

09. 08. 201

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 352
MAANTUTKIMUSOSASTO



Erkki Lipas

KALKITUKSEN AIHEUTTAMA BOORINPUUTE
KANGASMAAN KUUSIKOSSA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Kansikuva: Kasvuhäiriöpuita kokeen 35 NPCa-koealalla.
Pituuskasvu on ollut pysähdyksissä usean vuoden ajan.

Front cover: Disturbed trees on plot NPCa in Experiment 35. The height
growth has been stunted for many years.

(Kuva - Photo: Väinö Harjuaho)

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 352
Maantutkimusosasto

Erkki Lipas

**Kalkituksen aiheuttama boorinpuute
kangasmaan kuusikossa**

Abstract:

Lime-induced boron deficiency in
Norway spruce on mineral soils

Vantaa 1990

ISBN 951-40-1097-3

ISSN 0358-4283

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ - ABSTRACT.....	4
1. JOHDANTO.....	5
2. AINEISTO JA MENETELMÄT.....	7
21. Kokeet.....	7
22. Ravinnemääritykset.....	9
23. Puuston mittaus ja kasvuhäiriöiden kuvaus.....	10
3. TULOKSET.....	11
31. Lannoituksen vaikutus neulasten booripitoisuuteen...11	
32. Boorinpuutteen vaikutus puuston kasvuun.....	14
33. Kasvuhäiriöt.....	16
4. TULOSTEN TARKASTELU.....	19
KIRJALLISUUSLUETTELO.....	21

Lipas, E. 1990. Kalkituksen aiheuttama boorinpuute kangasmaan kuusikossa. Abstract: Lime-induced boron deficiency in Norway spruce on mineral soils. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 352. 22 s.

Eräillä pitkäaikaisilla lannoituskokeilla Keski-Suomessa ja Savossa todetut kasvuhäiriöt osoittautuivat olevan yhteydessä neulasten alhaiseen booripitoisuuteen. Ilmiö esiintyi pelkästään kalkituilla koealoilla ja varsinkin silloin, kun kalkin lisäksi oli annettu myös typpi-, fosfori- tai NP-lannoitus. Ilman kalkitusta ei lannoitus alentanut neulasten booritasoa. Vaikka ensimmäinen kalkitus (2000 kg/ha) oli jo ilmeisesti alentanut booripitoisuutta, vasta uusintakalkitus (4000 kg/ha) laukaisi kasvuhäiriön. Myös tapauksissa, joissa kasvuhäiriötä ei esiintynyt, voitiin todeta boorinpuutteen rajoittaneen kuusen pituuskasvua kalkituilla koealoilla.

Growth disturbances of Norway spruce (*Picea abies* Karst) observed in some long-term, fertilization and liming experiments in Central and Eastern Finland were found to be associated with low needle boron content. The phenomenon occurred only on limed plots, especially when limestone had been given together with nitrogen, phosphorus, or NP fertilization. If lime had not been given, the fertilization did not lower the needle boron. Although the first limestone application (2000 kg/ha) had apparently already reduced the boron content, only the second limestone application (4000 kg/ha) caused an actual outbreak of the growth disturbance. The growth limiting effect of boron deficiency on height growth was also found in cases where no visible symptoms were observed.

1. JOHDANTO

Suomen metsissä boorinsaantivaikeuksia esiintyy paikoitellen, erityisesti turvemailla (Veijalainen ym. 1984). Ojitusalueilla boorinpuutteeseen liittyviä kasvuhäiriöitä on havaittu erityisesti männiköissä ja jonkin verran kuusikoissa (Silfverberg 1980), mutta vastaava ilmiö saattaa esiintyä myös koivulla (Kolari 1988). Kangasmailla boorinpuutetta on arveltu osasyylliseksi tyypellä lannoitettujen havupuiden paleltumisvaurioihin Lapissa (Lipas ym. 1983) ja Pohjois-Ruotsissa (Möller 1982). Eräässä kasvuhäiriöön johdaneessa kangasmaan kuusikon boorinpuutetapauksessa Pohjois-Savossa neulasissa oli booria (B) vain 2 mg/kg, kun näkyvän puutteen rajana turvemailla voidaan pitää tasoa 6-8 mg/kg (Silfverberg 1980).

Kalkitus vaikuttaa haitallisesti boorin saatavuuteen (Tisdale ja Nelson 1966, s. 313, Raitio 1979), vaikkakaan vaikutusmekanismia ei tunneta. Haitallisuuden voi aiheuttaa joko suuri kalsiumkonsentraatio (Baule ja Fricker 1970, s.64) tai kohonnut pH-arvo (Troedsson ja Nykvist 1973, s.98), jotka yleensä esiintyvät samanaikaisesti. Raition (1979) mukaan neulasten suuri Ca/B-suhde (700-900) on tyypillistä boorin puutteesta kärsiville männyille suopelolla. Lipas ym. (1983) totesivat männyn latvavaurioiden Lapissa olleen runsaampia sekä typpilannoituksen että kalkituksen saaneilla koealoilla kuin pelkästään tyypellä lannoitetuilla.

