

11. 10. 93



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1993

810

Seppo Kaunisto, Mikko Moilanen & Jorma Issakainen

APATIITTI JA FLOGOPIITTI FOSFORI- JA KALIUMLANNOITTEINA
SUOMÄNNIKÖISSÄ

Apatite and phlogopite as phosphorus and potassium fertilizers in peatland
pine forests

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.*

FOLIA FORESTALIA 810

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1993

Seppo Kaunisto, Mikko Moilanen & Jorma Issakainen

APATIITTI JA FLOGOPIITTI FOSFORI- JA KALIUMLANNOITTEINA
SUOMÄNNIKÖISSÄApatite and phlogopite as phosphorus and potassium fertilizers
in peatland pine forests

Approved on 25.5.1993

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	3
2	AINEISTO	4
2.1	Tutkimuskohteet ja koejärjestelyt	4
2.2	Aineiston keruu ja käsittely	6
3	TULOKSET	7
3.1	Turpeen happamuus	7
3.2	Turpeen ravinnemäärät	7
3.2.1	Fosfori- ja kaliumlähteen vaikutus	7
3.2.2	Kaliumlähteen ja -määrän vaikutus	9
3.3	Neulasten ravinnepitoisuudet	10
3.3.1	Fosfori- ja kaliumlähteen vaikutus	10
3.3.2	Kaliumlähteen ja -määrän vaikutus	13
3.4	Puuston kasvu	14
4	TULOSTEN TARKASTELU	17
4.1	Aineisto	17
4.2	Turpeen ravinteet ja pH	17
4.3	Puuston reaktio	18
5	YHTEENVETO JA PÄATELMÄT	19
	KIRJALLISUUS — REFERENCES	20
	SUMMARY	21
	Liitteet — Appendices	23

Kaunisto, S., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1993. Apatiitti ja flogopiitti fosfori- ja kaliumlannoitteina suomänniköissä. Summary: Apatite and phlogopite as phosphorus and potassium fertilizers in peatland pine forests. *Folia Forestalia* 810. 30 p.

Tutkimuksessa vertailtiin apatiittia, raakafosfaattia, kalisuolaa ja flogopiittia puiden fosforin ja kaliumin lähteinä seuraavina yhdistelminä: raakafosfaatti+kalisuola, apatiitti+flogopiitti sekä raakafosfaatti+flogopiitti. Aineisto kerättiin yhdeksältä lannoituskokeelta (116 koealaa), joista suurimmalla osalla kasvualustassa oli niukasti kaliumia ja puille käyttökelpoista fosforia. Turpeen kokonaistyyppi 0–10 cm:n syvyydessä vaihteli matalista (0,9 %) kohtalaisen korkeisiin (2,6 %) pitoisuuksiin. Apatiitti osoittautui verrattain hyväksi puiden fosforin lähteeksi, joskin vaikutus sekä neulasten fosforipitoisuuksiin että puiden kasvuun oli raakafosfaatin vaikutusta hitaampi. Viive puuston kasvussa oli n. 3–8 vuotta. Flogopiittilannoituksen vaikutus neulasten kaliumpitoisuuksiin oli selvästi hitaampi kuin kalisuolan. Pitoisuudet 9–14 vuoden kuluttua lannoituksesta olivat kuitenkin yhtä korkeat tai korkeammat flogopiitilla kuin kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla. Flogopiitti ja kalisuola lisäsivät puuston kasvua hyvin samalla tavoin apatiitin yhteydessä käytettynä. Varastokaliumia oli jonkin verran enemmän flogopiittia kuin kalisuolaa saaneiden koealojen pintaturpeessa. Neulasten kaliumpitoisuudet kohosivat flogopiitin määrän (375–3000 kg/ha) kohotessa, mutta puuston kasvua 750 kg/ha suuremmat määrät eivät sanottavasti lisänneet. Lannoitus lisäsi puuston kasvua selvästi enemmän runsas- kuin vähätyppisillä turvemaidella.

Tree nutrition and growth were studied while using apatite and rock phosphate as phosphorus, and phlogopite and potassium chloride as potassium sources for pine on peatlands. Different fertilizer materials were compared in the following combinations: rock phosphate + potassium chloride, apatite + phlogopite and rock phosphate + phlogopite. The study involved nine different experiments totaling 116 plots. Most of the sites were deficient in phosphorus and potassium. Peat nitrogen content ranged from low (0.9 %) to fairly high (2.6 %) concentrations. Apatite was a satisfactory phosphorus source for trees, but the effects on both needle phosphorus concentrations and tree growth were slower than with rock phosphate. The delay in growth was 3–8 years. Phlogopite increased the peat total potassium contents slightly more than potassium chloride. Phlogopite raised needle potassium concentrations during the first 2–6 years after fertilization less than potassium chloride. However, 9–14 years after fertilization needle potassium concentrations were as high or higher with phlogopite than with potassium chloride. The growth response of trees to both potassium sources was quite similar. Needle potassium concentrations rose along with the increasing phlogopite applications (375–3000 kg/ha), but tree growth was affected only little with phlogopite amounts greater than 750 kg/ha. The growth response of trees to fertilization was more pronounced on sites with high nitrogen concentrations than on nitrogen poor sites.

Keywords: nutrition, *Pinus sylvestris*, foliar nutrients, soil nutrients, tree growth, fertilization.
FDC 237+114.444+174.7 *Pinus sylvestris*

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Parkano Research Station, FIN-39700 Parkano, Finland.

ISBN 951-40-1309-3
ISSN 0015-5543

Tampere 1993. Tammer-Paino Oy

1 Johdanto

Raakafosfaatti on pitkään ollut suometsien pääasiallinen fosforilannoite (Paavilainen & Huikari 1968, Paavilainen 1979, Moilanen & Penttilä 1988). Tämän, lähinnä Marokosta tuodun raakafosfaatin kadmiumpitoisuuden vuoksi lannoitteen valmistuksessa on siirrytty käyttämään kotimaista Siilinjärven apatiittimalmia. Apatiittia on tutkittu suometsien lannoituksessa 1960-luvulta lähtien (Karsisto 1976). Apatiitti on raakafosfaattia hidasliukoisempaa ja sen vaikutus puiden fosforitalouteen ja kasvuun on hitaampi kuin raakafosfaatin ja paljon hitaampi kuin superfosfaatin (Karsisto 1976, Lindholm ja Vasander 1988). Finérin (1989) mukaan kuuden vuoden kuluttua apatiittilannoituksesta männyn ja kuusen neulasten samoin kuin koivunlehtienkin fosforipitoisuudet olivat korkeampia lannoitetuilla kuin lannoittamattomilla räme- ja korpikoealoilla. Karsiston (1976 ja 1977) mukaan apatiitilla lannoitetun puuston kasvu saavutti raakafosfaatilla lannoitetun puuston kasvun 5–6 vuodessa. Käsitykset apatiitin käyttökelpoisuudesta puiden fosforinlähteenä turvemaille perustuvat kuitenkin vain muutamaankokokeeseen.

Kalium on lannoitteissa yleensä vesiliukoisena kalisuolana (KCl). Maassa kalium on joko maanesteessä tai heikosti sitoutuneena kationivaihtopaikkoihin (Kaila & Kivekäs 1956). Tästä syystä se on erittäin altis huuhtoutumiselle (Kivinen 1948, Ahti 1983, Malcolm & Cuttle 1983, Kaunisto 1992). Useissa tutkimuksissa onkin kaliumlannoituksen vaikutusajan todettu suometsissä jäävän fosforilannoituksen vaikutusaikaa lyhyemmäksi (esim. Kaunisto & Tukeva 1984, Kaunisto 1989 ja 1992).

Apatiittimalmin fosforia rikastettaessa jää jälleksi flogopiittia. Flogopiitti on kiillemineraali, joka sisältää hilarakenteeseensa erittäin tiukasti sitoutunutta kaliumia n. 8 % (Puustinen 1973). Kalium vapautuu hilarakenteesta vaihtoreaktiossa, joka riippuu kationien (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{+} , Al^{+++} , H^{+}) määrästä maanesteessä (Black, 1968). Mitä enemmän em. kationeja ja mitä vähemmän K^{+} -ioneja maanesteessä on sitä nopeampi on vaihtoreaktio. Apatiitti- ja flogopiittilannoituksen on

yhdessä todettu lisäävän mikro-organismien hajoitustoimintaa sekä kivennäismailla (Martikainen ym. 1989) että turpeessa (Silvola ym. 1985). Finérin (1989) tutkimuksessa flogopiittilannoitus lisäsi männyn ja koivun lehtien kaliumpitoisuuksia rämeellä. Kasvihuonekokeissa flogopiitin on todettu kohottavan koivunlehtien kaliumpitoisuutta, joskin kalisuolaa vähemmän (Moilanen ym. 1987). Toistaiseksi flogopiitista puiden kaliumtarpeen tyydyttäjänä turvemaille on kuitenkin niukasti tietoa.

Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston aloitteesta perustettiin 1970-luvun lopulla ja 1980-luvun alussa lannoituskokeita, jolla pyritään selvittämään vaikealiukoisien flogopiitin käyttökelpoisuutta vesiliukoiseen kalisuolaan verrattuna suopuustojen pitkäaikaisena kaliumin lähteenä. Kokeissa on lisäksi mahdollista vertailla keskenään apatiittia ja raakafosfaattia puiden fosforin lähteenä. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan em. fosfori- ja kaliumlähteiden sekä kaliumin määrän vaikutusta turpeen ravinnevaroihin ja neulasten ravinnepitoisuuksiin sekä puuston kasvuun.

Tutkimukseen käytettyjen lannoituskokeiden kojärjestelyt laati Jorma Issakainen, joka myös vastasi aineiston keruusta. Puustonmittausaineiston laskenta ja testaus tehtiin Mikko Moilasan johdolla. Seppo Kaunisto laati käsikirjoituksen paitsi lukua 34, jonka kirjoitti Mikko Moilanen. Muhoksen tutkimusosaston henkilökunnasta olivat työssä mukana myös Heikki Vesala (aineiston laskenta ja testaus) sekä Timo Mikkonen ja Anna-Liisa Mertaniemi (neulasten ravinneanalyysit). Turpeen ravinneanalyysit tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa. Kemira Oy antoi tutkimukselle taloudellista tukea. Tauno Suomilampi suoritti pääasiassa ravinneanalyysiaineistojen laskennan. Tiina Luoto ja Tuire Kilponen vastasivat kuvien piirtämisestä ja tekstinkäsittelystä. Leena Kaunisto tarkasti englanninkielisen tekstin. Käsikirjoituksen lukivat prof. Erkki Annala, dos. Jukka Laine ja MMT Pekka Tamminen antaen hyviä neuvoja käsikirjoituksen viimeistelyä varten.

Kaikille edellä mainituille sekä muille työn toteuttamisessa avustaneille esitämme parhaat kiitokset.

2 Aineisto

2.1 Tutkimuskohteet ja koejärjestelyt

Aineisto kerättiin yhdeksästä kokeesta, jotka perustettiin vuosina 1977–1981 pääasiassa Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen tutkimusalueeseen, mutta myös Keski-Pohjanmaalle Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusalueeseen sekä Kainuuseen Kajaani Oy:n maille (taulukko 1, kuva 1). Tutkimuksessa esitetyt kokeiden numerot 1–9 vastaavat alkuperäisten koeluettelojen mukaista numerointia seuraavasti:

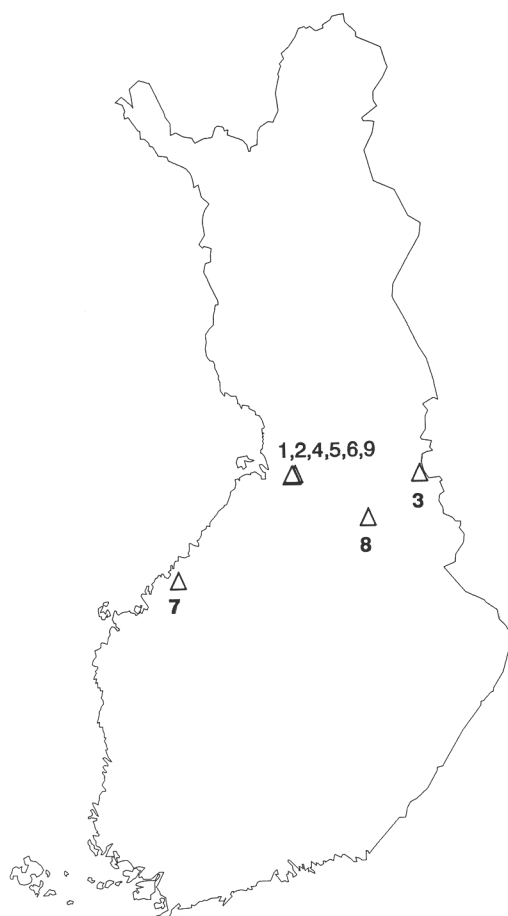
Koenumero tutkimuksessa	Koenumero koeluetelloissa
1	Metla, Muhos 2/77
2	Metla, Muhos 179
3	Metsähallitus, Purasjoki 5/77
4	Metla, Muhos 171 B
5	Metla, Muhos 248
6	Metla, Muhos 253
7	Metla, Fiskarholm 2/79
8	Kajaani Oy, 10/1980
9	Metla, Muhos 235

Kokeista osa oli vanhoja ojitusalueita, osa vain muutamia vuosia ennen lannoitusta ojitettuja alueita (taulukko 1). Kuusi koetta (1, 4, 5, 7–9) kunnostusojitettiin ennen lannoitusta. Yksi kokeista (koe 6) perustettiin viljelemällä männynllä (1 M, paakkutaimi) mätätetylle rimpiselle tupasvilla-suursaranevalle. Muissa kokeissa suotyyppeä vaihteli tupasvillärämeestä suursararämeeseen. Kaikissa kokeissa valtapuulaji oli mänty. Puuston koko vaihteli koikeita perustettaessa välillä 2–6 m paitsi kokeilla 7 ja 8, joilla puusto oli kookkaampaa (5–12 m). Turpeen paksuus vaihteli 50 cm:stä yli 150 cm:een (taulukko 1).

Turpeen pintakerroksen (0–20 cm) massaperusteiset ravinnepitoisuudet ja tilavuusperusteiset määrät pintakerroksessa (in situ) vaihtelivat kokeittain varsin paljon (näytteenotto- ja analyysimenetelmät luvussa 22). Esim. kokeiden 1, 3 ja 7 typpi- ja fosforipitoisuudet olivat erittäin matalia ja selvästi alempia kuin kokeissa 2, 4 ja 9 (liite 1). Typen ja fosforin määrissä erot em. ryhmien välillä olivat vielä suurempia (esim. typen osalta 4-kertaisia), koska kokeissa 1, 3 ja 7 turpeen tiheydet olivat pieniä (liitteet 1 ja 2). Viimeksi mainituissa kokeissa myös turpeen C/N-suhde oli huomattavan korkea. Erot kaliumpitoisuuksissa ja määrissä olivat yleensä edellistä vähäisempiä. Kokeiden välillä oli erittäin suuria eroja turpeen sinkki-, rauta- ja alumiinipitoisuuksissa ja -määrissä. Kokeiden sisällä näiden alkuaineiden määrien vaihtelu oli vähäisempää. Typen määrä korreloi positiivisesti alumiinin ja raudan määrien kanssa.

Tässä tutkimuksessa vertaillaan lähinnä raakafosfaatti + kalisuola ja apatiitti + flogopiitti -yhdistelmien (taulukko 2) sekä toisaalta flogopiitin ja kalisuolan määrien vaikutuksia (taulukko 3). Kokeissa 1 ja 2 tarkastellaan myös apatiitti + kalisuola -yhdistelmän vaikutusta. Toistojen määrä kokeissa vaihteli kahdesta viiteen. Kokeiden 1 ja 2 lannoitetut koealat lannoitettiin urealla (200 kg/ha) v. 1981 ja kokeiden 7 ja 9 v. 1986. Osa kokeesta 8 oli lannoitettu ennen kokeen perustamista, v. 1954 raakafosfaatilla (400 kg/ha). Muut kohteet olivat aikaisemmin lannoittamattomia.

Liitteessä 3 on esitetty eri kokeissa käytetyt fosfori- ja kaliumlähteet sekä niiden ravinnepitoisuudet. Kokeissa



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

Taulukko 1. Perustietoja kokeista. Vallitseva puulaji mänty.

Table 1. Basic information on experiments. The dominant tree species *Pinus sylvestris* (L.)

