



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1993

820

Mikko Moilanen

LANNOITUKSEN VAIKUTUS MÄNNYN RAVINNETILAAN JA KASVUUN
POHJOIS-POHJANMAAN JA KAINUUN OJITETUILLA SOILLA

Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine
on drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu

FOLIA FORESTALIA

Julkaisija — *Publisher*

Metsäntutkimuslaitos
The Finnish Forest Research Institute

Toimitus — *Editors*

Päätoimittaja — <i>Editor in chief:</i>	Erkki Annila
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Seppo Oja
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Tommi Salonen

Unioninkatu 40 A, FIN-00170 Helsinki, Finland
tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308

Toimituskunta — *Editorial Board*

Erkki Annila (pj. — *chairman*), Pentti Hakkila, Seppo Kaunisto, Jari Kuuluvainen,
Juha Lappi, Eino Mälkönen

Tavoitteet ja tarkoitus — *Aim and Scope*

Sarjassa julkaistaan tutkimuksia, tilastoja ja kirjallisuuskatsauksia, joilla on ensisijaisesti kotimaista merkitystä. Julkaisukielenä on kotimainen kieli, mutta julkaisut sisältävät englanninkielisen selosteen tärkeimmistä tutkimustuloksista.

Folia Forestalia publishes research reports, statistics and literature reviews relevant to Finnish forestry.

Tilaukset — *Subscriptions*

Tilaukset ja tiedustelut pyydetään osoittamaan Metsäntutkimuslaitoksen kirjastolle.
Subscriptions and orders for back issues should be addressed to the Library of the Institute.

Mikko Moilanen

LANNOITUKSEN VAIKUTUS MÄNNYN RAVINNETILAAN JA KASVUUN
POHJOIS-POHJANMAAN JA KAINUUN OJITETUILLA SOILLA

Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine
on drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu

Approved on 7.12.1993

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	3
2	AINEISTON YLEISESITTELY	4
2.1	Tutkimusmetsiköt	4
2.2	Mittaukset ja aineiston käsittely	5
3	PUUSTON RAVINNETALOUS JA KASVU	6
3.1	Kertalannoituskokeiden aineisto ja tulokset	6
3.1.1	Niukkatyyppiset ohutturpeiset rämeet	6
3.1.2	Runsastyyppiset paksuturpeiset rämeet	7
3.2	Jatkolannoituskokeiden aineisto ja tulokset	9
3.2.1	Niukkatyyppiset rämeet	9
3.2.2	Runsastyyppiset rämeet ja entiset nevat	10
3.2.2.1	Jatkolannoituskokeet vuosilta 1974–75	10
3.2.2.2	Jatkolannoituskokeet vuodelta 1978	17
4	LANNOITUSREAKTIOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	20
4.1	Kasvuindeksit ja ympäristömuuttujat	20
4.2	Kasvualustan ja puuston ravinnetila	21
5	TULOSTEN TARKASTELU	23
5.1	Aineisto	23
5.2	Lannoitusreaktio erilaisilla soilla	24
5.3	Tulokset käytännön metsänlannoitustoiminnan kannalta	26
	KIRJALLISUUS — REFERENCES	27
	SUMMARY	30
	Liitteet	32

Moilanen, M. 1993. Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla. Summary: Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine on drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu. *Folia Forestalia* 820. 37 p.

Tutkimuksessa selvitettiin kerta- ja jatkolannoituksen vaikutusta nuoren männikön ravinnetalouteen ja runkopuun kasvuun ojitetulla suolla. Kertalannoituksen aiheuttaman puuston kasvunlisäyksen suuruus riippui kasvualustan tyypipitoisuudesta. Niukkatyyppisillä soilla (pintaturpeen N-pitoisuus alle 1,75 %) fosfori-kaliumlannoitus (PK) lisäsi männikön tilavuuskasvua 7 vuoden tutkimusjakson aikana vain 0,2–0,3 m³/ha/v. Typpi-fosfori-kaliumlannoituksella (NPK) päästiin vastaavasti 0,7–0,9 m³:iin/ha/v. NPK-käsittelyn vaikutus oli voimakkaimmillaan 3–5 vuoden kuluttua lannoituksesta ja näkyi puuston kasvussa noin 10 vuoden ajan. Neulasissa lannoituksen vaikutus ilmeni lievästi kohonneina fosfori- ja kaliumpitoisuuksina.

Runsastyyppisillä soilla (pintaturpeen N-pitoisuus yli 2,1 %) sekä PK- että NPK-käsittely aiheuttivat voimakkaan ja vielä puuston mittaushetkellä (7–12 vuotta lannoituksesta) jatkuvan kasvureaktion. Lannoitusta seuranneen 7 vuoden aikana PK-lannoitus tuotti n. 60 %:n ja NPK-lannoitus n. 70 %:n kasvunlisäyksen lannoittamattomaan verrattuna. Parhaimmillaan vuotuinen kasvunlisäys oli kokeesta riippuen 2–4 m³/ha. Pääravinnelannoitus kohotti selvästi neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuutta ja alensi tyypipitoisuutta. Myös boori-, mangaani-, sinkki-, magnesium- ja kupariarvot alenivat lannoituksen seurauksena.

Niukkatyyppisten kohteiden jatkolannoitusvaikutus oli samankaltainen kuin vastaavanlaisissa kertalannoitusmetodissa. Runsastyyppisillä kohteilla 10–15 vuoden kuluttua PK-peruslannoituksesta tehty jatkolannoitus lisäsi puuston kasvua ensimmäisellä 10-vuotisjaksolla vähemmän kuin kertalannoitus. Selvästi havaittava reaktio (0,7–1,4 m³/ha/v) näkyi vain NPK-käsittelyjen jälkeen. Syynä PK-jatkokäsittelyn vaatimattomaan (0–0,8 m³/ha/v) ilmenemiseen on pidettävä PK-peruslannoituksen vaikutuksen ulottumista jatkolannoituskaudelle.

The effect of single and repeated fertilization on the nutrient status and stemwood growth of Scots pine on drained peatlands was investigated in the study. The magnitude of the growth increment obtained with single fertilization depended on the nitrogen content of the substrate. On nitrogen-poor peatlands (N content of the surface peat below 1.75 %) PK fertilization increased the volume growth of pine during the 7-year period by only 0.2–0.3 m³/ha/a. NPK fertilization gave a corresponding increase of 0.7–0.9 m³/ha/a. The effect of NPK was at its greatest 3–5 years after fertilization, and gave a measurable stand growth increase for about 10 years. The effect of fertilization was reflected in the needles as slightly elevated P and K concentrations.

On nitrogen-rich peatlands (N content of the surface peat over 2.1 %), both the PK and NPK treatments resulted in a strong growth reaction that was still continuing at the time the stands were measured (7–12 years after fertilization). During the 7-year period after fertilization the growth on the PK plots was about 60 % and on the NPK plots about 70 % greater than that on the unfertilized plots. At its highest the annual growth increase was 2–4 m³/ha depending on the experiment. Macronutrient fertilization clearly increased foliar P and K concentrations, and decreased the N concentrations. Fertilization also resulted in a decrease in the B, Mn, Zn, Mg and Cu concentrations.

The effect of repeated fertilization on the nitrogen-poor sites was similar to that in the stands fertilized only once. The growth increment obtained during the first 10-year period following the second application of the basic PK fertilizer, 10–15 years after the first treatment, was less on the nitrogen-rich sites than that given by the first application. A marked reaction (0.7–1.4 m³/ha/a) only occurred after NPK treatment. The reason for the modest reaction (0–0.8 m³/ha/a) of the repeated PK treatment is most probably due to the fact that the basic PK fertilization continued to have an effect during the period when fertilization had been repeated.

Keywords: nutrition, *Pinus sylvestris*, peatlands, Scots pine, foliar nutrients, soil nutrients, nitrogen, phosphorus, potassium, tree growth, fertilization, micronutrients.
FDC 237+114.444+174.7 *Pinus sylvestris*

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Muhos Research Station, Kirkkosarentie, SF-91500 Muhos, Finland.

ISBN 951-40-1341-7
ISSN 0015-5543

Tampere 1993. Tammer-Paino Oy

1 Johdanto

Puiden ongelmana on turvemaidella ravinteiden yleisen niukkuuden ohessa usein myös niiden saatavuuden epäsuhta (Holmen 1964, Westman 1981, Kaunisto & Paavilainen 1988, Finér 1991). Puute on yleensä fosforista ja kaliumista. Niukkatyypisillä suotyypeillä myös tyypeä mobilisoi-tuu puiden käyttöön riittämättömästi (Kaunisto 1982, 1987, Holmen 1986). Viljavilla paksuturpeisilla soilla käyttökelpoista tyypeä voi puolestaan olla liikaa muihin ravinteisiin nähden. Ojitusalueen ikääntyessä turpeen kaliumvaroista huomattava osa sitoutuu puustoon, ja seurauksena saattaa olla kaliumin ehtyminen ja puuston kasvun äkillinen tyrehtyminen (Kaunisto & Tu-keva 1984, Kaunisto & Paavilainen 1988, Kau-nisto 1989). Myös hivenravinteita turpeessa on niukalti. Varsinkin boorin merkitystä puuston terve-ven kasvun ylläpitäjänä on korostettu (Huikari 1974, Braecke 1977, Kolari 1979, 1988, 1991, Veijalainen 1983, Veijalainen ym. 1984).

Turvemaiden ravinnetilaa voidaan parantaa lan-noituksella. Lannoitusvaikutuksen mittana on yleensä käytetty runkokuun kasvun muutosta. Fosfori-kaliumlannoituksen tiedetään runsastypisillä ruoho-suursaratason kasvupaikoilla näkyvän puustossa 15–20 vuoden ajan, joskus pitempäänkin (Paavilainen 1979b, Penttilä 1984, Penttilä & Moilanen 1987a, 1987b). Niukkatyypisillä tupasvilla-piensaratason soilla tarvitaan fosforin ja kaliumin lisäksi tyypeä, ja lannoituksen vaikutusaika jää alle 10 vuoden (Paavilainen 1972, 1977, Karsisto 1974, Kaunisto 1977, 1985, Moilanen & Issakainen 1990). Tutkimukset ovat koh-distuneet etupäässä nuoriin männiköihin.

Jatkolannoituksen vaikutuksen suuruudesta ja kestoajasta saadut tutkimustulokset ovat riittä-mättömiä ja osin ristiriitaisia (Paavilainen 1977, 1984, Paavilainen & Penttilä 1983, Moilanen 1984, Penttilä 1984, Kaunisto 1987, 1989). Ongelmia jatkolannoitukseen tuo mm. lannoiteravinteiden toisistaan poikkeava vaikutustapa. Fosforilannoitus vaikuttaa kasvualustaan ja puustoon selvästi kauemmin kuin kaliumin tai typen käyttö. Typen ja kaliumin merkitys on eräissä jatkolannoitustutkimuksissa tullut korostuneesti esiin (Moilanen 1984, Penttilä 1984, Kaunisto 1989). Lannoitteiden erilainen vaikutustapa voi jatkolannoitusvaiheessa johtaa peruslannoituksesta poikkeavaan käsittelyyn, mikäli tavoitteena on puuston ravinnetilan pitäminen optimaalisena.

Peruslannoituksen jälkeisestä puuston ravin-netilan kehityksestä tarvitaan lisätietoa etenkin runsastyyppisten soiden osalta. Avoimia kysymyksiä ovat mm. lannoitekaliumin vaikutuksen kesto sekä jatkolannoituksen ajoitus ja siinä käytettävät ravinteet. Tiedot tyyppijatkolannoituksen vaikutuksesta varttuneen puuston kasvuun van-halla ojitusalueella ovat myös vähäisiä. Silti käytännön lannoitusohjeissa suositellaan typen käyttöä fosforin ja kaliumin ohella kaikilla turvekan-gastyypeillä viimeistään jatkolannoitusvaiheessa (Paavilainen 1979a, Ohjekirje metsän... 1982). Lannoitusohjeissa ei huomioida kohteen maantieteellistä sijaintia. Kuitenkin näyttää siltä, että orgaanisesti sitoutuneiden typen ja fosforin mineralisaatio on Pohjois-Suomen ankarammissa ilmasto-oloissa hitaampaa ja ravinteiden puute näin ollen korostuneempaa kuin Etelä-Suomessa lähes riippumatta kohteen viljavuudesta (Seppä-lä & Westman 1976, Starr & Westman 1978, Moilanen 1984, 1992, Penttilä 1984).

Ojitettuja soita alettiin lannoittaa laajamittaisesti 1960-luvun lopulla. 1970-luvun puolivälis-sä lannoitettiin vuosittain jo yli 100 000 ha (Metsätalustollinen...). Levitys tehtiin ojituksen kanssa yleensä samanaikaisesti fosfori-kaliumkäsittelynä, jossa fosfori oli hidasliukoista hieno- tai raakafosfaattia ja kalium nopealiukoista kaliumkloridia tai -sulfaattia. Soilla yleisesti käytetty jauheinen Suometsien PK-lannos oli raakafosfaatin ja kaliumkloridin seos. 1980-luvulla vuotuiset lannoituspinta-alat pienentyivät nopeasti. Vuonna 1988 ojitusalueita lannoitettiin koko maassa enää 20 000 ha. Tällä hetkellä suometsien lannoitustoiminta on lähes pysähdyksissä. Metsätalouden suunnittelua varten laadittujen ohjelmien (esim. Metsä-2000) mukaan lannoitusta tulisi kuitenkin huomattavasti lisätä 1980-luvun suoritteisiin verrattuna. Lannoituksen merkitys nähdään nykyään kuitenkin erilaisena kuin lannoitustoiminnan alkuaikoina. Perusteluissa korostetaan kannattavuusnäkökohtien ohessa aiempaa enemmän tarvetta metsien yleisen terveydentilan ja puuntuotantokyvyn ylläpitämiseen lannoituksen avulla.

Vanhojen ojitusalueiden kunnostustarve on nopeasti lisääntymässä. Ojastot rappeutuvat ja niiden kuivatusteho heikkenee, ellei kunnostustöitä kyetä nykyisestä lisäämään. Esim. Oulun läänin ojitusalueiden kuivatustilan on todettu hei-

kentyneen huomattavasti 1980-luvun aikana (Moilanen & Piironen 1991). Ravinnelisäyksen tarpeen arviointi ja mahdollinen lannoitus niveltäytävät käytännön metsänhoidossa kunnostusojitukseen ja puustonkäsittelyyn. Ravinnetaloudellisesti riskialttiita ovat metsittyneet peltoheidot (Veijalainen 1978) ja paksaturpeiset, alkuaan vähäpuustoiset nevarämeet tai entiset nevat, joilla ojituksesta ja peruslannoituksesta on kulunut 15 vuotta tai enemmän (Kaunisto 1991). Aidot rämeet, jotka ovat olleet puustoisia jo ojitushetkellä, omaavat tasapainoisemman ravinnetalouden eikä lannoitusta ravinnesuhteiden järjestämiseksi tarvita yhtä paljon. Aitojen rämetyyppien kaliumvarat suhteessa typpi- ja fosforivaroihin on havaittu runsaammiksi kuin sekatyypeillä (Vahtera 1955).

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan perus- ja jatkolannoituksen vaikutusta Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitusaluiden männiköiden ravinnetilään. Lannoitusvaikutuksen merkitystä arvioidaan runkokuuston kasvussa sekä neulasten ja kasvualueen ravinnepitoisuuksissa ilmenevien muutosten avulla. Tavoitteena on määrittää lannoitusreaktion suuruus ja kesto aika ravinteisuukseltaan erilaisilla soilla ja selvittää lannoitusre-

aktioon vaikuttavia tekijöitä. Huomiota kiinnitetään lisäksi kaliumin merkitykseen jatkolannoitusvaiheessa ja lannoitusreaktion riippuvuuteen kasvualueen typpipitoisuudesta. Pääravinteiden (N,P,K) ohella selvitetään hivenravinteiden (B, Cu, Zn, Mn) vaikutusta puuston kasvuun ja ravinnepitoisuuksiin.

Tutkimukseen käytettyjen lannoituskokeiden kojärjestelyt ovat MML Kalevi Karsiston ja mti Jorma Issakaisen laatimia. Maastoaineiston keruuta johtivat Jorma Issakainen ja mtt Kauko Kylmänen. Aineiston käsittelyssä ja tilastollisissa analysoinnissa avustivat FM Ari Sarpola ja tutkimusavustaja Tuula Väärä. Muhoksen tutkimusosaston henkilökunnasta olivat työssä mukana myös Anna-Liisa Mertaniemi ja Timo Mikkonen (ravinneanalyysit), Tapani Orttenvuori (lustonmittaukset), Heikki Vesala (aineiston käsittely), Irene Murtovaara (kuvien piirtäminen) ja Merja Moilanen (tekstinkäsittely). Englanninkielisen käännöstyön teki MML John Derome. Kaikille edellä mainituille ja muille työn toteuttamisessa avustaneille esitän parhaat kiitokset. Erityisesti kiitän käsikirjoituksen lukijoita professori Seppo Kaunistoa ja LuK Heikki Veijalaista, jotka kommentoivat ja neuvoivat autoivat suuresti työn valmistumista sen loppuvaiheissa.

2 Aineiston yleisesittely

2.1 Tutkimusmetsiköt

Puustoa ja kasvualueen ominaisuuksia kuvaava maastoaineisto kerättiin lannoituskokeilta, joita Metsäntutkimuslaitos oli 1960- ja 1970-luvuilla runsaasti perustanut Oulun läänin. Selvitykseen valittavien kohteiden tuli täyttää seuraavat ehdot:

- puusto mäntyvaltaista, lannoitushetkellä vähintään riukuvaihetta
- ojaston kuivatusteho hyvä tai tyydyttävä
- lannoituskäsittelyinä nykysuosituksen mukaiset fosfori-kalium (PK)- ja typpi-fosfori-kalium (NPK) -vaihtoehdot

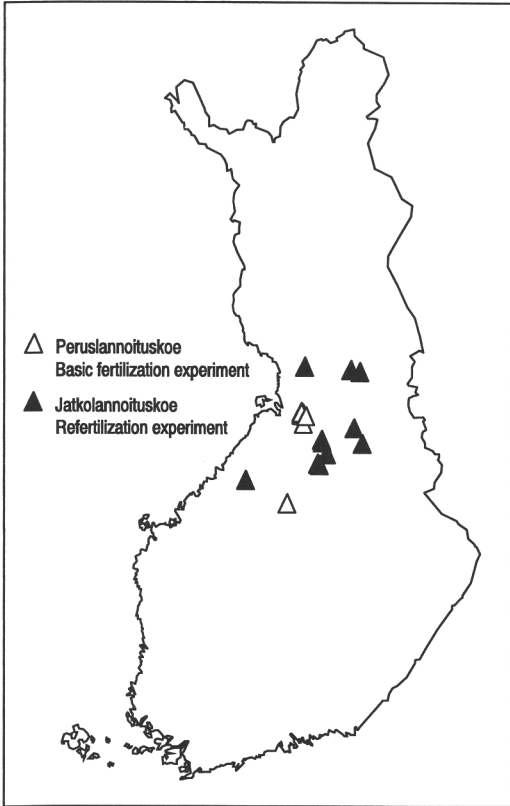
Valitut 28 lannoituskoetta sijaitsivat pääosin valtion (METLA, metsähallitus) mailla Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun metsälaulukuntien alueella (kuva 1). Kainuun kokeista osa oli yksityismaille. Kohteiden kasvupaikkatyyppivaihtelu kattoi alueen tupasvillainen-ruohoinen. Jatkolannoituskokeista valtaosa oli perustettu paksaturpeisille, viljaville soille.

Suurin osa tutkimuskohteista luokiteltiin erityyppiseksi nevarämemuuttumiksi. Muutama kohde oli ojitushet-

kellä ollut lähes puutonta nevaa. Lannoituskokeen perustamiseen liittyi yleensä ojaston kunnostus ja lievä puuston harvennuskäsittely. Puusto oli riuku- tai ensiharvennusvaiheen männikköä, jossa sekapuuna esiintyi vaihtelevasti hieskoivua.

Vanhimmat kokeet perustettiin 1960-luvun alussa ja nuorimmat 1970-luvun lopussa. Lannoituksen jälkeisen puustonmittausjakson pituus oli keskimäärin noin 10 vuotta. Tutkimusmetsiköiden pinta-ala vaihteli välillä 2–3 ha, koealako välillä 0,09–0,16 ha ja lannoituskäsittelyjen toistojen määrä välillä 2–9. Koejärjestelyt tehtiin arvotujen lohkojen periaatteita noudattaen eli lannoituskäsittelyt arvottiin puuston ja kasvualueen mukaan rajatuille lohkoille.

1960-luvun kokeilla fosforilannoitteina käytettiin raa-ka-, hieno- ja kotkafosfaattia ja kaliumlannoitteina kalisuolaa ja kaliumsulfaattia. Moniravinne-lannoitteista mukana oli Suo-Y-lannos. Suomensien PK-lannos, Urea ja Oulunsalpietari yleistyivät 1970-luvulla perustetuilla kokeilla. Osalla kokeista käytettiin jauhemaista ja osalla rakeistettua PK-lannosta, joka sisältää myös booria. Hivenlannoitteita olivat Kemira Oy:n hivenseos, lannoiteboratti, kuparisulfaatti ja mangaanosulfaatti.



Kuva 1. Kokeiden sijainti.
 Fig. 1. Location of the fertilization experiments.

2.2 Mittaukset ja aineiston käsittely

Puustoa ja kasvupaikkaa koskeva mittausaineisto kerättiin vuosina 1981–88. Puustomittauksen tavoitteena oli selvittää koaloittain puuston pituus- ja tilavuuskasvun kehitys lannoituksen jälkeen. Koalojen muoto oli neliö tai suorakaide ja ne rajattiin sarkaojien väliselle alueelle ojan keskeltä seuraavan ojan keskelle. Koepuut (20–35 kpl/koala) valittiin tasaisesti puuston eri kokoluokista suuria puita painottaen. Valinta tehtiin arpomalla tai nk. Kuposummainta (Laasasenaho 1974) käyttäen. Joillakin kohteilla koepuut valittiin oja vastaan poikittain asetuilta mittauskaistoilta tasavälein.

Koepuista mitattiin läpimitta ($d_{1,3}$ mm, $d_{6,0}$ cm), pituus (h dm), lannoituskauden pituuskasvu vuosijaksoittain (h_i dm) ja sädekasvun vuotuinen kehitys taannehtivasti lannoitusta edeltäneeseen (2–4 vuotta) aikaan. Sädekasvut määritettiin rinnankorkeudelta otetuista kairanlastuista lustomikroskoopilla 0,01 mm:n tarkkuudella. Puustotunnukset laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen KPL-peruslaskentaohjelmistolla (Heinonen 1981).

