoituksen tarve osoittautui vähäisemmäksi kuin ravinteikkaammassa suon laitaosassa.

Suon laitaosan voimakas kasvuhäiriö on aiheuttanut sen, että elossa olevankin puuston mitat ovat jääneet huomattavasti pienemmiksi kuin muilla alueilla, kuten oheisesta asetelmasta havaitaan:

	H		
	H, m	D _{1,3} cm	D _{1,3}
NPK, suon keskiossa (29c, 30c)	6,92	12,2	56,7
NPK + hivenlannoitus	7,28	12,4	58,7
NPK, suon laitaosa (137c, 138c)	5,60	10,5	53,3

Asetelman mukaan suon laitaosan puut olivat myös jonkin verran tyvekkäämpiä kuin puut muilla alueilla.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Boorin vaikutus mäntypuuston kehitykseen osoittautui lähes merkittäväksi, kun tarkasteltiin puuston keskipituutta ja runkojen keskitilavuutta. Vastaavia tutkimustuloksia ovat raportoineet eri mäntylajeilla suoritetuista boorikokeista mm. S h c h e r -

b a k o v (1956), V a i l ym. (1961) ja P r o c t e r (1967), joskaan kokeet eivät ole turvemaalla. B r a e k k e n koealat Norjassa ovat turvemailla, mutta ensimmäisen mittauksen tulokset (1979) eivät osoittaneet vielä täysin pitävästi boorin lisäävän

mäntyjen kasvua, koska käytetty lannoite sisälsi myös kuparia.

Boorin ravinnefysiologisesta vaikutustavasta (ks. esim. Kliegel 1980, s. 7—15) aiheutuu, että varsinkin liiallisen boorilannoituksen vaikutus voi muutamina vuosina lannoituksen jälkeen olla jopa negatiivinen. Kasvun parantumista voidaan odottaa vain boorinpuutosalueilla tai tietyissä maaperä- ja ilmasto-olosuhteissa, tai kun puiden boorin saanti vaikeutuu esim. voimakkaan lannoituksen tai kenttäkerroksen kasvien runsaan boorinkäytön seurauksena (Kolari 1979).

Kasvuhäiriötutkimus osoitti, että boorilla voitiin vähentää jossain määrin kasvuhäiriöiden esiintymistä. Täten Kivisuon kasvuhäiriöiden eräs syy on boorin puutos. Tähän viittasivat myös neulasten alhaiset booripitoisuudet (ks. Veijalainen 1977) ja puutosoireisto (ks. Veijalainen 1975 ja Silfverberg 1979). Hivenlannoituksesta riippumattomista syistä koealoille syntynyt äärevä runkolukuvaihtelu lienee riittävä syy selittämään, miksei boorin vaikutusta saatu esille kaikkien mitattujen kasvuparametrien tarkastelussa.

Kuparin positiivinen vaikutus näkyi vain puiden muita nopeammassa järeytymisessä. Lannoitusta välittömästi seuraavina vuosina kuparisulfaattilla ei ole saatu hyviä tuloksia turvemaidilla (Pietiläinen ja Veijalainen 1979, Veijalainen 1980), joten saatua tulosta arvioitaessa on huomattava, että nyt oli kysymys 20 vuotta kestäneestä vaikutusajasta. Vastaava julkaisematon tulos on myös Haapaveden Piipsannevalta, missä kuparisulfaattilla saatiin parisakymmenessä vuodessa useiden kymmenien kuutiometrien tuotoksen lisäys niinikään ojitetun suon mäntypuustossa, kun pohjalannoitus oli PKCa.

Sinkkisulfaatin ja mangaanosulfaatin vaikutukset eivät osoittautuneet merkitseviksi varsinaisten kasvuparametrien tarkasteluis-

sa. Kasvuhäiriön esiintymisfrekvenssiä vähentävänä tekijänä tuli esiin mangaanosulfaatti yllättäen boorin ja kuparin ohessa, vaikka yksin annettuna mangaanilla ei näytännyt olevan vaikutusta.