Toistettu typpilannoitus pienensi Möllerin (1983) mukaan neulasten booripitoisuutta. Alenema oli kuitenkin vielä selvempi, jos typen lisäksi annettiin kalkkia (Aronsson 1983). Typpilannoituksen aiheuttama alenema lienee ainakin osittain näennäistä, sillä lannoitus lisää neulasmassaa. Boorilannoituksella pitoisuudet korjaantuvat nopeasti (Silfverberg 1982, Aronsson 1983).

Wikner (1983) totesi boorin saostuvan raudan ja alumiinin ohella, jos liuoksen pH nousee. Tämä voisi selittää osaltaan kalkituksen haitallista vaikutusta boorin saatavuuteen. Saostuminen estyi, jos liuokseen lisättiin sitruunahappoa. Orgaaniset kompleksinmuodostajat raudan, alumiinin ja boorin kanssa olisivat tämän mukaan edellytyksenä boorin saatavuuden säilymiselle. Mikäli lannoitus vähentää tällaisten aineiden erittymistä juurista, boorin saanti heikkenee. Juurten boorinottokyvyn heikkenemiseen viittaavat havainnot, joiden mukaan maassa voi olla kuumavesiliukoista booria analyysin mukaan riittävästi, vaikka neulasten B-pitoisuus on alhainen (Silfverberg 1980, Wikner 1983, Veijalainen ym. 1984).

Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston pitkäaikaisilla lannoituskokeilla kalkitus on ollut yhtenä käsittelynä kokeiden perustamisesta lähtien. Pelkkä kalkitus (2000 kg kalkkikivijauhetta/ha) on 18 vuoden aikana vähentänyt puuston kasvua keskimäärin 3 % männyllä ja 10 % kuusella (Derome ym. 1986). Kun kalkitus annettiin typpilannoituksen ohella, typpilannoituksen teho aleni männyllä 3 %, kuusella 4 %. Derome ym. eivät ole selvittäneet kasvunaleneman syytä, mutta heidän esittämistään analyysituloksista on todettavissa, että kalkitus näyttää yleisesti johtaneen alentuneeseen booripitoisuuteen neulasissa.

Eräillä maantutkimusosaston lannoituskokeilla havaittiin 1980-luvun alkupuolella useita kasvuhäiriötapauksia, joiden yleisyydestä tehtiin puukohtainen inventointi. Syksyllä 1988 tehtiin jälleen uusi kasvuhäiriöinventointi muutamilla kokeilla, joilla vaurioita selvästi esiintyi. Tällöin kiinnitettiin huomiota siihen, että eräissä näennäisesti samanlaisissa metsiköissä ei vaurioita ollut lainkaan. Neulasanalyysitulosten vertailu tällaisilla koepareilla ei antanut viitteitä pää- tai sivuravinnepitoisuuksien eroista. Sen sijaan niillä muutamilla kokeilla, joissa neulasista

oli analysoitu myös hivenaineet, boori osoittautui olevan vähissä kasvuhäiriömetsiköissä. Tämä havainto suuntasi tutkimuksen koskemaan boorin merkitystä metsikön ravinnetalouudessa. Aikaisemmat havainnot kalkituksen mahdollisesta osuudesta kasvuhäiriöihin haluttiin myös selvittää tarkemmin.

Puuston mittauksen ja kasvuhäiriöinventoinnin kokeilla ovat tehneet MH Väinö Harjuaho ja MH Mikko Kukkola, joka on myös huolehtinut tulosten peruslaskennasta. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit Eino Mälkönen ja Antti Jaakkola sekä MML John Derome. Esitän mainituille parhaat kiitokseni.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

21. Kokeet

Tarkastellut kokeet ovat osa suurta koesarjaa, jossa tutkitaan toistuvasti lannoitettujen metsiköiden pitkäaikaista kehitystä. Tähän tutkimukseen ei tästä aineistosta voitu kuitenkaan ottaa kuin muutama koe, joilta oli olemassa tarvittavat määritykset.

Varsinaisen aineiston muodostavat kolme faktoriaalista lannoituskoetta (35, 57 ja 66), joiden puustosta oli tehty kasvuhäiriöinventointi. Lisäksi puiden neulasista oli analysoitu pääravinteiden lisäksi hivenaineet sekä ennen uusinta-kalkitusta että sen jälkeen. Täydennykseksi otettiin mukaan koe 113, josta voitiin tarkastella kasvun riippuvuutta neulasten booripitoisuudesta. Kokeella 113 ei ollut kasvuhäiriöitä, mutta neulasten booripitoisuus oli analysoitu uusinta-kalkituksen jälkeen.

Yleistietoja kokeista on koottu taulukkoon 1. Kaikki koemet-
siköt ovat istutuskuusikoita, joissa lannoitus on aloitettu
jo riukumetsävaiheessa. Kaikilla kokeilla on faktoriaalinen
koejärjestely. Kun tasoja on kullakin faktorilla vain kaksi,
lannoittamaton ja lannoitettu, on kolmen ravinteen kokeissa
kahdeksan, neljän ravinteen kokeissa 16 koealaa. Koealojen
koko on tässä tarkastelluilla kokeilla 30x30 m, sekä tätä
ympäröivä 5 m leveä ruudun tavoin lannoitettu vaippa. Koejär-
jestelystä ja tulosten tulkinnasta on tarkempi selostus jul-
kaistu aiemmin (Lipas 1981).