Kohteiden ravinnetilan selvittämiseksi otettiin lannoittamattomilta koaloilta turve- ja neulasnäytteet. Neulasnäytteet kerättiin myös lannoitetuilta koaloilta. Turvenäyte koostui koalan lävistäjiltä ja koalan keskipisteestä kerätyistä viidestä osanäytteestä. Näytteet otettiin suon tasapinnasta elävän sammalkerroksen alta kahdelta syvyydeltä (5–10 ja 20–25 cm). Neulasnäytteeseen tuli nuorimman vuosikerran neulasia kuudesta koalan vallitsevaan latvuserrokseen kuuluvasta puusta. Neulasotettiin talvikautena (joulou-maaliskuu) oksaleikkurilla tai hauhikolla latvuksen ylimmistä oksakiehkuroista puun eteläpuolelta. Turve- ja neulasnäytteet analysoitiin METLAN Muhoksen tutkimusaseman laboratorioissa yleisesti käytetyillä menetelmillä (Halonen ym. 1983). Kuivattujen (+70°C) ja jauhettujen turvenäytteiden pH ja sähkönjohtavuus määritettiin vesiuutteesta tilavuussuhteessa turve/vesi = 1/2,5. Turpeen ja neulasten N-pitoisuus määritettiin Kjeldahl-menetelmällä. Muut ravinteet määritettiin kuivapoltetuista näytteistä tuhkistuksen jälkeen suolahappoliuoksesta. P määritettiin vanadomolybdaattimenetelmällä, ja K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn sekä Cu AAS:illa. B määritettiin atsometiini-H-menetelmällä.

Lannoitusvaikutuksen merkitsevyyden testaus tehtiin BMDP- ja SAS-tilasto-ohjelmistojen yksi- ja kaksisuuntaisella varianssi- ja kovarianssianalyysillä. Puuston pituus-, läpimitta- ja tilavuuskasvureaktiota testattaessa kovariaattina oli lannoitusta edeltäneen kauden (2–4 vuotta) kasvu vastaavasta tunteksesta. Lannoituskäsittelyjen väliset vertailut tehtiin Tukeyn monivertailutestillä. Lannoitusreaktion riippuvuutta kasvupaikka- ja puustotekijöistä selvitettiin korrelaatio-, regressio- ja faktorianalyysillä. Korrelaatio-, regressio- ja pääkomponenttianalyysien avulla pyrittiin selvittämään puuston kasvuun ja lannoitusreaktioon vaikuttavia kasvupaikka- ja puustotekijöitä.

Kokeiden lannoitukset ja näin myös lannoitusvaikutukset ajoittuivat sääoloiltaan erilaisille kasvukausille. Sen vuoksi katsottiin perustelluksi laatia lannoittamattomien koalojen puustoille kasvuindeksit, joiden avulla aineistosta pyrittiin eliminomaan ilmastotekijöistä johtuva puuden luontainen kasvunvaihtelu. Lisäksi tutkittiin mahdollisuutta korjata puiden vuotuisia kasvuhavaintoja kasvukauden tai sen osien lämpösommalla.

Tutkimusmetsiköt ja usein myös ojitukset olivat iältään suhteellisen nuoria, minkä vuoksi puuston kasvu oli yleensä kohoava. Koepuuden läpimitan, pohjapinta-alan ja tilavuuden kasvut vuosilta 1966–83 käsiteltiin aikasarja-analyysillä (BMDP1t-ohjelma), mikä puhdisti aineistosta kasvun lineaarisen trendin. Kasvuindeksit saatiin laskemalla puhdistettujen kasvujen keskiarvo, asettamalla sen arvoksi 100 ja laskemalla kunkin vuoden kasvun suhde keskiarvoon (ks. Mikola 1950). Myöhemmissä analyyseissa käytettiin näin saatuja kasvujen indeksikorjattuja arvoja. Indeksien laskennassa käytettiin lannoittamattomien koalojen puustotietoja (111 koalaa, n. 2700 koepuuta).

Kasvukauden lämpimyden merkitystä puuston kasvuun selvitettiin samoin lannoittamattomien koealojen (kaikkiaan 186 kpl) avulla. Puuston pohjapinta-alan ja tilavuuden vuotuista kasvua verrattiin saman tai edellisten vuosien kasvukausien lämpösummaan. Lämpösummat saatiin kutakin tutkimuskohdetta lähinnä sijaitsevan Ilmatieteen laitoksen sääaseman (Kajaani, Nivala, Pudasjärvi) havaintoaineistoista (Kasvukauden ilmastotiedote...). Muhoksen aineiston osalta tarkastelu tehtiin Muhoksen Koivikon sääaseman lämpösummatietojen avulla. Mukaan otettiin vuosien 1970–79 kesä-, heinä- ja elokuun lämpösummat. Puuston kasvun ja kasvukauden

lämpösumman korrelaatiot osoittautuivat kuitenkin heikoksi, eikä lämpötunnuksia näin ollen käytetty aineiston myöhemmässä käsittelyssä.

Tutkimusmetsiköt jaettiin lähempää tarkastelua varten kahteen ryhmään, kerta- ja jatkolannoitettuihin. Molemmat ryhmät jaettiin edelleen kahteen osaan kasvupaikkatyypin (Huikari 1952) ja pintaturpeen typpitoisuuden perusteella. Ruohoisten ja suursaraisten soiden (= ”ruusasyypiset”) kasvualueissa oli tyypeä poikkeuksetta yli 2 %. Piensaraisten ja tupasvillaisten soiden (= ”niukkatyypiset”) kasvualueiden typpitoisuus jäi selvästi mainitun rajan alapuolelle (liite 1).

3 Puuston ravinnetalous ja kasvu

3.1 Kertalannoituskokeiden aineisto ja tulokset

3.1.1 Niukkatyypiset ohutturpeiset rämeet

PK- ja NPK-käsittelyjen vaikutusta nuoren kasvatusmetsikön kehitykseen tutkittiin kuudella METLAn Muhoksen tutkimusalueen kertalannoituskokeella (taulukko 1). Kohteet oli yleensä ojitettu jo 1930-luvulla, ja ojastoja täydennettiin kokeita perustettaessa. Myös puuston käsittely — yleensä lievä harvennushakkuu — tehtiin vuosi tai kaksi ennen lannoitusta. Kohteet luokitettiin puolukkaturvekankaiksi, osin sararäme- tai kangsarämemuuttumiksi. Puusto oli lannoitushetkellä ensiharvennusvaiheessa. Kaikki kohteet olivat ohutturpeisiä. Lannoitteita käytettiin likimain nykyisten lannoitussuosituksen mukaisesti lukuunottamatta Oksansuon koetta nro 185 (taulukko 2). Puustomittaukset tehtiin 6–9 kasvu-

kauden kuluttua lannoituksesta. Kahden kokeen puusto mitattiin uudestaan, kun lannoituksesta oli kulunut 12–14 vuotta.

Puuston tilavuuskasvu oli lannoitushetkellä 2,2–3,7 m³/ha/v kokeesta riippuen. Kaikilla kokeilla todettiin samantyyppinen lannoitusreaktio: NPK-käsittely lisäsi puuston kasvua selvästi enemmän kuin PK-käsittely (kuva 2). Lannoitusvaikutuksen pääteltiin olleen suurelta osin seurausta tyyppien käytöstä. Lannoitusta seuranneiden 7 vuoden aikana PK-lannoituksen aiheuttama puuston vuotuinen kasvunlisäys lannoittamattomaan (2,6 m³/ha/v) verrattuna oli keskimäärin 0,2–0,3 m³/ha (8–13 %:n lisäys). NPK-lannoituksella saatiin vastaavasti 0,7–0,9 m³/ha/v (26–33 %:n lisäys). Tyyppien vaikutus ilmeni voimakkaimmillaan 3–5 vuoden kuluttua lannoituksesta ja päättyi yleensä alle 10 vuoden kuluessa. PK-käsittelyn vaikutus oli aluksi hyvin vähäinen, mutta näytti hiukan voimistuvan ajan myötä.

Taulukko 1. Karuhkojen ohutturpeisten rämekokeiden yleistiedot perustamisvuonna (katso myös taulukko 2).

Table 1. General information about the experiments on relatively infertile, thin-peat pine swamps at the time the experiments were established (see Table 2).

Numero N:o	Sijainti Location	Suotyyppi ¹⁾ Mire site type ¹⁾	Ojitusvuosi Ditching year	Turve Peat thickness cm	Puustotunnukset — Stand characteristics		
					Puulajisuhteet mä/hiko Tree species composition pine/birch	Valtapiuus Dominant height m	Tilavuus Volume m ³ ha ⁻¹
7/71	Rakka	Ptkg	1935,1971	20	10/0	8	32
3/77	Rakka	Ptkg	1972	20	10/0	14	70
174	Oksansuo	Ptkg	1932,1976	30	9/1	12	97
183	Jylkky	Ptkg-VSRmu	1930,1976	25	9/1	14	102
185	Oksansuo	VSRmu	1932,1975	35	9/1	10	44
186	Itkusuo	KgRmu	1930,1977	20	9/1	10	37

¹⁾ Ks. Heikurainen & Pakarinen (1983) — See Heikurainen & Pakarinen (1983).

Taulukko 2. Karuhkojen ohutturpeisten rämeiden lannoituskäsittelyt ja -ajankohta sekä käytetyt ravinnemäärät. Käsittelyt: 0, PK, NPK.

Table 2. The fertilization treatments, application times and amount of nutrients applied in the experiments on relatively infertile, thin-peat pine swamps. The treatments: 0, PK, NPK.

Koe Experiment	Ajankohta Time	Toistoja Replications	Ravinnemäärät, kg ha ⁻¹ Nutrient amounts		
			N	P	K
Rakka 7/71	Spring 1971	3	98	42	50
Rakka 3/77	22.7.1977	2	93	35	66
Oksansuo 174	11.6.1976	4	93	35	66
Jylkky 183	27.5.1977	2	93	35	66
Oksansuo 185	1.6.1977	4	93	57	220
Itkusuo 186	29.6.1977	3	93	35	66

Lannoitteet:

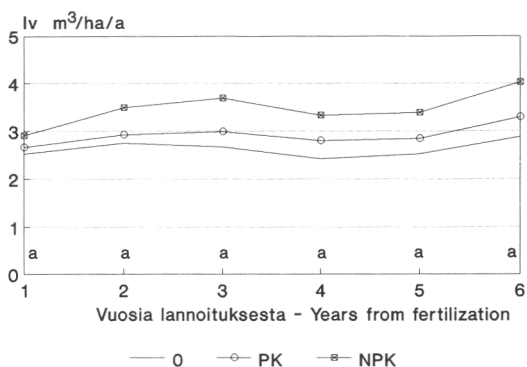
— jauheinen Suometsien PK-lannos (10,5 % P, 12,5 % K) paitsi Rakka 7/71, jolla PK-lannoksen ravinnesuhteet 8,7 % P, 16,6 % K

— Urea (46,3 % N).

Fertilizers:

— powdered PK-fertilizer for peatlands (10.5 % P, 12.5 % K) except Rakka 7/71, where the nutrient composition 8.7 % P, 16.6 % K

— Urea (46.3 % N).



Kuva 2. Puuston tilavuuskasvu niukkatyppisillä rämeillä lannoituksen jälkeen. Kokeet yhdistetty. a = merkitseviä eroja käsittelyjen välillä ao. vuonna.

Fig. 2. Stand volume growth on the nitrogen-poor, thin-peat pine swamps after fertilization. Mean of experiments. a = statistically significant difference between the treatments in the year in question.

7–9 vuoden kuluttua lannoituksesta tehtyjen neulasanalyysien perusteella lannoittamaton puusto kärsi paikoin ankarasta typen ja fosforin puutosta (liite 2). Myös pintaturpeen verraten alhainen typpipitoisuus (1,33–1,75 %) osoitti kohteiden olevan karuhkoja (liite 1). Neulasten typpipitoisuus vaihteli välillä 1,07–1,26 % ja fosforipitoisuus välillä 1,20–1,51 mg/g. Puiden kaliumtalous oli yleensä tyydyttävä (3,76–4,95 mg/g). Lannoituksen vaikutus näkyi neulasten lievästi kohonneina fosfori- ja kaliumpitoisuuksina (liite 2). Itkusuoan kokeella 186 kaliumpitoisuus oli kohonnut merkitsevästi. Neulasten typpi-

pitoisuuksissa ei todettu käsittelyistä johtuvia eroja. Lannoitetuilla koaloilla puuston ravinnetilä oli muiden ravinteiden paitsi typen ja fosforin osalta hyvä.

3.1.2 Runsastyyppiset paksuturpeiset rämeet

Aineisto kerättiin viideltä paksuturpeiselta nevarämeeltä, joista neljä sijaitsi METLAN Muhoksen tutkimusalueella ja yksi metsähallituksen Keski-Pohjan hoitoalueella Pyhäjärvellä. Kohteet olivat suursara-ruohotason rämeitä, osin nevaisia (taulukko 3). Muhoksen Karhunmaa ojitettiin vajaa kymmenen vuotta ennen lannoitusta. Muhoksen Oisavalla ja Jylkyssä oli nähtävissä ympäristössä aiemmin tehtyjen kuivatusten vaikutusta. Varsinainen ojitus tai sen tehostaminen ajoittui kokeiden perustamisen yhteyteen. Puuston valtapituus oli lannoitushetkellä 4–8 m. Muhoksen Jylkyä ja Pyhäjärven Parkunsuota lukuunottamatta tutkimusmetsiköiden puustoa perattiin tai harvennettiin ennen lannoitusta. Parkunsuon ojitusalueella koejärjestelyssä oli mukana myös kuivatustehon vaihtelu (sarkaleveydet 10, 20 ja 40 m).

Lannoituskäsittelyt arvottiin lohkoittain ja toistoja tuli kokeesta riippuen 2–12 kpl (taulukko 4). Typen käyttömäärä vastasi käytännön lannoitus-suositusta, mutta fosforia ja kaliumia käytettiin hiukan vähemmän. Muhoksen Lääväsuolla tehtiin uusintalannoitus samoilla käsittelyillä jo kolmen vuoden kuluttua kokeen perustamisesta.

Tutkimusmetsiköiden lisääntyvä kasvu tutki-

Taulukko 3. Yleistietoja runsastyyppisten soiden kertalannoituskohteista kokeiden perustamisvuodelta (ks. taulukko 4).
Table 3. General information about the single fertilization experiments on nitrogen-rich peatlands at the time the experiments were established (see Table 4).

Numero N:o	Sijainti Location	Suotyyppi ¹⁾ Mire site type ¹⁾	Ojitusvuosi Ditching year	Turve Peat thickness cm	Puustotunnukset Puulajisuhteet mä/hiko Tree species com- position pine/birch	Stand characteristics	
						Valtapiisuus Dominant height m	Tilavuus Volume m ³ ha ⁻¹
203	Oisava	VSR-RhSRmu	1977	150+	9/1	8	38
213	Jylkky	VSR-VSNmu	1939,1976	90	10/0	7	ei tietoa — n.d.
1	Karhunmaa	RhSRmu-Mtkg	1967	75	10/0	6	8
1/76	Lääväsuu	VSRmu-Ptkg	1976	100	10/0	7	28
1/74	Parkunsuo	LkR-VSR	1972	150+	9/1	5	17

¹⁾ Ks. Heikurainen & Pakarinen (1983) — See Heikurainen & Pakarinen (1983).

Taulukko 4. Runsastyyppisten soiden kertalannoituskohteiden lannoituskäsittelyt ja -ajankohta sekä puuston saamat pääravinnemäärät. Käsittelyt: 0, PK, NPK.

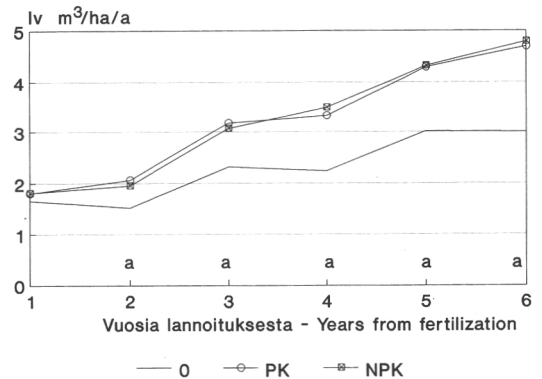
Table 4. The fertilization treatments, application times and amount of macronutrients applied in the single fertilization experiments on nitrogen-rich peatlands. The treatments: 0, PK, NPK.

Koe Experiment	Ajankohta Time	Toistoja Replications	Ravinnemäärät, kg ha ⁻¹ Nutrient amounts		
			N	P	K
Muhos 203	5.6.1978 1)	8	93	35	66
Muhos 213	21.5.1979 1)	2	139	33	62
Muhos, Karhunmaa	23.5.1978 2)	5	93	44	83
Muhos, Lääväsuu	28.4.1976 3)	5-7	93	20	32
— uusintalannoitus 1979					
Pyhäjärvi, Parkunsuo	Spring 1974	8-12	46/92	21/42	25/50

Lannoitteet — Fertilizers: 1) rakeinen Suometsien PK-lannos — granular PK fertilizer for peatlands (8,7 % P, 16,6 % K, 0,2 % B) Muhos 203, Muhos 213, Muhos Karhunmaa, 2) rakeinen Suometsien PK-lannos — granular PK fertilizer for peatlands (10,0 % P, 15,8 % K) Muhos Lääväsuu, 3) jauheinen Suometsien PK-lannos — powdered PK fertilizer for peatlands (10,5 % P, 12,5 % K) Pyhäjärvi Parkunsuo, 4) Urea (46,3 % N)

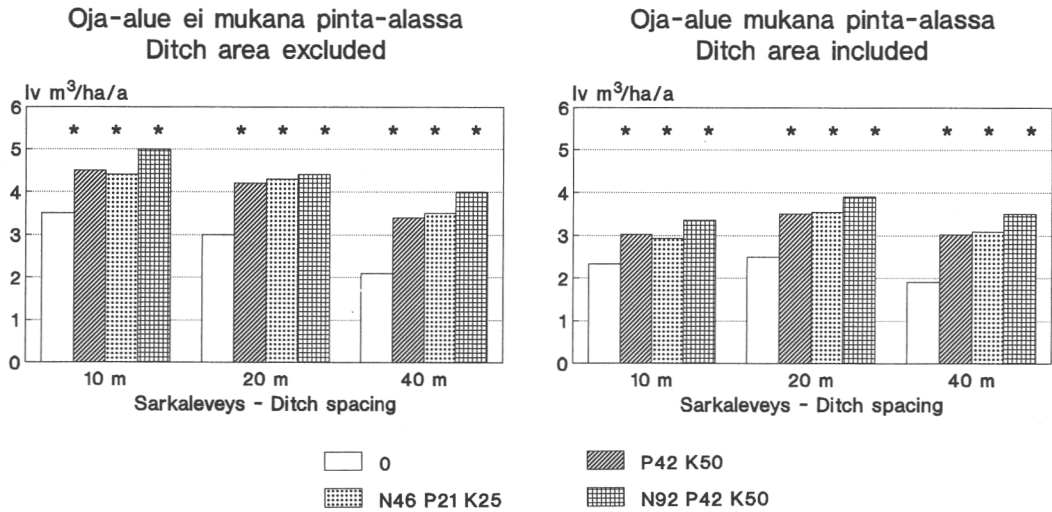
muskaudella johtui osittain niiden kehitysvaiheesta. Ojitusten voi katsoa parantaneen puuston kasvua. Runkopuun vuotuinen tuotos oli lannoitushetkellä keskimäärin 1,96 m³/ha ja mittaushetkellä vastaavasti 4,10 m³/ha. Sekä PK- että NPK-lannoitus lisäsivät voimakkaasti puuston kasvua (kuva 3). Vaikutus ei osoittanut heikkenemisen merkkejä mittaushetkellä 7-12 kasvukauden kuluttua lannoituksesta, vaan pikemminkin voimistui koko tutkimusjakson ajan. Lannoitusta seuranneen 6 vuoden aikana saatiin PK-käsittelyllä lannoittamattomaan (2,52 m³/ha/v) verrattuna kasvunlisäystä keskimäärin 1,25 m³/ha (49,6 %:n lisäys) ja NPK-käsittelyllä 1,46 m³/ha (57,9 %:n lisäys).

Pyhäjärven Parkunsuolla ojitus tehtiin vaihtelevaa sarkaleveyttä käyttäen. Kuivatuksen tehokkuus vaikutti puuston kehitykseen. Puut kasvoivat 10 ja 20 metrin levyisillä saroilla merkittävästi paremmin kuin 40 metrin saroilla (kuva 4). Kun oja-aukkojen pinta-ala otettiin huomioon,



Kuva 3. Puuston tilavuuskasvu runsastyyppisillä rämeillä. Kokeet yhdistetty. a = merkitseviä eroja käsittelyjen välillä ao. vuonna.

Fig. 3. Stand volume growth on the nitrogen-rich pine swamps. Mean of the experiments. a = statistically significant differences between the treatments in the year in question.



Kuva 4. Puuston vuotuinen tilavuuskasvu sarkaleveysittain Pyhäjärven Parkunsuolla vuosina 1974–86.
 Fig. 4. Annual volume growth of the stand by ditch spacings at Parkunsuo, Pyhäjärvi, in 1974–86.

erot sarkaleveyksien välillä kuitenkin tasaantuvat eivätkä enää olleet merkitseviä.

Ravinneanalyytit osoittivat tutkimuskohteet runsastyyppisiksi. Turpeen (5–10 cm:n syvyys) tyyppipitoisuus vaihteli välillä 2,06–2,65 % (liite 1). Neulasanalyyysin perusteella puusto kärsi kaliumin ja etenkin fosforin puutosta (liite 3), mikä selittää fosforin ja kaliumin lisäyksestä aiheutuneen voimakkaan puuston kasvureaktion. Puuston booritalous oli yleensä kunnossa. Muhoksen Oisavalta ja Jylkystä 5–6 vuotta ja Pyhäjärven Parkunsuolta 12 vuotta lannoituksesta tehtyjen neulasanalyyysin mukaan pääravinnekäsitellyt kohottivat merkitsevästi neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuutta (liite 3). Neulasten booriarvot kohosivat booria sisältävän rakeisen PK-lannoksen käytön seurauksena. Typpi-, mangaani-, sinkki-, kupari- ja booriarvot vastaavasti yleensä alentuivat.

