

FOLIA FORESTALIA 601

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1984

HEIKKI VEIJALAINEN
ANTTI REINIKAINEN
KIMMO K. KOLARI

METSÄPUIDEN RAVINNEPERÄINEN
KASVUHÄIRIÖ SUOMESSA

NUTRITIONAL GROWTH DISTURBANCES
OF FOREST TREES IN FINLAND



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyssönen
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Olli Kiiskinen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Seppo Oja

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

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

FOLIA FORESTALIA 601

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1984

Heikki Veijalainen, Antti Reinikainen & Kimmo K. Kolari

METSÄPUIDEN RAVINNEPERÄINEN KASVUHÄIRIÖ SUOMESSA

Kasvuhäiriöprojektin väliraportti

Nutritional growth disturbances of forest
trees in Finland
Interim report

Approved on 2.11.1984

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	5
2. KASVUHÄIRIÖN TUNTOMERKIT	6
21. Makroskooppiset tuntomerkit	6
22. Mikroskooppiset tuntomerkit	12
23. Ravinneanalyysiin perustuvat tuntomerkit	12
24. Kasvuhäiriön erottaminen muista tuhoista	12
3. KASVUHÄIRIÖN ESIINTYMISALUEET	14
4. KASVUHÄIRIÖN HAITTAVAIKUTUKSET	15
5. KASVUHÄIRIÖN SYYT	15
51. Fysiologinen taso	15
52. Anatominen taso	18
53. Ekologinen taso	18
6. KASVUHÄIRIÖ JA METSÄNPARANNUSTOIMENPITEET	27
61. Metsäojitus	27
62. Lannoitus	27
63. Metsänviljely	28
7. KOETULOKSIA KASVUHÄIRIÖN TORJUNNASTA	29
71. Torjuntakokeiden perusteet	29
72. Julkaistuja koetuloksia	29
73. Uusia koetuloksia	31
8. KASVUHÄIRIÖN TORJUNTA KÄYTÄNNÖN METSÄTALOUEDESSA	36
KIRJALLISUUS — REFERENCES	36
SUMMARY	39

VEIJALAINEN, H., REINIKAINEN, A. & KOLARI, K.K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report. *Folia For.* 601:1—41

Maassamme on arvioitu olevan kasvuhäiriöiden vaa-
vaamia, etupäässä turvemaiden nuoria mäntyvaltaisia
metsiä noin 100 000 hehtaaria. Kasvuhäiriö aiheuttaa
kasvun hidastumista, vajaantuottoisuutta sekä puiden
teknisen laadun heikkenemistä. Kasvuhäiriön syy on
usein boorin puute, jota kärjistää runsas pääravinteiden
saanti.

Kasvuhäiriötä voidaan ennalta ehkäistä välttämällä
riskialueiden ojituksia ja männyn viljelyä niillä ja tehos-
tamalla varsinkin jatkolannoitusvaiheessa lannoitustar-
peen määrittämistä. Kasvuhäiriön torjuntalannoitteeksi
soveltuvat puun tai kuoren tuhka, lannoiteboraatti sekä
booria sisältävät seoslannoitteet. Toivottua tulosta ei
kuitenkaan saavuteta, mikäli puusto on pahoin vaurioi-
tunut.

It has been estimated that there are about 100 000
hectares of young Scots pine-dominated forests,
affected by growth disturbances in Finland, mainly on
peatlands. As well as a reduction in growth, the growth
disturbance also brings about a loss in production and
a deterioration in the technical quality of the wood.
Growth disturbance is often due to boron deficiency
which is aggravated by a high uptake of macronutri-
ents.

Such growth disturbances can be prevented in
advance by avoiding the forestation of risk areas and by
more precise determination of the fertilization require-
ments, especially during the refertilization stage. The
types of fertilizer suitable for the prevention of growth
disturbances include wood or bark ash, borate fertilizer
and nutrient mixtures containing boron. However, these
measures will not be effective if the tree stand is too
seriously affected.

ODC 114.54/.58 + 181.34 + 181.65 + 424.6/.7
ISBN 951-40-0675-5
ISSN 0015-5543

Helsinki 1984. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Kun käytännön metsäojitusalueilta sekä lannoituskoekentiltä saatiin 1970-luvulle tullessa yhä enenevässä määrin tietoja metsitymisen epäonnistumisesta ja tuntemattomista kasvuhäiriöistä, oli selvää, että oli ryhdyttävä entistä tarkemmin selvittämään odottamattomien takaiskujen syitä. Vuonna 1976 perustettiin kasvuhäiriöprojekti, aluksi Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston sisäisenä tutkimushankkeena. Projektia ohjanneessa ryhmässä toimivat tuolloin prof. Olavi Huikarin ohella Antti Reinikainen ja Heikki Veijalainen.

Vuonna 1977 Metsäntutkimuslaitos asetti kasvuhäiriöprojektin, johon osallistuivat suontutkimusosaston lisäksi metsänsuojelun ja metsänarvioimisen tutkimusosastot (ks. s. 4).

Tässä työssä esitetään kasvuhäiriötutkimusten alkuvaiheen tuloksia, jotka on koottu noin 80:stä erillisestä julkaisusta, artikkelista tai opinnäytetyöstä. Osittain tämän väliraportin aineisto on ennen julkaisematonta. Tämän julkaisun käsikirjoituksesta Kimmo K. Kolari kirjoitti luvun 51 ja Antti Reinikainen pääosiltaan luvun 53. Muilta osiltaan käsikirjoitus on Heikki Veijalaisen laatima. Kä-

sikirjoituksen viimeistely suoritettiin em. tutkijoiden yhteistyönä. Sen tarkastivat Metsäntutkimuslaitoksen puolesta prof. Eero Paavilainen ja MMT Timo Kurkela sekä MMT Juhani Päivänen. Käännökset suoritti B.Sc., MMK John Derome.

Laskennassa on avustanut tutkimusmestari Raimo Mäkelä, graafisissa esityksissä Päivi Lempinen ja Anja Ripatti sekä konekirjoituksessa Maija Tuuri. Metsähallitus, Kml Tapio, Csn Skogskultur sekä monet yksityiset metsänomistajat samoin kuin Viljavuuspalvelu Oy, Kemira Oy, Opex Ky sekä Oy Keskuslaboratorio Ab ovat olleet edistämässä tutkimusta useiden metsäteollisuusyritysten (mm. A. Ahlström Oy, Kajaani Oy, Kymin-Kymmene Oy, Enso-Gutzeit Oy) ohella. Apua on saatu lisäksi Helsingin yliopiston Fysiikan laitokselta ja Oulun yliopiston Kasvitieteen laitokselta. Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö on tukenut eräiden osatutkimusten suorittamista.

Mieluisa tehtävämme on lausua kaikille projektia edistäneille parhaimmat kiitoksemme.

Helsingissä helmikuussa 1984

Heikki Veijalainen Antti Reinikainen
Kimmo K. Kolari

Kasvuhäiriöprojektin organisaatio 1976—81

Organization of the research project for growth disturbances (1976–81).

Asettaja: Metsäntutkimuslaitos (1977)

Appointed by the Finnish Forest Research Institute (1977)

Johtoryhmä — *Leading group:*

Puh.joht. —

Chairman: prof. Olavi Huikari (1976—81)

Jäsenet —

Members: prof. Tauno Kallio (1977—81)
prof. Kullervo Kuusela (1977—81)
prof. Erkki Lähde (1981)
prof. Eero Paavilainen (1980—81)

Projektin vetäjä — *Project leader:*

Heikki Veijalainen (1976—81)

Päätoimiset tutkijat — *Principal researchers:*

Kimmo K. Kolari (1976—81)
Pekka Pietiläinen (1976—81)
Hannu Raitio (1976—81)
Eira-Maija Rantala (1976—77)
Klaus Silfverberg (1977—81)
Ulla Silfverberg (1976)

Sivutoimiset tutkijat — *Collaborating researchers:*

Erkki Ahti (1976—78)

Timo Kurkela (1977—81)

Taisto Raunemaa (1979—81)

Antti Reinikainen (1976—81)

Risto Rikala (1981)

Sakari Salminen (1974—81)

Juha Samela (1979—81)

Informaatioryhmä — *Information group:*

Leo Heikurainen

Sirkka Kupila-Ahvenniemi

Esko Lehtimäki

Tapio Lehtiniemi

Juhani Päivänen

Kalevi Raitasuo

1. JOHDANTO

Maassamme ojitettiin 1960-luvulla 2 milj. hehtaaria turvemaita. Näiden ojitusten ehdittyä yli 10 vuoden ikään ilmaantui merkkejä siitä, että paikoitellen metsämaaksi oli yritetty muuttaa erityisesti männylle huonosti soveltuvia kasvupaikkoja. Joissakin viljelytämökoissa, mutta myös eräillä luontaisesti metsittyneillä alueilla todettiin puiden kasvuhäiriöitä. Ne näyttivät uhkaavan metsänparannusinvestointien kannattavuutta.

Jo suometsien lannoitustutkimuksen alkuvaiheissa oli esitetty otaksomia turvemaiden hivenravinnevarojen riittämättömyydestä (Lukkala 1955). Peltomailta hivenainepuutoksia tunnettiin jo tuolloin. Myöhemmin Kurki (1972) on osoittanut niitä laajan maanalyyssiaineiston perusteella. Varhaiset hivenlannoituskokeet jäivät kuitenkin suomesissä tuloksettomiksi. Metsänlannoituskokeilla suoritetuissa puuteoiretutkimuksissa (Reinikainen 1968) ei havaittu hivenravinteiden puutoksia.

1970-luvun alussa kuvatun männyn kasvuhäiriön eräiden piirteiden perusteella Huikari (1974) yhdisti ilmiön muilla kasveilla tunnettuihin booripuutosoireisiin (ks. Jamaalainen 1968) ja esitti hivenpuutoshypoteesin kasvuhäiriötutkimuksen yhdeksi lähtökohdaksi ja erityisesti tuolloin aloitettujen torjuntakokeiden perustaksi. Hypoteesille alkoi kertyä empiiristä tukea, kun Veijalainen (1977) selitti Paarlahauden ym:n (1971) toteaman männyn neulasten hivenainepitoisuuksien ns. ohentumisilmiön syitä ja osoitti lannoituksen, neulasten eri syistä aiheutuneiden korkeiden pääravinnepitoisuuksien ja jopa pohjavesitason voivan säädellä neulasten booripitoisuuksia, silloin kun boorilannoitusta ei ole suoritettu. Osoitettiin myös, että boorilannoituksella booripitoisuuden aleneminen voitiin estää (Veijalainen 1977).

Kasvuhäiriötutkimusten tavoitteiksi asetettiin:

1. kuvata kasvuhäiriö ja sen kehitys sekä määrittää ne tuntomerkit, joiden perusteella kasvuhäiriö poikkeaa muista puiden latvaosien vaurioista,
2. tutkia kasvuhäiriön fysiologisia ja ekologisia syitä,
3. selvittää kasvuhäiriön yleisyys ja kuvata sen tyypillisimmät esiintymispaikat Suomessa,
4. selvittää kasvuhäiriön haittavaikutuksen suuruus puuyksilön, metsikön ja metsätalouden tasolla,
5. kehittää menetelmiä kasvuhäiriön varhaiseksi toteamiseksi,
6. selvittää metsänparannustoimenpiteiden ym. metsänhoidollisten käsittelyjen ja kasvuhäiriön välisiä syy-yhteyksiä ja
7. kehittää menetelmiä kasvuhäiriön torjumiseksi.

Suoritettu kirjallisuuden tarkastelu (Kolari 1979) paljasti, että kasvuhäiriö turvemailla oli tutkimuskohteena uusi. Runsaasti löytyi sensijaan erityyppisillä kivennäismailla ja laboratorio-olosuhteissa suoritettuja tutkimuksia. Niiden perusteella vahvistui olettamus hivenravinnepuutosten primaarisesta osuudesta kasvuhäiriön synnyssä. Tutkimuksen kestäessä on muitakin otaksomia kasvuhäiriön syistä tarkistettu. On mm. selvitetty erilaisten biottisten tautien osuutta (mm. Kurkela 1983).

Käsillä olevassa kasvuhäiriöprojektin väliraportissa luodaan katsaus tutkimustuloksiin projektin ensimmäiseltä 5-vuotiskaudelta. Luvut 53 ja 73 sisältävät pääasiassa aiemmin julkaisemattomia tuloksia.

2. KASVUHÄIRIÖN TUNTOMERKIT

21. Makroskooppiset tuntomerkit

Mänty

Männyn kasvuhäiriötä on kuvattu monissa tutkimuksissa (Huikari 1974, Veijalainen 1975, Kosonen ja Silfverberg 1976, Huikari 1977, Kolari 1977c, Raitio ja Rantala 1977, Kolari 1979, Raitio 1979, Silfverberg 1979). Männyn kasvuhäiriön fenologisen tutkimuksen (Silfverberg 1979) päätulokset olivat seuraavat: Ensimmäiset häiriön ulkoiset oireet näkyvät alkukesällä, pari viikkoa pituuskasvun alkamisen jälkeen. Ensin muodostuu normaalia lyhyempi, vajaasti kehittynyt vuosikasvain. Latvakato syntyy, kun kasvain kuivuu joko samana tai seuraavana kesänä. Tätä varhaisempi pituus- ja sädekasvun muutos ei ennakoanut kasvuhäiriön syntyä. Vain yleinen neulasmassan runsaus ja oksien

voimakas kasvu olivat kasvuhäiriöriskin varhaisia oireita (ks. myös Reinikainen ja Silfverberg 1983).

Kasvuhäiriön makroskooppisista tunteimerkeistä tärkeimmät ovat:

- 1) Apikaalidominanssin heikkeneminen. Tämä tarkoittaa latvakasvaimen jäämistä lyhyemmäksi kuin saman vuoden ylimmät sivuhaarat. Oireen aste vaihtelee lievästi kärkkasvun heikkenemisestä täydelliseen latvakasvaimen puuttumiseen (kuvat 1—2).
- 2) Latvakato. Tällöin tavallisimmin 1—2 vuoden kasvaimet puun latvasta lukien kuolevat (kuvat 3—4).

Kasvuhäiriötä edeltää puun hyvä kasvu, usein jopa poikkeava rehevyys. Pääravinnepuutosten poissulkemiseksi tämä on myös käyttökelpoinen ja välttämätön kasvuhäiriön tuntomerkki (kuva 2—3). Muita kasvuhäiriön esioireita ovat lisääntynyt oksien määrä oksakiehkuroissa ja pystyoksien (kuva 5) esiin-



Kuva 1. Kasvuhäiriön alkuvaihe nuorella istutusmännyllä. Tyypillistä on apikaalidominanssin menetys ja runsas sivusilmujen puhkeaminen.

Fig. 1. The initial phase of growth disorder in a young pine. Notice the loss of apical dominance and abundant lateral buds.

tyminen. Latvakadon puhkeamisvuonna kasvuhäiriötä sanotaan akuutiksi. Latvakatojen toistussa syntyy krooninen kasvuhäiriö. Tässä tilassa puu pyrkii muodostamaan sivukasvaimista korvaavia latvoja tuhoutuneiden tilalle.

Krooninen kasvuhäiriöpuu kehittyy monilataivaiseksi, tyvekkääksi ja usein myös tanakakaoksaiseksi (kuvat 6—8). Tässä tilassa mänty on altis lumi-, sien- ja hyönteistuhoilille.

Akuuttiin kasvuhäiriöön ja usein myös esi-oireiden yhteyteen kuuluu tiettyjä kasvun poikkeavuuksia ja epämuodostumia, joista ovat tavallisimpia seuraavat:

- ylimääräiset sivusilmut, jotka puhkeavat joskus normaalien sivusilmujen alapuolelta (kuva 1)
- 2-4-halkihaaraiset, joskus laakautuneet latvakasvaimet joissakin puissa (kuva 9)
- vinot latvasilmut (kuva 10)
- neulasten kierteisyys ym. epämuodostumat: usein epäsäännöllisen pituisia, lyhyitä, paksuja, sirppimäisiä tai kiertyneitä neulasia
- tupsukasvaimet, joita syntyy pituuskasvun estyessä (kuva 2)
- ”rotanhäntäkasvaimet” (neulaset versonmyötäisiä, lyhyempiä latvakasvaimen kärkiosassa) (kuva 3)



Kuva 2. Riukuasteen männyllä tavataan äkillistä kasvun loppumista ja latvakasvaimen haarautumista.
Fig. 2. Cessation of height growth and forking of the top at the pole stage.

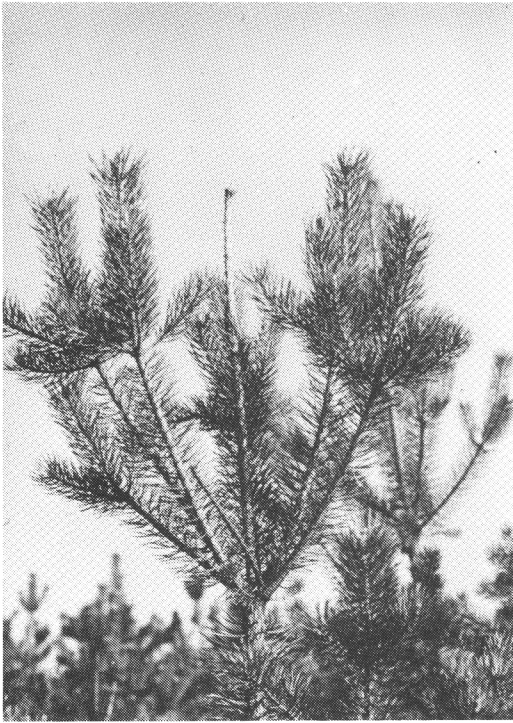
Monet näistä oireista toistuvat kroonisessa vaiheessa, jota voi jatkua kymmeniä vuosia. Pitkäaikainen häiriö johtaa puun tyvekkyyteen ja tasalataivaiseen pensasmaiseen ulkoasuun (kuva 8).

Eräissä tapauksissa mänty elpyy itsestään latvakadosta. Aplikaalidominanssin menetys voi rajoittua yhteen tai muutamaankasvukauteen. Elpyvän kasvuhäiriömännyn tuntee siitä, että rungossa on yleensä mutka, jonka alapuolella näkyy tavallista suurempia tai kuolleita oksia. Joku kilpailevista oksista saa ns. ohituskasvaimen roolin, ja siitä syntyy uusi latva. Se korvaa kuolleen tai kehittymättä jääneen latvan ja voi kehittyä normaalin näköiseksi latvaksi (kuva 11b). Kasvuhäiriö voi uusiutua ohituskasvaimessa, jolloin elpyminen hyvinkin alun jälkeen saattaa loppua.

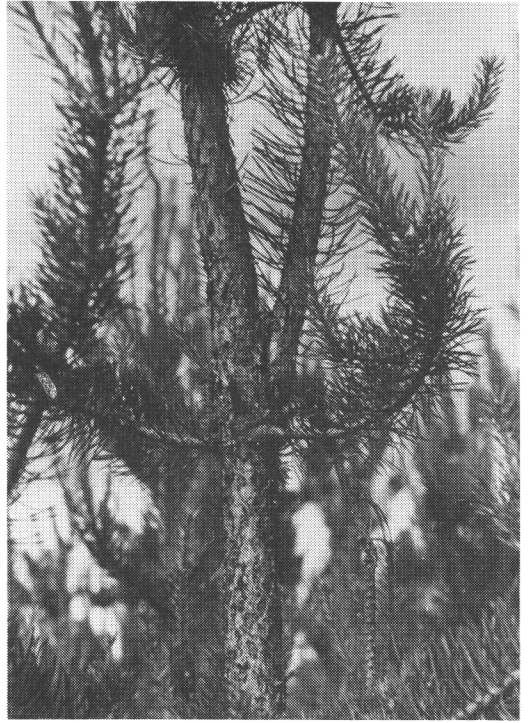
Männyn kasvuhäiriötä on luokiteltu useilla harkinnanvaraisilla menetelmillä. Luontevalta ja suositeltavimmalta näyttää seuraava, häiriön kehitysvaiheisiin pohjautuva luokittelu:



Kuva 3. Tyypillinen alkava latvakato aiemmin erittäin hyvin kasvaneessa männyssä.
Fig. 3. Die-back of the apical shoot is often the first visible symptom in pines which have earlier had a good growth rate.



Kuva 4. Latvakatoa seuraavana vuonna oksat kohenevat tavoittelemaan latvan asemaa.
Fig. 4. On year later the branches bend upwards.



Kuva 5. Pystyoksien esiintyminen on tavallista kasvuhäiriöalueilla.
Fig. 5. Vertical branches are common in disordered trees.



Kuva 6. Kuusi vuotta vanha latvakato, ns. krooninen kasvuhäiriö. Pituuskasvussa tappio on 2—3 metriä
Fig. 6. A chronic growth disorder after 6 years, the loss in height growth is 2–3 m.



Kuva 7. Krooninen latvakato monen korjausyrityksen jälkeen. Huomaa erittäin tyvекäs runko.

Fig. 7. A chronic growth disorder after many unsuccessful attempts to recover. Notice the thick stem.

- 1) Terveennäköinen puu
- 2) Alkava tai lievä kasvuhäiriö, jossa puun latva on vielä elossa, mutta ei normaalisti kehittynyt
- 3) Akuutti kasvuhäiriö, jossa havaintovuoden latvakasvain tai päätesilmu on osittain tai kokonaan kuollut (latvakato)
- 4) Krooninen kasvuhäiriö eli toistunut latvakato
- 5) Puu kuollut kasvuhäiriöön tai sen seurannaisvaikutuksiin
- 6) Elpyvä puu (ohituskasvaimet terveet)
- 7) Elpynyt puu. Vain merkkejä vanhoista latvan menetyksistä, ohituskasvain on täysin korvannut kuolleen latvakasvaimen.

Männyn kasvuhäiriön tyyppejä oireita tunnetaan myös taimitarhataimilla. Luonteenomaista on kärkikasvupisteen kuoleminen, sitä seuraava uusien silmujen puhkeaminen, monihaaraisuus ja taimien yleinen rehevyys (Raitio 1980).

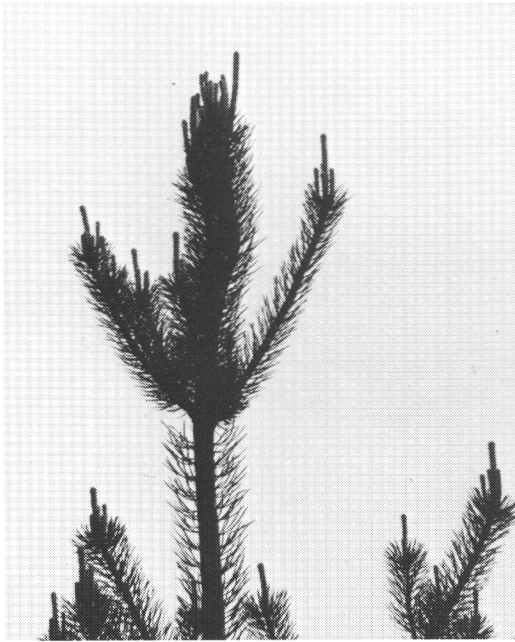
Kuusi

Kuusen kasvuhäiriötä on kuvattu kahdessa erillistutkimuksessa (Veijalainen 1974, Silfverberg 1980). Kuusen ja männyn kasvuhäiriön peruspiirteet ovat samat. Kuusen kasvuhäiriössä apikaalidominanssin menetyksen ja latvakadon ohella krooniselle kasvu-



Kuva 8. Entiselle laidunmaalle syntynyt kasvuhäiriömetsikkö. Myös pajut ja koivut ovat osittain kuivalatvaisia.