Taulukko 1. Yleistietoja kokeista täydellisen uusintalannoit-
uksen aikaan.

Table 1. Background data about the experiments at the
time of refertilization with all nutrients.

<u>Koe - Exp.</u>	35	57	66	113
Sijainti - Location	Heinävesi	Kannonkoski	Sääminki	Heinola
Metsätyyppi-Site type	MT	MT	OMT	OMT
Perustettu-Established	1958	1959	1959	1961
Koetyyppi-Exp. design	NPCa	NPCa	NPCa	NPKCa
<u>Uusintalannoitus - Refertilization</u>				
Vuosi - Year	1979	1979	1979	1978
N kg/ha	180	180	180	180
P kg/ha	40	40	40	40
K kg/ha	-	-	-	100
Kalkki-Limestone kg/ha	4000	4000	4000	4000
<u>Aikaisemmat lannoitukset yht. - Earlier fertilizations, total</u>				
N kg/ha	174	416	174	406
P kg/ha	63	28	63	75
K kg/ha	-	-	-	83
Kalkki-Limestone kg/ha	2000	2000	2000	2000
<u>Puusto uusintalannoitusvaiheessa - Stand at the time of refertilization</u>				
Ikä - Age, a	47	45	40	37
Valtap. - Dom.height, m	12,2	12,5	14,4	11,5
Tilav. - Volume, m ³ /ha	82,5	85,4	121,0	107,3

Perustettaessa kaikille kokeille annettiin kalkkikivijauhetta 2000 kg/ha. Typpilannoitus aloitettiin ammoniumsulfaatilla (82 kg N/ha) ja sitä on uusittu myöhemmin urealla. Fosfori annettiin hienofosfaattina (28 kg P/ha) paitsi kokeella 113, jossa käytettiin kotkafosfaattia (40 kg P/ha) koetta perustettaessa. Fosforin varhaisissa uusinnoissa kokeilla 35, 66 ja 113 käytettiin superfosfaattia. Kokeella 113 on myös kalilannoitus mukana. Perustaessa käytettiin kalisuolaa (83 kg K/ha).

Kun 1970-luvun lopulla aloitettiin vanhoilla lannoituskokeilla systemaattinen uusintalannoitustutkimus, tulivat kaikki käsittelyt uusituiksi mm. nyt tarkasteltavina olevilla kokeilla. Täten kaikki kokeet saivat 180 kg N/ha ouslunsalpietarina, 40 kg P/ha superfosfaattina sekä 4000 kg dolomiittikalkkia/ha. Koe 113 sai lisäksi uuden kalilannoituksen, kalisuolaa (100 kg K/ha). Koko kokeiden kestoajan uusintalannoitukset on tehty vain niillä koealoilla, jotka aikaisemminkin ovat saaneet saman käsittelyn. Täten esimerkiksi kalkki uusittiin vain jo ennestään kalkituilla aloilla.

22. Ravinnemääritykset

Kultakin koealalta valittiin uusintalannoitusta edeltävänä talvena viisi koealan puustoa keskimäärin edustavaa puuta neulasnäytepuiksi. Puut merkittiin pysyvästi ja niistä on otettu näytteitä useampia kertoja. Kustakin puusta otettiin näytettä varten latvuksen ylimmän osan eteläpuoleisia oksia, jotka ammuttiin alas haulikolla tai pienoiskiväärillä maaliskuussa. Oksista otettiin analysoitavaksi vain edellisen kesän neulasia.

Näytteet lähetettiin välittömästi laboratorioon, jossa ne kuivattiin noin 50°C:ssa ja jauhettiin. Ravinnemääri-

tystä varten näytteet kuivatuhkistettiin 650^o:ssa ja tuhka liuotettiin suolahappoon. Tästä määritettiin K, Ca ja Mg plasmaemissiospektrometrillä (ARL 3580). Typpi määritettiin eri näyte-erästä kuivapoltolla käyttäen Leco CHN-600-laitetta, ja B omana määrittymisenään spektrofotometrisesti. Näytteiden esikäsittely tapahtui osaston tavanomaisin menetelmin (Halonen ym. 1983).

Koealoilta on tehty myös maa-analyysejä, mutta koska booria ei ollut analysoitu, ei maatunnuksia ole tässä tutkimuksessa käytetty hyväksi.

23. Puuston mittaus ja kasvuhäiröiden kuvaus

Koealojen puusto on pitkäaikaisilla lannoituskokeilla mitattu viiden vuoden välein. Harvennus ja uusintalannoitus ajoitetaan mittausvuodeksi. Tämän tutkimuksen koealoilla noudatettiin seuraavaa aikataulua:

- mittaus ja vaurioinventointi syksyllä
- neulasnäytteet maaliskuussa
- lannoitus keväällä
- neulasnäytteet kolmen kasvukauden kuluttua lannoituksesta
- mittaus viiden kasvukauden kuluttua lannoituksesta

Mittauksessa selvitetään puuston runkotilavuus ja kasvu Metsäntutkimuslaitoksen tavanomaisin menetelmin (Metsikkökokeiden...1987). Tarkastelussa käytetty pituuden ja läpimitan kasvu on saatu erotuksena koepuista. Ennen uusintalannoitusta tehtiin koealoilla tavanomainen harvennus Tapion harvennusmallien mukaisesti (Tapion taskukirja 1986, s. 202-210).