	Koe — Experiment								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Koordinaatit	7199	7199	7198	7197	7197	7198	7066	7143	7199
Coordinates	461	458	620	456	459	458	309	553	457
Korkeus m.p.y., m	71	69	218	74	69	71	24	175	73
Elevation a.s.l., m									
Ojitusvuosi	1974	1975	1976	1932	1971	1979	1962	1950–60	1939
Year of drainage									
Ojanperkaus	1983	–	–	1978	1980	–	1977	1987	1979
Ditch cleaning									
Sarkaleveys	(40)20	20	25–30	20	20	10	20–30	25–35	20–30
Ditch spacing									
Lannoitusvuosi ¹⁾	k1977	k1977	k1977	k1979	s1981	k1980	k1979	k1980	s1979
Year of fertilization ¹⁾									
Suotyypit ²⁾	TR–	VsR	TR–	TR–	TR–	LkN–	TR–	TR–	TR–
Site type ²⁾	PsR		VsR	VsR	PsR	VsN	PsR	PsR	VsR
Kuivatusaste ³⁾	oj	oj	oj	oj–mu	oj	oj	mu	mu	oj–mu
Drainage stage ³⁾									
Turvekerros, cm	60–150+	150+	50–100+	60–80	60–120	100+	70–100+	100+	70–90
Peat layer, cm									
Koealoja — Plots ⁴⁾	20	12	10	12	18	20	18	21	12
Toistoja — Replicates ⁴⁾	5	3	2	2	3	4	3	3	4
Puuston ikä d _{1,3} , v. 1990, a	11	21	23	14	17	0–3 ⁶⁾	72	41	19
Stand age d _{1,3} in 1990, a									
Puuston pituus, m ⁵⁾	2–6	2–6	0,5–5	2–4	1–5	0,1 ⁶⁾	3–8	3–12	0,5–5
Stand height, m ⁵⁾									

¹⁾ k = Kevät — Spring, s = Syksy — Autumn.

²⁾ TR = Cotton grass pine bog, VSR = Tall-sedge pine fen, VSN = Tall-sedge fen, PsR = Carex globularis pine swamp, LkN = low-sedge fen, Ri = with flarks, Ram = with *S. fuscum* hummocks. See Laine & Vasander (1990).

³⁾ oj = newly drained, mu = at transforming stage.

⁴⁾ Kaikki koealat mukana yksittäisten kokeiden varianssianalyysissä. Tuloksissa on esitetty vain taulukoiden 2 ja 3 mukaiset käsittelyt. — All plots included in the analyses of variance of the single experiments. In the results only the treatments according to Tables 2 and 3 are presented.

⁵⁾ Koetta perustettaessa — At the time of fertilization.

⁶⁾ Istutettu mätästettyyn pintaan v. 1980. Muissa kokeissa puustot luontaisesti syntyneitä. — Planted on a mounding site in 1980. Naturally born stands in the other experiments.

Taulukko 2. Kokeiden 1–6 ja 9 lannoituskäsittelyt. Lisäksi PK-lannoitetut koealat lannoitettiin kokeissa 1 ja 2 v. 1981 ja kokeissa 9 v. 1986 urealla (N 92 kg/ha).

Table 2. Fertilization treatments in Experiments 1–6 and 9. In addition PK fertilized plots were fertilized in Exps 1 and 2 in 1981 and in Exp. 9 in 1986 with urea (N 92 kg/ha).

Käsittely Treatment	Symboli Symbol	Koe — Experiment						
		1	2	3	4	5	6	9
0	0	x	x	x	x	x	x	x
Raakafosfaatti + KCl	rk	x	x	x	x	x	x	x
Rock phosphate + KCl								
Apat. + flog.	afl	x	x	x	x	x	x	x
Apat. + KCl	ak	x	x	–	–	–	–	–
Toistoja — Replicates		5	3	2	2	3	4	4

1–3 käytettiin jalostamatonta apatiittimalmia, joka sisältää myös kaliumia (flogopiittina), kalsiumia ja magnesiumia. Kokeissa käytetty flogopiitti oli fosforin rikastuksessa apatiittimalmista jäljelle jäävä jäte, jossa kali-

umin kokonaismäärä saattaa olla jopa yli 8 %. Tästä vain n. puolet on suolahapolla uuttuvaa (liite 3). Flogopiittiin sisältämä kaliumin määrä tässä tutkimuksessa laskettiin 5 %:n kaliumpitoisuuden mukaan. Useimmissa kokeissa

Taulukko 3. Kokeiden 7 ja 8 lannoituskäsittelyt. Kalilannoitetuille koealoille annettu apatiittia (P 46,5 kg/ha). Kokeelle 7 annettu lisäksi typpeä v. 1986.

Table 3. Fertilization treatments in Experiments 7 and 8. 31 kg/ha phosphorus as apatite applied on K fertilized plots. Exp. 7 fertilized also with urea (N 92 kg/ha) in 1986.

Koe/Käsittely Exp./Treatm.	Flogopiittia — <i>Phlogopite</i> , kg/ha ¹⁾										Toistoja Replicates	Koealoja Plots
	0	375	750	1125	1500	2000	2250	3000	3000	200		
	0	19	38	50	57	75	100	113	150	200		
7/flog.	x	x	x	—	x	x	—	x	—	—	3	18
8/flog.	x	—	x	—	—	x	—	—	x	—	3	12
8/KCl	—	—	—	x	—	—	x	—	—	x	3	9

1) Kaliumin määrä flogopiitissa laskettu 5 %:n K-pitoisuuden mukaan. — Amount of potassium in phlogopite calculated on the basis of 5 % potassium concentration.

flogopiittina annettu kaliumin määrä näin laskettuna jäi vertailuna olleen kaliumkloridin kaliummäärää pienemmäksi. Kokeissa 1–3, joissa käytettiin ravinlähteenä kaliumia sisältävää apatiittimateriaalia, oli tilanne kuitenkin päinvastainen.

2.2 Aineiston keruu ja käsittely

Jokaiselta koealalta otettiin turvenäyte 0–10 ja 10–20 cm:n kerroksista syksyllä v. 1990. Näytteenottokohdasta poistettiin ensin elävä kasvillisuus sekä mahdollinen raakahumus osittain. Koealaa edustava näyte koostettiin viidestä osanäytteestä kerroksittain. Neljä osanäytettä otettiin koealan lävistäjiltä suunnilleen keskipisteen ja kulmapaalujen puolivälillä sekä viides lävistäjien leikkauspisteestä. Turpeen paksuus mitattiin samoista pisteistä. Näytteet suljettiin muovipusseihin ja säilytettiin pakastettuina.

Turvenäytteet otettiin tilavuustarkkoina kahdella eri näytteenottolaitteella, joista toisella osanäytteen tilavuudeksi tuli 257 cm³ ja toisella 238 cm³. Kullakin kokeella käytettiin aina samaa näytteenottolaitetta, mutta tiedossa ei ole millä kokeella mitätin näytteenottolaitetta käytettiin. Tämän vuoksi tiheyden laskennassa on käytetty näytetilavuuksien keskiarvoa.

Turvenäytteistä analysoitiin liitteessä 1 esitettyjen kivennäisravinteiden (tuhkan suolahappouutos) ja boorin (tuhkan rikkihappo- ja fosforihappouutos) kokonaispitoisuudet kuivamassaa kohden sekä happamalla (pH 4,65) ammoniumasetaatilla uuttuva fosfori, kalium, kalsium ja magnesium (ks. myös Halonen ym. 1983). Typpi ja hiili (liite 2) määritettiin hiilityypianalysointilaitteella (LECO CHN-600). Muut ravinteet määritettiin plasmaemissiospektrometrillä (ICP/AES, ARL 3580). Valtaosa booriarvoista oli määrittämisen ilmoitusrajaa (0,04 mg/l) alempia, joten niitä ei tässä esitetä. Lisäksi maasta määritettiin tiheys sekä pH kuivatun näytteen vesisuspensiosta (turve/vesi V/V = 1/5). Kaikki turveanalyysit tehtiin Metsän-

tutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa.

Neulasnäytteitä otettiin keväällä vuosina 1982–85 eli 3–7 vuoden kuluttua sekä marras-joulukuussa vuonna 1990 eli 9–14 vuoden kuluttua lannoituksesta. Jokaiselta koealalta valittiin kuusi valtapuuta eri puolilta koealaa. Pienissä puustoissa näytteet otettiin ylimmästä oksakiehkurasta ja kookkaissa puustoissa (kokeet 7 ja 8) kolmannelta oksakiehkurasta tai mahdollisimman läheltä sitä viimeisestä neulasvuosikerrasta latvuksen eteläpuoleisesta osasta. Näytteitä otettiin 1–2 versosta neulasten koosta riippuen. Vuosina 1982–85 otetuista neulasnäytteistä analysoitiin typpi Kjeldahlin menetelmällä, fosfori ja boori spektrofotometrisesti sekä muut atomiabsorptiospektrofotometrillä (Perkin-Elmer 3810) Metsäntutkimuslaitoksen normaalein menetelmin (Halonen ym. 1983). Analyysit tehtiin METLA:n Muhoksen tutkimusasemalla. Vuonna 1990 otetuista näytteistä analysoitiin edellisten lisäksi myös kalsium, magnesium ja sinkki. Vuoden 1990 neulasnäytteiden analyysit tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa. Näytteet kuivattiin +60 °C:ssa ja ravinteet analysoitiin plasmaemissiospektrometrillä.