Puuston tilavuuskehitystä arvioitaessa on muistettava, että vastaavia tuloksia saataa vain harvoilla tupasvillanevan tasoisilla kasvupaikoilla. Aikoinaan suoritettu hydroturpeen kuivaus ja maaton turvejäte suon pinnassa ovat vaikuttaneet ehkä muokkaustakin tehokkaammin, koska useita hivenravinteita soiden pohjakerrostumissa tiedetään olevan runsaasti (Sillanpää 1975). Boorista tiedot puuttuvat.

Kivisuon hivenlannoituskokeen männyt eivät ole kasvaneet yhtä nopeasti kuin parhaat puun tuhalla lannoitetut mäntypuustot, joten tuhassa olevilla kalkilla, magnesiumilla, muilla kuin tässä kokeessa käytetyillä hivenravinteilla ja esim. kasvualustan luontaisella ravinnekoostumuksella, kasvualustan ravinteiden luovutuskyvyllä sekä todennäköisesti hivenlannoitteiden annostuksella ja ominaisuuksilla (ks. Pietiläinen ja Veijalainen 1979) lienee osuutta havaittuihin kasvutuloksiin. Parhaat tuhkalannoituskoealat ovat näet tuottaneet 23—24 vuodessa noin 150 m³/ha ilmastoaltaan lähes Kivisuota vastaavissa olosuhteissa (Huikari ja Kosonen 1978, Paavilainen 1980).

Käytetyistä pääravinnelannoitteista ainakin hienofosfaatti sisältää jonkin verran hivenaineita luontaisina epäpuhtauksina, koska superfosfaattikin niitä sisältää (Hovi 1947). Yleensä tätä hivenravinnepanosta ei ole otettu ollenkaan huomioon lannoituskokeissa. Tulosten luotettavuuden arvioinnissa on syytä painottaa sitä, että faktoriaalisten päävaikutusten laskennassa oli käytettävissä kaikkiaan 16 kokeen sisäistä vertailukoealaa, joista epätyytyttäviä oli vain kaksi eli hivenlannoituskokeen ulkopuolelta valitut NPK-koealat.

5. YHDISTELMÄ

51. Tutkimuksen teoreettinen merkitys

Suomessa on pitkään epäilty turvemaidella esiintyvän hivenravinnepuutoksia, joita kuitenkin ei ole aiemmin voitu metsäntutkimuksessa täysin sitovasti todistaa. Kivisuon hivenlannoituskoettakin on mitattu useaan otteeseen, mutta hivenlannoitukset eivät ole osoittautuneet merkitseviksi ennenkuin suoritettiin riittävän monipuolinen mittaus. Nyt voitiin osoittaa, että alueella vallitsee boorin puutos ja todennäköisesti myös kuparin puutos.

Teoreettista merkitystä on myös hyvin jo aiemminkin tunnetulla, mutta tässä tutkimuksessa silmiinpistävän selvästi esiin tulleella runkolukuvaikutuksella. Runkoluku vaikuttaa niin voimakkaasti useimpiin läpimitasta johdettaviin kasvutunnuksiin, ettei niitä ainakaan hivenlannoitustutkimuksissa tulisi käyttää ilman, että varmistutaan puuston tasaisuudesta.

Kivisuon maantieteellinen sijainti etäällä avomerestä (kaakossa 160 km, lounaassa yli 200 km) tekee ymmärrettäväksi boorin ja osin myös kuparin puutoksen esiintymisen. Norjassa Braekke (1979) on todennut boorinpuutosalueen alkavan n. 50 km rannikolta, ja Suomessa Tolonen (1974) on osoittanut negatiivisen korrelaation vallitsevan keidassuoallikoiden veden boori- ja kuparipitoisuuksien sekä näytteenottopaikan ja meren välisen etäisyyden välillä. Hänen esittämänsä vyöhykejaon mukaan Kivisuo kuuluu jo pienimmän boorilaskeuman alueeseen.