Puuston terveydentila selvitettiin käymällä läpi jokainen koealan puu. Kuvauksessa käytettiin eri kerroilla hiukan

erilaista luokittelua. Pääosassa luokat olivat samat kuin valtakunnan metsien 8. inventoinnissa (Metsikkökokeiden...1987, s. 175-177). Tuloksien kokoamisvaiheessa päädyttiin eri luokitusten vertailukelpoisuuden vuoksi kuitenkin käyttämään vain seuraavia kolmea luokkaa:

1. Ei vaurioita
2. Lievä vaurio
3. Vakava vaurio.

Lievä vaurio ilmenee lievänä neulaskatona tai kellastumisena sekä latvan epämuodostumana. Vaurio voidaan arvioida ohime-neväksi. Vakava vaurio taas ilmenee runsaana neulaskatona ja kuivalatvaisuutena. Puu todennäköisesti kuolee.

3. TULOKSET

31. Lannoituksen vaikutus neulasten booripitoisuuteen

Asetetun hypoteesin mukaan lannoitus vaikuttaa puun alttiuteen kasvuhäiriöille muuttamalla neulasten booripitoisuutta. Koska kokeen alkaessa ei ollut tehty boorimäärityksiä, vertailuarvoina oli pidettävä ennen uusintalannoitusta saatuja B-pitoisuuksia. Nämä vaihtelivat eri kokeilla seuraavasti:

Koe	35	57	66
B mg/kg	3,1-8,0	4,6-10,3	4,4-8,6
(0-koealalla	3,1	9,4	6,0)

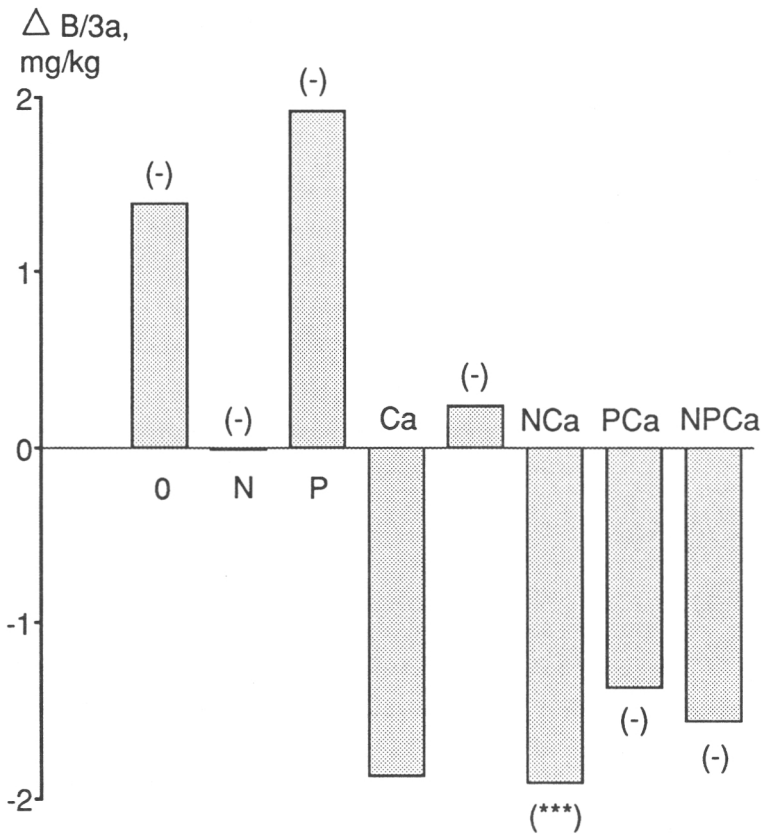
Kokeelta 113 ei ollut booriarvoja uusintalannoitusvaiheesta, vaan vasta kaksi vuotta myöhemmin. Tällöin eri koealojen booriarvot vaihtelivat välillä 2,9-8,5 mg/kg.

Uusintalannoitusvaiheen booriarvojen vaihtelu oli niin voimakasta, että on aihetta olettaa aikaisempien lannoituskäsittelyjen vaikuttaneen lukemiin. Asiaa ei kuitenkaan voitu varmistaa, koska lähtöarvot kokeen alkaessa puuttuivat. Kaikkiaan boorin tarjontaa kokeilla on pidettävä alhaisena. Olihan neulasten booripitoisuus suurimmalla osalla koealoja alle 8,0 mg/kg, mitä pidetään sopivan pitoisuuden alarajana (Metsänterveysopas 1988, s. 156).

