

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN

TIEDONANTOJA

31

SUONTUTKIMUSOSASTO

ISSN 0358-4283



Kimmo K.Kolari & Heikki Veijalainen

**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.

HELSINKI 1981



## TIIVISTELMÄ

Kasvuhäiriöalueen turpeella NPK-pohjalla suoritettussa kasvi-huonekokeessa todettiin, että rauduskoivun kehitys oli riippuvainen kaikista käytetyistä ravinteista. Lannoiteboraatti (20 kg/ha) vaikutti haitallisesti yksin ja kuparin kanssa annettuna, mutta kalkitus lievensi haittavaikutusta. Boorin pitoisuudet lehdissä olivat erittäin korkeita kaikissa booria saaneissa taimissa. Myös selviä lehtivaurioita todettiin. Boori aiheutti juurten epänormaalia haaroittumista. Tästä oli pääteltävissä, että booria oli annettu liikaa. Kuparisulfaatti (40 kg/ha) lisäsi taimien pituuskasvua alkuvaiheessa, minkä jälkeen sen vaikutus loppui. Kalkitus (2000 kg/ha) lisäsi sekä verson että juurten kasvua. Kalkin käyttöä hivenlannoituksen ohella tulisikin jatkossa lisätä kasvuhäiriön torjuntakokeissa sekä kasvuhäiriölaikkujen uudelleen metsittämistä kokeiltaessa. Käytännön metsätalouden on syytä odottaa maastokokeiden tuloksia, varsinkin kun kokeessa kaikki lannoitteet sekoitettiin turpeeseen.

## SISÄLTÖ

	Sivu
TIIVISTELMÄ	
1. JOHDANTO	2
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	4
3. ESIKOKEET	6
4. TULOKSET	8
41. Oireet lehdissä	8
42. Kuolleisuus	8
43. Pituuskasvu	9
44. Biomassa	11
441. Runko	11
442. Lehdet	12
443. Juuret	12
45. Lehtien ravinnepitoisuudet	13
5. TULOSTEN TARKASTELU	15
6. SUMMARY	
KIRJALLISUUS	
TAULUKOT JA KUVAT	

## 1. JOHDANTO

Puiden kasvuhäiriöt turvemailloilla esiintyvät monin paikoin laikut-  
taisesti (VEIJALAINEN 1978). Laikkujen välillä saattaa esiintyä  
täysin terveennäköisiä ja nopeakasvuisia puuryhmiä, joista  
silmämääräisesti ei löydy vähäisimpiäkään kasvuhäiriön oireita.  
Usein kasvuhäiriölaikut muodostavat suurempia kokonaisuuksia, jotka  
näyttävät seurailevan suon pienkuviointia. Kasvuhäiriöt näyttävät  
esiintyvän suon painanteissa, jotka ilmeisesti ennen ojitusta  
ovat toimineet vesien virtailureitteinä tai pysähtymispaikkoina  
(rimmet, kuljut jne.).

Näiden havaintojen perusteella otaksuttiin, että kasvuhäiriön  
syy löytyy kasvualustasta. Koska kemiallinen turveanalyysi oli  
osoittanut jossain määrin epäluotettavaksi hivenravinnetalouden  
kuvaajaksi ojitetuilla soilla (ks. PAARLAHTI ym. 1971), päätet-  
tiin aloittaa joukko kasvihuonekokeita samanaikaisesti, kun  
kerättiin ja analysoitiin turvenäytteitä sekä aloitettiin kasvu-  
alustojen fysikaalisten ominaisuuksien tutkimus.

Kasvihuonekokeiden tarkoituksena oli nopeakasvuisten indikaat-  
torikasvien avulla osoittaa kasvuhäiriöturpeen mahdolliset  
ravinnepuutokset ja luoda täten pohjaa maastossa tapahtuvalle  
lannoituskoetoiminnalle ja kasvuhäiriön torjuntamenetelmien  
kehittämiselle. Erityisesti mielenkiinto kohdistui booriin ja  
kupariin, joista varsinkin boorin puutosoireita esiintyy kasvu-  
häiriöalueilla varsin yleisesti (mm. KOLARI 1979).

Kokeiden suunnittelusta vastasi LuK Heikki V e i j a l a i n e n ja käytännön toteutuksesta FM Kimmo K. K o l a r i apunaan mm. FK Raija K o s o n e n ja yo. Markus H a r t m a n. Aineiston käsittelystä huolehti Kimmo K. Kolari, piirroksista graafikko Päivi L e m p i n e n ja puhtaaksikirjoituksesta Maija T u u r i. Alustavan käsikirjoituksen tulosten osalta laati K.K. Kolari ja H. Veijalainen laati lopullisen käsikirjoituksen, jonka ovat lukeneet prof. Eero P a a v i l a i n e n sekä FL Antti R e i n i k a i n e n. Tutkimusta ohjanneessa työryhmässä toimi Veijalaisen ja Reini-kaisen lisäksi prof. Olavi H u i k a r i (puh.joht.), joka oli mukana myös tämän tutkimuksen suunnittelussa.

Koetoiminta tapahtui Metsäntutkimuslaitoksen kasvihuonetiloissa Helsingissä ns. suhdannepidätysvaroin rahoitettuna.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Kasvualustaksi otettiin kevättalvella 1976 pintaturvetta (0-30 cm) Leivonmäen Kivisuolta koeruudulta 110a, jonka istutettu mäntypuusto oli näytteenottopaikalta ja sen lähiympäristöstä kuollut kasvuhäiriön seurauksena. Tämä koeala oli lannoitettu vuonna 1959 seuraavasti:

Oulunsalpietari	(25 % N)	400 kg/ha
Hienofosfaatti	(14,4 % P)	200 kg/ha
Kalисуola	(41,5 % K)	100 kg/ha

Vuonna 1968 koeala sai suometsien PK-lannosta (0-7,4 P - 12,4 K) 500 kg/ha, minkä jälkeen kasvuhäiriöt ilmaantuivat. Sekä perustettiin jatkolannoitus tapahtui hajalannoituksena.

Kerätty turve oli pääosin lehtimäisesti kerrostunutta, heikosti maatonutta lyhytkortisen nevan kuljun (St-) turvetta. Sen pinnalla oli noin 2 cm paksu maatonneen hydroturpeen kerros, joka poistettiin. Sekoitettun turpeen pH oli 3,9 ja ravinneanalyysitulokset kesäkuulta 1975 seuraava:

Kokeen turve			Paarlahti ym. 1971 (10-20 cm:n kerros)		
N	1,26 %	(kokonais-)	1,56 %		(kokonais-)
P	7,5 mg/l	(helppoliukoinen)	3,25 mg/l		(helppoliuk.)
K	32 "	(vaihtuva)	23,3 "		(vaihtuva)
Ca	375 "	"	426 "		"
Mg	55 "	"	71 "		"
B	0,1 "	(vesiliukoinen)	0,17 "		(vesiliuk.)
Cu	1,7 "	(happoliukoinen)	1,62 "		(happoliukoinen) 0-10 cm
Zn	3,4 "	"	10,2 "		"
Mn	5,8 "	(vaihtuva)	3,71 "		(vaihtuva)

Turpeen pääravinteiden pitoisuus oli täten huomattavasti korkeampi ja sinkkipitoisuus alempi kuin turvemaassa keskimäärin (PAARLAHTI ym. 1971).