52. Tutkimuksen metsätaloudellinen merkitys

Metsätaloudessa hivenlannoitteiden käyt-

tö on lisääntymässä. Saadut kasvutulokset osoittavat, että monipuolisella hivenlannoituksella voidaan välttää latvakatojen syntyminen muutoin kasvuhäiriöille alttiilla alueella ja muutoinkin vähentää kasvuhäiriön esiintymistä. Kivisuolla käytetyt hivenlannoitemäärät ovat nykykäsityksen mukaan liian suuria (ks. Veijalainen 1980), mutta varsinkin boorin pitkä vaikutusaika on merkillepantavaa. Toisaalta koe osoitti, ettei hivenlannoituksilla voitu vaikuttaa positiivisesti taimien elossapysymiseen.

Vuodesta 1975 alkaen suometsien PK-lannoitteeseen tapahtunut boorin lisäys näytti tämänkin tutkimuksen mukaan tarpeelliselta (ks. myös Braekke 1979, Veijalainen 1980). Kysymys kuparin ja muiden hivenravinteiden lisäystarpeesta vaatii lisäselvityksiä, joskin monipuolinen hivenlannoitus näyttäisi varmimmalta ratkaisulta kasvuhäiriöalueilla. Pelkän lannoiteboraatin ja kuparisulfaatin seosta tulisi välttää (ks. Puustjärvi 1973).

Lannoituksen kestoajasta tutkimus antoi kuvan, joka ei ole täysin yhteneväinen aiempien käsitysten kanssa, joiden mukaan esim. osa Kivisuon kokeista jatkolannoitettiin jo 1960-luvun lopussa. Monin paikoin seurauksena oli kasvuhäiriön lisääntyminen samaan aikaan, kun hivenlannoituskokeen puuston kasvu saavutti tähänastisen maksiminsa ilman jatkolannoitusta (ks. Veijalainen 1975).

Käytännön metsätalouden kannalta Kivisuo on erikoistapaus, jolta saatavat tulokset soveltuvat ehkä parhaiten turpeennostoalueiden metsittämisongelmien ratkaisuja tehtäessä, ja tietenkin itse Kivisuolle, sekä ehkä muillakin muokatuilla turvemaidella, kuten peltojen metsitysalueilla.