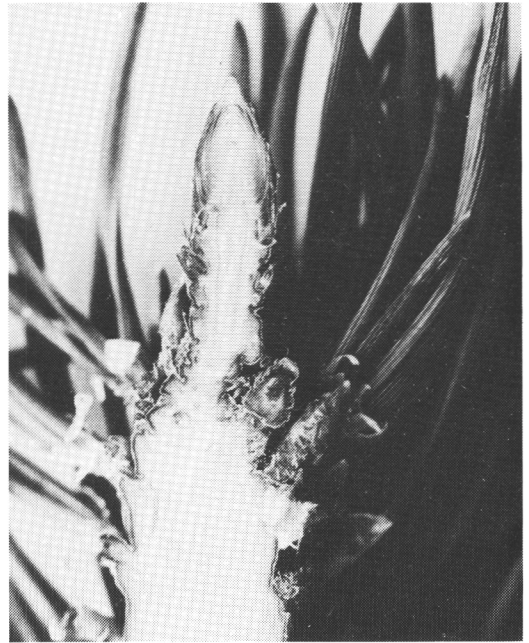
Fig. 8. Growth disorder stand on former grazing land. Betula- and Salix also show dieback symptoms.



Kuva 9. Pahimmilla kasvuhäiriöalueilla esiintyy joskus sekä männyllä että kuusella latvakasvainten laakautumista.

Fig. 9. Fasciation of apical shoots in pine and spruce have occasionally been observed on the severe growth disturbance areas.

häiriölle on tunnusomaista latvuksen kulmikas ulkonäkö (kuva 12), joka erottaa kasvuhäiriökuuset kartiomaisista tai pallomaisista hallavaurioista kärsineistä kuusista. Joissain tapauksissa esiintyy latvojen liikakasvun yhteydessä niiden kierteisyyttä ja mutkaisuutta sekä laakautumista ennen latvakatoa. Kuusen oksat eivät yleensä kehity yhtä tanakoiksi, eikä latvan monihaarisuus ole yhtä selvä kuin männyllä. Myös kuusten on havaittu joskus kuolevan kasvuhäiriön jälkitilassa. Kuusen ohituskasvain jättää yleensä runkoon pienemmän mutkan kuin männyn vastaavassa elpymistapahtumassa on tavallista. Kuusen kasvuhäiriöalueen tunnistaminen voi tapahtua epäsuorasti saman kasvupaikan kasvuhäiriömäntyjen perusteella. Havainto on varmistettavissa myös neulasanalyysin avulla (Silfverberg 1980).

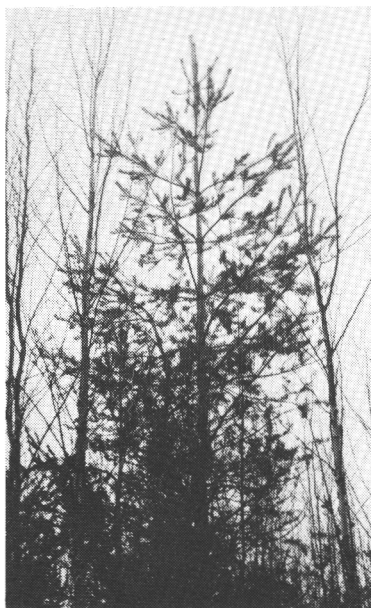


Kuva 10. Vino latvasilmu ennustaa latvakadon syntymistä.

Fig. 10. An oblique apical bud may precede visible symptoms of growth disorder.

Lehtipuut

Kasvuhäiriölle ominaista latvakatoa ja pensastumista on todettu myös hies- ja rauduskoivulla, harvoin haavalla tai lepillä. Hieskoivulla kasvupisteiden ja kasvainten toistuva kuoleminen, jota usein esiintyy koko latvuksen yläosassa, johtaa tasalataiseen, luutamaiseen ulkoasuun. Tällaista oireistoa tavataan ojitusalueilla yleisesti männyn kasvuhäiriön rinnalla. Näyttää siltä, että riskialtiilla kasvupaikoilla kaikilla puilla on taipumus latvakatoihin seurauksineen (Huikari 1977). Rauduskoivun kasvuhäiriöstä, joka edustaa tiettyä erikoistapausta, Raitio (1982) on antanut seuraavan kuvauksen: ”Rauduskoivun kasvuhäiriöille oli tunnusomaista toistuvista latvojen kuolemista aiheutuva latvuksen pensastuminen.” (kuva 13) ”Lehdet olivat muodoltaan ja kooltaan vaihtelevia, kupruilevia, kuppimaisia ja alapinnaltaan rakkomaisia. Lehdet kellastuivat vähitellen ja ilmeni reunanekroosia. Pahimmissa tapauksissa puut olivat kuolleet pensasmaisina.”



Kuva 11. a. Kasvuhäiriön ja sienitautien runtelema mänty v. 1974 (ennen lannoitusta). b. Sama puu vuonna 1982, kahdeksan kasvukautta NPKB-lannoituksen jälkeen. Vuotuinen kasvu noin 55 cm.

Fig. 11. a. A disordered sample pine in 1974 with secondary fungal diseases. b. The same pine in 1982, 8 growing seasons after NPKB-fertilization, current height growth 55 cm/yr.



Kuva 12. Krooninen kuusen kasvuhäiriö erittäin rehevällä kasvupaikalla.

Fig. 12. A chronic disorder in spruce on a very luxuriant site.



Kuva 13. Krooninen koivun kasvuhäiriö turvemaalla

Fig. 13. A chronic stage of growth disorder in birch on drained peatland.

Oireiston tulkinta

Melkein kaikki boorin puutteelle ominaiset makroskooppiset oireet löytyivät kasvuhäiriöpuista (Kolari 1979). Lisäksi niissä havaittiin muidenkin hivenravinteiden puutostiloihin liittyviä osaoireita. Varsinkin kirjallisuudessa kuvatuissa kuparin, mangaanin ja sinkin puuteoireistoissa oli joitakin yhtäläisyyksiä kasvuhäiriöön. Rauta ja molybdeeni eivät puuteoireiden perusteella näyttäneet olevan kasvuhäiriön aiheuttajia. Monioireisenä kasvuhäiriö voi olla yhteydessä usean hivenravinteiden samanaikaiseen puutokseen.

22. Mikroskooppiset tuntomerkit

Kasvuhäiriön ulkoiseen oireistoon kuuluvat monet rakennevauriot antoivat aiheen selvittää versojen ja juurten sisäarakenteen muutoksia. Niiden tuntemista pidettiin tärkeänä myös ilmiön aineenvaihdunnallisten syiden jäljittämisen kannalta. Oletettiin myös, että anatomiset vauriot voivat ilmetä ennen ulkoisten oireiden puhkeamista, jolloin niitä voitaisiin käyttää häiriörisikin ennustamiseen. Mikroskooppisissa tutkimuksissa (Raitio ja Rantala 1977, Kolari ym. 1977) todettiin männyllä mm. seuraavia sisäisiä oireita:

- silmujen onteloitumista ja kärkekasvusolukon kuolemista, joka usein ulottuu kasvaimen ytimeen
- versojen ydinsolukoiden solujen liikakasvua, kuolemista ja näin syntyvää onteloitumista
- neulasten tukisolukoiden solujen ohutseinäisyyttä, puutumattomuutta, liikakasvua ja onteloiden muodostumista neulasten keskiosan tukisolukkoon
- neulasten johtojänteiden epämudostumia kuten solujen liikakasvua ja kasaanpuristumista
- ylimääräisiä johtojänteitä neulasissa
- juurien keskuslieriön solujen liikakasvua ja onteloitumista

Silmujen, neulasten ja juurien solukoiden onteloiden ja liikakasvun arvioitiin aiheuttavan vaikeuksia ravinteiden ja aineenvaihdun-
tatuotteiden kuljetukselle.

Kuusen kasvuhäiriötutkimuksessa, jossa tutkittiin 35 kohdetta, ei ontelomuodostusta neulasissa todettu (Silfverberg 1980). Rauduskoivun kasvuhäiriöön liittyy koivun lehtien hohkatylppysolukon onteloituminen lehtisuonten ympäristössä (Raitio 1982). Löydetyt mikroskooppiset oireet esiintyvät usein boorinpuutostapauksia kuvattaessa myös ulkomaisessa kirjallisuudessa monilla eri puulajeilla (Kolari 1977a—c ja 1979).

Pääravinneanalyysin vaikutuksesta männyn neulasten anatomiaan Raitio (1981) toteasi: ”Männyn neulasten anatomiset fosforin- ja kalinpuutosoireet olivat samanlaisia kuin aikaisemmin hivenravinnepuutoksiin kytkeytyt kasvuhäiriöiden mikroskooppiset oireet”. Täten kasvuhäiriön mikroskooppisiin oireisiin on toistaiseksi syytä suhtautua varauksin.

23. Ravinneanalyysiin perustuvat tuntomerkit

Kasvuhäiriön syiden neulasanalyytisissä tutkimuksissa on todettu, että saatua ravinekuvaa voidaan käyttää häiriön tuntomerkinä. Ts. oireiston antama kuva voidaan neulasanalyytisesti varmistaa. Ulkonaisesti oireettomassakin tilanteessa neulasten ravinnetila paljastaa häiriörisikin. Kasvuhäiriömännylle ovat ominaisia neulasten korkeat pääravinnepitoisuudet ($N \geq 1,7 \%$, $P \geq 0,18 \%$, $K \geq 0,5 \%$) ja puuterajan alittavat tai tuntu-
massa olevat booripitoisuudet ($B < 7,0$ ppm) (Reinikainen ja Veijalainen 1983).

Kuusella selvin kasvuhäiriölle tyypillinen piirre oli alhainen booripitoisuus ($< 6-8$ ppm), joka todettiin myös varmaksi erottavaksi tuntomerkitseksi kasvuhäiriön ja halla-
vaurioiden välille (Silfverberg 1980).

24. Kasvuhäiriön erottaminen muista tuhoista

Kasvuhäiriö jouduttiin aluksi määrittelemään tuntemattomasta syystä aiheutuneeksi latvatuhojen ryhmäksi. Täten oli tärkeää selvittää, miten kasvuhäiriöt erosivat tavallisimmista samantapaisista puustotuhoista. Käytännössä tämä tapahtui käyttämällä kasvitauteja ja ravinnepuutosoireiden asiantuntijoita ja heidän julkaisujaan apuna. Vasta sen jälkeen suoritettiin varsinainen kasvuhäiriön tuntomerkkien seulonta, kuten edellä on esitetty.

Seuraavassa esitetään lyhyesti sellaiset latvatuhot, joita kasvuhäiriö eniten muistuttaa. Näiden tuhojen tunnistaminen on välttämätöntä ennenkuin voidaan arvioida ravinneperäisen kasvuhäiriön laajuutta, sen haitta-asteen suuruutta ja torjuntamahdollisuuksia.

Kasvuhäiriö on erotettavissa *mäntypistiäis-*tuhoista, joissa näkyy aina neulasten määrän

selvää vähenemistä, ja syötyjen neulasten kannat ovat nähtävissä vielä pitkään tuhon jälkeen. Mäntypistiäislajit eivät tavallisesti myöskään vahingoita silmuja (ks. Juutinen 1976).

Punalatikan runsas esiintyminen voi johtaa männyn latvan tai koko puun kuolemiseen. Kasvuhäiriössä latvakato syntyy hyväkasvuisiin puihin, kun taas punalattikatuhossa latvan kuolemista edeltää hidastuneen kasvun vaihe, jonka seurauksena myös oksat jäävät heikkokasvuiseksi ja latva kartiomaiseksi. Lannoitetuissa metsissä oireet voivat jäädä huomaamattomiksi (Heliövaara ym. 1983).

Ytimennävertäjän jäljiltä männyn latva saa tyypillisen terävän muodon. Syynä on se, että ytimennävertäjät eivät yleensä kykene voittamaan latvaversoa (Annala 1976). Kasvuhäiriössä puun latva tasoittuu tai pyöristyy. Pahoin kasvuhäiriön vahingoittamista männiköistä voi tulla soveliaita ytimennävertäjien lisääntymispaikkoja.

Myös *pikikärsäkkäät* voivat iskeytyä kasvuhäiriön heikentämiin puihin ja jouduttaa niiden kuolemista. Toisinaan kasvuhäiriötä esiintyy saman alueen eri puolajeissa, mikä epäsuorasti osoittaa, ettei kyseessä ole hyönteistuhoh.

Sienituhot ovat kasvuhäiriöalueilla yleisiä ja vaikuttavat puiden ulkoasuun ja häiriön tunnistettavuuteen. *Versosyöpä* tappaa nuoria versoja ja varttuneissa puustoissa myös alaoksia. Oksien kautta runkoon kasvanut sienirihmasto aiheuttaa siinä koroja. Lisäksi vaurioita useimmiten esiintyy koko latvuksen pituudelta. Kasvuhäiriöpuiden pitkäoksisuudesta aiheutuvat lumituhot lisännevät versosyöpätuhoja (Kurkela 1981). *Männyn lumikariste* (ks. Kurkela 1965) ja *harmaakariste* esiintyvät usein kasvuhäiriöalueilla, ja varsinkin harmaakaristetta on todettu myös pahoin voittuneissa kasvuhäiriömetseissä.

Kuolleiden kasvainten mutkaisuus ja sienien itiöpesäkkeiden jättämät arvet (Kurkela 1976a) erottavat männyn versoruosteen kasvuhäiriöstä. *Tervasros* aiheuttaa suurissa männnyissä latvakatoa. Mustapintainen koro on helppo tuntomerkki. Nuoria männyn tai-

mia tervasros voi tappaa kokonaan. *Kuusen tuomiruosteen* aiheuttama latvakato on männyn versoruostetta muistuttava sienituhoh. Helmi-itiöpesäkkeet uusimmissa versoissa paljastavat ruostesienen taudinaiheuttajaksi (Kurkela 1976b). Niiden kohdalla kuori tummentuu ja halkeilee.

Sienien ja kasvuhäiriön yhtäaikainen esiintyminen on mahdollista (esim. Kurkela ja Jalkanen 1980, Kurkela 1981), varsinkin jos molempien esiintymiselle löytyy yhteinen taustatekijä, esim. puille sopimattomat ravintosuhteet tai maaperän kosteusolot.

Patogeenisten bakteerien ja virusten mahdollista osuutta kasvuhäiriöön on tutkittu vasta alustavasti. Ensimmäisessä aihepiiriä käsittelevässä tutkimuksessa löytyi viroottisia oireita ja viruksen kaltaisia partikkeleja sekä kasvuhäiriöisistä että lievästi saastevaurioituneista havupuista (Soikkeli 1983).

Pääravinteiden (N, P, K) puutostiloista seuraa heikko kasvu ja neulasten tyypillisiä värioireita (ks. Reinikainen 1967, 1968). Näiden seikkojen perusteella ne myös latvakatoja aiheuttaessaan ovat maastossakin erotettavissa kasvuhäiriöistä.

Korkean pohjaveden ja kuivuuden osuutta kasvuhäiriön syntyyn on toistaiseksi tutkittu vain vähän. On ilmeistä, että pieni osa tunnetuista kasvuhäiriöesiintymistä voi olla syyskesällä esiintyneiden tulvien seurausta. Ulkonäön perusteella tulva-alueiden puita on vaikeaa erottaa muista kasvuhäiriön vaivaimista puista.

Havupuidemme *pakkas-* ja *hallavaurioita* ovat kuvanneet turvemailta mm. Reinikainen (1967), Koskela (1970) ja Silfverberg (1980). Männyllä nämä tuhot liittyvät usein fosforin puutteeseen ja kuusella nähdään tyypillisiä taipuneita, usein kärjestään kuivuneita versoja. Nykyisen käsityksen mukaan halla ja pakkasen voivat edistää kasvuhäiriön ulkoisten oireiden ilmaantumista jopa männnyllä, jota pidetään hyvinkin kylmänkestävänä puulajina. Pelkästään pakkasen ja hallan ei katsota voivan aiheuttaa sellaista kärkisilmujen tuhoutumista, mikä on tyypillistä kasvu-
häiriöpuille.

3. KASVUHÄIRIÖN ESIINTYMISALUEET

Vuoteen 1976 mennessä oli kertynyt useita kymmeniä kasvuhäiriöhavaintoja. Tällöin tehtiin selvitys häiriön levinneisyydestä kyselynä käytännön metsätalouden paikallis- ja kenttäorganisaatioihin. Postitettuihin 522 lomakkeeseen saatiin 452 vastausta eli 86,6 %. Kasvuhäiriöhavaintoja kertyi 283 kappaletta 130:sta kunnasta. Esiintymät voitiin luokitella tietyn karkeahkon kasvupaikkajaon ja metsikkötunnusten mukaisesti. Sittemmin laajimmat kasvuhäiriöesiintymät tarkistettiin. Vain muutama niistä osoittautui muuksi tuhoksi kuin kasvuhäiriöksi.

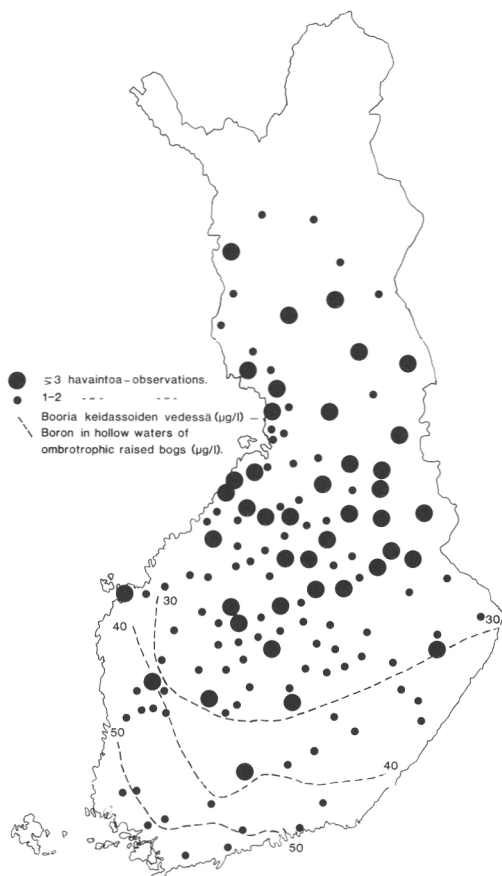
Kasvuhäiriöalueista yli 75 % oli turvemaila. Kasvuhäiriön vaivaamat ojitetut rämeet olivat ravinteisuusluokaltaan varsin viljavia: suursaraisia (18,6 %), ruohoisia (7,0 %) tai lettoisia (9,3 %). Jälkitarkastuksissa on ilmennyt, että myös ilmoitetuilla piensaraisilla (29,1 %) ja tupasvillaisilla rämeillä (32,5 %) kasvuhäiriö esiintyi lähes aina päätyyppiä ravinteikkaammissa painanteissa tai osakuvioissa. Myös lähes kaikki nevaksi tai korkeksi luokitellut kasvupaikat (34 kpl) olivat ravinteisuusasteikon yläpäästä.

Tutkimuksen mukaan 85 % kasvuhäiriöalueista oli joskus lannoitettu.

Kasvuhäiriöalueista oli 66,8 % mäntyvaltaisia, 15,3 % kuusivaltaisia ja 3,7 % koivuvaltaisia. Enemmistö (65 %) kuusivaltaisista kasvuhäiriöalueista oli kivennäismaalla. Kasvuhäiriö todettiin nuorten metsien ongelmaksi, sillä yli 8-metriseksi kasvuhäiriöpuusto ilmoitettiin vain 20 %:ssa tapauksista. Usein juuri kasvuhäiriö näytti pysäyttäneen pituuskehityksen 3—8 metrin välille (Veijalainen 1978b).

Vuoden 1981 loppuun mennessä turvemaiden mäntypuustoista oli kertynyt yli 400 kasvuhäiriöhavaintoa. On arvioitu, että kasvuhäiriöitä on turvemailloja noin 100 000 ha, mikä on noin 2 % ojitettujen soiden kokoi-

naispinta-alasta (Veijalainen 1983). Eniten kasvuhäiriöitä on havaittu esiintyvän maan keskiosissa, Pori—Joensuu-linjan pohjoispuolella (kuva 14).

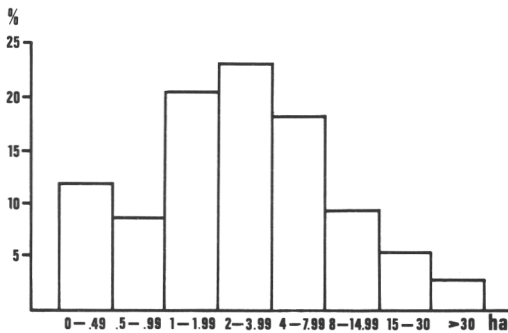


Kuva 14. Tiedusteluissa 1976 ilmoitetut ja vuoteen 1981 mennessä tietoon tulleet männyn kasvuhäiriöalueet.
Fig. 14. Distribution of growth disturbance areas in pine stands (1976–81).

4. KASVUHÄIRIÖN HAITTAVAIKUTUKSET

Kasvuhäiriöpinta-alojen perusteella arvioituna kasvuhäiriön haittavaikutus koko metsätaloudessamme on toistaiseksi jokseenkin vähäinen. Kasvuhäiriön on pelätty lisääntyvän 1960- ja 1970-lukujen laajojen ojitus- ja lannoitusalueiden puustojen saavuttaessa riski-ään (Huikari 1974).

Yksittäisten kasvuhäiriöalueiden pinta-alat ovat yleisimmin 1—8 hehtaaria (kuva 15). Yli



Kuva 15. Yksittäisen kasvuhäiriöalueen pinta-ala on tavallisimmin 1—8 hehtaaria.

Fig. 15. The size of a single growth disturbance area varies in most cases by 1—8 hectares.

30 hehtaarin kasvuhäiriöalueita on ilmoitettu vain 15 kappaletta ja yli sadan hehtaarin laajuisia esiintymiä tunnetaan vain kahdeksan (Veijalainen 1978b).

Paikoin kasvuhäiriöt ovat vähentäneet metsänparannusinvestointien kannattavuutta aiheuttamalla puuston vajaatuoittoisuutta.

Puuyksilöiden tasolla männyn kasvuhäiriö on osoittautunut eräänlaiseksi ”liikalihavuus-ilmiöksi” (Reinikainen ja Silfverberg 1983). Häiriön ilmestymistä edeltää voimakas puun biomassan tuotanto. Häiriöalueiden mäntyjen runko on tyvekäs, mikä aiheutuu puun pituuskasvun taantumisesta paksuuskasvun pysyessä ainakin aluksi hyvänä. Latvakato kärjistää tilannetta. Oksien ja neulasten biomassa on poikkeuksellisen runsas suhteessa runkopuun määrään. Kasvuhäiriö aiheuttaa täten kasvun suuntautumista oksiin ja neulaasiin. Tappioita syntyy puiden kuolemista, rungon pituuskasvun tyrehtymisestä ja mutkan tai rungon haarautuman jäämisestä tyvitukkiin. Voimakas oksien kehitys on puun teknisen laadun kannalta kielteinen ilmiö. Kasvuhäiriö ei puun eläessä muuta runkopuun arvoa selluloosan raaka-aineena (Janson 1975). Vain osasta kasvuhäiriön kuolleista puista saadaan ainespuuta.

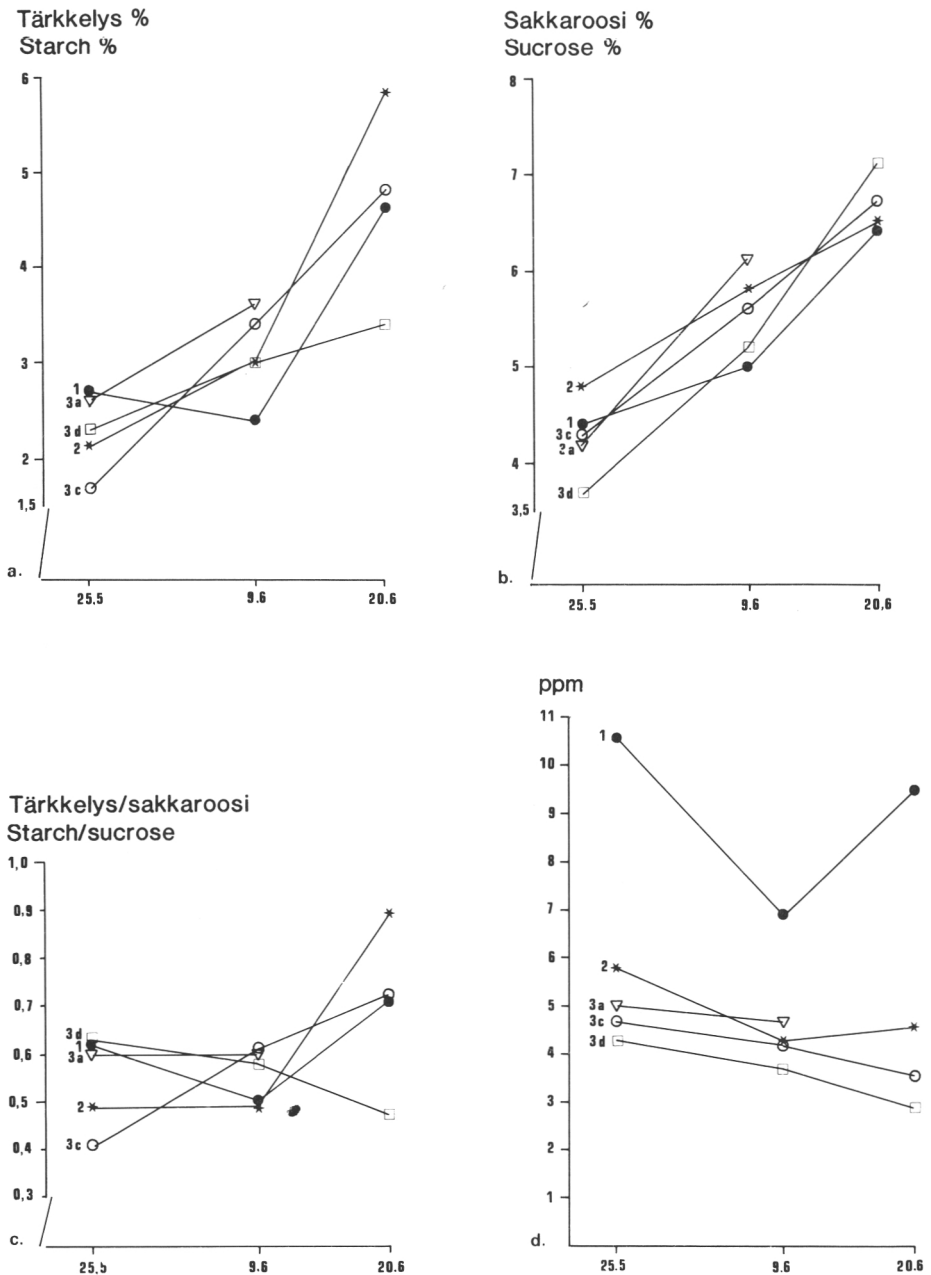
5. KASVUHÄIRIÖN SYYT

51. Fysiologinen taso

Kasvuhäiriön syitä tarkasteltiin mm. Busslerin (1974) esittämän mallin avulla. Tämän hypoteesin mukaan jonkin tekijän tai tekijäryhmän optimista poikkeava tila saa aikaan aineenvaihdunnallisen kriisin, joka johtaa vajavuuteen solu- ja solukkorakenteiden kehityksessä, mikä taas aiheuttaa kasvussa ja kehityksessä näkyvän häiriön. Syyketju sisältää näin ollen ekologisen, fysiologisen ja ana-

tomisen tason. Koska kriisin perimmäinen syy kasvussa on aineenvaihdunnallinen, fysiologinen taso on valittu tarkastelun lähtökohdaksi.

Hivenravinteet kuten boori, kupari, mangaani, molybdeeni, rauta ja sinkki ovat puun kasvuun ja kehitykselle välttämättömiä. Eri tekijöistä aiheutuvat muutokset tai häiriöt puun hivenravinnetaloudessa, kuten hivenravinteiden pitoisuuksissa tai niiden ja pääravinteiden (N, P, K, Ca, Mg) välisissä



Kuva 16. Männun latvakasvainten 1-vuotiaiden neulasten tärkkelyspitoisuus (a), sakkaroosipitoisuus (b), tärkkelys-sakkaroosisuhde (c) ja booripitoisuus (d) Leivonmäen Kivisuolla 1978. 1 = lannoittamattomat vertailupuut, 2 = NPK-lannoitetun kasvuhäiriökoelan terveennäköiset puut, 3 = kasvuhäiriöpuut: (3a) latvakasvain sivukasvaimia lyhyempi, (3c) latvakasvaimen kärki kuollut, (3d) latvakasvaimissa silmuhäiriöitä.

Fig. 16. Starch content of 1-year-old pine needles (a) sucrose content (b) starch/sucrose-ratio (c) and boron concentration (d) at Kivisuo, Leivonmäki, 1978. 1 = unfertilized control trees, 2 = healthy looking trees in disturbed stands with NPK fertilization, 3 = trees with growth disturbances: 3a = apical shoot shorter than lateral shoots, 3c = tip die-back in apical shoot, 3d = irregular buds in terminal shoots.

suhteissa, voivat saada aikaan hivenravinteen puutostilan. Tällöin puute ilmenee aluksi tiettyinä biokemiallisena muutoksena ts. häiriönä solujen aineenvaihdunnassa.

Kirjallisuuskatsausten perusteella (Kolari 1977a, b) päädyttiin seuraavien puiden aineenvaihduntaan liittyvien osatapahtumien tutkimiseen: 1) hiilihydraattiaineenvaihdunta (mono-, oligo- ja polysakkaridisuhteet, pentosifosfaattihapetus); 2) sekundäärinen aineenvaihdunta (aromaattiset aminohapot, fenolijohdannaiset, kasvuhormonit); 3) rasvahappoaineenvaihdunta (fosfolipidit). Vain osa suunnitelluista tutkimuksista on voitu toistaiseksi toteuttaa.

Hiilihydraattiaineenvaihdunta

Boorin puutostilassa kasvien lehtiin kasaantuu tärkkelystä (McIlrath ja Palser 1956, Lee ja Arnoff 1966, Augusten ja Eichhorn 1976). Jos kasvuhäiriön syy on boorin puute, pitäisi myös kasvuhäiriömäntyjen neulasissa tärkkelyspitoisuuden ja tärkkelys-sakkarosisuhteen olla suurempi kuin terveiden mäntyjen neulasissa. Tämän oletuksen testaamiseksi kerättiin boorinpuutealueeksi osoitetulta Leivonmäen Kivisuolta männyn latvakasvainten neulasia (22. 5., 9.6. ja 20.6. 1978) NPK-lannoitetuilta koealoilta eri häiriöasteisista sekä terveennäköisistä männysistä. Toinen vertailumateriaali kerättiin saman suon lannoittamattomilta alueilta, joissa kasvuhäiriöitä ei esiintynyt. Neulasnäytteistä analysoitiin tärkkelys- ja sakkarosisuhteiden lisäksi niiden kokonaisbooripitoisuudet standardimenetelmän Viljavuuspalvelu Oy:ssä.

Koepuiden neulasissa sekä tärkkelys- että sakkarosisuhteet kohosivat tutkimusjakson aikana lukuunottamatta lannoittamattomia vertailupuuta, joilla tärkkelyspitoisuus oli tutkimusjakson puolivälissä (9.6.) alhaisin. Yhtenäkkään näytteenottoajankohtana sakkarosisuhteet eivät eronneet toisistaan merkittävästi eri kasvuhäiriöluokkien välillä. Tärkkelyspitoisuudessa sekä tärkkelys-sakkarosisuhteessa erot olivat merkittäviä jakson lopulla (20.6.). Ne olivat suurimmat kasvuhäiriökoealojen terveennäköisten ja latvasilmuhäiriöisten puiden välillä (kuvat 16a—c).

Neulasten booripitoisuudet alenivat tutkimusjakson aikana kaikissa puissa. Vain

vertailupuissa booripitoisuus kääntyi nousuun jakson lopussa. NPK-lannoitetuilla koealoilla booripitoisuudet olivat koko ajan erittäin merkittävästi alemmat kuin lannoittamattomilla koealoilla (kuva 16 d). Kasvuhäiriöalueen terveennäköisten puiden tutkimusjakson lopun (20.6.) suurempi neulasten tärkkelyspitoisuus ja tärkkelys/sakkarosisuhde (ks. Ericsson 1979) lannoittamattomiin vertailupuihin ja muihin kasvuhäiriöluokkiin verrattuna viittasi fysiologiseen boorin puutteeseen erityisesti tässä puuluokassa.

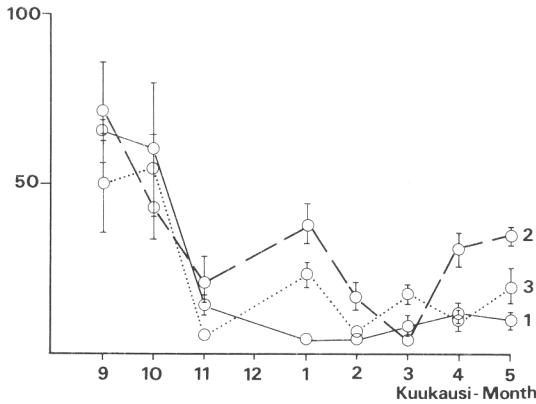
Sekundäärinen aineenvaihdunta

Teorian mukaan boori vaikuttaa kasvuselokoiden hiilihydraattiaineenvaihdunnassa glukoosin käyttöön (hapetukseen) glykolyysin ja PP-tien välillä säätelemällä välillisesti 6-P-glukonaatti-dehydrogenaasi-entsyymin toimintaa. Boorin puutostilassa booria ei sitoudu solun aineenvaihduntatarpeisiin nähden riittävästi entsyymin substraattiin (6-P-glukonaatti), jolloin tämä hapettava dehydrogenaasi toimii ilman boorin välillistä säätelyvaikutusta. Boorin puutteen tulisi siis näkyä dehydrogenaasientsyymin normaalia suurempana aktiivisuutena kasvuselukoissa mahdollisesti myös puiden lepokauden aikana (Lee ja Aronoff 1967, Shkolnik ja Ilinskaja 1975).

Pietiläinen (1979, 1983) tarkasteli kasvuhäiriömäntyjen aineenvaihduntaa em. teorian pohjalta. Aineisto sisälsi näytteet tuhkanlannoitetulta (terveet) ja NPK-lannoitetuilta koealoilta (terveennäköiset ja kasvuhäiriöiset) Muhokselta.

Koepuiden latvasilmu-uutteista määritettiin 6-P-glukonaatti-dehydrogenaasin aktiivisuus sekä tutkittiin boorin lisäyksen vaikutusta tämän entsyymin aktiivisuuteen silmuuutteissa. Entsyymin aktiivisuus aleni kaikilla puilla jyrkästi lokakuussa lepokauteen siirryttäessä (kuva 17). Aktiivisuus pysyi terveillä puilla alhaisena koko lepokauden ja kohosi hiukan maaliskuussa. Muilla puuryhmillä esiintyi talven aikana aktiivisuuden vaihtelua, mm. tammikuussa erot olivat selviä. Myös huhtikuussa olivat latvasilmujen dehydrogenaasiaktiivisuudet NPK-lannoitetun kasvuhäiriöalueen terveennäköisillä puilla jokseenkin merkittävästi korkeammat kuin terveillä puilla. Lisättäessä silmu-uutteisiin booria saatiin sekä terveiden puiden että kasvuhäiriöpuiden silmu-uutteissa aikaan 6-

Optinen tiheys/h/g tp.
Optical density/h/g fw.



Kuva 17. 6-P-glukonaattidehydrogenaasin aktiivisuus männyn latvasilmu-uutteissa ilmaistuna NADPH+H⁺:n muodostumisena. 1 = tuhkalannoitetut vertailupuut, 2 = NPK-lannoitetun kasvuhäiriökoekalan terveennäköiset puut, 3 = kasvuhäiriöpuut (Pietiläinen 1979).

Fig. 17. Activity of 6-P-gluconate dehydrogenase in apical bud extracts expressed as NADPH+H⁺-production. 1 = control trees with wood ash fertilization (healthy), 2 = healthy looking trees in disturbed stands with NPK-fertilization, 3 = trees with growth disturbances. (Pietiläinen 1979).

P-glukonaatti-dehydrogenaasin toiminnan esytyminen jo 5 ppm lisäyksellä.

Kasvuhäiriöalueen terveennäköisten puiden silmu-uutteissa entsyymin toiminta estyi vasta lisättäessä booria 10 ppm. Tulokset viittasivat siihen, että erityisesti kasvuhäiriöalueen terveennäköisissä puissa esiintyi fysiologista boorin puutetta.

52. Anatominen taso

Anatomisia oireita käytettiin kasvuhäiriön syiden etsinnässä kahdella tavalla:

- 1) Etsittiin kasvuhäiriöpuista aiemmin todennettuja anatomisen tason ravinnepuuteoireita
- 2) Arvioitiin, kuinka rakenneauriot vaikuttavat esim. ravinteiden ja aineenvaihduntatuotteiden kuljetukseen ja käyttöön

Varsinaiset anatomiset tutkimukset suoritettiin Pohjois-Satakunnasta kerätyn aineiston perusteella (Raitio ja Rantala 1977). Lisäksi mikroskooppisten oireiden erillismäärittämiä tehtiin useilta koekentiltä kerätyistä neulasnäytteistä. Tärkeimmät tulokset on esitetty luvussa 22.

Anatomisten havaintojen ja ravinneanalyysien perusteella Raitio (1979) päätyi toteamaan: "Ilmeisesti riittävän pääravinnetilanteen vallitessa männyn neulasten sklerenkyymin soluseinien heikko sekundaarinen paksuuskasvu heijastaa hivenravinnetilanteen vajausta". Anatomiset oireet viittasivat boorin puutoksen mahdollisuuteen, jota hypoteesia tuki neulasten alhainen booripitoisuus (4,2 ppm) kasvuhäiriöpuissa, kun terveissä luonnontilaisen isovarpuisen rämeen männystä saatu vastaava arvo oli 12,6 ppm. Kasvuhäiriöpuut olivat kalkitulta, sittemmin metsitetyltä suopelloilta. Myös aiemmassa selvityksessä (Raitio ja Rantala 1977) pääteltiin, että kasvuhäiriö olisi hivenravinteiden puutostilan seuraus. Onteloiden muodostuminen viittasi selvimmän juuri boorin puutokseen (Reed 1947, Wallace 1961, Bussler 1964, Blaser ym. 1967, Jamalainen 1968). Ontelot syntyvät todennäköisesti ohutseinäisten solujen rikkoutuessa (ks. Stiles 1958). Mikroskooppisista oireista myös solukojen ruskeutuminen (nekroosi), solujen liikakasvu (hypertrofia) sekä tukisolukojen heikko puutuneisuus viittasivat boorin puutokseen (esim. Stone ja Baird 1956, Wallace 1961, Dutta ja McIlrath 1964, Stone ja Will 1965, vrt. kuitenkin luku 22 ja Raitio 1981).

Aineiden kuljetus neulasten johtojanteista ympäröiviin solukoihin ja päinvastoin on todennäköisesti vaikeutunut. Jonkin asteisia kuljetusvaikeuksia esiintyy johtojänneaurioiden perusteella arvioituna myös männyn juuristoissa (Raitio 1977).

53. Ekologinen taso

Kasvuhäiriön ekologisilla syillä ymmärretään kasvin ulkopuolisia, kasvupaikalla vaikuttavia abioottisia ja bioottisia tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa häiriötilan. Lähtien minimitekijäin lain (Mitscherlich 1909) mukaisesta yksittäisten tekijäin ja pienten tekijäryhmien roolista joudutaan häiriön ekologisessa kausaalianalyysissä lopulta tarkastelemaan koko kasvupaikkatekijäin kompleksia.

Ravinteiden tutkimisella on ollut päähypoteesin mukaisesti (Huikari 1974) keskeinen sijä. Tältä osin on ollut tarkoituksenmukaista täydentää myös käsillä olevaa raporttia vasta osittain aiemmin käytetyllä aineistolla (Reinikainen ja Veijalainen 1983). Kyseessä on v.

Taulukko 1. Pintaturpeen (0—10 cm) pH-arvojen ja ravinnepitoisuuksien keskiarvot luotettavuusrajoineen ($\pm S_x \cdot t_{0,05}$).

Table 1. Mean pH and nutrient content in surface peat samples (0—10 cm) and confidence limits ($\pm S_x \cdot t_{0,05}$).

Ravinne Nutrient	KH-aineisto — <i>Disturbed stands</i>		C-aineisto — <i>Healthy pine stands</i>
	Terveen näköiset <i>Healthy-looking</i>	Kasvuhäiriöiset <i>Disordered trees</i>	
pH	4,28 ± 0,09	4,33 ± 0,10	4,55 ± 0,04
N %	1,61 ± 0,28	1,62 ± 0,27	1,51 ± 0,06
P mg/l	5,35 ± 1,04	4,85 ± 0,94	4,58 ± 0,23
K mg/l	55,1 ± 8,52	52,4 ± 7,91	55,3 ± 2,66
Ca mg/l	361 ± 127	349 ± 123	518 ± 22,4
Mg mg/l	98,8 ± 4,11	91,9 ± 13,85	95,5 ± 5,48
			n = 226
Cu mg/l	2,00 ± 0,51	2,03 ± 0,43	1,62 ± 0,21
B mg/l	0,81 ± 0,09	0,73 ± 0,11	0,16 ± 0,02
Zn mg/l	4,36 ± 0,90	4,07 ± 0,96	11,2 ± 0,86
Mn mg/l	7,62 ± 1,19	7,23 ± 1,32	5,18 ± 0,81
	n = 28	n = 31	n = 66

1977 tehty 45:n kohteen otos kasvuhäiriötiestustelussa (Veijalainen 1978b) tietoon tulleilta kasvupaikoilta (62—68 °N). Se käsittää neulasanalyysit ko. metsiköiden normaaleista ja kasvuhäiriön vaurioittamista männyistä (ylin ohituskasvain) erikseen sekä turveanalyysit 0—10 cm:n kerroksesta normaalien puiden ja kasvuhäiriöpuiden juuristotilasta erikseen. Aineistoa nimitetään seuraavassa *KH-aineistoksi*. Havainnot kattavat turvemaiden kasvuhäiriökasvupaikkojen kvalitatiivista vaihtelua jokseenkin hyvin. Vertailuaineistona käytetään seuraavassa Paarlahden ym:n (1971) turvemaiden männiköiden turveja neulasanalyysiaineistoa, jota kutsutaan *C-aineistoksi*. Kuparin ja sinkin neulasanalyysiarvoille ovat Reinikainen ja Veijalainen (1983) koostaneet erikseen vastaavan vertailuaineiston. Vertailtavat satunnaisotoksiin perustuvat aineistot poikkeavat toisistaan suotyypeiltään, lannoituskäsittelyiltään, maantieteelliseltä sijainniltaan sekä jossain määrin myös puustoiltaan.

Maaperän ravinteet

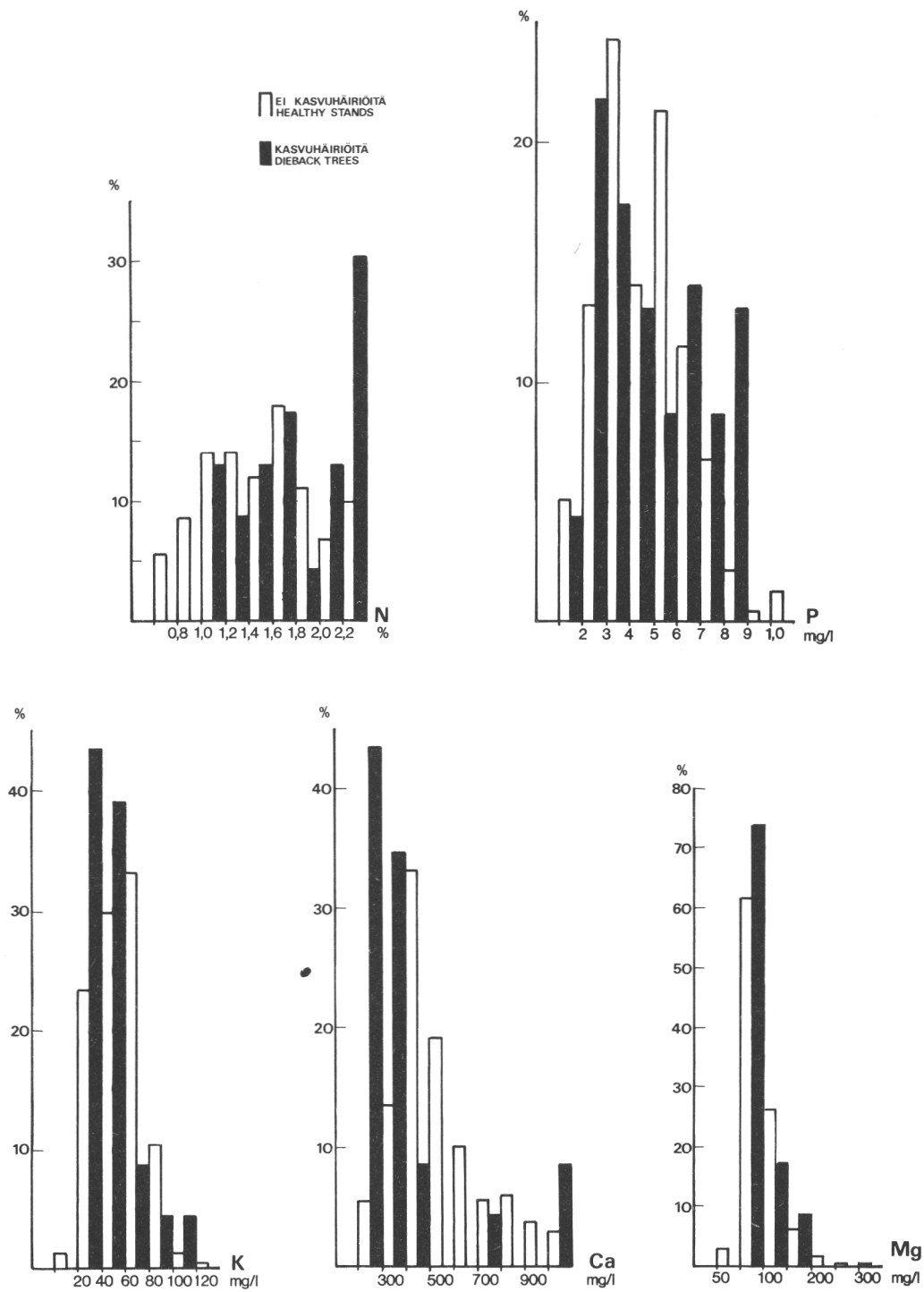
Kasvualustan ravinnetilannetta tutkittiin maa-analyysillä. Yleensä käytettiin normaalia viljavuusanalyysiä (Kurki 1972) huolimatta analyysien tulokinnassa aiemmin ilmenneistä vaikeuksista (Paarlahti ym. 1971).

Männyn kasvuhäiriöalueiden turpeen pintakerroksessa (0—10 cm) todettiin olevan vähemmän kalsiumia ja sinkkiä, mutta enemmän booria kuin vertailualueilla. KH-

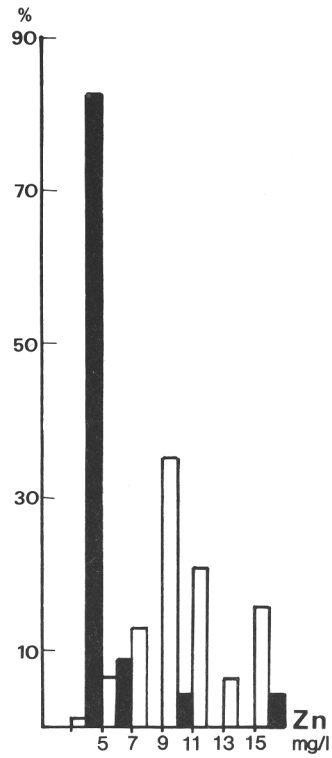
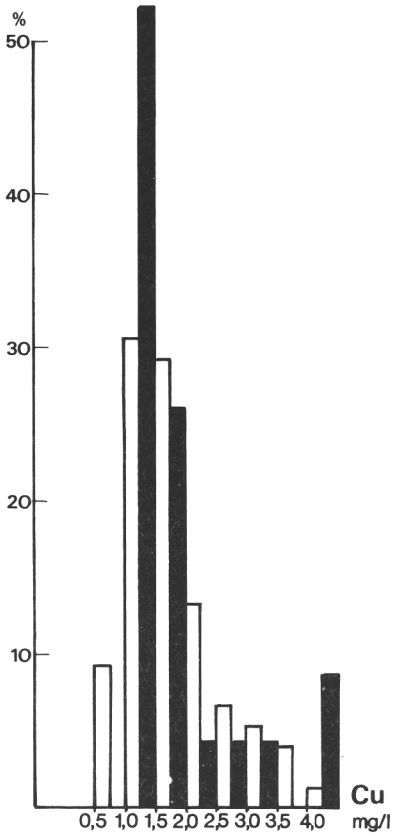
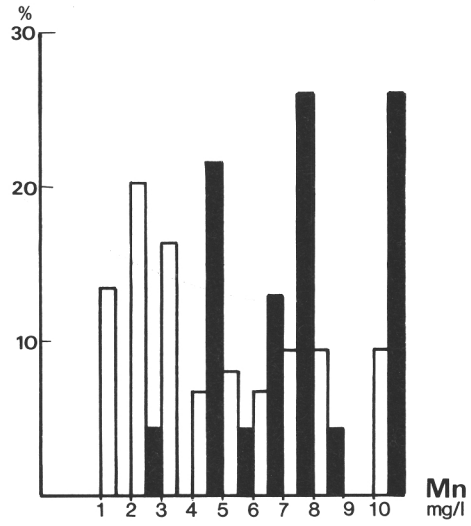
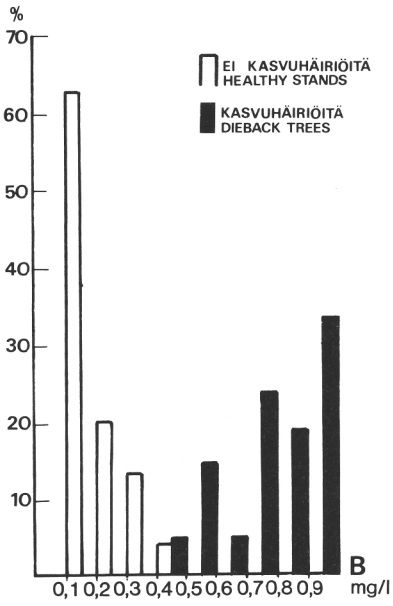
aineiston sisällä ei turpeen ravinnepitoisuuksissa todettu mitään merkitseviä eroja (taulukko 1). Kun kasvuhäiriömäntyjen juuristotilasta otettua otosta verrattiin C-aineistoon, todettiin eräitä selviä eroavaisuuksia pääravinteiden jakaumissa (kuvat 18a—c):

- 1) Kasvuhäiriömäntyjen kasvualustan totaalityypipitoisuus oli lähes 50 %:ssa tapauksista >2,0 %, vertailuaineistossa vain 7 %:ssa. Alle 1 %:n typpi-arvoja ei kasvuhäiriöaikuisissa tavattu.
- 2) Myös heppoliukoisien fosforin korkeiden pitoisuuksien (6—9 mg/l) frekvenssi oli huomattavan suuri kasvuhäiriöaineistossa.
- 3) Kasvuhäiriöpaikkojen vaihtuvan kalsiumin pitoisuudet kasautuivat pääasiassa kolmelle pitoisuusalueelle: a) <400 mg/l, b) 700—800 mg/l ja c) >1000 mg/l riippuen siitä oliko kyseessä a—b) normaali metsäojitusalue tai c) metsitetty turvemaan pelto tai erittäin viljava suo. Kaliumin ja magnesiumin jakaumissa erot olivat vähäisiä.

Turpeen kuumavesiliukoiset booripitoisuudet olivat KH-aineistoissa selvästi korkeammat kuin C-aineistossa. Tulos ei siis tue boorinpuutoshypoteesia (kuva 19a). KH-aineistoista puuttuivat myös alhaisimmat kupari- ja mangaanipitoisuudet, ja molemmilla ravinteilla todettiin joukko suhteellisen korkeita arvoja (kuva 19a—d). Sinkin jakauma muistutti kalsiumin jakaumaa. Näiden ravinteiden välinen korrelaatio olikin erittäin merkitsevä ($r = 0,803^{***}$). Myös boorin ja kalsiumin välillä vallitsi kiinteä mutta negatiivinen korrelaatio ($r = -0,396^{***}$). Tulosta ei toistaiseksi osata ekologisesti tulkita. Kuusen kasvuhäiriön ei löytynyt alustavassa tarkastelussa selitystä maaperän ravinnepitoisuuksista (Silfverberg 1980).



Kuva 18. Pintaturpeen (0–10 cm) pääravinnepitoisuuksien jakaumat.
 Fig. 18. Frequency distributions of macronutrient concentrations in surface peat (0–10 cm).



Kuva 19. Pintaturpeen (0—10 cm) hivenravinnepitoisuuksien jakaumat.
 Fig. 19. Frequency distributions of micronutrient concentrations in surface peat (0–10 cm)

Taulukko 2. Männyn neulasten ravinnepitoisuuksien keskiarvot luotettavuusrajoitteen ($\pm S_x \cdot t_{0,05}$).

Table 2. Mean nutrient concentrations in pine needle samples and confidence limits ($\pm S_x \cdot t_{0,05}$).

Ravinne Nutrient	KH-aineisto — Disturbed stands		C-aineisto — Healthy pine stands
	Terveen näköiset Healthy-looking	Kasvuhäiriöiset Disordered trees	
N %	1,62 ± 0,05	1,72 ± 0,05	1,40 ± 0,03
P mg/g	1,98 ± 0,10	2,06 ± 0,11	1,36 ± 0,06
K mg/g	5,68 ± 0,26	5,75 ± 0,31	3,72 ± 0,12
Ca mg/g	2,20 ± 0,16	2,28 ± 0,15	2,15 ± 0,07
Mg mg/g	1,55 ± 0,06	1,49 ± 0,05	1,61 ± 0,06
			n = 226
Cu ppm	4,57 ± 0,24	4,36 ± 0,25	3,25 ± 0,30
B ppm	5,13 ± 0,40	4,68 ± 0,59	9,64 ± 0,97
Zn ppm	55,6 ± 2,33	54,6 ± 2,70	54,8 ± 4,61
Mn ppm	292 ± 35,1	307 ± 50,1	328 ± 39,6
	n = 40	n = 40	n = 63

Neulas- ja lehtianalyysit

Neulas- ja lehtianalyysiä on käytetty ilmaiseemaan puiden ravinteiden saantia ja siten välillisesti myös kasvualustan ravinnetilannetta (Paarlahti ym. 1971, Veijalainen 1977, 1980a, 1981a).

Kasvuhäiriöalueiden (KH-aineisto) terveen näköisissä männyissä neulasten typpipitoisuus oli alempi kuin kasvuhäiriöpuissa (taulukko 2). Samansuuntainen, joskin vähäisempi ero todettiin fosforin, kaliumin, kalsiumin ja mangaanin pitoisuuksissa. Muiden tutkittujen ravinteiden pitoisuuksien erot olivat päinvastaisia, mutta merkityksettömän pieniä.

C-aineistoon verrattuna todettiin KH-aineiston molemmissa puuryhmissä korkeammat neulasten typen, fosforin, kaliumin ja kuparin pitoisuudet sekä selvästi alemmat boorin pitoisuudet.

Yhdistetyssä KH-aineistossa millään neulasten ravinteella ei todettu selvää korrelaatiota männyn pituuskasvuun. Muihin kasvuun tunnuksiin ravinnepitoisuuksilla oli seuraavia merkitseviä korrelaatioita (r-arvot):

	N	K	Mg	Cu	B
Sädekasvu (5 v.)	-0,26*	+0,39***	-0,35**	ns.	ns.
Neulasten pituus	+0,24*	+0,38***	-0,24*	+0,31**	+0,32**
100 neulasen massa	+0,24*	+0,38***	ns.	ns.	+0,30**

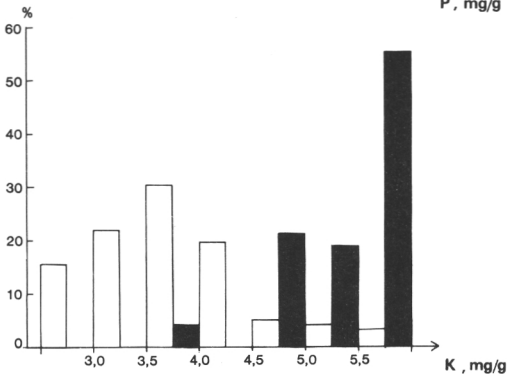
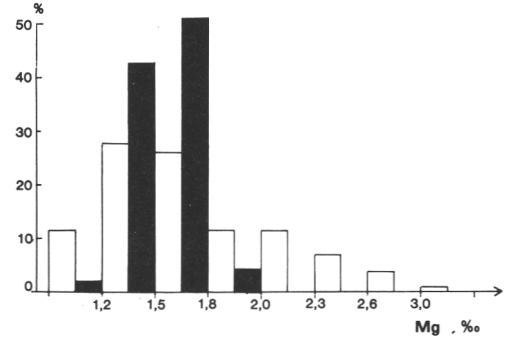
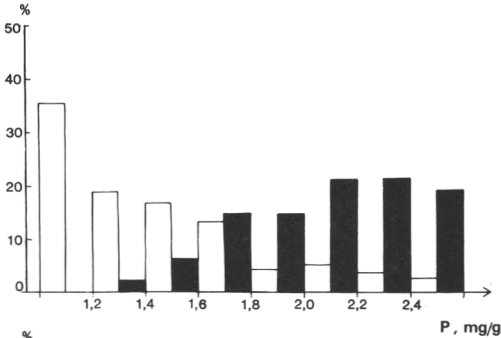
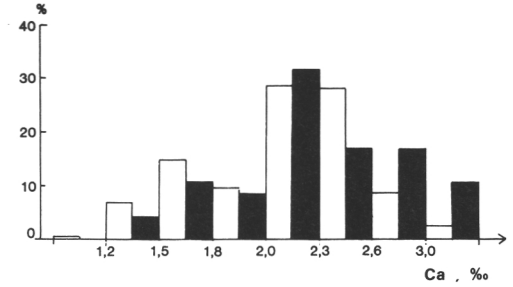
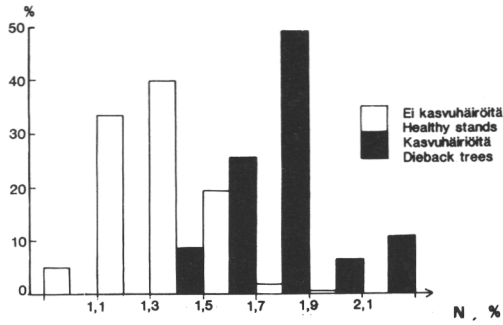
Merkille pantavaa on se, että turvemaiden mäntyaineistoissa normaalisti voimakkaita kasvuun tunnuksien ja fosforin välisiä korrelaatioita ei esiintynyt ollenkaan (vrt. Paarlahti ym. 1971, Paavilainen 1979). Typen korrelaatio

sädekasvuun oli negatiivinen ja kaliumin voimakkaasti positiivinen. Boorin positiivisista korrelaatioista neulasten kasvuun tunnuksiin voidaan päätellä, ettei ohentumisilmiö vaikuttanut sillä matalien booripitoisuuksien alueella, jota aineisto edusti. Matala booritaso sinänsä on ainakin osittain lannoituksella aikaansaadun ohentumisilmiön seurausta (ks. Veijalainen 1977).

Neulasten ravinnepitoisuuksien jakaumien vertailu kasvuhäiriöpuiden ja C-aineiston välillä osoitti, ettei kasvuhäiriöpuustoissa esiintynyt pääravinteiden puutostiloja, mutta sensijaan runsaasti poikkeuksellisen korkeita pitoisuuksia (kuvat 20—21). Kasvuhäiriöpuustoista puuttuivat korkeat neulasten magnesiumipitoisuudet. Korkeita pääravinteiden pitoisuuksia on todettu useissa muissakin kasvuhäiriötutkimuksissa männyllä (Raitio ja Rantala 1977, Raitio 1979), kuusella (Silfverberg 1980) ja koivulla (Raitio 1982).

Lukuisissa yksittäistapauksissa on osoitettu pienten booripitoisuuksien yhteys häiriöön (esim. Huikari 1974) ja jopa häiriöasteeseen (Raitio ja Rantala 1977). Puutosta ilmaisevan

pitoisuusalueen ja kasvuhäiriön puhkeamisrajan määrittely männyllä on onnistuttu suorittamaan käytössä olevan aineiston perusteella tyydyttävästi. Booripitoisuuksien 1,5—



Kuva 20. Männyn neulasten pääravinnepitoisuuksien jakaumat.
Fig. 20. Frequency distributions of macronutrient concentrations in pine needles.

5 ppm on todettu yleensä merkitsevän kasvuhäiriötä. Pitoisuudet 5–10 ppm ovat boorinpuutosaluetta, jossa häiriö usein puhkeaa (vrt. Kolari 1979).

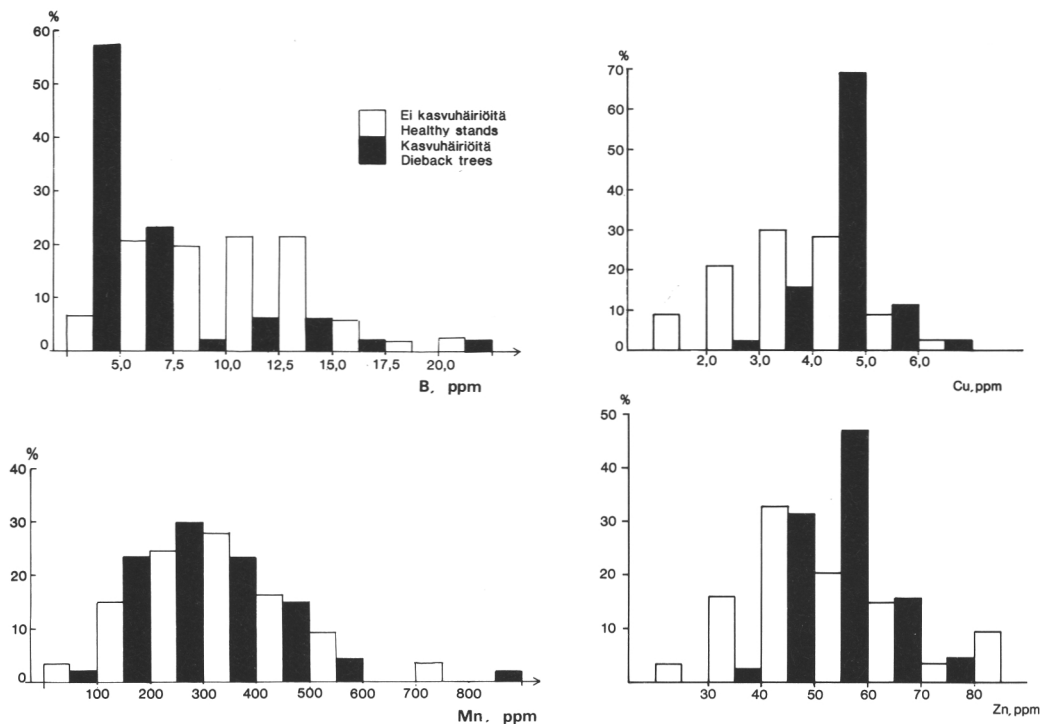
Tutkimillaan kuusen kasvuhäiriöpaikoilla Silfverberg (1980) saattoi neulasanalyttisesti erottaa alhaisiin booriarvoihin liittyvän häiriön muiden kasvuvirheiden joukosta. Puute-rajana turvemailla osoittautui lähes samaksi kuin männyllä (6–8 ppm). Jossain määrin alentuneet sinkki- ja kuparipitoisuudet olivat myös ominaisia kasvuhäiriökuusille.

Koivujen kasvuhäiriötä koskeva lehtianalyttinen aineisto on toistaiseksi vähäistä. Silfverberg (1980) totesi kuusen kasvuhäiriöpaikkojen verhopuuston raudus- ja hieskoivuissa lehtien booripitoisuudeksi 14,1–18,5

ppm. Tämä nousi boorilannoituksen jälkeen 7–10-kertaiseksi. Raition (1982) tutkimaan rauduskoivun kasvuhäiriöön hivenainepuutoksilla ei lehtianalyysin perusteella näyttänyt olleen osuutta.

Maaperän happamuus

Kasvuhäiriön syynä happamuuden tai alkaalisuuden suoranaiset haittavaikutukset tuskin voivat tulla kysymykseen (ks. Pietiläinen 1980). Mahdolliset pH:n ja kasvuhäiriön esiintymisen tilastolliset riippuvuudet ilmentävät siten pH:n välillisiä vaikutuksia, ennen muuta ravinteiden liukoisuuden ja käytökelpoisuuden kautta.



Kuva 21. Männyn neulasten hivenravinnepitoisuuksien jakaumat.
 Fig. 21 Frequency distributions of micronutrient concentrations in pine needles.

Happaman sateen vaikutusta kasvuhäiriön syntymiseen ei ole Suomessa toistaiseksi tutkittu. Pietiläisen (1980) aineistossa pintaturpeen pH-vaihteluväli oli suuri, osin tuhkalannoituksen vaikutuksesta (pH 3,0–5,8). Kasvuhäiriöfrekvenssi oli korkein happamilta kasvupaikoilla (pH < 4,0), minkä lisäksi todettiin toinen selvä huippu korkeimmissa pH-arvoissa (> 5,0). Jaksoittaisuus muistutti turpeen kalsiumin ja sinkin jakaumaa KH-aineistossa. Se viittasi pH:n ja ravinteiden liukoisuuden väliseen suhteeseen.

KH- ja C-aineistojen pH-vaihteluväli oli jotakuinkin sama (3,5–5,4). Huolimatta rehevien kasvupaikkojen suuremmasta osuudesta KH-aineiston pH-keskiarvo oli alempi kuin C-aineiston (taulukko 1). KH-aineistossa vallitsi korkeahko positiivinen korrelaatio ($r = 0,50^{***}$) pH:n ja turpeen Ca-pitoisuuden välillä. Myös turpeen Mn ja Zn korreloivat positiivisesti pH:n kanssa ($r = 0,50^{***}$ ja $0,52^{***}$). Turpeen boorin ja pH:n välinen korrelaatio ei ollut merkitsevä C-aineistossa, jossa sekä pH:n että kalsiumin vaihteluvälit olivat jokseenkin samat kuin KH-aineistossa ja korrelaatio pH/Ca oli lähes nolla.

Vesitalous

Vajaakuivatus on turvemaiden puustojen kasvun poikkeavuuksien syytä tutkittaessa varteenotettava mahdollisuus. Ravinnetaloudellisia syitä tarkasteltaessa vesitalous on ensin saatettava kuntoon (ks. esim. Paavilainen 1979). Vesi saattaa turvemaassa tulla kasvuhäiriön aiheuttajaksi useita eri teitä (tulva, pohjavesi, routa). Sen vaikutus on usein korrelaatioissa muiden tekijöiden (esim. happi, ravinteet) kanssa. Erityisesti turvemaan labiilit pohjavesiolot voivat vaikuttaa kasvuhäiriön puhkeamiseen joko pitkänä stressinä tai akuuttina kriisinä. Neulasten ja lehtien korkeiden mangaanipitoisuuksien on arveltu osoittavan tulvan tai korkean pohjavesipinnan esiintymistä (ks. Veijalainen 1979b, Raitio 1982).

Huikari (1974, 1977) totesi kasvuhäiriön usein olevan pahinta ojien reunoilla ja häiriöfrekvenssin eräissä tapauksissa kasvavan sarkaleveyden pienentyessä. Sotkamon sarkaleveyskoekentällä (Huikari 1977) latvakadot olivat pysäyttäneet pituuskasvun kapeimmilla saroilla, joilla kasvu siihen asti oli ollut

paras.

Toisaalta on sekä tutkimustuloksia (mm. Pietiläinen 1980, Ahti 1981) että erillisiä havaintoja kasvuhäiriön keskittymisestä suonpinnan painanteisiin, entisiin rimp- tai kuljukohtiin ja vajaasti kuivatetuille alueille.