Koeastioina käytettiin muovirasioita (10 x 10 x 10 cm)

Ne täytettiin kasvuhäiriöturpeella, johon ensin oli sekoitettu seuraava peruslannoitus:

$\text{NH}_4 \text{NO}_3$	100 mg N per koeastia
$\text{NaH}_2 \text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	100 mg P - " -
KCl	120 mg K - " -

Koekasvi oli rauduskoivu (Petula pendula), alkuperä

Tuusula, Rusutjärven perusmetsä nro 858-310 (G1-62-2122).

Siemenet idätettiin 16.3.1976 lannoittamattomalla kasvuturvealustalla (SATO B O). Lannoituskoe oli  $2^3$ -faktoriaalinen viidellä toistolla. Täten kokeeseen kuului 40 koeyksikköä

(ks. esim. taulukko 4). Kokeessa käytettiin seuraavia lannoitteita edelleen turpeeseen sekoitettuina:

Ca =  $\text{CaCO}_3$  (pro analysi) 2 g/koeastia  $\sim$  2000 kg/ha

B = lannoiteboraatti (14 % B) 20 mg/koeastia  $\sim$  20 kg/ha

Cu =  $\text{CuSO}_4$  (25 % Cu) 40 mg/koeastia  $\sim$  40 kg/ha

Koe aloitettiin 1.4.1976, jolloin lannoittamattomalla kasvuturpeella idätettyjä koivun sirkkataimia siirrettiin kuhunkin koeastiaan 2 kpl, joista heikompi myöhemmin poistettiin. Ensimmäinen kasvukausi kesti ajan 1.4.-28.10.1976, minkä jälkeen lehdettömät taimet siirrettiin kylmään kasvihuoneeseen (min.  $-11^\circ\text{C}$ , max  $+6^\circ\text{C}$ ). Toinen kasvatuskausi alkoi 28.2.1977 ja päättyi 28.7.1977. Kastelu suoritettiin tislattulla vedellä, jonka hivenravinnepitoisuudet todettiin erittäin alhaiseksi (B 9  $\mu\text{g}/\text{l}$ , Cu 6  $\mu\text{g}/\text{l}$ , Mn 5  $\mu\text{g}/\text{l}$  ja Zn 7  $\mu\text{g}/\text{l}$ ) Metsäntutkimuslaitoksen yhteislaboratorion suorittamissa analyyseissä.



Kastelutarvetta seurattiin punnitsemalla koeastiat aika ajoin. Turpeen kosteus pyrittiin kastelussa kohottamaan 60-75 %:iin kyl-  
lästystilasta. Kasvukausien valojaksot (Floralux-keinovalo)  
olivat 12-16 h. Myös jonkin verran päivänvaloa pääsi kasvihuo-  
neeseen, jonka katto oli eristetty maksimilämpötilojen alenta-  
miseksi. Siitä huolimatta kasvukausien lämpötilat kasvihuoneessa  
olivat varsin korkeat (°C):

	$\bar{x}$	min	max
I kasvukausi	+22,5	+11,0	+36,5
II - " -	+22,4	+10,0	+38,0

Kokeen kestäessä suoritettiin useita pituuskasvumittauksia ja  
sen loputtua biomassamääritykset koivujen juurista, versoista ja  
lehdistä. Koivun lehdistä suoritettiin lisäksi ravinneanalyysi  
I kasvukauden tuotoksesta. Lehdet kerättiin käsittelyittäin  
talteen sitä mukaa, kun ne kellastuivat.

Faktoriaalisen kokeen ulkopuolisena vertailuna kasvatettiin samas-  
ta idätyksestä peräisin olevia koivun taimia lannoittamattomalla  
kasvuturpeella. Näiden taimien lehtianalyysituloksia käytettiin  
vertailuarvoina, koska tiedot koivun taimien ravinnepitoisuuksis-  
ta turvemailta olivat puutteellisia. Tulosten testauksessa  
käytettiin varianssianalyysiä. Faktoriaaliset vaikutukset  
laskettiin ns. Yatesin menetelmällä (COCHRAN ja COX 1964).

### 3. ESIKOKKEET

Esikokeissa koekasvina käytettiin raiheinää ja kauraa, joita  
kasvatettiin em. kasvuhäiriöalueen turpeella. Ravinteet annettiin  
kasteluveden mukana, ns. puuttuvan ravinteen liuoksina (ks.  
MIDDLETON ja TOXOPEUS 1973) kolmena toistona. Kaurakokeessa to-

dettiin pian kokeen aloittamisen jälkeen tyypillisiä alhaisesta pH:sta aiheutuvia oireita - kitukasvuisuutta, lehtien kellastumista ja kuivumista. Nämä oireet olivat vakavimpia silloin, kun kasteluvedestä puuttui typpi tai kaikki ravinteet. pH-arvon kohottamiseksi kaksi toistoista kasteltiin kerran 0,1 %:lla  $\text{CaCO}_3$  -suspensiolla. Seurauksena oli nopea kasvustojen elpyminen, ei kuitenkaan -K-koeastioissa. Täysravinneliuosta heikompi kuiva-aineen tuotos oli vain koeastioissa, jotka olivat saaneet pelkkää tislattua vettä tai -K-ravinne-liuoksen. Tämän kokeen mukaan kasvualustassa todettiin siten kaliumin puutos ja kalkitustarve, kun koekasvina käytettiin kauraa (Tiitus-kaura), joka on yksisirkkainen kasvi. Hivenravinnepuutoksia ei todettu.

Kasvuhäiriön turpeella suoritettiin esikokeena myös ns. frittikoe, jossa koekasvina käytettiin raiheinää. Tässä pohjalannoituksena annettiin NPK-pintalannoitus, jonka päälle kolmena toistona lisättiin erilaisia silikaattisekoitteisia, hidasliukoisia hivenlannoitteita (frittejä).

Raiheinän kuivapainon perusteella laskettua tuotosta lisäsi kasvuhäiriöturpeella vain boorifritti, kuten oheisesta asetelmasta havaitaan (mg):

	Kasvuhäiriöturve	Koivikon turve
NPK + O	120 ± 13	174 ± 8
NPK + B	163 ± 15	190 ± 11
NPK + Cu	124 ± 13	155 ± 27
NPK + Cu B	124 ± 15	196 ± 12
NPK + B Mn	120 ± 19	192 ± 6
NPK + B Zn	102 ± 13	159 ± 29

Kivisuolta otettiin turvetta myös aiemmin peltoviljelyssä olleelta, kalkitululta saralta, jossa kasvoi tiheä hieskoivikko häiriötömästi (koivikon turve). Tällä alustalla raiheinän kasvu oli

erittäin selvästi parempi kuin kasvuhäiriöturpeella. Huomattavimman kasvunlisäyksen antoi nyt CuB-fritti. Lannoitettu kasvuturve tuotti raiheinän kuivapainoksi samoissa olosuhteissa  $313 \pm 35$  mg ilman hivenlannoitusta.

Esikokeista pääteltiin, että Kivisuon kasvuhäiriöturpeella suoritettavassa hivenlannoituskokeessa on syytä aiemmista lannoituksista huolimatta varmistaa pääravinteiden riittävyys. Esikokeet paljastivat myös kalkituksen merkityksen.

#### 4. TULOKSET

##### 4.1. Oireet lehdissä

Ensimmäiset, selvästi havaittavat muutokset rauduskoivun lehdissä todettiin noin yhden kuukauden kasvatuksen jälkeen. Taimissa esiintyi mm. lehtien kuperuutta, kloroosia ja nekroosia. Aluksi oireet näyttivät keskittyvän CuB-käsittelyn saaneisiin taimiin, mutta myöhemmin ne yleistyivät myös muilla käsittelyillä.