KIRJALLISUUS

- BRAEKKE, F.H. 1979. Boron deficiency in forest plantations on peatland in Norway. *Medd. Norsk. Inst. Skogsforskn.* 35.3.
- COCHRAN, W. & COX, G. 1964. *Experimental Designs*. Second edition, Wiley Publications in statistics. New York.
- HOVI, M. 1947. Hivenaineet kasvutekijöinä pelto- ja puutarhakasveilla. 112 s. Pellervo-Seura. Helsinki.
- HUIKARI, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja lannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. *Studies on the effect of drainage and ash fertilization upon the microbes of some swamps*. *Commun. Inst. For. Fenn.* 42.2:1—18.
- 1973. Koetuloksia metsäojitetttujen soiden lannoituksesta. Summary: Results of fertilization experiments on peatlands drained for forestry. *Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 1/1973*. 153 s.
- 1974. Hivenravinteet ja puiden kasvu. *Metsä ja Puu* 11:28.29.
- & KOSONEN, R. 1978. Puuntuhkalannoituskokeet. Käsikirjoitus *Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastolla*.
- & PAARLAHTI, K. 1966. Kivisuon metsänlannoituskokeet. *Kenttäopas*. Kirja-Mono Oy.
- & PAARLAHTI, K. 1973. Kivisuon metsänlannoituskokeet. Toinen painos. Paperityö Oy. Helsinki.
- KOLARI, K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmio Suomessa. *Kirjallisuuskatsaus. Micronutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland. A review.* *Folia For.* 389:1—37.
- KURKI, M. 1972. Suomen peltojen viljavuudesta II. *Yhteiskirjapaino Oy*. Helsinki.
- KÄHÄRI, J. & JAAKKOLA, A. 1977. Kuparilannoitusten vertailu astiakokeessa. *Jämförelse av koppargödselmedel i kärlförsök*. *Kehittyvä Maatalous* 35:3—6.
- KLIEGEL, W. 1980. *Bor in Biologie, Medizin und Pharmazie*. 900 s. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.
- LUKKALA, O.J. 1951. Kokemuksia Jaakkoin suon koeojitusalueelta. *Experiences from Jaakkoin suon experimental drainage area*. *Commun. Inst. For. Fenn.* 39.6:1—53.
- PAARLAHTI, K., REINIKAINEN, A. & VEIJALAINEN, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. *Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä*. *Commun. Inst. For. Fenn.* 74.5:1—58.
- PAAVILAINEN, E. 1980. Tuloksia vanhoista tuhkalannoituskokeista. *Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 20:20—23*.
- PIETILÄINEN, P. & VEIJALAINEN, H. 1979. Koe hivenlannoitteiden vaikutuksesta rimpisuon metsityksessä. Summary: Effect of some micronutrient fertilizers on the height growth of pine seedlings in a flark. *Suo* 30 (4—5):73—80.
- PROCTER, J. 1967. A disorder of pine. *Commonw. For. Rev.* 46:145—154.
- PUUSTJÄRVI, V. 1973. *Kasvuturve ja sen käyttö*. *Turveteollisuusliitto r.y. Julkaisu 1:1—172*. Liikekirjapaino Oy, Helsinki.
- REINIKAINEN, A. 1965. *Vegetationsuntersuchungen auf dem Walddüngungs-Versuchsfeld des Moores Kivisuo, Kirchsp. Leivonmäki, Mittel-Finland*. *Commun. Inst. For. Fenn.* 59.5:1—62.
- SHCHERBAKOV, A.P. 1956. (Effect of trace elements on the growth and chemical composition of tree seedlings and saplings). *Mikroelem. cel. Khoz. Medits.* 1955:443—454.
- SILFVERBERG, K. 1979. Männyn kasvuhäiriön ajoittuminen ja alkukehitys turvemaan boorinpuutosalueella. Summary: Phenology and initial development of a growth disorder in Scots pine on boron deficient peatland. *Folia For.* 396:1—19.
- SILLANPÄÄ, M. 1975. Hivenaineet suoprofilissa. *Distribution of trace elements in peat profiles*. *Suo* 26 (5):83—86.
- TOLONEN, K. 1974. Suomen keidassuovesien ravinteista. On the nutrient content of surface water in ombrotrophic mire complexes in Finland. *Suo* 25 (3—4):41—51.
- TÄHTINEN, H. 1976. The effects of lime and phosphorus on copper uptake by oats and on the response to copper fertilization. *Ann. Agr. Fenn.* 15:245—253. Sarja: Maa- ja lannoitus n:o 76.
- VAIL, J.W., PARRY, M.S. & CALTON, W.E. 1961. Boron deficiency dieback in pines. *Plant and Soil* XIV (4):393—398.
- VEIJALAINEN, H. 1975. *Kasvuhäiriöistä ja niiden syistä metsäojitusalueilla*. Summary: Dieback and fertilization on drained peatlands. *Suo* 26 (5): 87—92.
- 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. *Neulasanalyysi männyn mikroravintetarpeen määrittämisessä turvemailla*. *Commun. Inst. For. Fenn.* 92.4:1—32.
- 1978. *Metsäpuiden latvakadon esiintymisestä Suomessa*. Occurrence of die-back of forest trees in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 1/1978:1—22*.
- 1980. Eräiden hivenlannoitteiden käyttökelpoisuus suometsien lannoituksessa. *Neulasanalyysiin perustuva tarkastelu*. Summary: Usability of some micronutrient analysis. *Report basing on needle analysis.* *Folia For.* 442.
- VUOKILA, Y. & VÄLIAHO, H. 1980. *Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit*. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 99.2:1—271.