3.2 Jatkolannoituskokeiden aineisto ja tulokset

3.2.1 Niukkatyyppiset rämeet

Jatkolannoituksen vaikutusta rämemännikön kasvuun selvitetiin 6 kohteessa, joista yksi sijaitsi metsähallituksen Pudasjärven hoitoalueessa Puhoskylän Partasuolla ja muut Kainuun yksityismailla Vaalassa, Puolangalla, Paltamossa ja Vuolijoen (taulukko 5). Tutkimusmetsiköt sijaitsi-

vat karuhkoilla tupasvilla-piensaratason rämeojikoilla ja -muuttumilla. Jatkolannoitushetkellä puusto oli ehtinyt riuku- tai ensiharvennusvaiheeseen.

Pudasjärvellä kyseessä oli 1960-luvun alkupuolella PK-peruslannoituksen saaneen rämemännikön jatkolannoitus (taulukko 6). Peruslannoituksessa ojitusalue oli käsitelty kauttaaltaan, ts. lannoittamattomia vertailualueja ei ollut käytettävissä. Kainuun kokeilla toukokuussa 1962 tehdyssä peruslannoituksessa vertailualueet sen sijaan jätettiin.

Typen käyttö jatkolannoituksissa vuosina 1973 (Vaala, Vuolijoki, Paltamo, Puolanka) ja 1972 (Pudasjärvi) lisäsi tuntuvasti puuston vuotuista tilavuuskasvua vertailu- tai jatkolannoittamattomien koalojen puuston kasvuun nähden (kuva 5). Kainuun aineistossa typpieffekti oli merkitsevä vuosina 1975–80 ja parhaimmillaan suuruusluokkaa 1–1,5 m³/ha/v. Perus- ja jatkolannoituksen välillä ei ollut merkitsevää yhdysvaikutusta. Alkuaan lannoittamatta jääneillä koaloilla typpikäsittelyn vaikutus 12 vuoden aikana oli n. 0,5 m³/ha/v ja jäi selvästi pienemmäksi kuin NPK-peruslannoitetuilla koaloilla, joilla puuston kasvunlisäys oli vastaavasti n. 0,7–1,0 m³/ha/v. Jatkolannoituksessa lisätyn typen ansiosta puut ilmeisesti kykenivät vielä jatkolannoituskaudella hyödyntämään peruslannoituksessa annettua fosforia, mahdollisesti myös kaliumia.

Typeä sisältäneet jatkokäsitellyt yleensä lisäsivät puuston kasvu Pudasjärvellä. Oulunsal-

Taulukko 5. Perustietoja niukatyyppisten rämeiden jatkolannoituskohteista vuodelta 1985.
Table 5. Basic information about the refertilization experiments on nitrogen-poor pine swamps in 1985.

Koe Experiment	Suotyyppi ¹⁾ Mire site type ¹⁾	Ojitusvuosi Ditching year	Turve Peat thickness cm	Puustotunnukset — Stand characteristics		
				Puulajisuhteet mä/hiko Tree species com- position pine/birch	Valtapituus Dominant height m	Tilavuus Volume m ³ ha ⁻¹
Vaala I	PsRmu	1960	20	9/0	8	52
Vaala II	RamTRmu	1960,1973	100+	10/0	9	51
Puolanka	TR-PsRmu	1960,1974	100+	9/1	10	46
Paltamo	TRmu	1960	60	10/0	9	67
Vuolijoki	KgRmu	1960	10	10/0	12	97
Pudasjärvi,	TR-VSRmu	1930,1960	100+	9/0	9	40

¹⁾ Ks. Heikurainen & Pakarinen (1983) — See Heikurainen & Pakarinen (1983).

Taulukko 6. Perus- ja jatkokäsittelyt niukatyyppisten rämeiden kokeissa. Käsittelyt toistettu 2–4 kertaa.
Table 6. The basic fertilization and refertilization treatments in the experiments on nitrogen-poor pine swamps.
Treatments have 2–4 replications.

Koe Experiment	Ajankohta Time	Ravinneyhdistelmä Nutrient combination	Ravinmäärä — Nutrient amount kg ha ⁻¹			Lannoitteet ¹⁾ Fertilizers ¹⁾
			N	P	K	
Peruslannoitus — Basic fertilization						
Kainuu ²⁾	1962	0/NPK1/NPK2	64/128	35/70	26/52	NPK1
Pudasjärvi	1962,1964	PK	—	86	84–100	Hf,K1,K2
Jatkolannoitus — Refertilization						
Kainuu ²⁾	1973	0/N	104	—	—	Os
Pudasjärvi	1972	0/N/P/K PK/NK/NPK	50–150	11–44	18–62	Os,K2,Rf, PK1, NPK2

Lannoitteet — Fertilizers:

¹⁾ NPK1 = Suometsien Y-lannos — NPK-fertilizer for peatlands (16 % N, 8,7 % P, 6,7 % K), Hf = hienofosfaatti — fine-ground rock phosphate (14,4 % P), K1 = kaliumsulfatti — potassium sulphate (42 % K), K2 = kalisuola — potassium chloride (50 % K), Os = Oulunsalpietari — ammonium nitrate with lime (26 % N), Rf = raakafosfaatti — rock phosphate (14,4 % P), PK1 = jauheinen Suometsien PK-lannos — powdered PK fertilizer for peatlands (10,5 % P, 12,5 % K), NPK2 = Typpirikas Super-Y-lannos — NPK fertilizer (20 % N, 4,4 % P, 8,3 % K)

²⁾ Vaala, Puolanka, Paltamo, Vuolijoki (ks. taulukko 5 — see Table 5).

pietari aiheutti lähes yhtä suuren kasvureaktion kuin Y-lannos. Typen vaikutus näkyi 8–9 vuoden ajan. Raakafosfaatin, kalisuolan tai PK-lannoksen vaikutusta puuston kasvuun ei voitu todeta.

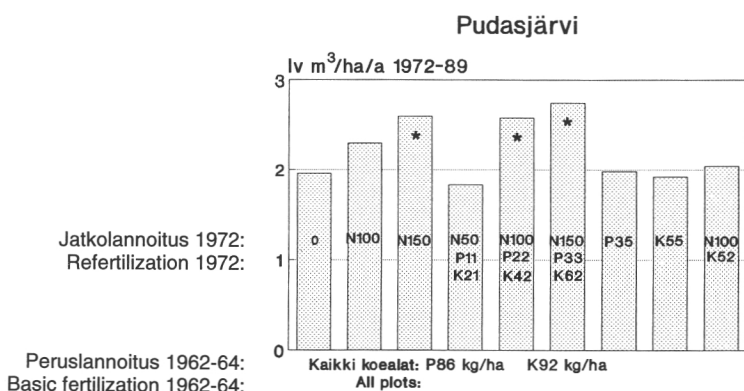
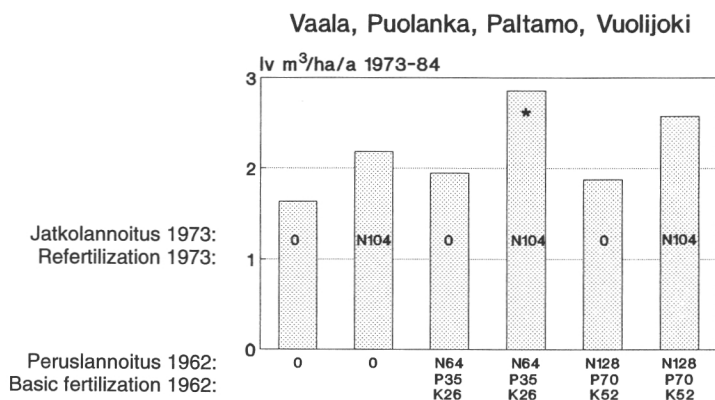
Vuonna 1986 tehtyjen turve- ja neulasanalyysien mukaan kohteet osoittautuivat niukatyyppisiksi. Pintaturpeen N-pitoisuus vaihteli välillä 1,04–1,89 % (liite 1) ja neulasten N-pitoisuus välillä 1,01–1,28 %. Vaalan kokeessa II sekä turpeen (N 2,64 %) että neulasten (N 1,47 %) tyyppiä olivat poikkeuksellisen korkeita suotyyppiin (rahkamättäinen tupasvillaräme) nähden. Ilmeistä on, että puiden juuristo pystyi tutkimuskauden loppuvaiheissa hyödyntämään syvemmällä olevaa runsastyyppisen turpeen ravinvaroja.

Lukuunottamatta Puolangan koetta myös fosforin puute oli neulasanalyysin mukaan selvä kaikilla kohteilla. Kaliumin puutos ilmeni voimakkaana ainoastaan Vaalan kokeella II, jossa neulasten kaliumpitoisuus jäi puuterajalle 3,5 mg/g (Paarlahti ym. 1971). Partasuolla männynneulasten fosfori- ja kaliumpitoisuuksissa näkyi mahdollisesti 1960-luvun alun peruslannoituksen vaikutus.

3.2.2 Runsastyyppiset rämeet ja entiset nevat

3.2.2.1 Jatkolannoituskokeet vuosilta 1974–75

Syksyllä 1974 ja keväällä -75 perustetuista seitsemästä jatkolannoituskokeesta tarkastellaan tässä



Kuva 5. Puuston kasvu niukatyyppisillä rämeillä perus- ja jatkolannoituksen jälkeen. * = ero lannoittamattomaan merkitsevä.

Fig. 5. Stand growth after basic fertilization and refertilization on the nitrogen-poor pine swamps. 1973. * = statistically significant difference compared to the unfertilized plots.

lähemmin kolmea: Sievin Nevajärveä, Pyhännän Köhisevää ja Yli-Iin Sammakkosuota (taulukko 7). Alustavat tulokset koko koesarjasta on julkaistu aiemmin (Moilanen 1982, 1984).

Sievin Nevajärvi ja Yli-Iin Sammakkosuota olivat entisiä nevoja, jotka metsitettiin männynkylvöllä (Nevajärvi vuonna 1926 ja Sammakkosuota vuonna 1942). Pyhännän Köhisevä oli rämettä. Kasvu- paikkatyyppi vaihteli suursaraisen ja ruohoisen välillä. Köhisevän alueesta osa oli piensaraista. Ojituskohteet olivat jääneet kuivumissuknessa muuttumavaiheeseen ojaverkoston harvuuden ja nevaisen alkuperänsä vuoksi.

Tutkimusalueiden puusto oli jatkolannoitettaessa riuku- tai ensiharvennusvaiheen männikköä. Sekapuuna — 10–20 % tilavuudesta — esiintyi hieskoivua. Kaikilla kohteilla turvetta oli yli

metrin kerros. Jatkolannoittamattomilta koelaita tehty turveanalyysi osoitti kasvualustan sisältävän niukasti fosforia ja kaliumia (liite 1). Typpipitoisuus 5–10 cm:n pintakerroksessa oli kokeesta riippuen 1,84–2,38 %. Jatkolannoitushetkellä puuston valtapituus oli 3–7 m ja tilavuus 10–30 m³/ha.

1960-luvun alun peruslannoituksissa käytettiin hienofosfaattia ja kalisulua tai kaliumsulfaattia (taulukko 8). Fosfori- ja kaliummäärät olivat nykysuosituksia ja jatkolannoituksissa käytettyjä suurempia. Lannoittamattomaa vertailuallueta jätettiin vain Sievin Nevajärvelle.

Jatkokäsittelyjen tarkoituksena oli selvittää puuston pääravinnetilannetta 10–14 vuotta PK-peruslannoituksen jälkeen (taulukko 9). Lannoitteina käytettiin Suometsien PK-lannosta, kali-

Taulukko 7. Sievin, Pyhännän ja Yli-Iin jatkolannoituskokeiden kasvupaikka- ja puustotiedot vuonna 1975.

Table 7. Site and stand information for the refertilization experiments at Sievi, Pyhäntä and Yli-Ii in 1975.

Koe Experiment	Suotyyppi ¹⁾ Mire site type ¹⁾	Ojitusvuosi Ditching year	Puustotunnukset — Stand characteristics		
			Turve Peat thickness cm	Puulajisuhteet mä/hiko Tree species com- position pine/birch	Valtapiisuus Dominant height m
Sievi	VSN-RhSNmu	1920,1963	100+	8/2	3-7
Pyhäntä	VSRmu	1960	100+	9/1	7-8
Yli-Ii	VSN-RhSN	1928,1954,1965	100+	9/1	5-6

¹⁾ Ks Heikurainen & Pakarinen (1983) — See Heikurainen & Pakarinen (1983).

Taulukko 8. Peruskäsittelyt runsastyyppisten soiden kokeissa Sievissä, Pyhännällä ja Yli-Iissä.

Table 8. The basic treatments in the experiments established on nitrogen-rich peatlands at Sievi, Pyhäntä and Yli-Ii.

Koe Experiment	Ajankohta Time	Ravinneyhdistelmä Nutrient combination	Ravinmäärä — Nutrient amount kg ha ⁻¹		Lannoitteet ¹⁾ Fertilizers ¹⁾
			P	K	
Sievi	1965	0/PK	70-98	42-166	Hf,K1
Pyhäntä	1964	PK	86	75	Hf,K2
Yli-Ii	1961	PK	86	83	Hf,K2

¹⁾ Hf = hienofosfaatti — fine-ground rock phosphate (14,4 % P), K1 = kalisuola — potassium chloride (50 % K), K2 = kaliumsulfaatti — potassium sulphate (42 % K)

Taulukko 9. Sievin, Pyhännän ja Yli-Iin jatkolannoitus-
käsittelyt vuosina 1974-75. Käsittelyt toistettu Sie-
vissä 5 ja muissa kohteissa 2 kertaa.

Table 9. The refertilization treatments in the Sievi, Py-
häntä and Yli-Ii experiments in 1974-75. The treat-
ments at Sievi have 5 replications, and at the other
sites 2.

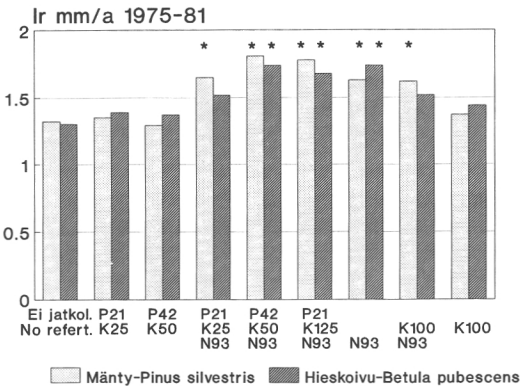
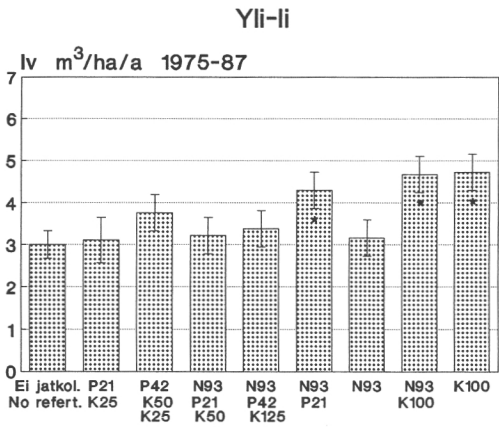
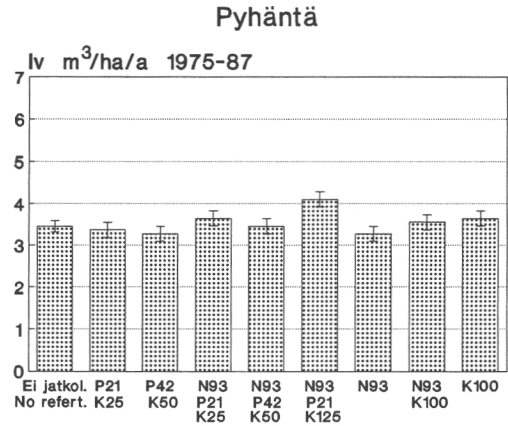
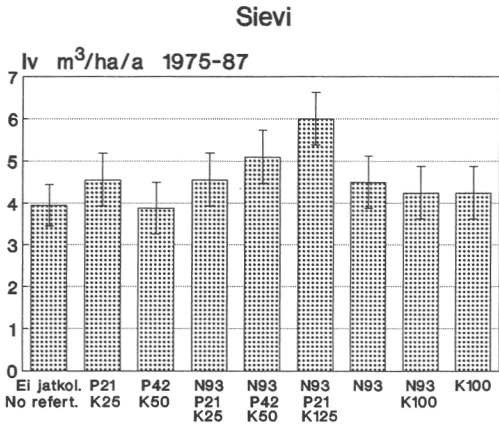
Käsittely ¹⁾ Treatment ¹⁾	Ravinnetta, kg ha ⁻¹ Nutrient amount		
	N	P	K
0	—	—	—
PK200	—	21	25
PK400	—	42	50
PK200 + U200	93	21	25
PK400 + U200	93	42	50
U200	93	—	—
Ks200	—	—	100
U200 + Ks200	93	—	100
PK200 + U200 + Ks200	93	21	125

¹⁾ PK = jauheinen Suometsien PK-lannos — powdered PK fertilizer
for peatlands (10,5 % P, 12,5 % K), U = Urea (46,3 % N),
Ks = kalisuola — potassium chloride (50 % K)

suolaa ja ureaa. Samalla tavoin käsiteltiin myös Sievin Nevajärven vuonna 1965 lannoittamatta jätetty osa. Osalla Nevajärven koetta tehtiin kaksi vuotta pääravinnejatkolannoituksen jälkeen hivenlannoituskäsittely koelajien puolikkaille (lannoiteboraattia 10 kg/ha, kuparisulfaattia 10 kg/ha ja mangaanosulfaattia 30 kg/ha).

Vertailuna vuoden 1975 jatkolannoitukselle Sievissä käytettiin samana vuonna tehtyä peruslannoitusta. Perus- ja jatkolannoitettu alue rajoituivat välittömästi toisiinsa. Lähtökohtana oli oletus, että vuosien 1965 ja 1975 peruslannoitukset ovat tuottaneet samanlaisen tuloksen. Useista epävarmuustekijöistä (puuston ikäero, ojien kunnon muuttuminen jne.) vertailun tulosta on kuitenkin pidettävä vain suuntaa-antavana. Pyhännällä ja Yli-Iissä peruslannoituksen vaikutusta ei voitu arvioida vertailualojen puuttumisen vuoksi.

Jatkolannoituksen vaikutus puustoon oli suhteellisen heikko. PK- käsittelyt eivät lisänneet puuston kasvua juuri lainkaan (kuva 6). Selvästi havaittava reaktio ilmeni vain NPK-käsittelyjen jälkeen Sievissä. Lisäksi alkuaan puuttomalla Yli-Iin kokeella vähintään 100 kg/ha kaliumia sisäl-



Kuva 7. Männyn ja hieskoivun sädekasvu Sievin Neva-järven jatkolannoituskokeella, sarat 16-17. * = ero lannoittamattomaan merkitsevä.

Fig. 7. Scots pine and Betula pubescens radial growth in the refertilization experiment at Neva-järvi, Sievi, strips 16-17. * = statistically significant difference compared to the unfertilized plots.

Kuva 6. Puuston tilavuuskasvu runsastyyppisillä nevarämeillä jatkolannoituksen jälkeen. PK-peruslannoitus vuosina 1961-65, jatkolannoitus vuonna 1975. Pylväiden jana osoittaa keskiarvon keskivirheen suuruuden.

Fig. 6. Stand volume growth in the refertilization experiments on the nitrogen-rich pine swamps. Basic PK fertilization in 1961-65, refertilization in 1975. The line on the columns indicates the standard error of the mean.

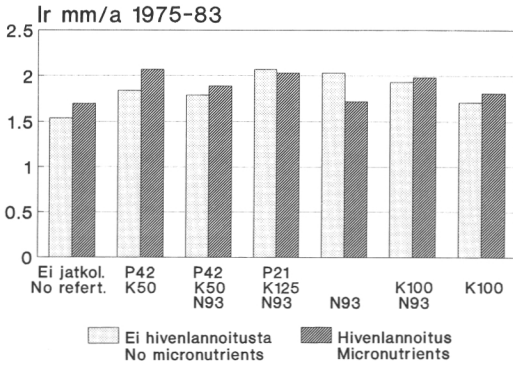
täneet käsitellyt paransivat puiden kasvua voimakkaasti. Pyhäntällä puuston kasvunmuutokset olivat hyvin vähäisiä.

Puulajeittaista jatkolannoitusvaikutusta tarkasteltiin Sievin kokeen sekametsikköosalla, jossa koepuiksi oli valittu samaa kokoluokkaa (läpimitta 7-10 cm) olevia mäntyjä ja hieskoivuja. Hieskoivun osuus puuston tilavuudesta oli 10-40%. Puulajit reagoivat lannoitukseen samalla tavoin: koepuiden sädekasvu lisääntyi tyypeä sisältävien lannoituskäsitelyjen jälkeen merkitsevästi (kuva 7).

Sievin tutkimusalueella selvitettiin pääravinteiden ohella annettujen boorin, kuparin ja mangaanin vaikutusta puiden ravinnetilaan. Käytävissä oli tieto koepuiden sädekasvun kehitymisestä vuosina 1975-83. Pääravinnejatkolannoitus lisäsi puiden kasvua (kuva 8). Hivenravinteiden vaikutus ei ollut merkitsevä, joskin hivenlannoitetut puut kasvoivat keskimäärin hii-

kan hivenlannoittamattomia paremmin.

Jatkolannoituksen vaikutus puuston kasvuun Sievissä jäi selvästi peruslannoitusvaikutusta pienemmäksi (kuva 9). Selvimmin puusto reagoi peruslannoituksessa PK-käsittelyn suurempaan käyttötasoon, joka yli kaksinkertaisti kasvun lan-



Kuva 8. Koepuiden sädekasvu pää- ja hivenravinnejatkolannoituksen jälkeen Sievin Nevajärvellä, sarat 14–15. PK-peruslannoitus vuonna 1965, jatkolannoitukset vuonna 1975. Hivenkäsittely: lannoiteboraatti 10 kg/ha (B 14 %), kuparisulfaatti 10 kg/ha (Cu 25 %) ja mangaanosulfaatti 30 kg/ha (Mn 26 %).