Ensimmäisen kasvukauden aikana todettiin lähinnä boorilannoituksella olevan osuutta lähes kaikkien oireiden syntymiseen (taulukko 1). Varsinkin lehtien kärkien kellastumista (kärki-kloroosia) näyttivät kupari ja kalkitus vähentävän. Lehtien reunojen kellastumista ja ruskistumista lisäsi boorin ohella myös kalsium, joka yksin näytti aiheuttavan ns. kiiltolehtisyyden. Lehtien kuperoitumista näytti lisäävän kuparilannoitus. Boorilla oli tähän oireeseen päinvastainen vaikutus. Nämä boorimyrkytysoireet esiintyivät vielä toisenkin kasvukauden aikana. Lehtien oireistosta voitiin päätellä, että booriannos oli ollut liian suuri.

## 42. Kuolleisuus

Ensimmäisen kasvukauden aikana kuoli kaksi CuB-lannoituksen saanutta tainta.

Toisen kasvukauden alussa todettiin monien taimien latvaosa kuolleeksi. Tämän seurauksena taimien tyviosasta puhkesi uusia silmuja, joista edelleen aiheutui monilatvaisten taimien kehittyminen. Täysin kuolleita taimia oli tässä vaiheessa lisää seuraavasti:

vasti:	CuB	1	kpl
	Ca	2	"
	Cu	1	"

Latvasta jatkoi kasvuaan enää 32,5 % taimista toisen kasvukauden alkaessa, jolloin kasvu jäi huomattavasti ensimmäistä kasvukautta heikommaksi. Syntynyt latvakato oli mahdollisesti seurausta liiallisesta lannoittamisesta pääravinteilla (jo 3. lannoitus), osittain se saattoi aiheutua kasvualustasta tai kasvatusolosuhteista. Kuolleisuutta lisäsi CuB-lannoitus. Muita tilastollisesti merkitseviä syy-yhteyksiä ei voitu todeta käsittelyjen ja latvakadon välillä.

## 43. Pituuskasvu

Ensimmäisen kasvukauden aikana koivun taimet parhailla käsittelyillä saavuttivat 100 cm:n keskipituuden. Kaikki ne olivat saaneet kuparilannoituksen (kuva 1). Heikoimmin menestyivät kontrollitaimet ja CuB-lannoituksen saaneet. Viimemainittujen

kasvukäyrän mutkittelu aiheutui kahden taimen kuolemises-  
ta heinä-elokuun aikana. CuB-lannoituksen pituuskasvua vähentävä  
vaikutus näkyi jo kuukausi lannoituksen jälkeen.

Heinäkuun 22 p:nä suoritettun mittauksen perusteella suoritettu  
tilastollinen analyysi osoitti, että lannoituskäsittelyt olivat  
aiheuttaneet jokseenkin merkitsevän eron koivujen pituuk-  
sien välillä. Kuparin ja kalsiumin faktoriaaliset  
vaikutukset olivat positiivisia, ts. ne olivat lisänneet koivun  
kasvua. Boorin vaikutus oli lievästi negatiivinen (taulukko 2).

Kasvukauden lopussa (28.10) tilanne oli muuttunut siten,  
että kuparin vaikutus oli vähentynyt, boorin vaikutus oli ennal-  
laan ja kalkin vaikutus oli lisääntynyt (taulukko 2). CuB-yhdys-  
vaikutus oli negatiivinen. Yksittäisistä käsittelyistä vain Cu  
ja CaCu olivat antaneet merkittävästi vertailukäsittelyä parem-  
man kasvun, vaikka CaCuB-lannoitus oli tuottanut suurimman yksit-  
täisen taimen (143 cm), jonka ansiosta myös ko. käsittelyn keski-  
arvo oli kokeen suurin (100,7 cm) (kuva 2). Lisäksi todettiin,  
että Cu-lannoitus oli lyhentänyt jonkin verran pituuskasvun  
kestoa.

Faktoriaalisten erillisvaikutusten tarkastelu osoitti, että  
käytetyt lannoitteet vaikuttivat toisiinsa melko voimakkaasti.  
Niinpä boorin lievä negatiivinen vaikutus muuttui positiiviseksi  
kalkin saaneissa koeyksiköissä. Täysin päinvastoin vaikutti  
kupari, jonka läsnäollessa boori vähensi kasvua lähes 22 cm ja  
poissaollessa lisäsi keskimäärin 12 cm (taulukko 3).

Kupari ja boori paransivat kalkin vaikutusta käytännössä selvästi havaittavalla määrällä. Kuparin vaikutus ilman booria oli huomattavan positiivinen, mutta kääntyi negatiiviseksi boorili-säyksen seurauksena. Kalkitus näytti lisänneen kuparin vaikutusta (taulukko 3).

Varsinkin kuparisulfaatin ja lannoiteboraatin yhteensopimattomuus on tullut esille myöhemmin myös maastokokeissa Kivisuolla, joskaan ei yhtä selvänä kuin tässä (VEIJALAINEN 1981).

Toisen kasvukauden pituuskasvua häiritsi kärkikasvupisteiden kuoleminen (latvakato). Tämän seurauksena parhaassakin tapauksessa taimien keskimääräinen kokonaispituus lisääntyi vajaalla 10 cm:llä (CaCuB) (kuva 3). Täten millään lannoituskäsittelyllä ei saatu normaalia kasvutulosta toisen kasvukauden aikana. Erityisen heikko tulos oli CuB-lannoitetuissa koeyksiköissä.

#### 44. Biomassa

##### 441. Verso

Toisen kasvukauden lopussa pahoin kasvuhäiriön ja boorimyrkytyksen runtelemista koivuista määritettiin lehdettömän verson kuivapaino. Faktoriaalinen tulos oli samantyyppinen kuin pituuskasvutulos ensimmäisen kasvukauden jälkeen (taulukko 2). Kalkki lisäsi kuivapainoa, kuparilla ja boorilla ei ollut merkittävää vaikutusta. Käsittelyistä Cu, CaCu ja CaCuB antoivat vertailua suuremmat kuivapainot. Pienin kuivapaino oli CuB-käsittelyn saaneilla taimilla (kuva 4). Myös faktoriaalinen CuB-yhdysvaikutus oli negatiivinen ( $-1,34 \text{ g}^*$ ).

Varianssianalyysi osoitti kuivapainomittauksen antavan tilastollisesti merkitsevän eron lannoituskäsittelyjen välille. Erot tulivat esille nyt selvemmin kuin pituuskasvun mittaustulosten tarkastelussa.

#### 442. Lehdet

Lehtien biomassa määritettiin vain ensimmäisen kasvukauden lopulla. Suurin kuiva-aineen määrä oli CaCu-käsittelyillä (4,67 g/taimi) ja pienin CuB-käsittelyillä (2,00 g).

Lehtien kuiva-ainetta lisääväksi tekijäksi osoittautui kalkki ja pienentäväksi boori. Kuparin vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tässäkin CuB-yhdysvaikutus tuli esille selvästi negatiivisena (-0,56 g<sup>\*</sup>). Varianssianalyysin F-arvo (4,32<sup>\*\*</sup>) osoitti lehtien kuivapainon olevan tehokkain lannoitusvaikutusten mittari tässä kokeessa (taulukko 2).

