

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
SUONTUTKIMUSOSASTON TIEDONANTOJA

9/1977

PUIDEN BOORINPUUTOSOIREISTA
- kirjallisuuskatsaus

Kimmo K. Kolari

Helsinki 1977

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

PL 1977 2
KI



METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN SUONTUTKIMUSOSASTON

TIEDONANTOJA 9/1977

PUIDEN BOORINPUUTOSOIREISTA

- kirjallisuuskatsaus

Kimmo K. Kolari

Alkusanat

Tämä työ on osa laajemmasta puiden kasvuhäiriötutkimuksesta, joka alkoi Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastossa vuonna 1976. Projektin johtajina toimivat prof. Olavi H u i k a r i (puh.joht.), FL Antti R e i n i k a i n e n ja LuK Heikki V e i j a l a i - n e n. Kasvuhäiriötutkimusta on rahoitettu valtion tulo- ja meno- arviossa myönnettyillä ns. suhdannepidätysvaroilla.

Käsikirjoituksen ovat lukeneet projektin johtajat. Konekirjoitustyössä ovat avustaneet yo. Liisa P o u t a n e n ja neiti Maija T u u r i. Saamastani kritiikistä ja avusta esitän parhaimmat kiitokset.

Helsinki, marraskuu 1977

Kimmo K. Kolari, LuK

SISÄLLYS

	sivu
1. JOHDANTO	1
2. HAVUPUUT	2
21. Kasvainkato (shoot dieback)	4
22. Kasvaimen kärkikato (tip-/bud-dieback)	5
23. Juuristovauriot ja kukintahäiriöt	8
24. Solukkovauriot	8
Juuristo	9
Kasvain	10
Sekundääriset solukot	10
3. LEHTIPUUT	11
31. Kasvain	11
32. Lehdet	12
33. Juuret	13
4. BOORIN PUUTTEEN LEVINNEISYYS JA MERKITYS	14
41. Boorin puutteen alueellinen esiintyminen ...	14
42. Puiden boorin puute Suomessa	14
 Kuvaliitteet	 19-24
 KIRJALLISUUSLUETTELO	 25

1. JOHDANTO

Boorin puute on yleisimpiä mikroravinnepuutteita männynviljelytaimistoilla (STONE 1968). Jo ennenkuin boorin puute tunnettiin metsäpuilla sen esiintymistä oli tutkittu puutarha- ja maatalouskasveilla. STONEn (1968) mukaan boorin puutteen esiintymisen yleisyys ja laajuus sekä puutarhanhoidossa että maataloudessa, antaa aiheen odottaa boorinpuuteoireiden enenevää esiintymistä myös metsäpuilla metsänviljelytaimistoilla.

Tekijöitä, jotka lisäävät boorin puutteen riskiä tai jotka voivat johtaa boorin puutteeseen ovat BRADFORDin (1966), RYAN'in ym. (1967), LUCASin ja KNEZEKIn (1972) mukaan:

1. Maaperät, joiden kokonaisboorimäärät ovat alhaiset, kuten:
 - happamat tuliperäiset maat, happamat liete-, uute- (podsolit) ja turvemaat sekä hiesu-, savi- ja kiilleköyhät maaperät.
2. Alueet, jotka ovat alttiita sateiden aiheuttamalle huuhtoutumiselle.
3. Happamuudeltaan neutraalit tai emäksiset maaperät mukaan lukien myös runsaan kalkituksen saaneet happamat maat.
4. Kuivuus
5. Suuri valon intensiteetti (runsaalle päivänvalolle alttiit puut).

Korostettakoon tässä yhteydessä sitä, että boorin puutteen ei tarvitse ilmetä samanlaisena tai yhtä voimakkaana kaikissa kasviryhmissä. Tiedetään nimittäin, että yksisirkkaisten kasvien (heinät ja viljakasvit) boorin tarve on pienempi kuin kaksisirkkaisilla kasveilla (mm. metsäpuut), mikä näkyy kaksisirkkaisten kasvien suurempana alttiutena boorinpuuteoireille.

Boorin puutteen seurausten vallitsevana piirteenä on kasvupisteiden (kasvusolukoiden) vaurioituminen tai kuoleminen, jota usein seuraa korjausprosessi, so. kuolleen latvan (latvakasvaimen) korvaa yksi tai useampi oksa. Boorinpuutepuille on luonteenomaista (1) latvakas-

vainten kuoleminen 1. latvakasvainkato (leading shoot dieback) tai (2) "ruusukemuodostus" (rosetting), mikä aiheutuu latvakasvaimen nivelvälien huomattavasta lyhentymisestä sekä lehtien koon pienenemisestä. Latvakasvaimen kuoleminen voi olla enemmän tai vähemmän jyrkkä ja sitä edeltää yleensä kasvaimen kuihtuminen tai heikentynyt kasvu sekä myös epänormaalien lehtien muodostuminen.

(3) Lehtiruodeissa ja varsissa esiintyy halkeamia sekä nekroottisia (tummia, kuolleita) tai nesteen täyttämiä kohtia, joissa puulajista riippuen esiintyy korkkiutumia, hartsiaineskerrostumia tai pihkavuotoja (STONE ja WILL 1965, STONE 1968).

2. HAVUPUUT

Havupuilla, etenkin männyllä, on kasvaimen, sen kärjen tai kärkisilmun kuoleminen (shoot-, tip- ja bud-dieback) yleisiä boorin puutosoireita, mutta oireiden yksityiskohdissa on puulajista, puutteen synnyn ajankohdasta tai puutteen voimakkuudesta riippuvia eroja (STONE 1968).

Seuraavissa kappaleissa esitetään kenttä-, astia- ja ravintoliuokokeissa havaittuja boorinpuutosoireita seuraavilla havupuilla:

<u>Picea abies</u>	-tav. kuusi
<u>Pinus caribaea hondurensis</u>	
<u>P. Elliottii</u>	
<u>P. douglasiana</u>	
<u>P. khasya</u>	
<u>P. leiophylla</u>	
<u>P. Merkusii</u>	
<u>P. nigra</u>	-Euroopan mustamänty
<u>P. patula</u>	
<u>P. Pinaster</u>	-rannikkomänty
<u>P. ponderosa</u>	-Ponderosa mänty, keltämänty
<u>P. radiata</u>	-Monterey'n mänty
<u>P. resinosa</u>	-Amerikan punamänty

<u>P. roxburghii</u>	
<u>P. Strobis</u>	-Strobusmänty
<u>P. sylvestris</u>	-kotimainen mänty
<u>P. Taeda</u>	-Loblolly mänty
<u>Thuja plicata</u> synon.	-jättiläistuija
<u>Thuja gigantea</u>	

STONE ja WILL (1965) ovat laajasti kuvanneet boorinpuutos-
oireita Pinus radiatalla (Monterey'n mänty) ja Pinus Pinasterilla (rannikkomänty) Uudessa Seelannissa. Heidän mukaansa boorin puutteen näkyvät vaikutukset ovat selvästi vuodenaikaan liittyviä siten, että häiriöt latvakasvaimissa tulevat esiin vasta keskikesällä tai sen jälkeen. Tällöin latvakasvaimen pituuskasvu keskeytyy, kasvaimen kärkiosa kuolee yleensä ja vaurioituneen osan alapuolelle puhkeaa joko jälkisilmuja tai kääpiöversosilmuja (fascicle buds). Neulasten värissä ja pituudessa ei yleensä ole havaittavissa muutoksia, mutta neulastiheys on usein normaalia hieman suurempi. Lisäksi vaurioituneiden kasvainten lukumäärä, sijainti ja toipuminen vaurioita seuraavina vuosina voi vaihdella suurestikin.

Vaikka latvakasvainkato-oireet boorin puutteessa vaihtelevatkin yksityiskohdiltaan usein suuresti, voidaan ne STONEn ja WILLin (1965) mukaan jakaa kahteen ryhmään; kasvainkatoon (shoot dieback) ja kasvaimen kärkikatoon (tip-dieback/bud-dieback).