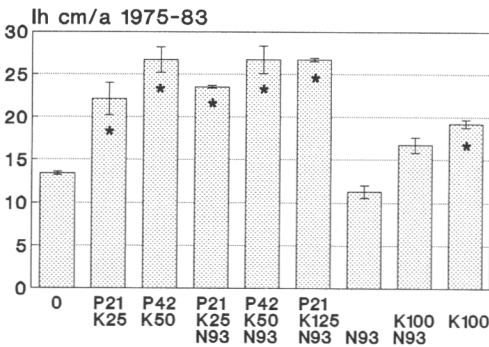
Fig. 8. Radial growth of the sample trees after refertilization with macro- and micronutrients at Nevajärvi, Sievi, strips 14–15. Basic PK fertilization in 1965, refertilization in 1975. Micronutrient fertilization: fertilizer borate 10 kg/ha (B 14%), copper sulphate 10 kg/ha (Cu 25 %) and manganese sulphate 30 kg/ha (Mn 26%).

noitusta seuranneen 9 vuoden aikana. Fosforin voitiin päätellä olleen puuston kasvua eniten rajoittava ravinne. Peruslannoitus ilmeisesti vaikutti puiden ravinnetilaan vielä jatkolannoituskaudella.

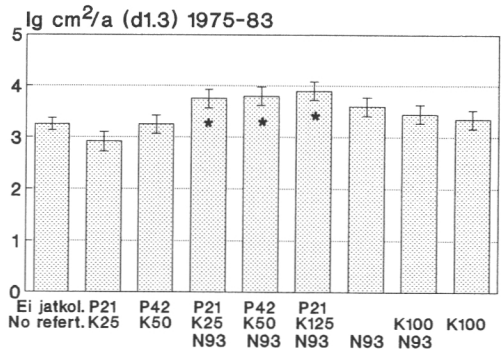
8–9 ja 13 vuotta jatkolannoituksen jälkeen tehtyjen neulasanalyyysien mukaan jatkolannoittamattomilla puilla esiintyi kaliumin puutosta, joka oli osin ankaraa (kuva 10). Analyysiajankohdasta riippuen neulasten kaliumpitoisuus oli Sievissä 3,01–4,25 mg/g, Pyhännällä 3,86–4,04 mg/g ja Yli-Iissä 3,00–3,24 mg/g. Peruslannoituksesta oli tuolloin kulunut 19–28 vuotta. Puiden fosforitila todettiin yleensä hyväksi: pitoisuus neulasissa vaihteli välillä 1,63–2,04 mg/g. Kohtalaisen korkea fosforipitoisuus lienee ollut seurausta 1960-luvun alun hienofosfaattikäsittelyistä. Kohteet poikkesivat typpitaloudeltaan toisistaan. Sievissä puiden typpitila oli neulasanalyyysin mukaan hyvä (pitoisuus 1,32–1,42 %). Pyhännällä ja Yllättäen myös Yli-Iissä puut kärsivät lievästä typen puutoksesta (pitoisuus 1,15–1,28 %). Kasvualustan typpipitoisuus oli kaikissa kohteissa korkea (liite 1). Neulasten booriarvot liikkuivat puutosrajan tuntumassa (vaihteluväli 5,4–10,7 ppm). Yli-Iissä neulasten kuparipitoisuus oli alhainen (2,4 ppm).

Jatkolannoitukset eivät aiheuttaneet suuria muutoksia neulasten ravinnepitoisuuksiin (kuva 10, liite 4). Neulasten fosforiarvot pysyivät lähes ennallaan. Kaliumpitoisuus kuitenkin kohosi Yli-Iissä ja Sievin puustoisimmalla lohkollla (sarat

Peruslannoitus 1975-Basic fertilization 1975



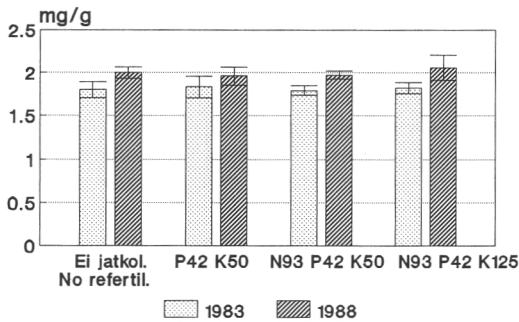
Peruslannoitus 1965-Basic fertilization 1965
Jatkolannoitus 1975-Refertilization 1975



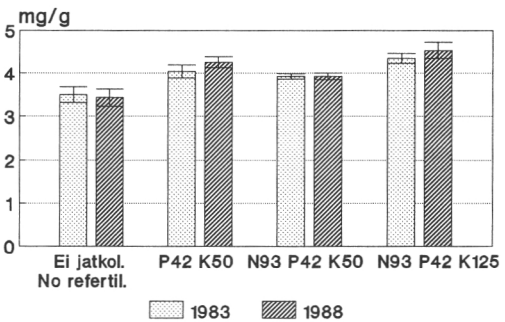
Kuva 9. Perus- ja jatkolannoituksen aiheuttama puuston kasvunlisäys Sievin Nevajärvellä. * = ero lannoittamattomaan tilastollisesti merkitsevä.

Fig. 9. Growth increase given by basic fertilization and refertilization at Nevajärvi, Sievi. * = statistically significant difference compared to the unfertilized plots.

Fosfori - Phosphorus



Kalium - Potassium



Kuva 10. Männynneulasten pääravinnepitoisuudet Sievin, Pyhännän ja Yli-Iin jatkolannoituskokeilla vuosina 1983 ja 1988. Peruslannoitus vuosina 1961–65, jatkolannoitus vuonna 1975. Pylväiden jana osoittaa keskiarvon keskiarvoon suuruuden.

Fig. 10. Phosphorus and potassium concentrations in Scots pine needles in the refertilization experiments at Sievi, Pyhäntä and Yli-Ii in 1983 and 1988. Basic fertilization in 1961–65, refertilization in 1975. The line on the columns indicates the standard error of the mean.

16/17). Vaikutus näkyi merkitsevästi vielä 13 vuoden kuluttua jatkolannoituksesta ja oli yleensä voimakkainta kaliumin suurimmilla käyttömäärillä 100–125 kg/ha.

Hivenravinnelannoitus kohotti merkitsevästi neulasten boori- ja kuparipitoisuutta ja ehkäisi pääravinteiden käytöstä johtuvan mangaani- ja kuparipitoisuuden alenemisen Sievissä (liite 4). Magnesiumarvojen aleneminen näytti kytkeytyvän kaliumlannoitukseen ja mangaanipitoisuuden aleneminen fosforilannoitukseen. Pää- ja hivenravinnepitoisuuksien välillä ei ilmennyt merkitseviä yhdysvaikutuksia.

Vertaamalla Sievin peruslannoitusalueen lannoittamattomien puiden ja jatkolannoitusalueen jatkolannoittamatta jätettyjen puiden neulasten ravinnepitoisuuksia pyrittiin katsomaan, näkykö peruslannoituksen vaikutus puiden ravinnetilassa vielä 19 vuoden kuluttua käsittelystä. Neulasanalyysin mukaan lannoittamattomat puut potivat voimakasta fosforin ja kaliumin puutosta. PK-käsittelyn vuonna 1965 saaneiden puiden fosfori- ja kaliumtila sen sijaan oli kohtalainen ja vaikutus näkyi edelleen merkitsevästi (kuva 11). Vuoden 1975 jatkolannoituksesta oli neulasanalyysin tekohetkellä kulunut 9 vuotta. Jatkolannoitetuilla koealoilla puiden ravinnetilalla oli hyvä.

Kaliumin merkityksen selventämiseksi Sievin, Pyhännän ja Yli-Iin kokeet yhdistettiin muiden samalla tavoin jatkolannoitettujen ja kasvualustaltaan samantyyppisten kohteiden kanssa, joita on tarkasteltu aiemmin toisessa yhteydessä (Moilanen 1984). Kokeet sijaittivat Vaalassa (2 kpl),

Sotkamossa ja Pudasjärvellä. Kaikilla kohteilla jatkolannoitus oli tehty syksyllä 1974 tai keuhälä 1975. Yhdistetty aineisto (kaikkiaan 7 kohdetta) käsiteltiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä. Tyypeä ja kaliumia sisältäneiden jatkokäsittelyjen todettiin voimistaneen puuston kasvua (kuva 12). Kalisuolan käyttömäärän lisääminen suurensi kasvureaktiota, joskaan ei merkitsevästi. PK-jatkokäsittelyn vaikutusta ei juuri havaittu. Neulasten ravinnepitoisuuksien perusteella käsitys fosforin tarpeettomuudesta ja kaliumin tarpeellisuudesta tutkittujen kohteiden jatkolannoituksessa vahvistui (taulukko 10).

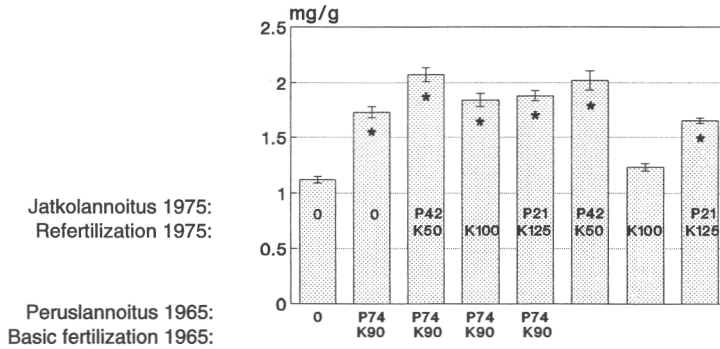
Edellä esitellyillä 7 kohteella havaittiin 1980-luvun alkupuolella puiden latvojen kuivumista ja kasvuhäiriöitä. Jatkolannoituksesta oli tuolloin kulunut 7–8 vuotta. Lannoituksen todettiin lisänneen vaurioita. Latvavaurioita esiintyi runsaasti etenkin tyypeä saaneilla koealoilla (kuva 13). Neulasten ravinnepitoisuudet korreloivat kasvuhäiriön voimakkuuden kanssa seuraavasti:

N	.326*	P	.318*	K	.187	Mn	-.565***
Cu	-.325*	Zn	-.383**	B	-.556***		

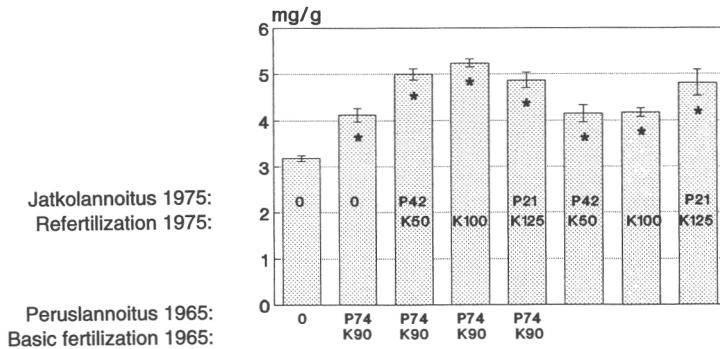
Boorin niukkuus näytti korostavan kasvuhäiriöalittuutta. Neulasten N/B-suhde selitti latvakadon vaihtelusta 55 % ($r = .745^{***}$).

Kasvuhäiriöiden tulkittiin aiheutuneen jatkolannoituksen seurauksena syntyneestä pää- ja hivenravinteiden epätasapainotilasta. Turve- tai neulasanalyysin pohjalta ei kuitenkaan yksiselitteisesti voitu päätellä kasvuhäiriöriskiä, sillä ter-

Fosfori - Phosphorus



Kalium - Potassium



Kuva 11. Männyneulasten ravinnepitoisuus Sievin Nevajärvellä 1984. Peruslannoitus vuonna 1965, jatkolannoitus 1975. * = ero lannoittamattomaan merkitsevä. Pylväiden jana osoittaa keskiarvon keskivirheen suuruuden.

Fig. 11. Phosphorus and potassium concentrations in Scots pine needles at Nevajärvi, Sievi in 1984. Basic fertilization in 1965, refertilization in 1975. * = statistically significant difference compared to the unfertilized plots. The line on the columns indicates the standard error of the mean.

veen ja sairaan puuston ravinnepitoisuudet eivät poikenneet merkitsevästi toisistaan. Suurin ero näkyi boorin kohdalla: ulkoasultaan terveiden puiden neulasten booripitoisuus oli 9,5 ppm ja kasvuhäiriöisten puiden 6,5 ppm. Männyllä lievän boorinpuutteen raja-alueena pidetään pitoisuutta 5,0–7,4 ppm (esim. Paarlahti ym. 1971). Kokeissa käytetty Suometsien PK-lannos ei sisältänyt booria.

3.2.2.2 Jatkolannoituskokeet vuodelta 1978

Metsähallituksen Pohjanmaan piirikuntaan Pyhännän Vesikkosuolle ja Köhisevälle perustettiin vuonna 1978 kuusi jatkolannoituskoe (tau-

luko 11). Kokeiden ravinteisuustaso vaihteli välillä ruohoinen–tupasvillainen ja puuston tilavuus oli 10–160 m³/ha. Puusto koostui valtaosin männyistä. Sekapuuna esiintyi vaihtelevasti hieskoi-vua. Yhtä nevalähtöistä kohdetta (Vesikkosuon koe 3) lukuunottamatta kaikki kokeet olivat rämeitä. Syksyllä 1990 tehdyn pintaturpeen (5–10 cm) ravinneanalyysin perusteella Köhisevän ja Vesikkosuon kohteiden kasvualustasta sisälsi kohtalaisen runsaasti typpeä (liite 1). Turpeen vahvuus oli yleensä yli yhden metrin.

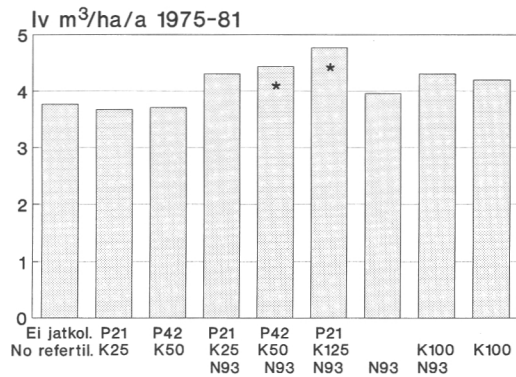
Kohteet lannoitettiin 1960-luvun alussa hienofosfaatilla (13,8 % P) 600 kg/ha ja kaliumsulfaatilla (42 % K) 178–200 kg/ha (taulukko 12). Köhisevän kokeen 2 puusto lannoitettiin lisäksi vuonna 1963 Suo-Y-lannoksella (14 % N, 7,3 %

Taulukko 10. Neulasten ravinnepitoisuus runsastyyppisillä rämeillä 8–9 vuoden kuluttua jatkolannoituksesta. PK-peruslannoitus tehty 1960-luvun alkupuolella, jatkolannoitus 1975. Luvut seitsemän kokeen keskiarvoja.
 Table 10. Foliar nutrient concentrations on the nitrogen-rich pine swamps 8–9 years after refertilization. Basic PK-fertilization at the beginning of the 1960's, refertilization in 1975. The figures are the means of seven experiments.

Ravinne Nutrient	Jatkolannoituskäsittely ¹⁾ — Refertilization treatment ¹⁾ , kg ha ⁻¹			
	Nolla (ei jatkol.—no refert.)	PK400	PK400 +U200	PK200+U200 +Ks200
N %	1,35	1,34	1,35	1,36
P mg/g	1,81	1,95	1,91	1,87
K mg/g	3,88	4,49*	4,36	4,65*
Ca mg/g	2,48	2,71	2,64	2,60
Mg mg/g	1,49	1,40	1,35*	1,30*
Fe ppm	39,5	37,7	37,3	39,9
Zn ppm	50,4	46,4	44,7	46,8
Mn ppm	384	344	314	337
Cu ppm	3,1	2,9	2,9	2,8
B ppm	8,0	8,1	7,1	6,1

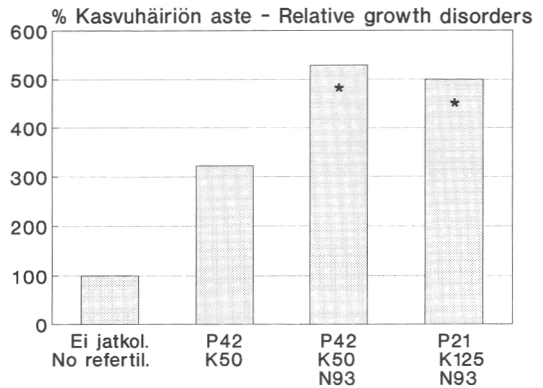
* = Ero lannoittamattomaan merkitsevä (p < 0,05) Tukeyn testissä — Difference statistically significant compared to zero according to the Tukey test.

¹⁾ PK = jauheinen Suometsien PK-lannos — powdered PK fertilizer for peatlands (10,5 % P, 12,5 % K), U = Urea (46,3 % N), Ks = kalisuola — potassium chloride (50 % K).



Kuva 12. Puuston kasvu 7 vuoden aikana jatkolannoituksen jälkeen metsähallituksen maiden kokeilla (6 koetta, katso Moilanen 1984). PK-lannoitus 1960-luvun alussa, jatkolannoitus 1975. * = ero lannoittamattomaan merkitsevä.

Fig. 12. Stand growth during the 7-year period following refertilization in experiments in forest owned by the National Board of Forestry (6 experiments, see Moilanen, 1984). PK fertilization at the beginning of the 1960's, refertilization in 1975. * = statistically significant difference compared to the unfertilized plots.



Kuva 13. Männyn latvojen kasvuhäiriöt metsähallituksen maiden kokeilla (Moilanen 1984) syksyllä 1983. Peruslannoitus 1960-luvun alussa, jatkolannoitus 1975.
 Fig. 13. Growth disorders on Scots pine crowns in the experiments in forest owned by the National Board of Forestry (see Moilanen 1984) in autumn 1983. Basic fertilization at the beginning of the 1960's, refertilization in 1975.

P, 8,3 % K), käyttömääränä 700 kg/ha. Kohteet peruslannoitettiin kauttaaltaan jättämättä lannoittamattomia vertailualoja.

Kaikki kokeet jatkolannoitettiin kesäkuussa 1978 samalla tavoin (taulukko 13). Lannoitteina käytettiin Suometsien rakeista PK-lannosta, ou-

lunsalpietaria, hivenseosta ja lannoiteboraattia. Typen käyttömäärä vaihteli välillä 50–600 kg/ha. Koejärjestely noudatti arvottujen lohkojen periaatteita. Koealan koko oli 6–7 aaria. Alustavat tulokset jatkolannoituksen aiheuttamista puuston kasvumuutoksista on julkaistu jo aiemmin

Taulukko 11. Vuoden 1978 jatkolannoituskokeiden yleistietoja perustamisvuodelta.

Table 11. General information about the 1978 refertilization experiments at the time of establishment.

Koe Experiment	Suotyyppi ¹⁾ Mire site type ¹⁾	Turve Peat thickness cm	Ojitusvuosi Ditching year	Puustotunnukset — Stand characteristics		
				Paalajisuhteet Tree species composition mä — pine hiko — birch	Tilavuus Volume m ³ ha ⁻¹	
Köhisevä 1	Ptkg	50–70	1935,1950	10	0	133
Köhisevä 2	VSRmu	100+	1935,1950	9	1	84
Köhisevä 3	VSRmu	50–80	1935,1950	8	2	20
Vesikkosuota 1	Mtkg	100+	1930,1975	7	3	170
Vesikkosuota 2	VSRmu	100+	1930,1975	9	1	95
Vesikkosuota 3	LkNmu	100+	1930,1975	10	0	41

¹⁾ Ks. Heikurainen & Pakarinen (1983) — See Heikurainen & Pakarinen (1983).

Taulukko 12. Peruslannoitukset Pyhännän Köhisevällä ja Vesikkosuolla.

Table 12. Basic fertilization, Köhisevä and Vesikkosuota.

Koe Experiment	Ajankohta Time	Ravinne- yhdistelmä Nutrient combination	Ravinnemäärä — Nutrient amount			Lannoitteet ¹⁾ Fertilizers ¹⁾
			N	kg ha ⁻¹ P	K	
Köhisevä 1,3	1964	PK		83	75	Hf,K
Köhisevä 2	1961	PK		83	84	Hf,K
Köhisevä 2	1963	NPK	98	51	58	SuoY
Vesikkosuota 1	1962–65	PK		83	84	Hf,K
Vesikkosuota 2	1962–65	PK		83	84	Hf,K
Vesikkosuota 3	1962–65	PK		83	84	Hf,K

¹⁾Hf = hienofosfaatti — fine-ground rock phosphate (13,8 % P), K = kaliumsulfaatti — potassium sulphate (42 % K), SuoY = Suo-Y-lannos — NPK-fertilizer for peatlands (14 % N, 7,3 % P, 8,3 % K)

Taulukko 13. Köhisevän ja Vesikkosuota jatkolannoitukset kesäkuussa 1978. Käsittelyt toistettu 2 kertaa.

Table 13. Refertilization at Köhisevä and Vesikkosuota in summer 1978. The treatments have two replications.

Ravinne- yhdistelmä Nutrient combination	Ravinnemäärä Nutrient amount kg ha ⁻¹			Lannoitteet ¹⁾ Fertilizers ¹⁾
	N	P	K	
0	—	—	—	
PK		44	83	SuoPK
NPK	50	44	83	SuoPK, Os
NPK	100	44	83	SuoPK, Os
NPK	200	44	83	SuoPK, Os
NPK	400	44	83	SuoPK, Os
NPK	600	44	83	SuoPK, Os
NPKBCuMnZn	100	44	83	SuoPK, Os, Hiv

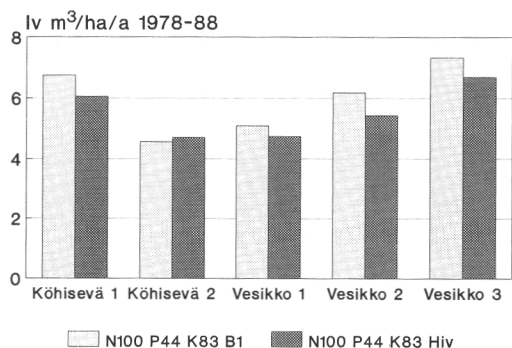
¹⁾SuoPK = rakeinen Suometsien PK-lannos — granular PK-fertilizer for peatlands (8,7 % P, 16,6 % K, 0,2 % B), Os = Oulunsalpietari — ammonium nitrate with lime (27,5 % N), Hiv = Kemiran Hivenseos — micronutrient mixture (Kemira Co.) (1,1 % B, 12,8 % Cu, 5,5 % Mn, 9,8 % Fe, 5,5 % Zn, 1,4 % Mo, 0,7 % Na) 100 kg/ha + lannoiteboraatti — borate fertilizer (14 % B) 10 kg/ha

Taulukko 14. Jatkolannoituksen aiheuttama puuston keskimääräinen tilavuuskasvun lisäys Köhisevän ja Vesikkosuota kokeilla.

Table 14. Mean increase in volume growth given by refertilization in the experiments at Köhisevä and Vesikkosuota.