#### 443. Juuret

Toisen kasvukauden lopulla tarkastettiin koivun taimien juuristot. Silmämääräisesti todettiin eroja juurten värissä, pituudessa, haaroittumisessa ja kokonaismäärässä.

Juurten haaroittuminen määritettiin laskemalla kevyellä vesi-huhtelulla puhdistetuista juurten kärkiosista 5 cm:n mitalta juuren haarojen lukumäärät. CaB-käsittelyillä niitä oli neljä kertaa vertailutaimista laskettu määrä (79 ja 20 kpl). Kaikki booria saaneet taimet erottuivat muista selvästi monihaarisempina (kuva 5). Useimmiten juurten haarat olivat tällöin lyhyeh-

köjä, joskus sormimaisesti paksuntuneita, vaaleita. Boorilannoituksen faktoriaalinen vaikutus juurten kärkien määrään osoittautui erittäin merkitseväksi (ks. taulukko 2). Mitään muita pää- tai yhdysvaikutuksia ei todettu. Hyväkasvuksilla taimilla juuret olivat yleensä pitkiä, lähes haarattomia, tumman tai punertavan ruskeita.

Juurten biomassa määritettiin sen jälkeen, kun ne olivat muutamana päivän kuivuneet avoimissa paperipusseissa. Kalkin vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä ja positiivinen (taulukko 2). Suurin juurten paino mitattiin CaCu-koeyksiköistä ja pienin CuB-lannoituksen saaneista purkeista. Täten juurten suuri haarautuminen ei ollut lisännyt juuristojen massaa vaan päinvastoin. Juurten massa eri lannoituskäsittelyillä noudatti samaa järjestystä kuin lehdettömän verson kuivapaino, mikä on nähtävissä vertaamalla kuvia 4 ja 6.

#### 45. Lehtien ravinnepitoisuudet

Ensimmäisen kasvukauden aikana syntyneistä lehdistä määritettiin tavallisimmat ravinnepitoisuudet. Kukin näyte koostui kaikkien viiden toiston sekoitetusta lehtimassasta. Kesän aikana pudonneet lehdet talletettiin ja syksyllä lehtien kellastuttua ne lisättiin kertyneeseen materiaaliin. Lehtien N-pitoisuus oli varsin alhaisella tasolla, mikä kuvastaa sitä, että kellastuneista lehdistä oli osa typpiyhdisteistä siirtynyt pois. Poikkeuksellisesti CuB-taimissa tämä siirtyminen oli ilmeisesti myöhässä tai häiriintynyt. Parhaiten kasvaneella CaCu-käsittelyllä N-pitoisuudet olivat jopa alhaisempia kuin lannoittamattomalla kasvu- turpeella kasvaneissa taimissa (taulukko 4).



Kasvuhäiriöturpeella kasvatettujen koivujen lehdissä fosforipitoisuus oli kauttaaltaan erittäin korkea verrattuna lannoittamattomalta kasvuturpeelta saatuihin arvoihin. Tässä näkyy kolmen peräkkäisen fosforilannoituksen vaikutus varsin selvästi, kuten turpeen analyysituloksen perusteella voitiin odottaa (ks. s. 3 ). Lehtien kaliumin pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin kasvuturvealustalla.

Kalkin antamisen vaikutus lehtien Ca-pitoisuuteen näkyi tuloksista selvästi. Magnesiumin pitoisuudet olivat kasvuhäiriöturpeella jonkun verran alempia kuin kasvuturpeella.

Suurimmat erot näkyivät booripitoisuuksissa. Kasvuhäiriöturpeella kasvaneissa koivuissa booria oli noin 1/5 kasvuturpeen koivujen pitoisuudesta, kun boorilisäystä ei ollut suoritettu. Boorilannoitetuilla koivun taimilla kyseessä oli aivan ilmeinen boorin yliannostus. Pitoisuudet olivat kohonneet 15-24-kertaisiksi 0-käsittelyn lehtien B-arvoihin verrattuna. Kuparinkin vaikutus näkyi aineistossa kohonneina kuparipitoisuuksina, mutta ei läheskään yhtä selvästi kuin boorin vaikutus. Mangaanin ja sinkin pitoisuudet olivat kasvuhäiriöturpeella kasvatetuissa koivuissa huomattavasti alempia kuin lannoittamattomalla kasvuturpeella.

Voimakas pääravinnelannoitus on tässä kokeessa aivan ilmeisesti aiheuttanut ohentumisilmiöitä paitsi hivenravinteilla myös lehtien magnesiumin ja kalsiumin pitoisuuksissa. Kyseessä voi olla myös näiden ravinteiden absoluuttinen puutostila. Koejärjestely ei kuitenkaan voi tätä varmasti osoittaa.

## 5. TULOSTEN TARKASTELU

Lannoiteboraatti osoittautui erittäin tehokkaaksi boorin lähteeksi. Käyttömäärä oli noin 20 kg/ha, ja sen seurauksena esiintyi selviä myrkytysoireita, jotka näkyivät lehtien reuna- ja kärkiosien nekroosina ja lehtien kuivapainon vähentymisenä. Juurten kärkiosassa boorilannoitus aiheutti poikkeavaa juurten haarojen lisääntymistä. Kuparilannoituksen yhteydessä boorin negatiiviset vaikutukset kärjistyivät. Sen sijaan kalkitus lievensi niitä. Täten koe ei antanut vastausta kysymykseen, oliko tutkitulla kasvuhäiriöpaikalla kyse boorin puutoksesta. Vahinko jäi vähäiseksi, sillä muissa kokeissa Kivisuon boorin riittämättömyys on tullut todistetuksi (mm. VEIJALAINEN 1981). Tässä kokeessa todettiin varsin korkeita booripitoisuuksia. Ilmeisesti rauduskoivu on erityisen tehokas boorin otossaan, tai sitten lannoitteiden sekoittaminen kasvualustaan on parantanut erityisesti boorin saantia.

Boorin ja kuparin, nimenomaan lannoiteboraatin ja kuparisulfaatin seos näyttäisi tämän tutkimuksen perusteella helposti vaikuttavan epäsuotuisasti rauduskoivun kasvuun. Sama tulos on saatu männyllä samalla kasvupaikalla, mistä turve kokeeseen otettiin (VEIJALAINEN 1979, 1981). Ilmeisesti kaikissa tapauksissa on ollut kyseessä boorin yliannostus, jota kuparisulfaatin käyttö on kärjistänyt.

Kuparisulfaattia kokeessa käytettiin noin 40 kg/ha. Määrä lisäsi jossain määrin koivun lehtien kärkinekroosia ja aiheutti lehtien kuperoitumista. Varsinkin kokeen alkuvaiheessa käsittely paransi taimien kasvua. Kuparilannoitus lyhensi jonkin verran kasvukauden pituutta, mikä voi olla seurausta varhaisesta puutumisesta, johon kuparin tiedetään vaikuttavan edullisesti edistämällä ligniinisynteesiä (mm. RAHIMI ja BUSSLER 1973).

Kokeen perusteella on pääteltävissä, että Kivisuon kasvuhäiriöalueilla voi esiintyä myös kuparin puutosta (ks. VEIJALAINEN 1981). Kuparilannoituksen vaikutus koivun lehtien kuparipitoisuuteen oli vähäistä. Kuparisulfaattia käytettäessä kuparia kertyy voimakkaasti puiden juuristoon (esim. PAAVILAINEN 1968), joten lehtianaalyytitulokset eivät välttämättä ole ollenkaan sopivia kuparitalouden indikaattoreina. Lähinnä lehtien oireistojen perusteella voidaan olettaa kuparilannoituksenkin tässä kokeessa olleen hiukan liian voimakas. Jo 4-6 kg/ha puhdasta kuparia eli 16-25 kg/ha kuparisulfaattia riittänee poistamaan kuparin puutoksen määnyiltä (VEIJALAINEN 1980 a).