Kokeilta 35, 57 ja 66 tehtiin uudet boorimääritykset kolme vuotta uusintalannoituksen jälkeen. Pitoisuuksien muutos, joka kuvastaa uusintalannoituskäsittelyn vaikutusta, oli kokeilla keskimäärin kuvan 1 mukainen. Kaikilla kalkituilla koealoilla neulasten booripitoisuuden keskiarvot laskivat varsin voimakkaasti. Selvin tämä ilmiö oli NCa-käsittelyllä, mutta myös pelkkä kalkitus aiheutti merkitsevän laskun. Fosforia saaneilla koealoilla muutos ei sen sijaan ollut merkitsevä johtuen suuresta hajonnasta.

Kun samanaikaisesti vertailualoilla ja pelkästään fosforia saaneilla koealoilla oli keskimääräinen suuntaus nouseva (kuva 1), korostuu kalkituksen booripitoisuutta alentava vaikutus edelleen. Typellä näytti olevan booripitoisuutta alentava, fosforilla taas sitä nostava vaikutus. Suositusten mukainen NP-lannoitus olisi siten tässä suhteessa vaikutukseltaan neutraali.

Koska luontaiset booripitoisuudet neulasissa olivat jo lähellä puutosrajaa, 1-2 mg/kg:n lasku voi olla jossakin tapauksessa ratkaiseva kasvuhäiriön laukaisija. Minimipitoisuudet kalkituilla koealoilla olivat kolme vuotta kalkituksesta alle 2 mg B/kg, mitä on pidettävä täysin riittämättömänä (Silfverberg 1980, Aronsson 1983).



Kuva 1. Uusintalannoitusta seurannut booripitoisuuden muutos kuusen neulasissa keskimäärin kokeilla 35, 57 ja 66. Näytteet on otettu maaliskuussa juuri ennen levitystä ja kolme vuotta sen jälkeen.

Figure 1. The change in spruce needle boron content after refertilization, averages of the experiments 35, 57, and 66. The samples were taken in March just before and three years after refertilization.

Merkinnät - Symbols

- | | | |
|-------|---------------------|--|
| 0 | Lannoittamaton | - Control |
| N | Typpilannoitus | - Nitrogen fertilization, 180 kg N/ha |
| P | Fosforilannoitus | - Phosphorus fertilization, 40 kg P/ha |
| Ca | Kalkitus | - Liming, 4000 kg limestone/ha |
| (-) | Ei merkitsevä | - Not significant |
| (*) | Merkitsevä | - Significant, p > 95 % |
| (***) | Erittäin merkitsevä | - Highly significant, p > 99.9 % |

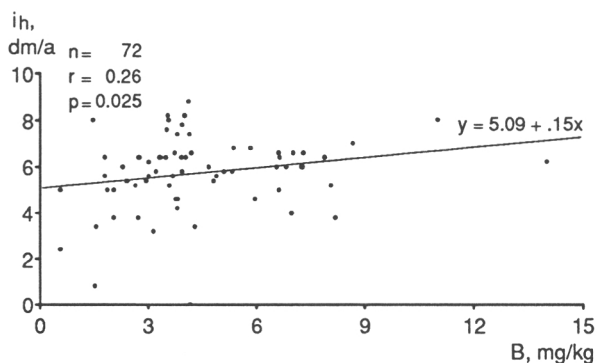
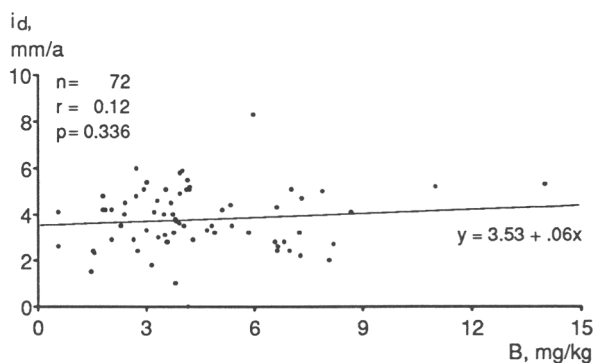
32. Boorinpuutteen vaikutus puuston kasvuun

Lähellä puutosrajaa oleva kasvutekijä korreloi voimakkaasti kasvun kanssa. Koska oletettiin, että juuri boori muodostui kasvua rajoittavaksi minimitekijäksi, tarkasteltiin neulasten boorin ja puiden kasvun välistä riippuvuutta.

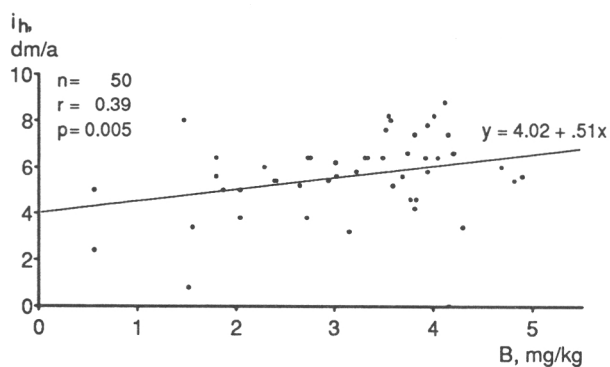
Kokeilla 35, 57 ja 66 esiintyneiden kasvuhäiriöiden vuoksi ei näitä voitu käyttää mainittuun tarkoitukseen, vaan tarkastelu tehtiin sen sijaan kokeella 113, joka alhaisten booripitoisuuksiensa, puustonsa ja kasvupaikkansa puolesta on rinnastettavissa edellä mainittuihin (taulukko 1). Erona oli kuitenkin se, ettei kokeella 113 esiintynyt kasvuhäiriöitä.