Käsittely Treatment kg ha ⁻¹	Tutkittu vuosijakso Time period		
	1978–82	1983–88	1978–88
PK 500	0,5	1,1	0,8
PK 500 + Os 181	1,0	1,3	1,1
PK 500 + Os 363	1,2	1,6	1,4
PK 500 + Os 363 + Hiv	0,8	1,0	1,0
PK 500 + Os 727	1,1	1,2	1,1

PK = rakeinen Suometsien PK-lannos — granular PK-fertilizer for peatlands, Os = Oulunsalpietari — ammonium nitrate with lime, Hiv = Hivenseos + lannoiteboraatti — micronutrient mixture + borate fertilizer



Kuva 14. Puuston tilavuuskasvu pää- ja hivenravinnelajattolannoituksen jälkeen Pyhännän Köhisevän ja Vesikkosuon kokeilla. Hiv = Kemira Oy:n Hivenseos 100 kg/ha + lannoiteboraatti 10 kg/ha (ks. taulukko 13).

Fig. 14. Stand volume growth following fertilization with macro- and micronutrients in the experiments at Köhisevä and Vesikkosuon, Pyhäntä. Hiv = micronutrient mixture (Kemira Co.) 100 kg/ha + borate fertilizer 10 kg/ha (see Table 13).

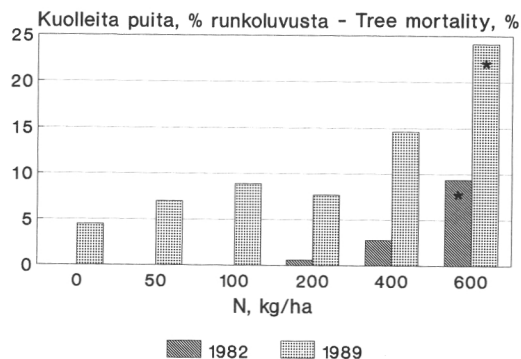
(Paavilainen 1984).

PK-jatkolannoitus lisäsi puuston vuotuista tilavuuskasvua Köhisevällä ja Vesikkosuolla vuosina 1978–88 keskimäärin 0,8 m³/ha/v ja NPK-jatkolannoitus 0,9–1,4 m³/ha/v (taulukko 14). Suhteellinen kasvunlisäys oli PK:lla 19 % ja NPK:lla 21–33 %. Suhteellinen kasvunlisäys jäi Köhisevällä ja Vesikkosuolla pienemmäksi kuin vastaaventyypisten soiden peruslannoituskoh-teissa.

NPK-lannoitukseen liitetty hivenravinnelkäsitely näytti hiukan heikentäneen puuston kasvua lukuunottamatta Köhisevää koetta 2. Vaikutus jäi kuitenkin 2-suuntaisessa kovarianssianalyysissä tilastollisen merkitsevyyden alapuolelle (kuva 14).

Jatkolannoituksen vaikutus näkyi Köhisevällä ja Vesikkosuolla pohja- ja kenttäkerroksen kasvillisuhteiden ja rehevyyden muutoksina. Vuonna 1988 todettiin mm. maitohorsman (*Epilobium angustifolium*) ja metsän alvejuuren (*Dryopteris carthusiana*) rehevöityneen voimakkaasti koealoilla, joilla oli käytetty typpeä 400–600 kg N/ha. Typpilannoituksen seurauksena oli syntynyt runsaasti siemensyntyisiä hieskoivun taimia. Voimakkaan typpiannoksen saaneilla puilla ilmeni lisäksi kuoren hilseilyä. Molemmilla tutkimusalueilla esiintyi yleisesti männynversosurmaa.

Sekä Köhisevällä että Vesikkosuolla typpijatkolannoitus lisäsi puiden kuivalatvaisuutta ja kuolleisuutta. Puustovaurioita ilmaantui varsinkin



Kuva 15. Puuston kuolleisuus Pyhännän Köhisevällä ja Vesikkosuolla vuosina 1982 ja 1989. * = ero jatkolannoittamattomaan merkitsevä. Peruslannoitus 1960-luvun alussa, jatkolannoitus 1978.

Fig. 15. Tree mortality at Köhisevä and Vesikkosuon, Pyhäntä, in 1982 and 1989. * = statistically significant difference compared to the unfertilized plots. Basic fertilization at the beginning of the 1960's, refertilization in 1978.

kin tutkimusjakson loppupuolella ja niiden määrä riippui käytetyn typen määrästä (kuva 15). Vauriot alkoivat kasvaa jyrkästi, kun typpeä käytettiin yli 200 kg hehtaaria kohden. Suurimman typpiannoksen (600 kg N/ha) saaneilla koealoilla lähes neljännes (24,1 %) koealoista oli kuollut. Metsikön kasvun luotettava määrittäminen kävi mahdottomaksi runsaasti typpeä saaneilla koealoilla puustovaurioiden vuoksi. Puiden kuivalatvaisuus ei kytkeytynyt boorin niukkuuteen kuten aiemmassa vuoden 1974 aineistossa, sillä mitatut booriarvot olivat puuterajan yläpuolella. Lisäksi booria sisältävä PK-lannoite kohotti neulasten booriarvoja myös suurten typpimäärien käytön yhteydessä (Pietiläinen ym. 1991). Vaurioiden syynä lienee ollut liiallisesta tyypestä johtuva puiden talveentumisprosessien häiriintyminen ja kylmänkestävyyden aleneminen (Pietiläinen ym. 1990).

Kaksi kasvukautta jatkolannoituksen jälkeen lokakuussa 1979 tehty neulasanalyysi osoitti PK-käsittelyn kohottaneen Köhisevällä ja Vesikkosuolla fosfori-, kalium- ja booripitoisuutta (Paavilainen ja Pietiläinen 1983). Neulasten typpipitoisuus oli sitä korkeampi mitä enemmän typpeä oli käytetty. Magnesium- ja booripitoisuuden havaittiin alentuneen typpilannoituksen seurauksena. Hivenseoksen vaikutuksesta neulasten boori- ja molybdeenipitoisuus kasvoi.

Köhisevän neulasanalyysin perusteella puuston ravinneltila vaihteli kokeiden välillä huomattavasti vuonna 1988 (liite 5). Varttuneessa män-

nikössä (koe 1) ilmeni jatkolannoittamattomilla koealoilla voimakasta fosforin ja lievää kaliumin puutosta, joka korjaantui jatkolannoituksen ansiosta. Typpitila oli hyvä. Puuston kasvunlisäys jatkolannoituksen jälkeen lienee aiheutunut lähinnä fosforin käytöstä.

Köhisevän nuoressa kasvatusmetsikössä (koe 2) typpeä ja fosforia näytti olevan vielä riittävästi peruslannoituksen saaneilla koealoilla. Kaliumarvojen alhaisuus viittasi ankaraan kaliumin puutukseen (liite 5). Jatkolannoitus kohotti neulasten kaliumpitoisuutta. Puuston vähäinen lannoitusreaktio selittynee sillä, että puuston typpi- ja fosforitalous säilyi suhteellisen hyvässä kunnossa koko jatkolannoituskauden ajan.

Köhisevän riukuvaiheen metsiköstä (koe 3) ei puustotietoja ollut käytettävissä. Neulasanalyysin mukaan fosforin ja kaliumin saatavuus näytti hyvältä ja typpitilannekin lähes tyydyttävältä (liite 5).

Köhisevän kokeiden yhdistetylle aineistolle tehty varianssianalyysi osoitti pääravinnelannoituksen alentaneen merkittävästi neulasten magnesium- ja kuparipitoisuutta. Myös sinkki- ja mangaanipitoisuus oli alentunut, joskaan ei merkittävästi. Hivenlannoitus kohotti selvästi booriarvoja ja ehkäisi lähinnä typen käytöstä johtuvaa kuparipitoisuuden alenemista.

Vesikkosuon varttuneen mänty-hieskoivusekametsikön (koe 1) ja nuoren kasvatusmännikön (koe 2) ravinnetila oli vuonna 1988 neulasanalyysin perusteella samankaltainen (liite 6). Jatkolannoittamattomilla puilla oli tuntuva fosforin ja kaliumin puutos, josta voitiin arvella peruslannoitusvaikutuksen olevan ohi. Typpeä puilla oli riittävästi, joten puuston kasvunmuutos jatkolannoituksen jälkeen voitiin tulkita fosforin tai/ja kaliumin aiheuttamaksi. PK-jatkokäsittely näkyi vielä 10 vuoden kuluttua neulasten fosfori-, kalium- ja booripitoisuudessa.

Jatkolannoitushetkellä riukumännikköä olleella Vesikkosuon kokeella 3 peruslannoitetun puuston fosforitila oli hyvä, mutta kaliumtila heikko (liite 6). Jatkolannoitus näkyi selvimmin kalium- ja booripitoisuudessa.

Yleinen suuntaus kaikilla Vesikkosuon kokeilla oli, että jatkolannoitus pääravinteilla — etenkin typellä — alensi neulasten mangaani- ja kuparipitoisuutta. Hivenkäsittelyllä ehkäistiin mangaanin ja kuparin ohentuminen tai kuparipitoisuutta jopa voitiin kohottaa (koe 2). Vesikkosuon kokeiden yhdistetylle aineistolle tehty varianssianalyysi osoitti PK-jatkolannoituksen kohottaneen merkittävästi neulasten fosfori-, kalium- ja booriarvoja. Typen runsas käyttö puolestaan näkyi alentuneina kuparipitoisuuksina (liite 6).

4 Lannoitusreaktioon vaikuttavat tekijät

4.1 Kasvuindeksit ja ympäristömuuttajat

Männyn kasvuindeksin kehitys todettiin samankaltaiseksi aiemmin kivennäismaiden puustoille laadittujen kasvuindeksien (Tiihonen 1984, Timonen 1987, Henttonen julkaisematon) kanssa (kuva 16). Puusto kasvoi keskimääräistä paremmin 1970-luvun puolimaissa ja keskimääräistä huonommin 1960-luvun lopulla ja 1980-luvun alussa. Indeksikorjaus ei kuitenkaan merkittävästi parantanut puuston kasvumallien selitysarvoa eikä vaikuttanut lannoituskäsittelyjen väliin eroihin.

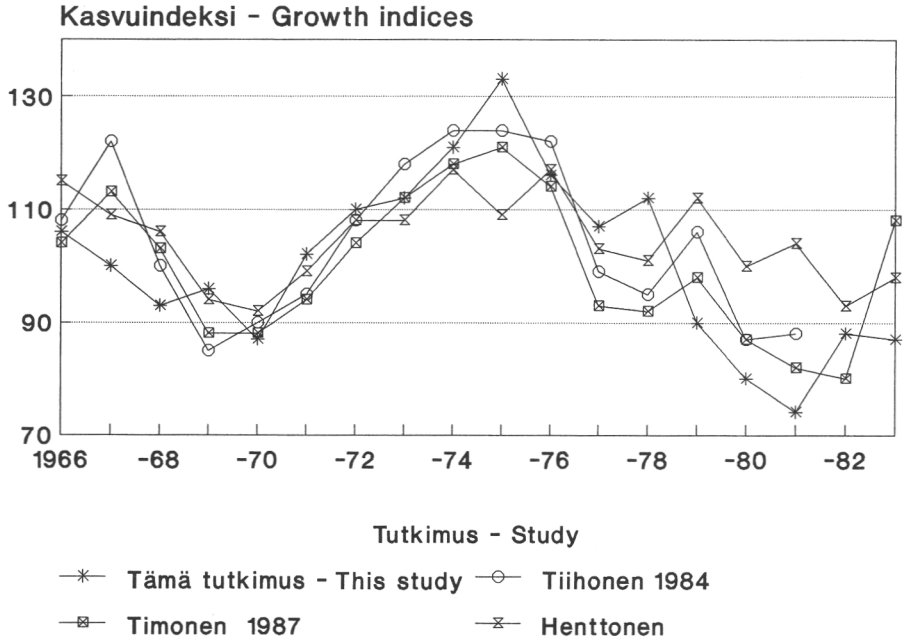
Kertalannoitusaineistolle tehdyssä regressioanalyysissä selittäviä muuttujia olivat lannoituskäsittely (0, PK, NPK), aika lannoituksesta, kasvupaikkatyyppi ja turpeen paksuus. Selitettävänä kasvumuuttujina olivat tilavuuden ja pohjapinta-alan kasvujen vuotuiset absoluuttiset ja suhteelliset arvot, joita käytettiin sekä absoluuttisina että logaritimuunnettuina. Laskennassa oli mukana kaikkiaan 140 koealaa. Käytetyillä muuttu-

jilla voitiin kasvunvaihtelusta selittää vain 20–30 %.

Jatkolannoitettujen kokeiden yhdistetyssä analyysissä käytettiin vuosina 1974–75 perustettuja kokeita (ks. luku 3.2.2.1). Selittävinä muuttujina olivat lannoituskäsittely, jatkolannoituksesta kulunut aika, lannoitemäärä, turpeen paksuus ja kasvupaikkatyyppi. Selitettävänä muuttujina olivat puuston tilavuuden ja pohjapinta-alan kasvut. Analyysissä oli mukana 120 koealaa, jotka olivat saaneet PK-peruslannoituksen 1960-luvun alkupuolella ja jatkolannoituksen 10–14 vuotta myöhemmin.

Analyysit osoittivat puuston kasvu olleen sitä paremman mitä viljavammasta (runsastypipisempi) kohteesta oli kyse. PK-jatkolannoituksen vaikutus ei ollut merkittävä jatkolannoitusta seuraavana 10-vuotisjaksona. N-, NK-, ja NPK-käsittelyt lisäsivät puuston kasvua merkittävästi. Typen vaikutus kuitenkin alkoi heiketä alle 10 vuoden kuluttua lannoituksesta.

Regressiotarkastelun avulla pyrittiin selvittä-



Kuva 16. Männyn läpimitan kasvuindeksit tämän ja eräiden muiden tutkimusten mukaan.
 Fig. 16. Growth indices for Scots pine diameter according to this and other studies.

mään, löytyisikö aineistosta riittäviä perusteita lannoitusvaikutuksen ennustemallin laatimiseksi esim. käytännön metsätaloutta varten. Kun kasvunvaihtelusta jäi selittämättä huomattava osa, ei ennusteiden laadintaa em. tunnuksilla katsottu perustelluksi.

4.2 Kasvualustan ja puuston ravinnetila

Tutkimusmetsiköiden kasvualustan laaja viljavuusvaihtelu teki mahdolliseksi tarkastella lannoitusreaktion yhteyttä puuston ja kasvualustan ravinnetunnuksiin. Turpeen ja puiden neulasten pääravinnepitoisuudet olivat tiedossa kaikkien kohteiden lannoittamattomilta vertailualoilta. Lannoittamattomien koalojen ravinnetunnuksen oletettiin edustavan koko metsikön keskimääräistä ravinnetilaa näytteenottohetkellä. Tarkastelua varten kokeet jaettiin kahteen osaan, peruslannoitettuihin ja jatkolannoitettuihin. Mukaan otettiin kokeet, joilla oli käytetty sekä PK- että NPK-käsittelyvaihtoehtoa.

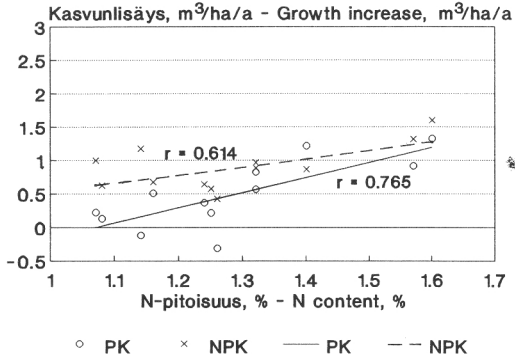
Kertalannoituskokeilla PK-lannoituksen aiheuttaman kasvureaktion suuruuden ja lannoittamattomien koalojen turpeen ja neulasten typpi-pitoisuuden välinen korrelaatio oli positiivinen

(kuvat 17–18). NPK-käsittelyn vaikutus sen sijaan ei näyttänyt riippuvan kasvualustan typpipitoisuudesta. Turpeen typpi-arvolla 2,4 % ja neulasten typpi-arvolla 1,5 % PK- ja NPK-käsittelyt tuottivat samansuuruisen puuston kasvunlisäyksen. Neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuuden ja PK-käsittelyn vaikutuksen välinen korrelaatio oli lievästi negatiivinen (kuva 17).

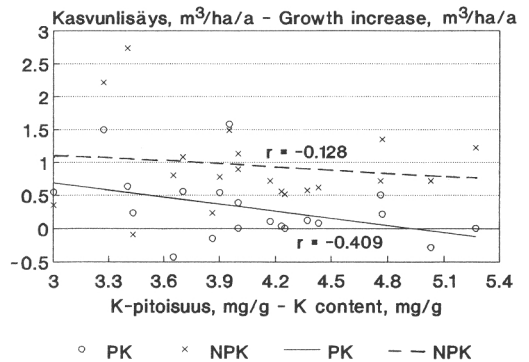
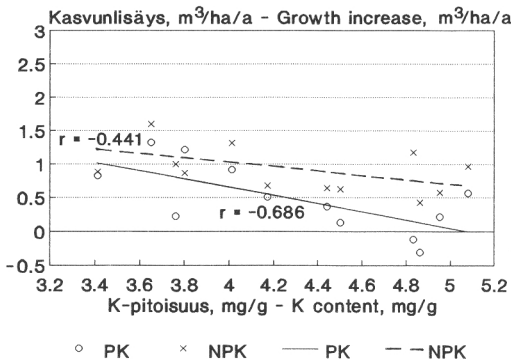
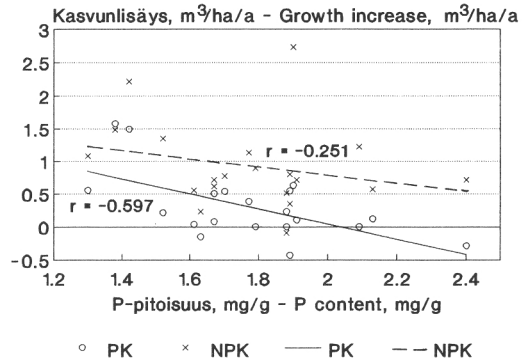
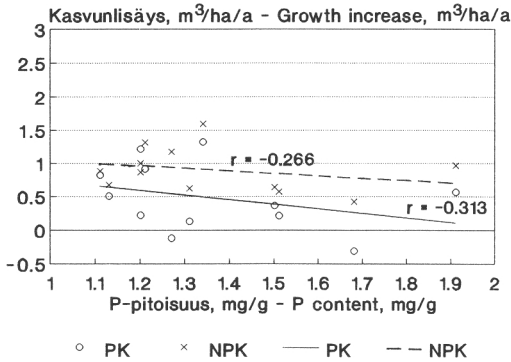
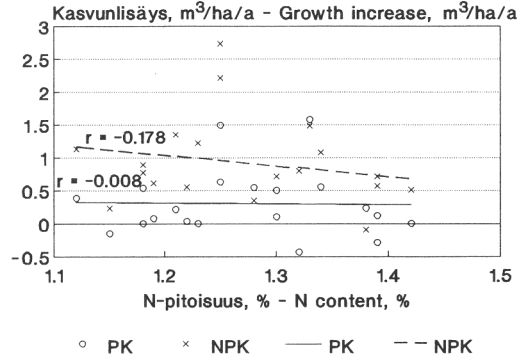
Kertalannoituskokeiden PK-käsittelyn vaikutusta selittivät regressioanalyysissä yksittäisistä ravinteista parhaiten neulasten typpi ($R^2 = 59\%$), turpeen typpi ($R^2 = 51\%$) ja neulasten kalium ($R^2 = 47\%$). Neulasten typpipitoisuus korreloi positiivisesti ja kaliumpitoisuus negatiivisesti lannoitusreaktion suuruuden kanssa (liite 7). Neulasten typpi- ja kaliumpitoisuus yhdessä selittivät reaktion vaihtelusta 78 %. NPK-lannoitusvaikutuksen vaihtelusta voitiin ravinnepitoisuuksilla selittää selvästi vähemmän.

Jatkolannoituskokeilla turpeen ja neulasten typpipitoisuudet korreloivat PK-lannoitusreaktion kanssa löyhemmin kuin kertalannoituskokeilla (liite 7). Riippumatta kohteen viljavuudesta NPK-lannoitus lisäsi puuston kasvua PK-lannoitusta enemmän. Neulasten fosforipitoisuus korreloi kuitenkin negatiivisesti PK-jatkolannoituksen vaikutuksen kanssa.

Kertalannoitus - Single fertilization

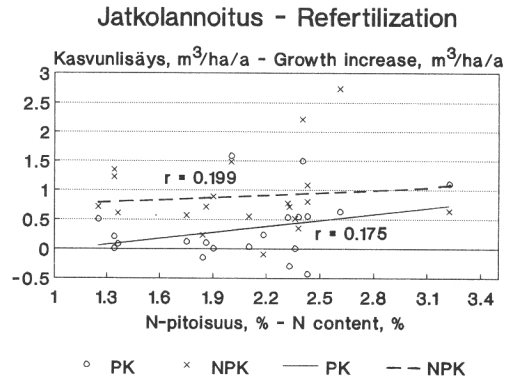
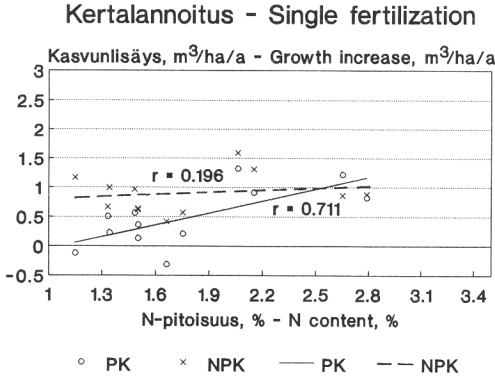


Jatkolannoitus - Refertilization



Kuva 17. Kerta- ja jatkolannoitusvaikutuksen riippuvuus neulasten ravinnepitoisuuksista.

Fig. 17. Dependence of the effect of single fertilization and refertilization on foliar nutrient concentrations.



Kuva 18. Kerta- ja jatkolannoitusvaikutuksen riippuvuus turpeen (5–10 cm:n kerros) typpipitoisuudesta.

Fig. 18. Dependence of the effect of single fertilization and refertilization on the nitrogen content of the peat (5–10 cm layer).

5 Tulosten tarkastelu

5.1 Aineisto

Tutkimukseen valittiin sellaisia lannoituskohteita, jotka kasvupaikkatyypiltään ja puustoltaan ovat käytännön ojitusalueilla yleisiä metsänkasvupaikkoja. Tutkimusmetsiköt olivat mäntyvaltaisia, ravinteisuudeltaan meso-oligo- tai oligotrofisia rämeitä, joita tutkimusalueella on ojitettu varsin runsaasti (Keltikangas ym. 1986).