Kaikissa tähänastisissa kokeissa hidasliukoiset kuparin lähteet kuten kuparipasute, kuparioksidi ja kuparifritti ovat osoittautuneet kuparisulfaattia paremmiksi kuparilannoitteiksi (New Zealand Forest Research Institute 1974, PIETILÄINEN ja VEIJALAINEN 1979, VEIJALAINEN 1980 b). Suomessakin näitä hidasliukoisia kuparilähteitä on suositeltu jo 1950-luvulla (HOVI 1947).

Kalkin käyttö näytti sopivan hyvin rauduskoivun taimille. Se lisäsi taimien pituuskasvua, sitä enemmän, mitä pidemmälle kasvukausi jatkui. Kalkki lisäsi verson, lehtien ja juurten massaa. Erityisesti kalkki näytti lieventävän käytettyjen hivenravinteiden haitallisia vaikutuksia (ks. WALLACE ym. 1968). Se näytti tasapainottavan taimien kasvua. Sen antaminen mm. esti kuparin ja boorin sekoituksen haitallisen vaikutuksen syntymisen. Turpeen pH oli alunperin varsin alhainen (3,9), joten kalkin sekoittaminen turpeeseen on ilmeisesti kohottanut sitä ja täten muuttanut turpeen ominaisuuksia.

Turpeeseen sekoitettuna kalkilla tiedetään olevan myös selvästi suurempi vaikutus turpeen pieneliöstöön kuin pintaan annettuna (KAUNISTO ja NORLAMO, 1976). Pieneliöstön määrän lisääntynyt aktiviteetti ja pH-muutoksen hivenravinteiden liukoisuutta pienentävä vaikutus (SCHÜTTE 1964) lienevät keskeisimmät selitykset sille, että nyt kalkituksella saatiin selvä positiivinen tulos. Pintalevityksestä on aluksi saatu metsäojitusalueilla negatiivisia kokemuksia (HUIKARI 1973).

Tämän kokeen perusteella on arvioitavissa, että kalkituksen merkitys kasvuhäiriön ja hivenravinnepuutosten torjunnassa turvemaidella voi olla varsin keskeinen. Ainakin koetoiminnassa kalkituksen käyttöä olisi pian lisättävä. Käytännön metsätalouteen saatuja tuloksia sensijaan ei voida suoralta kädeltä suositella sovellettavaksi.

## 6. SUMMARY

A series of experiments in greenhouse were conducted in order to study the nutrient deficiencies in peat by using rapidly growing indicator plants (*Betula pendula*, *Lolium perenne* and *Avena sativa*). The peat originated from a drained bog with severe growth disturbances in its pine stand. Preliminary trials with *Lolium* and *Sativa* showed that Ca may be an important nutrient. The pine stand showed boron deficiencies and copper deficiency was suspected.

The pine stand had been fertilized twice (1959 NPK and 1963 PK). The third fertilization with NPK was mixed into the peat in greenhouse. So all macronutrient deficiencies were eliminated. The experimental design was  $2^3$ -factorial with 5 replications.

Fertilizer borate 20 kg/ha caused toxic symptoms in leaves and roots. Copper sulphate (40 kg/ha) increased and calcium carbonate (2000 kg/ha) decreased the symptoms (Table 1). So the question about boron deficiency in peat remained open. High boron contents were reported in birches after B-fertilization (Table 4). Copper sulphate had small toxic effects but it had also positive growth effects. Copper deficiency in the peat substrate was evident. Calcium had positive effects on the height growth and the biomass of the shoots, leaves and roots of the birch saplings (Table 2). Especially it seemed to prevent some toxic effects of the micronutrient fertilizers. The fertilizers were mixed in the peat in the birch experiment.

The effects of the fertilization treatments were partly declared by this fact (Figs. 1-6).

The final result of these experiments was that calcium application must be taken into account also in field experiments.

## KIRJALLISUUS

- COCHRAN, W.F. & COX, G.M. 1964. *Experimental designs*.  
New York. John Wiley & Sons, Inc. 611 s.
- HOVI, M. 1947. Hivenaineet kasvutekijöinä pelto- ja puutarha-  
kasveilla. Pellervo-Seura. Helsinki. 112 s.
- HUIKARI, O. 1973. Koetuloksia metsäojitettujen soiden lannoit-  
uksesta. Summary: Results of fertilization experiments  
on peatlands drained for forestry. Metsäntutkimuslaitoksen  
suontutkimusosaston tiedonantoja 1/1973. 153 s.
- KAUNISTO, S. & NORLAMO, M. 1976. On nitrogen mobilization in  
peat. I. Effect of liming and rotavation in different  
incubation temperatures. Seloste: Typen mobilisaatiosta  
turpeessa. I. Kalkituksen ja muokkauksen vaikutus erilaisissa  
haudutuslämpötiloissa. Commun. Inst. For. Fenn. 88.2:1-27.
- KOLARI, K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn  
kasvuhäiriöilmiö Suomessa. Kirjallisuuskatsaus.  
Summary: Micronutrient deficiency in forest trees and die-  
back of Scots pine in Finland. A Review. Folia For. 389:1-37.
- MIDDLETON, K.R. & TOXOPEUS, M.R.J. 1973. Diagnosis and measure-  
ment of multiple soil deficiencies by a subtractive technique.  
Plant & Soil 38:219-226.
- New Zealand Forest Research Institute 1974. Copper deficiency  
in Radiata pine in Northland. What's New in Forest Research  
nro 14. 4 p.
- PAARLAHTI, K. REINIKAINEN, A. & VEIJALAINEN, H. 1971.  
Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle  
and peat analysis. Commun. Inst. For. Fenn. 74.5:1-58.
- PAAVILAINEN, E. 1968. Juuristotutkimuksia Kivisuon metsän-  
lannoituskentällä. Summary: Root studies at the Kivisuo  
forest fertilization area. Commun. Inst. For. Fenn. 66.1:  
1-31.
- PIETILÄINEN, P. & VEIJALAINEN, H. 1979. Koe hivenlannoitteiden  
vaikutuksesta rimpisuon metsityksessä. Summary: Effect of  
some micronutrient fertilizers on the height growth of pine  
seedlings in a flark. Suo 30 (5):73-80.

- RAHIMI, A. & BUSSLER, W. 1973. Physiologische Voraussetzungen für die Bildung die Kupfermangelsymptome. Z. Pfl. Ernähr. Bodenk. 136(1):25-32.
- SCHÜTTE, K. H. 1964. The biology of trace elements - their role in nutrition. Int. Monographs: Aspects of animal and human nutrition. Crosby & Lockwood. 211 s.
- 
- STONE, E.L. & TIMMER, V.R. 1975. On the copper content of some northern conifers. Canad. J. Bot. 53 (15):1453-1456.
- VEIJALAINEN, H. 1978. Metsäpuiden latvakadon esiintymisestä Suomessa. Metsä ja Puu 2, s. 31.
- \_\_\_\_\_ 1979. Hivenlannoitteiden Cu, B ja Mn vaikutus kasvuhäiriöpuuston elpymiseen Kivisuolla. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 6/1979. Moniste. 8 s.
- \_\_\_\_\_ 1980 a. 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.
- \_\_\_\_\_ 1980 b. Mäntylajeilla suoritettuja Cu- ja B-kokeita. Kirjallisuuskatsaus ulkomaisista tutkimuksista. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 3/1980. s. 1-67.
- \_\_\_\_\_ 1981. Hivenlannoituksen vaikutus istutusmännikön kehitykseen turvemaalla. Summary: Long-term responses of Scots pine to micronutrient fertilization on acid peat soil. Folia For. 477:1-15.
- WALLACE, A., ELBAZZAR, A. & SOUFI, S.M. 1968. The role of calcium as a micronutrient and its relationship to other micronutrients. Trans. 9th Int. Congr. Soil. Sci. 2:357-366.