Booripitoisuuden vaikutusta pituus- ja läpimitan kasvuun tutkittiin vuoden 1983 neulasnäytearvojen ja näytteenottoa seuranneiden viiden kasvukauden (1983-87) keskimääräisen vuotuisen kasvun välillä. Neulasanalyysiarvoja vastaavat kasvuluvut saatiin neulasnäytepuiden mittauksista. Pituuskasvun riippuvuus neulasten booripitoisuudesta osoittautui merkitseväksi ($r=0,26^*$). Myös läpimitan kasvun korrelaatio oli positiivinen (kuva 2). Riippuvuus vahvistui, kun tarkastelusta jätettiin pois ne puut, joissa oli neulasissa yli 5 mg B/kg (kuva 3). Siitä huolimatta vain pituuskasvun ja booripitoisuuden välinen riippuvuus oli merkitsevä ($r=0,39^*$). Tulos osoittaa, että erityisesti pituuskasvu heikkenee, kun booria on liian vähän.

Käytetty tarkastelutapa ei anna mahdollisuutta päätellä, millä tavoin kalkitus vähentää neulasten booripitoisuutta. Neulasten Ca- ja Mg-pitoisuudet eivät korreloineet booripitoisuuden kanssa ($r=0,04$ ja $-0,08$), joten lienee syytä olettaa, että kalkki vaikuttaa boorin saatavuuteen pikemminkin maassa kuin puussa.



Kuva 2. Lämpimittä- ja pituuskasvun riippuvuus neulasten booripitoisuudesta. Koe 113, kaikki näytepuut.
Figure 2. The dependence of the diameter and height growth on the needle boron content. Experiment 113, all sample trees.



Kuva 3. Pituuskasvun riippuvuus neulasten booripitoisuudesta. Koe 113. Ne näytepuut, joissa alle 5 mg B/kg neulasissa.
Figure 3. The dependence of the height growth on the needle boron content. Experiment 113. Only those sample trees which had a needle boron content of less than 5 mg/kg.

33. Kasvuhäiriöt

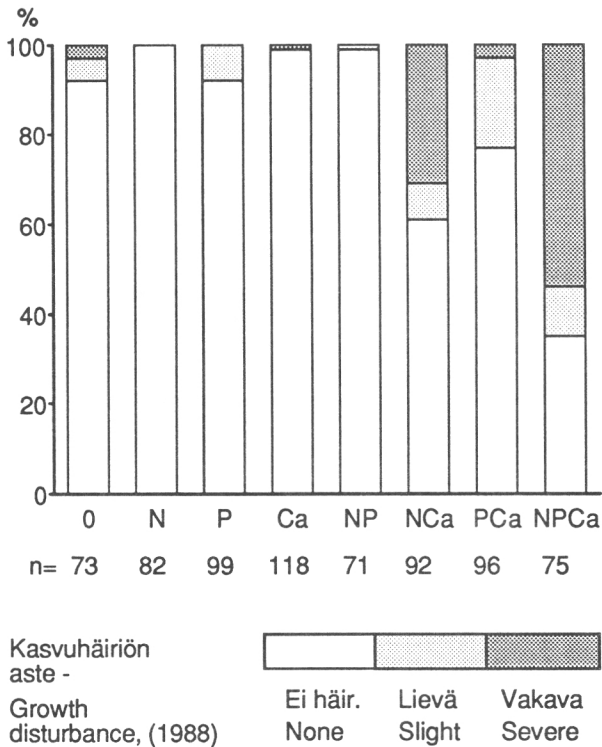
Pituuskasvun loppuminen voi voimakkaana esiintyessään johtaa kasvuhäiriöön, jolle on ominaista latvakasvaimen kuoleminen ja sivuversojen epänormaali kasvu (Kolari 1988). Kasvuhäiriöitä esiintyi jossakin määrin kokeilla 35, 57 ja 66 (taulukko 2). Kokeella 57 esiintyi kuitenkin vain muutama tapaus eikä niillä näyttänyt olevan yhteyttä lannoituskasittelyihin. Kokeella 66 taas sattui myrskytuho juuri ennen vaurioinventointia. Kun myrsky kohdistui erilaisena eri koealoille, ei jäljelle jäänyt puusto ollut täysin vertailukelpoista eri käsittelyjen välillä. Sen vuoksi vain kokeelta 35 saatuja tuloksia voidaan tarkastella yksityiskohtaisesti.

Taulukko 2. Kaikkien puiden kasvuhäiriötilanne kokeilla 35, 57 ja 66, kun uusintalannoituksesta oli kulunut 4-10 vuotta.