Aineistoa kertyi eniten paksuturpeisilta, suhteellisen runsastyyppisiltä soilta. Ojitettaessa kohteet olivat olleet vähäpuustoisia rämeitä, usein lähes puuttomia nevoja. Entiset nevat on tuloksia tulkittaessa syytä pitää rämeistä erillään, sillä nevat ovat yleensä ravinnesuhteiltaan epätasapainoisempia eikä niiltä saatuja tuloksia voida yleistää koskemaan myös alkuaan puustoisia soita (esim. Kaunisto 1984). Tässä selvityksessä lannoituksen vaikutus kuitenkin oli molemmissa ryhmissä samansuuntainen.

Karuilta rämeiltä aineistoa kertyi etenkin jatkolannoituksen osalta vähemmän. Viljavien ja karujen soiden peruslannoituksen keskinäistä vertailua vaikeutti se, että viljavat kohteet olivat paksuturpeisia ja karut kohteet yleensä ohutturpeisia. Turpeen paksuuden ei tosin havaittu vaikuttavan karujen kohteiden lannoitustulokseen.

Koejärjestelyssä pyrittiin siihen, että puiden kasvutekijät ravinnetaloutta lukuunottamatta olisivat tutkimuskaudella kunnossa. Kokeita perustettaessa ojustoja usein kunnostettiin ja puustoa käsiteltiin. Näin ollen puiden parantunut kasvu

ei ollut pelkästään ravinnelisäyksen ansiota, vaan siihen sisältyi myös kuivatuksen ja puuston harvennuksen vaikutusta. Myös lannoittamattomat puut lisäsivät kasvuaan. Tulokset edustavatkin tilannetta, jossa lannoitus on osa vanhan ojitusalueen muuta kunnostusta ja puuston hoitoa.

Lannoitushetkellä kokeiden puusto oli riukutai ensiharvennusvaiheessa. Jatkolannoituskoikeista muutama edusti varttunutta kasvatusmetsää. Puuston eri kehitysluokkien luotettavaan vertailuun aineistoa ei kuitenkaan kertynyt riittävästi. Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun alueella suometsien puusto painottuu nuoriin ikäluokkiin. Valtaosa metsiköistä on vielä taimikko/riukuvaihetta (Paavilainen & Tiihonen 1985, Keltikangas ym. 1986).

Koejärjestelyjen luonteen vuoksi kaikkien pääravinteidenkaan erillisvaikutuksia ei voitu arvioida. Fosfori ja kalium annettiin lähes aina yhdessä, joko raakafosfaatti-kaliumsulfaattiseoksena tai Suometsien PK-lannoksena, joten fosforin ja kaliumin keskinäistä painoarvoa voitiin arvioida pelkästään neulasanalyyysien perusteella. Sen sijaan mukana olivat käytännön lannoituksen yleiset vaihtoehdot, PK- ja NPK-käsittelyt, joita voitiin vertailla keskenään kaikissa metsiköissä. NPK-käsittelyn tyyppi oli osalla kokeista ounsalpietari ja osalla urea. Tätä ei katsottu tarpeelliseksi ottaa huomioon, sillä molempien typpilannoitelajien on turvemaidella todettu vaikuttavan puuston kasvuun samalla tavoin (Moilanen & Issakainen 1985, 1990).

Lannoitusvaikutuksen tarkastelussa aineisto jaettiin kasvupaikkatyypin ja lannoituskäsittelyyksen suhteen yhtenäisiin ryhmiin. Tulokset ryhmän eri kokeiden välillä todettiin samansuuntaisiksi. Vaihtelun eräänä syynä oli toistojen vähäinen määrä. Metsiköittäisen luotettavan tuloksen saaminen näytti edellyttävän vähintään 4–5 toistoja lannoituskäsittelyä kohden.

Fosforin ja kaliumin käyttömäärä ja lannoitteiden P/K-suhde vaihtelivat koesarjoittain, mikä vaikeutti tulosten vertailua. Kertalannoituskokeilla fosforin annostus oli lähes käytännön suosituksen mukainen (n. 40 kg/ha), mutta kaliumin määrät (keskimäärin 64 kg/ha) jäivät lannoitusohjeissa esitettyä pienemmäksi. Jatkolannoituskokeiden peruskäsittelyissä fosforia oli käytetty usein lähes kaksinkertainen määrä (70–100 kg/ha) normaaliannostukseen verrattuna. Jatkolannoitukset sen sijaan tehtiin yleisesti käytetyillä fosforimäärillä. Kaliumannokset olivat jatkolannoituskokeilla yleensä normaalikäytännön mukaisia. Eri ravinnemäärien välisistä vaikutuseroista ei tutkimuksessa saatu selvää kuvaa.

Tutkimuskohteiden kasvupaikka- ja suotyyppiluokittelussa käytettiin pohja- ja kenttäkerroksen kasvillisuuteen pohjautuvia luokitustapoja (Huikari 1952, Heikurainen & Pakarinen 1983). Työssä paljastui eräs vanhojen ojitusalueiden luokittelun ongelma: kohteen kuivuessa vaateliaimmat kasvilajit usein häviävät ja suo luokitellaan helposti karummaksi kuin mitä se esim. puiden tyyppitalouden suhteen todellisuudessa on (myös Reinikainen & Hotanen 1988). Tieto kohteen tyyppitaloudesta taas on oleellista lannoitustarpeen määrittämisessä. Tässä aineistossa osa alkuun nevaisista ja paksaturpeisista soista luokiteltiin todellista trofiatasoa heikommiksi (esim. Pyhännän Vesikkosuon koe 3 ja osa Kainuun yksityismaiden kokeista). Puiden lannoitustarvetta ja puuston lannoitusreaktiota voitiin etenkin jatkolannoitusvaiheessa arvioida turve- ja neulasanalyseilla huomattavasti paremmin kuin suotyyppin avulla.

5.2 Lannoitusreaktio erilaisilla soilla

Puille käyttökelpoisen fosforin niukkuus oli valitseva lähes kaikissa tutkimusmetsiköissä. Kaliumin riittävyteen vaikutti turpeen paksuus: ohuturpeisilla kohteilla puut saivat kaliumia pohjamaasta. Karuhkoilla rämeillä typen niukkuus rajoitti eniten puiden kasvua.

Lannoitusvaikutuksen voimakkuus ja kestoaika riippuivat kasvualustan trofiatasosta. Kun

NPK-käsittelyn vaikutus karuhkoilla soilla kesti vajaan 10 vuotta, PK-käsittely näkyi runsastypipisten soiden puustossa yli 20 vuoden ajan. Tulokset ovat hyvin samankaltaisia aiemmin julkaistujen kanssa (Penttilä & Moilanen 1987a,b, Moilanen & Issakainen 1990).

10–16 vuoden kuluttua peruslannoituksesta puiden käytössä oli neulasanalyysin perusteella vielä yleensä riittävästi fosforia ja kaliumia. Alkuun hyvin märkien ja paksaturpeisten nevaisten kohteiden puusto kuitenkin poti kaliuminpuutetta. Tällaisia kohteita olivat Yli-Iin Sammakkosuo ja Sievin Nevajärvi. Jatkolannoituksen jälkeen puuston kasvu lisääntyi aluksi lähinnä typen ansiosta. Typen tarpeen on aiemminkin arveltu kasvavan ojitusiän lisääntyessä ja metsikön varttuessa (Paavilainen 1984, Penttilä 1984).

Jatkolannoituksen vaikutus puuston kasvuun jäi peruslannoitusvaikutusta heikommaksi. Peruslannoitus ilmeisesti vaikutti puuston ravintalouteen vielä jatkolannoituskauden alkuvuosiina. 18–23 vuoden kuluttua peruslannoituksesta tehtyjen neulasanalyysien perusteella puiden fosforitalous oli kunnossa, mutta kaliumista oli yleensä puutetta.

Karuhkojen rämeiden jatkolannoituksessa N-lisäys antoi yhtä suuren puuston kasvunlisäyksen kuin NPK-käsittely. Tulos viittaa siihen, että kyseisentyypisillä soilla voitaisiin jatkolannoituksessa tyytyä pelkän typen käyttöön. Samanlaisia tuloksia on saatu aiemminkin (Moilanen & Issakainen 1990). Typpi yksin riittänee tapauksissa, joissa fosforia ja kaliumia on kasvualustassa peruslannoituksen jäljiltä riittävästi. Kainuun yksityismaiden kokeet osoittivat, että tyyppijatkolannoitus paransi puiden kasvua selvästi vain aiemmin PK-käsittelyn saaneilla koaloilla (vrt. Kaunisto & Paavilainen). Paavilaisen (1979a) mukaan pelkän typen käytöstä jatkolannoituksessa seurasi kuitenkin puiden kasvun taantumista ja neulasten ravintasuhteiden häiriintymistä (myös Kaunisto 1977).

Typen yksipuolinen ja runsas käyttö runsastyyppisellä suolla aiheutti tässäkin tutkimuksessa puiden latvavaurioita ja kasvuhäiriöitä (myös Kaunisto 1989). Osa puustovaurioista voidaan selittää typen käytön seurauksena ilmenneellä boorin puutoksella ja osa typen yliannostuksesta johtuvilla talveentumishäiriöillä. Jauhemainen booria sisältämätön PK-lannos aiheutti neulasten booripitoisuuden alenemista (ns. ohentumisilmio, Veijalainen 1977) ja kasvuhäiriöitä. Pääravinnelannoituksen jälkeen myös neulasten kupari-, sinkki-, mangaani- ja magnesiumpitoisuudet

alenivat. Typpikäsittely alensi etenkin kuparipitoisuuksia ja kaliumkäsittely magnesiumpitoisuuksia. PK-lannoitus alensi neulasten typpipitoisuutta, mikä saattoi jatkolannoitusvaiheessa lisätä typen tarvetta. Puiden booritalous voitiin turvata booripitoisella Suometsien PK-lannoksella.

Kaliumin käyttömäärää lisäämällä ei katsota voitavan pidentää lannoitusvaikutuksen kestoa tai voimistaa reaktiota (Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto 1991, 1992). Syynä pidetään lähinnä kaliumkloridin huuhtoutumisherkkyyttä. Tässä tutkimuksessa käytetyt kaliummäärät jatkolannoituksessa vaihtelivat välillä 50–125 kg/ha. Vuosien 1974–1975 jatkolannoituskokeilla kaliumin käyttömäärät 100–125 kg K/ha lisäsivät puuston kasvua hiukan enemmän kuin käyttömäärä 50 kg K/ha. Myös neulasten kaliumpitoisuus oli keskimäärin korkeammalla tasolla. Vuoden 1978 jatkolannoituskokeilla nykyosuituksen mukainen kaliumannostus (83 kg K/ha) kohotti neulasten K-pitoisuuden riittävän korkeaksi. Vakavia kaliumpuutostiloja ei tämän tutkimuksen jatkolannoituskokeilla juurikaan havaittu huolimatta siitä, että monet tutkimusmetodeista olivat syntyneet entiselle nevalle ja puustoon oli monessa tapauksessa sitoutunut runsaasti kaliumia (vrt. Kaunisto & Tukeva 1984, Kaunisto & Paavilainen 1988). Kasvualustan niukat kaliumvarat näyttivät kiertävän tehokkaasti puuston ja kasvualustan välillä vanhoillakin ojitusalueilla. Samaan johtopäätökseen tulivat myös Laiho ja Laine (1992) tutkiessaan eri-ikäisten ojitusalueiden kaliumvaroja.

Hivenravinteista boorin vaikutusta on turvemaiden männiköissä tutkittu runsaasti (Veijalainen 1980, 1981, Veijalainen ym. 1984). Booriliäskäyksen on havaittu korjaavan puiden kasvuhäiriöitä ja elvyttävän kasvua. Myös kuparin, mangaanin ja sinkin merkitystä on selvitetty (Veijalainen 1980, 1981). Selvää vaikutusta puuston kasvuun ei näiden ravinteiden lisäyksellä ole kuitenkaan voitu todeta. Eräissä tapauksissa männynneulasten kuparipitoisuus on kohonnut kuparilannoituksen seurauksena (Veijalainen 1980, Moilanen 1989).

Tässä tutkimuksessa hivenravinnelannoituksen (hivenseos-lannoiteboraatti tai lannoiteboraattikuparisulfaatti-mangaanosulfaatti) vaikutus näkyi männynneulasissa selvänä booripitoisuuden ja lievänä kuparipitoisuuden kohoamisena. Mangaanin käyttö ehkäisi pääravinnelannoituksesta aiheutuneen mangaaniarvojen alentumisen. Puuston kasvuun hivenlannoituskäsittelyt eivät vaikuttaneet merkittävästi. Sievin kokeella hiven-

lannoitetut puut kasvoivat keskimäärin hiukan paremmin ja Pyhännän kokeilla keskimäärin huomattavasti paremmin kuin vertailukoelajien puut. Syy taantuneeseen kasvuun Pyhännällä saattoi olla kuparin suuressa käyttömäärässä (12,8 kg/ha), joka vaikutti haitallisesti puiden typen ja fosforin ottoon. Liiallinen kupari estää mm. fosfataasientsyymien toimintaa ja vähentää siten fosforin saatavuutta (Tyler 1974). Mahdollisesti kyseessä oli mm. mikrobistoon kohdistunut suora myrkkövaikutus (Flemming & Trevors 1989).

Lannoituskokeiden puustolle laaditut kasvuindeksit osoittivat suomäntyjen kasvurytmin olleen 1960- ja -70-luvuilla hyvin samankaltainen kivennäismaalla kasvavien mäntyjen kanssa. Kasvuindeksien tai kasvukauden lämpösumman käyttäminen ei parantanut lannoitusreaktion selittämiseen laadittuja malleja. Kasvukauden lämpöolojen vuotuinen vaihtelu kuitenkin vaikuttaa merkittävästi turpeen typen mineralisaatioon ja sitä kautta puiden ravinteiden saantiin ja lannoitusreaktioon. Eri vuosien välinen säätekijöiden vaihtelu on syytä ottaa huomioon lannoitusvaikutuksen kestoa arvioitaessa (Kaunisto 1985).

Turve- ja neulasanalyysin avulla voitiin arvioida lannoitusvaikutuksen suuruutta. Kasvualustan kokonaistyyppipitoisuuden ja lannoituksella saadun puuston kasvunlisäyksen välillä todettiin kertalannoituskohteissa selkeä positiivinen korrelaatio. Pintaturpeen typpipitoisuus 2,4 % näytti muodostavan rajan, jota korkeammilla arvoilla lannoitetypen käyttö ei enää lisännyt puuston kasvureaktiota PK-käsittelyyn verrattuna. Aiemmin julkaistut suotaimikoiden vastaavat raja-arvot ovat tässä arvioitua alhaisemmat (vrt. Kaunisto 1982, 1987). Kauniston (1982) aineistossa — sijainti etelämpänä ja puusto nuorempaa — N-lannoitus aiheutti puiden kasvun taantumista jo verraten alhaisilla (< 2 %) turpeen typpipitoisuuksilla. Kauniston (1987) mukaan männyntaimien pituuskasvu lisääntyi turpeen typpipitoisuuden funktiona Etelä-Suomessa 1,6–2,0 %:n turpeen kokonaistyyppipitoisuuteen saakka, jolloin kasvu ensin tasaantui ja kääntyi sitten alenevaksi sekä PK- että NPK-lannoitetuilla koelajoilla.

Myös neulasten typpipitoisuus ja PK-lannoituksen reaktion suuruus korreloivat tämän tutkimuksen kertalannoituskohteilla keskenään positiivisesti. N-lannoitus kävi tarpeettomaksi, kun neulasten typpipitoisuus oli n. 1,5 %. Typpipitoisuuden optimi Etelä-Suomen männyntaimikoissa on Kauniston (1982) mukaan 1,5–1,6 % (myös Puustjärvi 1962). Neulasten fosfori- tai kaliumpitoisuuden ja lannoitusvaikutuksen keskinäinen

korrelaatio oli lievästi negatiivinen. PK-lannoituksella ei enää ollut vaikutusta, kun fosforipitoisuus oli yli 2 mg/g ja kaliumpitoisuus 5 mg/g. Tulos on yhdenmukainen Paarlahden ym. (1971) tutkimuksessa esitettyjen suomäntyjen neulasten optimiarvojen kanssa: typpi 1,50–1,59 %, fosfori 1,9–2,1 mg/g ja kalium 5,0–6,5 mg/g.

Jatkolannoituskohteissa puiden kasvureaktion ja ravinnetunnusten välinen riippuvuus oli varsin löyhä. Syynä lienee ollut peruslannoitus, joka vielä jatkolannoituskaudella vaikutti kasvualustan ja puuston ravinnetilaa. Typen merkitystä jatkolannoitusvaiheessa korostaa se, että kaikilla trofiatasoilla NPK-jatkolannoitusvaikutus oli PK-lannoitusvaikutusta suurempi jatkolannoitusta seuraavalla ensimmäisellä 5-vuotisjaksolla.

Puiden kasvun ja kasvunlisäyksen vaihtelua pyrittiin selittämään ravinnetunnusten lisäksi myös kasvupaikka- ja puustotunnuksilla. Aineisto osoittautui laajuudestaan huolimatta kuitenkin liian heterogeeniseksi luotettavan ennustemallin rakentamiseen. Mitattujen kasvupaikka- ja lannoitusmuuttujien avulla puiden kasvunvaihtelusta jäi selittämättä huomattava osa.

5.3 Tulokset käytännön metsänlannoitustoiminnan kannalta

Nuoria suopuustoja lannoitettiin 1970-luvun alkupuolella ojituksen yhteydessä yleisesti. Esimerkiksi Oulun läänissä vuotuinen lannoituspinta-ala kohosi lähes 50 000 ha:iin. 1980-luvulla lannoitustoiminta asteittain tyrehtyi ja on tällä hetkellä lähes pysähdyksissä. Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun metsälautakuntien alueella lannoitettiin suometsiä vuonna 1989 vain 5000 ha (Metsätilastolliset vuosikirjat 1968–89). Kaikista ojitusalueista on lannoitettu kertaalleen vajaa kolmasosa. Lannoituksesta on useimmissa tapauksissa kulunut yli 20 vuotta, mikä merkitsee, että lannoitusvaikutus on mennyt ohi ja uusia ravinnetalousongelmia — ainakin kaliumin puutosta — on syntymässä.

Tämän tutkimuksen mukaan PK-lannoitus lisäsi voimakkaasti männyn kasvua runsastypillisillä suotyypeillä. Vaikutuksen arvioitiin kestäväksi 20–25 vuotta. Vuotuinen kasvunlisäys oli noin 1,5 m³/ha. Lisääntyneen puuntuotoksen ohessa lannoituksen voidaan katsoa parantavan puiden terveydentilaa ja elinvoimaa kohteissa, joissa epätasapainoinen ravinnetilä altistaa puuston ulkoisille tuhonaiheuttajille. Tällaisten kohteiden lannoittaminen on monesti myös taloudellisesti perusteltua. Osasta tätä aineistoa tehty

kannattavuuslaskelmat osoittivat PK-lannoituksen kohtalaisen kannattavaksi. Omarahoituksella tehty runsastypin kohteen PK-käsittely tuotti 12 vuoden laskentajaksolla 8,1 %:n sisäisen koron. NPK-käsittelyllä sisäinen korko oli 4,2 % (Rantala 1992).

Niukatypillisillä soilla NPK-lannoitus lisäsi puiden kasvua selvästi vähemmän, n. 0,75 m³/ha vuosittain 8–10 vuoden ajan. Lannoituksen kannattavuus asetui kyseenalaiseksi, varsinkin kun puusto oli yleensä pientä. Karuhkojen rämeiden aineistosta tehtyjen taloudellisuuslaskelmien mukaan lannoituksen tuotto jäi omarahoituksella negatiiviseksi (Rantala 1992). Vain varttuneissa puustoissa, joita löytyy etupäässä ohutturpeisilta kivennäismaiden soistumilta tai kangasrämeiltä, voi typen käyttö olla perusteltua.

PK-lannoitukseen soveltuvia meso-oligotrofisia ojitettuja soita löytyy Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun alueelta noin 350 000 ha (Penttilä & Moilanen 1987b), mikä on lähes neljäs koko ojitusala. Arvio saatiin Keltikankaan ym. (1986) inventointitutkimuksesta laskemalla yhteen suotyypin RhSR, VSR, TSR, RhSN ja VSN ojituspinta-alat. Luvusta vähennettiin alueiden alojen, taimikoiden, vajaatuottoisten metsiköiden sekä hieskoivu- ja kuusivaltaisten metsiköiden pinta-ala. NPK-lannoitukseen soveltuvia rämeojikoita- ja muuttamia on vastaavasti noin 375 000 ha (suotyypit KR, PsR, KGR, Vkr, IR ja TR). Potentiaalisia lannoituskohteita on siis runsaasti. Suurinta lannoitustarvetta potevat ravinnesuhteiltaan epätasapainoiset em. ”PK-kohteet”. Niiden ravinnetalouden tarkkailuun tulee ensisijaisesti kiinnittää huomiota, jotta kasvutappioilta ja pahimmassa tapauksessa puustojen raunioitumiselta vältyttäisiin (Kaunisto & Tukeyva 1984, Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto 1990).

Eräs metsänlannoittajan keskeinen ongelma on, miten lannoitustarve vanhoilla ojitusalueilla voidaan määrittää. Kasvillisuus ei läheskään aina paljasta suon viljavuustasoa tai yksittäisiä ravinnepuutoksia. Silmävaraisesti ravinnepuutosten symptomit havaitaan usein vasta kun puute on ankarana. Kohteiden viljavuutta voidaan maaperän ominaisuuksien avulla kuvata kohtalaisen hyvin (Westman 1987). Tässä tutkimuksessa voitiin sekä pintaturpeen (5–10 cm syvyys) että neulasten tyypipitoisuuden avulla arvioida tyydyttävästi puiden tyypitaloutta. Neulasanalyysi kertoi lisäksi fosfori-, kalium- ja booritaloudesta. Kun paksaturpeiset suot lähes poikkeuksetta potevat eriasteista fosforin ja kaliumin puutetta, riittänee PK-lannoitusta harkittaessa pintaturpeen typpi-

pitoisuuden määrittäminen. Kun turpeen maatuneisuus ja typpipitoisuus korreloivat vahvasti keskenään, voidaan jo pelkällä maastossa tehtävällä turpeen maatuneisuusmäärittäyksellä valita PK-lannoitukseen soveltuvia kohteita (Kaunisto 1987).