Taulukko 1. Lehtien kehityksessä havaitut poikkeavuudet ja lannoituskäsittelyjen vaikutussuunnat faktoriallisten päävaikutusten mukaan arvioituna.

Table 1. Effect of fertilization on leaf symptoms, directions of factorial main effects.

Oire Symptom	Lehtiä, kpl Number of leaves	Lannoitusvaikutukset Fertilization and effects		
		Cu	B	Ca
Kärkikloroosi Tip chlorosis	61	-	+	-
Reunakloroosi Marginal chlorosis	96	0	++	+
Suonten välinen kloroosi - Interveinal chlorosis	28	0	+	0
Kärkinekroosi Tip necrosis	74	+	++	0
Reunanekroosi Marginal necrosis	92	0	++	+
Nekroositäplät Necrotic spots	79	0	+	0
Kiiltolehtisyys Shiny leaves	21	-	-	++
Kuperuus Convex leaves	80	+	-	0

Taulukko 2. Lannoitteiden faktorialiset keskivaikutukset koivun kasvutunnuksiin ja varianssianalyysin F-arvot lannoituskäsittelyille.

Table 2. Factorial mean effects of the fertilization treatments on growth parameters, and F-values of variance analysis.

Kasvutunnus Growth parameter	$\bar{x}$	Keskivaikutukset Factorial mean effects			F-arvo F-value
		Cu	B	Ca	
Pituuskasvu - Height growth 1.4.-22.7.	59,4 cm	+11,5*	-4,2	+11,6*	3,23*
Pituuskasvu - Height growth 1.4.-28.10.	84,2 "	+ 5,1	-5,0	+17,3*	2,92*
Verson kuivapaino ilman lehtiä - O.D. weight of the shoots, excluding leaves 1.4.76-27.7.77	5,62 g	+ 0,7	-0,5	+ 2,3*	3,96*
Lehtien kuivapaino - O.D. weight of the leaves 1.4.-28.10.76	3,42 g	+ 0,2	-0,6*	+1,01*	4,32**
Juurten paino Weight of the roots	2,45 g	+ 0,2	-0,6	+1,03*	2,94*
Juurten kärjet Number of rootlets	41,6 kpl	- 9,6	+33,4***	+6,4	3,86**

Epävarmuustasot - Risk levels: \* = 5 %  
\*\* = 1 %  
\*\*\* = 0,1 %

Taulukko 3. Lannoitusvaikutukset hajotettuina erillis-  
vaikutuksiksi. Koivujen pituuskasvu 1.4.-28.10.1976.

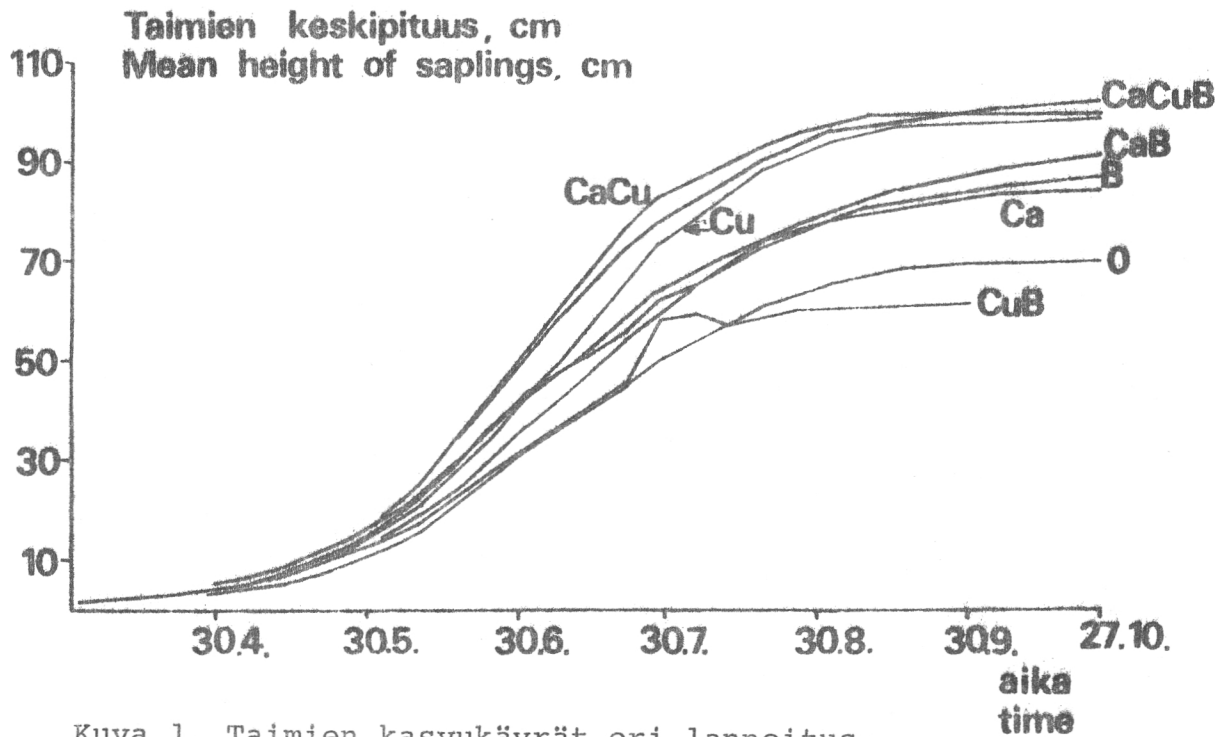
Table 3. Differential responses, height growth of the  
birch saplings 1.4.-28.10.1976.