SUMMARY

Results from a micronutrient experiment in a pine plantation, containing a more recent admixture of spruce, growing on a drained peatland are reported. Basic fertilization with NPK and afforestation (Scots pine) were conducted in 1959 and stand measurements in 1978 (see Table 1). The lay-out of the micronutrient experiment followed a 2⁴-factorial design with 2 replications (Fig. 1). The experimental field is situated in Kivisuo, Leivonmäki, S-Finland (61°53'N, 25°59'E). Originally this open bog was manually drained for hydro-peat drying (1947) and a 5–10 cm layer of partially decomposed peat still covers the artificially-levelled ground giving a tilled effect. Drain spacing was 11–12 m and peat thickness 3,5–4,0 m with a pH of 4,1 in the surface layer (1960). This type of cottongrass bog is normally very poor in available phosphorus and potassium and unfit for afforestation purposes.

The mean height of the stand and mean volume of the stems were both increased by fertilizer borate (50 kg/ha). Copper sulphate had a positive effect on the amount of saw timber. Manganese sulphate and zinc sulphate had no significant effects. None of the micronutrients had any significant effects on the total volume, volume increment during the last five years, number of stems or on the mean diameter of the

stems. Variations in stand density obviously blocked some of the effect of these micronutrients. Some high interactions between micronutrients were demonstrated (Cu/B and Cu/Mn) (App. 1. and Table 2). The stand density had a significant effect on the mean diameter of the trees and on the volume of the stand (Figs. 2 and 4). The spruces planted between the pine rows in 1964 had attained the greatest height on plots with the lowest density of pines (Table 1). A negative trend in cambial growth during the last five years (Fig. 3) was assumed to be either due to the high density of some of the stands or to cessation of the fertilization effect. Growth disturbances in the pine stands were decreased by Cu-B- and Mn-fertilization. The best result was achieved using a mixture of four micronutrient fertilizers (Cu, B, Mn, Zn) in heavily NPK-fertilized stands. Only boron deficiency was demonstrated with any certainty. The original microrelief of the bog had the most obvious effect on the stand development in spite of macro- and micro-fertilization (Figs. 6 and 7).

PK-fertilizer used in peatland forests in Finland has contained, since 1975, a supplement of 0,2 per cent boron. This experiment confirms the benefits of this measure.

Liite 1. Faktoriaaliset keskivaikutukset, Kivisuo koe II.
Appendix 1. Factorial mean effects, Kivisuo exp. II.

Faktori <i>Factor</i>	Puuston tilavuus <i>Volume of the stand</i> m ³ /ha	l/runko <i>l/stem</i>	Tukkipuu <i>Saw timber</i> m ³ /ha ¹)	Kasvu <i>Growth</i> 1974–78 m ³ /ha	Runkoluku/ha <i>Number of stems per hectare</i>	Pituus <i>Height</i> cm	D _{1,3} cm
(Cu)	0,3	1,9	2,4*	−0,3	−95	13	0,2
(B)	−4,2	4,9*	0,7	−2,9	−290	22*	0,3
(Cu B)	−5,1	−4,7*	−2,4*	−1,0	86	−16	−0,7*
(Mn)	2,5	−1,0	−1,8	0,2	84	−0	−0,5
(Cu Mn)	8,0	2,9	−2,7*	2,9	248	−11	−0,8*
(B Mn)	−3,3	0,5	1,4	−0,1	−51	0	0,2
(Cu B Mn)	4,3	−0,2	0,6	0,1	84	13	−0,3
(Zn)	5,6	−2,0	−0,7	3,0	180	−2	−0,7
(Cu Zn)	2,2	1,3	−0,6	0,0	5	1	0,2
(B Zn)	4,1	−1,1	0,7	0,9	105	6	−0,2
(Cu B Zn)	10,7*	−1,6	0,8	5,3*	269	5	−0,5
(Mn Zn)	0,4	−0,5	1,8	−1,0	55	−3	−0,2
(Cu Mn Zn)	−1,3	0,6	−0,3	0,1	−60	−0	−0,1
(B Mn Zn)	−14,2*	3,2	2,0	−5,1*	−432*	−13	0,5
(Cu B Mn Zn)	−4,6	0,4	−0,1	3,5	−72	−10	0,4
Keskiarvo — <i>Mean</i>	71,2	45,0	2,8	34,5	1630	725	12,3

* = eroaa nolasta >95 %:n todennäköisyydellä — *significant at 0,05 risk level*
1) Rungot, joiden tilavuus > 100 l — *Stems with volume > 100 l*

ODC 2--114.444:237.4:232.425.1
ISBN 951-40-0525-2
ISSN 0015-5543

VEIJALAINEN, H. 1981. Hivenlannoituksen vaikutus istutusmännikön kehitykseen turvemaalla. Summary: Long-term responses of Scots pine to micronutrient fertilization on acid peat soil. *Folia For.* 477:1—15.

Results from a 20 years old micronutrient experiment in a *Pinus sylvestris* stand showed positive effects of borate fertilization. Copper sulphate, zinc sulphate and manganese sulphate were not as effective as fertilizer borate. They also showed, together with borate, a positive effect on growth disturbances, which were common in the experimental field.

Some high negative interactions between micronutrients were reported.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ODC 2--114.444:237.4:232.425.1
ISBN 951-40-0525-2
ISSN 0015-5543

VEIJALAINEN, H. 1981. Hivenlannoituksen vaikutus istutusmännikön kehitykseen turvemaalla. Summary: Long-term responses of Scots pine to micronutrient fertilization on acid peat soil. *Folia For.* 477:1—15.

Results from a 20 years old micronutrient experiment in a *Pinus sylvestris* stand showed positive effects of borate fertilization. Copper sulphate, zinc sulphate and manganese sulphate were not as effective as fertilizer borate. They also showed, together with borate, a positive effect on growth disturbances, which were common in the experimental field.

Some high negative interactions between micronutrients were reported.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

Tilaa kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please, send me following publications (add numbers of the publications on the backside of the card).

Nimi

Name _____

Osoite

Address _____

Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto/Library
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND



METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoeasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 142

Ojajoen koeasema
Ojajoki Experimental Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (995) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eiteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (991) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* c/o Joensuun korkeakoulu
c/o Joensuu University
PL 111
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 311

Ruotsinkylän jalostuskoeasema
Ruotsinkylä Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

1980

- No 454 Gustavsen, Hans Gustav: Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla.
Site index curves for conifer stands in Finland.

1981

- No 455 Salminen, Marja-Liisa: Kuormatraktorin kuljettajan kuormittumisen arviointi psykofysiologisilla menetel-
millä.
Evaluation of the strain on the forwarder driver with the help of some psychophysiological methods.
- No 456 Raitio, Hannu: Pääravinne-lannoituksen vaikutus männyn neulasten rakenteeseen ja ravinnepitoisuuksiin
ojitetulla lyhytkorsinevalla.
Effect of macronutrient fertilization on the structure and nutrient content of pine needles on a drained short
sedge bog.
- No 457 Huttunen, Terho: Suomen piensahat 1980.
Small sawmills in Finland, 1980.
- No 458 Kärkkäinen, Matti & Salmi, Juhani: Länsi-Uudenmaan rannikon mäntyttöjen ominaisuudet erällä sahalai-
toksella.
Properties of pine logs in a coastal sawmill in southern Finland.
- No 459 Kärkkäinen, Matti: Polttopuun rasiinkaadon ja muiden kuivausmenetelmien perusteet.
Foundations of leaf-seasoning and other drying methods of fuelwood.
- No 460 Metsätilastollinen vuosikirja 1980.
Yearbook of Forest Statistics, 1980.
- No 461 Raulo, Jyrki & Lähde, Erkki: Rauduskoivun kylvökokeita Lapissa.
Sowing experiments with *Betula pendula* in Finnish Lapland.
- No 462 Raulo, Jyrki & Rikala, Risto: Istutettujen männyn, kuusen ja rauduskoivun taimien alkukehitys eri tavoin
käsitellyllä viljelyalalla.
Initial development of Scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings planted on a forestation site pre-
pared in different ways.
- No 463 Hyppönen, Mikko: Eräiden metsikönkasvatusvaihtoehtojen edullisuus metsähallituksen Pohjois-Suomen
metsissä.
Profitability of some stand growing alternatives in the State forests of northern Finland.
- No 464 Harstela, Pertti & Piirainen, Kimmo: Esitutkimus PIKA 75 harvesterin automaatioasteen vaikutuksista tuo-
tokseen, mittaustarkkuuteen ja kuljettajan kuormittumiseen.
Output, accuracy of measuring and strain of the driver at three automation levels of PIKA 75 harvester. A
pilot study.
- No 465 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1978—80.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1978—80.
- No 466 Harstela, Pertti & Tervo, Leo: Pitkän puutavaran esijuonto vinttureilla ja hevosella.
Bunching of timber by winches and horse.
- No 467 Hakkila, Pentti & Kalaja, Hannu: KOPO palahakejärjestelmä.
KOPO block chip system.
- No 468 Vuokila, Yrjö: Nuoren männikön kasvureaktio ensiharvennuksen jälkeen.
The growth reaction of young pine stands to the first commercial thinning.
- No 469 Rummukainen, Ukko & Voipio, Pekka: Ahavan tuhot kuusentaimissa Suonenjoen taimitarhalla keväällä
1978.
Winter wind damage on Norway spruce seedlings at Suonenjoki seedling nursery in spring 1978.
- No 470 Hallaksela, Anna-Maija & Nevalainen, Seppo: Juurikäävän torjunta urealla kuusenkaannoissa.
Control of root rot fungus (*Heterobasidion annosum*) by treating Norway spruce stumps with urea.
- No 471 Eeronheimo, Olli: Metsähakkeen hankinta ja käyttö metsäteollisuudessa. Tilanne keväällä 1980.
Delivery and use of forest chips in forest industry. Situation in spring 1980.
- No 472 Nisula, Pentti: Herbisidilaitteilla varustettu raivaussaha voimajohtojen johtoaukeiden raivauksessa.
Use of a clearing saw equipped with a herbicide device in the clearing of power grid lines.
- No 473 Saastamoinen, Olli & Sievänen, Tuija: Keravan ja Rovaniemen lähimetsien ulkoilukäytön ajallinen vaihtelu.
Time patterns of recreation in urban forests in two Finnish towns.
- No 474 Sirén, Matti: Puuston vaurioituminen harvennuksipuun korjuussa.
Stand damage in thinning operations.
- No 475 Metsätutkimuslaitoksen julkaisut 1980.
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1980.
- No 476 Jalkanen, Risto: Harmaakariste männyllä. Kirjallisuuskatsaus.
Lophodermella sulcigena on pines. A literature review.
- No 477 Veijalainen, Heikki: Hivenlannoituksen vaikutus istutusmännikön kehitykseen turvemaalla.
Long-term responses of Scots pine to micronutrient fertilization on acid peat soil.
- No 478 Kellomäki, Seppo & Tuimala, Aili: Puuston tiheyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen
männiköissä.
Effect of stand density of branchiness of young Scots pines.

Metsätutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17 341

ISBN 951-40-0525-2
ISSN 0015-5543