Puuston hyvää kuntoa ja kasvualueen tehokasta kuivatusta pidetään onnistuneen lannoituksen edellytyksinä. Nyt saadut tulokset ovat koetilanteista, joissa kohteen vesitalous on pidetty hyvänä ja puuston kasvutila riittävän väljänä.

Tässä esitetyt tulokset edustavat ko. lannoitteilla saavutettavissa olevaa maksimitasoa. Käytännön ojitusalueilla tilanne ei ole useinkaan samanlainen. Ojastojen kunnostus- ja puustonhoitotarve on hyvin yleinen 20–30 vuoden ikäisillä ojituskohteilla. Tällaisten rappeutuneiden ojitusalueiden lannoitustulos jäänee selvästi heikommaksi kuin mitä edellä on esitetty. Toki käytännön lannoitusohjeissa jo nykyisin korostetaan, että lannoitushetkellä ojaston tulee olla kunnossa ja puuston riittävän elpymiskykyistä.

Kirjallisuus — References

- Braekke, F.H. 1977. Fertilization for balanced mineral nutrition of forests on nutrientpoor peatland. *Suo* 28(3): 53–61.
- Finer, L. 1991. Turvemaiden ravinnetaset. Teoksessa (Mäkelä, P. & Hotanen, J.-P. (toim.): Metsänkasvatuksen perusteet turve- ja kivennäismailla. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1991. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 383: 11–22.
- Flemming, C. A. & Trevors, J. T. 1989. Copper toxicity and chemistry in the environment: a review. *Water, Air, and Soil Pollution* 44: 143–158.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Heikurainen, L. & Pakarinen, P. 1983. Suokasvillisuus ja suotyypit. Teoksessa: J. Laine(toim): Suomen suot ja niiden käyttö: 14–23. Suo-seura. Helsinki.
- Heinonen, J. 1981. Koealojen peruslaskenta. *Moniste. Metsäntutkimuslaitos, matemaattinen osasto.* 38 s.
- Henttonen, Helena. *Julkaisematon käsikirjoite. Metsäntutkimuslaitos, metsänkätön tutkimusosasto.*
- Holmen, H. 1964. Forest ecological studies on drained peatland in the province of Uppland, Sweden. Parts I–III. *Sammanfattning: Skogsekologiska studier på dikad torvmark i Uppland. Del I–III. Studia Forestalia Suecica* 16: 1–236.
- 1986. De skogliga våtmarkernas växtnäringsförhållanden. Teoksessa: Skog på våtmarker. Skogs- och jordbrukets forskningsråd. AB Grafisk Press, Stockholm 1986: 29–42.
- Huikari, O. 1952. Suotyypin määrittäminen maa- ja metsätaloudellista käyttöarvoa silmällä pitäen. Summary: On the determination of mire types, especially considering their drainage value for agriculture and forestry. *Silva Fennica* 75: 1–22.
- 1974. Hivenravinteet ja puiden kasvu. *Metsä ja Puu* 11/74: 24–25.
- Kaunisto, S. 1977. Ojituksen tehokkuuden ja lannoituksen vaikutus männyn viljelytaimistojen kehitykseen karuilla avosoilla. Summary: Effect of drainage intensity and fertilization on the development of pine plantations on oligotrophic treeless Sphagnum bogs. *Folia Forestalia* 317. 31 s.
- 1982. Development of pine plantations on drained bogs as affected by some peat properties, fertilization, soil preparation and liming. Seloste: Männyn istutustaimien kehityksen riippuvuus eräistä turpeen ominaisuuksista sekä lannoituksesta, muokkauksesta ja kalkituksesta ojitetuilla avosoilla. *Communicationes Institutii Forestalis Fenniae* 109. 56 s.
- 1984. Yhteenveto lannoitustutkimuksista uudistamisen ja taimikonhoidon yhteydessä turveilla Suomessa. Summary: Fertilization at reforestation and afforestation and refertilization of young sapling stands on peat soils in Finland. Literature review. *Suo* 35(4–5): 119–126.
- 1985. Lannoituksen, ilman lämpösumman ja eräiden kasvuolosuhteiden ominaisuuksien vaikutus mäntytaimikoiden kasvuun turveilla. Summary: Effect of fertilization, temperature sum and some peat properties on the height growth of young pine sapling stands on peatlands. *Folia Forestalia* 616. 27 s.
- 1987. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. Seloste: jatkolannoituksen vaikutus mäntytaimikoiden kehitykseen ja neulasten ravinnepitoisuuksiin typpitaloudeltaan erilaisilla ojitetuilla soilla. *Communicationes Institutii Forestalis Fenniae* 140. 58 s.
- 1989. Jatkolannoituksen vaikutus puuston kasvuun vanhalla ojitusalueella. Summary: Effect of refertilization on tree growth in an old drainage area. *Folia Forestalia* 724. 15 s.
- 1991. Soiden ravinnetalous ja lannoitus. *Metsä ja Puu* 5/91: 21–23.
- & Paavilainen, E. 1977. Response of Scots pine to nitrogen refertilization on oligotrophic peat. Seloste: Typpijatkolannoituksen vaikutus männyn taimien kehitykseen karuilla turvealustalla. *Communicationes Institutii Forestalis Fenniae* 92(1): 1–54.
- & Tukeva, J. 1984. Kalilannoituksen tarve avosoilla perustetuissa riukuasteen männikköissä. Summary: Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs. *Folia Forestalia* 585. 40 s.
- & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. *Communicationes Institutii Forestalis Fenniae* 145. 39 s.
- Karsisto, K. 1974. On the duration of fertilization in-

- fluence in peatland forests. Teoksessa: The international symposium on forests drainage 2nd–6th September, 1974, Jyväskylä–Oulu: 309–327.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930–1978 metsäojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. Summary: Peatlands drained for forestry during 1930–1978: Results from field surveys of drained areas. Acta Forestalia Fennica 193. 94 s.
- Kolari, K. K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriömiö Suomessa — kirjallisuuskatsaus. Abstract: Micro-nutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland — a review. Folia Forestalia 389. 37 s.
- 1988. Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Kasvuhäiriöprojektin loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 310. 35 s.
- Laasasenaho, J. 1974. KUPO-summain, käyttöohjeet. Kansallis-Osake-Pankki.
- Laiho, R. & Laine, J. 1992. Potassium stores in peatlands drained for forestry. Proceedings of the 9th international peat congress, Uppsala Sweden 22–26 June 1992, volume 1: 158–169.
- Metsä 2000 -ohjelman pääraportti. 1985. 1. painos, nid. Talousneuvosto, Metsä 2000 -ohjelmajaosto, Helsinki. 189 s.
- Metsätilastolliset vuosikirjat vuosilta 1968–89. Yearbook of Forest Statistics, 1968–1989. Metsäntutkimuslaitos, matemaattinen osasto.
- Mikola, P. 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 38.5. 131 s.
- Moilanen, M. 1982. Tuloksia lannoituksen vaikutuksesta varttuneen suomännikön kehitykseen Pohjois-Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 70: 1–13.
- 1984. Tuloksia suursararämeen männikön jatkolannoituksesta Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa. Summary: Results on refertilization of large sedge swamp pine stands in the North Ostrobothnia and Kainuu area. Suo 35(4–5): 102–105.
- 1989. Tuloksia KCuB-lannoitteen käytöstä viljavain nevarämeen lannoituksessa Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 321. 32 s.
- & Issakainen, J. 1985. Lannoitusvaikutuksen riippuvuus levitysajankohdasta nuorissa rämemänniköissä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 204. 32 s.
- & Issakainen, J. 1990. Suometsien PK-lannos ja typilannoittelajit karuhkojen ojitettujen rämeiden lannoituksessa. Summary: PK fertilizer and different types of N fertilizer in the fertilization of infertile drained pine bogs. Folia Forestalia 754. 20 s.
- & Piironen, M.-L. (toim.). 1991. Oulun läänin metsät 1990–2020 -projekti. Loppuraportti. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema. 55 s.
- Ohjekirje metsän lannoituksesta. 1982. Metsähallitus, metsänhoito-osasto. N:o Mh. 305. 10 s.
- Paavilainen, E. 1972. Reaction of Scots pine on various nitrogen fertilizers on drained peatlands. Seloste: Typilannoittelajien vaikutus männyn kasvuun metsäojitetuilla soilla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 77(3). 46 s.
- 1977. Jatkolannoitus vähäravinteisillä rämeillä. Ennakkotuloksia. Abstract: Refertilization on oligotrophic pine swamps. Preliminary results. Folia Forestalia 327. 32 s.
- 1979a. Metsänlannoitusopas. Kirjayhtymä. Helsinki. 112 s.
- 1979b. Jatkolannoitus runsastyyppisillä rämeillä. Ennakkotuloksia. Summary: Refertilization on nitrogen-rich pine swamps. Preliminary results. Folia Forestalia 414. 23 s.
- 1984. Typpi ja hivenravinteet ojitettujen rämeiden jatkolannoituksessa. Summary: Nitrogen and micro-nutrients in the refertilization of drained pine swamps. Folia Forestalia 589. 22 s.
- & Penttilä, T. 1983. Alustavia tuloksia turvemaiden jatkolannoituksesta Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 105: 47–56.
- & Pietiläinen, P. 1983. Foliar responses caused by different nitrogen rates at the refertilization of fertile pine swamps. Teoksessa: Kimmo K. Kolari (ed): Growth disturbances of forest trees. Seloste: Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 116: 91–104.
- & Tiuhonen, P. 1985. Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan sekä Kainuun suometsät vuosina 1951–1983. Summary: Peatland forests in Keski-Pohjanmaa, Kainuu and Pohjois-Pohjanmaa in 1951–1983. Folia Forestalia 617. 19 s.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 74(5): 1–58.
- Penttilä, T. 1984. Jatkolannoitus Lapin viljavilla rämeillä. Summary: Refertilization on mesotrophic pine swamps in northern Finland. Suo 35(4–5): 106–110.
- & Moilanen, M. 1987a. Fosforilannoitteen lannoituksessa Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 136–148.
- & Moilanen, M. 1987b. Soklin malmin fosforilannoitteen Pohjois-Suomen suometsissä. ”Soklin malmin pitkäaikaiset lannoitusvaikutukset suometsissä” -projektin raportti. Konekirjoite. Metsäntutkimuslaitos, suontutkimusosasto. 42 + 20 s.
- Pietilä, M., Lähdesmäki, P., Pietiläinen, P., Ferm, A., Hytönen, J. & Pätilä, A. 1991. High nitrogen deposition causes changes in amino acid concentrations and protein spectra in needles of the Scots pine (*Pinus sylvestris*). Environmental pollution 72 (1991): 103–115.
- Pietiläinen, P., Lähdesmäki, P., Moilanen, M. & Paavilainen, E. 1991. Free and bound arginine concentrations of Scots pine needles as indicators of the nitrogen status of soil and tree. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema. 17 s.
- Puustjärvi, V. 1962. Turpeen typen mobilisoinnista ja sen käyttökelpoisuudesta suometsissä neulasanalyysin valossa. Suo 13(1): 2–11.
- Rantala, T. 1992. Nuorten männiköiden ensi- ja toiskertaisen PK- ja NPK-lannoituksen kannattavuus Pohjois-Pohjanmaan sararämeillä. Metsätalouden liiketieteen pro gradu-tutkielma maatalous-metsätieteiden kandidaatin tutkintoa varten. Helsingin yliopisto, metsätalouden liiketieteen laitos. 88 s.
- Reinikainen, A. & Hotanen, J.-P. 1988. Soiden luokitus

- metsänkasvatusta varten. Teoksessa: E. Ahti (toim): Soiden käyttö metsänkasvatukseen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308: 5–28.
- Seppälä, K. & Westman, C. J. 1976. Results of some fertilization experiments in drained peatland forests in North-Eastern Finland. Proceedings of 5th International Peat Congress, Poznan, Poland 1976.
- Starr, M. & Westman, C. J. 1978. Easily extractable nutrients in the surface peat layer of virgin sedge-pine swamps. Seloste: Helppoliukoiset kasvinravinteet luonnontilaisten sararämeiden pintaturpeessa. *Silva Fennica* 12(2): 65–78.
- Tiihonen, P. 1984. Kasvun vaihtelu Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Savon piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin perusteella. Summary: Growth variation in the Forestry Board Districts of Pohjois-Karjala and Pohjois-Savo according to the 7th National Forest Inventory. *Folia Forestalia* 588. 8 s.
- 1985. Kasvun vaihtelu Keski-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Growth variation in the Forestry Board Districts of Keski-Suomi and Etelä-Pohjanmaa according to the 7th National Forest Inventory. *Folia Forestalia* 615. 8 s.
- 1986. Kasvun vaihtelu Suomen pohjoispuoliskossa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Growth variation in North Finland according to the 7th National Forest Inventory. *Folia Forestalia* 658. 9 s.
- Timonen, M. 1987. Männyn ja kuusen kasvunvaihtelu Etelä-Suomessa. Moniste nro 1. Metsäntutkimuslaitos. Metsänarvioimisen tutkimusosasto, puuntuotoksen tutkimussuunta. 59 s.
- Tyler, G. 1974. Heavy metal pollution and soil enzymatic activity. *Plant and Soil* 40.
- Vahtera, E. 1955. Metsänkasvatusta varten ojitettujen soitten ravinnepitoisuuksista. Referat: Über die Nährstoffgehalte der für Walderziehung entwässerten Moore. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 45. 108 s.
- Veijjalainen, H. 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravinnetilanteen määrittämisessä turvemaidilla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 92(4). 32 s.
- 1978. Metsäpuiden latvakadon esiintymisestä Suomessa. Summary: Occurrence of die-back of forest trees in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen suونتutkimusosaston tiedonantoja 1/1978. 22 s.
- 1980. Eräiden hivenlannoitteiden käyttökelpoisuus suometsien lannoituksessa. Neulasanalyysiin perustuva tarkastelu. Summary: Usability of some micronutrient fertilizers in peatland forests. Report basing on needle analysis. *Folia Forestalia* 443. 15 s.
- 1981. Hivenlannoituksen vaikutus istutusmännikön kehitykseen turvemaidilla. Summary: Long-term responses of Scots pine to micronutrient fertilization on acid peat soil. *Folia Forestalia* 477. 15 s.
- 1983. Preliminary results of micronutrient fertilization experiments in disordered Scots pine stands. Teoksessa: Kimmo K. Kolari (ed.): Growth disturbances of forest trees. Seloste: Metsäpuiden kasvuhäiriöt. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 153–159.
- , Reinikainen, A. & Kolari, K. K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. *Folia Forestalia* 601. 41 s.
- Westman, C. J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. Seloste: Pintaturpeen viljavuustunnuksukset suhteessa kasvupaikkatyyppiin ja puuston kasvupotentiaaliin. *Acta Forestalia Fennica* 172. 77 s.
- 1987. Site classification in estimation of fertilization effects on drained mires. Seloste: Kasvupaikkojen luokitus lannoitusvaikutuksen arvioinnissa ojitetuilla rämeillä. *Acta Forestalia Fennica* 198. 55 s.

Total of 70 references

Summary

Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine on drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu

The effects of single and repeated fertilization on the nutrient status and growth of the tree stands growing on drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu were investigated in this study. The aim was to determine the magnitude and duration of the effect on peatlands of different fertility, and to elucidate the factors affecting the reaction to fertilization. Foliar nutrient and peat analysis was used to generate nutrient parameters that could be used in predicting the fertilization effect. Answers were also sought to the following questions related to repeated fertilization: is there a need for P and especially K refertilization 10–15 years after basic fertilization, is nitrogen required in the refertilization stage also on fertile peatlands, and are micronutrients required, in addition to macronutrients, in refertilization? The material (site, stand and fertility parameters) used in the study was collected from 29 fertilization experiments established during the 1960's and 1970's in different parts of the province of Oulu.

The report is concerned with Scots pine stands primarily in the pole or first thinning stages. The fertility of the sites ranged from the cottongrass to the herb-rich site types. Some of the experiments had been established on former open bogs and fens. Powdered or granular PK fertilizer for peatlands, urea and ammonium nitrate with lime were used as the fertilizers. Finely ground rock phosphate and potassium chloride were used as the basic fertilizer treatment in the refertilization experiments. The micronutrient fertilizers were fertilizer borate, copper sulphate, manganese sulphate and a micronutrient mixture (Kemira Co.). Ditch cleaning and/or light stand treatment had usually been performed on the older drained peatland areas in connection with establishment of the fertilization experiments.

The magnitude of the growth increment obtained with single fertilization depended on the nitrogen content of the substrate. On nitrogen-poor peatlands (N content in the surface peat below 1.7 %) PK fertilization increased the volume growth of pine during the 7-year period by only 0.2–0.3 m³/ha⁻¹/a⁻¹. NPK fertilization gave a corresponding increase of 0.7–0.9 m³/ha⁻¹/a⁻¹. NPK increased the growth most during 3–5 years after fertilization, and continued to have an effect on stand growth for about 10 years. The effect of fertilization was reflected in the needles as slightly elevated P and K concentrations.

On nitrogen-rich peatlands (N content in the surface

peat over 2.1 %), both the PK and NPK treatments resulted in a strong growth reaction that was still continuing at the time the stands were measured (7–12 years after fertilization). During the 7-year period after fertilization the PK treatment increased the growth by about 60 % and the NPK treatment by about 70 % compared to the unfertilized plots. At its greatest the annual growth increase was 2–4 m³/ha depending on the experiment. This indicated that P was the nutrient most restricting growth. According to the results of foliar analysis, macronutrient fertilization clearly increased the foliar P and K concentrations, and decreased the foliar N concentration. Fertilization also resulted in a decrease in the B, Mn, Zn, Mg and Cu concentrations.

Repeated fertilization was mainly carried out in the stands treated with basic PK fertilization. The effect of refertilization on the nitrogen-poor sites was similar to that obtained with the first fertilization. P and/or K was not very important. On the other hand, the NPK treatment increased the stand growth by about 1–1.5 m³/ha⁻¹/a⁻¹ during the 10-year period. Repeated nitrogen fertilization alone gave, in many cases, a growth increment of almost the same magnitude as the NPK treatment. As a result of the added nitrogen, the trees were presumably able to continue utilizing during this period the P, and possibly also the K, given in basic fertilization.

Refertilization carried out in the experiments on nitrogen-rich sites 10–15 years after basic PK fertilization increased stand growth to a lesser extent during the first 5-year period than after the first fertilization. A marked reaction (0.7–1.4 m³/ha⁻¹/a⁻¹) only occurred after NPK treatment, i.e. nitrogen was required on the relatively fertile sedge-rich papillosum/herb-rich sites. The reason for the modest reaction (0–0.8 m³/ha⁻¹/a⁻¹) of the repeated PK treatment is most probably due to the fact that the effect of basic PK fertilization continued during the period after refertilization. The P and K given in the basic treatment affected the foliar nutrient concentrations for at least 15–20 years. The foliar P, and especially K concentrations increased as a result of refertilization. It was concluded that refertilization with K is required at an earlier stage than for P.

The application of micronutrient fertilizer (B, Zn, Mn, Cu) on the nitrogen-rich peatlands in connection with macronutrient fertilization had no effect on stand growth. However, micronutrient fertilization raised the foliar B

concentration and prevented a decrease in the foliar Mn and Cu concentrations caused by utilization of the added macronutrients.

The abnormally large doses of nitrogen caused crown dieback and direct tree mortality in the refertilization experiments on fertile pine swamps. Mortality increased strongly when nitrogen was given at levels above 200 kg/ha. Powdered PK fertilizer and urea caused boron deficiency in the form of crown dieback and growth disorders. The number of growth disorders was positively correlated with the foliar N and P concentrations, and negatively with the foliar Mn, Zn, Cu and B concentrations. The foliar N/B ratio explained 55 % of the variation in crown dieback. Granular PK fertilizer containing boron did not cause any growth disorders.

The site and stand factors affecting the fertilization reaction of the tree stand were investigated using correlation, regression and factorial analyses. The natural growth variation caused by climatic factors was eliminated from the material by means of growth indices. The growth index for peatland pine stands during the 1970's did not differ significantly from the growth indices prepared for stands growing on mineral soils. The independent variables for the single fertilization experiments were the fertilization treatment and fertilizer dose, the time elapsed since fertilization, the fertility level of the site and peat

thickness, and in the refertilized experiments also the stand volume. Only 20–30 % of the variation in growth in the single fertilization experiments was explained by these regression models. Including the stand volume in the refertilization experiments increased the coefficient of determination to 59–74 %. The growth index correction did not essentially improve the properties of the models.

The variation in the growth increment of the stand was also investigated. The magnitude of the reaction to PK fertilization on the single fertilization plots was positively correlated with the nitrogen concentrations in both the needles and substrate. In contrast, the effect of the NPK treatment was independent of the nitrogen level. When the nitrogen content of the peat exceeded 2.4 % and the foliar needle concentration 1.5 %, the PK and NPK treatments gave almost the same growth increment. The foliar N and K concentrations explained 78 % of the variation in the growth reaction given by the PK treatment, and 43.5 % of the variation in the effect of the NPK treatment.

The nutrient concentrations in the substrate and needles in the refertilization experiments did not correlate significantly with the magnitude of the fertilization reaction. Only a very small proportion of the variation in the growth reaction was explained by the nutrient concentrations.

Liite 1. Kasvualustan pääravinnepitoisuudet koeryhmittäin, lannoittamattomat koealat.
Appendix 1. Main nutrient concentrations in peat by fertilization series, unfertilized plots.