Faktori Faktor	Faktoriaalinen keskivaikutus Mean response cm	Erillisvaikutukset, cm Differential responses, cm					
		B		Ca		Cu	
		-	+	-	+	-	+
B	- 5,0		-	-14,7	+4,8	+12,0	-21,9
Ca	+17,3	+7,6	+27,0		-	+9,1	+25,5
Cu	+ 5,1	+22,0	-11,9	-3,1	+13,3		-

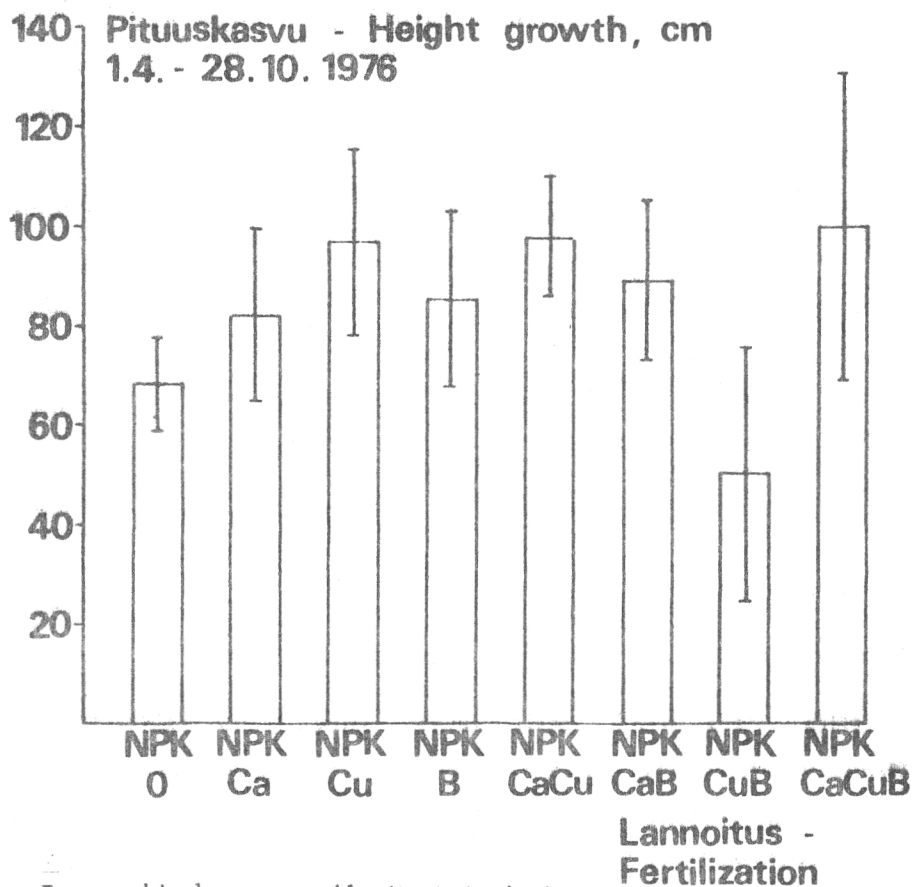
Taulukko 4. Rauduskoivun lehtien ravinnepitoisuudet syksyllä 1976.

Table 4. Nutrient content of birch leaves, autumn 1976.

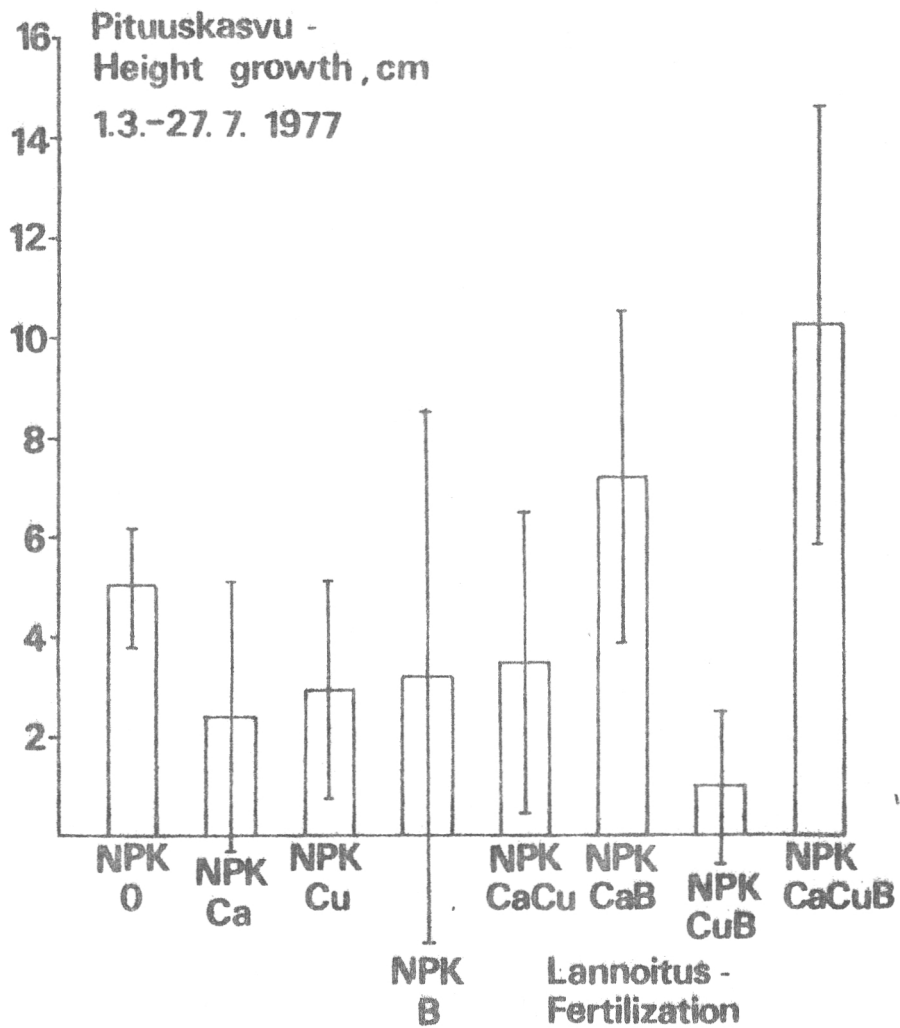
Lannoitekäsittely Fertilization treatment	N %	P	K mg/g	Ca mg/g	Mg	B	Cu mg/kg	Mn	Zn
0	0,65	8,2	20,8	6,1	5,3	15	14,8	243	159
B	0,77	7,8	21,1	6,8	5,5	226	16,9	295	154
Cu	0,71	6,1	17,9	5,3	4,9	17	25,8	253	116
Ca	0,71	7,4	16,0	10,8	4,6	14	17,9	274	166
Ca B	0,85	8,4	20,5	11,0	4,6	366	31,9	306	182
Cu B	1,12	6,3	25,5	4,9	4,9	291	21,1	316	164
Ca Cu	0,53	7,4	17,0	9,5	4,4	17	19,0	248	144
Ca Cu B	0,68	8,5	19,2	10,1	4,9	358	32,7	285	148
Lannoittamaton kasvuturve Unfertilized sphagnum peat	0,47	3,3	18,5	7,4	6,9	76	26,4	411	339