Table 2. Distribution of growth disturbances in all trees in experiments 35, 57, and 66. Refertilization 4-10 years earlier.

Lannoitus Fertilization	Kasvuhäiriöpuita % Growth disturbed trees %						Puita kaikkiaan Total no. of trees		
	Lievä-Mild			Vakava-Serious					
<u>Koe-Exp.</u>	35	57	66	35	57	66	35	57	66
O	5	2	1	3	1	0	73	155	75
N	0	0	0	0	0	0	82	78	54
P	8	0	0	0	1	0	99	159	66
Ca	0	1	2	1	0	0	118	155	50
NP	1	0	3	0	0	4	71	85	71
NCa	8	0	17	31	0	5	92	94	64
PCa	20	0	8	3	0	0	96	150	76
NPCa	11	0	18	54	1	10	75	77	39

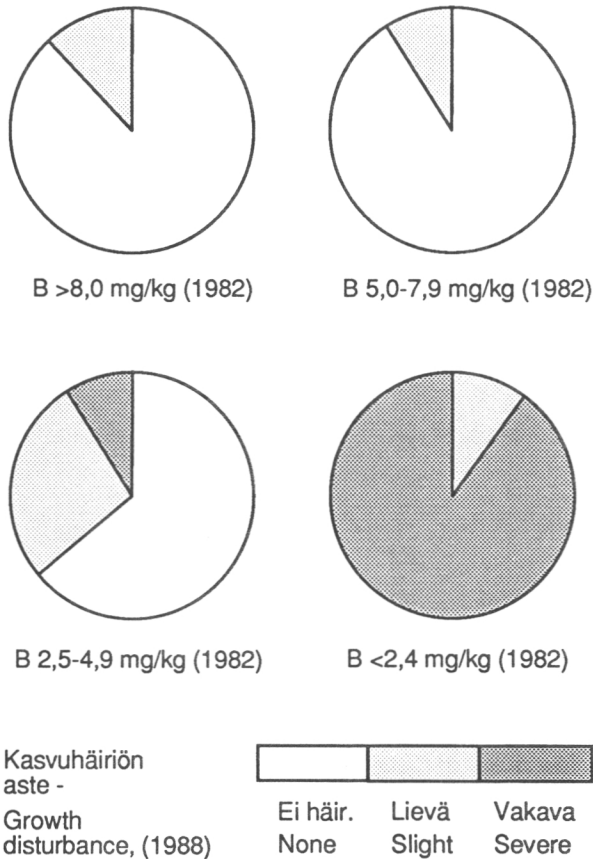
Kuvasta 4 nähdään, että kokeella 35 eniten kasvuhäiriöitä esiintyi niillä koealoilla, joissa kalkituksen ohella oli annettu typpi-, fosfori- tai NP-lannoitus. Sen sijaan kalkitus yksinään tai typpi tai fosfori ilman kalkitusta ei johtanut vaurioihin. Yhteys booripitoisuuden muutoksiin on ilmeinen, kuten kuva 1 osoittaa. Ainoa poikkeavuus ilmenee pelkällä kalkituksella, jossa kolmen kokeen keskiarvona boorin alenema oli merkitsevä. Kokeella 35 alenema (-0,2 mg/kg) oli kuitenkin huomattavasti alle keskiarvon, mikä selittää vähäisen vaurioitumisasteen.



Kuva 4. Kasvuhäiriöpuiden suhteellinen osuus koealan koko puustosta (n). Koe 35, käsittelyt kuten kuvassa 1.

Figure 4. The percentage of disturbed trees out of all trees on the sample plot (n). Experiment 35. See Fig. 1 for explanation of treatments.

Kasvuhäiriöiden yhteys neulasten booripitoisuuteen ilmenee vielä selvemmin kuvasta 5. Raja-arvoksi osoittautui 5 mg B/kg. Tätä suuremmilla arvoilla esiintyi vain lieviä kasvuhäiriöitä. Välillä 2,5-4,9 mg/kg oli kolmannes puista vaurioituneita, kun taas arvoilla alle 2,4 mg/kg kaikki puut olivat vioittuneet, suurin osa vakavasti.



Kuva 5. Kasvuhäiriön (syyskuussa 1988) riippuvuus neulasten booripitoisuudesta maaliskuussa 1982. Koe 35.
Figure 5. The dependence of the growth disturbance (September 1988) on the needle boron content in March 1982. Experiment 35.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Tulokset vahvistivat esitettyä hypoteesia. Boorinpuutteen voitiin todeta rajoittaneen pituuskasvua tutkituissa kuusikoissa. Toisaalta boorinpuutteen aiheutti välillisesti kalkitus erityisesti silloin, kun se liittyi N- tai NP-lannoitukseen. Äärimmäisissä tapauksissa boorinpuute aiheutti puustossa vakavia kasvuhäiriöitä.

Kalkin vaikutuksen osalta tulos on yhtäpitävä eräiden muiden tutkimusten kanssa (Raitio 1979, Veijalainen ym. 1984). Myös Aronsson (1983) totesi NCa- NPKCa-käsittelyjen alentaneen B-pitoisuutta. Mitkään näistä tutkimuksista eivät ole selvittäneet kuitenkaan, millä tavoin kalkki vaikeuttaa boorin saantia. Wikner (1983) arvelee, että kyseessä olisi boorin saostuminen maassa rauta- ja alumiiniyhdisteiden kanssa pH:n kohotessa. Kyseisen ilmiön selvittäminen edellyttäisi asian tarkempaa tutkimista.

Turvemailla kasvuhäiriön on laukaissut usein myös typpilannoitus (Kolari 1988). Ruotsissa ilmiö on todettu myös kivennäismailla (Möller 1982, Aronsson 1983). Tämän aineiston perusteella ei vastaavaa ilmiötä voitu havaita. Kun toisaalta kalkki-typpilannoitus-yhdistelmä alensi voimakkaasti neulasten booripitoisuutta, lienee typpilannoituksella jotakin merkitystä myös boorin sitojana.

Todettu kalkki-typpi-yhdysvaikutus vaikuttaa myös faktoriaalisten lannoituskokeiden tulosten tulkintaan. Usein käytetty tapa laskea typen päävaikutus siten, että kaikkia typpellisiä koealoja pidetään toistensa toistoina (Lipas 1981), antaa typen vaikutuksesta aliarvion mikäli booritaso kokeella on alhainen. Uudemmissa tutkimuksissa (Kukkola ja Saramäki 1983, Derome ym. 1986) tämä on tosin jo otettu huomioon.

Boorin saatavuuden alenemalla on merkitystä vain siinä tapauksessa, että boorin tarjonta kasvupaikalla on luontaisesti niukka. Kun boorin tärkein varasto on merivesi (Sahama 1947, s. 220), on meren läheisyys ratkaisevaa boorin riittävyydelle. Merituulten mukanaan tuoma laskeuma riittää Suomen lounaisrannikolla, Etelä-Pohjanmaalla ja eteläisessä Suomessa (Wikner 1983). Puutetta olisi siten Keski-, Itä- ja Pohjois-Suomessa. Esitetyt raja-arvot neulasissa (Metsänterveysopas 1988, s. 156) ovat tämän tutkimuksen perusteella sellaiset, että arvo "sopiva" (yli 8 mg B/kg) riittänee estämään kasvuhäiriön kalkituksesta huolimatta. Sen sijaan arvon "välttävä" alaraja (5 mg B/kg) on jo osoituksena kasvuhäiriöriskistä.

Nykyisin kangasmaiden kuusikoille suositeltava booripitoinen NP-lannoitus on ilmeisesti oikeaan osunut valinta kaikissa osissa maata. Kalkitusta sen sijaan tulisi välttää ainakin sellaisilla alueilla, joilla booria on luonnostaan niukasti. Tutkimuksin jää selvitettäväksi, voidaanko tällaisissa tapauksissa booripitoisilla lannoitteilla yhdessä kalkin kanssa annettuna välttää kasvutappio.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- Aronsson, A. 1983. Growth disturbances caused by boron deficiency in some fertilized pine and spruce stands on mineral soils. *Commun. Inst. For. Fenn.* 116:116-122.
- Baule, H. & Fricker, C. 1970. The fertilizer treatment of forest trees. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München. 259 s.
- Derome, J., Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1986. Forest liming on mineral soils. Results of Finnish experiments. National Swedish Environment Protection Board. Report 3084. 107 s.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 121. 28 s.
- Kolari, K.K. 1988. Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Kasvuhäiriöprojektin loppuraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 310. 35 s.
- Lipas, E. 1981. Faktoriaalisen lannoituskokeen tulosten tulkinta. Summary: Interpretation of the results from factorial fertilization experiments. *Folia Forestalia* 482. 15 s.
- , Levula, T. & Välikangas, P. 1983. Eräitä metsänlannoitustuloksia Lapista. Abstract: Some forest fertilization results from Finnish Lapland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 114. 14 s.
- Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. 1987. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 257. 237 s.
- Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta 1988. Samerka Oy, Helsinki. 168 s.
- Möller, G. 1982. Borbristskador efter upprepad kvävegödsling på fastmark. Föreningen Skogsträdsförädling och Institutet för Skogsförbättring. Årsbok 1982:47-70.
- , 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.
- Raitio, H. 1979. Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyllä suopellolla. 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 Forestalia* 412. 16 s.
- Sahama, Th.G. 1947. *Geokemia*. Otava, Helsinki. 447 s.
- Silfverberg, K. 1980. Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet. Abstract: Micronutritional growth disorder in Norway spruce. *Folia Forestalia* 432. 13 s.
- Tapion Taskukirja 1986. 20. painos. Kirjayhtymä, Helsinki. 594 s.
- Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. 1966. Soil fertility and fertilizers. 2. painos. The Macmillan Company, New York. 694 s.
- Troedsson, T. & Nykvist, N. 1973. Markklära och markvård. Almqvist & Wiksell, Stockholm. 402 s.

- 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 Forestalia 601. 41 s.
- Wikner, B. 1983. Distribution and mobility of boron in forest ecosystems. Commun. Inst. For. Fenn. 116:131-141.

ISBN 951-40-1097-3

ISSN 0358-4283