Koe <i>Experiment</i>	Suotyyppi <i>Mire site type 1)</i>	Turvekerros (5-10 cm) <i>Peat layer (5-10 cm)</i>		
		N %	P mg/g	K mg/g
Niukkatyyppiset rämeet, kertalannoitus - Nitrogen-poor peatlands, single fertilization.				
7/71 Rakka	Ptkg	1,66	2,81	0,52
3/77 Rakka	Ptkg	1,50	2,96	0,75
174 Oksansuo	Ptkg	1,50	1,50	0,52
183 Jylkky	Ptkg-VSRmu	1,33	1,29	0,59
185 Oksansuo	VSRmu	1,75	1,43	0,59
186 Itkusuo	KgRmu	1,34	0,98	0,48
Runsastyyppiset rämeet, kertalannoitus - Nitrogen-rich peatlands, single fertilization				
Muhos 203	VSR-RhSRmu	2,65	1,55	0,67
Muhos 213	VSR-VSNmu	2,21	1,33	0,26
Muhos, Karhunmaa 1	RhSRmu-Mtkg	2,15	1,72	0,23
Muhos, Lääväsuo 1/76	VSRmu-Ptkg	ei tiedossa - <i>n.d.</i>		
Pyhäjärvi, Parkunsuo	LkR-VSR	2,06	1,31	0,35
Niukkatyyppiset rämeet, jatkolannoitus - Nitrogen-poor peatlands, refertilization				
Vaala I	PsRmu	1,04	1,10	0,66
Vaala II	RamTRmu	2,64	1,27	0,39
Puolanka	TR-PsRmu	1,89	0,91	0,40
Paltamo	TRmu	1,69	1,65	0,21
Vuolijoki	KgRmu	1,09	0,89	0,75
Pudasjärvi	TR-VSRmu	1,36	0,92	0,46
Runsastyyppiset suot, jatkolannoitus, kokeet vuosilta 1974-75 - Nitrogen-rich peatlands, refertilization, experiments established 1974-75				
Sievi	VSN-RhSNmu	2,35	1,33	0,36
Pyhäntä	VSRmu	1,78	1,33	0,53
Yli-li	VSN-RhSN	2,55	1,92	0,40
Runsastyyppiset rämeet, jatkolannoitus, vuoden 1978 kokeet - Nitrogen-rich peatlands, refertilization, experiments established 1978				
Köhisevä 1	Ptkg	2,00	0,85	0,22
Köhisevä 2	VSRmu	2,48	1,36	0,28
Köhisevä 3	VSRmu	2,23	1,21	0,19
Vesikkosuo 1	Mtkg	2,46	1,19	0,35
Vesikkosuo 2	VSRmu	2,13	1,01	0,48
Vesikkosuo 3	LkR	2,48	1,25	0,36

1) Ks. - See Heikurainen & Pakarinen (1983).

Liite 2. Männynneulasten ravinnepitoisuudet niukkatyyppisten rämeiden kertalannoituskokeilla. * = ero nollaan merkitsevä Tukeyn testissä.

Appendix 2. Nutrient concentrations in the pine needles in the single fertilization experiments on nitrogen-poor pine swamps. * = difference statistically significant compared to zero according to the Tukey test.

	0	PK	NPK
Muhos Rakka 3/77 - lannoituksesta 7 kasvukautta - 7 years from fertilization			
N %	1,08	1,07	1,08
P mg/g	1,32	1,40	1,46
K mg/g	4,60	4,88	4,78
Ca mg/g	2,31	1,99	2,29
Mg mg/g	1,19	1,04	1,13
Fe ppm	32,7	34,3	29,7
Mn ppm	219	256	201
Zn ppm	41,5	40,0	38,2
Cu ppm	2,8	2,5	3,1
B ppm	8,7	10,9	9,6
Muhos Oksansuo 185 - lannoituksesta 9 kasvukautta - 9 years from fertilization			
N %	1,26	1,26	1,24
P mg/g	1,51	1,66	1,74*
K mg/g	4,95	5,22	4,93
Ca mg/g	2,03	1,97	1,95
Mg mg/g	1,14	1,04	1,07
Fe ppm	42,1	42,0	44,6
Mn ppm	218	161	136
Zn ppm	41,9	40,5	42,2
Cu ppm	3,0	2,8	3,1
B ppm	10,7	11,3	6,8
Muhos Itkusuo 186 - lannoituksesta 8 kasvukautta - 8 years from fertilization			
N %	1,07	1,10	1,04
P mg/g	1,20	1,46	1,47
K mg/g	3,76	4,73*	4,65*
Ca mg/g	2,19	1,92	1,70
Mg mg/g	1,16	0,93	1,01
Fe ppm	34,9	39,1	30,0
Mn ppm	323	139	145
Zn ppm	86,6	77,9	74,7
Cu ppm	2,7	2,6	2,3
B ppm	11,8	16,2	17,8

Liite 3. Neulasten ravinnepitoisuudet runsastyyppisten rämeiden kertalannoituskokeilla. * = ero nollaan merkitsevä Tukeyn testin mukaan.

Appendix 3. Nutrient concentrations in the pine needles in the single fertilization experiments on nitrogen-rich pine swamps. * = difference statistically significant compared to zero according to the Tukey test.

	0	PK	NPK
Muhos Oisava 203 - lannoituksesta 6 kasvukautta - 6 years from fertilization			
N %	1,39	1,37	1,40
P mg/g	1,20	1,47*	1,49*
K mg/g	3,83	4,25	4,33
Ca mg/g	2,20	2,33	2,17
Mg mg/g	1,36	1,26	1,36
Fe ppm	42,3	44,4	42,3
Mn ppm	287	213*	215*
Zn ppm	50,1	42,7	42,4
Cu ppm	3,1	3,4	2,3
B ppm	8,0	4,9	4,1
Muhos Jylkky 213 - lannoituksesta 5 kasvukautta - 5 years from fertilization			
N %	1,54	1,31*	1,33*
P mg/g	1,08	1,57*	1,49*
K mg/g	3,30	5,17*	4,77*
Ca mg/g	1,58	1,70	1,60
Mg mg/g	1,44	1,21*	1,19*
Fe ppm	38,9	38,6	41,9
Mn ppm	318	232	223
Zn ppm	53,8	48,1	45,2
Cu ppm	3,5	2,9	2,7*
B ppm	13,6	28,1*	22,0*
Pyhäjärvi Parkunsuo - lannoituksesta 12 kasvukautta - 12 years from fertilization			
N %	1,60	1,38*	1,44*
P mg/g	1,35	1,88*	1,83*
K mg/g	3,67	4,40*	4,33*
Ca mg/g	1,83	1,93	1,97
Mg mg/g	1,12	1,13	1,05
Fe ppm	40,3	36,8	37,8
Mn ppm	340	297	286
Zn ppm	47	37*	35*
Cu ppm	3,6	3,2*	3,0*
B ppm	11,9	8,1*	8,5*

Liite 4. Neulasten ravinnepitoisuudet Sievin jatkolannoituskokeella 4.4.1984 (sarat 14 ja 15). Peruslannoitus 1965: hienofosfaatti 500–600 kg/ha ja kalisuola 150–200 kg/ha. Jatkolannoitus syksyllä 1974: PK = jauheinen suometsien PK-lannos 200–400 kg/ha, K = kalisuola 200 kg/ha, N = urea 200 kg/ha. Hiv- = ei hivenlannoitusta, Hiv+ = hivenlannoitus (lannoiteboraatti 10, kuparisulfaatti 10 ja mangaanosulfaatti 30 kg/ha).

Appendix 4. Foliar nutrient concentrations in the refertilization experiment (strips 14 and 15) at Sievi on 4.4.1984. Basic fertilization 1965: fine-ground rock phosphate 500–600 kg/ha and potassium chloride 150–200 kg/ha. Refertilization in autumn 1974: powdered PK-fertilizer for peatlands 200–400 kg/ha, potassium chloride 200 kg/ha, urea 200 kg/ha. Hiv- = no micronutrients, Hiv+ = micronutrients (borate fertilizer 10, copper sulphate 10 and manganese sulphate 30 kg/ha).

Ravinne Nutrient	Lannoituskäsittely - Fertilization							
	0		PK		PK+N		PK+N+K	
	Hiv-	Hiv+	Hiv-	Hiv+	Hiv-	Hiv+	Hiv-	Hiv+
N %	1,49	1,54	1,47	1,56	1,49	1,54	1,54	1,46
P mg/g	1,64	1,66	2,09	2,39	1,93	2,01	1,91	1,88
K mg/g	3,86	4,24	4,94	4,79	4,49	4,69	5,18	4,62
Ca mg/g	2,57	2,40	2,84	2,77	2,67	2,56	2,66	2,88
Mg mg/g	1,53	1,46	1,39	1,53	1,40	1,54	1,27	1,32
Fe ppm	44,9	40,8	37,3	43,1	39,1	41,7	44,9	46,0
Zn ppm	56,4	54,0	47,5	47,0	46,9	49,4	44,1	42,9
Mn ppm	423	402	356	409	299	383	304	350
Cu ppm	3,4	3,9	2,7	3,3	3,0	3,5	2,9	3,3
B ppm	10,6	20,9	12,5	27,1	11,9	24,6	9,5	20,8

	Lannoituskäsittely - Fertilization					
	N		K		N+K	
	Hiv-	Hiv+	Hiv-	Hiv+	Hiv-	Hiv+
N %	1,50	1,58	1,62	1,55	1,51	1,74
P mg/g	2,03	1,82	1,87	1,65	1,92	1,73
K mg/g	4,19	4,28	5,22	4,99	5,34	5,28
Ca mg/g	2,58	2,52	2,91	2,59	2,97	2,63
Mg mg/g	1,50	1,48	1,35	1,27	1,30	1,26
Fe ppm	45,3	41,1	45,6	44,9	38,4	46,8
Zn ppm	47,5	38,5	54,1	52,2	50,4	58,8
Mn ppm	429	473	433	438	376	487
Cu ppm	2,5	2,8	3,0	3,5	2,7	3,8
B ppm	12,2	25,9	16,3	24,0	9,6	23,6

2-suuntaisen varianssianalyysin p-arvot - *p values for two-way variance analysis:*
 alleviivatut arvot = lannoitusvaikutus tilastollisesti merkitsevä -
 underlined values = statistical differences between treatments

	N/P/K-käsittelyt N/P/K-treatments	Hivenkäsittely Micronutrient treatment	Yhdysvaikutus Interaction
N	0,652	0,207	0,561
P	0,056	0,758	0,812
K	<u>0,001</u>	0,767	0,695
Ca	0,428	0,275	0,896
Mg	<u>0,006</u>	0,656	0,377
Fe	0,424	0,431	0,262
Zn	0,178	0,840	0,888
Mn	<u>0,018</u>	<u>0,031</u>	0,570
Cu	<u>0,018</u>	<u>0,001</u>	0,880
B	0,143	<u>0,000</u>	0,705

Liite 5. Neulasten ravinnepitoisuudet Kõhisevällä maaliskuussa 1988. PK-peruslannoitus 1960-luvun alussa, jatkolan-
noitus keväällä 1978: PK = rakeinen Suometsien PK-lannos, Os = Oulunsalpietari, Hiv = hivenseos + lannoite-
boraatti. * = ravinnepitoisuus eroaa Tukeyn testin mukaan merkitsevästi lannoittamattomasta.

Appendix 5. Foliar nutrient concentrations at Kõhisevä in March, 1988. PK-basic fertilization in the early 1960's,
refertilization in spring 1978: PK = granular PK-fertilizer for peatlands, Os = ammonium nitrate with lime, Hiv =
micronutrient mixture + borate fertilizer. * = the difference is statistically significant compared to zero according
to the Tukey test.

Lannoite Fertilizer kg ha ⁻¹	Ravinne - Nutrient									
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Koe - Experiment 1.										
Ei jatkol. - No refert.	1,32	1,38	4,00	2,03	1,20	36,8	546	39,9	3,0	18,6
PK500	1,43	1,90*	4,62	1,93	1,19	41,9	446	36,7	2,6	21,6
PK500 Os363	1,35	1,71	4,04	2,09	1,09	35,5	432	30,3*	2,1*	21,9
PK500 Os363 Hiv	1,34	1,74	4,29	1,92	1,06	35,1	331	32,1*	2,9	28,7*
Koe - Experiment 2.										
Ei jatkol. - No refert.	1,36	1,87	3,45	1,62	1,30	37,7	253	32,5	2,5	13,1
PK500	1,38	1,83	4,45*	1,74	1,04*	35,3	198	31,4	2,3	21,6*
PK500 Os181	1,25	1,74	4,79*	2,01	0,97*	46,2	224	32,9	2,5	20,0
PK500 Os363	1,45	1,86	4,06	1,69	1,05*	37,3	183	27,5	2,1*	20,0
PK500 Os363 Hiv	1,35	1,72	4,01	2,06	1,05*	34,5	204	29,0	2,8	28,2*
PK500 Os727	1,42	1,76	4,38*	2,03	0,98*	35,5	191	30,0	1,6*	19,9
Koe - Experiment 3.										
Ei jatkol. - No refert.	1,24	1,98	4,60	1,92	1,24	43,9	265	49,1	2,8	18,6
PK500	1,27	2,23	4,64	1,66	1,07*	46,2	218	46,5	2,6	18,5
PK500 Os181	1,22	2,05	4,71	1,97	1,23	43,2	193	47,8	3,1	22,0
PK500 Os363	1,26	2,01	4,84	1,58	1,02*	41,0	182	38,7*	2,4	20,1
PK500 Os363 Hiv	1,24	2,18	5,25	1,86	1,14	43,5	209	48,6	3,5	27,9*
PK500 Os727	1,18	2,01	3,97	1,54	1,07*	41,7	216	38,9*	2,6	19,3
Yhdistetty kokeet 1-3 - Experiments 1-3 combined										
Ei jatkol. - No refert.	1,30	1,78	4,10	1,86	1,24	40,1	342	41,7	2,8	17,1
PK500	1,35	2,02	4,58	1,76	1,09*	41,8	277	38,6	2,5	20,3*
PK500 Os181	1,23	1,93	4,74	1,98	1,12*	44,4	206	41,8	2,9	21,2*
PK500 Os363	1,34	1,88	4,39	1,75	1,05*	38,3	254	33,1	2,3*	20,6*
PK500 Os363 Hiv	1,30	1,92	4,62	1,94	1,09*	38,5	243	38,3	3,2	28,2*
PK500 Os727	1,28	1,91	4,1	1,73	1,03*	39,2	206	35,4	2,2*	19,5

Liite 6. Neulasten ravinnepitoisuudet Vesikkosuolla maaliskuussa 1988. PK-peruslannoitus 1960-luvun alussa, jatkolannoitus keväällä 1978: PK = rakeinen Suometsien PK-lannos, Os = Oulunsalpietari, Hiv = hivenseos + lannoiteboraatti. * = ravinnepitoisuus eroaa Tukeyn testin mukaan merkitsevästi lannoittamattomasta.

Appendix 6. Foliar nutrient concentrations at Vesikkosuo in March, 1988. PK-basic fertilization in the early 1960's, refertilization in spring 1978: PK = granular PK-fertilizer for peatlands, Os = ammonium nitrate with lime, Hiv = micronutrient mixture + borate fertilizer. * = the difference is statistically significant compared to zero according to the Tukey test.

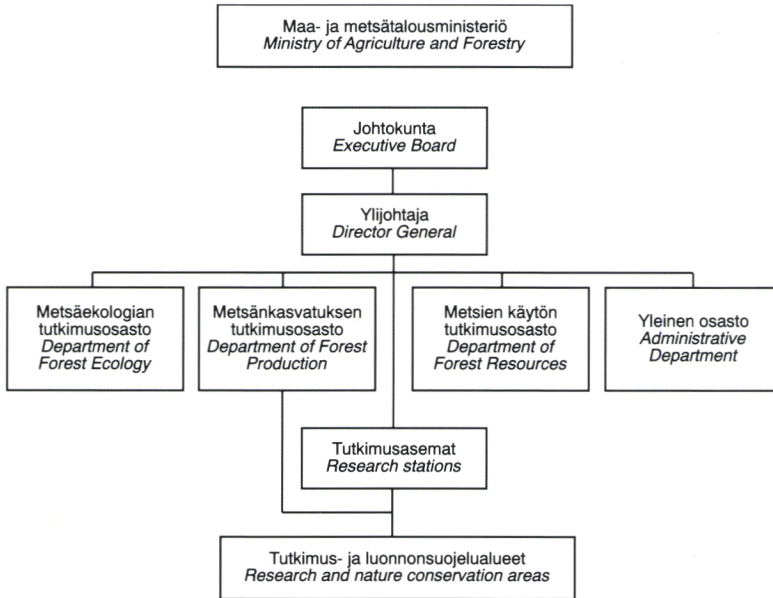
Lannoite Fertilizer kg ha ⁻¹	Ravinne - Nutrient									
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Koe - Experiment 1.										
Ei jatkol. - No refert.	1,33	1,29	3,64	1,65	0,92	47,0	284	30,7	3,0	14,5
PK500	1,34	1,89*	4,58*	1,92	1,02	48,0	313	42,9	2,9	20,8*
PK500 Os181	1,39	1,77	3,80	1,81	1,10	49,0	193	28,2	2,5	21,5*
PK500 Os363	1,39	1,83	4,29	1,62	1,01	46,4	173	31,6	2,4	24,0*
PK500 Os363 Hiv	1,37	1,64	3,90	1,71	1,09	58,1	256	29,9	3,1	28,2*
PK500 Os727	1,42	1,60	3,92	1,46	0,98	50,1	224	29,7	2,3	17,1
Koe - Experiment 2.										
Ei jatkol. - No refert.	1,25	1,41	3,21	1,63	1,47	44,6	224	41,3	3,6	14,4
PK500	1,31	2,00*	4,76*	1,96	1,33	47,8	202	44,1	2,8	22,0
PK500 Os181	1,31	2,02*	4,64	2,22	1,22	53,2	271	41,2	2,9	21,8
PK500 Os363	1,29	1,97*	4,36	1,96	1,31	45,1	187	41,1	3,0	36,8
PK500 Os363 Hiv	1,25	1,87*	4,55	1,59	1,15	45,4	210	39,3	4,4	25,4
PK500 Os727	1,41	1,87*	4,21	1,74	1,12	47,4	174	36,4	2,8	20,6
Koe - Experiment 3.										
Ei jatkol. - No refert.	1,25	1,89	3,40	1,62	1,23	42,2	204	43,6	3,4	11,9
PK500	1,27	1,88	4,56	1,67	1,03	40,8	153	44,1	2,9	19,3
PK500 Os181	1,25	1,75	4,03	1,62	1,15	63,8	157	41,6	3,0	20,1
PK500 Os363	1,41	1,95	4,34	1,37	1,08	48,3	131	38,4	2,6	19,6
PK500 Os363 Hiv	1,27	1,89	4,79	1,69	1,05	52,4	178	40,8	3,4	23,1*
PK500 Os727	1,18	1,93	4,29	1,68	1,12	43,0	151	39,4	2,4	18,7
Yhdistetty kokeet 1-3 - Experiments 1-3 combined										
Ei jatkol. - No refert.	1,28	1,53	3,42	1,63	1,20	44,6	237	38,5	3,3	13,6
PK500	1,31	1,92*	4,63*	1,85	1,12	45,6	222	43,7	2,9	20,7
PK500 Os181	1,32	1,85*	4,16*	1,88	1,15	55,3	207	37,0	2,8	21,1*
PK500 Os363	1,36	1,91*	4,33*	1,65	1,13	46,6	164	37,0	2,7*	26,8*
PK500 Os363 Hiv	1,30	1,80*	4,43*	1,66	1,09	52,0	215	36,7	3,6	25,6*
PK500 Os727	1,33	1,80*	4,14*	1,62	1,07	46,8	183	35,2	2,5*	18,8

Liite 7. Turpeen (5–10 cm) ja neulasten ravinnepitoisuuksien ja puuston lannoitusreaktion väliset korrelaatiot ryhmittäin koko aineistossa.

Appendix 7. Correlation between the nutrient concentrations in the peat (5–10 cm) and needles and the fertilization reaction in stands.

	Turve - Peat	Neulaset - Needles		
	N	N	P	K
PK-peruslannoitus - <i>PK-basic fertilization</i>	.711**	.765**	-.313	-.686*
NPK-peruslannoitus - <i>NPK-basic fertilization</i>	.196	.614*	-.266	-.441
PK-jatkolannoitus - <i>PK-refertilization</i>	.175	-.008	-.597**	-.409
NPK-jatkolannoitus - <i>NPK-fertilization</i>	.199	-.178	-.251	-.128

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*



Metsäntutkimuslaitos — *The Finnish Forest Research Institute*

Unioninkatu 40 A, FIN-00170 Helsinki, Finland

tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308, telex 121298 metla sf

Ylijohtaja — *Director General*

Eljas Pohtila

Hallintojohtaja — *Administrative Director*

Tero Oksa

Tiedotuspäällikkö — *Head of Information*

Marja Ruutu

Metsäekologian tutkimusosasto — *Department of Forest Ecology*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Eero Paavilainen

Metsänkasvatuksen tutkimusosasto — *Department of Forest Production*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Jari Parviainen

Metsien käytön tutkimusosasto — *Department of Forest Resources*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Risto Seppälä

Tutkimusasemat — *Research Stations*

Joensuu

Parkano

Kannus

Punkaharju

Kolari

Rovaniemi

Muhos

Suonenjoki



- No 808 Juntunen, Marja-Liisa & Suomäki, Hanna-Leena: Ikääntyvät metsäkoneyrittäjät ja hakkuun koneellistuminen.
Aging forest machine contractors and the mechanization of wood harvesting.
- No 809 Heikkilä, Risto, Lilja, Arja & Härkönen, Sauli: Rauduskoivuntaimien toipuminen latvan katkeamisen jälkeen.
Recovery of young *Betula pendula* trees after stem breakage.
- No 810 Kaunisto, Seppo, Moilanen, Mikko & Issakainen, Jorma: Apatiitti ja flogopiitti fosfori- ja kaliumlannoitteina suomänniköissä.
Apatite and phlogopite as phosphorus and potassium fertilizers in peatland pine forests.
- No 811 Kaitera, Juha & Jalkanen, Risto: Surmakka Rikkilehdon männikössä Sallassa.
Gremmeniella abietina on Scots pine in Rikkilehto stand in Salla, northern Finland.
- No 812 Pesonen, Mauno & Hirvelä, Hannu: Harvennusemetsien määrä ja harvennushakkuuden liiketaloudellinen merkitys.
Amount of thinning forests and profitability of thinnings in Finland.
- No 813 Varmola, Martti: Viljelymänniköiden alkukehitystä kuvaava metsikkömalli.
A stand model for early development of Scots pine cultures.
- No 814 Nieminen, Mika & Ahti, Erkki: Talvilannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen karulta suolta.
Leaching of nutrients from an ombrotrophic peatland area after fertilizer application on snow.
- No 815 Heikkilä, Risto: Ravinnon määrän ja puulajikoostumuksen vaikutus hirven ravinnonkäyttöön ja taimihuoihin mäntytaimikoissa.
Effects of food quantity and tree species composition on moose (*Alces alces*) browsing in Scots pine plantations.
- No 816 Uusvaara, Olli: Pystykarsituista männiköistä valmistetun sahatavaran laatu ja arvo.
Quality and value of sawn goods from pruned Scots pine stands.
- No 817 Kanninen, Kaija: Sisäisten mallien teoria hakkuutyötapaturmien selittäjänä.
Theory of internal models in explaining logging accidents.
- No 818 Mäkinen, Pekka: Metsäkoneyrittämisen menestystekijät.
Success factors for forest machine contractors.
- No 819 Tamminen, Pekka: Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominaisuuksien avulla Etelä-Suomen kangasmetsissä.
Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South Finland using site properties.
- No 820 Moilanen, Mikko: Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla.
Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine on drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu.