

FOLIA FORESTALIA³⁸⁹

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1979

KIMMO K. KOLARI

HIVENRAVINTEIDEN PUUTE METSÄPUILLA
JA MÄNNYN KASVUHÄIRIÖILMIÖ
SUOMESSA

KIRJALLISUUSKATSAUS

MICRO-NUTRIENT DEFICIENCY IN FOREST
TREES AND DIEBACK OF SCOTS PINE
IN FINLAND

A REVIEW

- 1977
- No 318 Kinnunen, Kaarlo: Istutuksen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Länsi-Suomen yksityismetsissä.
The survival and initial development of plants in private forests in western Finland.
- No 319 Ferm, Ari & Pohjola, Eljas: Pintakasvillisuuden kehittyminen ja muokkausjäljen tasoittuminen auratuilla metsänuudistusaloilla Lapissa.
Succession of ground vegetation and levelling of ploughed tracks on reforestation areas in Finnish Lapland.
- No 320 Kuusela, Kullervo: Suomen metsien kasvu ja puutavaralajirakenne sekä niiden alueellisuus vuosina 1970—1976.
Increment and timber assortment structure and their regionality of the forests of Finland in 1970—1976.
- No 321 Heikinheimo, Lauri, Jaatinen, Esko, Kellomäki, Seppo, Lovén, Lasse & Saastamoinen, Olli: Metsien virkistyskäyttö Suomessa. Esitutkimusraportti.
Forest recreation in Finland. Pilot study.
- No 322 Talkamo, Tero: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1973 (1970).
Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1973 (1970) by districts.
- No 323 Erkkilä, Pentti, Silander, Soini, Tiihonen, Paavo & Örn, Jouko: Pystymittaus ja runkokin luku hakkuupalkan laskentaperusteina työvaikeuspallalla.
Massenermittlung am stehenden Holz und Stamzahl als Unterlage für die Berechnung des Arbeitslohns auf grösseren Schlaglosen mit gleichmässigen Arbeitsbedingungen.
- No 324 Vuokila, Yrjö: Puolukkatyyppi kuusen kasvupaikkana.
Vaccinium type as a spruce site.
- No 325 Raulo, Jyrki & Lähde, Erkki: Rauduskoivun istutustuloksia Lapissa.
Reforestation results with *Betula pendula* Roth in Finnish Lapland.
- No 326 Paavilainen, Eero: Männyn istutus suopeltojen metsityksessä.
Planting of Scots pine in afforestation of abandoned swampy fields.
- No 327 Paavilainen, Eero: Jatkolannoitus vähäravinteisillä rämeillä. Ennakkotuloksia.
Refertilization on oligotrophic pine swamps. Preliminary results.
- No 328 Laitinen, Jorma & Takalo, Sauli: Moottorisahavinturin käytöstä pienten puiden ja tukkien esijuonossa.
Preliminary skidding of small trees and sawlogs by power saw winch.
- No 329 Kinnunen, Kaarlo & Linnimäki, Jorma: Metsänuudistamisen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Pohjois-Karjalassa.
Success of forest regeneration and initial development of sapling stands in northern Karelia.
- No 330 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1975—77.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1975—77.
- No 331 Gustavsen, Hans G.: Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt.
Finnish volume increment functions.
- No 332 Helander, Matti & Simula, Anna-Leena: Metsäalan toimihenkilöiden kysyntä ja tarjontaa vuoteen 1985.
Demand and supply of professional forestry staff by 1985.
- No 333 Hakkila, Pentti, Kalaja, Hannu, Salakari, Martti & Valonen, Paavo: Whole-tree harvesting in the early thinning of pine.
Kokopuun korjuu männikön ensiharvennuksessa.
- No 334 Järveläinen, Veli-Pekka: Mieliopiteet yksityismetsätaloudessa. Metsänomistajien ja metsäammattimiesten käsityksiä metsätaloudesta ja sen edistämisestä.
Opinions in Finnish private forestry. On the opinions of the private forest owners and the forestry experts concerning forestry and its promotion.
- 1978
- No 335 Juutinen, Paavo: Kuitupuupinot pystynävertäjän (*Tomicus piniperda* L.) lisääntymispaikkoina Pohjois-Suomessa
Pulpwood stacks as breeding sites for pine shoot beetle (*Tomicus piniperda* L.) in northern Finland.
- No 336 Kärkkäinen, Matti: Menetelmiä likipituisten kuitupuupölkkyjen keskipituuden mittaamiseksi
Methods for measuring the average length of pulpwood bolts estimated during logging by eye.
- No 337 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Koillis-Suomen metsävarat vuonna 1976 ja Lapin metsävarat vuosina 1970 ja 1974—76.
Forest resources in the Forestry Board Districts of Koillis-Suomi in 1976 and Lappi in 1970 and 1974—76.
- No 338 Lähde, Erkki: Välivarastoinnin vaikutus männyn paakkutaimien viljelyn onnistumiseen.
Effect of intermediate storage of containerized Scots pine planting stock on reforestation success.
- No 339 Teivainen, Terttu: Eräiden poppelikloonien myyrätuhoalttius ruokintakokeiden mukaan.
Resistance of some poplar clones to vole damage through feeding experiments.
- No 340 Laitinen, Jorma & Takalo, Sauli: Kantokäsittelylaittein varustettujen raivaussahojen vertailua.
Comparison of clearing saws equipped with stump spraying devices.

FOLIA FORESTALIA 389

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1979

Kimmo K. Kolari

HIVENRAVINTEIDEN PUUTE METSÄPUILLA JA MÄNNYN
KASVUHÄIRIÖILMIÖ SUOMESSA
Kirjallisuuskatsaus

Micro-nutrient deficiency in forest trees
and dieback of Scots pine in Finland

A review

ODC 424.7:114.5:237.4:416
ISBN 951-40-0387-X
ISSN 0015-5543

KOLARI, K.K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmio Suomessa — kirjallisuuskatsaus. Abstract: Micro-nutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland — a review. *Folia For.* 389: 1—37.

Katsauksessa kuvataan hivenravinteiden — boori, kupari, mangaani, molybdeeni, rauta ja sinkki — puutteeseen vaikuttavia tekijöitä sekä näiden hivenravinteiden puutosoireita metsäpuilla. Katsauksen tiedot pohjautuvat Stonen (1968) laajaan ja monipuoliseen metsäpuiden hivenravinnetaloutta ja puulajikohtaisia puutosoireita käsittelevään katsaukseen "Microelement nutrition of forest trees" sekä tämän jälkeen vuoteen 1978 ilmestyneisiin julkaisuihin. Puutosoireiden osalta on lähinnä pyritty havu- ja lehtipuille ominaisten oireiden synteisiin. Kotimaisten metsäpuiden puutosoireita on käsitelty erikseen sikäli kuin niistä on ollut havaintoja. Katsauksen lopussa tarkastellaan Suomessa männyllä (*Pinus sylvestris* L.) havaitun kasvuhäiriön suhdetta männyllä (*Pinus* spp.) tunnettuihin hivenravinteiden puutosoireisiin. Latvakatoina ilmenevän kasvuhäiriön syynä näyttää sen oireyhtymän perusteella olevan boorin puute, mihin myös kasvuhäiriöpuista tehdyt neulasanalyytit viittaavat. Lopullisen vastauksen kysymykseen — onko boorin puute ainoa latvakadon syy — antanevat kasvuhäiriön torjuntakokeet, kuten hivenravinne- ja tuhkalannoitukset.

The literature review describes the different factors which can produce deficiencies of such micro-nutrients as boron, copper, manganese, molybdenum, iron and zinc and their deficiency symptoms in forest trees. The information presented in the review is based on the wide and comprehensive review of micro-nutrient nutrition of forest trees and deficiency symptoms in individual tree species carried out by Earl L. Stone — "Microelement nutrition of forest trees" (1968) — and on publications which subsequently appeared on this subject up until 1978. Deficiency symptoms specific for coniferous and deciduous trees have been listed and discussed. The deficiency symptoms of native tree species have been treated separately in those cases where information is available. The relationship between diebacks observed on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland and known nutrient deficiency symptoms of pine (*Pinus* spp.) is discussed at the end of the review. The cause of diebacks appears, judging by its syndrome, to be a lack of boron, which is also supported by the results of needle analyses from disordered trees. The final solution to the question — is boron the only cause of such diebacks — may be obtained from experiments into the prevention of these growth disorders, eg. by means of micro-nutrient and wood-ash fertilization.

ALKUSANAT

Tämä työ on osa laajemmasta puiden kasvuhäiriöilmiöitä selvittelevästä vuonna 1976 perustetusta ja vuoteen 1981 kestävästä kasvuhäiriöprojektistä. Katsauksen materiaalia on kerätty projektin alusta saakka ja saatuja tietoja on projektissa voitu hyödyntää ennen käsikirjoituksen valmistumista. Projektin tavoitteena on puiden hivenravinnetaloudesta aiheutuvien kasvuhäiriöiden oireiden, esiintymismuotojen, kehityksen, laajuuden, syiden ja torjuntamenetelmien selvittäminen sekä kasvuhäiriön erottaminen muista puiden latva- ja latvushäiriöistä. Kasvuhäiriöprojektiin osallistuvat Metsäntutkimuslaitoksella suontutkimusosasto sekä metsänsuojelun (metsäpatologia) ja metsänarvioimi-

sen (metsäinventointi) tutkimusosastot.

Käsikirjoitukseen ovat tutustuneet professorit Olavi Huikari ja Gustaf Sirén, MMT, vs. prof. Eino Mälkönen, FL Antti Reinikainen ja LuK Heikki Veijalainen. Konekirjoitustyöt ovat suorittaneet yo. Liisa Poutanen ja neiti Maija Tuuri. Käännöstyöt ranskan- ja espanjankielisistä julkaisuista suomenkielille on tehnyt FK Yrjö Sihvo. Englanninkieliset käännökset on laatinut MMK John Deroime. — Kaikesta saamastani avusta, korjausehdotuksista ja tuesta esitän parhaimmat kiitokseni.

Helsinki, maaliskuu 1979

Kimmo K. Kolari

SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	5
2. BOORIN PUUTE	6
21. Boorin puutteen esiintyminen	6
22. Boorin puutosoireet.....	7
Havupuut.....	7
Lehtipuut.....	9
3. KUPARIN PUUTE	10
31. Kuparin puutteen esiintyminen.....	10
32. Kuparin puutosoireet	10
Havupuut.....	11
Lehtipuut.....	11
4. MANGAANIN PUUTE	12
41. Mangaanin puutteen esiintyminen.....	12
42. Mangaanin puutosoireet.....	12
Havupuut.....	12
Lehtipuut.....	13
5. MOLYBDEENIN PUUTE	13
51. Molybdeenin puutteen esiintyminen	13
52. Molybdeenin puutosoireet.....	14
Havupuut.....	14
Lehtipuut.....	14
6. RAUDAN PUUTE.....	15
61. Raudan puutteen esiintyminen	15
62. Raudan puutosoireet	15
Havupuut	15
Lehtipuut	16
7. SINKIN PUUTE	16
71. Sinkin puutteen esiintyminen	16
72. Sinkin puutosoireet.....	17
Havupuut.....	17
Lehtipuut.....	17
8. MÄNNYN KASVUHÄIRIÖILMIÖ	18
81. Kasvuhäiriön oireet.....	18
82. Kasvuhäiriö ja hivenravinteiden puute.....	21
9. KIRJALLISUUS.....	23
LIITTEET — APPENDICES	28

1. JOHDANTO

Hivenravinteet boori, kupari, mangaani, molybdeeni, rauta ja sinkki ovat kasveille välttämättömiä hivenaineita. Vaikka kasvien tarvitsemat hivenravinnemäärät ovat erittäin pieniä (miljoonasosien luokkaa), ne ovat fysiologisen vaikutuksensa takia elintärkeitä kasvien aineenvaihdunnalle ja entsyymeille, koska ne toimivat mm. aineenvaihduntareaktioiden aktivaattoreina ja säätelijöinä sekä entsyymien rakenneosina.

Muutokset kasvien hivenravinnetaloudesta; esim. hivenravinteiden määrissä, niiden keskinäisissä suhteissa tai niiden suhteissa pääravinteisiin, voivat aiheuttaa hivenravinteiden puutetta (Olsen 1972). Puute ilmenee aluksi biokemiallisina muutoksina solukoissa, minkä seurauksena solut ja solukot epämuodostuvat tai kuolevat, mikä lopulta johtaa näkyviin puutosoireisiin (Bussler 1974).

Hivenravinteiden puutteen syntyminen ja esiintymiseen vaikuttavat kasveilla useat tekijät vuorovaikutuksineen (liite 1). Tärkeimpiä näistä ovat maaperä- ja ilmastosuhteet sekä ihmisen maaperään kohdistamat toimenpiteet. Näiden tekijöiden selvittäminen on tärkeää pyrittäessä ymmärtämään itse puutetilaa ja sen esiintymistä (Reuter 1975) sekä pyrittäessä saamaan luotettavaa tietoa kasvien hivenravinnetarpeista (Lucas ja Knezek 1972). Lisäksi hyödyntämällä jo olemassaolevia tietoja näiden tekijöiden vaikutuksista voitaisiin todennäköisesti useissa tapauksissa jo ennalta ehkäistä mahdollinen puutteen syntyminen.

Hivenravinteiden puutteen esiintymiseen metsäpuilla Suomessa on toistaiseksi kiinnitetty melko vähän huomiota. Maan- ja puutarhaviljelyn piirissä tunnetut, sopimattomasta tai liian runsaasta pääravinnelannoituksesta (N, P ja K) tai kalkituksesta aiheutuneet, eri hivenravinteiden puutetapaukset antavat kuitenkin aiheen suhtautua vakavasti mahdolliseen puutteen esiintymiseen tai esilletuloon metsänviljelytaimistoissa, varsinkin metsänparannusalueilla. Maassamme jo 1950-luvulla havaittu hivenravinteiden puut-

teen aiheuttamaksi epäilty männyn kasvuhäiriöilmio (Huikari 1974, Veijalainen 1975, Huikari 1977, Kasvuhäiriöprojekti 1977, 1979, Huikari ja Reinikainen 1978) onkin viime vuosina herättänyt runsaasti keskustelua hivenravinteiden puutteesta sekä tarvetta metsäpuiden hivenravinteiden puutosoireiden tunnetuksi tekemiseen metsäammattikunnalle ja metsänomistajille.

Tiedot metsäpuiden hivenravinnetaloudesta ovat kuitenkin vielä melko puutteellisia. Syynä tähän Stone (1968) pitää hivenravinteita koskevien tietojen kirjavaa alkuperää: (1) Olosuhteiltaan luonnosta poikkeavat, tavallisesti lyhytaikaiset, taimien ravinneliuoskokeet. (2) Ravinneympäristöltään ja -käsittelyiltään metsikköolosuhteisiin usein vaikeasti verrattavat taimitarhatutkimukset. (3) Istutustaimien puute- tai myrkytystapausten alustavat kuvaukset ja tulkinat. (4) Normaalien ja puutosoirepuiden usein erilaiset näytteidenotto- ja kemialliset kasvianalyysimenetelmät. (5) Valtaosaltaan maanviljely- ja puutarhatieteiden piiristä saadut tiedot hivenravinteista, niiden vaikutustavoista ja puutosoireista (esim. Lundblad 1946, Wallace 1961, Stiles 1961, Hewitt 1963, Chapman 1966, Scharrer ja Linser 1969, Katalymow 1969, Epstein 1972, Gauch 1972, Mortvedt ym. 1972, Bussler 1974, Hewitt ja Smith 1974, Nicholas ja Egan 1975, Bergman ja Neubert 1976).

Puutosoireita tulkittaessa tulisi ottaa huomioon, etteivät kaikki hivenravinteiden puutetapauksissa tunnetut oireet ole vain näille ominaisia. Esimerkiksi lehtien ja neulasten kloroosia (viherkato, kellastuminen) ja nekroosia (kuoleminen, rusketuminen), kasvainten pituuskasvun heikentymistä ja latvakatoja esiintyy myös pääravinteiden (typen, fosforin, kalin, rikin ja kalsiumin) puutosoireina (Walker ym. 1955, Rathe 1959, HacsKaylo 1960, Gruppe ja Seitz 1962, Ingestad 1962, Rei-

nikainen 1967, 1968, Snowdon 1972, Lambert ja Turner 1977). Oireiden tulkinnassa tulisikin tämän vuoksi kiinnittää huomio kussakin epäillyssä puutetapauksessa nimenomaan oireyhtymiin, ts. samanaikaisten tai kasvukauden aikaisten oireiden muodostamiin kokonaisuuksiin.

Reinikaisen (1967, 1968) kokoa-
mien tietojen mukaan tulisi puutosoireiden tulkinnassa ottaa huomioon seuraavia näkökohtia: (1) Puutosoireet voivat olla merkkejä ravinnetasapainottomuudesta, ts. jonkin ravinteen suhteellisesta puutetilasta (Leyton 1957). (2) Puutosoireet ovat usein vaikeasti tulkittavissa (esim. erilaiset kloroosit ja nekroosit), varsinkin kun kysymys on useamman ravinteen yhtäaikaisesta puutteesta (Leyton 1957, Walker ja Beacher 1963). (3) Muiden tekijöiden (hallan, kuivuuden ja patogeenien) aiheuttamia vaurioita on varottava sekoittamasta ravinteiden puutosoireisiin, mutta toisaalta edellisten aiheuttamat vauriot voivat samalla olla seurauksia ravinteiden puutteesta (Walker ja Beacher 1963, Snowdon 1973, Albrektsen ym. 1977). (4) Puutosoireiden vuodenaikaiset vaihtelut tulisi ottaa huomioon (Schönnamsgruber 1962, Walker ja Beacher 1963). (5) Perintötekijöistä aiheutuvat erot ovat mahdollisia eri puulajien tai saman lajin yksilöiden välillä (Schönnamsgruber 1962, Snowdon 1972, 1973, Lambert ja Turner 1977); esim. prove-

nienssierot (Steinbeck 1966), jotka tulisi ottaa huomioon varsinkin istutustaimien neulasanalyysejä tulkittaessa (Stone 1968).

Vaikka kasvualustan ravinnetilan määrittäminen vaatiikin puutosoirehavaintojen lisäksi tarkkoja tutkimuksia (kemiallisia analyysejä sekä kenttäkokeita), ei puutosoireiden tuntemisen merkitystä tule väheksyä, sillä suuntaa-antavina indikaattoreina ne ovat käyttökelpoisia (Reinikainen 1968).

Katsauksen tarkoituksena on kuvata hivenravinteiden — boori, kupari, mangaani, molybdeeni, rauta ja sinkki — puutteeseen vaikuttavia tekijöitä sekä näiden hivenravinteiden puutosoireita metsäpuilla. Katsauksen tiedot pohjautuvat Stonen (1968) laajaan ja monipuoliseen metsäpuiden hivenravinnetaloutta ja puulajikohtaisia puutosoireita käsittelevään katsaukseen "Microelement nutrition of forest trees" sekä tämän jälkeen vuoteen 1978 ilmestyneisiin uusiin julkaisuihin. Puutosoireiden osalta on pääasiassa pyritty havu- ja lehtipuille ominaisten oireiden synteisiin. Kotimaisten metsäpuiden puutosoireita on käsitelty erikseen sikäli kuin niistä on ollut havaintoja. Katsauksen lopussa tarkastellaan Suomessa männyllä (*Pinus sylvestris* L.) havaitun kasvuhäiriön suhdetta männyllä (*Pinus spp.*) tunnettuihin hivenravinteiden puutosoireisiin.

2. BOORIN PUUTE

21. Boorin puutteen esiintyminen

Boorin puute on yleisin ja tutkituin hivenravinteiden puute metsänistutustaimistoissa. Boorin puutteen yleisyys ja laajuus puutarha- ja viljelykasveilla antaa aiheen odottaa boorin puutteen lisääntyvää esiintymistä myös metsäpuilla.

Metsänistutustaimistoissa on boorin puutetta havaittu havupuista eri mäntylajeilla Sambiassa (Savory 1962), Tansaniassa (Vail ym. 1961, Procter 1965, 1967), Malesiassa (Waring 1971), Uudessa Guineassa (White 1964), Brasiliassa (van

Goor 1966), Chilessä (Tollenaar 1969), Australiassa (Snowdon 1972, 1973) ja Uudessa-Seelannissa (Will ym. 1963, Stone ja Will 1965, Appleton ja Slow 1966, Will 1971). Pohjoismaista on boorinpuutehavaintoja männyistä (*Pinus sylvestris*) Suomessa (Huikari 1974, Veijalainen 1975, Kolari ym. 1977, Raitio ja Rantala 1977, Kasvuhäiriöprojekti 1979), Norjassa (Braekke 1977) ja Ruotsissa (Albrektsen ym. 1977) sekä kuusesta (*Picea abies*) Norjassa (Braekke 1977). Lehtipuista tunnetaan boorinpuutetapauk-

sia akaasiasta (*Acacia mearnsii*) Itä-Afrikassa (Vail ym. 1957, Elmer ja Gosnell 1963), *Grevillea robusta* Itä-Afrikassa (Smith A.N. 1960) ja Etelä-Intiassa (Venkataramani 1963), Uudessa-Guineassa (White 1964) ja Kreikassa (Cooling 1970).

Boorin puutteesta kärsivien metsänistutustaimistojen maaperät ovat happamia sekä pitkälle rapautuneita tai huuhtoutuneita tai alkuperältään vulkaanisia hiekkamaita (Savory 1962, Procter 1967, Will 1971, Snowdon 1972, Albrektson ym. 1977, Lambert ja Turner 1977) tai happamia turvemaita (Veijalainen 1975, Braecke 1977). Kuivuus (Savory 1962, Elmer ja Gosnell 1963, van Goor 1966, Appleton ja Slow 1966, Procter 1967, Will 1971) tai kuivuuden ja runsaiden sateiden (seisovavetisyyden) vuorottelu (Vail ym. 1961, Snowdon 1972, Lambert ja Turner 1977) liittyvät usein boorin puutteen esiintymiseen, samoin kuin kylmäkaudet, myöhäiset kevätpakka- set, -hallat ja maan pitkä routiminen (Vail ym. 1961, Albrektson ym. 1977, Lambert ja Turner 1977).

Suurten typpi-, kalium- tai kalsiumpitoisuuksien katsotaan lisäävän kasvien boorintarvetta (Bradford 1966). Runsas typpi-, fosfori-, NPK- tai PK-lannoitus sekä kalkitus voivatkin kasveilla muuttaa niiden ravinnetasapainoa, ehkäistä boorin ottoa maasta, vähentää lehtien tai neulasten booripitoisuuksia tai aiheuttaa boorin puutetta (Bingham ym. 1958, Schütte 1959, Bingham ja Garber 1960, Appleton ja Slow 1966, Bradford 1966, Haveraaen 1966, Albrektson ym. 1977, Veijalainen 1977).

Kenttäkerroksen runsas kasvillisuus voi heikentää puiden boorinsaantia (Appleton ja Slow 1966, Lambert ja Turner 1977). Esimerkiksi Lambertin ja Turnerin (1977) mukaan booriköyhällä maaperällä heinien ja ruohojen (lehdet ja varret) sitoma boorimäärä on ollut jopa viisinkertainen 2-vuotiaisiin *Pinus radiata* -taimiin (neulaset, oksat ja varret) verrattuna.

22. Boorin puutosoireet

Puilla boorin puutteen vallitsevana piirteenä on kärkikasvupisteen vaurioituminen

tai kuoleminen, jota tavallisesti seuraa sekundäärinen korjaustapahtuma. Tyypillisiä oireita ovat latvakasvainten ja -silmujen kuoleminen l. latvakato (engl. dieback), latvakasvainten nivelvälien huomattava lyheneminen sekä lehtien tai neulasten koon pieneneminen ja tihentyminen l. ruusukemaisuus (engl. rosetting). Latvakasvaimen kuoleminen voi olla enemmän tai vähemmän jyrkkä, ja sitä edeltää tavallisesti kasvaimen heikentynyt kasvu sekä epänormaalien lehtien muodostuminen.

Havupuut

Boorin puutosoireita on havupuista havaittu pääasiassa istutustaimistojen männyillä (liite 2). Puutosoireita ilmenee kaikissa kasvullisissa elimissä: vuosikasvaimissa, neulasissa ja juurissa (liite 3). Oireiden yksityiskohdissa voi esiintyä puulajista, puutteen synnyn ajankohdasta tai puutteen voimakkuudesta riippuen eroja. Mäntylajeilla tietyt oire-eroavuudet kasvaimissa selittyvät siitä, muodostaako puu vuosikasvun aikana yhden vuosikasvaimen (kevätkasvaimen) vai ko kaksi vuosikasvainta (kevät- ja kesäkasvaimen). Edelliseen lukeutuvat *Pinus*-suvun *Lariciones*-sarja; mm. *P. sylvestris* ja jälkimmäiseen *Australes*-sarja; esim. *P. elliottii* *P. taeda* sekä *Insignes*-sarja; *P. contorta*, *P. patula*, *P. radiata* (Sarvas 1964).

Männyillä boorin puutteen selvin oire on latvakasvaimen, sen kärjen tai kärkisilmun kuoleminen (latva-, latvan kärki- ja silmukato) aktiivisen pituuskasvun aikana. Myös sivukasvaimet (ylimmät oksat) ja niiden kärkien silmut voivat kuolla. Latvakasvaimet ovat usein mutkaisia, vääntyneitä tai kiertyneitä. Vaurioituneet tai kuolleet latvakasvaimet sekä niiden kärkisilmut vuotavat pihkaa. Latvakasvaimen vaurioituneen osan alapuolella ydin on kokonaan tai laikuittain ruskettunut. Kuolleen kasvaimenosan alapuolelle puhkeaa tavallisesti useita kääpiöversosilmuja tai myös sivusilmuja (esim. *Pinus radiata*). Näistä silmuista kehittyneet sekundääriset kasvaimet tai uudet/vanhat sivukasvaimet (oksat) muuttavat puun kaksitai monilatvaiseksi. Boorin puutteen voimakkuudesta riippuen nämäkin voivat kuolla vastaavalla tavalla kuin alkuperäinen latvakasvain. Pahimmassa tapauksessa puu pensastuu, ja latvuksessa on runsaasti kuolleita kasvaimia.

Neulaset ovat vaurioituneen tai kuolleen latvakasvaimen kärkiosassa selvästi lyhentyneitä tai kehittymättömiä, kärjestään kellerävän vihreitä tai keltaisia, ja ne tavallisesti kuivuvat sekä varisevat. Astiakoehavaintojen mukaan juurten koko ja määrä on pienentynyt: ne ovat lyhyitä ja paksuja sekä kärjestään tummuneita ja turvonneita.

Edellä kuvattujen boorin puutosoireiden lisäksi tunnetaan etenkin *Pinus radiatalla* seuraavia oireita (Stone ja Will 1965, Snowdon 1972, 1973): Latvakasvaimen kuolleen tai vaurioituneen ja terveen osan välissä on usein pituudeltaan vaihteleva siirtymävyöhyke, jossa kasvaimen nivelvälit ja neulaset ovat lyhentyneet. Tämän seurauksena kasvain on selvästi lyhentynyt ja tiheä-neulasinen. Siirtymävyöhykkeessä kuori voi olla korkkiutunut. Tässä vyöhykkeessä tai sen alapuolella on kuoressa usein nekroosia tai pitkittäishalkeamia, jotka ulottuvat ytimeen. Tällä kohdilla on ydin myös ruskettunut ja kasvain usein mutkalla. Latvakasvaimen kärjen tai vain kärkisilmujen kuollessa neulasten pituuskasvu voi heiketä asteittain. Tällöin latvakasvain näyttää kapean kartiomaiselta. Toisinaan neulaset ovat vaurioituneessa latvakasvaimessa yhteenliittyneitä, lyhyitä, paksuja, vääntyneitä ja kärjestään kloroottisia tai nekroottisia. Ravinneliuoskokeissa (de Lanuzza 1966a, b) neulaset ovat olleet sinivihreitä ja niissä on esiintynyt kloroottisia tai nekroottisia vöitä sekä pihkavuotoja.

Thuja plicatalla ja *Pinus radiatalla* on ravinneliuoskokeissa havaittu boorin puutteissa myös vuosikasvainten, neulasten ja juurten solu- ja solukkovaurioita:

— *Thuja plicatalla* (Blaser ym. 1967) latvakasvaimen kärkikasvusolukko on toiminnallisesti heikentynyt tai kuoleva. Kasvaimen johtosolukot ovat epänormaaleja. Primäärin puun (ksyleemin) putkisolut muistuttavat metakksyleemiä, mutta ovat epämuodostuneita. Juurissa primäärinen puu ei erilaistu. Pahassa puutetilassa juuren keskusherio hajoaa keskiosastaan ja siihen muodostuu onteloita, jotka laajenevat keskusherion niihin osiin, joihin ksyleemi normaalisti muodostuisi. Hajoamisen laajennuttua juuren kasvupisteeseen juuret kuolevat. Sekundäärisistä solukoista on jäljen (kambiumin) toiminta heikentynyt sekä kasvaimissa että juurissa. Näissä nilasyiden lukumäärä on normaalia pienempi ja nilan (floemin) siivi-

läläsolut hajoavat. Putkisolut (trakeidit) ovat usein epämuodostuneita, lyhyitä ja ohutseinäisiä.

— *Pinus radiatalla* (de Lanuzza 1966a) latvakasvaimen kärkikasvusolukko (apikaalimeristeemi) on epäjärjestyksessä ja vaikeasti tunnistettavissa. Kärkikasvusolukon sytohistologiset vyöhykkeet (apikaaliset initiaali-, keskusemo- ja perifeeraalisolut) eivät erotu ja kärkikasvusolukkoon sekä sen alapuolelle muodostuu onteloita. Neulaset voivat olla sekä terveennäköisiä että selvästi epämuodostuneita, ja poimutylpyn (mesofyllin) osuus niissä on normaalia suurempi. Terveennäköiset neulaset ovat pitkiä ja ohuita, ja niiden päällysketto (epidermi) on mutkainen sekä monin paikoin kovertonut. Koverien kaarien huipuissa voi hypodermisoluissa esiintyä liikakasvua, joka näkyy kahden tai kolmen solukerroksen vaippana. Epämuodostuneet neulaset ovat lyhyitä ja paksuja ja niiden kyljet ovat epäsymmetrisiä. Myös näillä päällysketto on mutkainen ja kovertonut. Pihkatiehyiden sijainti on epänormaali: ne sijaitsevat neulasen poimutylpysssä joko lähellä sisäkettoa (endodermiä) tai päällyskettoa. Myös neulasten johtosolukko on epäjärjestyksessä: puu ja nila eivät erotu toisistaan ja puu on heikosti kehittynyt. Ilmarakoja on neulasissa normaalia vähemmän ja ne ovat epämuodostuneita. Ilmaraon kohdalla on päällysketossa selvä aukko: ilmaraon sivusoluista puuttuvat suojaavat sarvimuodostumat (ei ulompaa ilmalokeroa), huulisolut ovat normaalia pienempiä ja varsinainen ilmalokero (hengitysentelo) on suurentunut. Juuren kärjessä juuren huntu (kalyptra) on epänormaali ja vaikeasti tunnistettavissa. Päällysketto on epäselvä ja erittäin heikosti puutunut. Juuren kuoressa, likimain päällysketon ja lieriöketon (perisyklin) kohdalla, esiintyy epänormaali 1—3 solurivin puutuneiden solujen muodostama vaippa, joka laajenee sekavaksi solukasautumaksi juuren kärjessä, missä solut eivät säilytä normaalia samaan pisteeseen yhtyvien solurivien rakennetta. Kärkikasvusolukon paikalla on sekava solurykelmä, jossa ei primäärin solujen erilaistumista tapahdu. Juurenkärjen soluista puuttuvat myös tärkeisyväset kokonaan. Juuren keskusheriossa primäärinen puu on epäjärjestyksessä ja siihen ei muodostu selviä puukimppuja (Y-muotoisuutta). Sisäketto ja lieriöketto ovat vaikeasti erotettavissa. Sekundäärisessä pak-

suuskasvussa ei esiintynyt solukkomuutoksia.

Kotimaisista havupuulajeista tunnetaan boorin puutosoireita männyllä (Goslin 1959, HacsKaylo 1960, Haveraaen 1966, Veijalainen 1975, Braekke 1977, Albrektson ym. 1977, Kolari ym. 1977, Raitio ja Rantala 1977). Pääoireita ovat latvan, sen kärkiosan tai kärkisilmujen kuoleminen. Kääpiöversosilmuja ei latvakadon seurauksena tavallisesti muodostu tai niiden muodostuminen on hidasta, samoin kuin uusien sekundääristen latvakasvainten muodostuminen (Haveraaen 1966, Braekke 1977). Männyn taimilla neulaset voivat olla sinivihreitä, kärjestään kloroottisia, mutkaisia ja kiertyneitä (Goslin 1959, HacsKaylo 1960). Sisärakenneoireet ovat samankaltaisia kuin *Thuja plicatalla* ja *Pinus radiatalla* havaitut (Kolari ym. 1977, Raitio ja Rantala 1977).

Boorin puutteesta kärsivät havupuut ovat pääasiassa taimistovaiheen 2—15-vuotiaita — tavallisesti alle 10-vuotiaita — puita. Puutosoireista huolimatta boorin puute voi määntyä istutustaimistoissa jäädä vaille tarkempaa huomiota australialaisten ja uusia seelantilaisten havaintojen mukaan (Stone ja Will 1965, Snowdon 1972, 1973).

Vaikka pahoja puutosoireita osoittavat pensasmaiset puut onkin helppo havaita, niiden osuus on tavallisesti hyvin pieni. Puutosoirepuut esiintyvät usein laikuttain ja puutteen lievetessä oireet tulevat vaikeammin havaittaviksi. Lisäksi pahoja puutosoireita osoittaneissa puuyksilöissä oireet saattavat myöhemmin olla satunnaisia tai vaihtelevia. (Stone ja Will 1965, Snowdon 1972.) Mikäli puut karsitaan, voi aikainen krooninen puutevaihe jäädä rungoista huomaamatta. Lisäksi harvennuksessa tavallisesti poistetaan pahoin vaurioituneet puut. Em. toimenpiteiden tuloksena jäävät boorin puutteen esiintymistä osoittamaan vain puiden hieman tavallista runsaampi kaksilatvaisuus, latvojen mutkaisuus sekä muut runkovaurioit, jotka lisäksi voivat sekoittaa muiden tekijöiden aiheuttamiin vaurioihin. (Snowdon 1972, 1973.) Esimerkiksi kuivuuden aiheuttaman latvakadon erottaminen boorin puutteen aiheuttamasta, johtosolukkovaurioita seuranneesta vesi-

stressistä tulisi varmistaa kemiallisen neulasanalyysin avulla (Snowdon 1973).

Kaikki puuyksilöt eivät ole puutteelle yhtä alttiita, ja joukossa saattaakin olla vain vähäisiä puutosoireita osoittavia tai aivan oireettomia puita (Stone ja Will 1965, Snowdon 1972, 1973). Syynä tähän voivat olla maaperän paikalliset vaihtelut, kuten eroosio, seisovavetisyys, kuivuus, kivisyys, mutta myös perinnöllinen vaihtelu (Snowdon 1972, 1973). *Pinus radiatan* kloonistiutuskokeissa ovat esim. eräiden kloonien kaikki yksilöt osoittaneet booripuutosoireita istutusalueen muiden kloonien ollessa suhteellisen oireettomia (Windsor ym. 1970, Windsor ja Kelly 1972, Snowdon 1972, Waring 1973). Tomaatilla esimerkiksi tunnetaan geneettisistä eroista riippuva alttius boorin puutteelle, joka aiheutuu yhdestä resessiivisestä geenistä (Wall ja Andrus 1962, Brown ja Jones 1971, Brown ja Ambler 1973). Homotsygoottisena tämä geeni aiheuttaa tomaateille kyvyttömyyden kuljettaa booria juurista lehtiin.

Myös eri puulajien välillä on havaittu eroja alttiudessa boorin puutteelle (Vail ym. 1961, Savory 1962, Appleton ja Slow 1966, van Goor 1966, Lambert ja Turner 1977) sekä eroja neulasten booripitoisuuksissa (Lambert ja Turner 1977). Esimerkiksi alueella jossa *Pinus radiata* on osoittanut boorin puutosoireita, *P. contorta* ja *P. ponderosa* ovat kasvaneet ilman näkyviä puutosoireita (Appleton ja Slow 1966). *Pinus kesiyalla* ainoana puutosoireena on havaittu latvakasvaimen mutkaisuus, kun taas *P. caribaea* (var. *hondurensis*) ja *P. elliottii* ovat tämän oireen lisäksi kärsineet latvakadoista (van Goor 1966). Neulasanalyysistä taas tiedetään, että Douglas-kuusella (*Pseudotsuga menziesii*) ja *Pinus ponderosalla* neulasten booripitoisuudet ovat tavallisesti suurempia ja *P. patulalla* ja *Pinus taedalla* pienempiä kuin *P. radiatalla*. Määntylajien sisäinen ja välinen geneettinen vaihtelu tulisikin ottaa huomioon booriköyhiä maaperiä metsitettäessä (Appleton ja Slow 1966, Lambert ja Turner 1977).

Lehtipuut

Lehtipuista boorin puutosoireita tunnetaan parhaiten hedelmäpuilla (esim. Ja-

m a l a i n e n 1968). Metsäpuista (liite 2) niitä tunnetaan lähinnä ulkomaisista puulajeista. Puutosoireita (liite 3) on havaittu sekä taimistoissa että ravinneliuoskokeissa.

Boorin puute ilmenee lehtipuillakin latvakasvainten (ja sivukasvainten), niiden kärkien sekä kärkisilmun kuolemisenä. Vaurioituneen kasvaimen nivelvälit ovat selvästi lyhentyneet. Kasvaimen kuoren sisäosa (jälisi- ja nila-alue) on kokonaan tai osaksi ruskettunut. Kuoressa voi esiintyä halkeamia, samoin kuin lehtiruodeissa. Sekundäärinen korjautuminen tapahtuu hankasilmuista muodostuvien kasvainten avulla, jotka pahassa puutteessa tavallisesti myös vaurioituvat.

Nuoret lehdet tai lehdykät ovat kasvainten kärjissä eri tavoin epämuodostuneita: aaltomaisia, rakkulapintaisia, poimuttuneita, taaksepäin taipuneita tai jäävät kehittymättä. Vaurioituneen kasvaimenosan alapuolella muodostuneet lehdet tai lehdykät voivat olla kokonaan tai laikuittain kloroottisia tai punertavia (purppuranpunaisia, punaruskeita). Mikäli värinmuutoksia ei esiinny (esim.

kasvainten tyviosissa) lehdet ovat usein tummanvihreitä. Kasvainten vaurioitumisen edetessä alaspäin lehdet varisevat saaden latvan (latvuksen) näyttämään raippamaiselta.

Juurissa on ravinneliuoskokeissa todettu oireina koon pienenemistä sekä kärkien tummumista ja turpoamista.

Muita vähemmän havaittuja puutosoireita ovat kasvainten mutkistuminen, lehtilapojen toispuolinen kasvu, suontenvälinen kloroosi tai nekroosi ja nestein täyttämät ontelot lehtiruodeissa sekä lehdissä.

Kotimaisista lehtipuulajeistamme on rauduskoivulla havaittu astiakoikeessa boorin puutosoireita (Ingestad ja Jacobson 1962). Rauduskoivulla on lehtilapojen kasvu häiriintynyt kasvainten kärjissä, siten että lehden yhteyttävän perussolukon (mesofyllin) epätasaisen kasvun tuloksena lehden pinta muuttuu rakkulamaiseksi. Lehdet ovat yleensä tummanvihreitä, mutta vanhemmissa lehdissä esiintyy paikoin suuria kloroositaik nekroosilaikkuja. Juuristossa sivujuuret kehittyvät heikosti ja jäävät lyhyiksi.

3. KUPARIN PUUTE

31. Kuparin puutteen esiintyminen

Metsäpuista on kuparinpuutehavaintoja melko runsaasti. Metsänistutustaimistoissa tunnetaan havupuiden kuparinpuutetapauksia Hollannista (van Goor ja Henkens 1966, Oldenkamp ja Smilde 1966a, b, van Goor 1968), Länsi-Ranskasta (Bonneau 1971, Strullu 1973, 1976), Etelä-Australiasta (Ruiter 1969, Raupach ym. 1972, 1978) sekä Uudesta-Seelannista (Will ym. 1971, Will 1972, New Zealand Forest Research Institute 1974). Pohjoismaista on kuparin puutteen mahdollisuus männyllä tuotu esille Suomessa (Huikari 1974, Raitio ja Rantala 1977) ja Norjassa (Braekke 1977). Lehtipuista on taimisto- ja taimitarhahavaintoja eri poppelilajeista ja hopeapajusta Hollannissa (van der Meiden 1962, 1964).

Metsäpuiden kuparinpuutealueet ovat maaperältään kalkkipitoisia ja emäksisiä jo-

ko huuhtoutuneita tai pitkälle rapautuneita hiekkamaita (Rademacher 1940, van der Meiden 1962, 1964, Oldenkamp ja Smilde 1966a, b, van Goor ja Henkens 1966, van Goor 1968, Ruiter 1969, Will 1972) tai happamia turvemaita (Penningsfeld 1964, New Zealand Forest Research Institute 1974, Knight P.J. 1975 a).

Metsänistutustaimisto- ja taimitarhahavainnot viittaavat siihen, että luontaisesti tai lannoituksen kautta kohonneet maaperän typpi- tai fosforipitoisuudet aiheuttavat kuparin puutetta (Benzian ja Warren 1965, van der Meiden 1964, Benzian 1965, van Goor ja Henkens 1966, Oldenkamp ja Smilde 1966 a, b, van Goor 1968, Ruiter 1969, Will 1972, Smilde 1973).

32. Kuparin puutosoireet

Kuparin puutosoireet ovat yleensä vähem-

män spesifisiä kuin muiden hivenravinteiden puutosoireet ja kuparin puute ei aina välttämättä näy selvinä oireina (R e u t h e r ja L a b a n a u s k a s 1966). Puuvartisilla kasveilla tavallisimpia kuparin puutosoireita ovat eriaisteiset häiriöt latva- ja sivukasvaimissa, joita usein seuraa lehti- tai neulaskato, toisinaan kasvainkato.

Havupuut

Havupuilla (liite 2) kuparin puutosoireita tunnetaan taimisto-, taimitarha- sekä astia- ja ravinneliuoskoehavaintojen perusteella kasvaimista ja neulasista (liite 3). Yleisiä oireita ovat latva- ja sivukasvainten voimakas mutkistuminen ja alaspäin taipuminen (riippuvat kasvaimet). Pitkän kuivajakson jälkeen tai talven aikana latvakasvaimet voivat kuolla. Puu voi pensastua. Mutkaisten kasvainten neulasten kärjet kuivuvat ja rusketuvat ("palavat"; engl. needle tip-burn), jolloin raja neulasen ruskettuneen ja vihreän osan välillä on hyvin selvä. Juurten puutosoireista ei havaintoja ole tiedossa.

Muita ilmoitettuja neulasoireita ovat; neulasten kärkikloroosi (edeltäen kärjen "palamista"), eriasteinen sinipunainen tai sinivihreä väri, kiertyminen, alaspäin taipuminen, lyhentymisen, yhteenliittymisen (männyt) ja variseminen kärjestä alkaen.

Douglas-kuusella on tutkittu kuparin puutteesta kärsivien puiden taipuneiden kasvainten anatomiaa (S t r u l l u 1976). Taipuminen aiheuttaa vuosilustojen epäsymmetristä kehitystä, mistä tuloksena on lyllykaltaisen havupuille tyypillisen reaktiopuun syntyminen. Tuki- ja johtosolukossa (putkisolut) ilmenee liikakasvua. Putkisolut ovat pyörityneitä, epäjärjestyksessä, paksuseinäisiä ja soluvälien erottamia ja niissä esiintyy epämuodostumia. Puun ydinsäteet ovat laajentuneita ja mutkaisia, ja tylpyssä esiintyy liikakasvua. Tuki- ja johtosolukon solut ovat S-muotoon vääntyneitä. Putkisolujen huokokset ovat pieniä ja osa huokosaukoista on täysin tukkeutunut.

Kotimaisen kuusen (R a d e m a c h e r 1940, H a v e r a a e n 1964, P e n n i n g s f e l d 1964) ja männyn (R a d e m a c h e r 1940) 2—3-vuotiailla taimilla on astiakokeissa rahkaturvealustalla havaittu seuraavia kuparin puutosoireita: Kuusilla taimien kasvu on heikentynyt. Latva- ja sivukasvaimet ovat alaspäin taipuneita ja riippu-

via sekä toisinaan kärjestään kuolleita. Kärjestään taipuneet neulaset kiertyvät kasvaimen kärjen ympäri ja ne ovat väriltään kalpean vihreitä tai kellastuneita. Neulasten kloroosi muuttuu myöhemmin nekroosiksi. Myös punaruskeita neulasia voi esiintyä. Männyillä taimien kasvu on myös heikentynyt. Näillä neulaset ovat vaalean vihreitä ja niiden väri muuttuu kasvukauden lopulla punaruskeaksi. Myöhemmin neulaset varisevat.

Taimistoissa ja metsiköissä taas kuparin puutosoireita on havaittu vain kotimaisella kuusella (v a n G o o r ja H e n k e n s 1966, v a n G o o r 1968). Kuusella vuosikasvaimet ja oksat ovat mutkaisia ja usein riippuvia. Uudet neulaset ovat normaaleja, mutta kasvukauden lopulla ne usein kellastuvat ja varisevat talven aikana.

Havupuilla kuparin puutosoireita on esiintynyt pääasiassa taimistojen 2—10-vuotiaissa puissa. Taimistoissa on puulajin yksilöiden (R a d e m a c h e r 1940, v a n G o o r 1968) ja puulajien välillä (v a n G o o r 1968, S t r u l l u 1973, 1976) havaittu eroja alttiudessa kuparin puutteelle. Douglas-kuusi ja lehtikuusi ovat herkempiä puutteelle kuin muut kuusilajit. Mäntylajeista tunnetaan taimistoissa puutetapauksia vain *Pinus radiatalla* (R u i t e r 1969, W i l l y m. 1971, R a u p a c h y m. 1972, W i l l 1972, N e w Z e a l a n d F o r e s t R e s e a r c h I n s t i t u t e 1974). Eroihin oirealttiudessa v a n G o o r (1968) pitää syynä puulajien erilaisista kuparin tarvetta ja hän katsoo mäntylajien olevan paremmin sopeutuneita heikentyneeseen kupariravitsemukseen.

Lehtipuut

Kuparin puutosoireita on lehtipuilla (liite 2) todettu taimistoissa, taimitarhoissa sekä astia- ja ravinneliuoskokeissa. Puutosoireet (liite 3) näkyvät selvimmin kasvainten ylimmissä lehdissä, joiden kärjet rusketuvat tai mustuvat. Nekroosi laajenee lehden latoja myöten, ja reunojen pingoittumisen seurauksena lehden laidat kääntyvät kuppimaisesti ylöspäin. Laikuttaista kloroosia esiintyy. Kasvainten pituuskasvun heiketessä ja niiden kuollessa hankasilmuista muodostuu uusia haaroja, joista kuitenkin osa kuolee kasvukauden lopulla tai talvella.

Harvinaisempia oireita ovat kasvainten ylinten lehtien pientynyt koko, suontenvä-

linen kloroosi ja ennenaikainen variseminen sekä alempien lehtien kellanruskea laikkuisuus. Juuristo-oireista tunnetaan astiakokeesta juurten tummuminen ja paksuntuminen.

Maassamme luonnonvaraisena kasvavista lehtipuista ei tunneta kuparinpuutetapauksia. Koristepuina meillä kasvatettavista lajeista tunnetaan puutosoireita hopeapajulla (van der Meiden 1964) ja poppeleilla (Ben zian 1957, 1965, van der Meiden 1962, K annenberg 1963, H a c s k a y l o ja V i m m e r s t e d t 1967).

Astiakokeissa ei rauduskoivulla kuparin puutosoireita ole havaittu (R a d e m a c h e r

1940, P e n n i n g s f e l d 1964), vaikka viljakasvit ovat samalla rahkaturvelustalla kärsineet selviä kuparin puutosoireita (R a d e m a c h e r 1940).

Myös lehtipuulajien välillä näyttää olevan eroja kupariravitsemuksessa. Astiakokeiden perusteella katsotaankin, että esim. metsävaahteran, puna- ja erityisesti valkopyökin kuparintarve olisi suurempi kuin tervalepällä, tammella ja rauduskoivulla (P e n n i n g s f e l d 1964). Rauduskoivun sopeutumisen kupariköyhiin maihin antaakin R a d e m a c h e r i n (1940) mukaan aiheen olettaa, että väärin tai liiallisena annettu kuparilannoitus voi paremminkin johtaa kuparimyrkytyksiin kuin puutteen poistumiseen.

4. MANGAANIN PUUTE

41. Mangaanin puutteen esiintyminen

Mangaaninpuutetapauksia tunnetaan metsäpuilla vähän. Havupuilla puutetapauksia on havaittu taimistoista kotimaisella kuusella Ruotsissa (I n g e s t a d 1958) ja Etelä-Saksassa (Z e c h 1970a, K r e u t z e r 1972) ja *Pinus radiatalla* sekä *P. elliotti*lla Etelä-Afrikassa (L a n g e 1969). Lehtipuista tunnetaan taimistotapaus rauduskoivulla Ruotsissa (I n g e s t a d 1958).

Mangaanin puutetta esiintyy lähinnä kuitavukseltaan huonoilla, neutraaleilla tai emäksisillä ja kalkkipitoisilla hiekka- (L a n g e 1969, Z e c h 1970a, K r e u t z e r 1972) ja turvemaiilla (I n g e s t a d 1958). Mangaanin puute on myös mahdollinen riskitekijä kuivan ilmastonalan verhoille ja suojametsityksille, missä muutokset pintamaassa ovat nopeita tai missä metsää on istutettu eroosion vaivaamille kalkkikivialueille. Näillä alueilla mangaanin puute voi kuitenkin helposti sekoittua raudan puutteen. (S t o n e 1968.)

Monien metsämaiden maaperien on kuitenkin havaittu olevan mangaanirikkaita, minkä vuoksi mahdolliset mangaanin myrkyvaikutukset ovat saaneet enemmän huomiota osakseen kuin sen puute (S t o n e 1968). Lauhkean ilmastovyöhykkeen metsäpuilla lehtien tai neulasten mangaanipitoi-

suudet ovatkin suhteellisen suuria (T a m m 1956, S t o n e 1968). Eräiden lajien normaalit pitoisuudet jopa ylittävät monille puutarhapuille ilmoitetut myrkyllisyysrajat. Havupuiden neulasten mangaanipitoisuudet ovat myös toisinaan olleet suurempia kuin niiden magnesiumpitoisuudet (S t o n e 1968).

42. Mangaanin puutosoireet

Mangaanin puutosoireet näkyvät metsäpuilla neulasissa tai lehdissä ja oireet ovat samankaltaisia kuin hedelmäpuilla (esim. L a b a n a u s k a s 1966, J a m a l a i n e n 1968). Pääoireena on neulasten tai lehtien kloroosi, joka tosin muistuttaa magnesiumin tai raudan puutteen aiheuttamaa kloroosia (G r u p p e ja S e i t z 1962, C a i n ja S h e a r 1964, S t o n e 1968).

Havupuut

Havupuilla (liite 2) mangaaninpuutetapauksia tunnetaan suurista metsäpuista ja luonnontaimista, istutustaimistoista, taimitarhoista sekä ravinneliuoskokeista. Yleisin mangaanin puutosoire (liite 3) on nuorimpien vuosikasvainten neulasten kloroosi.

Pinus radiatalla ja *P. elliotti*lla neulasten kloroosi voimistuu neulasten vanhetessa ja vanhemmat (2—3-vuotiaat) neulaset muut-

tuvat suureksi osaksi nekroottisiksi. Nämä neulaset kuolevat ja varisevat, jolloin vain ylimpiin kasvaimiin jää jäykkää ja lyhentyneitä neulasia. Edellä mainitut oireet ovat esiintyneet puutealueilla epäsäännöllisesti ja tavallisesti laikuttain ja *Pinus elliotti*lla oireet ovat *P. radiata*a lievempiä. (L a n g e 1969.)

Kotimaisella kuusella vuosikasvainten neulaset ovat mangaanin puutteessa heti kasvukauden alussa kloroottisia. Kloroosi heikkenee neulasten vanhetessa ja ne tulevat jälleen vihreiksi (I n g e s t a d 1958, K r e u t z e r 1972). Saman alueen 35-vuotiaissa männyissä ei I n g e s t a d (1958) havainnut selviä puutosoireita, joskin myöhäissyksyllä neulaset olivat satunnaisesti kalpean vihreitä tai kellertäviä.

Eräiden Etelä-Saksassa havaittujen kuusien (*Picea abies*) mangaanin puutosoireet poikkeavat edellämmainituista siinä, että vain alimpien oksien rungonläheisten vuosikasvainten neulaset ovat keltaisen vihreitä tai voimakkaan kloroottisia latvuksen neulasten ollessa normaalin vihreitä (Z e c h 1970a, taulukko 4). Neulasanalyysitulosten perusteella Z e c h kuitenkin esittää, ettei näissä tapauksissa itse puu kärsisi mangaanin puutteesta (koska latvuksen neulaset ovat normaaleja), vaan vain puun alimpien oksien neulaset.

Mangaanin puutteen pääoire — neulasten kloroosi — on yleensä vaikeasti erotettavissa havupuilla muiden ravinteiden, kuten raudan (S t o n e 1968, Z e c h 1970a, b) ja magnesiumin (G r u p p e ja S e i t z 1962) aiheuttamasta kloroosista. Puutteen tunnistamisessa tulisikin näissä kloroosita-

pauksissa käyttää hyväksi neulasten ravinnepuutosanalyysiä.

Lehtipuut

Lehtipuista (liite 2) tunnetaan puutosoirehavaintoja metsiköistä, taimitarhoista sekä astia- ja ravinneliuoskokeista. Tavallisin puutosoire (liite 3) on lehtien reunoista alkava kloroosi, joka laajenee pääsuonten välissä sisäänpäin. Lehden keski- ja pääsuoniin rajoittuvat alueet sekä suonten yhtymäkohdat pysyvät vihreinä ja erottuvat lehdessä selvinä leveinä vihreinä nauhoina.

Metsävaahteralla (G r u p p e ja S e i t z 1962) ja rauduskoivulla (I n g e s t a d 1958, I n g e s t a d ja J a c o b s o n 1962) puutteelle tyypillinen kloroosi näkyy vain vanhoissa lehdissä. Rauduskoivulla lehtilavan tyviosa on vähiten kloroottinen. Nuoret lehdet pysyvät molemmilla puulajeilla vihreinä.

Myös lehtipuilla mangaanin puutosoireet voivat sekoittua raudan ja magnesiumin puutosoireisiin. Mangaanin puutteen aiheuttama kloroosi on kuitenkin lehtipuilla erotettavissa C a i n i n ja S h e a r i n (1964) mukaan raudan puutteesta: Ohuimmat lehtisuonet eivät lehden kloroottisissa kohdissa pysy vihreinä. Keskisuonta ja suuria suonina ympäröivät vihreät leveät nauhat pysyvät vihreinä myös pahasti kloroottisissa lehdissä. Kasvaimissa puutosoireet tulevat esiin vasta lehtien ollessa täysin muodostuneita ja ne näkyvät melkein kaikissa lehdissä. Kasvainten ylimmät lehdet kellastuvat vasta pituuskasvun päätyttyä.

5. MOLYBDEENIN PUUTE

51. Molybdeenin puutteen esiintyminen

Puilla molybdeenin puute on vähän tunnettu, eikä metsissä kasvavista lajeista puutetapauksia ole tiedossa.

Kasvien alhaisia molybdeenipitoisuuksia tai molybdeenilannoituksella aikaansaatuja kasvunlisäyksiä on havaittu happamilla hiekka-, podsoli- ja turvemaidella sekä hyvin rautapitoisilla maaperillä (W a l k e r 1948,

B e c k i n g 1961, M c K a y ym. 1966). On esitetty, että hyvin happamien maiden ongelmana ei niinkään olisi molybdeenin puute, vaan mangaanin ja molybdeenin tai alumiinin ja molybdeenin välinen negatiivinen vuorovaikutus (antagonismi) (C h e n g ja O u e l l e t t e 1973).

Lisääntyvät havainnot viljelykasvien molybdeenin puutteesta happamilla maaperillä antavat S t o n e n (1968) mukaan aiheutta-

olettaa, ettei molybdeenin riittämättömyys olisi vain tiettyjen maaperien ongelma, min-
kä takia molybdeenin puutteen mahdolli-
suus tulisi ottaa huomioon siellä, missä
esim. leppää istutetaan happamille maape-
rille.

Vaikka metsissä kasvavien puiden molyb-
deenipuutetapauksia ei tunneta, ei molyb-
deenin merkitystä Stonen (1968) mu-
kaan tule aliarvioida, koska sillä on osalli-
suutta metsien typpitaloudessa. Molybde-
enin tiedetäänkin olevan tärkeä hivenravinne:
ilmakehän tyypeä sitoville maaperäbaktee-
reille ja sinileville (Bortels 1930, 1940),
kasveille nitraattitypen hyväksikäytössä
(esim. Beevers ja Hageman 1969)
ja typensitobakteenien muodostamia juuri-
nystyröitä omaaville lajeille ilmakehän ty-
pen sidonnassa (esim. Hardy ja Knight
1968, Burris 1969). On myöskin havain-
toja siitä, että havupuuistutuksilla, joilla
kasvaa juurinysträllisiä puuvartisia kasveja,
taimet ovat hyötäneet maaperän parantu-
neesta typpitaloudesta (Tarrant 1969,
Wollum ja Youngberg 1964). Stone (1968)
katsookin tärkeäksi tutkia lepän molybde-
enipitoisuuksia aina, kun ha-
vaitaan heikon typpitalanteen takia vähenty-
nyttä biomassan tuottoa.

Molybdeenin ja kasvien typpitalouden vä-
linen yhteys näkyy myös ilmoitetuissa mo-
lybdeenipuutetapauksissa, sillä nämä oi-
reet ovat olleet astiakokeessa tervalepällä
(Becking 1961) ja istutetuilla valkokuu-
silla; *Picea glauca* (Lafamme ja Lafond
1967) typen puutosoireiden kaltaisia.
Tervalepän tapauksessa katsotaan, että run-
sas molybdeenin tarve johtuu etupäässä te-
hokkaasta tyypeä sitovasta järjestelmästä ei-
kä niinkään isäntäsolukosta. Valkokuusi-
istutuksilla puut ovat kärsineet typen puu-
teesta ammonium-nitratityppi (NH_4NO_3)
-lannoituksesta huolimatta, mutta molyb-
deenilisäyksen jälkeen kasvu parani. Laf-
ammen ja Lafondin (1967) mu-
kaan tulisikin ammonium-nitratilannoit-
uksen yhteydessä antaa myös molybdeeniä,
joka mahdollistaisi typpilannoitten parem-
man hyväksikäytön. Tätä tukevat myös hei-

dän ravinneliuoskokeensa mustakuusella
(*Picea mariana*) ja Amerikan punamännnyllä
(*Pinus resinosa*), joilla molybdeenin puu-
teessa kasautui neulasiin nitraattityppeä.

52. Molybdeenin puutosoireet

Puiden molybdeenipuutetapauksia tun-
netaan hedelmäpuista sitruunapuulla (Jo-
nes ja Smith 1964, Childers
1966, Johnson 1966). Metsäpuilla (vain
astia- ja ravinneliuoskokeista tunnetut) puu-
tosoireet ovat epäspezifisiä ja ne muistutta-
vat juurinysträllisillä lehtipuilla usein ty-
pen puutosoireita.

Havupuut

Ravinneliuoskokeissa on *Pinus radiata*lla
(Smith M. E. 1943), kotimaisella ja Stro-
bus-männnyllä (Hacskaylo 1960) ha-
vaittu molybdeenin puutteessa (liitteet 2 ja
3) neulasten olevan normaalia pitempiä, klo-
roottisia tai sinertävän vihreitä. Lyhytjuur-
ten kärjet ovat olleet mykoritsamaisen läpi-
kuultavia, normaaleja lyhyempiä ja paksum-
pia.

Lehtipuut

Lehtipuista tunnetaan tervalepällä astia-
kokeessa turpeella (Becking 1961) sekä
valeakaasiilla (*Robinia pseudoacacia*) ja
ambrapuulla (*Liquidambar styraciflua*) ra-
vinneliuoskokeessa (Hacskaylo 1960)
molybdeenin puutosoireina (liitteet 2 ja 3)
lehtien kalvakuus ja lehden reunojen rus-
kettuminen. Tervalepällä on myös havaittu,
että kasvainten kuivapaino, lehtien typpi-
toisuus (%) ja kokonaistypen sidonta sekä
lehtien, varsien ja juurinyströiden molyb-
deenipitoisuudet ovat vertailukasveja (+Mo)
pienemmät. Juurinyströitä voi olla runsaas-
ti, mutta ne ovat kooltaan vertailukasvien
juurinyströitä pienempiä. Valeakaasiilla si-
tä vastoin juurinyströiden lukumäärä on
vähentynyt ja ne ovat kooltaan suurentunei-
tä.

6. RAUDAN PUUTE

61. Raudan puutteen esiintyminen

Raudan puute on metsäpuilla laajalti ja hyvin tunnettu. Puutehavaintoja on ilmoitettu eri mänty- ja kuusilajeista metsikoistä Etelä-Saksassa (Schönhar 1958, Zech 1970 a, b) sekä taimitarhoista Pohjois-Amerikassa (Korstian ym. 1921, Knight H.A.W. 1958, Shoulders ja Czabator 1965). Lehtipuista on runsaasti havaintoja Pohjois-Amerikasta (esim. Worley ym. 1941, Childers 1959, Hacskaylo ja Struthers 1959, Schoenweiss 1973).

Raudan puute on yleistä emäksisillä ja kalkkipitoisilla hiekka-, podsoli-, gley-, savi- ja turvemaidilla (Korstian ym. 1921, Stone 1968, Zech 1970 a, b, Schoenweiss 1973).

Alueilla, joilla esiintyy sekä kuiva- että sadekausia, raudan puute näkyy usein vain kuivien kausien aikana (Wallihan 1966). Sadekausien aikana oireet saattavat säännöllisesti vähetä, mihin syynä pidetään kasveille käyttökelpoisen raudan parempaa saatavuutta maaperän kosteista orgaanisista pintakerroksista (Stone 1968). Myös kosteiden sääolojen, huonon kuivatuksen tai seisovavetisyyden on ilmoitettu pahentavan raudan puutosoireita (Wallihan 1966, Zech 1970 b). Syynä tähän on pidetty kosteassa kalkkipitoisessa maassa tapahtuvaa kalsiumkarbonaatin (CaCO_3) dissosioitumista vetykarbonaatiksi (HCO_3), jolloin maaperän pH kohoaa (Zech 1970 b).

Kalkitus ja kalkkipitoisen kompostin li säys (Müntz 1944), kalkkipitoinen kasteluvesi ja hiekka (Benzian 1965) tai maaperän runsas kalkkipitoisuus (Zech 1970 a, b) kohottavat maaperän pH:ta, mikä voi aiheuttaa ns. kalkkikloroosia. pH:n kohotessa nimittäin kasveille käyttökelpoinen rauta (ferromuoto, Fe^{2+}) hapettuu vaikealiukoiseksi raudaksi (ferrimuodoksi Fe^{3+}), jolloin kasvien raudanotto maaperästä vaikeutuu (Granic 1958).

Kliman (1937) on astiakokeessa havainnut ferriraudan (FeCl_3) olevan kasveille vaikeasti saatavissa ammoniumsulfaatti ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ja monokalsiumfosfaatti ($\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$) -liuoksista tai turveutteisista. Syynä tähän Kliman (1937) pitää rautakompleksien muodostumista sulfaatti-

ja fosforiradikaalien tai turveutteen orgaanisten happojen välillä: Turveute sisältää osan raudasta ferrimuodossa ja osan anionikompleksina. Kasveille käyttökelpoiseksi raudaksi nämä tulevat vasta, kun mikro-organismit ovat pelkistäneet ferriraudan tai muuttaneet anionikompleksin ferromuotoon. Orgaaninen aines voi siis aiheuttaa ajoittaista raudanpuutekloroosia, mikäli sen hajoamisen tuloksena muodostuvat anionit reagoivat raudan kanssa.

Maaperän suuri liukoisen kalsiumin pitoisuus voi myös vähentää raudan käyttökelpoisuutta maaperästä ja ehkäistä yksin tai yhdessä suuren fosforipitoisuuden kanssa raudan toimintaa kasvilla (McGeorge 1949, Miller ym. 1960). Vastaava ilmiö on tunnettu myös fosforilannoituksen yhteydessä (Watanabe ym. 1965), esim. happamalla männyn kylvöalustoilla (Shoulders ja Czabator 1965).

62. Raudan puutosoireet

Raudan puute näkyy puilla selvänä kloroosina, ns. kalkkikloroosina (Hacskaylo ja Struthers 1959, Stone 1968, Zech 1970 a, b, Schoenweiss 1973), mutta oireet muistuttavat myös magnesiumin (Gruppe ja Seitz 1962, Cain ja Shear 1964) ja mangaanin (Cain ja Shear 1964) puutosoireita sekä voivat sekoittua samanaikaiseen mangaanin puutteeseen (Zech 1970 a).

Havupuut

Raudan puutosoireita on havaittu havupuilla (liite 2) lähes kaikissa kehitysvaiheissa astiakoetaimista tukkipuuasteelle. Puutosoireena (liite 3) on tavallisimmin vuosikasvainten neulasten tasainen kloroosi kasvukauden alussa, harvemmin sen lopussa. Vanhemmat neulaset pysyvät vihreinä tai ovat harmaanvihreitä.

Kotimaisella männyllä ja kuusella ns. kalkkikloroosia esiintyy Zechin (1970 a, b) mukaan kahta tyyppiä. Toisessa nuorten (3—4-vuotiaiden) istutustaimien vuosikasvainten neulaset ovat heti kasvukauden alussa tasaisen kloroottisia (valkeahkon keltaisia), kun taas vanhemmat neulaset ovat vihreitä tai harmahtavan vihreitä. Pituuskasvu

on heikentynyt ja männyllä silmut voivat vuotaa pihkaa. Pahassa puutteessa vuosikasvainten kloroottiset neulaset muuttuvat nekroottisiksi ja kuolevat kasvaimen kärjestä alkaen. Tällöin myös puu voi kuolla, aina kuitenkin latvasta alkaen.

Toista tyyppiä esiintyy riuku- ja tukkivaikkeen puilla, varsinkin kuusella männyn ollessa vähemmän altis. Näillä vuosikasvainten neulaset kellastuvat vasta kesällä tai syksyllä vanhempien neulasten pysyessä vihreinä tai vihreälaikkuisina. Kloroosi alkaa vuosikasvaimissa latvuksen alapuolelta laajeten ylöspäin, mutta itse latvaosa pysyy enemmän tai vähemmän vihreänä. Vastaavasti yksittäisissä oksissa rungonläheiset vuosikasvaimet ovat kloroottisempia kuin vuosikasvaimet oksien kärjissä. Pahassa puutteessa puun kuoleminen alkaa latvuksen alaosasta. Ensin mainittuun kloroosityyppiin Z e c h (1970 a, b) pitää syynä raudan absoluuttista l. kokonaisraudan puutetta ja jälkimmäiseen raudan suhteellista l. aktiivisen raudan puutetta. Osassa kummankin tyypin kuusia havaittiin neulasanalyysien perusteella lisäksi hyvin alhaisia mangaanipitoisuuksia. Kalkkikloroosin syinä näissä tapauksissa Z e c h (1970 a) pitää sekä raudan että mangaanin puutetta.

Havupuilla raudanpuutekloroosi näkyy lähes koko vuoden poiketen tässä magnesiumin puutteesta, jossa puut ovat keskikesällä vihreitä (S t o n e 1968).

Saman suvun sisällä voi alttius raudan puutteelle vaihdella (esim. *Pinus nigra* ja *P. luchuensis* vs. *P. banksiana* ja *P. resinosa*, samoin kuin saman lajin eri yksilöiden välillä (S t o n e 1968).

Lehtipuut

Lehtipuilla raudan puutosoireet (liitteet 2 ja 3) näkyvät S t o n e n (1968) kokoamien tietojen mukaan nuorissa lehdissä, joissa

suontenväliset osat muuttuvat kloroottisiksi (vaalean vihreästä kirkkkaan keltaiseksi) keskisuonen ja muiden suonten (ohuimmat suonet mukaanlukien) pysyessä vihreinä. Tällöin suonet muodostavat lehteen tarkkarajaisen vihreän suoniverkoston, joka erottuu selvästi kellastuneesta lehdestä. Ohuet lehtisuonet menettävät vihreän värinsä vasta kun näihin rajoittuvat solukot ovat menettäneet kaiken lehtivihreänsä. Nämä kokonaan kloroottiset solukot kuolevat hitaasti, ja tällöin tavallisesti kloroottiset lehdet varisevat enenaikaisesti. Puutteen jatkuessa useita vuosia myös oksat kuolevat. Lajeilla, joilla on reunanmyötäisiä lehtisuonia, kuten eukalyptukset, muodostuu lehtireunojen sisäpuolelle nekroosilaikkuja.

Raudan puute voi näkyä lehdissä voimakkuudeltaan eri asteisena, kuitenkin voimakkaimpana nuorissa lehdissä. Asteittain pahenevat oireet näkyvät oksissa nimenomaan lehtien muodostumisjärjestyksessä, eikä yksittäisessä lehdessä tapahtuvana kehityksenä. Tämän takia vihreät lehdet tavallisesti pysyvät vihreinä, kun sitä vastoin nuoret kehittävät lehdet, jotka saattavat kasvaa nopeammin kuin niihin kulkeutuu rautaa, tulevat kloroottisiksi. Myös puun eri oksissa puute voi näkyä eriasteisena. (W a l l i h a n 1966.)

Raudan puutteen ilmetessä yhtäaikaan muiden ravinteiden (esim. mangaanin) puutteen kanssa oireiden tulkinta vaikeutuu. Raudan puute on W a l l i h a n i n (1966) mukaan erotettavissa (ainakin hedelmäpuilla) lehtien vihreiden suonten ja niihin rajoittuvien vähemmän vihreiden tai kellastuneiden solukoiden selvärajaisuuden perusteella. Mangaanin puutteen aiheuttamassa kloroosissa taas lehden vihreä väri kellastuu pääsuonten välisissä osissa vähittäin suonista pois päin, siten että lehtisuoniin rajoittuvat solukot suonineen näkyvät vihreinä nauhoina.

7. SINKIN PUUTE

71. Sinkin puutteen esiintyminen

Metsäpuista sinkinpuutetapauksia tunnetaan toistaiseksi vain männyillä. Nämä ta-

paukset ovat istutustaimistoista Etelä- ja Länsi-Australiassa (K e s s e l ja S t o a t e 1936, 1938, H e a r m a n 1938, S t o a t e 1950) ja taimitarhasta Uudessa-Seelannissa

(Knight P.J. 1975b). Pohjoismaista on mahdollisia sinkinpuutetapauksia havaittu Suomessa (Raitio ja Rantala 1977).

Sinkinpuutealueiden maaperät ovat happamia ja huuhtoutuneita (Kessel ja Stoate 1936, 1938, Hearman 1938, Stoate 1950) tai fosforirikkaita (Thorne 1957) hiekkamaita tai happamia turvemaita (Knight P.J. 1975b).

Sinkin puute on yleistä alueilla, missä valon voimakkuus on suuri, ja puutosoireiden on havaittu olevan voimakkaampia puun aurinkoisella puolella (Viets 1966).

Voimakkaan fosforilannoituksen tiedetään aiheuttavan viljelykasveille sinkin puutosoireita. Tämä fosforin ja sinkin välinen negatiivinen vuorovaikutus (antagonismi) toimii ilmeisesti joko juurten pinnalla tai kasvin solukoissa, mutta varsinaisia syysuhteita tai itse mekanismia ei juuri tunneta (Millikan 1963, Watanabe ym. 1965, Stuckenholz ym. 1966, Brown ja Brown 1968, Olsen 1972).

72. Sinkin puutosoireet

Metsäpuista sinkin puutosoireita tunnetaan vain männyillä (liite 2). Muista metsäpuista ei puutosoirehavaintoja ole tiedossa, vaikka sinkin puute on yleistä sekä viljakasveilla että puutarha- ja hedelmäpuilla.

Puuvartisille kasveille on sinkin puutteen ominaista nuorten lehtien tai neulasten kloroosi tai pronssinvärisyys, varsinkin oksien kärjissä. Kasvainten kärkien lyhentyneissä nivelvälissä lehdet tai neulaset ovat kääpiömäisiä tai ne muodostavat lehtiruusukkeita. Vanhemmat lehdet varisevat latvaja sivukasvaimista. Usein kasvaimet myös kuolevat.

Havupuut

Männyillä sinkin puutosoireita (liite 3) tunnetaan taimisto- ja taimitarhahavaintojen lisäksi astia- ja ravinneliuoskokeista. Männyille tyypillisiä oireita ovat vuosikasvainten (niiden nivelvälisen) ja neulasten huomattava lyheneminen, neulasten yleinen kloroosi (kellastuminen) ja variseminen lukuunottamatta uusimpia tai vuoden vanhoja neulasia sekä kasvainten kuoleminen.

Pinus radiata-taimistoissa on sinkin puutteen voitu havaita eri oireyhtymätyyppejä puiden iästä ja kasvualustasta riippuen

(Stoate 1950):

— Ns. ruusuke-tyypissä ovat taimien uudet sivukasvaimet kloroottisine neulasineen erittäin lyhyitä ja terävässä kulmassa runkoon nähden. Neulasten jyrkkä lyheneminen kasvupisteen alapuolella muodostaa kasvaimen kärkeen neulasruusukkeen. Usein vain kasvukauden lopulla muodostuvat neulaset jäävät oksiin jäljelle, jolloin latvakasvaimen ja sivukasvainten kärkisilmujen ympärille muodostuu neulastupsuja. Ääritapauksissa sivukasvaimet kuolevat jo kasvukauden alussa, jolloin vain latvakasvaimissa näkyy neulastupsu. Kasvaimen jäljelle jääneet kuolleet neulaset ovat punaruskeita. Tätä oireyhtymätyyppeä on esiintynyt vastaperusteissa istutustaimistoissa ensimmäisen kasvukauden jälkeen ja tavallisesti oireet pahenevat seuraavina vuosina.

— Ns. latvakato-tyypissä taimien pituuskasvu on alusta alkaen heikkoa. Neulaset ovat lyhyitä ja heikosti kloroottisia. Myöhemmin (tavallisesti 4—8 vuotta istutuksen jälkeen) neulaset kellastuvat ja latvakasvaimet sekä ylimmät oksat kuolevat. Puu saattaa korvata menetetyn latvan ja se jatkaa tällöin kasvua tavallisesti yksilatvaisena. Myös vanhemmissa puissa on havaittu latvakatoja. Näillä on oksissa jäljellä vain 1—2 neulasvuosikertaa. Neulaset ovat lyhyitä ja kloroottisia ja niiden kärjet ovat keltaisia tai ruskeita. Ylimmät oksat ovat lisäksi lyhyitä ja niiden neulasisto on harvaa.

— Kolmannessa tyypissä esiintyy myös latvakatoja, mutta niissä useat oksat ja niiden haarat ovat kloroottisine neulasineen hyvin pystyjä: puu näyttää pensasmaiselta ja tasalatuksiselta (luutamaiselta, engl. broombush). Osa pystyistä oksista voi kuolla kärjestään, josta myös neulaset varisevat, mutta muualla oksassa neulaset pysyvät elossa.

Stoaten (1950) mukaan ruusuke-tyypin kasvuhäiriö olisi nuorten istutustaimien akuutti häiriömuoto, kun taas latvakato-tyypit olisivat huonoravinteisten maiden taimien vanhempia häiriöasteita. Stoate katsookin, että nämä häiriötyypit liittyvät toisiinsa ja että ne saattavat olla puiden iästä ja kasvualustan muutoksista riippuvia puutteen eri ilmenemismuotoja.

Lehtipuut

Luonnonvaraisista lehtipuista ei puutosoirehavaintoja toistaiseksi ole tiedossa. Puu-

tarha- ja hedelmäpuilla (Thorne 1957, Cain ja Shear 1964, Chapman 1966, Jamalainen 1968) ovat ensimmäisiä puutosoireita lehtisuonten välisten osien laikuttainen kloroosi tai pronssinvärisyys. Nämä oireet voivat esiintyä toisinaan vain osassa oksia tai lehtiä. Laikuttainen kloroosi ja variseminen alkaa usein nuorista lehdistä ja etenee kasvaimessa ylöspäin, jolloin varret jäävät paljaiksi. Lehdet ovat kasvainten kärjissä pienikokoisia, kapeita, jäyk-

kiä, kasvaimeen nähden terävässä kulmassa ja tiheinä lehtiruusuksineen. Pahassa puutteessa vuosikasvaimet kuolevat kokonaan. Korvaavien kasvainten lehdet ovat ainakin aluksi normaaleja.

Sitruunapuulla on lisäksi sinkin puutteessa havaittu lehtien ilmarakojen lukumäärän olevan normaalia suurempi, mutta monet näistä ilmaraoista ovat epämuodostuneita ja toimintakyvyttömiä (Schütte 1964).

8. MÄNNYN KASVUHÄIRIÖILMIÖ

Jo 1950-luvulta alkaen on maassamme havaittu ojitettujen ja lannoitettujen turvemaiden sekä entisten viljeltyjen suopeltojen männyn taimistoissa kasvuhäiriöilmiö, jonka syyksi on epäilty ja esitetty hivenravinteiden (varsinkin boorin) puutetta (Huikari 1974, 1977a, b, Veijalainen 1975, 1978, Kosonen ja Silfverberg 1976, Paavilainen 1976, 1977, 1978, Kasvuhäiriöprojekti 1977, 1979, Kolari ym. 1977, Raitio 1977, Raitio ja Rantala 1977, Huikari ja Reinikainen 1978, Kaunisto 1978, Pietiläinen 1978, Reinikainen ja Silfverberg 1979, Silfverberg 1979). Kyseessä ei ole mikään tunnettu pääravinteiden puutosoire, sien- tai hyönteistuhohu. Samantyyppisiä kasvuhäiriöitä on tavattu myös koivulla ja kuusella (Veijalainen 1975, Huikari 1977, Huikari ja Reinikainen 1978). Kuva 1.

8.1. Kasvuhäiriön oireet

Männnyllä kasvuhäiriö ilmenee latvakasvaimen ja ylimpien oksien (sivukasvainten) häiriönä ja kuolemisena. Sivukasvaimissa oireet kuitenkin näkyvät yleensä paljon lievemminä.

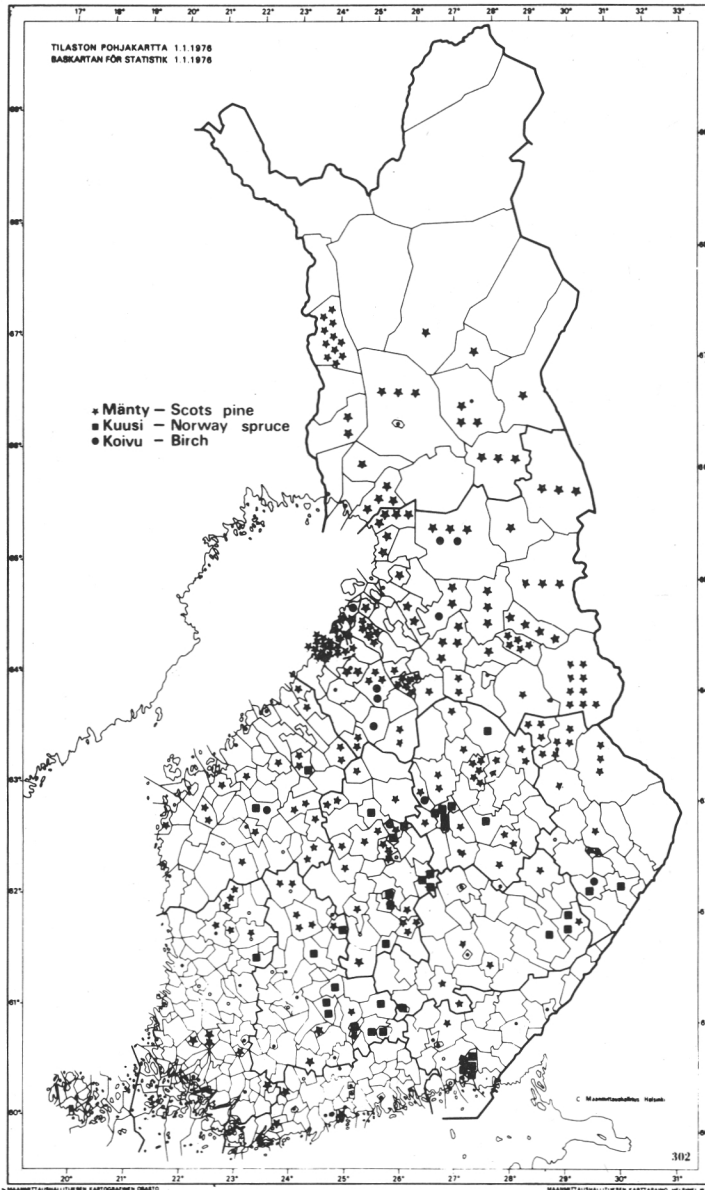
Kasvukauden alussa ensimmäiset oireet näkyvät silmuissa. Ne ovat heikosti kehittyneitä, pienikokoisia, mutkaisia ja vinoja. Mikäli päätesilmun kehitys on häiriintynyt, se jää viereisiä sivusilmuja lyhyemmäksi ja menettää usein apikaalivaikutuksensa. Päätesilmu tai myös kaikki latvakasvaimen silmut voivat jäädä kokonaan kehittymättä tai jopa kuolla. Vastaavia oireita on esiintynyt myös kasvukauden lopulla muodostuneissa

silmuissa. Näissä on lisäksi voinut esiintyä runsasta pihkavuotoa. (Veijalainen 1975, Raitio 1977, Silfverberg 1979).

Kasvukauden kuluessa latvakasvaimet jäävät usein sivukasvaimia lyhyemmiksi tai kuolevat kärjestään. Latvakasvaimen ylemmässä puoliskossa voi esiintyä kasvainta ympäröivä, neulaseton ja kiinnijääneiden silmusuomujen peittämä 1—5 cm leveä vyöhyke, jossa kasvaimen kuori on korkkiutunut ja halkeillut. Latvakasvaimet voivat myös olla mutkaisia. Muita vähemmän havaittuja latvakasvainten oireita ovat tupsumuodostumat ja sykeröt, paksuntuminen (kurkkumaisuus), litistyminen, haaroittuminen sekä kääpiöversojen puhkeaminen kasvaimen kärjen alapuolelle. (Veijalainen 1975, Raitio 1977, Raitio ja Rantala 1977, Silfverberg 1979).

Kasvuhäiriömäntyjen neulasen oireet ovat vuosikasvaimissa (etenkin latvakasvainten kärjissä) eri tavoin epämuodostuneita. Neulasen oireet ovat heikosti kehittyneitä, lyhyitä tai pituudeltaan vaihtelevia, paksuntuneita, mutkaisia ja kierteisiä. Neulasen oireet ovat tavallisesti tummanvihreitä, mutta osassa neulasia esiintyy usein kloroottisia tai nekroottisia vöitä. Neulasten on myös ennen latvakasvaimen kärjen kuolemista havaittu asteittain lyhenevän kasvaimen kärkeä kohti, mikä saa latvakasvaimen näyttämään kapean kartiomaiselta (rotanhäntämaiseltä). Neulasten ruskettumisen ja varisemisen kasvainten kärjissä on havaittu alkavan vasta kasvaimen kärjen kuoltua. (Veijalainen 1975, Raitio ja Rantala 1977, Silfverberg 1979).

Kasvuhäiriöpuiden ulkoasuoireiden lisäk-



Kuva 1. Latvakadon alueellinen levinneisyys. Havaintopisteet on merkitty puulajeittain ja kunnittain (Veijalainen 1978)
 Figure 1. Geographical distribution of dieback. Observations are marked by tree species and by localities (Veijalainen 1978).

si tunnetaan myös silmujen, kasvainten, neulasten ja juurten sisärakennevaurioita. Latvakasvaimissa näitä oireita ovat kärkikasvusolukon ja ytimen ruskettuminen sekä ytimen onteloituminen. Ytimessä ruskettuminen näkyy tavallisesti laikkuina, mutta myös koko ydin voi olla ruskettunut. Onte-

loita ympäröivät solut ovat turvonneita (hypertrofisia) ja ohutseinäisiä. Vastaavia oireita on havaittu myös silmuissa. (Raitio 1977, Raitio ja Rantala 1977, Silverberg 1979).

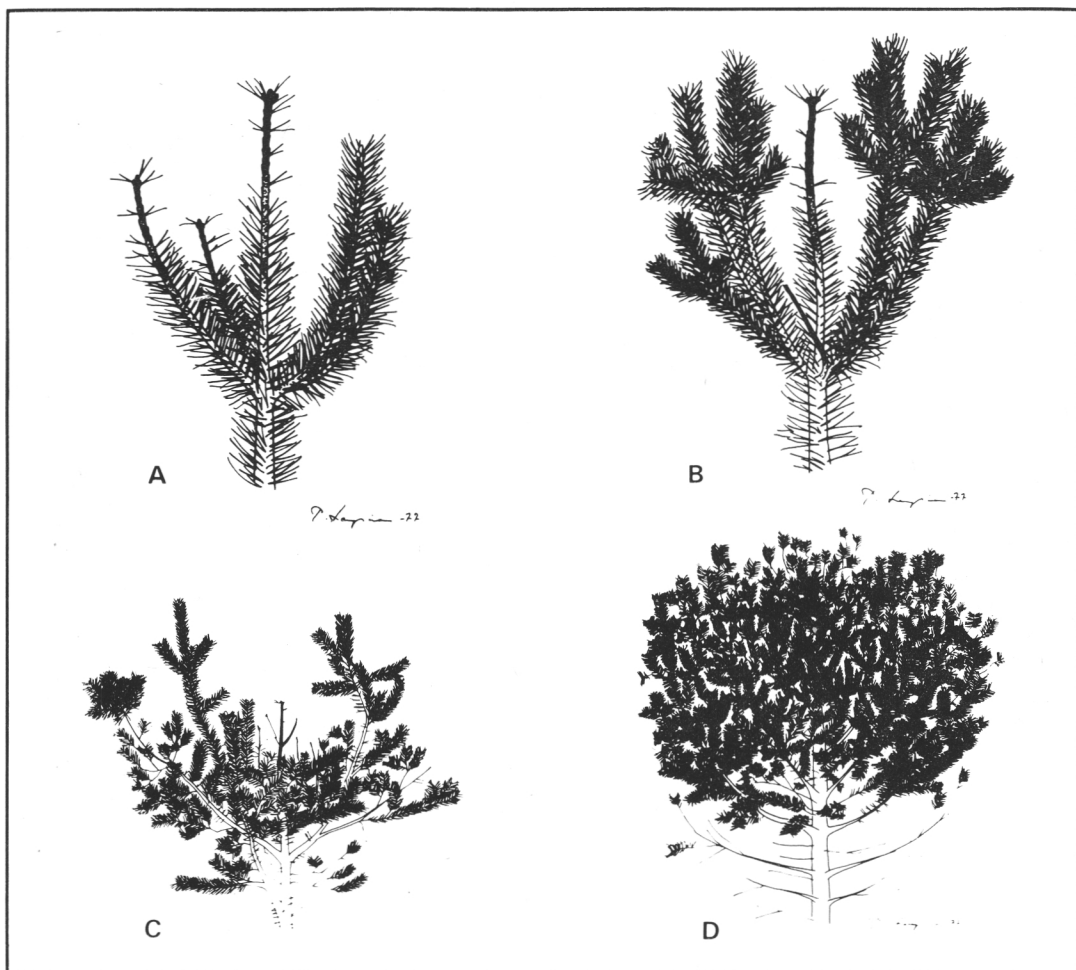
Neulasissa häiriöt näkyvät johtojänteitä ympäröivässä transfuusiosolukossa. Tämä

solukko on onteloitunut ja sen tukisolujen (sklerenkyimin) määrä on pienentynyt. Onteloita ympäröivät solut ovat tavallisesti turvonneita ja ohutseinäisiä. Lisäksi on neulasten tukisolujen seinien sekundäärinen paksuskasvu ja puutuminen heikentynyt. (Kolari ym. 1977, Raitio 1977, Raitio ja Rantala 1977.)

Juurissa primäärinen nilan solut ovat ohutseinäisiä ja turvonneita. Juuren keskusherio on onteloitunut ja primäärinen puu (protoksyleemi) on heikosti puutunut. (Kolari ym. 1977.)

Kasvuhäiriöiden seurauksena koko latva-

kasvain tavallisesti kuolee. Latvakadon myötä puu menettää latvahallitsevuutensa ja pahimmassa tapauksessa koko latvuksensa. Kasvuhäiriöstä korjaantuminen tapahtuu yhden tai useamman ylimmän oksakiehkuran sivukasvaimen l. ohituskasvaimen avulla, jolloin lievässä tapauksessa puusta tulee 1—3-latvainen. Pahassa kasvuhäiriötilassa puusta muodostuu usein toistuvien latvakatojen ja korjausyritysten seurauksena pensasmainen ja puu kuolee. (Veijalainen 1975, Silfverberg 1979.) Kuva 2.



Kuva 2. Kasvuhäiriön kehitys männyllä: A) latvakato, B) kaksi vuotta vanha kasvuhäiriö, ei selvää latvakasvainta, C) viisi vuotta vanha kasvuhäiriö, myös aikaisempia latvakatoja, D) vanha elpynyt kasvuhäiriöpuu, tasalatuksinen. (Kasvuhäiriöprojekti 1977.) Kuvat piirtänyt taideopisk. Päivi Lempinen.

Figure 2. Development of typical growth disorder in Scots pine: A) dieback, B) two-year old disorder, no dominant leader, C) five-year old disorder, former diebacks present, D) old tree, which has earlier suffered from disorder, flat topped crown. (Kasvuhäiriöprojekti 1977.) Figures drawn by Ms. Päivi Lempinen.

Taulukko 1. Hivenravinteiden puutosoireita osoittaneiden mäntyjen neulasissa havaitut boori-, kupari-, mangaani-, rauta- ja sinkkipitoisuudet ja niiden puuterajat sekä turvemaiden kasvuhäiriöisten ja -häiriöttömien alueiden mäntyjen neulasten vastaavat hivenravinnepitoisuudet.

Table 1. Reported foliar B, Cu, Mn, Fe and Zn concentrations of pines suffering from micro-nutrient deficiencies, their deficiency levels and corresponding micro-nutrient foliar values in Scots pines growing on peatland drainage areas with and without diebacks.

Neulasten hivenravinnepitoisuudet, ppm kuivapainosta Needle micro-nutrient concentrations, ppm of dry weight																
Hivenravinne Micro-nutrient	Puutosoire-mänyyt Pines showing deficiency symptoms		Puuteraja mäännellyillä Critical deficiency level in pines	Ojitettujen ja lannoitettujen turvemaiden männiköt Scots pine stands on drained and fertilized peat lands.										Häiriöttömät alueet Areas without disorders		
	Pinus spp. ¹⁾	Pinus sylvestris		Kasvuhäiriöalueet ⁴⁾ Areas with diebacks										5 aluetta ⁵⁾ areas		6) 4 aluetta areas
				Kivisuo		Alkkia				Vieremä				O	NPK	
				1976	1976	1976	1977	1976	1977	1976	1977	T	S			
T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	O	NPK			
B	1—13,1	1—4,2 ²⁾	< 7—10	4,3	3,0	4,5	4,1	3,9	4,5	6,4	4,5	5,5	4,5	12,2	5,1	9,6
Cu	1—1,9	—	< 2—2,5	4,3	3,7	5,2	5,1	3,8	4,5	4,8	4,0	2,4	3,3	3,6	3,2	—
Mn	0,4—12,5	—	< 10—20	160	165	229	372	304	401	298	383	515	591	400	291	328
Fe	—	10—40 ³⁾	< 20—40	—	—	—	—	250	260	—	—	105	110	72	66	64,1
Zn	1—5	—	< 6—10	46,8	41,8	58,0	53,0	56,0	53,0	52,1	36,9	50,0	42,0	150	125	141,0

Selitys — Explanation:

T = terveennäköiset puut — healthy looking trees

S = kasvuhäiriöpuut — trees with disorders

O = lannoittamaton — unfertilized

NPK = NPK-lannoitus — NPK-fertilization

1) lähteet, ks. liite 2 — see appendix 2 for references

2) Albrektson et al. (1977), Braekke (1977)

3) Ingestad (1960)

4) Reinikainen & Silfverberg (1979)

5) Veijalainen (1977)

6) Paarlahti et al. (1971)

Kasvuhäiriöpuut ovat ulkomuodoltaan pitkäoksaisia ja niiden neulasmassa, samoin kuin paksuuskasvu on runsasta (Veijalainen 1975). Puun biomassaa- ja tuotostajakauma on vääristynyt: runko on paksu ja lyhyt, ja puussa on oksa- ja neulasmassaa runkopuuhun nähden runsaasti (Reinikainen ja Silfverberg 1979).

Kasvuhäiriöalueilla on pahoja kasvuhäiriöoireita osoittavien puiden joukossa tavattu yleensä myös terveitä tai terveennäköisiä (ks. Raitio ja Rantala 1977) puuyksilöitä. Kasvuhäiriö esiintyykin monin paikoin laikuittain, esim. turvemaiden märimissä kohdissa: rimpikuvioissa tai painanteissa (Paavilainen 1977, Pietiläinen 1978, Veijalainen 1978).

Kuivien alkukesien ja hellekausien (Kosonen ja Silfverberg 1976) tai maan pitkään routimisen (Silfverberg 1979) katsotaan olevan yhteydessä latvakatojen ilmaantumiseen. Lisäksi pääravinnelannoitukset (N, P, ja K) jatkolannoituksineen näyttävät lisäävän kasvuhäiriöriskiä (Huikari 1974, Veijalainen 1975, Paavilainen 1976, 1977, 1978, Kaunisto 1978, Pietiläinen 1978).

82. Kasvuhäiriö ja hivenravinteiden puute

Kasvuhäiriön syytä pohdittaessa on päädytty hypoteesiin hivenravinteiden puutteesta. Tätä tukevat esim. seuraavat havainnot: (1) Happamien turvemaiden — varsinkin rahkaturpeiden — luontaiset boori- ja kuparipitoisuudet ovat hyvin alhaisia (Gilbert 1952, Tainio 1953, Kurki 1962, 1969, 1972, Sillanpää 1962, 1972, Reuther ja Labanauskas 1966, Ryan ym. 1967). (2) Männyillä ja kuusella on happamilla turvealustoilla havaittu boorin (Haveraaen 1966, Huikari 1974, Veijalainen 1975, Braekke 1977) ja kuparin (Haveraaen 1964, Knight P.J. 1975a) puutosoireita. (3) Runsaan tai yksipuolisen typin-, fosfori- ja kalilannoituksen tai kalkituksen katsotaan aiheuttavan boorin (Schütte 1959, Appleton ja Slow 1966, Haveraaen 1966, van Goor 1966), kuparin (Benzian ja Warren 1956, van der Meiden 1962, 1964, Haveraaen 1964, Benzian 1965, van Goor ja Henkens 1966, Oldenkamp ja Smilde 1966a, b, Ruiten 1969, 1972, Lear ja Smith

1972, S m i l d e 1973) ja sinkin (L e a r ja S m i t h 1972) puutetta.

Oireyhtymänä kasvuhäiriö muistuttaa eniten tunnettuja boorinpuutosoireita (V e i j a l a i n e n 1975, K o l a r i ym. 1977, R a i t i o ja R a n t a l a 1977); vähemmän kuparin tai sinkin puutosoireita. Yhtäläisyyttä eri mäntylajien boorin puutosoireisiin osoittavat useat ulkoasu- ja sisärakenneoireet: latvakasvaimen, sen kärjen ja kärkisilmun häiriöt ja kuoleminen, neulasten ja juurten oireet sekä korjautumistapahtuma uusiutuvine latvakatoineen.

Vaikka kuparin ja sinkin puutteessa männyillä esiintyykin latvakatoja, niin oireet, kuten riippuvat kasvaimet ja oksat, neulasten selvärajainen kärkinekroosi (kuparin puute) sekä neulasten yleinen kloroosi, 1—2 vuotta vanhempien neulasten variseminen (sinkin puute) poikkeavat kasvuhäiriössä tavatusta yleisestä oireyhtymästä. Muiden hivenravinteiden puutosoireet (-oireyhtymät) poikkeavat vielä selvemmin kasvuhäiriöstä.

Kasvuhäiriöpuiden oireiden perusteella tulkittuna näyttää männyn kasvuhäiriön syynä olevan boorin puute. Myös kasvuhäiriömäntyjen neulasanalyysit viittaavat tähän suuntaan (H u i k a r i 1974, R a i t i o ja R a n t a l a 1977, R e i n i k a i n e n ja S i l f v e r b e r g 1979).

H u i k a r i n (1974) mukaan ojitetun ja fosforilannoituksen saaneen suursararämeen kasvuhäiriömäntyjen neulasten booripitoisuudet ovat olleet niinkin alhaisia kuin 2—2,5 ppm alittaen selvästi männynllä tunnetun puuterajan, kun taas kupari- (3,5—4,5 ppm) ja mangaani- (180—240 ppm) pitoisuudet ovat ylittäneet tunnetut puuterajat (vrt. taulukko 1).

Kolmen tunnetun kasvuhäiriöalueen — Leivonmäen Kivisuon, Karvian Alkkian ja Vieremän Holopansuon — kasvuhäiriömäntyjen neulasanalyysituloksista (R e i n i k a i n e n ja S i l f v e r b e r g 1979, taulukko 2) vain neulasten booripitoisuudet alittavat katsauksen lähteiden männynllä ilmoittamat hivenravinteiden puuterajat (taulukko 1). Myös turvemaiden männiköiden (P a a r l a h t i ym. 1971, liite 1, V e i j a l a i n e n 1977, taulukko 2) neulasten hivenravinnepitoisuuksiin verrattuna (taulukko 1) ovat näiden kasvuhäiriöpuiden booripitoisuudet erittäin alhaisia. Kasvuhäiriöpuiden sinkkipitoisuudet ovat myös alhaisia, mutta toisaalta ne eivät alita tunnettuja

puuterajoja. Kuparipitoisuudet vastaavat jokseenkin turvemaiilla havaittuja pitoisuuksia, samoin kuin mangaanipitoisuudet. Rautapitoisuudet taas ovat suurempia kuin turvemaiden männynllä yleensä havaitut pitoisuudet. NPK-lannoituksen saaneiden mäntyjen neulasten alentuneiden hivenravinnepitoisuuksien (taulukko 1) voidaan katsoa olevan seurausta ojitusta ja lannoitusta seuranneen voimakkaan kasvun aiheuttamasta ns. ohentumisilmästä tai ravinteiden antagonistisista vaikutuksista (S m i t h , P.F. 1962, W e h r m a n n 1963, T a m m 1964, O l s e n 1972, V e i j a l a i n e n 1977), joiden tiedetään myös johtavan hivenravinteiden puutteeseen (O l s e n 1972, S m i l d e 1973).

V e i j a l a i n e n (1977) ja R e i n i k a i n e n ja S i l f v e r b e r g i n (1979) neulasanalyysitulosten perusteella näyttääkin siltä, että kasvuhäiriöalueiden terveennäköisten ja NPK-lannoitettujen puiden booripitoisuudet ovat lähellä sitä kriittistä pitoisuustasoa, jossa kotimainen mänty — perintö-, ilmasto- ja maaperätekijöistä riippuen — alkaa osoittaa näkyviä boorin puutosoireita. Tähän viittaavat myös Ruotsissa (A l b r e k t s o n ym. 1977) ja Norjassa (B r a e k k e 1977) tehdyt boorin puutosoirehavainnot männynllä, joissa latvakatoisten puiden neulasten booripitoisuudet olivat 1—4,2 ppm ja vertailupuiden 5,6—11,6 ppm. Edellä esitettyjen kotimaisten ja pohjoismaisten tutkimusten neulasanalyysitulosten perusteella saattaisi kotimaisella männynllä tämä kriittinen boorinpuutetaso olla 4—5 ppm:n välillä.

Kysymykseen, onko boorin puute ainoana syynä kasvuhäiriöön, ei nykyisten tietojen perusteella vielä voida antaa varmaa vastausta, sillä tiedot kotimaisen männyn — kuten myös muiden kotimaisten metsäpuiden — hivenravinnetaloudesta ovat vielä riittämättömiä ja tulkinnoissa on paljolti tyydyttävä ulkomaalaisten tutkijoiden useimmiten eri olosuhteissa tehtyihin tutkimuksiin. Tunnettuja puutosoireita sekä neulasanalyysijä voidaan ja tuleekin silti käyttää apuna kasvuhäiriön syytä tutkittaessa, mutta lopullisen vastauksen ilmeisesti antavat ravinnefysiologiset tutkimukset ja kenttäkokeet, kuten hivenravinne- ja tuhkalannoitukset, joilla jo on saatu lupaavia tuloksia (Kasvuhäiriöprojekti 1979).

KIRJALLISUUS

- ALBREKTSON, A., ARONSSON, A. & TAMM, C.O. 1977. The effect of forest fertilization on primary production and nutrient cycling in the forest ecosystem. *Silva Fenn.* 11(3):233—239.
- APPLETON, E.J. & SLOW, L.J. 1966. Nutritional disorders and fertilizer trials in *Pinus radiata* stands in Waimea County, Nelson. *N.Z.J. For.* 11:185—201.
- ASHBY, W.C. 1959. Limitation to growth of basswood from mineral nutrient deficiencies — *Bot. Gaz.* 121:22—28.
- BECKING, J.H. 1961. A requirement of molybdenum for the symbiotic nitrogen fixation in alder (*Alnus glutinosa*, Gaertn.) *Plant & Soil* 15:217—227.
- BEEVERS, L. & HAGEMAN, R.H. 1969. Nitrate reduction in higher plants. *Ann. Rev. Pl. Phys.* 20:495—522.
- BENZIAN, B. 1957. Copper deficiency in poplar. *For. Comm. Rep. For. Res.* 1957:98.
- 1965. Experiments on nutrition problems in forest nurseries. I. *For. Comm. Bull.* 37:1—251.
- & WARREN, R.G. 1956. Copper deficiency in Sitka spruce seedlings. *Nature* 1978:864—865.
- BERGMAN, W. & NEUBERT, P. 1976. Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. Zur Ermittlung von Ernährungsstörungen und des Ernährungszustandes der Kulturpflanzen. Jena. VEB Gustav Fischer Verlag, s. 91—210.
- BINGHAM, F.T. & GARBER, R.J. 1960. Solubility and availability of micronutrients in relation to phosphorus fertilization. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 24:209—213.
- , MARTIN, J.P. & CHASTAIN, J.A. 1958. Effects of phosphorus fertilization of California soils on minor element nutrition of Citrus. *Soil Sci.* 86:24—31.
- BLASER, W., MARR, C. & TAKAHASHI, D. 1967. Anatomy of boron deficient *Thuja plicata*. *Amer. J. Bot.* 54(9):1107—1113.
- BOAWN, L.C. & BROWN, J.C. 1968. Further evidence of P-Zn imbalance in plants. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 32:94—97.
- BONNEAU, M. 1971. Causes de la déformation des jeunes Douglas dans le Limousin. Summary: Causes of deformation of young Douglas Fir in Limousin. *Ann. Sci. For.* 28(3):341—353.
- BORTELS, H. 1930. Molybdän als Katalysator bei der biologischen Stickstoffbindung. *Arch. Mikrobiol.* 1:333—342.
- 1940. Über die Bedeutung des Molybdäns für stickstoffbindende Nostocaceen. *Arch. Mikrobiol.* 11:155—186.
- BRAEKKE, F.H. 1977. Fertilization for balanced mineral nutrition of forests on nutrient-poor peatland. Seloste: Turvemaiden tasapainoinen lannoitus. *Suo* 28(3):53—61.
- BRADFORD, G.R. 1966. Boron. In: Chapman, H.D. (Ed.). *Diagnostic criteria for plants and soils.* Univ. California. Div. Agr. Sci., p. 33—61.
- BROWN, J.C. & AMBLER, J.E. 1973. Genetic control of uptake and a role of boron in tomato. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 37:63—66.
- & JONES, W.E. 1971. Differential transport of boron in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Physiol. Plant.* 25:297—282.
- BURRIS, R.H. 1969. Progress in the biochemistry of nitrogen fixation. *Proc. Roy. Soc. B* 172:339—354.
- BUSSLER, W. 1974. Microscopical and microchemical characteristics of deficiency diseases. In: Wehrman, J. (Ed.). *Plant analysis and fertilizer problems.* Vol. 1. Proceedings of 7th Int. Coll. on plant analysis and fertilizer problems. Hannover., p. 83—92.
- CAIN, J.C. & SHEAR, C.B. 1964. Nutrient deficiencies in deciduous tree fruits and nuts. In: Sprague, H.B. (Ed.) *Hunger signs in crops.* New York. David McKay Co., p. 287—326.
- CHAPMAN, H.D. 1966. (Ed.) *Diagnostic criteria for plants and soils.* 719 p. Univ. California, Div. Agr. Sci.
- CHENG, B.T. & OUELLETTE, G.J. 1973. Molybdenum as a plant nutrient. *Soils & Fertil* 36(6):207—215.
- CHILDERS, N.F. 1959. Nutrient deficiency symptoms in U.S. orchards. In: Mineral nutrition of trees, Duke Univ. School of For. Bull. 15:43—54. (Ref. Stone 1968.)
- (Ed.). 1966. *Nutrition of fruit crops.* 888 p. New Brunswick, N.J. Hort. Pub. Rutgers Univ. (Ref. Stone 1968.)
- COOLING, E.N. 1970. Boron deficiency in *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. in the Peloponnesos, Greece. *Com. Coordination Mediterr. Forestry Res.*, 4th Ankara, Sept. 1970. (Ref. Boron in Agriculture 93: abstr. 34.)
- ELMER, J.L. & GOSNELL, J.M. 1963. The role of boron and rainfall on the incidence of wattle dieback in East Africa. *East. Afr. Agr. For. J.* 29:31—38. (Ref. Snowdon 1971.)
- EPSTEIN, E. 1972. *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives.* 412 p. New York. John Wiley and Sons. Inc.
- GAUCH, H.G. 1972. *Inorganic plant nutrition.* 488 p. Dowden, Hutchinson & Ross Inc.
- GILBERT, F.A. 1952. Copper in nutrition. *Avd. Agron.* 4:147—173.
- GOOR, C.P. van. 1966. A nutricao de alguns pinheiros tropicais. *Silvicultura em São Paulo* 4/5:313—340.
- 1968. Spurenelementen bei der Ernährung von Koniferen. *Tag. ber. Dt. Akad. Landwirt. Wiss. Berlin* 84:147—155.
- & HENKENS, Ch.H. 1966. Groeimsvormingen bij Douglas en Fijnspar en spurenelementen: Summary: Deformations with Douglas fir (*Pseudotsuga douglasii*) and Norway spruce (*Picea abies*) and trace elements. *Korte Meded. Bosbouwproefsta* 76:109—120.
- GOSLIN, W.E. 1959. Effects of deficiencies of essential elements on the development and mineral composition of seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)

- Ph. D. thesis. Dept. of Botany. The Ohio State University. (Ref. de Lanuza 1966 b.)
- GRANICK, S. 1958. Iron metabolism in animals and plants. In: Lamb et al. (Eds.) Trace elements. New York. Academic Press., p. 365—382.
- GRUPPE, W. & SEITZ, P. 1962. Untersuchungen über die Nährstoffversorgung von Baumschulgehölzen. I. Mangelerscheinungen in Gefässversuchen und in Baumschulen. Die Gartenbaumwissenschaft 27:247—268.
- HACSKAYLO, J. 1960. Deficiency symptoms in forest trees. Trans. 7th Intern. Cong. Soil Sci., Madison 3:395—405.
- HACSKAYLO, J. & STRUTHERS, P. 1959. Correction of lime induced chlorosis in pin oak. Ohio. Agr. Exp. Sta. Res. Circ. 71. (Ref. Stone 1968).
- & VIMMERSTEDT, J.P. 1967. Appearance and chemical composition of eastern cottonwood growing under nutrient deficiency conditions. Ohio Agr. Res. Dev. Center, Res. Bull. 1004.
- HALL, M.J. 1961. The establishment of pines on poor deep sands at Longford, Victoria. Appita 15:68—76.
- HARDY, R.W.F. & KNIGHT, E. Jr. 1968. Biochemistry and postulated mechanism of nitrogen fixation. In: Reinhold, L. & Liwshitz, Y. (Eds.) Progress in Phytochemistry. Vol. 1. London. Interscience Publ. John Wiley and Sons Inc., p. 407-489.
- HAVERAEN, O. 1964. Koppermangel hos gran. Summary: Copper deficiency on Norway spruce. Tidsskr. Skogbr. 72(3):289—300.
- 1966. Bor er også et noevendig mikronæringsstoff for gran og furu. Norsk Skogbr. 22:788.
- HEARMAN, J. 1938. Minor elements and the pine. Aust. For. 3:24—27.
- HEWITT, E.J. 1963. Essential nutrient elements for plants. In: Steward, F.C. (Ed.). Plant Physiology. Vol III. Inorganic plant nutrition. New York. Academic Press., p. 137—360.
- & SMITH, T.A. 1974. Plant mineral nutrition. 282 p. London. English Univ. Press.
- HUIKARI, O. 1974. Hivenaineet ja puiden kasvu. Metsä ja Puu 11/1974.
- 1977a. Metsien hivenravinnepuutteet. Metsäntutkimuslaitos. Pyhäkosken tutkimuskeskuksen tiedonantaja 16.
- 1977b. Micronutrient deficiencies cause growth disturbances in trees. Silva Fenn. 11(3):251—254.
- & REINIKAINEN, A. 1978. Growth-disturbances caused by exhaustion of micro-nutrients in well-growing stands on peat. Discussion paper presented at IUFRO Div. 1 meeting. Edinburgh, Sept. 3. 9. 1978. Duplicate, 9 pp.
- INGESTAD, T. 1958. Studies on manganese deficiency in a forest stand. Sammanfattning: Studier över manganbrist i ett skogsträdbestånd. Medd. Stat. Skogsf. Inst. 48(4):1—20.
- 1960. Studies on the nutrition of forest tree species. III. Mineral nutrition of pine. Physiol. Plant. 13:513—533.
- 1962. Macroelement nutrition of pine, spruce and birch seedlings in nutrient solutions. Sammanfattning: Inverkan av varierad makronäringsstillförsel på tall-, gran- och björkplantor i näringslösningar. Medd. Stat. Skogsf. Inst. 51(7):1—150.
- & JACOBSON, A. 1962. Boron and manganese nutrition of birch seedlings in nutrient solutions. Sammanfattning: Inverkan av varierad bor- och mangangiva på björkplantor i näringslösningar. Medd. Stat. Skogsf. Inst. 51(8):1—20.
- JAMALAINEN, E.A. 1968. Kasvien puutostaudit. 128 s. Kirjayhtymä. Helsinki.
- JOHNSON, C.M. 1966. Molybdenum. In: Chapman, H.D. (Ed.). Diagnostic criteria for plants and soils. Univ. Calif. Div. Agr. Sci., p. 286—302.
- JONES, W.W. & SMITH, P.F. 1964. Nutrient deficiencies in *Citrus*. In: Sprague, H.B. (Ed.). Hunger signs in crops. New York. David McKay Co., p. 359—414.
- KANNENBERG, H. 1963. Kann *Populus robusta* unter Kupfermangel im Boden leiden. Holzzucht 17(1/2):14.
- Kasvuhäiriöprojekti. 1977. Kasvuhäiriöprojektin tiedotustilaisuuden jakelumateriaali. Metsäntutkimuslaitos, suontutkimusosasto. Moniste. 25 s.
- 1979. Kasvuhäiriöprojektin sisäinen tiedotustilaisuus 28. 11. 1978. Yhteenvedo esitelmistä. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantaja 3/1979. Moniste 33 s.
- KATALYMOW, M.W. 1969. Mikronährstoffe — Mikronährstoffdüngung. 279 s. Berlin. Veb. Dtsch. Landwirt. Verlag.
- KAUNISTO, S. 1978. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus istutustaimien kehitykseen avosoilla. Välituloksia. Metsäntutkimuslaitos. Parkanon tutkimuskeskuksen tiedonantaja 7. 12 s.
- KESSEL, S.L. & STOATE, T.N. 1936. Plant nutrients and pine growth. Aust. For. 1(1):4—13.
- & STOATE, T.N. 1938. Pine nutrition. West Austr. For. Dept. Bull. 50. (Ref. Stoate 1950.)
- KLIMAN, S. 1937. The importance of ferrous iron in plants and soils. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 2:385—392.
- KNIGHT, H.A.W. 1958. Treatment of chlorotic Ponderosa pine seedlings. For. Res. Rev. Br. Columbia 1957/1958:34. (Ref. For. Abstr. 20:1927.)
- KNIGHT, P.J. 1975a. Copper deficiency in nursery-grown *Pinus radiata* seedlings. N.Z.J. For. Sci. 5(3):209—218.
- 1975b. Zinc deficiency in nursery-grown *Pinus radiata* seedlings. N.Z.J. For. Sci. 5(3):260—264.
- KOLARI, K., PAAVILAINEN, E. & RAITIO, H. 1977. Männyn juuristosuhteista Kivisuon kasvuhäiriöalueella. Summary: Pine root condition and growth disturbances. Folia For. (Inst. For. Fenn.) 313:1—16.
- KORSTIAN, C.F., HARTLEY, C., WATTS, L.F. & HAHN, G.G. 1921. A chlorosis of conifers corrected by spraying with ferrous sulphate. J. Agr. Res. 21:153—171.
- KOSONEN, R. & SILFVERBERG, K. 1976. Havaintoja eskimosis-ilmioistä männyllä Kivisuolla 1976. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantaja 8/1976. 15 s.
- KREUTZER, K. 1972. Die Wirkung des Manganmangels auf die Farbe, die Pigmente und den Gaswechsel von Fichtennadeln (*Picea abies* Karst.) Forstwiss. Cbl. 91(2):80—98.
- KURKI, M. 1962. Suoviljelysten hivenravinnetilanteesta viljavuustutkimusten perusteella. Summary: On the trace element nutrient condition in cultivated peatlands on the strenght of productivity investigations. Suo 13(6):79—82.
- 1969. Suoviljelysten viljavuustutkimuksista. Summary: Fertility studies of cultivated peatlands. Suo 20(2):29—33.
- 1972. Suomen peltojen viljavuudesta II. 182 s. Helsinki. Yhteiskirjapaino.

- LABANAUSKAS, C.K. 1966. Manganese. In: Chapman, H.D. (Ed.). Diagnostic criteria for plants and soils. Univ. California. Div. Agr. Sci., p. 264—285.
- LAFLAMME, Y. & LAFOND, A. 1967. (The influence of molybdenum on the development of some forest tree species.) 19 s. Fonds. Rech. For. Univ. Laval No. 12. (Ref. For. Abstr. 29:760.)
- LAMBERT, M.J. & TURNER, J. 1977. Dieback in high site quality *Pinus radiata* stands — the role of sulphur and boron deficiencies. N.Z.J. For. Sci. 7(3):333—348.
- LANGE, T. 1969. A manganese deficiency in *Pinus radiata* at Klein Gouna, Knysna. For. S. Afr. 10:47—61.
- LANUZA, J.M. de. 1966 a. Nutricion hidroponica con microelementos I. Manganese, boro y molibdeno en *Pinus radiata*. 399 p. Inst. For. Invest. Exp. Madrid.
- 1966 b. Boron deficiency and toxicity in *Pinus radiata* 16 p. Borax Consolidated Limited. Borax House, London.
- LEAR, D.H. van & SMITH, W.H. 1972. Relationships between macro- and micronutrient nutrition of Slash pine on three coastal plain soils. Plant & Soil 36:331—347.
- LEYTON, L. 1957. The diagnosis of mineral deficiencies in forest crops. 7 p. 7th British Commonw. For. Conf.
- LUCAS, R.E. & KNEZEK, B.D. 1972. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. In: Mortvedt, J.J. et al. (Eds.) 1972. Micronutrients in agriculture. Madison Soil Sci. Soc. Amer. Inc. USA., p. 265—288.
- LUDBROOK, W.V. 1940. Boron deficiency symptoms in pine seedlings in water culture. J. Comm. Sci. Ind. Res. (Aust.) 13:186—190. (Ref. de Lanuza 1966 b.)
- LUNDBLAD, K. 1946. Mikroelement och brist-sjukdomar hos odlade växter. Medd. Lantbruks-högsk. Jordbruksförsöksanst. 16:434—489.
- McGEORGE, W.T. 1949. A study of lime-induced chlorosis in Arizona orchards. Univ. Arizona Tech. Bull. 117. (Ref. Sillanpää 1972.)
- McKAY, D.C., CHIPMAN E.W. & GUPTA, U.C. 1966. Copper and molybdenum nutrition of crops grown on acid sphagnum peat soil. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 30:755—759.
- MEIDEN, H.A. van der. 1962. Koppergebrek bij populier. Summary: Copper deficiency with poplar. Ned. Bosb. Tijdschr. 34(1):29—33.
- 1964. Koppergebrek bij wilg. Summary: Copper deficiency with willow. Ned. Bosb. Tijdschr. 36(1):24—29.
- MILLER, G.W., BROWN, J.C. & HOLMES, R.S. 1960. Chlorosis in soybean as related to iron, phosphorus, bicarbonate and cytochrome oxidase activity. Plant physiol. 35:619—625.
- MILLIKAN, C.R. 1963. Effects of different levels of zinc and phosphorus on the growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). Aust. J. Agric. Res. 14(2):180—205.
- MOORE, C.W.E. & KERAITIS, K. 1966. Nutrition of *Grevillea robusta*. Aust. J. Bot. 14:151—163.
- MORTVEDT, J.J., GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. (Eds.) 1972. Micronutrients in agriculture. 666 p. Madison, Wisconsin USA. Soil Sci. Soc. Amer. Inc.
- MÜNTZ, H.H. 1944. Effects of compost and stand density upon longleaf and slash pine nursery stock. J. For. 42:114—118.
- New Zealand Forest Research Institute 1974. Copper deficiency in Radiata pine in Northland. What's new in forest research No. 14. Private Bag, Rotorua, 4 p.
- NICHOLAS, D.J.D. & EGAN, A.R. (Eds.) 1975. Trace elements in soil-plant-animal systems. 417 p. New York. Academic Press Inc.
- OLDENKAMP, L. & SMILDE, K.W. 1966 a. Koppergebrek bij douglas. Summary: Copper deficiency in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.) Franco. Ned. Bosb. Tijdschr. 38(5/6):203—214.
- 1966 b. Copper deficiency in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.). Plant & Soil 25(1):150—152.
- OLSEN, S.R. 1972. Micronutrient interactions. In: Mortvedt, J.J. et al. (Eds.) 1972. Micronutrients in agriculture. Madison, USA. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., p. 243—246.
- PAARLAHTI, K., REINIKAINEN, A. & VEIJALAINEN, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä. Commun. Inst. For. Fenn. 74(5):1—58.
- PAAVILAINEN, E. 1976. Typpilannoitus ohutturpeisilla piensararämeillä. Summary: Nitrogen fertilization on shallow-peated *Carex globularis* pine swamps. Folia For. (Inst. For. Fenn.) 272:1—16.
- 1977. Männyn istutus suopeltojen metsityksessä. Abstract: Planting of Scots pine in afforestation of abandoned swampy fields. Folia For. 326:1—27.
- 1978. PK-lannoitus Lapin ojitetuilla rämeillä — ennakotuloksia. Summary: PK-fertilization on drained pine swamps in Lapland — preliminary results. Folia For. (Inst. For. Fenn.) 343:1—17.
- PENNINGSFELD, F. 1964. Nährstoffmangelerscheinungen bei Baumschulgehölzen. Phosphorsäure 24(314):199—212.
- PIETILÄINEN, P. 1978. Kasvuhäiriöistä. Metsäntutkimuslaitos. Pyhäkosken tutkimusaseman tiedonantoja 17:43—50.
- PROCTER, J.E.A. 1965. Diseases of pines in the southern Highlands Province, Tanganyika. East. Afr. Agr. For. J. 31:203—209. (Ref. Stone 1968, Snowdon 1971.)
- 1967. A nutritional disorder of pine. Commonw. For. Rev. 46:145—154.
- RADEMACHER, B. 1940. Kupfermangelerscheinungen bei Forstgewächsen auf Heideböden. Mitt. Forstwirt. Forstwiss. (Hannover) 4:335—344.
- RAITIO, H. 1977. Tallarnas växtstörningar, markens näringsbalans och mikronäringsbrist. Silva Fennica 11(3):255—257.
- RAITIO, H. & RANTALA, E.-M. 1977. Männyn kasvuhäiriön makro- ja mikroskooppisia oireita. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Summary: Macroscopic and microscopic symptoms of a growth disturbance in Scots pine. Description and interpretation. Commun. Inst. For. Fenn. 91(1):1—32.
- RATHE, R. 1959. Rationelle Düngung in der Forstpflanzenanzucht. Der Forst- und Holzwirtschaft. (Ref. Reinikainen 1967.)
- RAUPACH, M., VRIES, M.P.C. de & RUITER, J.H. 1972. A disorder in radiata pine involving micronutrients. In: Boardman, R. (Ed.) Aust. Forest-Tree Nutr. Conf. Sept. 1971. Canberra, A.C.T. Forestry and Timber Bureau., p. 344—348.
- CLARKE, A.R.P. & CELLIER, K.M. 1978. Disorder symptoms of a forest of *Pinus radiata* in

- relation to foliar nutrient levels. Aust. For. Res. 8:1—11.
- REINIKAINEN, A. 1967. The appearance of nutrient deficiency in plants growing in the experimental area for forest fertilization at Kivisuo. Proc. Colloq. For. Fert. Jyväskylä Finland 1967. Berne Int. Potash Inst., p. 345—361.
- 1968. Ravinteiden puutosoireista puulajeilla. Teoksessa: Jamalainen, E.A. Kasvien puutostaudit. Helsinki. Kirjayhtymä, s. 101—109.
- & SILFVERBERG, K. 1979. Männyn tuotos ja biomassajakauma hivenravinnetaloudellisen kasvuhäiriön eri vaiheissa. Summary: Production and biomass distribution of Scots pine during a micro-nutritional growth disorder. (Käsikirjoitus). Metsäntutkimuslaitos, suontutkimusosasto.
- REUTER, D.J. 1975. The recognition and correction of trace element deficiencies. In: Nicholas, D.J.D. & Egan, A.R. (Eds.). Trace elements in soil-plant-animal systems. Academic Press, p. 201—324.
- REUTHER, W. & LABANAUSKAS, C.K. 1966. Copper. In: Chapman, H.D. (Ed.) Diagnostic criteria for plants and soils. Univ. Calif. Div. Agr. Sci., p. 157—179.
- RUITER, J.H. 1969. Suspected copper deficiency in radiata pine. Plant & Soil 31(1):197—200.
- 1972. The importance of trace elements in the establishment in the deep white sands of the South-East of South Australia. In: Boardman, R. (Ed.). Aust. Forest-Tree Nutr. Conf. Sept. 1971. Canberra, A.C.T. Forestry and Timber Bureau., p. 164—167.
- RYAN, P., LEE, J. & PEEBLES, T.F. 1967. Trace element problems in relation to soil units in Europe. World Soil Resources Report 31. Rome, FAO:1—55.
- SARVAS, R. 1964. Havupuut. 518 s. Porvoo. WSOY.
- SAVORY, B.M. 1962. Boron deficiency in *Eucalyptus* in Northern Rhodesia. Emp. For. Rev. 41:118—126.
- SCHARRER, K. & LINSER, H.C. 1969/1972. Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. I/1, I/2. Pflanzenernährung. 593 s., 1429 s. Wien Springer-Verlag.
- SCHOENWEISS, D.F. 1973. Correction of lime-induced chlorosis of pin oak by liquid soil injection. Hort. Science 8(4):333—334.
- SCHÜTTE, K.H. (Ed.) 1959. Trace element problems in nature. Bot. Dept. Univ. Capetown. (Ref. Procter 1967.)
- 1964. The biology of Trace elements — their role in nutrition. 228 p. London. Crosby Lockwood & Sons Ltd.
- SCRÖNHAR, S. 1958. Eisenmangel-Chlorose an Forstpflanzen. Allg. Forstztg. 13:149—151.
- SCHÖNNAMSGRUBER, H. 1962. Kali-Mangelercheinungen bei Kiefer in Holland. Allg. Forstzeitschr. 27:402—403.
- SHORROCKS, V.M. 1974. Boron deficiency — its prevention and cure. 55 p. London. Borax Consolidated Limited. Borax House.
- SHOULDERS, E. & CZABATOR, F.J. 1965. Chlorosis in a southern pine nursery. A case study. Tree planters Notes 71:19—21.
- SILFVERBERG, K. 1979. Männyn kasvuhäiriön alkukehitys ja ajoittuminen turvemaan hivenpuutosalueella. Abstract: Phenology and initial development of a growth disorder in Scots pine on boron deficient peatland. Folia For. 396.
- SILLANPÄÄ, M. 1962. Trace elements in Finnish soils as related to soil texture and organic matter content. J. Sci. Agr. Soc. (Finland). 34:34—40.
- 1972. Trace elements in soils and agriculture. Soils Bull. (Rome, FAO) 17:1—67.
- SMILDE, K.W. 1973. Phosphorus and micronutrient uptake by some tree species as affected by phosphate and lime applied to an acid sandy soil. Plant & Soil 39:131—148.
- SMITH, A.N. 1960. Boron deficiency in *Grevillea robusta*. Nature 186:987.
- SMITH, M.E. 1943. Micronutrients essential for the growth of *Pinus radiata*. Aust. For. 7:22—27.
- & BAYLISS, N.S. 1942. The necessity of zinc for *Pinus radiata*. Plant physiol. 17:303—310.
- SMITH, P.F. 1962. Mineral analyses of plant tissues. Ann. Rev. Pl. Phys. 13:81—108.
- SNOWDON, P. 1972. Observation on boron deficiency in *Pinus radiata*. In: Boardman, R. (Ed.). Aust. Forest-Tree Conf. Sept. 1971. Canberra, A.C.T. Forestry and Timber Bureau., p. 191—206.
- 1973. Problems in the diagnosis of boron deficiency in *Pinus radiata*. FAO/IUFRO Int. Symp. For. Fert. Paris 3—7 Dec. 1973., p. 1—5.
- STEINBECK, K. 1966. Site, height and mineral nutrient content relations of Scots pine provenances. Silvae Genet. 15:42—50.
- STILES, W. 1961. Trace elements in plants. 3d edition. 249 p. Cambridge. Univ. Press.
- STOATE, T.N. 1950. Nutrition of the pine. Forestry and Timber Bureau (Aust.) Bull. 30:1—56.
- STONE, E.L. 1968. Microelement nutrition of forest trees: A review. In: Forest fertilization — theory and practice. Symp. For. Fert. April, 1967. Knoxville, USA. Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Ala., p. 132—175.
- & WILL, G.M. 1965. Boron deficiency in *Pinus radiata* and *P. pinaster*. For. Sci. 11(4):425—433.
- STRULLU, D.-G. 1973. Etude morphologique et essai d'interprétation de déformations chez *Pseudotsuga menziesii*, *Picea sitchensis* et *Abies grandis*. Rev. For. Française 25:29—31.
- 1976. Recherches de biologie et de microbiologie forestières — Etude des relations nutrition — développement et cytologie des mycorrhizes chez le Douglas (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.) et les Abiétacées. Botanica Rhedonica, Serie A, No. 14 291 p. Lab. Bot. Fac. Sci. Univ. Rennes, France.
- STUCKENHOLZ, D.D., OLSEN, R.J., GOGAN, G. & OLSON, R.A. 1966. On the mechanisms of phosphorus-zinc interaction in corn nutrition. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 30:709—763.
- TAINIO, A. 1953. Hivenaineiden puutteesta Suomen kasvinviljelyssä. Suom. kemistilehti 26:192—196.
- TAMM, C.O. 1956. Studier over skogens näringsförhållanden. IV. Effekten av kalium och fosforitillförsel till ett ovanligt bestånd på dikad myr. Summary: Studies in forest nutrition. IV. The effects of supply of potassium and phosphorus to a poor stand on drained peat. Medd. Stat. Skogsf. Inst. 46:1—27.
- 1964. Die Blattanalyse als Methode zur Ermittlung der Nährstoffversorgung des Waldes — eine kritische Betrachtung: Im: Düngung und Melioration in der Forstwirtschaft. Tag. Ber. Dt. Akad. Landwirt. Wiss. Berlin 66:7—17.
- TARRANT, R.F. 1961. Stand development and soil fertility in a Douglas fir — red alder plantation. For. Sci. 7(3):238—246.
- THORNE, D.W. 1957. Zinc deficiency and its control. Adv. Agron. 9:31:31—65.

- TOLLENAAR, H. 1969. (Boron deficiency in pines in central Chile). *Agricultura tec.* 29:85—88. Univ. Concepcion, Chile. (Ref. Commonw. Bur. Soils. Annot. Bibliogr. 1971 No. 1486:43.)
- VAIL, J.W., CARLTON, W.E. & STRANG, R.M. 1957. Dieback of wattle — a boron deficiency. *East. Afr. Agr. J.* 23:100—103.
- VAIL, J.W., PARRY, M.S. & CALTON, W.E. 1961. Boron deficiency dieback in pines. *Plant & Soil* 14(4):393—398.
- VEIJALAINEN, H. 1975. Kasvuhäiriöistä ja niiden syistä metsäojitusalueella. Summary: Dieback and fertilization on drained peatlands. *Suo* 26(5):87—92.
- 1977. Use of needle analysis for diagnosing micro-nutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravintilan teentä määrityksessä turvemailla. *Commun. Inst. For. Fenn.* 92(4):1—32.
- 1978. Metsäpuiden latvakkadon esiintymisestä Suomessa. Summary: Occurrence of dieback of forest trees in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 1/1978. *Moniste* 22 s.
- VENKATARAMANI, K.S. 1963. Boron deficiency in the silver oak. *Ann. Admin. Rept. Sci. Dept. (Tea sect.) United Planters Assoc. S. India* 1962/63:70—71. (Ref. *For. Abstr.* 26:2320.)
- VIETS, F.G. Jr. 1966. Zinc deficiency in the soil-plant system. In: Thomas, C.C. (Ed.). *Zinc metabolism*. 465 p. Springfield III. (Ref. Stone 1968.)
- WALKER, L.C. & BEACHER, R.L. 1963. Fertilizer response with forest trees in North America. *Nat. Plant. Food Inst. Washington D.C.* (Ref. Reinikainen 1967.)
- WALKER, R.B. 1948. Molybdenum deficiency in serpentine barren soils. *Science* 108:473—475.
- , GESSEL, S.P. & HADDOCK, P.G. 1955. Greenhouse studies in mineral requirements of conifers: Western red cedar. *For. Sci.* 1:51—60.
- WALL, J.R. & ANDRUS, C.F. 1962. The inheritance and physiology of boron response in tomato. *Amer. J. Bot.* 49:758—762.
- WALLACE, T. 1961. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. 3d edition. 125 p. London. H.M.S.O.
- WALLIHAN, E.F. 1966. Iron. In: Chapman, H.D. (Ed.). *Diagnostic criteria for plants and soils*. Univ. Calif. Div. Agr. Sci., p. 203—212.
- WARING, H.D. 1971. The nutritional status of pine plantations in Malaysia. 49. Report for Forestry Department. FAO.
- 1973. Boron deficiency. 4 p. FAO/IUFRO Intern. Symp. For. Fert. Paris, France.
- WATANABE, F.S., LINDSAY, W.L. & OLSEN, S.R. 1965. Nutrient balance involving phosphorus, iron and zinc. *Proc. Soil. Sci. Soc. Amer.* 29:562—565.
- WEHRMANN, J. 1963. Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse in der Forstwirtschaft. *Landw. Forsch.* 16(2):130—145.
- WHITE, K.J. 1964. Mineral deficiencies in forest plantation trees. *IFA Newsletter* 5(4):6—8. (Ref. Snowdon 1971.)
- WILL, G.M. 1971. The occurrence and treatment of boron deficiency in New Zealand pine forests. *Res. Leaflet. For. Res. Inst. N.Z. For. Serv.* 32:1—4.
- 1972. Copper deficiency in *Radiata* pine planted on sands at Mangawhai Forest. *N.Z.J. For. Sci.* 2(2):217—221.
- , APPLETON, E.J., SLOW, A.J. & STONE, E.L. 1963. Boron deficiency — the cause of dieback in pines in the Nelson district New Zealand. *For. Sci. Res. Leaflet.* 1, 1 p.
- , GADGIL, R.L. & KNIGHT, P. 1971. Copper deficiency in Mangawhai Forest. In: Report of Forest Research Institute for 1970. *N.Z. For. Serv.* 30.
- WILSON, C.C. 1953. The response of two species of pine to various levels of nutrient zinc. *Science* 117:231—233.
- WINDSOR, G.J. & KELLY, J. 1972. The effects of fertilization on shoot dieback and foliar boron and sulphur concentrations in several clones of *Pinus radiata*. In: Boorman, R. (Ed.). *Austr. Forest-Tree Nutr. Conf. Sept. 1971. Forestry and Timber Bureau. Canberra, A.C.T.*, p. 241—255.
- , KELLY, J. & GENTLE, S.W. 1970. Differences in boron and sulphur nutrition in grafted clones of *Pinus radiata*. *Aust. Plant. Nutr. Conf. Mount Gambier S. Aust.* 1(2):8—9.
- WOLLUM, A.G. & YOUNGBERG, C.T. 1964. The influence of nitrogen fixation by non-leguminous woody plants on the growth of pine seedlings. *J. For.* 62:316—321.
- WORLEY, L.C., LESSELBAUM, H.R. & MATTHEWS, T.M. 1941. Deficiency symptoms for the three major elements in seedlings of three broad-leaved trees. *J. Tenn. Acad. Sci.* 16:239—247. (Ref. Stone 1968.)
- ZECH, W. 1970 a. Besonderheiten im Ernährungszustand chlorotischen Fichten auf kalkreichen Böden. *Forstwiss. Cbl* 89(1):1—9.
- 1970 b. Nadelanalytische Untersuchungen über die Kalkchlorose der Waldkiefer (*Pinus silvestris* L.). *Z. Pflernähr. Bodenk.* 125(1):1—16.

Liite 1. Hivenravinteiden puutteen syntymiseen vaikuttavia tekijöitä.
Appendix 1. Factors contributing to micro-nutrient deficiencies.

BOORI

Booriköyhät maaperät
— humidiset (karkeat) hiekkamaat
— podsolimaannokset
— vähähumuksiset pohjavesimaannokset
— lietemaat
— turvemaat
Happamat tai emäksiset ja kalkkipitoiset (vapaa CaCO_3) maaperät
— rapautuneet tai huuhtoutuneet tai vulkaanista alkuperää olevat maaperät
Rinnemaat (harjut, kukkulat)
Kuivuus tai kuivakaudet
Runsas sateet tai seisovavesisyys
Kuiva- ja sadejaksojen vuorottelu
Suuri valon voimakkuus
Kalkitus
Runsas N-, P- tai K-lannoitus

(Whetstone 1942, Savory 1962, Sillanpää 1962, Kurki 1962, 1969, 1972, Elmer & Gosnell 1963, Bradford 1966, Procter 1967, Ryan et al. 1967, Will 1971, Snowdon 1972, Lucas & Knezek 1972).

KUPARI

Kupariköyhät maaperät
— (karkeat) hiekkamaat
— podsolimaannokset
— kalkkikivi- tai natriumpitoiset savimaat (terra Rossa; Solonetz)
— turvemaat
Emäksiset ja kalkkipitoiset (vapaa CaCO_3) maaperät
— huuhtoutuneet tai rapautuneet maaperät
Kuivuus tai kuivakaudet
Maaperän runsas N, P, SO_4 -S, Zn tai Mo
Runsas N- tai P-lannoitus

(Rademacher 1940, Gilbert 1952, Tainio 1953, Kurki 1962, 1969, 1972, van der Meiden 1962, 1964, Sillanpää 1962, 1972, Oldenkamp & Smilde 1966a, van Goor & Henkens 1966, Reuther & Labanauskas 1966, Ryan et al. 1967, van Goor 1968, Ruiter 1969, Lucas & Knezek 1972, Will 1972, Reuter 1975)

MANGAANI

Kuivatukseltaan huonot maaperät
— humidiset (karkeat) hiekkamaat
— vähähumuksiset pohjavesimaannokset
— pohjavesipodsolimaannokset, joissa rautapalsi (ortstein)
— turvemaat
Neutraalit tai emäksiset ja kalkkipitoiset (vapaa CaCO_3) maaperät
Maaperän runsas Cu, Fe tai Zn
Kuivuus tai kuivakaudet
Huono kuivatus
Pieni valon voimakkuus
Maaperän alhainen lämpötila
Kalkitus

(Ingestad 1958, Ryan et al. 1967, Stone 1968, Lange 1969, Zech 1970a, Kreutzer 1972, Lucas & Knezek 1972, Reuter 1975)

BORON

Soils low in total boron
— humid (coarse) sandy soils
— podzols
— low humic gleys
— alluvials
— peats and mucks
Acid or alkaline and calcareous (free CaCO_3) soils
— weathered or leached soils or soils derived from volcanic rocks
Slope sites (ridges, hills)
Drought or dry season
Heavy rainfall or waterlogging
Seasonal dry and wet periods
High light intensity
Liming
Liberal applications of N, P or K

COPPER

Soils low in copper
— (coarse) sandy soils
— podzols
— limestone- or Na-rich clay soils (Terra Rossa; Solonetz)
— peats
Alkaline and calcareous (free CaCO_3) soils
— leached or weathered soils
Drought or dry season
High soil N, P, SO_4 -S, Zn or Mo
Liberal applications of N or P

MANGANESE

Poorly drained soils
— humid (coarse) sandy soils
— low humic gleys
— ground water podzols (ortstein)
— peats
Neutral or alkaline and calcareous (free CaCO_3) soils
High soil Cu, Fe or Zn
Drought or dry season
Poor drainage
Low light intensity
Low soil temperature
Liming

MOLYBDEENI

Molybdeeniköyhät maaperät
— happamat hiekk-, podsoli- ja turvemaat
Huuhtoutuneet maaperät
Maaperän runsas Fe, SO₄-S, Mn tai Al (oksidit)

(Walker 1948, Becking 1961, McKay et al. 1966, Stone 1968, Lucas & Knezek 1972, Cheng & Ouellette 1973, Reuter 1975.)

RAUTA

Rautaköyhät maaperät
— hiekkamaat
— podsolit
— pohjavesimaannokset
— savimaat
— turvemaat
Emäksiset (runsas HCO₃⁻) ja kalkkipitoiset (vapaa CaCO₃) maaperät
Rapautuneet maaperät
Maaperän runsas P tai Mn
Lämpö- ja kosteustilojen suuret vaihtelut
Kuivuus tai kuivakaudet
Kalkitus

(Korstian et al. 1921, Sillanpää 1962, Wallihan 1966, Ryan et al. 1967, Stone 1968, Zech 1970a, b, Lucas & Knezek 1972, Schoenweiss 1973, Reuter 1975.)

SINKKI

Sinkkiköyhät maaperät
— hiekkamaat
— vähähumuksiset tai humuksiset pohjavesimaannokset
— lietemaat
— turvemaat
Emäksiset ja kalkkipitoiset (vapaa CaCO₃) maaperät
Maaperän runsas savisuus
Maaperän runsas N tai P
Alhainen lämpötila
Runsaat sateet
Runsas valon voimakkuus
Kalkitus
Runsas N- tai P-lannoitus

(Hearman 1938, Kessel & Stote 1936, 1938, Stote 1950, Thorne 1957, Sillanpää 1962, 1972, Chapman 1966, Lucas & Knezek 1972, Knight, P.J. 1975b, Reuter 1975.)

MOLYBDENUM

Soils low in molybdenum
— *acid sands, podzols and peats*
Leached soils
High soil Fe, SO₄-S, Mn or Al oxides

IRON

Soils low in iron
— *sandy soils*
— *podzols*
— *gleyed soils*
— *clay soils*
— *peats*
Alkaline (high HCO₃⁻) and calcareous (free CaCO₃) soils
Weathered soils
High soil P or Mn
Temperature and moisture extremes
Drought or dry season
Liming

ZINC

Soils low in zinc
— *sandy soils*
— *low humic or humic gleys*

— *alluvials*
— *peats*
Alkaline or calcareous (free CaCO₃) soils
High soil clay content
High soil N or P
Low temperatures
Heavy rainfall
High light intensity
Liming
Liberal applications of N or P

- Liite 2. Havu- ja lehtipuita, joilla on havaittu hivenravinteiden puutosoireita.
 Appendix 2. *Coniferous and deciduous tree species in which micro-nutrient deficiency symptoms have been observed.*
 Selitys: a = istutustaimisto; b = taimitarha; c = astia- tai ravinneliuoskoe; d = luonnontaimet
 Explanation: a plantation; b = nursery; c = pot or nutrient solution trial; d = self-sown plants

BOORI — BORON

Havupuut — *Conifers*

- Picea abies* (L.) Karst. — Haveraaen (1966)^c, Braekke (1977)^a
 (syn. *P. excelsa* Link)
 — kuusi
Pinus caribaea (var. *hondurensis*)
 Barr. et Golf. — Savory (1962)^a, van Goor (1966)^a
P. contorta Dougl. — Braekke (1977)^a
 — Murrayn mänty
P. douglasiana Martinez — Savory (1962)^a
P. elliottii Engelm. — Savory (1962)^a, van Goor (1966)^a,
 Procter (1967)^a
 — van Goor (1966)^a
P. kesiya (Royle ex Gordon)
 (syn. *P. khasya* Royle) — Savory (1962)^a
P. leiophylla Shlecht et Cham. — Appleton & Slow (1966)^a
P. nigra Arnold — Will (1971)^a
 — Euroopan mustamänty
P. patula Shlecht et Cham. — Vail et al. (1961)^a, Savory (1962)^a,
 van Goor (1966)^a, Procter (1967)^a
P. pinaster Sol. — Will et al. (1963)^a, Stone & Will
 — rannikkomänty (1965)^a, Tollenaar (1969)^a, Will
 (1971)^a
P. radiata D.Don — Ludbrook (1940)^c, Smith, M.E. (1943)^c
 — Monterey-mänty Vail et al. (1961)^a, Will et al. (1963)^a
 Stone & Will (1965)^a, Appleton &
 Slow (1966)^a, de Lanuza (1966a, b)^c,
 Procter (1967)^a, Tollenaar (1969)^a,
 Windsor et al. (1970)^a, Will (1971)^a,
 Snowdon (1972, 1973)^{a,c}
P. roxburghii Sarg. — Savory (1962)^a
P. strobus L. — HacsKaylo (1960)^c
 — Strobos-mänty
P. sylvestris L. — Goslin (1959)^c, HacsKaylo (1960)^c,
 — mänty Haveraaen (1966)^c, Huikari (1974)^a,
 Veijalainen (1975)^a, Alberktson et al.
 (1977)^a, Braekke (1977)^a, Kolar, et al.
 (1977)^a, Raitio & Rantala (1977)^a
P. taeda L. — Lundbrook (1940)^c, Vail et al. (1961)^a
 — Loblolly mänty Procter (1967)^a
Thuja plicata Lamb. — Walker et al. (1955)^c, Blaser et al.
 (syn. *Thuja gigantea* Nutt.) (1967)^c
 — jättiläistuija

Lehtipuut — *Deciduous trees*

- Acacia mearnsii* De Wilde — Vail et al. (1957)^a, Elmer & Gosnell
 — akaasia (1963)^a
Anacardium occidentale L. — Shorrocks (1974)^a
 — Acajou-, munuaispuu
Betula verrucosa Ehrh. — Ingestad & Jacobson (1962)^c
 (Syn. *Betula pendula* Roth)
 — rauduskoivu
Carya illinoensis (Wangh K. Koch) — Shorrocks (1974)^a
 — pekaanipähkinä
Eucalyptus spp. — Savory (1962)^a
 — eukalyptus-lajit
Grevillea robusta R.Br. — Smith, A.N. (1960)^a, Venkataramani
 (1963)^a, Moore & Keraitis (1966)^c
Hevea brasiliensis (Muell.) Ang. — Shorrocks (1974)^a
 — kumipuu

- Ilex aquifolium* L.
— rautatammi
- Juglans regia* L.
— saksanpähkinä
- Liquidambar styraciflua* L.
(syn. *Nyssa sylvatica* Marsch.)
— ambrapuu
- Populus deltoides* Bartr.
— amer. poppeli
- Prunus amygdalus* Batsch.
— mantelipuu
- Robinia pseudoacacia* L.
— valeakaasia
- KUPARI — COPPER**
- Havupuut — *Conifers*
- Abies grandis* (Dougl.) Lindl.
— jättiläisjalokuusi
- Larix decidua* (Mill.)
— eurooppal. lehtikuusi
- Picea abies* (L.) Karst.
(syn. *P. excelsa* Link)
— kuusi
- Picea sitchensis* (Bong.) Carr.
— Sitkan kuusi
- Pinus contorta* Dougl.
— Murrayn mänty
- Pinus radiata* D. Don
— Monterey-mänty
- Pinus strobus* L.
— Strobos-mänty
- Pinus sylvestris* L.
— mänty
- Pseudotsuga menziesii* (Mirb.)
— Douglaskuusi
- Tsuga heterophylla* (Rafn.) Sarg.
— lännen hemlockki
- Lehtipuut — *Deciduous trees*
- Carpinus betulus* L.
— valkpyökki
- Fagus sylvatica* L.
— punapyökki
- Liquidambar styraciflua* L.
— ambrapuu
- Populus spp.*
— eri poppelilajeja ja hybridejä
- Populus deltoides* Bartr.
— amer. poppeli
- Robinia pseudoacacia* L.
— valeakaasia
- Salix alba* L.
— hopeapaju
- MANGAANI — MANGANESE**
- Havupuut — *Conifers*
- Picea abies* (L.) Karst.
— kuusi
- Pinus elliottii* Engelm.
P. radiata D. Don.
— Monterey-mänty
- Shorrocks (1974)^a
- Chapman (1966)^a, Shorrocks (1974)^a
- Hacs kaylo (1960)^c
- Hacs kaylo & Vimmerstedt (1967)^c
- Shorrocks (1974)^a
- Hacs kaylo (1960)^f
- Strullu (1973, 1976)^a
- Rademacher (1940)^f, Penningsfeld (1964)^f, van Goor (1968)^a
- Rademacher (1940)^f, Haveraaen (1964)^f, Penningsfeld (1964)^f, van Goor & Henkens (1966)^a
- Benzian & Warren (1956)^b, Benzian (1965)^b, Strullu (1973, 1976)^a
- Benzian (1965)^b
- Smith, M.E. (1943)^f, Hall (1961)^f, Ruiter (1969)^a, Will et al. (1971)^a, Will (1972)^a, Raupach et al. (1972, 1978)^a, New Zealand Forest Research Institute (1974)^a, Knight, P.J. (1975a)^b
- Hacs kaylo (1960)^c, Penningsfeld (1964)^f
- Rademacher (1940)^f, Hacs kaylo (1960)^f
- van Goor & Henkens (1966)^a, Oldenkamp & Smilde (1966a, b)^a, van Goor (1968)^a, Bonneau (1971)^a, Strullu (1973, 1976)^a
- Benzian & Warren (1956)^b, Benzian (1965)^b
- Penningsfeld (1964)^f
- Penningsfeld (1964)^f
- Hacs kaylo (1960)^f
- Benzian (1957, 1965)^b, van der Meiden (1962)^{a,c}, Kannenberg (1963)^c
- Hacs kaylo & Vimmerstedt (1967)^c
- Hacs kaylo (1960)^c
- van der Meiden (1964)^a
- Ingestad (1958)^d, Gruppe & Seitz (1962)^b, Kreutzer (1972)^a
- Lange (1969)^a
- Smith, M.E. (1943)^c, de Lanuza (1966a)^f, Lange (1969)^a

- P. strobus* L.
— Strobos-mänty — H a c s k a y l o (1960)^c
- Lehtipuut — *Deciduous trees*
- Acer platanoides* L.
— metsävaahtera — Gruppe & Seitz (1962)^b
- Betula verrucosa* Ehrh.
(Syn. *Betula pendula* Roth)
— rauduskoivu — Ingestad (1958)^a, Ingestad & Jacobson (1962)^c
- Grevillea robusta* T.Br.
— silkkipensas — Moore & Keraitis (1966)^c
- Liquidambar styraciflua* L.
— ambrapuu — H a c s k a y l o (1960)^c
- Populus deltoides* Bartr.
— amer. poppeli — H a c s k a y l o & Vimmerstedt (1967)^c
- Prunus serotina* Ehrh.
— kiiltotuomi — Gruppe & Seitz (1962)^b
- Robinia pseudoacacia* L.
— valeakaasia — H a c s k a y l o (1960)^c

MOLYBDEENI — MOLYBDENUM

Havupuut — *Conifers*

- Pinus radiata* D.Don.
— Monterey-mänty — Smith, M.E. (1943)^c
- Pinus strobus* L.
— Strobos-mänty — H a c s k a y l o (1960)^c
- Pinus sylvestris* L.
— mänty — H a c s k a y l o (1960)^c

Lehtipuut — *Deciduous trees*

- Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.
— tervaleppä — Becking (1961)^c
- Liquidambar styraciflua* L.
— ambrapuu — H a c s k a y l o (1960)^c
- Robinia pseudoacacia* L.
— valeakaasia — H a c s k a y l o (1960)^c

RAUTA — IRON

Havupuut — *Conifers*

- Abies alba* Mill.
— Saksan jalokuusi — Zech (1970a, b)^a
- Larix decidua* Mill.
— eurooppal. lehtikuusi — Penningsfeld (1964)^c
- Picea abies* (L.) Karst.
— kuusi — Zech (1970a, b)^b
- Pinus ponderosa* Dougl.
— lännen keltämänty — Korstian et al. (1921)^b, Knight, H.A.W. (1958)^b
- P. strobus* L.
— Strobos-mänty — H a c s k a y l o (1960)^c, Zech (1970a)^a
- P. sylvestris* L.
— mänty — H a c s k a y l o (1960)^c, Ingestad (1960)^c
Zech (1970a, b)^a
- Pseudotsuga menziesii* (Mirb.)
— Douglaskuusi — Korstian et al. (1921)^b, Zech (1970a)^a
- Thuja plicata* Lamb.
— jättiläistuija — Walker et al. (1955)^c

Lehtipuut — *Deciduous trees*

- Tilia americana* L.
— amer. lehmus — Ashby (1959)^c
- Populus deltoides* Bartr.
— amer. poppeli — H a c s k a y l o & Vimmerstedt (1967)^c

- Liquidambar styraciflua* (L.)
— ambrapuu — H a c s k a y l o (1960)^c
Quercus palustris (Moench.)
— amer. tammii — H a c s k a y l o & S t r u t h e r s (1959)^a,
S c h o e n w e i s s (1973)^a
Robinia pseudoacacia L.
— valeakaasia — H a c s k a y l o (1960)^c

SINKKI — ZINC

Havupuut — *Conifers*

- Pinus echinata* Mill. — W i l s o n (1953)^c
— lyhytneulasmänty
P. pinaster Sol. — S t o a t e (1950)^a
— rannikkomänty
P. radiata D. Don — H e a r m a n (1938)^a, S m i t h & B a y l i s s
(1942)^c, S m i t h, M. E. (1942)^c,
S t o a t e (1950)^a, K n i g h t, P. J. (1975b)^c
— Monterey-mänty — H a c s k a y l o (1960)^c
P. strobus L. — H a c s k a y l o (1960)^c
— Strobos-mänty
P. sylvestris L. — W i l s o n (1953)^c
— mänty
P. taeda L. — W i l s o n (1953)^c
— Loblollyn mänty

Lehtipuut — *Deciduous trees*

Ei metsäpuuhavaintoja. Hedelmäpuut ks. esim. C h a p m a n (1966) ja J a m a l a i n e n (1968).
No observations in forest trees. For orchard species see eg. C h a p m a n (1966) and J a m a l a i n e n (1968).

Liite 3. Havu- ja lehtipuilla havaittuja hivenravinteiden puutosoireita (havaintolähteiden lukumäärä sulkeissa, lähteet liitteessä 2).

Appendix 3. *Micro-nutrient deficiency symptoms in coniferous and deciduous trees (number of observations in brackets, see appendix 2 for references).*

BOORIN PUUTOSOIREITA

Havupuut (24)

Kasvaimet

- latvakadot tai latvan kärkikadot (24)
- silmukadot tai -häiriöt (14)
- kasvainten tai silmujen pihkavuodot (12)
- sekundääristen (latva-)kasvainten muodostuminen (12)
- heikentynyt pituuskasvu (11)
- toistuvat kasvainkadot ja puun pensastuminen (11)
- kääpiöverso- tai sivusilmujen muodostuminen (10)
- latvakasvainten mutkaisuus (käänteinen U- tai J-muoto) (8)
- ytimen ruskettuminen tai nekroottisuus (7)
- kuoren ruskettuminen tai korkkiutumisen (5)
- kapean kartiomainen latvaverso (3)
- kuoren halkeilu (3)

Neulas

- lyhyitä ja kehittymättömiä kasvainten kärjissä (10)
- kärjestään nekroottisia tai pronssinvärisiä (7)
- kellastuvat ja varisevat latvakasvaimen kärjessä (6)
- paksuja ja vääntyneitä (6)
- yhteenkiinnittyneitä (6)
- neulasruusukkeita lyhentyneissä kasvaimissa (4)
- nekroosi- ja kloroosivöitä (3)
- pihkavuotoja (3)
- sinivihreitä (2)

Juuret

- pienentynyt koko ja lukumäärä (9)
- kärjestään turvonneita (5)

Sisärakenneoireita (de Lanuza 1966a, Blaser ym. 1967, Kolarin ym. 1977, Raitio & Rantala 1977)

Kasvaimet (päätesilmut)

- kärkikasvusolukon häiriöt ja kuoleminen (3)
- johtosolukot epänormaaleja (2)
- onteloiden muodostuminen kasvupisteen alapuolelle (2)
- primääriseen puun putkisolut epämuodostuneita (1)

Neulas

- päällyskettoa (epidermi) mutkainen ja paikoin kovertunut (1)
- pihkatieheiden sijainti epänormaali (1)
- johtosolukko epäjärjestyksessä: puu ja nila eivät erotu toisistaan; puu heikosti kehittynyt (1)
- ilmarakoja normaalia vähemmän; epämuodostuneita (1)
- transfuusiosolukossa solujen hypertrofiaa ja onteloita (1)

Juuret

- primäärinen puu ei erilaistu (2)
- keskuslieriön hajoaminen ja onteloituminen (1)
- huntun epänormaali (1)

BORON DEFICIENCY SYMPTOMS

Conifers (24)

Shoots

- shoot or tip dieback (24)
- bud dieback or disorders (14)
- resin flow from shoots or buds (12)
- secondary (leading) shoots (12)
- retarded growth (11)
- repeated diebacks and bushiness (11)
- fascicle or lateral bud proliferation (10)
- crooked, bent, distorted (inverted U- or J-shape) leaders (8)
- brown or necrotic pith (7)
- brown or corky bark (5)
- narrow conical outline of leading shoot (3)
- bark cracking (3)

Needles

- short or immature at shoot apices (10)
- necrotic or bronzed tips (7)
- yellow and shed at apex (6)
- thick and distorted (6)
- fused needles (6)
- rosetting caused by reduced leaf to leaf spacing (4)
- necrotic or chlorotic bands (3)
- resin flow (3)
- bluish-green color (2)

Roots

- reduced in size and number (9)
- swollen, bulbous tips (5)

Anatomical symptoms (de Lanuza 1966a, Blaser et al. 1967, Kolarin et al. 1977, Raitio & Rantala 1977)

Shoots (apical buds)

- apical meristem abnormal and moribund (3)
- vascular tissues abnormal (2)
- cavities below the growing point (2)
- tracheids of primary xylem misshapen (1)

Needles

- epidermis curved and sporadically bent-in (1)
- resin ducts abnormally located (1)
- vascular tissues in disorder: xylem and phloem not distinguishable from each other: xylem poorly developed (1)
- less stomata than normally: misshapen (1)
- cell hypertrophy and cavities in transfusion tissue (1)

Roots

- primary xylem fails to differentiate (2)
- breakdown of central cylinder: cavities (1)
- abnormal rootcap (1)

Lehtipuut (11)

Kasvaimet

- kasvainkadot tai kasvaimen kärkikadot (7)
- sekundääristen kasvainten muodostuminen hankasilmuista (5)
- kuoren ruskettuminen tai nekroottisuus (4)
- heikentynyt pituuskasvu (4)
- silmukadot (3)
- mutkaisuus (2)
- kuoren halkeilu (1)
- hartsiainesvuodot (1)

Lehdet

- epämuodostuneita (8)
- varisevat kasvaimen kärjestä alkaen (5)
- kloroottisia (5)
- punaruskeita (4)
- tummanvihreitä (etenkin alemmat lehdet) (3)
- nuoret lehdet kehittymättömiä (3)
- nuoret lehdet pieniä (2)
- suontenvälistä nekroosia tai nekroosilaukkaisuutta (2)
- lehden pinta rakkulamainen (1)

Juuret

- kärjestään turvonneita (1)
- pienentynyt koko ja lukumäärä (1)

KUPARIN PUUTOSoireita

Havupuut (22)

Kasvaimet

- latvakasvainten mutkaisuus, alaspäin taipuminen (riippulatvat) (16)
- latvan kärkikadot (6)
- heikentynyt pituuskasvu (5)
- sekundääristen kasvainten muodostuminen (1)
- puun pensastuminen (1)

Neulaset

- kärkien selvärajainen ruskettuminen tai nekroottisuus (12)
- kärjet kloroottisia (5)
- alaspäin taipuneita, riippuvia kasvainten kärjissä (4)
- yhteenkiinnittyneitä (3)
- kiertyneitä kasvainten kärjissä (3)
- varisevat (talvella) (3)
- sinipunainen, punaruskea tai sinertävä väri (2)
- lyhyitä (2)
- kellastuneita (2)

Sisärakenneoireita (Strullu 1976)

Kasvaimet

- vuosilustojen epäsymmetrinen kehitys taipuneissa kasvaimissa
- putkisolut turvonneita (hypertrofisia), epäjärjestyksessä, paksuseinäisiä ja soluvälien erottamia
- ydinsäteet laajentuneita
- putkisolujen huokokset pieniä ja tukossa

Lehtipuut (9)

Kasvaimet

- sivukasvainten muodostuminen hankasilmuista (6)
- kasvainkadot (4)
- pituuskasvun heikentyminen (4)

Deciduous trees (11)

Shoots

- shoot or tip dieback (7)
- secondary shoots from axillary buds (5)
- brown or necrotic bark (4)
- retarded growth (4)
- bud dieback (3)
- crooking (2)
- bark cracking (1)
- gum exudation (1)

Leaves

- misshapen (8)
- shed below shoot apex (5)
- chlorotic (5)
- red-brown color (4)
- dark-green (lower leaves) (3)
- young leaves undeveloped (3)
- young leaves small (2)
- interveinal necrosis or necrotic spotting (2)
- blisterly leaf surface (1)

Roots

- swollen tips (1)
- reduced in size and number (1)

COPPER DEFICIENCY SYMPTOMS

Conifers (22)

Shoots

- crooked, distorted, downward bent, pendulous leaders (16)
- tip dieback (6)
- retarded growth (5)
- secondary shoots (1)
- bushiness (1)

Needles

- needle tip-burn (12)
- chlorotic tips (5)
- drooping, pendulous at shoot apex (4)
- fused needles (3)
- spiral twisting at shoot apex (3)
- shedding (during winter) (3)
- bluish-red, red-brown or bluish color (2)
- short needles (2)
- yellow (2)

Anatomical symptoms (Strullu 1976)

Shoots

- asymmetrical development of annual rings in pendulous shoots
- tracheids swollen (hypertrophic), disordered, thickwalled, separated from each other by intercellular spaces
- rays enlarged
- pits of tracheids small and clogged

Deciduous trees (9)

Shoots

- lateral (axial) shoot formation (6)
- shoot dieback (4)
- retarded growth (4)

Lehdet

- kärjet mustuneita (3)
- reunat nekroottisia (3)
- kuppimaisia (3)
- laikuttainen kloroosi (3)
- suontenvälinen kloroosi (2)
- pingottuneita, hauraita, reunat epäsäännöllisiä (1)
- varisevat kärjestä alkaen (1)
- kellanuskealaikkuisia (1)
- pieniä kasvainten kärjissä (1)
- karvat puuttuvat (paju) (1)

Juuret

- tummuneita ja paksuja (1)

MANGAANIN PUUTOSOIREITA

Havupuut (7)

Kasvaimet

- pituuskasvun heikentyminen (3)
- kasvainkadot (2)

Neulaset

- nuoret neulaset kloroottisia (4)
- vanhat neulaset ruskettuneita tai nekroottisia (3)
- lyhyitä (2)
- neulastupsut kasvainten kärjissä (2)
- iän mukana heikentynyt kloroosi (2)
- iän mukana voimistunut kloroosi (1)
- harva neulasisto latvuksessa (1)
- pihkavuotoja kärjissä (1)
- varisevat (1)

Juuret

- heikentynyt kasvu (2)
- vähän sivujuuria (1)

Lehtipuut (6)

Kasvaimet

- päätesilmukadot (1)

Vanhat (alemmat) lehdet

- vihreitä leveitä suoninauhoja (5)
- suontenvälinen kloroosi (3)
- reunat nekroottisia (2)
- reunat kloroottisia (1)
- nekroosilaikkuisuutta (1)

Nuoret (ylimmät) lehdet

- kloroottisia (3)
- suontenvälinen harmaalaikkuisuus (1)
- kärjet nekroottisia (1)

MOLYBDEENIN PUUTOSOIREITA

Havupuut (2)

Neulaset

- pitkiä ja väriltään sinivihreitä (2)
- kloroottisia (1)

Juuret

- paksuja ja läpikuultavia (1)
- sivujuuret lyhyitä ja paksuja (1)

Lehtipuut (2)

Lehdet

- reunat ruskettuneita (2)
- kalvakkaan vihreä väri (1)

Leaves

- blackening or necrosis of tips (3)
- marginal scorch or necrosis (3)
- cup-like shape (3)
- chlorotic spots (3)
- interveinal chlorosis (2)
- taut. brittle with irregular edges (1)
- shed at apex (1)
- yellow-brown spots (1)
- small at apex (1)
- loss of pubescence (willow) (1)

Roots

- dark and thick (1)

MANGANESE DEFICIENCY SYMPTOMS

Conifers (7)

Shoots

- retarded growth (3)
- shoot dieback (2)

Needles

- young needles chlorotic (4)
- old needles brown or necrotic (3)
- short (2)
- cluster of needles at shoot apex (2)
- decreased chlorosis with age (2)
- increased chlorosis with age (1)
- sparse foliage on crown (1)
- resin flow at apex (1)
- shedding (1)

Roots

- retarded growth (2)
- few laterals (1)

Deciduous trees (6)

Shoots

- terminal bud dieback (1)

Old (lower) leaves

- broad green bands next to major veins (5)
- interveinal chlorosis (3)
- marginal necrosis (2)
- marginal chlorosis (1)
- necrotic spots (1)

Young (terminal) leaves

- chlorotic (3)
- interveinal grey spots (1)
- necrotic tips (1)

MOLYBDENUM DEFICIENCY SYMPTOMS

Conifers (2)

Needles

- long and blue-green color (2)
- chlorotic (1)

Roots

- thick and translucent (1)
- short and thick laterals (1)

Deciduous trees (2)

Leaves

- marginal browning (2)
- pale green color (1)

Juuret

- tummia (1)
- runsaasti tai vähän juurinystyröitä (1+1)
- normaalia pienemmät tai suuremmat juurinystyrät (1+1)

RAUDAN PUUTOSOIREITA

Havupuut (9)

Kasvaimet

- latvakasvainten heikentynyt kasvu (3)
- latvakadot (1)
- silmuhäiriöt (1)

Nuoret neulaset

- kloroottisia (9)
- lyhyitä, kiertyneitä ja nekroottisia (1)

Vanhat neulaset

- vihreä tai harmaanvihreä väri (4)

Juuret

- harvassa (2)
- punaruskea väri (1)

Lehtipuut (5)

Kasvaimet

- oksat kuolevat pahassa puutteessa (3)

Nuoret lehdet

- suontenvälinen kloroosi (5)
- vihreiden lehtisuonten muodostama tarkkarajainen verkosto (5)
- reunat ja kärjet ruskettuvat pahassa puutteessa (3)

SINKIN PUUTOSOIREITA

Havupuut (7)

Kasvaimet

- heikentynyt pituuskasvu (4)
- latvakadot tai latvan kärkikadot (4)
- sekundääristen kasvainten muodostuminen (2)
- tasalatuksisuus ja pensastuminen (1)
- pystyt ja ohuet oksat (1)

Neulaset

- neulasruusukkeen muodostuminen lyhentyneisiin kasvaimiin (6)
- kloroottisia (6)
- lyhyitä kasvaimen kärjessä (6)
- kokonaan tai kärjestään nekroottisia (4+4)
- kärjet kloroottisia (3)
- yhteenkiinnittyneitä (2)
- vain viimeinen neulasvuosikerta jäljellä (neulas-tupsut) (2)
- kuolleet neulaset punaruskeita (2)
- neulasisto harvaa (1)

Juuret

- lyhyitä ja tummia (1)
- turvonneita (1)
- runsas juuristo (1)

Lehtipuut

Ei puutosoirehavaintoja metsäpuista.

Roots

- dark (1)
- root nodules abundant or few (1+1)
- roots nodules smaller or larger than normal (1+1)

IRON DEFICIENCY SYMPTOMS

Conifers (9)

Shoots

- retarded leader growth (3)
- shoot dieback (1)
- bud disorders (1)

Young needles

- chlorotic (9)
- short, twisted and necrotic (1)

Old needles

- green or grey-green color (4)

Roots

- sparse (2)
- reddish-brown color (1)

Deciduous trees (5)

Shoots

- death of twigs at severe deficiency (3)

Young leaves

- interveinal chlorosis (5)
- sharply etched network of green veins (5)

- browning of margins and apex at severe deficiency (3)

ZINC DEFICIENCY SYMPTOMS

Conifers (7)

Shoots

- retarded growth (4)
- shoot or tip dieback (4)
- secondary shoots (2)
- flat topped and bushy trees (1)
- erect and thin branches (1)

Needles

- rosetting of needles (6)
- chlorotic (6)
- short at shoot apex (6)
- necrotic or necrotic tips (4+4)
- chlorotic tips (3)
- fused needles (2)
- only current needles left (needle tufts) (2)

- dead needles reddish-brown in color (2)
- sparse foliage (1)

Roots

- short and dark (1)
- swollen (1)
- abundant (1)

Deciduous trees

No observations in forest trees.

ODC 424.7:114.5:237.4:416
ISBN 951-40-0387-X
ISSN 0015-5543

KOLARI, K.K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriö Suomessa — kirjallisuuskatsaus. Abstract: Micro-nutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland — a review. *Folia For.* 389: 1—37.

The aim of the literature review is to describe the different factors which can produce deficiencies of such micro-nutrients as boron, copper, manganese, molybdenum, iron and zinc and their deficiency symptoms in forest trees. Deficiency symptoms specific for coniferous and deciduous trees have been listed and discussed. The relationship between dieback observed on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland and known micro-nutrient deficiency symptoms of pines (*Pinus* spp.) is discussed at the end of the review. The cause of diebacks appears, judging by its syndrome, to be a lack of boron, which is also supported by the results of needle analyses from disordered trees. 187 references up until 1978.

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

ODC 424.7:114.5:237.4:416
ISBN 951-40-0387-X
ISSN 0015-5543

KOLARI, K.K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriö Suomessa — kirjallisuuskatsaus. Abstract: Micro-nutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland — a review. *Folia For.* 389: 1—37.

The aim of the literature review is to describe the different factors which can produce deficiencies of such micro-nutrients as boron, copper, manganese, molybdenum, iron and zinc and their deficiency symptoms in forest trees. Deficiency symptoms specific for coniferous and deciduous trees have been listed and discussed. The relationship between dieback observed on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland and known micro-nutrient deficiency symptoms of pines (*Pinus* spp.) is discussed at the end of the review. The cause of diebacks appears, judging by its syndrome, to be a lack of boron, which is also supported by the results of needle analyses from disordered trees. 187 references up until 1978.

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

ODC 424.7:114.5:237.4:416
ISBN 951-40-0387-X
ISSN 0015-5543

KOLARI, K.K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriö Suomessa — kirjallisuuskatsaus. Abstract: Micro-nutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland — a review. *Folia For.* 389: 1—37.

The aim of the literature review is to describe the different factors which can produce deficiencies of such micro-nutrients as boron, copper, manganese, molybdenum, iron and zinc and their deficiency symptoms in forest trees. Deficiency symptoms specific for coniferous and deciduous trees have been listed and discussed. The relationship between dieback observed on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland and known micro-nutrient deficiency symptoms of pines (*Pinus* spp.) is discussed at the end of the review. The cause of diebacks appears, judging by its syndrome, to be a lack of boron, which is also supported by the results of needle analyses from disordered trees. 187 references up until 1978.

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

ODC 424.7:114.5:237.4:416
ISBN 951-40-0387-X
ISSN 0015-5543

KOLARI, K.K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriö Suomessa — kirjallisuuskatsaus. Abstract: Micro-nutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland — a review. *Folia For.* 389: 1—37.

The aim of the literature review is to describe the different factors which can produce deficiencies of such micro-nutrients as boron, copper, manganese, molybdenum, iron and zinc and their deficiency symptoms in forest trees. Deficiency symptoms specific for coniferous and deciduous trees have been listed and discussed. The relationship between dieback observed on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland and known micro-nutrient deficiency symptoms of pines (*Pinus* spp.) is discussed at the end of the review. The cause of diebacks appears, judging by its syndrome, to be a lack of boron, which is also supported by the results of needle analyses from disordered trees. 187 references up until 1978.

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

- No 341 Uusvaara, Olli: Teollisuushakkeen ja purun painomittaus.
Weight scaling of industrial chips and sawdust.
- No 342 Hakkila, Pentti: Pienpuun korjuu polttoaineksi.
Harvesting small-sized wood for fuel.
- No 343 Paavilainen, Eero: PK-lannoitus Lapin ojitetuilla rämeillä. Ennakkotuloksia.
PK-fertilization on drained pine swamps in Lapland. Preliminary results.
- No 344 Lehtonen, Irja, Pekkala, Osmo & Uusvaara, Olli: Tervalepän (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) ja raidan (*Salix caprea* L.) puu- ja massateknisiä ominaisuuksia.
Technical properties of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) and great willow (*Salix caprea* L.) wood and pulp.
- No 345 Metsätalastollinen vuosikirja 1976.
Yearbook of Forest Statistics 1976.
- No 346 Parviainen, Jari: Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus.
Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase.
- No 347 Vuorinen, Heikki: Metsätraktorin kuljettajan kuormittumisen mittausmahdollisuudet.
Possibilities of measuring the strain on forest tractor drivers.
- No 348 Löyttyniemi, Kari: Metsänlannoituksen vaikutuksesta ytimennävertäjiin (*Tomiscus* spp., Col., Scolytidae).
Effect of forest fertilization on pine shoot beetles (*Tomiscus* spp., Col., Scolytidae)
- No 349 Metsämuuronen, Markku, Kaila, Simo & Räsänen, Pentti K.: Männyn paakkutaimien alkukehitys vuoden 1973 istutuksissa.
First-year planting results with containerized Scots pine seedlings in 1973.
- No 350 Oikarinen, Matti: Viljelymetsiköiden puuston vaihtelu ja kasvukoalojen edustavuus.
Variations in growing stock in cultivated stands and the representation of growth sample plots.
- No 351 Heikkilä, Risto: Mäntykuitupuupinojen suojaaminen pystynävertäjän iskeytymistä vastaan Pohjois-Suomessa.
Protection of pine pulpwood stacks against the common pine-shoot beetle in northern Finland.
- No 352 Saramäki, Jussi: Kainuun vajaapuustoisten kuusikoiden lannoitus ja sen kannattavuus.
Profitability of fertilization in the understocked spruce stands of Kainuu, Finland.
- No 353 Päivinen, Risto: Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle.
Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch.
- No 354 Järveläinen, Veli-Pekka: Yksityismetsätalouden seuranta. Metsälöötökseen perustuvan tietojärjestelmän kokeilu.
Monitoring the development of Finnish private forestry. A test of an information system based on a sample of forest holdings.
- No 355 Kärkkäinen, Matti & Salmi, Juhani: Tutkimuksia haapatukkien mittauksesta ja teknisistä ominaisuuksista.
Studies on the measurement and technical properties of aspen logs.
- No 356 Hyppönen, Mikko & Roiko-Jokela, Pentti: Koepuiden mittauksen tarkkuus ja tehokkuus.
On the accuracy and effectivity of measuring sample trees.
- No 357 Uusitalo, Matti: Alueittaiset kantorahatulot vuosina 1970—75.
Regional gross stumpage earnings in Finland in 1970—75.
- No 358 Mattila, Eero & Helle, Timo: Keskisen poronhoitoalueen talvilaidunten inventointi.
Inventory of winter ranges of semi-domestic reindeer in Finnish Central Lapland.
- No 359 Hannelius, Simo: Istutuskuusikon tiheys — tuotoksen ja edullisuuden tarkastelua
Initial tree spacing in Norway spruce timber growing — an appraisal of yield and profitability.
- No 360 Jakkila, Jouko & Pohtila, Eljas: Perkauksen vaikutus taimiston kehitykseen Lapissa.
Effect of cleaning on development of sapling stands in Lapland.
- No 361 Kyttälä, Timo: Työn organisointimahdollisuudet puunkorjuussa
Aspects of work organizing in logging.
- No 362 Kukkola, Mikko: Lannoituksen vaikutus eri latvuskerrosten puiden kasvuun mustikkatyyppin kuusikossa.
Effect of fertilization on the growth of different tree classes in a spruce stand on *Myrtillus*-site.
- No 363 Mielikäinen, Kari: Puun kasvun ennustettavuus.
Predictability of tree growth.
- No 364 Koski, Veikko & Tallqvist, Raili: Tuloksia monivuotisista kukinnan ja siemensadon määrän mittauksista metsäpuilla.
Results of long-time measurements of the quantity of flowering and seed crop of forest trees.
- No 365 Tervo, Mikko: Metsänomistajaryhmittäiset hakkuut ja niiden suhdanneherkkyys Etelä- ja Pohjois-Suomessa vuosina 1955—1975.
The cut of roundwood and its business cycles in Southern and Northern Finland by forest ownership groups, 1955—1975.
- No 366 Ryytänen, Leena: Kotimaisten lehtipuiden siitepölyn laadunmäärittämisestä.
Determination of quality of pollen from Finnish deciduous tree species.

- No 367 Uusitalo, Matti: Suomen metsätalous MERA-ohjelmakaudella 1965—75. Tilastoihin perustuva tarkastelu.
Finnish forestry during the MERA Programme period 1965—75. A review based on statistics.
- No 368 Kärkkäinen, Matti: Käytännön tuloksia koivuvuulun saannosta.
Empirical results on birch veneer yield.
- No 369 Laitinen, Jorma: Raivaussahojen kantokäsittelylaitteiden vertailu filmianalysillä.
Comparing clearing saw sprayers with film analysis.
- No 370 Kärkkäinen, Matti: Pienten kuusitukkien mittaus.
Measurement of small spruce logs.
- No 371 Jalkanen, Risto: Maanpinnan rikkomisen vaikutus korvasienen satoisuuteen.
Effect of breaking soil surface on the yield of *Gyromitra esculenta*.
- No 372 Laitinen, Jorma: Kuormatraktorin tekninen käyttöaste.
Mechanical availability of forwarders.
- No 373 Petäistö, Raija-Liisa: *Pblebia gigantea* ja *Heterobasidion annosum* männyn kannoissa hakkuualoilla Suomenniemen ja Savitaipaleen kunnissa.
Pblebia gigantea and *Heterobasidion annosum* in pine stumps on cutting areas in Suomenniemi and Savitaipale.
- No 374 Kalaja, Hannu: Pienpuun korjuu TT 1000 F palstahakurilla.
Harvesting small-sized trees with terrain chipper TT 1000 F.
- No 375 Metsätalastollinen vuosikirja 1977—1978.
Yearbook of Forest Statistics 1977—1978.
- No 376 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1976—78.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1976—78.
- No 377 Kärkkäinen, Matti: Koivutukkien tarkistusmittauksia.
Control measurements of birch logs.
- No 378 Mäkelä, Markku: Tilasto- ja aikatutkimustuotosten vertailua ainespuun korjuussa.
Output in harvesting of industrial wood based on statistical data or time studies.
- No 379 Velling, Pirkko: Erialaisten rauduskoivuprovenienssien alkukehityksestä taimitarhalla ja kenttäkokeissa.
Initial development of different *Betula pendula* Roth provenances in the seedling nursery and in field trials.
- No 380 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Suomen metsävarat lääneittäin 1971—1976.
Forest resources in Finland 1971—1976 by counties.
- No 381 Hyppönen, Mikko & Norokorpi, Yrjö: Lahoisuuden vaikutus puutavaran saantoon ja arvoon Peräpohjolan vanhoissa kuusikoissa.
The effect of decay on timber yield and value of the old Norway spruce stands in northern Finland.
- No 382 Paavilainen, Eero & Virtanen, Jaakko: Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä turvemaalla.
Effect of spreading method on forest fertilization results on peatlands.
- No 383 Sirén, Matti, Vuorinen, Heikki & Sauvala, Kari: Pientraktorien heilunta.
Low-frequency vibration in small tractors.
- No 384 Löytyniemi, Kari & Rousi, Matti: Lehtipuutaimistojen hyönteistuhota.
On insect damage in young deciduous stands.
- No 385 Hytönen-Kemiläinen, Riitta: Suomen sahatavaramarkkinat Länsi-Euroopassa vuosina 1950—1975 ja alueen sahatavaran kulutuksen ennustaminen.
Finland's West-European sawnwood markets 1950—1975, with an econometric model for forecasting the area's sawnwood consumption.
- No 386 Parviainen, Jari: Istuttamalla perustetun männikön, kuusikon, siperialaisen lehtikuusikon ja rauduskoivikon alkukehitys.
Early development of Scots pine, Norway spruce, Siberian larch and silver birch plantations.
- No 387 Teivainen, Terttu: Metsäpuiden taimien myyrätuhot metsänuudistusalloilla ja metsite-tyillä pelloilla Suomessa vuosina 1973—76.
Vole damage to forest tree seedlings in reforested areas and fields in Finland in the years 1973—76.
- No 388 Teivainen, Terttu, Jukola, Eeva-Liisa, Kaikusalo, Asko & Korhonen, Kyllikki: Vesimyyrän, *Arvicola terrestris* (L.), aiheuttamat metsäpuiden taimien juuristotuhot vv. 1973—76 Suomessa.
Root damage of forest tree seedlings caused by water vole, *Arvicola terrestris* (L.), in the years 1973—76 in Finland.
- No 389 Kolari, Kimmo K.: Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmio Suomessa. Kirjallisuuskatsaus.
Micro-nutrient deficiency on forest trees and dieback of Scots pine in Finland. A review.
- No 390 Kaunisto, Seppo & Metsänen, Rauni: Turpeen muokkauksen ja lannoitteiden sijoit-tamisen vaikutus männyn taimien juuriston kehitykseen tupasvillanevalla.
Effects of soil preparation and fertilizer placement on the root development of Scots pine on deep peat.