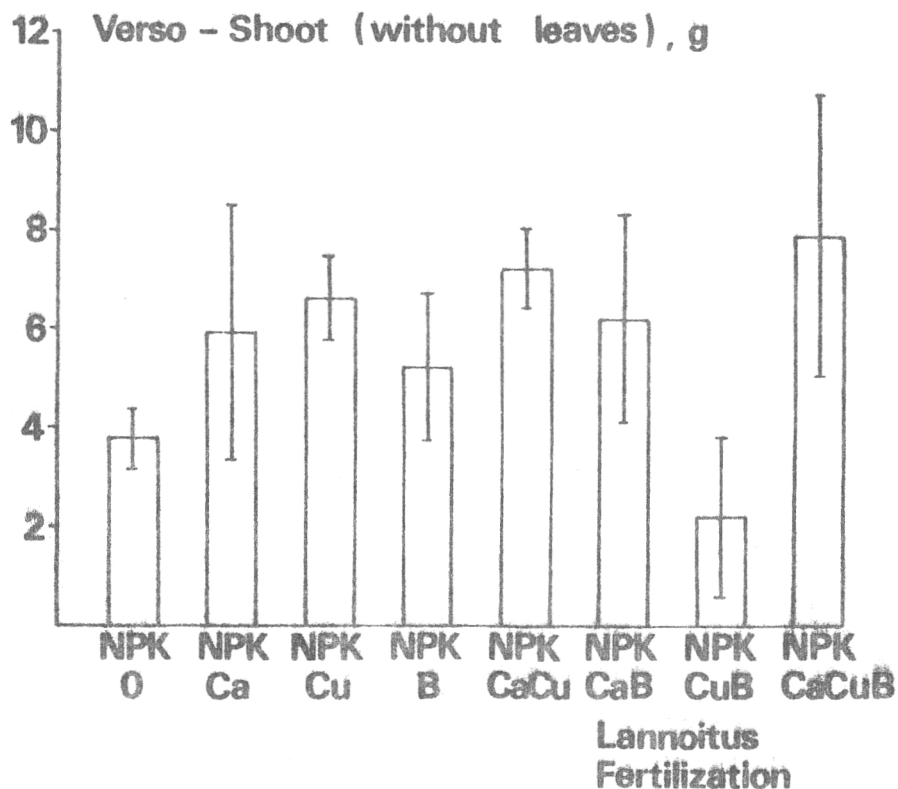
Kuva 1. Taimien kasvukäyrät eri lannoitus-  
käsittelyillä I kasvukauden aikana  
Fig. 1. Cumulative growth curves for birch  
saplings during the first growing period



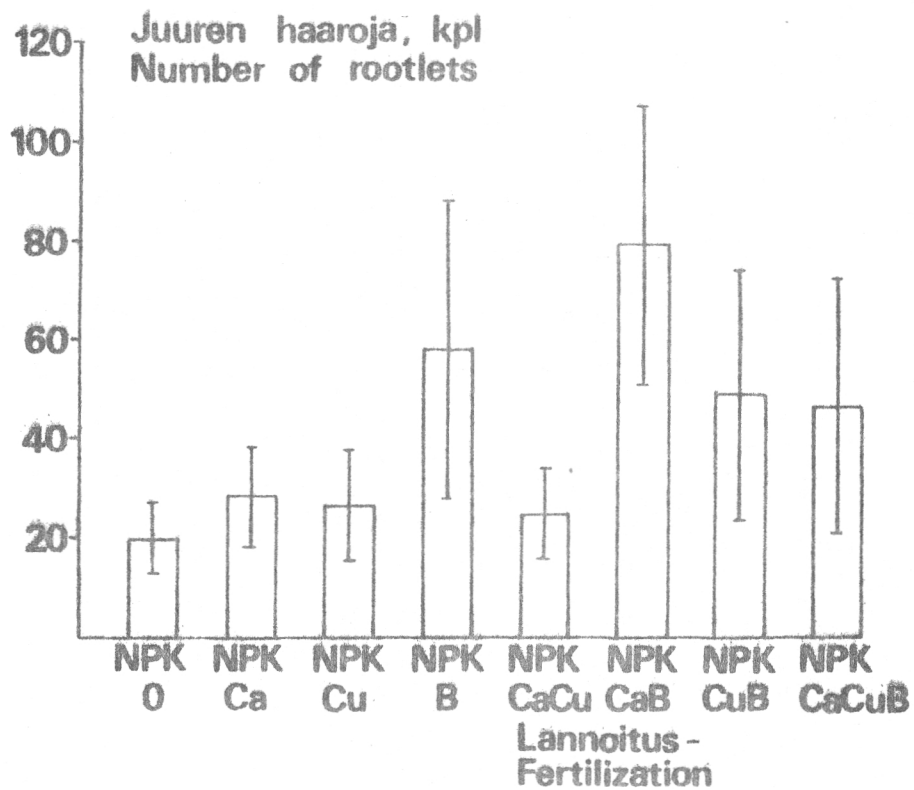
Kuva 2. Lannoituksen vaikutus taimien  
keskipituuteen ensimmäisen  
kasvukauden päättyessä  
Fig. 2. Effect of fertilization on the mean  
height of birch saplings at the end  
of the first growing period



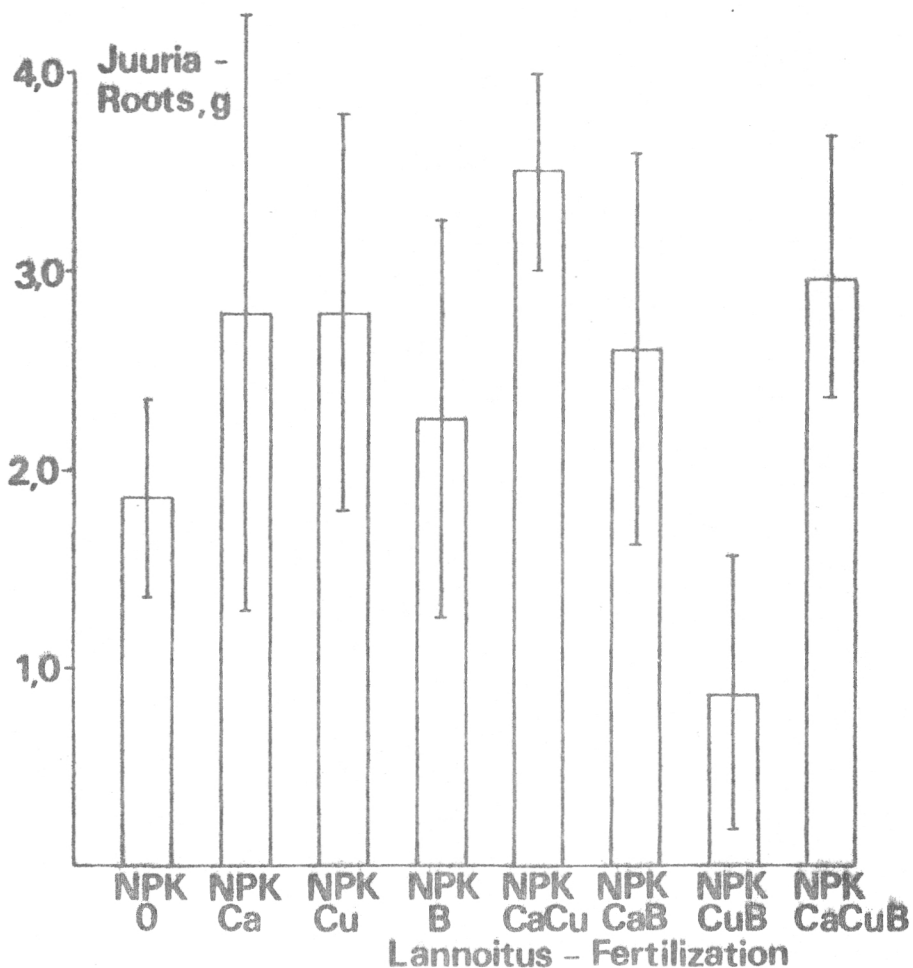
Kuva 3. Taimien elävän osan pituuskasvu toisena kasvukautena  
Fig. 3. Increase in the living height of birch saplings during 2nd growing period.



Kuva 4. Lehdeettömän rungon kuivapaino kahden kasvukauden jälkeen.  
Fig. 4. Dry weight of stem without leaves after two growing periods.



Kuva 5. Juurten kärkiosan, (5 cm) haarautuminen  
 Fig. 5. Number of rootlets in the first 5 cm of roots.



Kuva 6. Juurten massa (ilmakuiva) eri lannoituskäsittelyillä  
 Fig. 6. Root biomass (root dry) at different fertilization treatments