21. Kasvainkato (shoot dieback)

Boorin puutteen aiheuttamassa kasvainkadossa kuolevat etupäässä latvakasvaimet, mutta myös oksien kärjet voivat kuolla. Havaittuja oireita ovat:

- Latvakasvaimen kuolevassa osassa olevat puhkeamattomat kääpiöversot ja/tai kääpiöversot neulasineen varisevat (STONE ja WILL 1965).
- Puutumattoman osan nopea kuivuminen saa aikaan latvakasvaimen kiertymistä tai mutkaisuutta (käänteinen U- tai J-muoto) (PROCTOR 1965, STONE ja WILL 1965, SNOWDON 1971, BRAEKKE 1977) (kuvat 1 ja 2).
- Latvakasvaimen kuolleen osan alapuolella kääpiöversoihin puhkeaa silmuja tai kääpiöversot kasvavat jopa kasvaimiksi (fascicle bud, fascicle shoot proliferaation) tai jälkisilmuista muodostuu sivukasvaimia (PROCTOR 1965, STONE ja WILL 1965, SNOWDON 1971, BRAEKKE 1977) (kuvat 3 ja 9).
- Suurimmissa latvakasvaimissa voi terveen ja näkyvästi kuolleen osan välissä esiintyä pituudeltaan vaihteleva (5-30 cm) ns. siirtymävyöhyke, missä neulasten pituus on lyhentynyt ja niiden värikato (kellastuminen) voimakasta, etenkin kärjissä (STONE ja WILL 1965). Siirtymävyöhykkeessä kasvaimen nivelvälit lyhenevät aiheuttaen neulasten (kääpiöversojen) yhteenkasautumista, minkä tuloksena usein muodostuu tiheäneulasinen latvakasvain (STONE ja WILL 1965). Latvakasvaimen kuollessa osassa, kuten myös siirtymävyöhykkeessä esiintyy yleisesti valkeita pihkapaakkuja tai laikkuja osan suurimista pihkalaikuista ollessa peräisin kasvaimen kuoren nekroottisista kohdista. Lisäksi kuoren solujen hajoamisen tuloksena voi olla nähtävissä elävän solukon ympäröimiä pihkan täyttämiä koroja (~~PROCTOR 1965~~, STONE ja WILL 1965, SNOWDON 1971) (kuvat 3 ja 5). Satunnaisesti voi kasvaimen kuoriosassa esiintyä myös pitkittäis-

suuntaisia halkeamia (STONE ja WILL 1965, STONE 1968).

Kasvaimen ydin on ruskettunut, joskin täysin ruskettunut se on vain kuolleessa kasvaimen osassa ja hieman sen alapuolella sekä kasvaimen pitkittäishalkeamiin liittyvissä ytimen osissa (STONE ja WILL 1965, SNOWDON 1971). Myös siirtymävyöhykkeen ytimessä on usein havaittavissa repeämiä ja tummumista, mikä näkyy tummina, ruskeina laikkuina ytimessä (STONE ja WILL 1965, SNOWDON 1971). Esimerkiksi STONE ja WILL (1965) pitävät tällaisten tummien ydinlaikkujen esiintymistä boorin puutetta ennakoivana merkinä. (kuvat 4 ja 5).

- Latvakasvaimen, sen kärjen kuolemista tai sen kasvun pysähtymistä seuraa siirtymävyöhykkeen alaosan tai heti tämän vyöhykkeen alapuolisen osan jälkisilmuista tai kääpiöversojen kasvusolukoista muodostuneiden sekundääristen kasvainten kautta tapahtuva korjausreaktio. Korjausvaiheen alussa yksi tai useampi muodostuneista sivukasvaimista korvaa latvan ja kuollut latvakasvain jää näkyviin useiksi vuosiksi. Usein ylimmät kasvaimet joutuvat kuitenkin uuden kasvainkadon kohteeksi ja tällöin korjaustapahuma jatkuu yhä alempana. Edellä esitettyä kehitystä seuraa puun monilatvaisuus ja pahimmillaan pensastuminen (PROCTOR 1965, STONE ja WILL 1965, SNOWDON 1971) (kuvat 1, 3, 7 ja 9).

22. Kasvaimen kärkikato (kärki- ja silmukato/tip- bud-dieback)

STONEEn ja WILLin (1965) mukaan ei kasvainkadon ja kasvaimen kärkikadon välillä ole jyrkkää eroa, ja nämä kaksi kasvainkadon tyyppiä voivatkin esiintyä yhtäaikaan samassa puussa. Heidän mielestään

Latvakasvaimen kärkekato on seuraus myöhemmin tai vähittäisemmin alkavasta boorin puutteesta. Latvakasvaimen kärkekadon erilaisia havaittuja oireita ovat:

- Latvakasvaimen käänteistä U- tai J-muotoisuutta ei esiinny (STONE ja WILL 1965).
 - Vain latvakasvaimen kärkiosa kuolee ja tässä osassa neulasen ovat kuolleet (LUDBROOK 1940, SMITH 1943, ~~WALKER ym. 1955,~~ SAVORY 1962, ~~GOSLIN 1959,~~ STONE ja WILL 1965, de LANUZA 1966, SNOWDON 1971).
 - Kasvaimen kärkiosan säilyessä elävänä se ei kuitenkaan kasva normaalisti täyteen pituuteensa, mikä näkyy normaalia lyhyempinä nivelväleinä (WALKER ym. 1955, STONE ja WILL 1965).
 - Kasvainkadon yhteydessä mainittu siirtymävyöhyke - kuolleen kärkiosan ja terveen kasvaimenosan normaalien neulasten välissä - voi olla jyrkkä tai vähittäinen (STONE ja WILL 1965).
 - Latvakasvaimen neulasten pituus lyhenee vähitellen 1/3 - 1/5:een normaalipituudesta muodostaen kartiomaisen ("rotanhäntämäisen") kasvaimen (STONE ja WILL 1965).
 - Neulasten muoto ja koko voivat muuttua vaihtelevasti. Neulasissa voi esiintyä nekroosia, kärkiosassa tai koko neulasessa (WALKER ym. 1955, STONE ja WILL 1965, de LANUZA 1966, SNOWDON 1971); kloroosia kärkiosassa tai koko neulasessa (GOSLIN 1959, HACSKAYLO 1962⁹, de LANUZA 1966, SNOWDON 1971); sinivihreitä neulasia (LUDBROOK 1940, SMITH 1943, HACSKAYLO 1962⁹) tai kloroottisia tai nekroottisia vyöhykkeitä (de LANUZA 1966).
- Kasvaimen elävässä kärkiosassa neulasen ovat usein kiertyneitä, lyhentyneitä, paksuntuneita, kärjestään vääntyneitä tai koukkumaisia (GOSLIN 1959, de LANUZA 1966, SNOWDON 1971) ja niissä voi esiintyä myös pihkavuotoja (SAVORY 1962, STONE ja WILL 1965, SNOWDON 1971) (kuva 10).

Lisäksi STONEn ja WILLin (1965) mukaan on booripuutosalueiden Pinus radiata taimistoissa havaittu normaalia yleisemmin kääpiö-versojen neulasten osittaista tai totaalista yhteenkasvamista (fused needle) n. 20 %:ssa taimista 1-2 vuotta istutuksen jälkeen. Oiretta ei tosin voida pitää spesifisenä boorin puutosymptoomina, sillä rajoittunut juurten kasvu ja maaperän huono ravinnetila voivat myös rajoittaa muiden ravinteiden ottoa ja tätä kautta saada aikaan saman ilmiön, kuten esim. fosforin puutteessa (YOUNG 1940).

- Etenkin latvakasvaimen silmussa havaitaan kasvaimen kärkikadossa eriasteisia vaurioita:
 1. Kasvaimen kärjen kuollessa silmu kuolee ennenkuin se on täysin muodostunut (STONE ja WILL 1965, HAVERAAEN 1966) (kuva 5).
 2. Silmu sisäosineen kuolee ja hajoaa vasta kun se on saavuttanut täyden kokonsa, mutta kasvaimen kärki säilyy elävänä (GOSLIN 1959, SAVORY 1962, STONE ja WILL 1965, SNOWDON 1971).
 3. Silmun solut menettävät nestejännityksensä lepokauden aikana, mikä aiheuttaa solujen sisäisen tuhoutumisen (STONE ja WILL 1965).
 4. Vain silmun kärkikasvusolukko tuhoutuu (HACSKAYLO 1960, STONE ja WILL 1965) (kuva 6).
 5. Silmun kehitys pysähtyy ja sen lepotila pidentyy ilman makroskooppisesti havaittavia vaurioita (STONE ja WILL 1965).
- Tapauksissa 1 ja 2 silmusta tihkuu pihkaa tai se on pihkan peittävä (LUDBROOK 1940, STONE ja WILL 1965, van GOOR 1966, SNOWDON 1971). Tapauksissa 3 ja 4 kärkisilmu näyttää päältäpäin normaalilta ja tapauksessa 5 silmun pysähtynyt kasvu on saatu seuraavana vuonna alkamaan lepokauden aikana annetulla booraksikäsittelyllä (STONE ja WILL 1965).

Terveennäköisessä latvakasvaimessa voi esiintyä halkeamia (SNOWDON 1971) tai se voi taipua mutkalle (WALKER ym. 1955, STONE 1968, SNOWDON 1971). Myös puilla, joilla ei boorin puutteessa ole havaittu latvakatoa, on latva usein mutkainen; Pinus Elliotii, P. caribaea hondurensis, P. Khasya, P. patula, P. Merkusii (SAVORY 1962, van GOOR 1966) ja Thuja plicata (WALKER ym. 1955).

- Latvakasvaimen kärjen tai kärkisilmun kuoleminen antaa herätteen kääpiöversojen kasvusolukoille kuten kasvainkadossa, mutta tässä tapauksessa muodostuu ensimmäisenä kasvukautena yleensä vain runsaasti silmuja eikä versoja (STONE ja WILL 1965, SNOWDON 1971).

23. Juuristovauriot ja kukkimishäiriöt

Boorin puutteessa on havaittu myös sekä juuristo- että kukkimishäiriöitä:

- Juuret ovat lyhyitä, suorja ja usein myös paksuja. Sivujuurten kärjet ovat pullistuneita ja kuolevia (LUDBROOK 1940, WALKER ym. 1955, BLASER ym. 1967).
- Emikukat ovat epämuodostuneita tai kuolleita oksissa, joissa puutekasvaimia esiintyy (STONE ja WILL 1965).

24. Solukkovauriot

Boorin puutteen aiheuttamia solukkovaurioita ja -muutoksia on havuilla ilmoitettu vähän varren ydinsolukon tummumista koskevien havaintojen lisäksi. BLASER ym. (1967) ovat tutkineet jättiläistuijalla (Thuja plicata) ravintoliuóskokeessa (kesto viisi vuotta) boorin puutteen vaikutuksia solukko- ja solutasolla. Heidän mukaansa boorin puutteessa esiintyy eri oireita, jotka

näkyvät häiriönä solujen normaalissa erilaistumisessa, kuten häiriöinä solun rakenteissa, muodossa, soluseinän rakenteessa ja lujudessa sekä primäärisessä että sekundäärisessä solukossa.

Juuristo

Jättiläistuijan juuret ovat muiden havupuiden juurien kaltaisia (PALLAI 1964), joissa keskuslieriö on 3-, 4-, tai 5-kimppuinen (kuva 11). BLASER ym. (1967) havaitsivat juurissa boorin puutteen seuraavia oireita:

- Morfologisten oireitten yhteydessä mainittu kärjestään pullistuneiden juurten muodostuminen, mikä on seurausta lukuisten heikosti järjestäytyneiden ja yleensä rajoittuneiden kasvusolukkoalueiden muodostumisesta lieriökettoon.
- Primäärinen nila kehittyy suhteellisen normaalisti, mutta puu (ksyleemi) ei erilaistu (kuva 12). Esijälsi (prokambium) ja viereinen lieriöketto jatkavat jakautumistaan.
- Vakavampien puutevaikutusten yhteydessä keskuslieriö repeilee keskiosastaan ja repeily laajenee niihin alueisiin, mihin normaalisti muodostuu ksyleemi (kuva 13). Repeilyaluetta ympäröivissä soluissa solunjakautuminen jatkuu normaalisti.
- Solujen jäädessä erilaistumatta keskuslieriön keskustan solut joutuvat epäjärjestykseen ja näyttää siltä, etteivät soluliman organelit erilaistu normaalisti. Keskuslieriön viereiset solut jakautuvat, mutta eivät kuitenkaan erilaistu. Erittäin vakavan boorin puutteen vallitessa repeily laajenee kasvupisteeseen (promeristeemiin), jolloin juuret kuolevat.

Kasvain

Normaalin ja boorin puutetta kärsivän taimen kasvaimen kärjen solukoissa havaittavat erot ilmentävät selvästi solujen epänormaalien erilaistumista boorin puutteessa (kuvat 16 ja 17). Häiriöitä kasvaimen kärkisolukossa ovat:

- Toiminnallisesti heikentynyt kasvusolukko ja epänormaalit lehtiaiheet.
- Primääriseen ksyleemin putkisolut (trakeidit) muistuttavat metaksyleemiä rengashuokosineen, mutta ovat epänormaalien muotoisia.

Sekundääriset solukot

- Jälsisolut jakautuvat kutakuinkin järjestyksessä. Jos solut irtoavat jällestä, viereiset jälsisolut, ydinsädesolut tai tylppysolut korvaavat ne.
- Nilasyitä on vähän ja siiviläsolut hajoavat.
- Putkisolut voivat suurentua ja olla epämuodostuneita. Ne voivat näyttää U-muotoisilta tai niiden soluseinissä voi myös esiintyä huokosellisia paksunnoksia, jotka läpäisevät soluontelon. Epämuodostuneiden putkisolujen vieressä voi kuitenkin esiintyä aivan normaaleja putkisoluja.
- Kasvaimen puosan solujen seinät ovat usein myös normaalia ohuempia.

3. LEHTIPUUT

Kenttäastia- ja ravintoliuoskokeissa on boorinpuutosoireita havaittu seuraavilla lehtipuilla (STONE 1968, SHORROCKS 1974):

<u>Betula verrucosa</u>	-koivu
<u>Populus deltoides</u>	-amerikkalainen poppeli
<u>Ilex aquifolium</u>	-rautatammi
<u>Juglans regia</u>	-saksanpähkinä
<u>Carya illinoensis</u>	-pekaanipähkinä
<u>Prunus amygdalus</u>	-mantelipuu
<u>Anacardium occidentale</u>	-Cashew'in pähkinä
<u>Eucalyptus sp.</u>	-eukalyptus
<u>Acacia mollissima</u>	-akaasia
<u>Robinia pseudoacacia</u>	-valeakaasia
<u>Liquidambar styraciflua</u>	-ambrapuu
<u>Grevillea robusta</u>	-silkipensas
<u>Hevea brasiliensis</u>	-kumipuu

Hedelmäpuilla puutosoireet ovat parhaiten tunnetut, mutta tässä kirjoituksessa ei niitä tulla käsittelemään, vaan viitataan JAMALAISEN (1968) teokseen.

Boorin puutteesta kärsivien lehtipuiden lehdet ovat yleensä pienkokoisia, usein tummuneita sekä epätasaisen paksuuntumisen johdosta vääntyneitä tai aaltoilevia, etenkin latvakasvaimessa. Myös lehtien suontenvälistä kloroosia tai nekroosia (ruskettumista) on havaittu (INGESTAD ja JACOBSON 1962, HACKSKAYLO 1960, STONE 1968).

31. Kasvain

Boorin puute aiheuttaa kasvaimen kärkikasvupisteen, kärkisilmun, kasvaimen kärkiosan tai jopa koko kasvaimen kuihtumisen ja kuoleamisen (dieback) nopeasti tai vähittäisesti riippuen puutteen vakavuudesta. Kasvain voi myös "turvota" kärjestään tai kasvaimen kuori halkeilla ja muuttua kärjestä alkaen nekroottiseksi (STONE 1968, SHORROCKS 1974). Myös nilassa ja kuoressa on havaittu

ruskeita laikkuja, jotka laajenevat vähitellen koko jäljen alueelle (VAIL ym. 1957, ELMER ja GOSNELL 1963).

32. Lehdet

Rauduskoivulla (Betula verrucosa) lehtilavan kehitys häiriintyy, jolloin lehtien yhteyttävän solukon (mesofyllin) epätasaisen kasvun tuloksena lehden pinta näyttää epätasaiselta, ikäänkuin rakkuloiden peittämältä. Lehdet ovat yleensä tummanvihreitä, mutta paikka paikoin voi esiintyä suuria kloroosi- tai nekroosilaikkuja (INGESTAD ja JACOBSON 1962, SHORROCKS 1974).

Amerikkalaisella poppelilla (Populus deltoides)pituuskasvu heikkipö ja lehdet jäävät pieniksi. Pistokkailla esiintyy kääpiökasvua ja nivelvälien lyhentymistä. Lehdet ovat tällöin tummanvihreitä, mutta normaalin näköisiä, paitsi kasvaimen kärjessä, missä lehtiä ei muodostu (HACKSKAYLO ja VIMMERSTEDT 1967).

Muilla lehtipuilla lehdissä ilmeneviä boorin puutosoireita ovat: suontenväliset nekroositäplät, saksanpähkinä (Juglans regia); pienilehtisyys, kumipuu (Hevea brasiliensis); kellastuminen, eukalyptus (Eucalyptus sp.) ja akaasia (Acacia mollissima); poimuttuminen tai ryppyisyys, eukalyptus (Eucalyptus sp.); epämuodostumia, kuten leveät tai vääntyneet lehtilavat, silkkipensas (Grevillea robusta) ja saksanpähkinä (Juglans regia). Eräillä puilla on lisäksi havaittu lehdissä nesteen täyttämiä onteloita, pekaanipähkinä (Carya illinoensis) ja rautatammi (Ilex aquifolium); punertumista joko kokonaan, akaasia (Acacia mollissima) ja eukalyptus (Eucalyptus sp.) tai laikkuja, pekaanipähkinä (Carya illinoensis) ja rautatammi (Ilex aquifolium) värin ollessa aluksi punainen-purppuranpunainen ja muuttuessa sitten punaruskeaksi. (CHAPMAN 1966, MOORE ja KERAITIS 1966, SHORROCKS 1974).

33. Juuret

Koivulla boorin puute aiheuttaa vaurioita juurten kasvusolukoissa, minkä johdosta sivujuuret kehittyvät heikosti ja jäävät lyhyiksi (INGESTAD ja JACOBSON 1962). Ambrapuun (Liquidambar styraciflua) juuret ovat taas tummia, hyvin kehittyneet, mutta niiden kärjet ovat turvonneet (HACKSKAYLO 1960).

4. BOORIN PUUTTEEN LEVINNEISYYS JA MERKITYS

41. Boorin puutteen alueellinen esiintyminen

Metsänistutusaloilla on boorin puutetta havaittu männyillä Pohjois-Rhodesiassa (SAVORY 1962), Tansaniassa (VAIL ym. 1961, PROC-TØR 1965, 1967), Malesiassa (WARING 1971), Uudessa-Guineassa (WHITE 1964), Brasiliassa (van GOOR 1966), Chilessä (TOLLENAAR 1969), Australiassa (~~RAUPACH 1967~~, SNOWDON 1971) ja Uudessa Seelannissa (WILL ym. 1963, STONE ja WILL 1965) sekä myös Norjassa (BRAEKKE 1977). Muilla puulajeilla on boorin puutetta havaittu Itä-Afrikassa (VAIL ym. 1957, SMITH 1960, SAVORY 1962, ELMER ja GOSNELL 1963), Uudessa-Guineassa (WHITE 1964), Etelä-Intiassa (VENKATARAMANI 1963) sekä Kreikassa (COOLING 1970).

Puiden boorinpuutosoireita on siis pääasiassa havaittu trooppisen ja subtrooppisten ilmastovyöhykkeiden tuliperäisillä ja runsaille sateille alttiilla alueilla, mutta myös lauhkean ilmastovyöhykkeen alueilla.

42. Puiden boorin puute Suomessa

HAVERAAENIin (1966) -B-astiakokeessa ja BRAEKKEin (1977) kenttäkokeessa --Cu -B -ruuduilla ravinneköyhällä Sphagnum -turpeella havaitsemat männyn ja kuusen latvakadot sekä jälkisilmujen puhkeaminen vaurioituneen latvanosan alapuolelle antavat aiheen verrata

edellisissä kappaleissa esille tuotuja boorinpuutosoireita Suomessa, etenkin ojitetuilla ja lannoitetuilla turvemaileda havaittuun männyn (ei patogeeniseen) latvan ja silmujen kasvuhäiriöön, josta myös on käytetty nimitystä "eskimoosi" (HUIKARI 1974, 1975, VEIJALAINEN 1975, KOSONEN ja SILFVERBERG 1976, RAITIO ja RANTALA 1977). Tämän kasvuhäiriön kehitys on VEIJALAISEN (1975) mukaan seuraava:

- esiintyy pitkäöksaisuutta, neulasmassa on runsas, samoin pituus- ja paksuuskasvu
- puu menettää apikaalidominanssin so. kärkikasvuisuutensa
- esiintyy jälkikasvua
- latvakasvaimen neulasten pituuksissa on suurta vaihtelua ja spiraalisuutta (kuva 18; ks. kuva 10)
- päärangalla ja oksissa pituuskasvu vähenee
- muodostuu lamppuharjamaisia tupsukasvaimia tai latvasykeröitä (kuvat 19-21; ks. s. 4), joissa neulasten pituus voi olla suuri, mutta ne ovat kasvaimessa erittäin tiheästi vierivieressä.

Noin 0-2 vuotta em. oireiden jälkeen voi tapahtua latvakato, jolloin pahimmassa tapauksessa 1-3 vuoden kasvaimet kuivuvat kerralla. Lisäksi suontutkimusosastolla tehtyjen havaintojen ja myös RAITION ja RANTALAN (1977) mukaan kasvuhäiriöön liittyy usein latvakasvainten haaroittumista, silmujen voimakasta pihkoittumista, nekroottisia täpliä tai vyöhykkeitä neulasissa, latvakasvaimen ytimen ruskettumista (laikkuina tai tasaisesti) kärjestä alaspäin, kääpiöversosilmujen muodostumista kuolleen latvanosan alapuolelle (kuva 18), neulasten yhteenkasvamista (kuva 18) sekä myös paikoin latvakasvaimen kuoriosan pitkittäishalkeilua (ks. s.4-7).

Kasvuhäiriön korjautuminen tapahtuu yhden tai useamman sekundaarisen kasvaimen 1. ohituskasvaimen muodostumisen kautta, jolloin esim. lievimmässä häiriön muodossa puusta tulee 1-3 -latvainen, kun taas pahimmassa tapauksessa puusta tulee ns. "tuhatlatvainen" tai jopa pensasmainen usein toistuvien latvakatojen ja korjausyritysten seurauksena (kuva 22; ks. kuvat 1, 2, 3, 7 ja 9). Lopulta osa puista kuolee kokonaan.

Neulasten anatomisessa rakenteessa on kasvuhäiriöpuilla myös havaittu muutoksia; johtojänteitä ympäröivässä transfuusiosolukossa on todettu vähemmän tukisolukkoa (sklerenkyymiä), ontelo muodostusta ja epämuodostuneita soluja terveiden puiden neulasiin verrattuna. Myös neulasten tukisolujen puutuminen on ollut heikompaa kuin terveillä puilla (RAITIO ja RANTALA 1977).

Kasvuhäiriöpuiden juurissa on myös havaittu paikoin häiriöitä (KOLARI, PAAVILAINEN ja RAITIO 1977). Selvimät havaitut oireet ovat juuren primäärisen nilan solujen ohutseinäisyys ja hypertrofia (liikakasvu), keskuslieriön onteloituminen (solujen hajoaminen ja repeily) ja protoksyyleemin heikompi puutuminen (kuvat 23 ja 24; ks. s. 9 sekä kuvat 12 ja 13).

Edellä kuvatulla männyn kasvuhäiriöllä on ilmeistä yhtäläisyyttä tunnettuihin booripuutosoireisiin seuraavien osaoireiden kohdalla: latvakasvaimen hidastuneen kasvun ja nivelvälien lyhentymisen kautta muodostuva rotanhäntämäinen latva; koko latvakasvaimen tai sen kärkiosan kuoleminen ja tätä seuraava monilatvaisuus; latvakasvaimen ytimen ruskettuminen ja kuoren halkeilu; neulasten vyöhyke- tai nauhamainen kloroosi ja nekroosi; lyhentyneet, ^{vääntyneet} ja kiertyneet neulaset sekä juuren keskuslieriön repeily ja

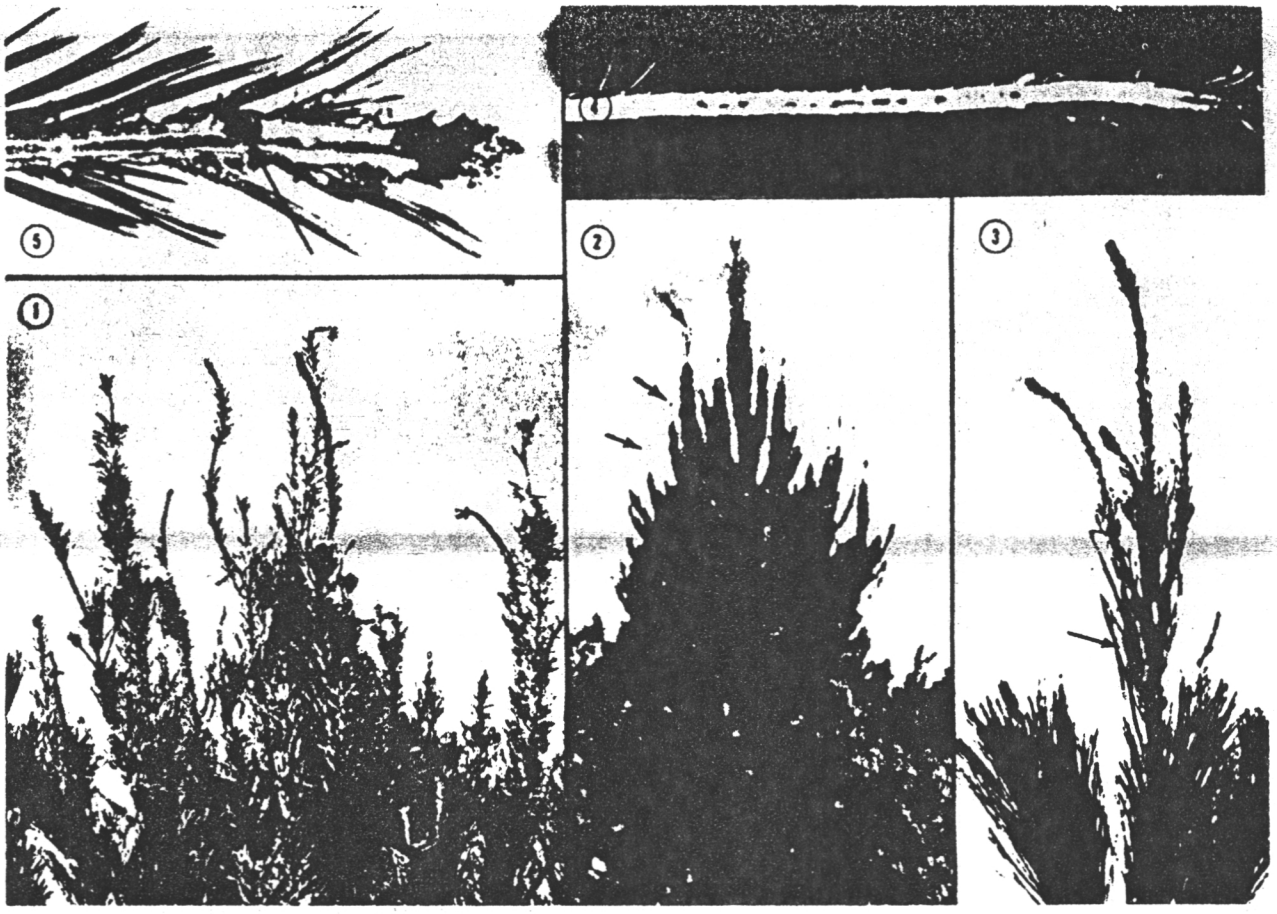
onteloituminen. Tosin eräät oireyhtymän osaoireista muistuttavat myös havupuilla esiintyviä (tosin vähemmän spesifisiä) kuparipuutosoireita. Näitä ovat: pituuskasvun heikentyminen, latvakasvaimen puutumisen heikentyminen seurauksena kasvaimen S-muotoisuus sekä mahdollisesti kasvaimen kärjen heikko kylmänkestävyys (REUTHER ja LABANAUSKAS 1966). Sinkin puutosoireita taas muistuttavat esim.: kasvun hidastuminen ja tupsu-/sykerölatvaisuus sekä latvakasvaimen kärjen kuoleminen ja neulasten lyhentymisen, erona boorinpuutteeseen kuitenkin se, että puu yleensä pysyy yksilatvaisena (STOATE 1950). Se, että Suomessa kasvuhäiriöön liittyvät oireet muistuttavat yhden tai useamman mikroravinteen puutteen oireita, voitaneen osaksi selittää häiriön piirissä havaituista kahdesta hieman toisistaan poikkeavista latvahäiriöistä. Varsinaiseen latvakatotyyppiin kuuluu pääosa havaituista häiriöpuista (esim. Vieremä ja Kivisuo), joissa latvakadon on havaittu tapahtuvan kasvukauden aikana. Toisessa ns. sykerö-/tupsutyypissä (esim. Alkkia) latvakasvain (kasvun heiketessä tai loppuessa) usein säilyy elävänä saaden aikaan latvasykerön. Näistä tyypeistä edellinen muistuttaa männyllä havaittuja boorinpuutos- ja jälkimmäinen sinkinpuutosoireita.

Kasvuhäiriöt voivat myös esiintyä samalla alueella yhtäaikaan, jolloin osa puusta on latvakatoisia ja osa latvasykeröisiä (esim. Kivisuon H-kulttuurikokeet).

Em. diagnostisista vaikeuksista huolimatta on vahvasti epäiltävissä, että edellä esitetyn männyn kasvuhäiriön syynä on jonkin mikroravinteen (hivenravinteen) puute. Näiden mikroravinteiden (lähinnä B, Zn ja Cu) puute voi olla seurausta joko turvemaiden

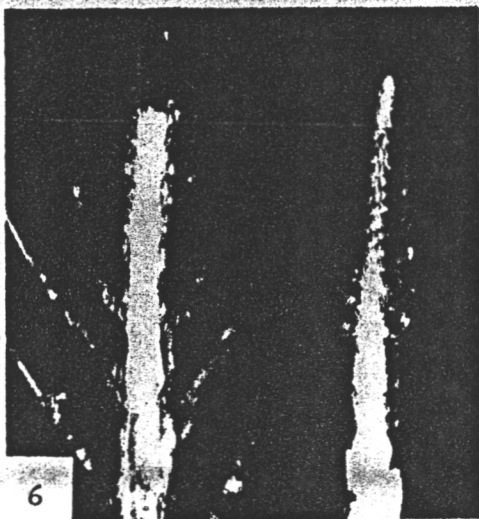
luontaisesti alhaisista mikroravinnepitoisuuksista (ks. PAARLAHTI ym. 1971, SILLANPÄÄ 1972, s. 6-8) tai välillisesti seurausta pääravinteiden -typen, kalin tai fosforin - sekä kalkituksen aikaansaamasta antagonistisesta vaikutuksesta maaperässä ja itse puussa tai myös voimakkaan kasvun indusoimasta mikroravinnepitoisuuksien vähentymisistä l. ohentumisista (ks. OLSEN 1972), mitä ilmiötä on myös havaittu lannoitettujen turvemaiden puustoissa Suomessa (PAARLAHTI ym. 1971).

Kysymys siitä, mikä tai mitkä mikroravinteet ovat kasvuhäiriön syynä on toistaiseksi vielä avoin, joskin boorin ja sinkin osuudet yksin tai yhdessä vaikuttavat mahdollisilta.



Kuvat 1-5: Pinus radiata

- Kuva 1: Kasvainkato, jossa näkyy vaurioituneita kasvaimia ja lyhentyneitä neulasia. Monilatvaisuus on seurausta kasvainten samanlaisista vaurioista aikaisempina vuosina.
- Kuva 2: Nelimetrinen puu, jossa normaalia kasvua on seurannut kasvainten kuoleminen. Nuolet osoittavat kolmea vaurioitunutta kasvainta.
- Kuva 3: Kasvainkato, jossa kasvainten kärkiosat ovat kuolleet. Kasvaimissa näkyy vaaleita pihkalaikkuja. Nuoli osoittaa kasvavaa kääpiöverson silmua. Alapuolella olevat oksat ovat samalla tavalla vaurioituneita.
- Kuva 4: Poikkileikkaus latvakasvainkato-kasvaimen siirtymävyöhykkeestä, jossa ydin on paikoin tummunut.
- Kuva 5: Poikkileikkaus latvakasvaimen kärkikato-kasvaimesta. Näkyvissä kuolleet silmut, lyhentyneet neulaset, ytimen nekroottiset alueet sekä kuoreen muodostunut pihkaontelo.



6

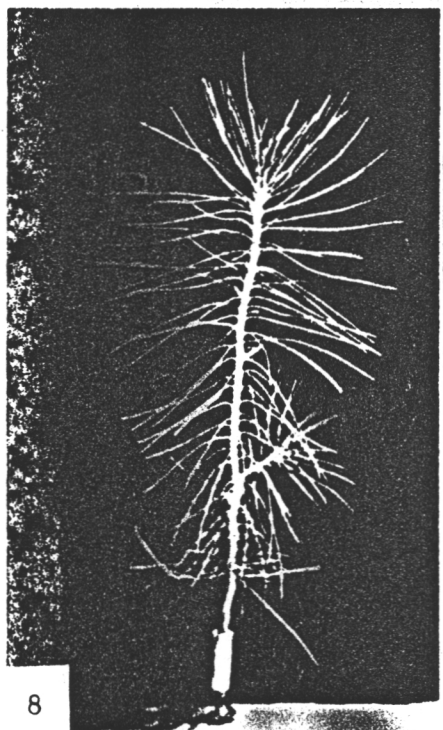


7

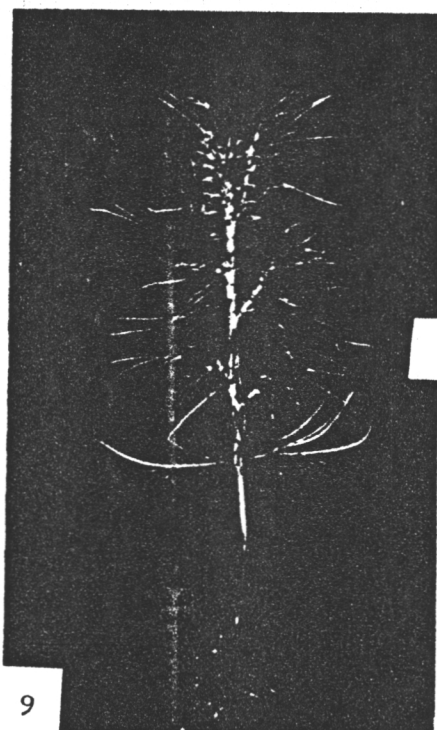
Kuva 6: Poikkileikkaus Pinus pinaster'in kasvavista silmuista. Oikealla normaali silmu. Vasemmalla boorinpuutepuun silmu, jossa tyviosa on elossa ja kasvaa, mutta jossa kärkiosa on ohuen hajonneen ja kuolleen kasvusolukkerroksen ympäröimä.

Kuva 7: Boorin puutteen pahoin vaivaama P. Pinaster, josta on muodostunut pensas latvakasvainten vuosittaisten katojen tai niiden kasvun tyrehtymisen seurauksena.

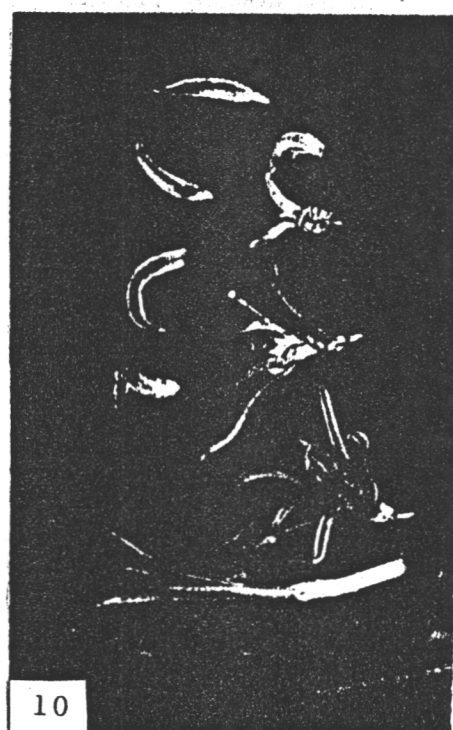
Valokuvat STONE ja WILL (1965).



8



9



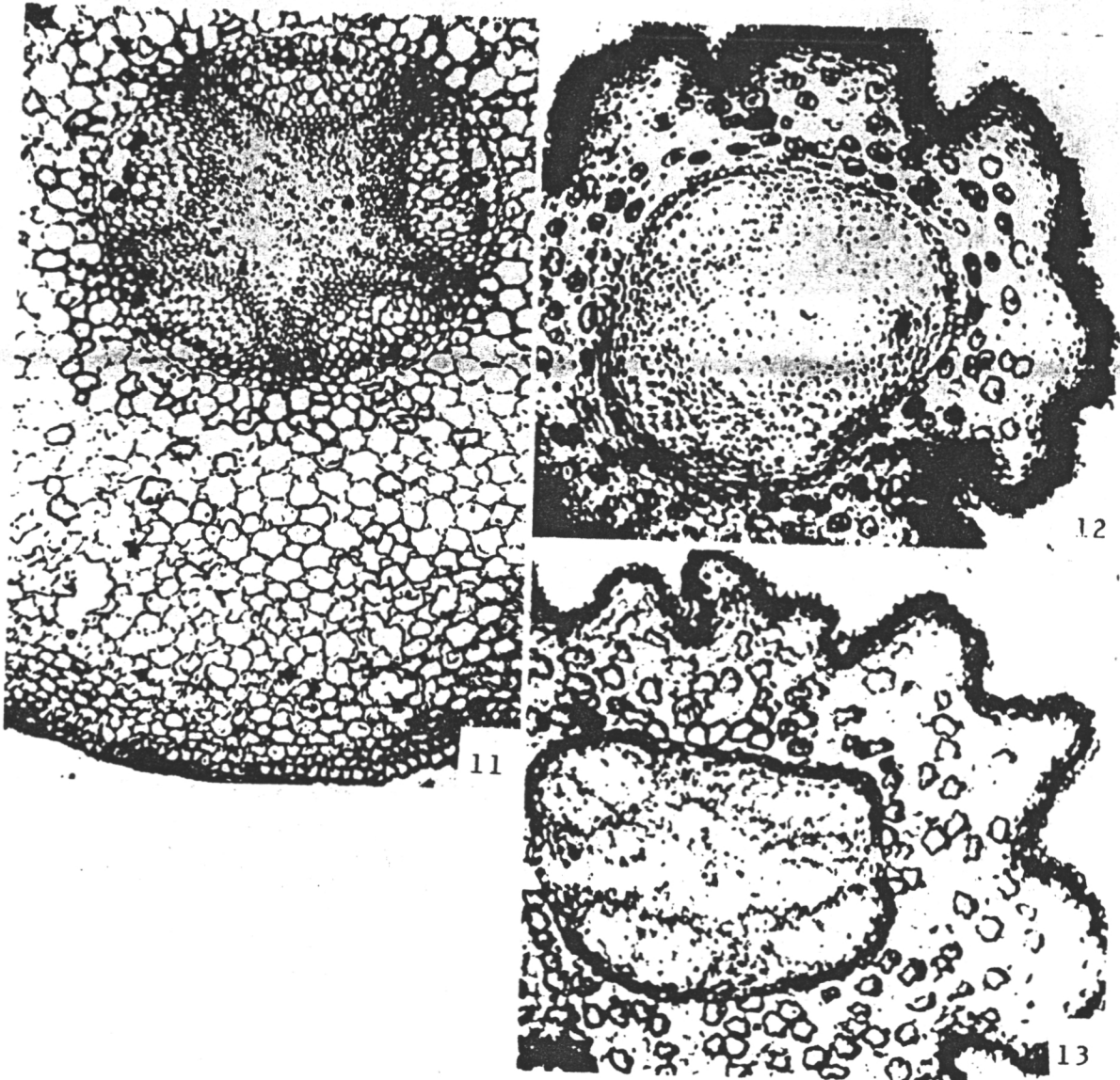
10

Kuvat 8-10: Pinus radiata Valokuvat de LANUZA (1966)

Kuva 8: Normaali taimi.

Kuva 9: Kohtalaisen boorin puutteen seurauksena on muodostunut kääpiöverso silmuista sekundäärisiä kasvaimia.

Kuva 10: Alaosassa terveitä neulasia. Niiden yläpuolella boorinpuute-neulasia, jotka ovat lyhyitä, paksuja ja epämuodostuneita.



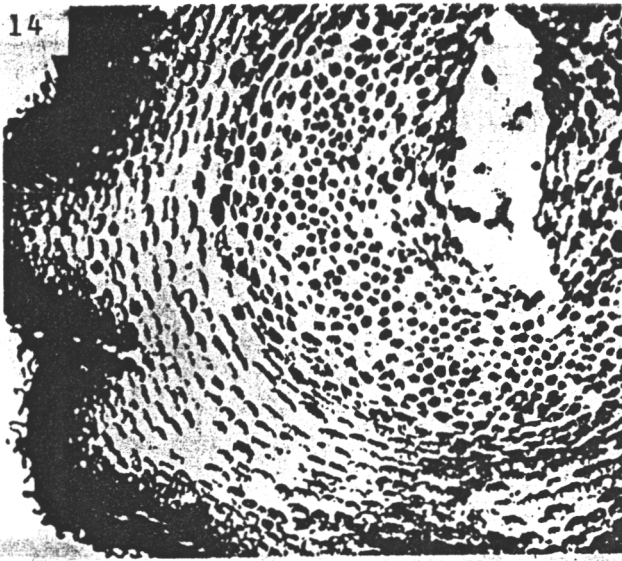
Kuvat 11-17: Thuja plicata (jättiläistuija)

Kuva 11: Täysravinneliuksessa kasvaneen taimen juuri, jossa on viisikimppu-
sen (pentarckisen) juuren normaali rakenne; 90 kert. suurenn.

Kuva 12: Boorinpuutetaimen nelikimppuinen (tetrarckinen) juuri, jossa juuren-
kuoren rakenne on epänormaali ja jossa primäärinen ksyleemi ei ole
erilaistunut; 140 kert. suurenn.

Kuva 13: Kuten edellinen kuva, mutta keskuslieriön keskiosassa on repeämä,
joka laajenee läpi kahden protoksyyleemialueen; 14 kert. suurenn.

Valokuvat BLASER ym. (1967).



Kuva 14: Osa nuorta juurta, jossa keskuslieriön keskiosan soluorganellit ovat erilaistumattomia; 165 kert. suurenn.

Kuva 15: Osasuurennos edellisestä kuvasta; 400 kert. suurenn.

Valokuvat BLASER ym. (1967).



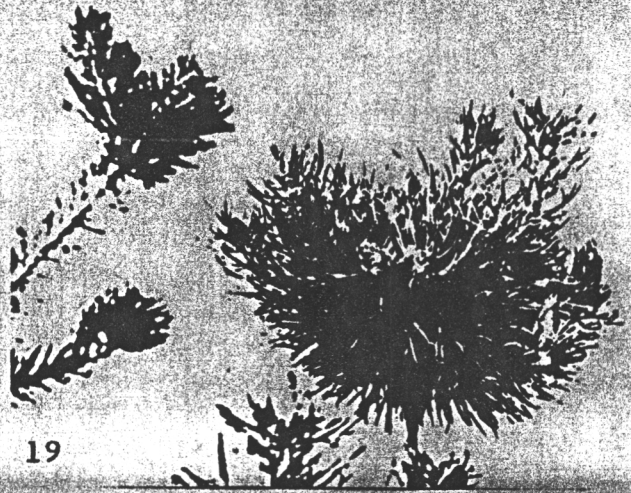
Kuva 16: Täysravinneliuksessa kasvaneen taimen kasvaimen kärjen normaali rakenne; 285 kert. suurenn.

Kuva 17: Boorinpuutteisen latvakasvaimen kärki, jossa näkyy uinuvaa kasvusolukkoa ja epänormaalit lehtiaiheet; 285 kert. suurenn.

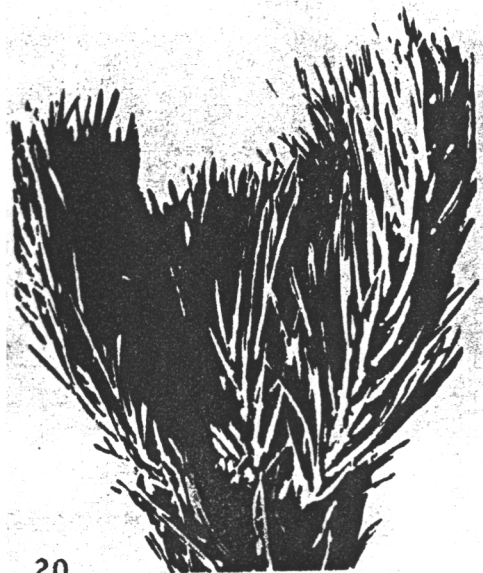
Valokuvat BLASER ym. (1967).



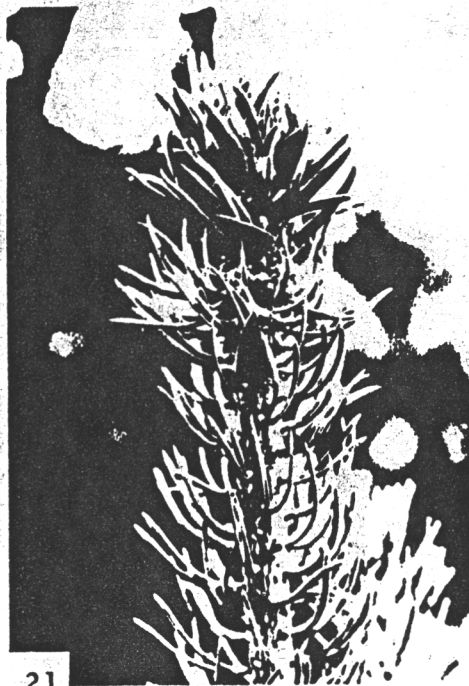
18



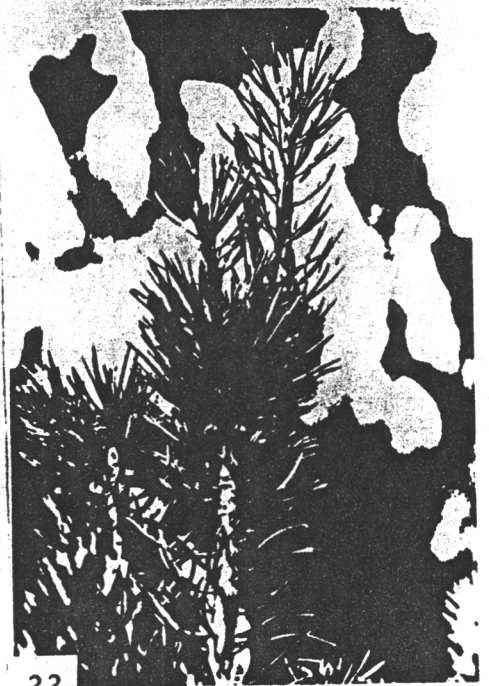
19



20



21



22

Kuvat 18-22 Pinus sylvestris

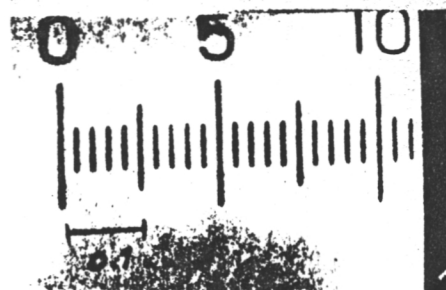
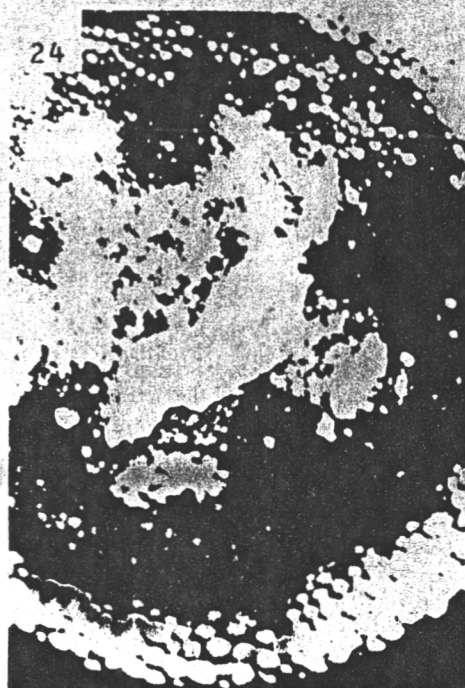
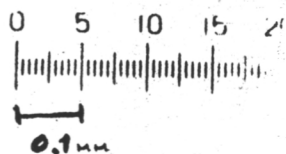
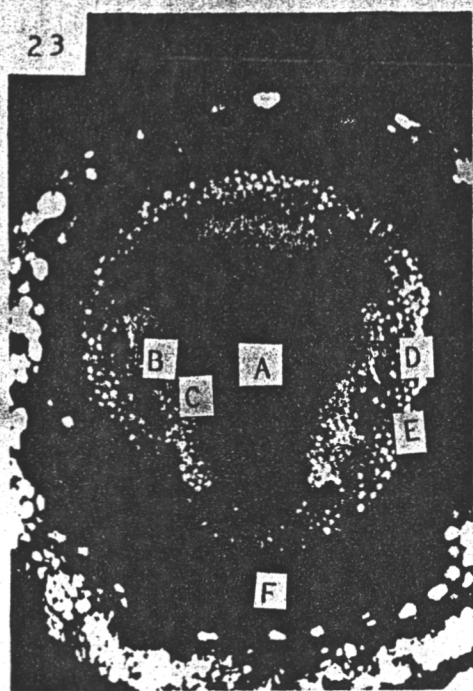
Kuva 18: Epämuodostuneita männyn neulasia. Kääpiöversoihin puhjennut silmuja.
(valok. H. Raitio ja E-M Rantala elok. 1976)

Kuva 19: Lukuisten lyhyiden vuosikasvaimien muodostama sykerö.
(valok. K. Kolari huhtik. 1976)

Kuva 20: Latvakasvain, jonka kasvu pysähtynyt kesken kasvukautta.
(valok. H. Raitio ja E-M. Rantala 1976)

Kuva 21: Tupsumainen latvakasvain
(valok. H. Raitio ja E-M Rantala 1976)

Kuva 22: Kärkisilmun kasvun pysähtymisen seurauksena muodostunut ohituskasvain
(valok. H. Raitio ja E-M Rantala elok. 1976)



Kuvat 23-24 Pinus sylvestris (tav. mänty)

Kuva 23: Poikkileikkaus terveestä männyn triarkkisesta l. kolmikimppuisesta juuresta. A, metaksyleemi; B, primäärinen nila; C, jälsi; D, lieriöketto; E, endodermi; F, juuren kuori; 30 kert. suurenn.

Kuva 24: Poikkileikkaus kasvuhäiriömännyn pentarkkisesta l. viisikimppuisesta juuresta. Osassa nilakimppuja solujen hypertrofiaa sekä onteloitumista.

Metaksyleemissä laaja ontelo; 100 kert. suurenn.

Valokuvat H. RAITIO 1976.

KIRJALLISUUS:

- BLASER, W., MARR, C. & TAKAHASHI, D. 1967. Anatomy of boron deficient Thuja plicata. Amer. J. Bot. 54(9):1107-1113.
- BRAEKKE, F.H. 1977. Gjødslingsbehov ved balansert næringsopptak for trebestand på næringsfattige torvmarker. Foredrag vid Nordiska Samarbetsgruppen för Skogsgödslingsfrågor möte 30.8.-1.9.1977 i Finland. Moniste, 23 s.
- BRADFORD, G.R. 1966. Boron. s. 33-61. Teoksessa: CHAPMAN, H.D. (toim.). Diagnostic criteria for plants and soils. Univ. California, Div. Agr. Sci.
- CHAPMAN, H.D. (¹⁹⁶⁶toim.) Diagnostic criteria for plants and soils. Univ. California, Div. Agr. Sci. 791 s.
- COOLING, E.N. 1970. Boron deficiency in Eucalyptus camaldunensis. Dehn. in the Peloponnesus, Greece. Com. Coordination Mediterranean Forestry Res., 4th Ankara, Sept. 1970 (sit. Boron in Agriculture 93: abstr. 34 mukaan).
- ELMER, J.L. & GOSNELL, J.M. 1963. The role of boron and rainfall on the incidence of wattle dieback in East Africa. East. Afr. Agr. For. J. 29:31-38 (sit. SNOWDON'in 1971 mukaan).
- GOOR, C.P. van. 1966. A nutricao de alguns pinheiros tropicais. Silvicultura em Sao Paulo 4/5:313-340. (sit. SNOWDON'in ^{STONE 1968 in} 1971 mukaan).
- GOSLIN, W.E. 1959. Effects of deficiencies of essential elements on the development and mineral composition of seedlings of Scots pine (Pinus sylvestris L.) Ph. D. thesis. Dept. of Botany. The Ohio State University. (sit. de LANUZAN 1966 mukaan).
- HACSKAYLO, J. 1960. Deficiency symptoms in forest trees. Trans. 7th Intern. Cong. Soil. Sci., Madison 3:393-405.
- ~~" 1962. Inorganic deficiency symptoms in white pine (Pinus strobus L.) Sol et Plante 1962, XI, No. 1-3. (sit. de LANUZAN 1966 mukaan).~~
- HACSKAYLO, J. & VIMMERSTEDT, J.P. 1967. Visual and chemical characteristics of eastern cottonwood growing under nutrient deficiency conditions. (sit. STONE'n 1968 mukaan).

- HAVERAAEN, O. 1966. Bor er også et noedvendig mikronaeringsstoff for gran og furu. Norsk Skogsbruk 22:788.
- HUIKARI, O. 1974. Hivenaineet ja puiden kasvu. Metsä ja Puu 11/74.
- HUIKARI, O. 1975. Hivenaineepula uhkaa pysäyttää metsän kasvua. Helsingin Sanomat 16.10.1975.
- INGESTAD, T. & JACOBSON, A. 1962. Boron and manganese nutrition of birch seedlings in nutrient solutions. Medd. Skogsforskn. Inst. Stockholm 5.(8):1-20.
- JAMALAINEN, E.A. 1968. Kasvien puutostaudit. Kirjayhtymä. Helsinki. 128 s.
- KOLARI, K., PAAVILAINEN, E. & RAITIO, H. Männyn juuristosuhteista Kivisuon kasvuhäiriöalueella. Summary: Pine root condition and growth disturbances. Folia Forestalia 313:1-16.
- KOSONEN, R. & SILFVERBERG, K. 1976. Havaintoja eskimosis-ilmiöstä männyllä Kivisuolla 1976. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 8/75. 15 s.
- LANUZA, J.M. de. 1966. Boron deficiency and toxicity in Pinus radiata. Teoksessa: Nutricion Hideoponica con microelementos. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid. Englanninkielinen käännös julk. Borax Consolidated, Borax House, London. 16 s.
- LUCAS, R.E. & KNEZEK, B.D. 1972. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. Teoksessa: MORTVEDT, J.J. (toim.) 1972. Micronutrients in agriculture. Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison USA, s. 265-288.
- LUDBROOK, W.V. 1940. Boron deficiency symptoms in pine seedlings in water culture. J. Comm. Sci. Ind. Res. Aust. 13:186-190.
- MOORE, C.W.E. & KERAITIS, K. 1966. Nutrition of Grevillea robusta. Aust. J. Bot. 14:151-163.
- OLSEN, S.R. 1972. Micronutrient interactions. Teoksessa: MORTVEDT ym. (toim.) 1972. Micronutrients in agriculture. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, USA. s. 243-246.
- PAARLAHTI, K., REINIKAINEN, A. & VEIJALAINEN, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämiseksi. Commun. Inst. For. Fenn. 74.5.

- PALLAI, A. 1964. Root apical organization in Gymnosperms. Bull Torrey Bot. Club 91:1-12 (sit. BLASER'in ym. 1967 mukaan).
- PROCTOR, J.E.A. 1965. Diseases of pines in the southern Highlands Province, Tanganyika. East. Afr. Agr. For. J. 31:203-209. (sit. STONEN 1965 ja SNOWDON'in 1971 mukaan).
- " - 1967. A nutritional disorder of pine. Commonw. For. Rev. 46:145-154.
- RAITIO, H. & RANTALA, E-M. 1977. Männyn kasvuhäiriön makro- ja mikrokooppisia oireita. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Summary: Macroscopic and microscopic symptoms of a growth disturbance in Scots pine. Description and interpretation. Commun. Inst. For. Fenn. 91(1): 1-32.
- ~~RAUPACH, M. 1967. Soil and fertilizer requirements for forests of Pinus radiata. Adv. Agron. 19.~~
- REUTHER, W. & LABANAUSKAS, C.K. 1966. Copper. Teoksessa: CHAPMAN, H.D. (toim.) Diagnostic criteria for plants and soils. Univ. Calif. Div. Agr. Sci. s. 157-179.
- RYAN, P., LEE, J. & PEEBLES, T.F. 1967. Trace element problems in relation to soil units in Europe. FAO, Rome. World Soil Resources Report 31.
- SAVORY, B.M. 1962. Boron deficiency in eucalyptus in Northern Rhodesia. Emp. For. Rev. 41:118-126. (Sit. STONEN 1968 mukaan).
- SHORROCKS, V.M. 1974. Boron deficiency its prevention and cure. Borax Consolidated Limited. Borax House. London. 55 p.
- SILLANPÄÄ, M. 1972. Trace elements in soils and agriculture. FAO, Rome. Soils Bull. N:o 17.
- SMITH, M. E. 1943. Micronutrients essential for the growth of Pinus radiata. Aust. For. 7:22-27.
- SMITH, A.N. 1960. Boron deficiency in Grevillea robusta. Nature 186:987.
- SNOWDON, P. 1971. Observation on boron deficiency in Pinus radiata. Aust. Forest. Tree Nutrition Conf. Sept. 1971. Forestry and Timber Bureau (Aust.), Department of National Development. Canberra. A.C.T. s. 191-207.

- STOATE, T.N. 1960. Nutrition of the pine. Forestry and Timber Bureau (Aust.) Bull. 30.
- STONE, E.L. 1968. Microelement nutrition of forest trees: A review. Teoksessa: Forest fertilization - theory and practice. Symp. For. Fert. April 1967. Gainesville, Florida. Tennessee Walley Authority. Knoxville, USA. s. 132-175.
- STONE, E.L. & WILL, G.M. 1965. Boron deficiency in Pinus radiata and P. Pinaster. For. Sci. 11(4):425-433.
- TOLLENAAR, H. 1969. [Boron deficiency in pines in central Chile]. Agricultura tec. 29:85-88. [Sp. e.] [Univ. Concepcion, Chile] (Sit. Commonw. Bur. Soils, Annof. Bibliogr. 1971 N:o 1486 mukaan).
- VAIL, J.W., CARLTON, W.E. & STRANG, R.M. 1957. Dieback of wattle - a boron deficiency. East. Afr. Agr. J. 23:100-103.
- VAIL, J.W., PARRY, M.S. & CALTON, W.E. 1961. Boron deficiency dieback in pines. Plant and Soil XIV (4): 393-398.
- VEIJALAINEN, H. 1975. Kasvuhäiriöistä ja niiden syistä metsäojitusalueella. Summary: Dieback fertilization on drained peatlands. Suo 26(5):87-92.
- VENKATARAMANI, K.S. 1963. Boron deficiency in the silver oak. Ann. Admin. Rept. Sci. Dept. (Tea sect.). United Planters Assoc. S. India 1962/63:70-71. (sit. For. Abstr. 26: abstr. 2320 mukaan).
- WALKER, R.B., GESSEL, S.P. & HADDOCK, P.G. 1955. Greenhouse studies in mineral requirements of conifers: Western red cedar. For. Sci. 1:51-60.
- WARING, H.D. 1971. The nutritional status of pine plantations in Malaysia. Report for Forestry Department. FAO, 49 p.
- WHITE, K.J. 1964. Mineral deficiencies in forest plantation trees. IFA Newsletter 5(4):6-8. (sit. SNOWDON'in 1971 mukaan).
- WILL, G.M., APPLEDTON, D.J., SLOW, A.J. & STONE, E.L. 1963. Boron deficiency - the cause of dieback in pines in the Nelson district. New Zealand For. Sci. Res. Leaf. 1. 1 s.
- YOUNG, H.E. 1940. Fused needle disease and its relation to the nutrition of Pinus sp. Queensland Dept. Forestry Bul. 13. 108 pp.