Kasvuhäiriön ja vaikeutuneen vedensaannin syy-yhteyteen viittasi Kososen ja Silfverbergin (1976) esittämä tarkastelu alkukesän (15.5.—30.6.) sademäärän ja latvakatojen vuotuisen määrän korrelaatiosta Kivisuolla. Kunelius (1982) sai myös korkean negatiivisen korrelaation vuotuisen latvakatofrekvenssin ja alkukesän sademäärän välille. Se oli voimakkain jaksolla 15.5.—15.6. ($r = -0,92^{**}$). Nämä tulokset saattavat kuvastaa turvemaalla pitkään säilyvän roudan vaikutusta (Silfverberg 1979, Kunelius 1982). Myöhään keskikesään säilyvät routalinssit keskittyivät myös saran tehokkaimmin kuivatetuille osille.

Ilmasto ja säätekijät

Havainnot alkukesän sademäärän ja roudan mahdollisesta osuudesta kasvuhäiriöiden puhkeamisessa ovat esimerkkejä ilmasto- ja säätekijöiden eräistä vaikutusmahdollisuuksista. Kasvuhäiriön levinneisyyskuva on herättänyt ajatuksen kasvuhäiriön suurilmastollisista riippuvuuksista. Minerotrofisille soille painottavana ilmiön esiintyminen myötäilee tietenkin ilmastollisesti määräytyvien suoyhdistymien, keidas- ja aapasoiden sekä maan runsassoisen ja vähemmän soistuneen osan välistä rajaa. Veijalainen (1983) on kiinnittänyt huomiota Tolosen (1974) esittämiin tuloksiin suovesien booripitoisuudesta, joka alenee jyrkästi keidas- ja aapasuoalueen rajan, siis myös kasvuhäiriön esiintymisen pääalueen etelärajan tienoilla.

Booripitoisuus $30 \mu\text{g/l}$ on todettu tähän rajaan lähes yhteneväksi samanarvonkäyräksi, joka puolestaan miltei vastaa Wiknerin (1983) esittämää boorin vuosilaskeuman arvoa $5 \text{ mg B/ha} \cdot \text{a}$ (ks. myös Ahl ja Jönsson 1972). Braecken (1979) sademäärään ja boorilaskeumaan perustuva selitysmalli Skandinavian länsiosien turvemaiden kasvuhäiriön esiintymiselle näyttää täten soveltuvan myös Suomen oloihin. Samalla havainnollistuu ilmiön ja sen suurilmastollisten korrelaatioiden tulkinnan ongelma: selittäjissä yhdistyvät

pitkän aikavälin kasvupaikkaa muovaavat ja välittömästi häiriön syntymiseen vaikuttavat tekijät.

Paikallis- ja kasvupaikkailmaston osatekijöistä ovat alhaiset lämpötilat, hallat ja kevättälven pakkaset kasvuhäiriötutkimuksissa saaneet huomiota osakseen. Pääravinnetilanteen vaikutuksesta kylmänkestävyyteen oli koetuloksia (esim. Reinikainen 1967, Koskela 1970), joiden perusteella tiedettiin näiden tekijäin yhdysvaikutusten aiheuttavan kasvuhäiriötä muistuttavia vaurioita. Ruotsissa todettiin lannoituksen indusoimia männyn hallavaurioita (Albrekton ym. 1977), joissa neulasten ravinnetila oli samanlainen kuin kasvuhäiriöpuissa. Suomen oloista ei ole näyttöä hallan osuudesta häiriön puhkeamiseen. Esim. kesäkuun 1975 poikkeuksellisen alhaiset lämpötilat eivät näytä aiheuttaneen latvakatoaaltoa tarkkailluissa kasvuhäiriöpuustoissa (Silfverberg 1979). Ns. pakkaskuivumisen ja kasvuhäiriön välisestä yhteydestä on havaintoaineisto Kivisuon kokeilta keväältä 1977, jolloin pakkaskuivumista esiintyi männyssä silmävaraisen arvion mukaan poikkeuksellisen runsaasti (Reinikainen, julkaisematon). Mitään korrelaatiota ilmiöiden välillä ei havaittu, vaan pakkaskuivuminen todettiin tällöinkin fosforinpuutukseen kytkeytyneeksi vaurioksi (ks. Reinikainen 1967). Silfverberg (1980) ei todennut yhteyttä boorinpuutoksen ja kuusen palettumisalttiuden välillä.

Päätelmiä kasvuhäiriön syistä

Laajimmilta kasvuhäiriöalueilta kerätyn mittaussaineiston (KH-aineisto) perusteella yritettiin selvittää syytä siihen, miksi vain osa puustosta oli kasvuhäiriön vaivaamaa. Ensimmäisessä yrityksessä selittäviksi muuttujiksi otettiin kaikki pareittain mitatut parametrit ($n = 28 + 31$). Mukana olivat täten kasvualustan ja neulasten ravinnepitoisuudet, pH, johtoluku sekä puustojen kasvutunnukset.

Erotteluanalyysin mukaan suurimmat erot terveennäköisten ja häiriöityneiden mäntyjen välillä olivat edeltäneen 5-vuotisjakson pituuskasvussa ($F = 83,1^{***}$) sekä puiden kokonaispituuden ja läpimitan suhteessa ($F = 10,4^{***}$). Em. kasvutunnusten jälkeen seurasivat valintajärjestyksessä seuraavat selittäjät:

	Valinta-arvo (F)
Turpeen kuparipitoisuus	13,1***
Neulasten magnesiumipitoisuus	9,3***
Biomassaindeksi	4,0**
Neulasten pituus	8,7***
Turpeen mangaanipitoisuus	7,8***
Kasvuindeksi	5,3***

Näiden muuttujien avulla saatiin yhtälö, jonka perusteella voitiin kaikki terveennäköiset puut erottaa samojen alueiden kasvuhäiriöpuista. Tätä tilastollista tulosta ei pystytty käyttämään hyväksi kasvuhäiriön syiden analyysissä.

Toista erotteluanalyysia varten aineistosta poistettiin neulasanalyysin perusteella ne neljä havaintoparia, joissa booritaso oli selvästi puuterajan yläpuolella (yli 14 ppm) ja yksi selvä fosforinpuutealue. Jäljelle jäi 40 kasvuhäiriöaluetta, joiden neulasanalyysituloksia sekä neulasten massaa käytettiin selittävinä muuttujina (N ja B pakollisia). Tärkein erotteleva tekijä puuryhmien välillä oli neulasten typpipitoisuus ($F = 6,5^*$), minkä jälkeen myös neulasten booripitoisuus osoittautui selityksastetta parantavaksi muuttujaksi. Nämä kaksi muuttujaa luokittelivat oikein 67,5 % terveiden ja 70,0 % kasvuhäiriöisten puiden joukosta.

Tulos korostaa typen ja boorin merkitystä kasvuhäiriön selittäjänä, mutta on huomattava, että neulasanalyysit eivät kohdistuneet häiriökehityksen alkuvaiheeseen.

Samasta aineistosta korrelaatiotarkastelu paljasti, että terveennäköisissä puustoissa boorin ja pääravinteiden välillä ei esiintynyt merkitseviä korrelaatioita. Kasvuhäiriöpuustoista todettiin niitä seuraavasti:

N/B	$r = +0,37^*$
P/B	$r = -0,39^*$
K/B	$r = +0,51^{**}$
Ca/B	$r = -0,33^*$

Tuloksesta voitiin päätellä, että kasvuhäiriön synnyttyä boorin ja pääravinteiden suhteissa tapahtuu kärjistymistä (ks. Reinikainen ja Silfverberg 1983).

Pääravinteiden, ennen muuta typen liiallinen saanti näyttää aiheuttavan pitkäkestoisen kriittisen tilan männyissä. Tähän vaikuttavat vaihtoehtoisesti useat enemmän tai vähemmän lyhyen aikavälin tekijät laukaisten kriisin ulkoisesti näkyväksi rakennehäiriöksi. Viimemainitusta tekijäryhmästä tärkeimmiksi on todettu: (1) boorin saantiin nähden ylisuuri biomassan kasvunopeus, (2) pienentyneet hivenravinne/pääravinne -suhteet neulassa, (3) puiden vesitalouden häiriöt, jotka

vaikeuttavat ravinteiden ottoa.

Metsä- ja suotyypittely on perinteinen keino kuvata kasvutekijäin yhdistelmää. Veijalainen (1978b) on osoittanut turvemaiden männyn kasvuhäiriön yhteyden kasvupaikkaluokkaan. Ilmiön keskittyminen toisaalta rehevänpuoleisille soille ja toisaalta metsitetyille pelloille (esim. Veijalainen 1981b) kuvastaa sen ravinnetaloudellisia syitä eli maa- ja neulasanalyttisesti osoitettua yhteyttä pääravinteiden runsaaseen saantiin. KH-aineiston kasvillisuusanalyysit (Reinikainen, julkaisematon) osoittivat alustavassa tarkastelussa, että etenkin ojitettujen neojen ja korpien kasvuhäiriöalueiden kasvillisuus poikkeaa samojen suotyypin häiriöttömien ojitusalueiden kasvillisuudesta. *Polytrichum commune*- ja *P. gracile*-valtainen karhunsammaloituminen ja eräiden ruohoisuutta ja luhtaisuutta osoittavien lajien keskimääräistä runsaampi esiintyminen olivat selvimmät kasvuhäiriötä myötäilevät kasvillisuuden piirteet. Reinikainen ja Utriainen (julkaisematon) löysivät Kivisuon hivenlannoituskokeen (koe II) kasvillisuuden tarkassa analyysissä eräitä merkitseviä riippuvuuksia kasvustotyyppien ja hivenainekäsittelyjen sekä häiriöfrekvenssin välillä.

Kokoamalla edellisten lukujen sisältöä voidaan turvemaan kasvupaikalle antaa tiettyjä kasvutekijäin rajaehdoja, joista useampien täytyessä männyn häiriöriski kasvaa.

Turpeen ravinteet:

N	%	> 2,0
P	mg/l	> 6,0
Ca	mg/l	< 400, > 1000
Zn	mg/l	< 5
B	mg/l	> 0,5

Männyn neulasten ravinteet (2—8-metriset puustot):

N	%	> 1,7
P	mg/g	> 1,8
K	mg/g	> 5,0
B	ppm	< 7,0
Cu	ppm	< 2,5
Zn	ppm	< 40

Turpeen happamuus:

pH	< 4,0	tai
pH	> 5,5	

Vesitalous:

- rimpi- ja saraturvepainanteet
- "optimikuivatus" — ylikuivatus
- roudan viipyminen
- tilapäisesti korkea anaerobinen pohjavesi
- nopeasti vaihteleva pohjavesisäo

Alleviivaamattomien tekijäin merkitystä voidaan pitää riittävän tilastollisen näytön puuttumisena tai tulosten tulkinnanvaraisuuden vuoksi epävarmana.

On selvää, etteivät em. raja-arvot erottele

kaikkia potentiaalisia kasvuhäiriökasvupaikkoja ja myös mahdollista, ettei kasvuhäiriötä kaikilla em. tekijäyhdistelmän täyttävillä kasvupaikoilla esiinny.

6. KASVUHÄIRIÖT JA METSÄNPARANNUSTOIMENPITEET

61. Metsäojitus

Soita on maassamme ojitettu yli 5,8 milj. ha. Varsinkin 1960- ja 70-luvuilla ojitustoiminta eteni ripeästi. Tällöin ojitettiin myös avosoita, jotka vasta myöhemmin ovat osoittautuneet yhdeksi riskialueyhmäksi. Tunnetut laajat kasvuhäiriöalueet: Leivonmäen Kivisuo, Valtimon Simanaisen suo, Ähtärin Suurisuo ja Jämsän Pohjansuo voidaan mainita esimerkkeinä nevojen metsänviljelyalueista, joille kasvuhäiriö on ilmaantunut. Turvemailta tunnetaan vain muutamia kasvuhäiriöalueita, joita ei ole ojitettu. Yleensä ne ovat soistuvia kivennäismaita tai puronvarisoita (Veijalainen 1978b).

Kasvuhäiriöitä esiintyy ojitetuilla, ravinne-rikkailla rämeillä, mutta harvoin karuilla rämeillä. Korvissa kasvuhäiriöt ovat ojituksesta huolimatta harvinaisia. Heikurainen (1980) mainitsee lisäksi aukeat lettosuot ja turvepohjaiset peltoheidot alueiksi, joilta kasvuhäiriöitä voi tavata.

Vuodesta 1979 lähtien avosoita ja ”katajasiniheinä” -soita on ojitettu erittäin vähän. Tämän seurauksena on ilmeisesti vähennetty uusien kasvuhäiriöalueiden syntymistä. Kasvuhäiriöalat ojitusalueilla eivät ole laajentuneet ennalta pelätyllä tavalla. Metsäojitustoiminta sinänsä ei ole kasvuhäiriöiden syy, mutta useimmiten vasta ojituksen jälkeen kasvuhäiriöriski paljastuu puustoisillakin soilla.

62. Lannoitus

Käytännön metsätaloudessa kasvupaikkaluokittelun vaihtelevasta tarkkuudesta, lannoitusohjeiden horjuvasta tulkinnasta ja epä-

tasaisesta lannoituksesta voi aiheutua eriaseteisia lannoitusvirheitä, joiden seurauksena eräissä tapauksissa syntyy kasvuhäiriöitä (Veijalainen 1974, 1975). Valtaosa (85 %) tunnetuista kasvuhäiriöalueista on joskus lannoitettu, tai sitten kyseessä on luontaisesti erittäin ravinnerikkaat turvemaa- ja turvepohjaisien peltojen voimakas kalkitus voi johtaa myöhemmin kasvuhäiriöihin (Raitio 1979), jos alueita metsitetään. Epätasapainoisella lannoituksella voidaan aiheuttaa myös latvakatoja (Reinikainen 1967, Veijalainen 1974, 1975).

Ensimmäisestä typpilannoituksesta aiheutuneet latvakadot turvemilla ovat varsin harvinaisia (vrt. Paavilainen 1978, Kaunisto 1978). Avosoiden metsitysalueilla on todettu typen kasvuhäiriöitä lisäävä vaikutus (Kaunisto 1978). Yleensä voimakaskaan NPK-lannoitus karuilla rämeillä (PsR, TR ja IR) ei aiheuta kasvuhäiriöitä (Paavilainen 1976, 1977a). Runsastyyppisillä vanhoilla ojitusalueilla sitävastoin kaikki tyyppiä sisältäneet lannoitukset ovat lisänneet pahojen kasvuhäiriöiden määrää NK-lannoitusta lukuunottamatta (Paavilainen 1978, 1979). Typpilannoituksen ajoituksessa, annostelussa ja lannoituskohteen valinnassa sattuneet virheet ovat omiaan aiheuttamaan etenkin jatkolannoitusshokkeja (Kaunisto ja Paavilainen 1977, Paavilainen 1978, 1979).

Nopealiukoiset fosforilannoitteet, kuten superfosfaatti, lisäävät kasvuhäiriöriskiä enemmän kuin hidasliukoiset (Karsisto 1976). On epäilty, että tämä on yhteydessä siihen, että nimenomaan fosforilannoitus aiheuttaa voimakkaita hivenravinteiden ohtumisilmiöitä (Veijalainen 1977). Kalilannoitteiden vaikutus ohtumisilmiöön on osittain samansuuntainen kuin fosforin, mutta kalilannoituksella ei ole yleisesti todettu kasvuhäiriö-

riskiä lisääviä vaikutuksia (vrt. Pietiläinen 1980). Turvemailla PK-jatkolannoitus voi lisätä kasvuhäiriöitä alueilla, joissa kasvuhäiriöitä muutenkin tavataan (Veijalainen 1975).

Silfverberg (1979) tarkasteli pääravinnelannoituksen vaikutusta kasvuhäiriön esiintymiseen Leivonmäen Kivisuolla sijaitsevalla männyn istutustiheys- ja lannoituskokeella, joka perustettiin v. 1966 riviviljelykokeena. PK-lannoitustason kohottaminen ei lisännyt kasvuhäiriöitä. Sensijaan istutusvälin ollessa 0,5 m oli kasvuhäiriöitä lannoitustasosta riippumatta suhteellisesti enemmän kuin 1,0 tai 1,5 metrin istutusväliä käytettäessä. Kaiken kaikkiaan tällä tehokkaasti lannoitetulla alueella kasvuhäiriöfrekvenssi oli 30—60 %.

Ruotsissa on todettu toistettujen typpilannoitusten lisänneen kasvuhäiriöitä. Tämä johti boorin lisäämiseen kivennäismaiden metsissä käytettävään typpilannoitukseen (Möller 1983).

Lannoituksen yhteydessä on eräissä tapauksissa annettu myös hivenravinteita jo 1950-luvun alusta lähtien. Kokeita on eri puolilla maata, osa niistä soilla, joilla kasvuhäiriöt ovat yleisiä. Myös laaja tuhkalanhoituskoealojen verkosto kuuluu samoihin monipuolisen lannoituksen saaneisiin kokeisiin. Näillä kokeilla puuston kasvu on hyvä ja kasvuhäiriöitä näyttää olevan poikkeuksellisen vähän (Huikari 1974, Veijalainen 1975, Paavilainen 1980). Eräillä soilla läheisissä pääravinnekokeissa on esiintynyt kasvuhäiriöitä, mutta useimmat vanhoista tuhkakokeista on perustettu soille, joiden kasvuhäiriöriski on vähäinen.

63. Metsänviljely

Maanmuokkauksella metsän uudistamisen yhteydessä on ilmeisesti myös männyn kasvuhäiriöriskiä lisääviä vaikutuksia, jotka saattavat aiheutua voimistuvasta typen mobi-

lisaatiosta. Tosin karujen turvemaiden muokkauksella ei ole näyttänyt olevan männyn taimien kasvuhäiriöriskiä lisäävää vaikutusta (Paavilainen 1977b, Kaunisto 1978).

Suopeltojen metsitysalueilla kasvuhäiriöriski on suuri (Veijalainen 1978b). Käsitystä vahvistaa Paavilaisen (1977b) tutkimus, jonka mukaan noin 10 vuotta istutuksen jälkeen elossa olevista taimista oli kasvuhäiriöisiä 14—31 % toisessa ja 27—47 % toisessa mitausta lannoituskokeista. Missä määrin taimia oli kuollut kasvuhäiriöön, jäi selvittämättä. Kokonaiskuolleisuus vaihteli 3—62 %:n välillä. Suurimmat kuolleisuusluemat tavattiin silloin, kun oli suoritettu kiilaisutus palteen ja vaon väliin. Syynä oli heinityminen. Tällöin myös kasvuhäiriöt olivat yleisimpiä jäljelle jääneessä puustossa. NPK-lannoituksella ei kasvuhäiriöitä voitu vähentää.

Metsänviljelyalueilla todetuissa kasvuhäiriötapauksissa on usein vaikuttanut siltä, että kasvuhäiriön syy on väärin valitussa puulajissa tai heikossa istutusmateriaalissa. Mäntyä on istutettu tällöin liian ravinnerikkaille kasvupaikoille. Kun lisäksi on vielä suoritettu lannoituksia, ovat kasvuhäiriön syntymisen edellytykset olemassa. Turvemailla mäntyä pidetään usein ainoana viljeltäväksi kelpavana puulajina, koska aivan oikeutetusti pelätään kuusen ”juromista” ja hallatuhoja tai rauduskoivun hirvi-, myyrä- ja sienituhoja.

Männyn siemenen liian eteläinen alkuperä saattaa eräissä tapauksissa olla osasyynä kasvuhäiriön syntymiseen. Erityisesti männyn, mutta myös kuusen viljelytaimikkojen kasvuhäiriöalttiuteen tällä seikalla arvellaan olevan vaikutusta, joskaan tätä ilmeiseltä näyttävää syy-yhteyttä ei ole tutkimuksin vielä vahvistettu.

Kivennäismaiden männyn viljelytaimikkojen inventoinneissa esiintyy verraten suuri määrä sellaisia tuhoja, joiden syytä ei ole voitu yksilöidä (esim. Leikola ym. 1977). Missä määrin kyseessä on ollut nyt puheena oleva kasvuhäiriö, on jäänyt selvittämättä.

7. KOETULOKSIA KASVUHÄIRIÖN TORJUNNASTA

71. Torjuntakokeiden perusteet

Suomessa hivenlannoituskokeita on perustettu jo 1950-luvun alusta lähtien turvemaille. Ulkomaisten hiventutkimusten joukosta löytyy tietoja myös mäntyjen kasvuhäiriöiden korjausyrityksistä, esim. boorilla (Stone ja Baird 1956, Vail ym. 1961, Stone ja Will 1965, Haveraaen 1966, Appleton ja Slow 1966, Procter 1967, Braekke 1979) sekä kuparilla (Rademacher 1940, Agnistikova ja Shcherbakov 1960, Hall 1961, Ruiter 1969, Will 1972, Knight 1975). Muita hivenlannoitteita on usein kokeiltu samassa yhteydessä (esim. Kanwar 1959, Vsevolozhkaya 1959, van Lear ja Smith 1972, Will 1972, Braekke 1977). Tuloksista on laadittu yhteenveto (Veijalainen 1980b). Turvemailta oli käytävissä tutkimus suurten hivenlannoitemäärien myrkkövaikutuksista ja vaikutuksista mäntyjen juuriston ja kasvualustan ravinnepitoisuuksiin (Paavilainen 1969).

Yleisvaikutelma hivenlannoituskokeiden tuloksista on hyvin kirjava. Toisinaan puuston elpyminen on tapahtunut nopeasti hivenlannoitusten jälkeen, toisinaan tulokset ovat olleet epämääräisiä, tai hivenlannoituksen vaikutusta ei ole ollenkaan havaittu. Useista em. tutkimuksista on ilmennyt, että hivenravinteiden yliannokset ovat puuston kasvuille haitallisia.

Torjuntamenetelmät voidaan jakaa kolmeen toisistaan selkeästi erottuvaan ryhmään:

1. Ennalta ehkäisevä torjunta
2. Kasvuhäiriöpuustojen elvytys
3. Avohakkuu ja ravinnetalouden korjaaminen uutta puusukupolvea varten

Kasvuhäiriöprojektissa hivenlannoituskokeet on pyritty sijoittamaan tyypillisimmille kasvuhäiriöalueille tai suoritettu niiltä peräisin olevalla turpeella kasvihuoneissa. Täten kokeiden tarkoituksena on ollut ensikädessä testata esitettyä hivenravinteiden puutoshypoteesia ja toisaalta kehittää kasvuhäiriöpuiden elvytysmenetelmiä. Ennalta ehkäisevästä

torjunnasta ei vielä ole olemassa kokeellisia tuloksia riittävästi (vrt. Veijalainen 1981a), ei myöskään metsänviljelystä kasvuhäiriön vuoksi hakatuilla alueilla.

72. Julkaistuja koetuloksia

Pyhäntä, tuhkalannoituskoe

Jo kasvuhäiriötutkimusten alkuvaiheessa suositeltiin puun tuhkan käyttämistä kasvuhäiriön torjuntaan (Huikari 1977). Ensimmäinen varsinaisen kasvuhäiriöalueen tuhkalannoituskoe perustettiin keväällä 1978 männyn istutustaimikkoon hylätylle turvemaan pellolle (Pyhäntä, Iso-Lamujärvi).

Tuhkamäärät kokeessa olivat 0, 1, 2, 5, 10 ja 20 t/ha. Käytetyn tuhkan ravinnepitoisuudet olivat seuraavat (suluissa hyvän kuorituhkan keskiarvoja):

P	1,0— 3,0	(10,8) kg/t
K	7,4—10,8	(34,8) kg/t
Ca	27—105	(293) kg/t
B	38—102	(231) g/t

Kolmen kasvukauden jälkeen todettiin voimakas pituuskasvun lisääntyminen sekä kasvuhäiriömäntyjen elpyminen.

Vuoden 1978 kasvuhäiriömännystä oli elpynyt vajaa 31 % vertailukoaloilla ja 75—85 % riittävän voimakkaan tuhkalannoituksen saaneilla koaloilla (heikkolaatuista tuhkaa 5—20 tonnia/ha) (Veijalainen 1980c).

Kivisuo, vanha hivenlannoituskoe

Vanhin raportoiduista kasvuhäiriöalueen hivenlannoituskokeista on Leivonmäen Kivisuolle 1959 perustettu männyn istutuksen yhteydessä suoritettu 2^4 -faktoriaalinen Cu-B-Mn-Zn-koe. Tehokkaasta NPK-peruslannoituksesta huolimatta koalueella oli vuonna 1978 ympäristöönsä nähden poikkeuksellisen vähän kasvuhäiriöitä. Lannoiteboraatti oli lisännyt puuston keskipeittoa ja runkojen keskikokoa sekä tietyin varauksin vähentänyt kasvuhäiriöiden esiintymistä. Myös kuparisulfaatilla ja mangaanosulfaatilla todettiin positiivisia vaikutuksia puuston kasvuun ja terveydentilaan. Monipuolinen hivenlannoitus antoi parhaan tuloksen (Veijalainen 1981a).

Kivisuo, puukohtainen hivenlannoituskoe

Vuonna 1975 perustetussa kokeessa käytettiin Cu-, B- ja Mn-lannoitteita kaikkina yhdistelminä kahdella tasolla. Koealat oli jatkolannoitettu v. 1968 suometsien PK-lannoksella, 9 vuotta NPK-peruslannoituksen jälkeen. Osassa koepuista esiintyi jo koetta perustettaessa kroonisen vaiheen kasvuhäiriötä.

Vuoteen 1978 mennessä hivenlannoitukset eivät olleet edistäneet puiden elpymistä. Tulos tulkittiin myöhästyneeksi elvytysyritykseksi (Veijalainen 1979a).

Rauduskoivun kasvihuonekoe Kivisuon turpeella

Edellämainitun kokeen läheisyydestä, kasvuhäiriöön kuolleiden mäntyjen juuristotilasta otetulla turpeella suoritettujen kasvihuonekokeiden osoittivat, että rauduskoivulla paras hivenlannoitustulos saatiin silloin, kun boorin ja kuparin lisäksi turpeeseen sekoitettiin myös kalkkia. Rauduskoivun kasvu oli huono pintalannoituksen saaneissa kokeissa, mutta hyvä silloin, kun lannoitteet sekoitettiin turpeeseen. Käytetyn boorimäärän (7 kg/ha) havaittiin aiheuttavan selviä boorimyrkytysoireita rauduskoivun maanpäällisissä osissa sekä juuristoissa, jotka liiallisen boorilannoituksen seurauksena ilman kalkitusta muuttuivat monihaarisiksi ja jäivät erittäin lyhyiksi (Kolari ja Veijalainen 1981).

Valtimo, hivenlannoituskokeet

Edellä selostetuissa kokeissa todettiin merkittäviä negatiivisia CuB-yhdysvaikutuksia, joita epäiltiin lähinnä kuparisulfaatin aiheuttamiksi. Asian testaamiseksi kokeiltiin hidasliukoista kuparioksidia kuparin lähteenä Valtimon Simanaisensuolle vuonna 1979 perustetussa kokeessa. Kasvuhäiriön pahoin runtelemaan NPK-lannoitettuun männyn viljelytaimikkoon karuhkon (TN-SsN) nevan ojitusalueella järjestettiin kuparioksidin tasokoe. Tulokset osoittivat jo ensimmäisen kasvukauden jälkeen, että pelkkä kuparioksidi oli parantanut pituuskasvua. Tilastollisesti jokseenkin merkittävä positiivinen tulos saatiin lievissä kasvuhäiriötapaauksissa ($F = 18,75^*$). Kasvun lisäys oli noin 5 cm vuodessa. Terveiden ja pahasti kasvuhäiriön vaivaamien puiden ryhmässä tulos oli positiivinen mutta ei merkittävä (Veijalainen 1981c).

Muhos, hivenruiskutuskoee

Muhoksen Kantosuolle vuonna 1979 perustetussa hivenruiskutuskoekkeessa vajaan kahden kas-

vukauden jälkeen männyn kasvuhäiriö parani parhaiten puutarhan hivenseoksella ja lannoiteboraatilla. Kuparioksidia oli selvästi paras käytetyistä kuparilannoitteista. Myös pituuskasvureaktiot olivat suhteellisen voimakkaita kuparioksidiruiskutuksen saaneissa mänty-yksilöissä erityisesti ruiskutusvaiheessa terveiltä näyttäneissä puissa (Veijalainen 1981c).

Muhos, hivenlannoittelajikoe

Kasvuhäiriöiden runsas esiintyminen ojitettujen soiden rimpimäisissä painanteissa (Veijalainen 1975) johti lannoituskoetoimintaan, josta esimerkkinä mainittakoon yhteen suurehkoon ojitettun nevan rimpeen tehty hivenlannoituskoee Muhoksen kokeilualueessa. Kokeen mittaus suoritettiin v. 1979, kaksi kasvukautta männyn taimien istutuksen ja lannoituksen jälkeen. Tässä vaiheessa kuparilannoitteista vaikutti lupaavimmalta kuparioksidia (ks. myös Veijalainen 1978a, 1981c). Boorilannoitteista paras oli lannoiteboraatti ja "hivenseoksista" puun tuhka. Lisäksi puutarhan hivenseoksella saatiin peruslannoitusta parempi tulos (Pietiläinen ja Veijalainen 1979).

Muhos, tuhkakoe

Pietiläisen raportin (1980) mukaan kasvuhäiriötä esiintyi erityisen runsaasti Itkusuoim rimmässä, jotka oli lannoitettu v. 1972 boorittomalla suometsien PK-lannoitteella, osa koealoista lisäksi typellä. Tuhkaa saaneilla koealoilla kasvuhäiriötä oli v. 1977 huomattavasti vähemmän. Kemiallisesti tuhkaa jäljittelevän lannoituksen saaneilta koealoilta ne puuttuivat lähes täysin sekä rimpie että mätäs-pinnoilta.

Rääkkylä, kuusen kupari- ja tuhkakoe

Kuusen kasvuhäiriöalueille turvemaille perustetuista hivenlannoituskoekkeista saadut kokemukset ovat pitkälti samantyyppisiä kuin aluksi mäntypuustoissa. Niinpä Rääkkylään Kokonsuolle perustettu kupari- ja tuhkalannoituskoee osoitti, että puusto elpyi aluksi parhaiten ilman mitään lannoitusta. Ainoa positiivisen suuntainen lannoitustulos kolmen kasvukauden jälkeen oli se, että puutarhan hivenseos oli lisännyt jonkin verran sädekasvua (Veijalainen 1981c).

Samaa koetta seurattiin neulasanalyttisellä (Silfverberg 1982). Tällöin todettiin mm., ettei neulasten kuparipitoisuus lisääntynyt selvästi millään lannoituskäsittelyllä. Puutarhan hivenseoksen ja tuhkan vaikutus kuparipitoisuuteen oli vähäisempi kuin niiden vaikutus booripitoisuuteen, kuten seuraavasta asetelmasta havaitaan.

	Cu, ppm	B, ppm
Vertailu	4,0	5,8
Kuparioksidi	4,7	5,5
Kuparisulfaatti	4,8	4,5
Hivenseos	5,3	19,9
Tuhka	5,4	14,5

Heinola, kuusen hivenlannoituskoe

Silfverbergin raportissa (1982) käsiteltiin myös Heinolan Nynäsiin perustettua kuusen hivenlannoituskoea. Neulasanalyysin mukaan kuusi otti tehokkaasti booria neulasistoonsa. Boori kulkeutui neulasiin suhteellisen nopeasti, 2—3-vuodessa, todennäköisesti jo ensimmäisenä kasvukautena. Nopealiukoinen soluboori (2 kg B/ha) kohotti neulasten booripitoisuudet tasolta 3—5 ppm tasolle 40—100 ppm. Rauduskoivun lehtien booripitoisuudet kohosivat booria saaneilla koelaloilla yhden kasvukauden jälkeen myös huomattavasti (ks. Kolari ja Veijalainen 1981). Sekapuuna kasvaneella koivulla oli kuusten boorinottoa tasaava vaikutus. Puun tuhkaa käytettäessä oli kuusen neulasten booripitoisuuksien kohoaminen hitaampaa.

Noormarkku, rauduskoivun lannoituskoe

Koivun kasvuhäiriöiden torjunta on jäänyt melkoisen vähälle huomiolle maastokokeissa. Raitio (1982) tutki istutetun rauduskoivun kasvuhäiriötä ja sen torjuntamahdollisuuksia Noormarkussa sijaitsevalla, vuosina 1960—65 kuivatulla Torajärven sittemmin ojitetulla vesijättömaalla. Hän päätyi raportissaan siihen, että tämä kasvuhäiriö aiheutui ajoittaisesta, liiallisen märkyyden indusoimasta mangaanimyrkytyksestä. Kasvuhäiriö parani nopeasti täydennysojituksen ja tulvariskiä vähentäneen joen vesipinnan laskun jälkeen. Alueelle v. 1976 järjestetyt lannoituskokeet eivät aluksi antaneet selviä tuloksia, joskin boorilannoitus erityisesti NPK-peruslannoitetuilla alueilla tuotti positiivisen suuntaisia tuloksia. Mangaanimyrkytys ilmeni Torajärvellä vertailualueeseen nähden 10-kertaisina mangaanipitoisuuksina koivujen lehdissä sekä kasvualustan mangaanipitoisuuden kohoamisena tulvien jälkeen.

Kasvuhäiriön torjuntaa erilaisilla kasvu- paikoilla koskettelevat osin myös Raition (1981) tekemät anatomiset ja neulasanalyytiset tutkimukset makrolannoituksen ja erityisesti jatkolannoituksen vaikutuksista sekä esitetyt näkökohdat taimien ravinnetaloudesta ja lannoituksesta taimitarhoilla (Raitio 1980, Raitio ja Rikala 1981).

Kasvuhäiriöprojektissa tutkittiin myös erilaisten hivenlannoitteiden vaikutusta puiden neulasten hivenravinnepitoisuuksiin (Veijalainen 1977, 1980a, Silfverberg 1982). Todettiin boorilannoitteiden nopea, tehokas sekä myös pitkäaikainen vaikutus verrattuna esim. kupari-, sinkki- ja mangaanilannoitteisiin. Varsinkin puiden kuparin saanti maahan annetusta kuparisulfaatista näytti olevan vaikeata. Hidasliukoisista kuparivalmisteista puut saivat ilmeisesti tarpeeksi kuparia, kunhan lannoite annettiin riittävän hienojakoisena.

73. Uusia koetuloksia

Kasvuhäiriön torjuntakokeita on perustettu kaikkiaan noin 80 kappaletta, minkä lisäksi Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston varsinainen lannoituskoetoiminta sisältää likimain saman määrän erilaisia hivenlannoituskokeita, joista saatavaa tietoa voitaneen myöhemminkin, esimerkiksi puustojen kuutiointivaiheessa, käyttää myös kasvuhäiriöpuustojen kehityksen ja kasvutulosten kuvaamiseen.

Valtimo, Simanaisen suo

Kasvualusta oli alunperin karuhkoa tehokkaasti ojitettua nevaa (TN-SsN). Mäntypuusto oli koetta perustettaessa 1—3 metrin pituisia. Kuoleita latvoja esiintyi runsaasti noin 50 %:lla koelaloista. Alkavaa kasvuhäiriötä oli kaikilla koelaloilla runsaasti, minkä lisäksi useimmilla koelaloilla oli myös joitakin terveennäköisiä taimia. Pahin kasvuhäiriö esiintyi selvästi pyöreähköinä tai pitkänomaisina laikkuina, ilmeisesti seuraten suon rimpikuvioita ja painanteita.

Alueella oli suoritettu seuraavat metsänparannustoimenpiteet:

- Auraojitus v. 1963, veto-ojat
- Kaivuriojitus v. 1964, 40 metrin välein
- Ojien perkaus ja täydennysojitus v. 1979, 20 m:n sarka
- Männyn istutus v. 1968, taimet 1 + 1
- Osalla aluetta männyn kylvä v. 1968
- Laikkulannoitus v. 1969 fosforirikasta Y-lannosta 30 g/taimi tai kylvöruutu
- Suometsien PK-lannosta 400 kg/ha + ureaa 200 kg/ha v. 1975

Hivenlannoituskoe perustettiin elokuussa 1979, jolloin annettiin veteen sekoitettuna:

- lannoiteboraattia 20 kg/ha
- kuparioksidia 10 kg/ha
- sinkkisulfaattia 20 kg/ha
- mangaanosulfaattia 20 kg/ha

Koejärjestely oli 2⁴ -faktoriaalinen kahdella toistolla. Lannoitusyhdistelmät selviävät taulukosta 3.

Koe inventoitiin kesäkuussa 1981, jolloin jokaiselta koealalta mitattiin vuoden 1980 pituuskasvu seuraavista puuryhmistä (= kasvuhäiriöluokat):

- A = lannoitushetkellä terveennäköiset puut
- B = lannoitushetkellä lieviä kasvuhäiriöitä
- C = lannoitushetkellä paha kasvuhäiriö, vähintään yksi kuollut latva

Lisäksi arvioitiin samaa luokitusta käyttäen puiden kasvuhäiriötila mittaushetkellä. Vuoden 1980 pituuskasvu eri puuryhmissä oli seuraava:

- A 30,2 cm
- B 26,5 cm
- C 15,4 cm

Ero kasvuhäiriöluokkien pituuskasvujen välillä oli tilastollisesti erittäin merkitsevä (F = 77,98***). Keskiarvojen testaus osoitti, että pahasti kasvuhäiriön vioittamat puut olivat kasvaneet muita puita hitaammin.

Faktoriaaliset lannoitusvaikutukset kullekin hivenlannoitukselle laskettiin Yatesin menetelmää käyttäen (Cochran ja Cox 1964). Koska eräiltä sinkkiä saaneilta koealoilta ei löytynyt yhtään pahaa kasvuhäiriöpuuta, laskettiin faktoriaaliset vaikutukset niiden osalta ilman sinkkiä saaneita koejäseniä, jolloin koe oli siis 2³ -faktoriaalinen (taulukko 3).

Boori lisäsi jokseenkin merkitsevästi alunperin terveiden ja lievästi kasvuhäiriöisten mäntyjen pituuskasvu. Muiden hivenravinteiden vaikutukset olivat merkityksettömiä. Käytännössä boorin vaikutus oli vähäinen. Merkillä pantavaa on se, että sinkin vaikutus oli suunnaltaan negatiivinen A- ja B-luokissa. Latvakatopuut (C-luokka) olivat reagoineet varsin poikkeavasti. Kuparioksidia oli liiannut niiden kasvua jokseenkin merkitsevästi.

Koko kokeessa pahoin häiriöityneiden mäntyjen lukumäärä oli vähentynyt puoleen vuoden 1979 tilanteesta, kuten seuraavasta asetelmasta havaitaan (puita kpl):

Kasvuhäiriöluokka	1979	1981	Erotus
A	191	235	+ 44
B	320	383	+ 63
C	223	111	-112

Kaikkia mahdollisia muutoksia kasvuhäiriöluokkien välillä oli tapahtunut:

Taulukko 3. Hivenlannoitteiden faktoriaaliset keskivai-
kutukset Valtimon Simanaisensuolla. Pituuskasvu
1980.

Table 3. Factorial mean effects of micronutrient ferti-
lization on height growth of pines in 1980 Simanaisen-
suo, Valtimo.

Faktorit Factors	Kasvuhäiriöluokka ¹⁾ — Tree class ¹⁾		
	A	B	C
0 = (\bar{X})	30,2	26,5	17,9
√Cu	0,7	-0,2	4,4*
B	3,7*	3,8*	1,9
Cu B	-0,6	0,8	-1,1
Mn	1,9	1,8	-0,9
Cu Mn	2,2	0,6	-0,4
B Mn	-2,6	-0,7	1,1
Cu B Mn	0,7	0,3	-0,9
			F = 1,32 ^{ns}
Zn	-2,7	-1,2	
Cu Zn	1,3	-0,2	
B Zn	0,6	-0,2	
Cu B Zn	-1,9	0,1	
Mn Zn	0,6	2,9	
Cu Mn Zn	0,6	0,6	
B Mn Zn	-0,9	-0,2	
Cu B Mn Zn	4,1*	-0,4	
F =	1,92 ^{ns}	1,13 ^{ns}	

¹⁾ Kasvuhäiriöluokka — Tree class

A = terveet — healthy

B = lievä häiriö v. 1979 — mild disorder in 1979

C = latvakato v. 1979 — dieback in 1979

1979 1981	Koko koe	Vertailukoelait
A → B	28,8 %	0,0 %
A → C	1,6 %	0,0 %
B → A	30,6 %	20,0 %
B → C	13,7 %	0,0 %
C → A	1,8 %	20,0 %
C → B	68,2 %	65,0 %

Koko kokeessa eniten tapahtui sellaista elpymistä, jossa pahimman kasvuhäiriöluokan (C) puut siirtyivät B-luokkaan. Varsinaisesta elpymisestä kertovat luvut, siis siirtymiset A-luokkaan kumoutuivat melko tarkasti vastakkaisilla tapahtumilla — siis terveiden puiden häiriöitymisillä. Siirtymät ääri- ja keskiluokkien välillä olivat vähäisiä paitsi vertailukoelaloilla, joiden tulos osoitti voimakasta itsestään elpymistä.

Ähtäri, Suurisuo

Kokeen toinen toisto oli runsaasti vaivaiskoi-
vua kasvavaa piensaranevaa, johon ojituksen
(sarkaleveys n. 30 m), vaotuksen (2—3 m välein)
ja PK-lannoituksen jälkeen syntyi voimakas
horsmakasvusto. Toinen toistoista sijaisi saman
nevan suursaraisella osalla. Vuonna 1971 auran
palteeseen istutettu männyn taimikko sai istutuk-
sen yhteydessä laikkulannoituksena suometsien
PK-lannosta 103 kg/ha sekä vuonna 1973 lento-
lannoituksena suometsien PK-lannosta 500 kg/ha.

Taulukko 4. Mäntyjen pituuskasvu v. 1980 koealaparien keskiarvoina sekä faktoriaaliset keskivaikutukset eri kasvuhäiriöluokissa. Ähtäri, Suurisuo.

Table 4. Mean height growth of pines in 1980 and the factorial mean effects in different tree classes, Ähtäri, Suurisuo.

Käsittely tai faktori — Treatment or factor	Keskim. pituuskasvu — Height growth, means			Faktoriaalinen keskivaikutus Factorial mean responses		
	A	B cm	C	A	B cm	C
0	34,5	28,0	15,0	33,2	27,4	15,5
B	37,0	28,0	15,5	+1,7**	+0,5	+1,0
Cu	32,0	27,0	14,0	-1,8**	-0,0	+1,5
B Cu	33,0	29,0	15,5	-0,1	-0,9	-1,8
Zn	31,0	25,0	16,0	+0,1	-1,8	+1,6
B Zn	35,0	26,0	19,0	+2,1**	-1,0	+0,9
Cu Zn	29,0	27,5	15,5	+0,1	+1,6	+0,4
B Cu Zn	34,0	26,5	17,5	+1,6*	+1,0	-0,1
Mn	32,5	28,0	14,5	+0,1	+0,5	-1,1
B Mn	32,5	34,0	17,5	-1,4*	0,0	-0,9
Cu Mn	34,5	28,0	15,5	+0,6	-1,6	-0,6
B Cu Mn	29,5	24,0	10,0	+0,1	-0,9	-1,6
Zn Mn	35,0	27,5	14,0	+1,9**	0,0	-0,5
B Zn Mn	35,5	26,0	18,0	+0,7	0,0	0,0
Cu Zn Mn	30,5	26,0	16,0	-0,8	-0,9	-0,8
B Cu Zn Mn	36,0	27,5	14,0	+0,9	+2,1	+0,5
F =	3,56**	1,14 ^{ns}	1,59 ^{ns}			

Kasvuhäiriöluokka A—C, ks. Taulukko 3.
Tree class A—C, see Table 3.

Heinäkuussa 1979 tästä laajasta nevanviljelystä erotettiin 32 hivenlannoituskoealaa yhteispinta-alaltaan 3,7 ha. Koejärjestely oli sama kuin em. Valtimon kokeessa (ks. taulukko 4). Koe oli siis 2⁴-faktoriaalinen kahdella toistolla. Myös hivenlannoittelajit ja -määrät olivat samat kuin Valtimon kokeessa. Hivenlannoitteet levitettiin tässä kokeessa ilman lisäaineita.

Vuonna 1981 mitattiin koepuista vuoden 1980 pituuskasvu, kokonaispituus ja määritettiin kasvuhäiriön aste samoin perustein kuin Valtimon kokeessa.

Pituuskasvu oli vuonna 1980 suursaraisella osalla keskimäärin 34,1 cm ja piensaraisella 32,3 cm. Ero oli lähes merkitsevä (F = 8,35*).

Terveiden puiden kasvua lisäsi boori merkitsevästi, mutta kupari vähensi sitä. Lisäksi BZn- ja ZnMn-yhdysvaikutukset olivat merkitseviä (taulukko 4). F-arvojen tarkastelu osoitti, että hivenlannoituksen vaikutus näkyi selvimmin terveiden puiden ryhmässä. Lisäksi voitiin panna merkille selvät kasvuhäiriöluokkien väliset pituuskasvu-erot: Terveet puut olivat kasvaneet vuodessa keskimäärin yli kaksi kertaa enemmän kuin pahasti häiriöityneet puut.

Lievästi kasvuhäiriöisten puiden määrä oli lisääntynyt voimakkaasti hivenlannoituksen jälkeen, kuten seuraavasta asetelmasta havaitaan (puita kpl):

Kasvuhäiriöluokka	1979	1981	Erotus
A	308	286	- 22
B	320	514	+194
C	298	126	-172

Tässäkin kokeessa siirtymä eri kasvuhäiriöluokkien välillä oli tapahtunut melkein kaikkiin mahdollisiin suuntiin:

1979 1981	Koko koe	Vertailukoealat
A — B	35,4 %	30,0 %
A — C	0,0 %	0,0 %
B — A	26,9 %	30,0 %
B — C	8,4 %	5,0 %
C — A	0,7 %	0,0 %
C — B	66,4 %	68,8 %

Vertailukoealojen tulos osoitti, ettei hivenlannoituksilla vielä tässä vaiheessa ollut suurta vaikutusta kasvuhäiriötilanteeseen.

Pyhäntä, tuhkalannoituskoe

Kokeen ensimmäisen mittauksen tuloksia käsiteltiin jo aiemmin (s. 29), jolloin myös esiteltiin kokeen perustamis- ja kasvupaikkatietoja (ks. myös Veijalainen 1980c). Tämä koe inventoitiin uudelleen heinäkuussa 1981, jolloin mitattiin neljän lannoituksenjälkeisen vuoden pituuskasvu ja kokonaispituus sekä määritettiin koealojen kaikkien mäntyjen kasvuhäiriötila. Koepuita oli elossa yhteensä 3185 kpl eli keskimäärin 265 kpl koealalla.

Tuhkalannoituksella ei todettu merkitsevää vaikutusta puuston kokonaispituuteen ilmeisesti lähtötasoissa esiintyneen suuren vaihtelun vuoksi.

Kasvuhäiriöluokkien väliset pituuserot olivat erittäin merkitseviä (F = 73,81***). Puuston pi-

tuus oli A-luokassa 3,1 m, B-luokassa 2,8 m ja C-luokassa vain 2,2 m.

Lannoitusvaikutusta tarkasteltiin keskimääräisten pituuskasvujen perusteella, jolloin voitiin todeta eroja elpymisessä eri kasvuhäiriöluokkien välillä (taulukko 5). Voimakkain tuhkalannoitus lisäsi terveiden ja lievästi häiriöisten puiden pituuskasvua jokseenkin merkitsevästi.

Parhaiden koalojen lannoitustulosta on pidettävä erinomaisena, sillä vuoden 1980 pituuskasvu oli jo keskimäärin 45 cm eniten tuhkaa saaneilla koaloilla (Veijalainen 1980c). Tuhkalannoitus lisäsi pituuskasvua selvästi vasta kolmantena kesänä lannoituksen jälkeen. Ensimmäisenä ja toisena kesänä tuhkan vaikutus näkyi neulasten rehevöitymisensä ja muuttumisensa tumman vihreiksi.

Vuonna 1981 inventoitiin ruskea- ja keltaneulasiset puut. Ne keskittyivät pääasiassa lannoitamattomille sekä 1000 ja 2000 kg/ha tuhkaa saaneille koaloille, kuten seuraava asetelma osoittaa:

Vertailukoalat	47,6 %
Tuhkaa 1—2 tn/ha	30,3 %
Tuhkaa 5—20 tn/ha	2,7 %

Kelta- ja ruskeaneulasisten puiden esiintymisen selitti kokeessa yli 56 % pituuskasvun vaihtelusta. Käytetty tuhka oli erittäin heikkolaatuista, minkä vuoksi käytettiin poikkeuksellisen suuriana tuhkamääriä.

Kuhmo, puukohtainen koe

Kuhmon Mannenlammen läheisyyteen perustettiin vuonna 1975 puukohtainen hivenlannoituskoe alueelle, joka oli ojitettu vuonna 1929. Täydennysojituksen (1952) jälkeen sarkaleveys koalueella oli 20—60 m, kasvuhäiriöisen mäntypuuston pituus 3—5 m, suotyyppi SsRmu. Alue oli lannoitettu vuonna 1965, jolloin käsinlevityksenä hehtaarille annettiin kaliumsulfaattia 150 kg ja hienofosfaattia 600 kg.

Hivenlannoituskokeessa käytettiin yhteensä kymmentä erilaista hivenlannoitetta. Toistoja oli kolme. Koepuista mitattiin syksyllä 1981 lannoituksenjälkeinen pituuskasvu erotusmenetelmällä.

Keskeisimmät tulokset näkyvät seuraavasta asetelmasta:

	Pituuskasvu cm/v
Vertailu	28,1
Mangaanikelaatti	9,0*
Lannoiteboraatti	34,3
Hiven PK-lannoite	28,6

Muilla hivenlannoitteilla (ks. Pyhäjoen koe) ei saavutettu edes vertailukoepuiden kasvutuloksia.

Taulukko 5. Mäntyjen vuotuinen pituuskasvu v. 1978—81, Pyhäntä.

Table 5. Annual height growth of pines 1978—81, Pyhäntä.

Tuhkamäärät, kg/ha Wood ash, kg/ha	Kasvuhäiriöluokka ¹⁾ Tree class ¹⁾		
	A	B cm/a	C
0	23,4	19,6	13,9
1000	28,4	26,4	21,8
2000	23,9	22,4	15,6
5000	29,2	27,4*	18,4
10000	27,6	25,8	19,5
20000	33,6**	30,0*	19,8
Keskiarvo — Mean	27,7	25,2	18,1
F-arvot — F-values:			
Käsittelyt — Treatments	2,10 ^{ns}	3,12 ^{ns}	1,03 ^{ns}
0 vs. käsittelyt — 0 vs. treatments	3,29 ^{ns}	8,66*	2,69 ^{ns}
Toistot — Replications	1,16 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,90 ^{ns}

¹⁾ ks. Taulukko 3. — see Table 3.

Pyhäjoki, puukohtainen koe

Pyhäjoen Keskikylään perustettiin vuonna 1974 kojärjestelyltään samanlainen hivenlannoituskoe kuin Kuhmoon vuotta myöhemmin. Keskikylän koalueella auroajituksen (1952) ja kaivuritäydennyksen (1970) jälkeen sarkaleveys oli 30—60 m. Koetta perustettaessa osin ruohoisen, lettoisen rämemuuttuman turvekerros oli paksuudeltaan 0,2—0,4 m. Puusto oli pahoin kasvuhäiriön sekä männyn versosyövän runtelemaa, 4—6 m:n pituista mäntyä. Sekapuiksi oli nousemassa hyväkasvuista, paikoin latvastaan kuivunutta koivua. Kaikki koepuut saivat NPK-laikkulannoituksen koetta perustettaessa, myös vertailukoepuut.

Koepuiden pituus mitattiin syksyllä 1976 sekä syksyllä 1981. Lisäksi jokaisesta koepuusta oli käytettävissä kokeen perustamisvuoden (1974) mittaustulos kokonaispituuksista. Erotusmenetelmällä laskettiin keskimääräiset vuotuiset pituuskasvut kausille 1974—81 ja 1977—81. Tulokset olivat seuraavat:

	Pituuskasvu cm/v	
	1974—81	1977—81
Vertailu	25,0	29,3
Al-sulfaatti	12,1	22,0
Mn-kelaatti	19,2	32,0
Fe-kelaatti	20,9	35,9
Cu-kelaatti	12,5	22,0
Nest. Super-Y (B)	21,2	28,0
X-lehtilannos (B)	24,2	34,7
Hiven PK-lannos (B)	22,1	32,7
Soluboori (B)	25,4	32,7
Puutarhan hivenseos (B)	32,5	46,7*
Lannoiteboraatti (B)	38,7	55,3*

(B) = sisältää booria

Puuston pituuskasvu saatiin elpymään puutarhan hivenseoksella ja lannoiteboraatilla (ks. kuvat 11a—b). Tulos sai tilastollisen varmistuksen kuitenkin vasta, kun käytettiin kauden 1977—81 pituuskasvulukemia. Booria sisältäneitä lannoitteita saaneiden puiden kasvu oli lähes kauttaaltaan hyvä.

Suomussalmi, Emäjoki

Metsähallinnon Kiannan hoitoalueeseen vuonna 1975 perustetun jatkolannoituskokeen yhteydessä kasvuhäiriöstä kärsivään kokeen osaan annettiin seuraavaa omatekoista hivenlannoiteseosta:

lannoiteboraattia 10 kg/ha
kuparisulfaattia 10 kg/ha
mangaanosulfaattia 30 kg/ha

Alue oli ohutturpeista suursararämemuuttu-maa (osin piensaraista), jossa oli suoritettu:

- auraajitus v. 1953, sarkaleveys 30 m
- peruslannoitus v. 1962 (hienofosfaattia 600 ja kalisuluaa 200 kg/ha sekä v. 1963 oulunsalpietaria 360 kg/ha)

Vuonna 1975 puusto oli 2—4 metriä pitkää männyn taimikkoa, joka harvennettiin jatkolannoituksen aikoihin. Seuraavista jatkolannoituskäsitteilyistä mitattiin puuston kokonaispituus, lannoituksenjälkeinen pituuskasvu ja määritettiin kasvuhäiriön aste:

- ei jatkolannoitusta
- suometsien PK-lannosta 400 + ureaa 200 kg/ha = NPK
- NPK + hivenlannoiteseos

Toistoja oli kaksi kappaletta. Tarkoituksena oli selvittää, voidaanko hivenlannoitteilla olennaisesti parantaa toisinaan heikoksi todettua NPK-jatkolannoitusvaikutusta (esim. Paavilainen 1979).

NPK-lannoitus kärjisti kasvuhäiriötilannetta vertailukoeloihin nähden. Kun NPK-lannoituksen kanssa annettiin hivenlannoitus, elpyivät pahimmin häiriöityneet puut huomattavalta osalta (yli 27 %). Vastaavaa ilmiötä ei todettu vertailutai NPK-koeloiilla. A- ja B-luokista NPK + hivenlannoituksen saaneilla koeloiilla ei yksikään puu siirtynyt pahinta kasvuhäiriötä osoittavaan C-luokkaan (taulukko 6). Elpyminen näkyi myös pituuskasvuissa (taulukko 7).

Mitattujen kokeiden perusteella voidaan tehdä johtopäätös, että hivenravinteilla, varsinkin boorilla, paikoin kuparilla ja lisäksi erällä hivenseoksilla voidaan estää kasvuhäiriöiden syntymistä ja jopa parantaa kasvuhäiriöpuustoa.

Kaikki kokeet eivät kuitenkaan antaneet positiivisia tuloksia. Eräissä niistä kasvuhäiriö oli päässyt kehittymään liian pitkälle ennen hivenlannoitusta. Eräissä taas hivenlannoituksista kulunut aika oli niin lyhyt, ettei käsittelyjen vaikutuksista kasvuhäiriöön voitu tehdä lopullisia päätelmiä.

Taulukko 6. Puiden kasvuhäiriökehitys eri jatkolannoitusten jälkeen v. 1976—81, Suomussalmi, Emäjoki.
Table 6. Effect of refertilization on the development of growth disturbances 1976—81. Suomussalmi, Emäjoki.

Kasvuhäiriöluokka ¹⁾ Tree class ¹⁾	Jatkolannoitus Refertilization		
	0	NPK %	NPK+CuBMn
A → A	44,5	41,7	63,0
A → B	50,0	25,0	37,0
A → C	5,5	33,3	0,0
	100,0	100,0	100,0
B → A	5,5	7,7	5,6
B → B	77,8	69,2	94,4
B → C	16,7	23,1	0,0
	100,0	100,0	100,0
C → A	0,0	0,0	27,3
C → B	50,0	66,7	54,5
C → C	50,0	33,3	18,2
	100,0	100,0	100,0

¹⁾ ks. Taulukko 3. — see Table 3.

Taulukko 7. Mäntyjen vuotuinen pituuskasvu v. 1975—80, Suomussalmi, Emäjoki.
Table 7. Annual height growth of pines 1975—80, Suomussalmi, Emäjoki.

Jatkolannoitus Refertilization	Kasvuhäiriöluokka ¹⁾ Tree class ¹⁾			Keskiarvo Mean
	A	B	C	
		cm/a		
0	27,3	23,6	15,2	22,0
NPK	27,8	28,0	13,9	23,2
NPK + CuBMn	31,6	30,2	25,5	29,4

¹⁾ ks. Taulukko 3. — see Table 3.

8. KASVUHÄIRIÖN TORJUNTA KÄYTÄNNÖN METSÄTALOUDESSA

Kasvuhäiriön torjuntaan tulisi ryhtyä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, mielellään jo metsiköiden perustamisen tai uudistamisen yhteydessä. Männyn viljelyä suursairauustasoa paremmilla nevoilla ja rämeillä sekä näiden sekamuodoilla tulisi välttää toistaiseksi suuren kasvuhäiriöriskin takia. Epäonnistumisen riski on suuri erityisesti ”kataja-siniheinä”-soilla, tulvalietteidien rehevöittämillä soilla, vesijätöillä sekä maanviljelyn köyhdyttämällä kytöheitoilla. Jos tällaisille alueille syntyy metsiköitä, on niiden lannoituksessa edettävä suurta varovaisuutta noudattaen. Kasvuhäiriöriskiä voidaan yleisesti vähentää käyttämällä lannoitteita, joihin on lisätty hivenravinteita (mm. suometsien PK-lannos).

Usein kuitenkin kasvuhäiriöt todetaan vasta, kun puiden latvat alkavat menettää apikaalidominanssin ja kuolla. Tällöin on vielä joissakin tapauksissa mahdollista parantaa kasvuhäiriöpuusto, jos toimii ryhdy-

tään viivyttlemättä. Lievissä tai alkuvaiheessa olevissa kasvuhäiriötapauksissa torjuntalannoitukseen soveltuvat mm. puun tai kuoren tuhka, lannoiteboraatti sekä eräät muut booria sisältävät lannoitteet. Kuparilannoitteiden käyttöön ei ole aihetta, ellei voida varmasti todeta, että kyseessä on kuparin puutos.

Jos lannoitus- tai jatkolannoituskohteet sisältävät kasvuhäiriöstä kärsiviä puustoja tai taimikoita, on neulasanalyysin käyttö lannoitustarpeen määrittämisessä suositeltavaa. Pahoin vaurioituneissa kasvuhäiriöpuustoissa ei elvytyslannoitusta kannata suorittaa, vaan vaurioitunut puusto on hakattava. Kasvupaikan ravinnetalous on korjattava pää- ja hivenravinteiden osalta, ennenkuin kasvuhäiriöalueita lähdetään uudelleen metsittämään. Vaikeimmissa häiriökohteissa on aiheellista harkita metsänkasvatuksesta luopumista, varsinkin jos toistetutkaan uudistamisyhtymät eivät onnistu.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Agnistikova, V.N. & Shcherbakov, A.P. 1960. Effect of trace elements on seedlings of pine, elm, honeysuckle, and on carbohydrate storage. *Soobshsh. Lab. Lesoved. Akad. Nauk.* 2: 114—128.
- Ahl, Th. & Jönsson, E. 1972. Boron in Swedish and Norwegian Fresh Waters. *Ambio* 1(2): 66—70.
- Ahti, E. 1981. Mikrotopografian vaikutus männyn kasvuhäiriöiden esiintymisfrekvenssiin. Käsikirjoitus metsäntutkimuslaitoksella.
- Albrektson, A., Aronsson, G. & 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.
- Annala, E. 1976. Ytimennävertäjät. KOP:n kuukausikatsaus B/24:28—30.
- 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.
- Augsten, H. & Eichhorn, M. 1976. Biochemie und Physiologie der Borwirkung bei Pflanzen. *Biol. Rdsch* 14: 268—285.
- Blaser, W., Marr, C. & Takahashi, D. 1967. Anatomy of boron deficient *Thuja plicata*. *Amer. J. Bot.* 54 (9): 1107—1113.
- Braekke, F.H. 1977. Fertilization for balanced mineral nutrition of forests on nutrient poor peatland. Lyhennelmä: Turvemaiden tasapainoinen lannoitus. *Suo* 28(3): 53—61.
- 1979. Boron deficiency in forest plantations on peatland in Norway. *Medd. Nor. inst. skogforsk.* 35(3): 213—236.
- Bussler, W. 1964. Die Bormangelsymptome und ihre Entwicklung. *Z. Pflernähr. Bodenk.* 105(2): 113—136.
- 1974. Microscopical and microchemical characteristics of deficiency diseases. In: Wehrman, J. (Ed.). *Plant analysis and fertilizer problems. 1. Proceedings of 7th Int. Coll. on plant analysis and fertilizer problems.* Hannover. s. 83—92.
- Cochran, W.G. & Cox, G.M. 1964. *Experimental Designs.* New York — London — Sydney. John Wiley & Sons. Inc. 595 s.
- Dutta, T.R. & McIlrath, W.J. 1964. Effects of boron on growth and lignification in sunflower tissue and organ cultures. *Bot. Gaz.* 125.2: 89—96.
- Ericsson, A. 1979. Effects of fertilization and irrigation and the seasonal changes of carbohydrate reserves in different age-classes of needles on 20-year-old

- Scots pine trees (*Pinus sylvestris*). *Physiol. Plant.* 45: 270—280.
- Hall, M.J. 1961. The establishment of pines on poor deep sands at Longford. Victoria. *Appita* 15(2): 68—76.
- Haveraaen, O. 1966. Bor er også et noedvendig mikronaeringsstoff for gran og furu. *Norsk. Skogbr.* 22: 788.
- Heikurainen, L. 1980. Metsäojituksen alkeet. 2. painos. Oy Gaudeamus Ab. Helsinki. 284 s.
- Heliövaara, K., Terho, E. & Annila, E. 1983. Effect of nitrogen fertilization and insecticides on the population density of the pine bark bug, *Aradus cinnamomeus* (Heteroptera, Aradidae). *Seloste: Tyypilannoituksen ja eräiden hyönteismyrkköjen vaikutus punalatkan esiintymisrunsautteen.* *Silva Fenn.* 17(4):351—357.
- Huikari, O. 1974. Hivenravinteet ja puiden kasvu. *Metsä ja Puu* 11/1974.
- 1977. Micro-nutrient deficiencies cause growth-disturbances in trees. *Silva Fenn.* 11 (3): 251—255.
- Jamalainen, E.A. 1968. Kasvien puutostaudit. 128 s. Helsinki.
- Janson, J. 1975. Eskimosis-tautia (dieback) sairastavan männyn tutkiminen. *Seloste* 227. Oy Keskuslaboratorio.
- Juutinen, P. 1976. Mäntypistiäiset. KOP:n kuukausikatsaus B/24: 22—25.
- Kanwar, J.S. 1959. Mineral nutrition of *Pinus radiata*. *Indian For.* 85: 237—240.
- Karsisto, K. 1976. Metsänlannoitus. Eripainos *Metsä ja Puu* -lehdestä nrot 5—9/1976.
- Kaunisto, S. 1978. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus istutustaimien kehitykseen avosoilla. Väitöskirja. Parkanon tutkimusalueen tiedonantoja 7: 1—8.
- & Paavilainen, E. 1977. Response of Scots pine plants to nitrogen refertilization on oligotrophic peat. *Seloste: Tyypijatkolannoituksen vaikutus männyn taimien kehitykseen karulla turvealustalla.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 92(1): 1—54.
- Knight, P.J. 1975. Copper deficiency in nursery grown *Pinus radiata* seedlings. *N.Z.J. For. Sci.* 5(3): 209—218.
- Kolari, K.K. 1977a. Boori kasvien fysiologiassa. Kirjallisuuskatsaus. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 1:1—86.
- 1977b. Näkökohtia mikroravinnepuutteiden (B, Cu, Zn, Mn) vaikutuksista kasvien aineenvaihdunnassa. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 7:1—7.
- 1977c. Puiden booripuutosoireista. Kirjallisuuskatsaus. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 9: 1—28.
- 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriö Suomessa. Kirjallisuuskatsaus. Abstract: Micronutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland. A review. *Folia For.* 389: 1—37.
- , Paavilainen, E. & Raitio, H. 1977. Männyn juuristosuhteista Kivisuon kasvuhäiriöalueella. Abstract: Pine root condition and growth disturbances. *Folia For.* 313: 1—16.
- & Veijalainen, H. 1981. Boorin, kuparin ja kalkin vaikutus rauduskoivun alkukehitykseen kasvuhäiriöalueen turpeella. Summary: Effect of boron, copper and calcium on the initial growth of *Betula pendula* on peat from a growth disturbance area. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 31:1—26.
- Koskela, V. 1970. Havaintoja kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla- ja pakkas-kuivumisvaurioista Kivisuon metsänlannoituskoekentällä. Summary: On the occurrence of various frost damages on Norway spruce, Scots pine, Silver birch and Siberian larch in the forest fertilization experimental area at Kivisuo. *Folia For.* 78: 1—25.
- Kosonen, R. & Silfverberg, K. 1976. Havaintoja eskimosis-ilmioistä männyllä Kivisuolla 1976. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 8:1—15.
- Kunelius, K. 1982. Männyn kasvuhäiriöt metsitetyillä suopellolla ja ojitetulla rämeellä. *Laudatur-työ.* Helsingin yliopiston Metsänhoitotieteen laitos. 68 s.
- Kurkela, T. 1965. Männyn lumikaristetaudin ja lannoituksen suhteesta Kivisuon metsänlannoitusalueella. Summary: On the relationship between the snow blight (*Phacidium infestans* Karst.) and fertilization in Scots pine seedlings. *Folia For.* 14: 1—8.
- 1976a. Sienituhot. KOP:n kuukausikatsaus B/24: 1—21.
- 1976b. Tuomiruostetta kuusitaimistoissa. *Metsälehti* 35: 8.
- 1981. Versosyöpä (*Gremmeniella abietina*) riukuasteen männiköissä. Summary: Canker and die-back of Scots pine at precommercial stage caused by *Gremmeniella abietina*. *Folia For.* 485: 1—12.
- 1983. Fungal diseases associated with nutritional growth disturbances of Scots pine. *Commun. Inst. For. Fenn.* 116: 73—76.
- & Jalkanen, R. 1981. Deformations and susceptibility of pine needles to *Lophodermella sulcigena* resulting from imbalanced nutrient status. *Proc. IUFRO W.P. on Needle Diseases, Sarajevo* 1980. p. 37—41.
- Kurki, M. 1972. Suomen peltojen viljavuudesta II. Über die Fruchtbarkeit des finnischen Ackerbodens auf Grund der in den Jahren 1955—1970 durchgeführten Bodenfruchtbarkeitsuntersuchungen. 182 s. Helsinki. Yhteiskirjapaino Oy.
- Lear, D.H. van & Smith, W.H. 1972. Relationships between macro- and micronutrient nutrition of Slash pine on three coastal plain soils. *Plant and Soil* 36: 331—347.
- Lee, S.G. & Arnoff, S. 1966. Investigations on the role of boron in plants. III. Anatomical observations. *Plant physiol.* 41: 1570—1577.
- & Arnoff, S. 1967. Boron in plants. A biochemical role. *Science* 158: 798—799.
- Leikola, M., Metsämuuronen, M., Räsänen, P.K. & Taimisto, E. 1977. Männyn viljelyttaimistojen kehitys Lounais-Suomessa v. 1967—75. Summary: The development of Scots pine plantations in southwestern Finland in 1967—75. *Folia For.* 312: 1—27.
- Lukkala, O.J. 1955. Maanparannusaineet ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena. Summary: Soil improving substances and fertilizers as an aid to forest drainage. *Erip. Metsätal. Aikakausl.* 6—8: 1—5.
- McIlrath, W.J. & Palser, B.F. 1956. Responses of tomato, turnip and cotton to variations in boron nutrition. I. Physiological responses. *Bot. Gaz.* 118: 42—52.
- Mitscherlich, E.A. 1909. Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. *Landw. Jb.* 38.
- Möller, G. 1983. Variation of boron concentration in pine needles from trees growing on mineral soil in

- Sweden and response to nitrogen fertilization. *Commun. Inst. For. Fenn.* 116: 111—115.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. *Seloste. Maa- ja neulasanalyyse turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrityksessä. Commun. Inst. For. Fenn.* 74(5): 1—58.
- Paavilainen, E. 1969. Juuristojen ja kasvualueen hivenainepitoisuuksien välisistä suhteista suometsissä. Summary: On the correlation between the contents of trace elements in roots and growth substratum in certain peatland sites. *Suo* 20(2): 25—29.
- 1976. Typpilannoitus ohutturpeisilla piensararämeillä. Summary: Nitrogen fertilization on shallow-peated *Carex globularis* pine swamps. *Folia For.* 272: 1—16.
- 1977a. Jatkolannoitus vähäravinteisillä rämeillä. Ennakkotuloksia. Summary: Refertilization on oligotrophic pine swamps. Preliminary results. *Folia For.* 327: 1—32.
- 1977b. 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. Ennakkotuloksia. Abstract: PK-fertilization on drained pine swamps in Lapland. Preliminary results. *Folia For.* 343: 1—17.
- 1979. Jatkolannoitus runsastyypisillä rämeillä. Ennakkotuloksia. Abstract: Refertilization on nitrogen-rich pine swamps. Preliminary results. *Folia For.* 414: 1—23.
- 1980. Tuloksia vanhoista tuhkalannoituskokeista. Muhoksen tutkimuskeskuksen tiedonantoja 20: 20—23.
- Pietiläinen, P. 1979. Growth disturbances on Scots pine caused by exhaustion of micronutrients. Sammen drag XII Nordiske Kongress for Plantefysiologi. Tromsø 2.—6. July. s. 67
- 1980. Lannoituksen, suon rimpisyyden ja pH:n vaikutus männyn kasvuhäiriöfrekvenssiin ojitetulla kalvakkarimpinevalla. Käsikirjoitus metsäntutkimuslaitoksella.
- 1983. 6-phosphogluconate dehydrogenase activity in Scots pine vegetative buds on a growth disturbance area. *Commun. Inst. For. Fenn.* 116: 141—147.
- & Veijalainen, H. 1979. Koe hivenlannoitteiden vaikutuksesta rimpisuon metsityksessä. Summary: Effect of some micronutrient fertilizers on the height growth of pine seedling in a flark. *Suo* 30(4—5): 73—80.
- Procter, J.E.A. 1967. A nutritional disorder of pine. *Commonw. For. Rev.* 46: 145—154.
- Rademacher, B. 1940. Kupfermangelerscheinungen bei Forstgewächsen auf Heideböden. *Mitt. Forstwiss. Forstwiss. Hannover.* 4: 335—344.
- Raitio, H. 1977. Tallarnas växtstörningar, markens näringsbalans och mikronäringsbrist. *Silva Fenn.* 11(3): 255—257.
- 1979. Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyllä suopelolla. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Abstract: Growth disturbances of Scots pine caused by boron deficiency on an afforested abandoned peatland field. Description and interpretation of symptoms. *Folia For.* 412: 1—16.
- 1980. Monilatuvisuusilmiö taimitarhoilla. Parkanon tutkimuskeskuksen tiedonantoja 9: 1—3.
- 1981. Pääravinlannoituksen vaikutus männyn neulasten rakenteeseen ja ravinnepitoisuuksiin ojitetulla lyhytkorsinevalla. Abstract: Effect of macronutrient fertilization on the structure and nutrient content of pine needles on a drained short sedge bog. *Folia For.* 456: 1—10.
- 1982. Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven koekentällä. Summary: Growth disturbance of *Betula pendula* in the Torajärvi experimental field. *Folia For.* 536: 1—15.
- & 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. *Commun. Inst. For. Fenn.* 91(1): 1—30.
- & Rikala, R. 1981. Näkökohtia taimien ravinneta- loudesta ja lannoituksesta taimitarhalla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 15: 1—27.
- Reed, H.S. 1947. A physiological study of boron deficiency in plants. *Hilgardia* 17(11): 377—411.
- Reinikainen, A. 1967. The appearance of nutrient deficiency in plants growing in the experimental area for forest fertilization in 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. 1983. Significance of whole-tree nutrient analysis in the diagnosis of growth disorders. *Commun. Inst. For. Fenn.* 116: 48—58.
- & Veijalainen, H. 1983. Diagnostical use of needle analysis in growth disturbed Scots pine stands. *Commun. Inst. For. Fenn.* 116: 44—48.
- Ruiter, J.H. 1969. Suspected copper deficiency in radiata pine. *Plant and Soil* 31(1): 197—200.
- Shkolnik, M.J. & Ilinskaja, N.L. 1975. [Effect of boron deficiency on the activity of glucose-6-phosphate dehydrogenase in plants with different boron requirements.] *J. Fiziol. Rast.* 22(4): 801—805.
- Silfverberg, K. 1979. Männyn kasvuhäiriön ajoittuminen ja alkukehitys turvemaan booripuutosalueella. Abstract: Phenology and initial development of a growth disorder in Scots pine on boron deficient peatland. *Folia For.* 396: 1—18.
- 1980. Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet. Abstract: Micronutritional growth disorder in Norway spruce. *Folia For.* 432: 1—13.
- 1982. Näringsanalys i två spårämnesgödslade granplanteringar. Abstract: Nutrient analysis of Norway spruce after application of micro-nutrients. *Seloste: Kahden hivenlannoitetun istutuskuusikon ravinnel- analyyysi. Folia For.* 526: 1—12.
- Soikkeli, S. 1983. Viruses in conifer needles in Finland: Description of visible symptoms and ultrastructural aberrations of mesophyll tissue. *Commun. Inst. For. Fenn.* 116: 77—83.
- Stiles, W. 1958. Essential micro- (trace) elements. *Handbuch der Pflanzenphysiologie.* 4: 558—598.
- Stone, E.L. & Baird, G. 1956. Boron level and boron toxicity in Red and White pine. *J. For.* 54(1): 11—12.
- & Will, G.M. 1965. Boron deficiency in *Pinus radiata* and *P. pinaster*. *For. Sci.* 11(4): 425—433.
- Tolonen, K. 1974. Suomen keidassuovesien ravinteista. Summary: On the nutrient content of surface water in ombrotrophic mire complexes in Finland. *Suo* 25(3—4): 41—51.
- Vail, J.W., Parry, M.S. & Calton, W.E. 1961. Boron deficiency dieback in pines. *Plant and Soil* XIV. 4: 393—398.

- Veijalainen, H. 1974. Makro- ja mikrolannoituskoekausen "eskimosis"-alueella. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 6: 1—8.
- 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 micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatland. *Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravinnetilanteen määrittämisessä turvemailla*. *Commun. Inst. For. Fenn.* 92(4): 1—32.
- 1978a. Kuparilannoitteiden vaikutus rauduskoivun pituuskasvuun kasvuhäiriöalueen turpeella. Kasvihuonekoe. Esituloksia. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 2: 1—6.
- 1978b. Metsäpuiden latvakadon esiintymisestä Suomessa. Summary: Occurrence of die-back of forest trees in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 1: 1—22.
- 1979a. Hivenlannoitteiden Cu, B ja Mn vaikutus kasvuhäiriöpuuston elpymiseen Kivisuolla. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 6: 1—10.
- 1979b. Kasvuhäiriöpuissa on runsaasti mangaania. *Metsälehti* 1979 (51).
- 1980a. Eräiden hivenlannoitteiden käyttökelpoisuus suometsien lannoituksessa. Neulasanalyysiin perustuva tarkastelu. Summary: Usability of some micronutrient fertilizers in peatland forests. Report basing on needle analysis. *Folia For.* 443: 1—15.
- 1980b. Mäntylajeilla suoritettuja Cu- ja B-kokeita. Kirjallisuuskatsaus ulkomaisista tutkimuksista. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 3/1980: 1—67.
- 1980c. Tuhkan kasvuhäiriön torjunnassa. Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 20: 28—30.
- 1981a. Hivenlannoituksen vaikutus istutusmännikön kehitykseen turvemaalla. Summary: Long-term responses of Scots pine to micronutrient fertilization on acid peat soil. *Folia For.* 477: 1—15.
- 1981b. Suot ja entiset pelot alttiita kasvuhäiriöille. *Metsälehti* 1981 (42).
- 1981c. Tuloksia kuparioksidin käytöstä metsänlannoitteena. Moniste suontutkimusosastolla. 5 s.
- 1983. Geographical distribution of growth disturbances in Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 116: 13—16.
- 1984. Hivenlannoituksen vaikutus erään istutusmännikön ravinnetalouteen turvemaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 126: 1—19.
- Vsevolozhkaya, G.K. 1959. Experiments on the use of trace elements for tree seedlings. *Primen. Mikroelem. scl. Khoz. Medits. Baku* 1958. p. 471—479.
- Wallace, T. 1961. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. 3rd edit. 125 p. London. H.M.S.O.
- Wikner, B. 1983. Distribution and mobility of boron in forest ecosystems. *Commun. Inst. For. Fenn.* 116: 131—141.
- Will, G.M. 1972. Copper deficiency in *Radiata* pine planted on sands at Mangawhai Forest. *N.Z.J. For. Sci.* 2(2): 217—221.

Total of 109 references

SUMMARY

Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland

Introduction

Growth disturbances were first encountered in forest trees in Finland in the early 1970's. They occurred in the form of dieback, especially in Scots pines growing on drained peatlands. It also seemed that dieback was on the increase particularly in the areas drained in and after the 1960's (a total of over 5 million hectares). The results from the research project (see Page 4) started in 1976, are introduced in this publication.

Symptoms of growth disturbances

The growth disturbance in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) starts with a loss of apical dominance or with dieback (acute growth disturbance) which finally lead to bushy growth (chronic growth disturbance) of originally well-growing pines. Finally the tree may die. The acute phase may be accompanied, among other things, by increased opening of lateral buds, forking or fasciation of the leader, bud damages, abnormal development of needles, sudden slow-down of growth

(rosetting of apical shoots) and "rat-tail" shoots. Vertical branches are frequently formed (Figs. 1—10). Pine may recover almost completely from the growth disturbance (Figs. 11 a—b).

The growth disturbance is rarer in spruce (*Picea abies*) than in pine. The chronic phase resembles frost damage (Fig. 12). Growth disturbances have also been encountered in species of birch (*Betula* sp., see Fig. 13), aspen (*Populus tremula*), willow and alder species (*Salix* sp. and *Alnus* sp.), as well as in some foreign coniferous species.

Visible dieback starts in the early summer. Diameter growth may go on unchanged for some years. An abundant needle mass and vigorous branch growth are early symptoms of growth disturbance in pine.

Growth disturbance symptoms are not caused by insects or other biotic factors. They are not typical symptoms of macronutrient deficiency or frost or cold damage. In certain cases the symptoms may be caused by summer floods. Several pathogens or pests may be associated with growth disturbances.

The symptoms resemble those characteristic of micronutrient deficiency, especially of boron. Microscopic investigations have revealed cavities in buds,

overgrowth and death of pith cells, thin cell walls, non-lignification and cavities in the sclerenchyma of needles, deformed vascular bundles, extra vascular bundles and overgrowth and cavities of cells also in root vascular bundles. Birch leaves also display cavity formations. No cavities have been found in spruce. The microscopic symptoms in pine were also detected later on in connection with the symptoms of macronutrient deficiencies.

Surface peat from growth disturbance areas is more acid and contains generally less Ca and Zn and more B than the peat in normal stands (Table 1, Figs. 18—19).

According to needle analysis, the growth disturbance in spruce appears to be due to boron deficiency. Growth disturbance in pine is usually accompanied by high foliar N, P, K and Cu levels and a low boron level (Table 2, Figs. 20—21).

Occurrence of growth disturbances

Growth disturbances occur throughout the whole of Finland excluding the southern coast and northernmost part of Finland. They are concentrated in regions where there are extensive peatland and drainage areas (Fig. 14). The total area affected is estimated (1983) to amount to about 100 000 hectares.

Growth disturbances frequently occur on abandoned agricultural peatlands, but seldom on mineral soils. They occur most typically on drained, nutrient-rich peatlands, in 3 to 8 metre tall stands.

Almost identical growth disturbances, at least in the case of pine, have been observed in Sweden and Norway. Similar phenomena have been reported from parts of Australia, New Zealand and South Africa where attempts have been made to convert unforested mineral soil sites into forest land.

Harmful effects of growth disturbances

Growth disturbance causes low-productivity on forest land where large investments (drainage, afforestation, fertilization) have been made. The greatest loss is caused by the decrease in stand density, height growth, and by the increase in branchiness and crookedness.

Dead trees, killed by growth disturbances, promote the spreading of certain damaging insects in the surrounding area. Snow and fungal damages have also been found to increase in growth disturbance areas.

The growth disturbance does not impair the value of stemwood for the pulpwood industry, but that of sawn timber is severely decreased.

From the point of view of Finnish forestry the harmful effect of the growth disturbance is marginal. However, several forest owners may experience considerable financial losses. Individual cases of growth disturbances affect areas of 1—8 hectares (Fig. 15). Affected areas of over 100 hectares are rare.

Reasons for growth disturbances

Biochemical analyses, in addition to the earlier-mentioned foliar analyses, have supported the boron deficiency hypothesis. Invigoration of starch synthesis

has been observed in the needles of afflicted pine leaders in early summer (Fig. 16). The terminal bud extracts of afflicted pines showed an increased activity of the enzyme, 6-P-gluconate, in the winter (Fig. 17). The enzyme stopped functioning when 5—10 ppm of boron was added to the extract.

Microscopic assays of the anatomy of afflicted trees produced a variety of symptoms, which did not, however, provide any further information. The symptoms implied the possibility of boron deficiency, but proved unspecific. In any case, the needles and roots of afflicted trees contained cavities which may impede the distribution of nutrients and metabolites inside the plant.

An ecological study carried out in afflicted areas indicated that growth disturbances occur in dry springs, sometimes during summer floods. High nutritional status of the sites or heavy PK or NPK fertilization, and especially too early refertilization, were closely connected with growth disturbances. Poor drainage efficiency can occasionally explain growth disturbances. Effective drainage and delayed soil frost may also contribute to the appearance of growth irregularities. Similarly, the quality of the peat in afflicted areas is often abnormal. The risk of growth disturbances is great on *Carex*-peats, and in flarks.

On undrained peatlands, growth disturbances are encountered only on extremely fertile sites.

Growth disturbances and forest improvement measures

Human interference on peatlands seems to increase growth irregularities. In the 1960's drainage, afforestation and fertilization were carried out in some areas that today are known to be high risk areas. Similarly, site preparation and mounding on peatlands have led to growth disturbances in problematic afforestation areas.

Too early or excessive use of nitrogen and especially phosphorus at refertilization increases the risk of growth disturbances. The micronutrient content of forest fertilizers is normally very low. This and the use of highly soluble fertilizers may cause an imbalance in the nutrient status, which has been shown to lead to growth disturbances. Studies have shown that there is a strong decline in micronutrient levels as a result of macronutrient application. Dieback caused by nitrogen fertilization may, however, result from the fact that the trees do not have enough time to prepare for winter dormancy. The adverse effects of fertilization are the least harmful on oligotrophic peatland sites.

Peatland liming, which is seldom used in forestry, has increased growth disturbances on peat soils formerly used for agriculture. Furthermore, the choice of tree species and their genetic origin may partly explain the increase in the risk of growth disturbance.

For the present it is uncertain whether growth disturbances could be avoided if the most fertile pine afforestation areas were planted with other tree species. The growth disturbances occurring in some spruce plantations have been attributed to low-quality transplants. This has also recently been found to apply to pine transplants, which have been afflicted already in the nursery.

Prevention and cure of growth disturbances

Micronutrient investigations in Finnish peatland forests were started in the early 1950's. The experiments dealing with the prevention of growth disturbances are only partly based on these old experiments. New experiments have been established since 1974 on growth disturbance areas.

Owing to their low application rates, micronutrient fertilizers have been mixed with water, sand, sawdust or macronutrient fertilizers. They have been applied as spot or broadcast spreading, spraying and stem injections.

Boron has been found to have a positive effect in some growth disturbance areas (Tables 3—4). Copper, manganese and zinc, applied together with boron and NPK at the planting stage, have decreased disturbances in pine.

In an experiment set up in an affected area, wood ash counteracted growth disturbance in its initial stage within a few years. A strong increase in height growth occurred three growing seasons after applying over 5000 kg/ha of wood ash (Table 5). Greenhouse experiments have shown that the harmful effects of heavy application of micronutrients (Cu, B) can be prevented in silver birch by liming peat taken from growth disturbance areas. The growth disturbances of silver birch, caused by toxic concentrations of Mn, can be cured by more effective drainage.

Some promising results have been obtained using micronutrient mixtures which contain boron, or fertilizer borate.

The effects of boron fertilization have also been investigated through foliar analyses. Boron applied in

any form is quickly distributed to leaves and needles.

Results from the oldest micronutrient experiments in growth disturbed stands (7—8 years after fertilization) indicated that the strong fertilization effect did not start until three years after micronutrient fertilization.

The micronutrient mixture used in many of our experiments contains:

Fertilizer borate	10 kg/ha
CuSO ₄	10 kg/ha
MnSO ₄	30 kg/ha

A fairly good result was obtained when this mixture was used together with NPK in the refertilization of a group of badly damaged trees (Tables 6—7). About 27 % of the most severely damaged trees had recovered completely in five years.

Recommendations for practical forestry

Afforestation of fertile peatland sites with pine is not recommended. Fertilization in such stands may contain great risks. Growth disturbances can be prevented in advance by paying attention to the nutrient status especially during refertilization. Needle analysis should be used when planning refertilization treatments. It is recommended that wood or bark ash, fertilizer borate or nutrient mixtures containing boron be used in stands showing acute growth disturbances.

ODC 114.54/.58 + 181.34 + 181.65 + 424.6/.7
ISBN 951-40-0675-5
ISSN 0015-5543

VEIJALAINEN, H., REINIKAINEN, A. & KOLARI, K.K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report. Folia For. 601:1—41

The first part of a project concerning growth disturbances of forest trees was carried out in Finland during 1976—81. The results have been presented in 80 different reports. The main results have been collected in this interim report. The report also includes some earlier unpublished results.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute Box 18, SF-01301 Vantaa 30, Finland

ODC 114.54/.58 + 181.34 + 181.65 + 424.6/.7
ISBN 951-40-0675-5
ISSN 0015-5543

VEIJALAINEN, H., REINIKAINEN, A. & KOLARI, K.K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report. Folia For. 601:1—41

The first part of a project concerning growth disturbances of forest trees was carried out in Finland during 1976—81. The results have been presented in 80 different reports. The main results have been collected in this interim report. The report also includes some earlier unpublished results.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute Box 18, SF-01301 Vantaa 30, Finland

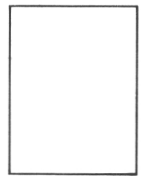
Tilaan kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____

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



Folia Forestalia _____

Communicationes Instituti Forestalis Fenniae _____

Huomautuksia

Remarks _____

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

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

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

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

Punkaharjun jalostuskoegasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

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

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* Valtakatu 18
69100 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

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

- No 575 Nepveu, Gerard & Velling, Pirkko: Rauduskoivun puuaineen laadun geneettinen vaihtelu. Individual genetic variability of wood quality in *Betula pendula*.
- No 576 Gustavsen, Hans Gustav & Fagerström, Håkan: Brösthöjdsformtalets variation i tall-, gran- och björkbestånd. The variation of the breast height form factor for pine, spruce and birch stands in Finland. Männyn, kuusen ja koivun muotolukujen vaihtelu.
- No 577 Laakkonen, Olavi, Keipi, Kari & Lipas, Erkki: Typpilannoituksen kannattavuus varttuneissa kangasmetsissä. Profitability of nitrogen fertilization in mature forests on mineral soils.
- No 578 Vuollekoski, Martti: Hydrostaattisella voimansiirrolla varustetun kaivurin soveltuvuus metsäojien perkaukseen. Evaluation of a specially developed excavator for forest ditch cleaning.
- No 579 Lähde, Erkki, Högnäs, Bo, Jaakkola, Aimo & Huuri, Olavi: Tall- och granplanteringarnas utveckling på Åland. Männyn ja kuusen istutuksen onnistuminen Ahvenanmaalla. The success of Scots pine and Norway spruce planting in the Åland Islands.

- No 580 Paavilainen, Eero & Tiihonen, Paavo: Etelä- ja Keski-Suomen suomensäät vuosina 1951—1981. Peatland forests in southern and Central Finland in 1951—1981.
- No 581 Sirén, Matti: Tutkimustuloksia Norcar HT-440 Turbo harvennustraktorista. Study results of Norcar HT-440 Turbo thinning tractor.
- No 582 Kohmo, Ilkka: Lehtipuuston runkolukusarjat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueilla 1977—1982. Statistics on the deciduous growing stock in the Forestry Board Districts of South Finland during the period 1977 to 1982.
- No 583 Saks, Timo & Lyly, Olavi: Istutustiheyden vaikutus nuoren männikön kehitykseen kuivalla kankaalla. The effect of stocking density on the development of young Scots pine stands on a dry heath.
- No 584 Kalaja, Hannu: An example of terrain chipping system in first commercial thinning. Esimerkki ensiharvennuspuun korjuusta palstahaketusmenetelmällä.
- No 585 Kaunisto, Seppo & Tukeva, Jorma: Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuasteen männiköissä. Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs.
- No 586 Hakkila, Pentti: Forest chips as fuel for heating plants in Finland. Metsähake lämpölaitosten polttoaineena Suomessa.
- No 587 Jalkanen, Risto & Kurkela, Timo: Männynversoruosteen aiheuttamat vauriot ja varhaiset pituuskasvutappiot. Damage and early height growth losses caused by *Melampsora pinitorqua* on Scots pine.
- No 588 Tiihonen, Paavo: Kasvun vaihtelu Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Savon piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin perusteella. Growth variation in the Forestry Board Districts of Pohjois-Karjala and Pohjois-Savo according to the 7th National Forest Inventory.
- No 589 Paavilainen, Eero: Typpi ja hivenravinteet ojitettujen rämeiden jatkolannoituksessa. Nitrogen and micronutrients in the refertilization of drained pine swamps.
- No 590 Metsätalastollinen vuosikirja 1983. Yearbook of Forest Statistics, 1983.
- No 591 Elovirta, Pertti & Ihalainen, Ritva: Metsä- ja maatalousammattit nuorten ammattisuunnitelmissa. Young people's professional plans in forestry and agriculture.
- No 592 Lilja, Arja: Ilmavintäisen sinistymisen aiheuttajista ja eräiden fungisidien tehosta niiden torjunnassa. Fungi causing air-borne sap stain in wood and efficiency of some fungicides against them.
- No 593 Parviainen, Jari: Männyn taimilajien menestyminen eri tavoin muokatuilla uudistamisaloilla. The success of different types of pine nursery stock on regeneration sites prepared in different ways.
- No 594 Mäki, Elina: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1982. Removals and flows of commercial roundwood in Finland in 1982 by districts.
- No 595 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1983. Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1983.
- No 596 Vuokila, Yrjö, Laasaseno, Jouko & Ihalainen, Antti: Luonnonmetsien puiden runkokäyrämallien tarkkuus viljelykuusikoissa. The accuracy of stem taper curve functions for natural trees in spruce plantations.
- No 597 Gustavsen, Hans Gustav & Mielikäinen, Kari: Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Site index curves natural birch stands in Finland.
- No 598 Salo, Kauko: Joensuun ja Seinäjoen asukkaiden luonnonmarjojen ja sienten poiminta v. 1982. The picking of wild berries and mushrooms by the inhabitants of Joensuu and Seinäjoki in 1982.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.
Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17341