Taimikoista ja riukuvaiheesta olevista metsäkoista (nrot 1, 3–6 ja 9) mitattiin puuston pituuskasvun kehitys (v. 1990). Pituuskasvumittaukset ulotettiin 3–5 v. lannoitusta edeltäneeseen aikaan. Koepuita otettiin 20–25 kpl/koeala sarkojen poikki sijoitetulta 2–3 mittauslinjalta. Puista mitattiin pituus (h, dm), rinnankorkeusläpimitta ($d_{1,3}$, mm), vuotuiset pituuskasvut (i_h , cm) sekä ikä rinnankorkeudelta ($t_{1,3}$). Kokeista 2 ja 7 lannoitusreaktiota selvitettiin pohjapinta-alan kasvun avulla (I_G , m²/ha). Kaikista puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta. Koepuut (20–30 kpl/koeala) valittiin systemaattisella otannalla eri puolilta koealaa ja eri läpimittaluokista, kuitenkin isoimpia puita painottaen. Koepuut kairattiin rinnankorkeudelta ulottaen kairalastu vähintään 3 v. ennen lannoitusta edeltäneeseen sädekasvuun. Koepuista mitattiin sädekasvun (i_r , 0,01 mm) lisäksi pituus (h, dm) ja rinnankorkeusläpimitta ($d_{1,3}$, mm). Kokeesta 8 mitattiin myös koepuiden pituuskasvujaksot tilavuuskasvun (I_v , m³/ha/a) kehityk-

sen selvittämiseksi.

Tulosten laskennassa käytettiin BMDP-ohjelmiston taulukoivaa kaksisuuntaista varianssi- ja kovarianssianalyysiohjelmaa. Keskiarvojen erojen testauksessa käytettiin Tukey'n W-range-testiä (hsd, ks. esim. Steel & Torrie 1960, Mäkinen 1978). Puuston kasvureaktioissa käytettiin yleensä kovarianssianalyysiä, jossa kovariaattina oli selitettävän puustotunnuksen lannoitusta edeltänyt kas-

vu. Maan ja neulasten ravinnetunnuksia tutkittiin yleensä varianssianalyysillä, mutta turpeen kokonaisfosforin määrien laskennassa käytettiin kovarianssianalyysiä, jossa kovariaattina oli turpeen kokonaisalumiinipitoisuus. Kovariaatin käyttö katsottiin perustelluksi, koska turpeen fosforimäärä korreloi positiivisesti, lineaarisesti alumiinimäärien kanssa ja koska tässä yhteydessä pyrittiin selvittämään vain lannoituskäsittelyjen välisiä eroja.

3 Tulokset

3.1 Turpeen happamuus

Flogopiittia eniten saaneissa kokeissa (kokeet 8 ja 9) tuli koealoille magnesiumia ja kalsiumia yhteensä enimmillään n. 550 kg/ha (koe 8) ja kaliumia 150 kg/ha. Apatiitin ja flogopiitin suurimmat määrät eivät kuitenkaan vähentäneet merkitsevästi turpeen happamuutta, vaikka korkeimmat pH-arvot mitattiinkin suurimman lannoitemäärän saaneilla koealoilla (taulukko 4). Muissa kokeissa tilanne oli hyvin samantapainen.

3.2 Turpeen ravinnemäärät

3.2.1 Fosfori- ja kaliumlähteen vaikutus

Ravinnelähteen vaikutusta turpeen ravinnemääriin tutkittiin sekä kokeittain (liitteet 4a ja b) että kokeita yhdistellen (kuva 2, liitteet 4a ja b). Tarkastelussa olivat mukana kokeet 1–6 ja 9. Koska lannoitus vaikutti 10–20 cm:n turvekerroksen ravinnemääriin kokeittaisessa tarkastelussa tilastollisesti merkitsevästi vain poikkeustapauksissa, esitetään kyseisen turvekerroksen ravinne-

määriä vain kokeiden keskiarvoina (kuva 2).

Kokeiden 1–5 ja 9 pintakerroksen (0–10 cm) kokonaisfosforin määrissä ei kokeittain tarkasteltuna todettu tilastollisesti merkitseviä eroja lannoitettujen ja lannoittamattomien koealojen välillä (liite 4a). Lähes kaikissa tapauksissa lannoitetuilla koealoilla oli kuitenkin fosforia enemmän kuin lannoittamattomilla. Kokeiden yhteisanalyysissä ero lannoittamattomien ja lannoitettujen välillä osoittautui merkitseväksi (kuva 2, liite 4a). Kokeessa 6, jota ei otettu yhteisanalyysiin muista poikkeavan kasvualustansa ja puustonsa (käännettyyn turpeeseen istutettu taimikko) vuoksi, ero lannoitettujen ja lannoittamattomien koealojen kokonaisfosforin määrissä oli erittäin merkitsevä.

Liukaisen fosforin määrien erot olivat vähäisiä ja lannoituksesta riippumattomia. Kokeiden 1–5 ja 9 yhteisanalyysissäkään ei merkitseviä eroja ilmennyt (kuva 2, liite 4a). Liukaisen fosforin osuus kokonaisfosforista oli 2,7–11,0 % 0–10 cm:n ja 1,4–5,3 % 10–20 cm:n kerroksessa.

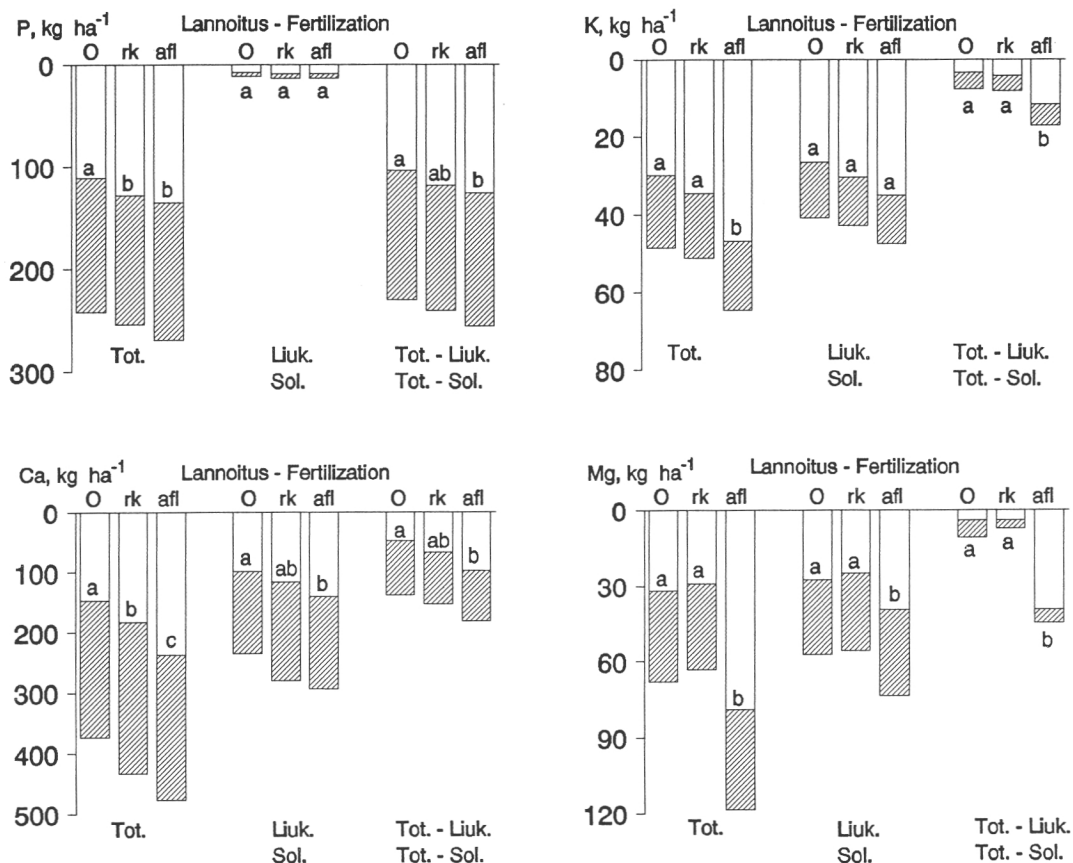
Kaliumin kokonaismäärä 0–10 cm:n kerroksessa oli lannoitetuilla koealoilla yleensä korkeampi kuin lannoittamattomilla (liite 4a). Flogopiittia saaneilla koealoilla oli 0–10 cm:n kerrok-

Taulukko 4. Flogopiitin määrän vaikutus turpeen pH-arvoon kokeissa 7 ja 8. Flogopiittikoealoille annettu myös apatiittia 300 kg/ha (P 46,5 kg/ha).

Table 4. Effect of phlogopite rate on peat pH in Experiments 7 and 8. Also apatite applied (300 kg/ha, P 46,5 kg/ha) on phlogopite fertilized plots.

Koe Exp.	Kerros, Layer, cm	Flogopiittia — Phlogopite, kg/ha							p ¹⁾
		0	375	750	1125 pH	1500	2250	3000	
7	0–10	3,5	3,4	3,5	3,5	3,5	3,6	–	>,05
	10–20	3,6	3,4	3,4	3,5	3,5	3,5	–	>,05
8	0–10	3,8	–	3,7	–	3,8	–	4,0	>,05
	10–20	3,8	–	3,7	–	3,8	–	3,8	>,05

¹⁾ p < 0,05, 0,01, 0,001 tilastollisesti merkitsevä 95,0, 99,0 ja 99,9 %:n luotettavuudella. — Significant at 95,0, 99,0, and 99,9 % confidence



Kuva 2. Lannoituksen vaikutus kokeissa 1–5 ja 9 fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin kokonaismääriin (tot.) ja ammoniumasetaatilla (pH 4,65) uuttuviin määriin (liuk.) sekä näiden erotukseen 0–10 cm:n (varjostamaton osa) ja 10–20 cm:n (varjostettu osa) turvekerroksessa. Selitykset: 0 = lannoittamaton, rk = raakafosfaatti + KCl, afl = apatiitti + flogopiitti. Samalla kirjaimella merkityt pylväät eivät ero tilastollisesti merkitsevästi toisistaan.

Fig. 2. Effect of fertilization on the total and ammonium acetate (pH 4.65) extractable amounts and their difference of phosphorus, potassium, calcium and magnesium in the 0–10 cm (white part) and 10–20 cm (hatched part) peat layer. Key: 0 = control, rk = rockphosphate + KCl, afl = apatite + phlogopite. Columns with the same letter do not deviate from each other statistically significantly.

nessa kaliumia keskimäärin merkitsevästi enemmän kuin kalisuolaa saaneilla tai lannoittamattomilla koealoilla (kuva 2, liite 4a). Viimemainittujen välinen ero ei ollut merkitsevä. Liukoisen kaliumin määrissä ei lannoituskäsittelyjen välillä ollut merkitseviä eroja. Syvemässä (10–20 cm) kerroksessa erot olivat vähäisiä. Varastokaliumia (kuva 2, kokonais- ja liukoisen kaliumin erotus) oli flogopiittikäsittelyssä merkitsevästi enemmän kuin kalisuolalla lannoitetuilla aloilla.

Apatiitti- ja flogopiittilannoitus lisäsivät kokonaiskalsiumin määrää 0–10 cm:n kerroksessa koetta 5 lukuunottamatta (liite 4b). Kokeiden 1–5 ja 9 yhteisanalysissä ero oli merkitsevä muihin koejäseniin verrattuna (liite 4b, kuva 2). Myös

liukoista kalsiumia oli apatiitti- ja flogopiittikäsittelyissä keskimäärin eniten, mutta tilanne vaihteli kokeittain.

Magnesiumin kokonaismäärä oli 0–10 cm:n kerroksessa kaikissa kokeissa korkein apatiittia ja flogopiittia saaneilla koealoilla (liite 4b). Kokeiden 1–5 ja 9 yhdistetyssä aineistossa ero oli erittäin merkitsevä muihin käsittelyihin verrattuna (kuva 2, liite 4b). Myös liukoista magnesiumia oli eniten apatiittia ja flogopiittia saaneilla koealoilla. Yhteisanalysissä ero oli erittäin merkitsevä (liite 4b).

Taulukko 5. Kaliumia (kg/ha) kokeen 8 pintaturpeessa annettaessa eri määriä kaliumia kalisuolana (k) ja flogopiittina (fl).

Table 5. Effect of potassium rate given as KCl (k) and phlogopite (fl) on the total peat potassium amount (kg/ha) in Exp. 8.

Liuk. Solubility	Kerros, Layer, cm	Laji Type	Lannoitetta — Fertilizer, kg/ha				\bar{x}	p ²⁾	w ₅ % ¹⁾
			0	100 k 750 fl	200 k 1500 fl	400 k 3000 fl			
Tot.	0–10	KCl	23	23	25	28	25	>,05 ³⁾ >,05 ⁴⁾	—
		Flog.		25	29	33	29		
	\bar{x}		24	27	30	27			
	p ²⁾					>,05 ⁴⁾			
	10–20	KCl	7	8	8	8	8		
		Flog.		7	8	11	9		
\bar{x}			8	8	10	9			
p ²⁾						>,05			
Liuk. Sol.	0–10	KCl	18	19	21	23	21	>,05 >,05	—
		Flog.		20	23	23	22		
	\bar{x}		20	22	23	22			
	p ²⁾					>,05			
	10–20	KCl	3	4	5	6	5		
		Flog.		5	5	8	6		
\bar{x}			4	5	7	5			
p ²⁾						>,05			

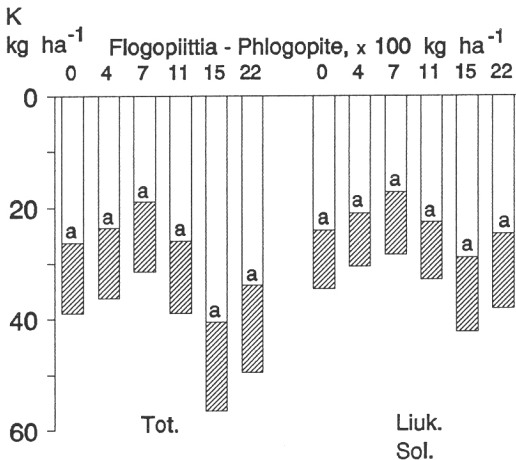
1) Keskiarvojen merkitsevä ero 5 % riskillä (p < 0,05) Tukeyn w-range testin (hsd) mukaan — Significant difference between means at 5 % risk level (p < 0.05) according to Tukey's w-range test (hsd).

2) Lannoittamattomat eivät mukana varianssianalyseissa — Unfertilized plots not included in the analyses of variance.

3) Kaliummäärän p-arvo — p value for potassium rate.

4) Lannoitelajin p-arvo — p value for fertilizer type.

5) Lannoitemäärän ja -lajin välinen yhdysvaikutus. — Interaction between the potassium rate and fertilizer type.



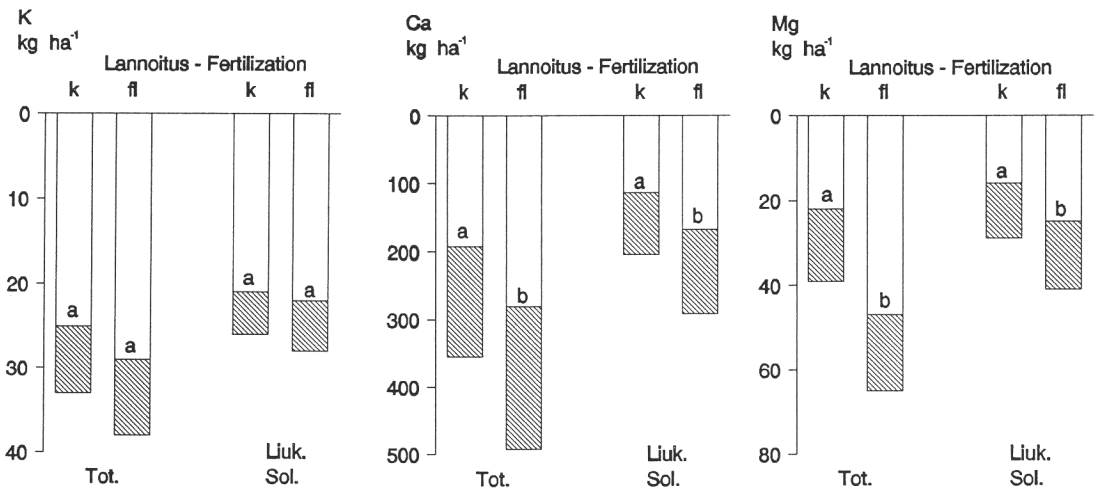
Kuva 3. Flogopiittiannostuksen vaikutus turpeen kaliumin määrään kokeessa 7. Flogopiitti sisältää 4,2 % HCl:lla uutuvaa kaliumia. Selitykset, kuten kuvassa 2.

Fig. 3. Effect of the phlogopite rate on the amount of potassium in Experiment 7. Phlogopite contains 4.2 % of HCl extractable potassium. Key as in Fig 2.

3.2.2 Kaliumlähteen ja -määrän vaikutus

Flogopiittina tai kalisuolana annetun kaliumin määrä kokeissa 7 ja 8 vaihteli välillä 19–200 kg/ha. Turpeen ravinnemäärissä erot eivät sanottavasti näkyneet. Turpeen kaliummäärät olivat suurimpien lannoitemäärien yhteydessä jonkin verran korkeampia kuin lannoittamattomilla koealoilla (kuva 3, taulukko 5), mutta ainoa merkitsevä ero oli liukoisen kaliumin määrässä 10–20 cm:n kerroksessa kokeessa 8 suurimman ja pienimmän lannoitemäärän välillä (taulukko 5). Flogopiitti kohotti kaliumin määriä jonkin verran kalisuolaa enemmän (taulukko 5, kuva 4). Erot eivät kuitenkaan olleet merkitseviä.

Flogopiittilannoitus kohotti turpeen pintakerroksen (0–10 cm) kalsiumin ja magnesiumin liukoisia ja kokonaismääriä kokeessa 8 merkittävästi (liite 5, kuva 4). Vaikutus oli sitä suurempi mitä enemmän flogopiittia oli annettu. Erot olivat samansuuntaisia 10–20 cm:n kerroksessa (kuva 4). Kokeessa 7 flogopiittilannoituksen vai-



Kuva 4. Kalisuolan (k) ja flogopiitin (fl) vaikutus kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin kokonaismääriin (tot.) sekä happamalla ammoniumasetaatilla (liuk.) uuttuviin määriin kokeessa 8. Selitykset, kuten kuvassa 2.

Fig. 4. Effect of KCl (k) and phlogopite (fl) on the total and ammonium acetate extractable amounts of potassium, calcium and magnesium. Key as in Fig. 2.

kutukset ravinmääriin olivat samansuuntaisia kuin kokeessa 8, mutta eivät merkitseviä.

3.3 Neulasten ravinnepitoisuudet

3.3.1 Fosfori- ja kaliumlähteen vaikutus

Lannoitus vaikutti erittäin voimakkaasti neulasten fosfori- ja kalium- ja jossain määrin myös typpi- ja hivenainepitoisuuksiin kokeissa 1–6 ja 9 (kuva 5, liitteet 6 ja 7). Kokeista 5 ja 6 näytteitä kerättiin vain vuonna 1990, joten varhaisemman näytteenottoajankohdan tuloksia tarkastellaan vain kokeiden 1–4 ja 9 perusteella.

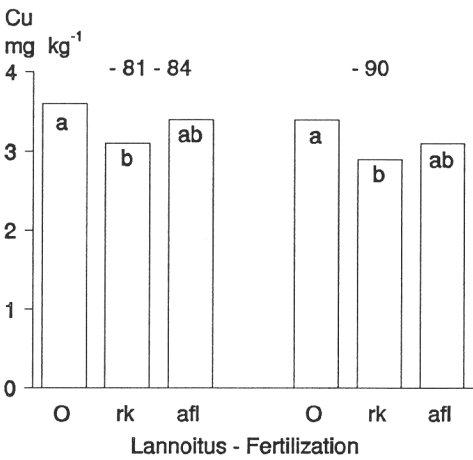
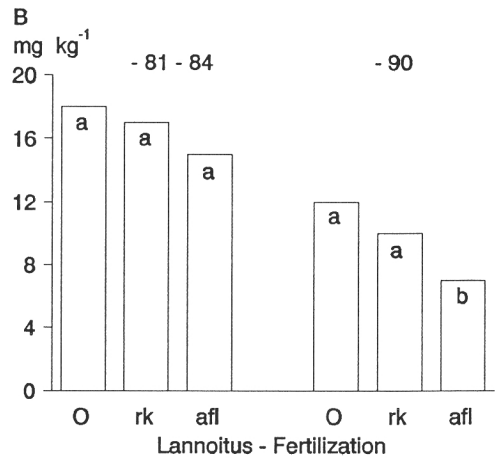
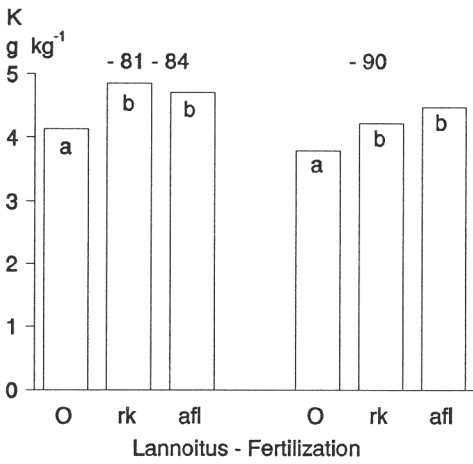
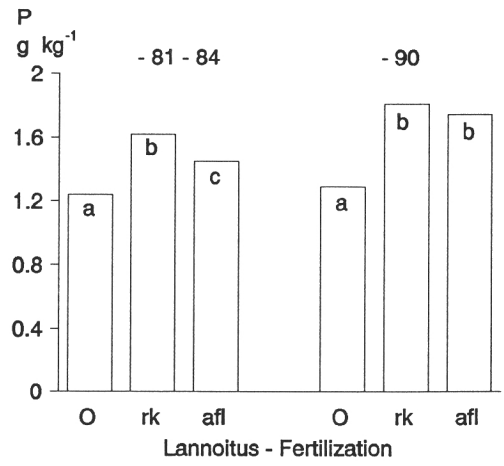
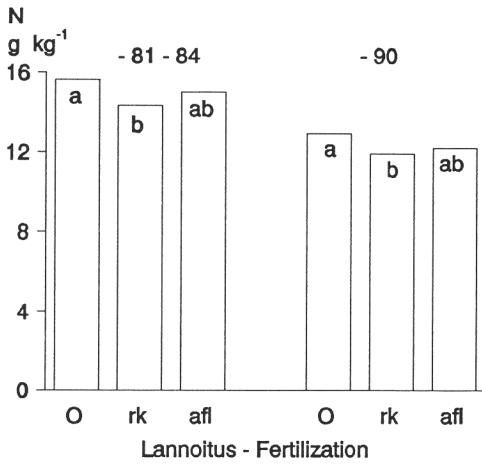
Neulasten typpipitoisuus aleni lannoittamattomaan verrattuna jonkin verran enemmän raaka-fosfaattia ja kalisuolaa kuin apatiittia ja flogopiittia saaneilla koealoilla (kuva 5, liite 6). Kokeiden 1–4 ja 9 vuosien 1981–84 neulasista sekä kokeiden 1–5 ja 9 vuoden 1990 neulasista laskeuissa yhteisanalyysissä ero lannoittamattomaan oli tilastollisesti melkein merkitsevä tai merkitsevä. Koetta 9 lukuunottamatta neulasten typpipitoisuudet olivat huomattavasti alemmat vuonna 1990 kuin vuosina 1981–84 (liite 6) ja keskimäärin selvästi Paarlahden ym. (1971) esittämän puutosrajan (13,0 mg/g) alapuolella.

Neulasten fosforipitoisuudet olivat yhtä poikkeusta lukuunottamatta korkeammat lannoitetuilla kuin lannoittamattomilla koealoilla (kuva 5, liite 6). Vuosina 1981–84 neulasten fosforipitoisuus oli kokeiden 1–5 ja 9 yhteisanalyysissä mer-

kitsevästi korkeampi raaka-fosfaattia kuin apatiittia saaneilla koealoilla. V. 1990 ero ei ollut enää merkitsevä, vaikkakin samansuuntainen. Neulasten fosforipitoisuudet olivat keskimäärin korkeampia v. 1990 kuin vuosina 1981–84. Koetta 3 lukuunottamatta neulasten fosforipitoisuudet olivat kumpanakin ajankohtana lannoittamattomilla koealoilla puutosrajan (1,4 mg/g, Paarlahti 1971 ym.) alapuolella tai sen tuntumassa. Lannoitetuilla puilla fosforiravitsemus oli sen sijaan tyydyttävä tai hyvä koetta 6 ja kokeen 2 apatiitilla lannoitettuja koealoja lukuunottamatta.

Myös neulasten kaliumpitoisuudet olivat yhtä poikkeusta lukuunottamatta (kokeen 4 afl-käsittely v. 1981–84) korkeampia lannoitetuilla kuin lannoittamattomilla koealoilla. Erot yksittäisissä kokeissa eivät kuitenkaan aina olleet merkitseviä, mutta kokeiden yhteisanalyysissä ero oli erittäin merkitsevä kumpanakin keräyskertana (kuva 5, liite 6). Mielenkiintoista on todeta, että kun vuosien 1981–84 neulasissa kaliumpitoisuudet olivat keskimäärin korkeampia kalisuolalla kuin flogopiitilla lannoitetuilla koealoilla, niin vuonna 1990 tilanne oli päinvastainen. Kokeiden 1–5 ja 9 yhteisanalyysissä v. 1990 ero kalisuola- ja flogopiitilannoituksen välillä oli melkein merkitsevä, mutta tilanne vaihteli kokeittain, mitä osoitti myös kokeen ja lannoituksen välinen melkein merkitsevä yhdysvaikutus (liite 6).

Lannoittamattomilla koealoilla puut kärsivät vuosina 1981–84 kaliumin puutoksesta (ks. Paar-



O = vertailu - control
 rk = raakaf. - rockph. + KCl
 afl = apat. + flog.

Kuva 5. Lannoituksen vaikutus vuosina 1981–84 ja 1990 neulasten ravinnepitoisuuksiin kokeissa 1–4 ja 9. Samalla kirjaimella merkityt pylväät eivät eroa tilastollisesti merkitsevästi toisistaan.

Fig. 5. Effect of fertilization on the needle nutrient concentrations 1981–84 and 1990 as the means of the experiments 1–4 and 9. Columns with the same letter do not deviate from each other statistically significantly.

lahti ym. 1971, Sarjala & Kaunisto 1993) kokeissa 2 ja 9 (liite 6). Vuonna 1990 kaliumin puutos oli ilmeinen myös kokeissa 4 ja 5. Myös lannoitetuilla koealoilla neulasten kaliumpitoisuudet olivat selvästi alempia vuonna 1990 kuin aikaisemmin kerätystä aineistosta, joskin useimmissa tapauksissa lievän puutosrajan (4,0 mg/g, Paarlahti ym. 1971, Sarjala & Kaunisto 1993) yläpuolella. Kokeissa 6 neulasten kaliumpitoisuudet olivat poikkeuksellisen matalia, mikä johtuu siitä, että koe oli perustettu rimpialueelle. Jostain syystä lannoitus kalisuolalla, toisin kuin flogopiitilla, kohotti vain vähän neulasten kaliumpitoisuuksia tässä kokeessa.

Kokeissa 1, 2, 6 ja 9 saivat koealat raakafosfaatti- ja kalisuolalannoituksen yhteydessä myös booria. Neulasten booripitoisuudet vaihtelivat vuosien 1981–84 aineistossa varsin paljon ja lannoituskäsittelyn suhteen epäsäännöllisesti (liite 7). Kokeissa 3 ja 4, jotka eivät olleet saaneet booria, neulasten booripitoisuudet olivat yhtä korkeita tai korkeampia kuin boorilla lannoitetuissa kokeissa. Kokeissa 2 ja 9 boorilannoitus oli kohottanut neulasten booripitoisuuksia merkittävästi, mutta kokeissa 1 pitoisuudet olivat boorilla lannoitetuilla koealoilla merkittävästi alempia kuin kokonaan lannoittamattomilla ja samalla tasolla kuin apatiittia ja flogopiittia saaneilla koealoilla.

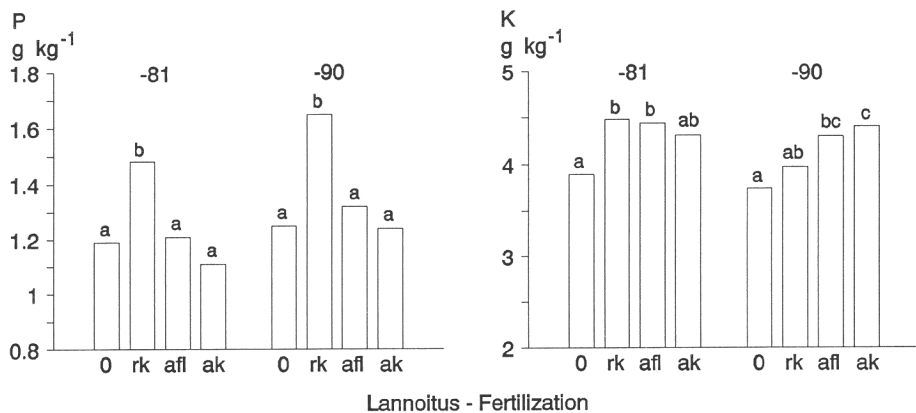
Vuonna 1990 tilanne oli selkiintyneempi. Kokeissa, jotka eivät olleet saaneet booria (kokeet 3–5) neulasten booripitoisuudet olivat kaikissa lannoituskäsittelyissä alempia kuin booria saaneissa kokeissa (liite 7). Raakafosfaattia ja kali-

suolaa saaneiden puiden neulasten booripitoisuudet olivat kokeissa 3–5 alentuneet boorinpuutoksen (7 ppm, Veijalainen ym. 1984) rajoille ja apatiittia ja flogopiittia saaneilla tätäkin alemmaksi (ks. myös kuva 5). Kokeissa 9 ja 6 neulasten booripitoisuudet olivat apatiitti+ flogopiittikäsittelyissä merkittävästi alempia kuin booria saaneissa raakafosfaatti+kalisuolakäsittelyissä. Sen sijaan kokeissa 1 ja 2 neulasten booripitoisuuksissa ei ilmennyt merkittäviä eroja (liite 7). Neulasten booripitoisuudet v. 1990 olivat selvästi alempia kuin vuosina 1981–84.

Lannoitus pääravinteilla alensi myös neulasten kuparipitoisuutta (kuva 5, liite 7). Raakafosfaatilla ja kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla kuparia oli vuosien 1981–84 neulasissa keskimäärin melkein merkittävästi ja vuoden 1990 neulasissa erittäin merkittävästi vähemmän kuin lannoittamattomilla (liite 7).

Neulasten sinkkipitoisuuksia analysoitiin vain vuoden 1990 neulasista. Pitoisuudet olivat keskimäärin alempia kokeiden lannoitetuilla kuin lannoittamattomilla koealoilla (liite 7). Raakafosfaatilla ja kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla sinkkiä oli neulasissa merkittävästi vähemmän kuin apatiitilla ja flogopiitilla lannoitetuilla koealoilla.

Kokeissa 1 ja 2 oli mahdollista tarkastella lannoiteyhdistelmien raakafosfaatti+kalisuola ja apatiitti+flogopiitti lisäksi myös lannoiteyhdistelmän apatiitti+kalisuola vaikutuksia neulasten ravinnepitoisuuksiin. Kuten jo liitteestä 6 voitiin havaita (ks. myös kuva 6), niin sekä vuoden 1981 että -90 neulasissa fosforipitoisuudet olivat

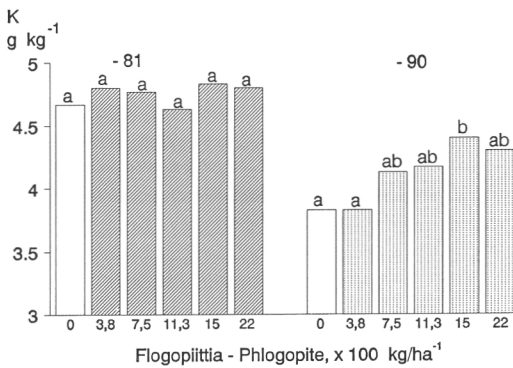


Kuva 6. Neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuudet 3 ja 12 vuoden kuluttua lannoituksesta kokeiden 1 ja 2 keskiarvoina. Selitykset, kuten kuvassa 5 sekä lisäksi ak = apatiitti + KCl.

Fig. 6. Foliar phosphorus and potassium concentrations 3 and 12 years after fertilization as the means of the experiments 1 and 2. Key as in Fig. 5 and in addition ak = apatite + KCl.

raakafosfaatti+kalisuola -käsittelyssä merkitsevästi korkeammat kuin apatiitti+flogopiitti -käsittelyissä. Viimemainituissa fosforipitoisuudet olivat puutosrajan alapuolella (Paarlahti ym. 1971). Apatiittia ja kalisuolaa saaneilla koealoilla neulasten fosforipitoisuudet olivat kuitenkin vielä jonkin verran alempia (kuva 6).

Lannoitus kohotti neulasten kaliumpitoisuuksia kokeissa 1 ja 2 v.1981, mutta eri lannoiteyhdistelmien vaikutusten välillä ei ollut merkitseviä eroja. Sen sijaan vuonna 1990 apatiitti+ kalisuolayhdistelmällä lannoitetuilla koealoilla neulasten kaliumpitoisuus oli merkitsevästi korkeampi kuin raakafosfaatti+kalisuola -yhdistelmällä lannoitetuilla (kuva 6).



Kuva 7. Flogopiitin määrän vaikutus neulasten kaliumpitoisuuksiin 3 ja 12 vuoden kuluttua lannoituksesta kokeessa 7. Flogopiitti sisältää 4,2 % HCl:lla uutttavaa kaliumia. Selitykset, kuten kuvassa 5.

Fig. 7. Effect of phlogopite rate on the needle potassium concentrations 3 and 12 years after fertilization in Exp. 7. Phlogopite contains 4.2 % of HCl extractable potassium. Key as in Fig. 5.

3.3.2 Kaliumlähteen ja -määrän vaikutus

Kokeessa 7 tutkittiin flogopiitin määrän vaikutusta neulasten kaliumpitoisuuksiin. Flogopiittilannoitus ei vaikuttanut merkitsevästi vuonna 1981 kerättyjen neulasten kaliumpitoisuuksiin (kuva 7). Sen sijaan vuonna 1990 lannoittamattomilla ja pienimmän määrän (375 kg/ha) flogopiittia saaneilla koealoilla oli lievä kaliumin puutos (Paarlahti ym. 1971, Sarjala & Kaunisto 1993), mutta suuremmat flogopiittimäärät (750 kg/ha tai enemmän) kohottivat neulasten kaliumpitoisuudet puutosrajan yläpuolelle. Ero lannoittamattomaan nähden oli kuitenkin vain yhdessä tapauksessa (flogopiittia 1500 kg/ha) merkitsevä ($p < .05$, kuva 7).

Kokeessa 8 tutkittiin sekä flogopiitin että kalisuolan määrän vaikutusta neulasten ravinnepitoisuuksiin. Flogopiitti kohotti neulasten kaliumpitoisuutta, mutta ei merkitsevästi (kuva 8). Kalisuolan vaikutus oli epämääräinen. Sekä kalisuolan pienin että lannoitussuosituksista (Paavilainen 1979b) jonkin verran korkeampi määrä (K 50 ja 100 kg/ha vastaavasti) kohottivat voimakkaasti neulasten kaliumpitoisuuksia, mutta suurimman määrän vaikutus (K 200 kg/ha) jäi vähäiseksi. Vuoden 1990 neulasissa kaliumpitoisuudet olivat edelleen korkeampia lannoitetuilla kuin lannoittamattomilla koealoilla, mutta ero lannoittamattomaan verrattuna oli merkitsevä vain suurinta lannoitemäärää käytettäessä. Kalisuolan ja flogopiitin väliset erot jäivät vähäisiksi.

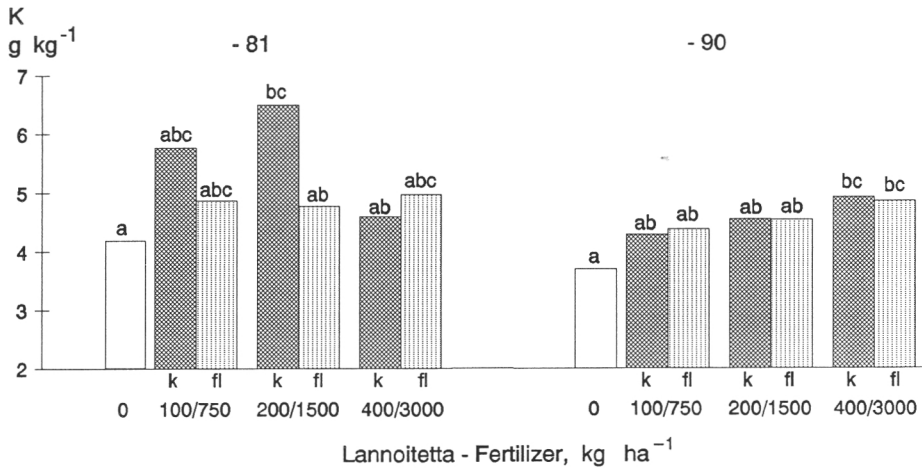
Kummassakin kokeessa annettiin kaliumilla lannoitetuille koealoille myös apatiittia. Neulasten fosforipitoisuudet olivat korkeampia apatiittilla lannoitetuilla kuin lannoittamattomilla koealoilla (taulukko 6). Ero oli merkitsevä v. 1990 kokeessa 7.

Taulukko 6. Flogopiitti- ja apatiittilannoituksen¹⁾ vaikutus neulasten fosforipitoisuuksiin (g/kg) kokeissa 7 ja 8.
Table 6. Effect of phlogopite and apatite¹⁾ fertilization of the foliar phosphorus concentrations (g/kg) in Exps. 7 and 8.

Koe Experiment	Vuosi Year	Flogopiittia — Phlogopite, kg/ha						p ²⁾	ws % ²⁾	
		0	375	750	1125	1500	2250			
7	1981	1,64	1,68	1,69	1,65	1,68	1,65	—	>,05	—
	1990	1,36	1,62	1,72	1,73	1,72	1,63	—	<,05	0,15
8	1981	1,78	—	2,18	—	2,10	—	2,20	>,05	—
	1990	1,57	—	1,69	—	1,71	—	1,71	>,05	—

1) Kaikki flogopiittikäsittelyt saaneet myös apatiittia (300 kg/ha). — All phlogopite treatments have received apatite (300 kg/ha).

2) Selitykset taulukossa 5. — Key in Table 5.



Kuva 8. Kalisuolana (k) ja flogopiittina (fl) annetun kaliumin määrän vaikutus neulasten kaliumpitoisuuksiin 2 ja 11 vuoden kuluttua lannoituksesta kokeessa 8. Selitykset, kuten kuvassa 5.

Fig. 8. Effect of potassium rate given as KCl (k) and phlogopite (fl) 2 and 11 years after fertilization in Exp. 8. Key as in Fig. 5.

Neulasten typpi- boori- ja kuparipitoisuudet olivat kokeissa 7 ja 8 hyvät tai tyydyttävät vuonna 1981 (Paarlahti ym. 1971, Veijalainen 1977, veijalainen ym. 1984) mutta alenivat vuoteen 1990 mennessä erittäin voimakkaasti (liite 8).

3.4 Puuston kasvu

Puuston kasvureaktion selvittämiseen käytettiin kuudessa kokeessa pituuskasvua, kahdessa pohjapinta-alan kasvua ja yhdessä runkofilavuuden kasvua. Esitettävät tulokset on yleensä kovarianssikorjattu kuvatun suureen lannoitusta edeltäneen jakson arvoilla.

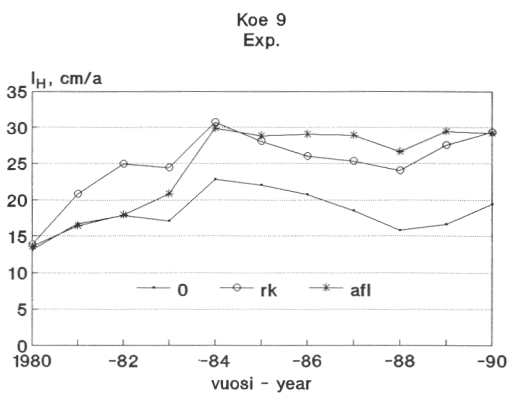
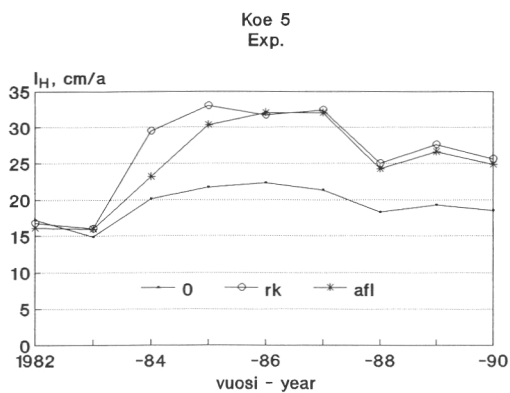
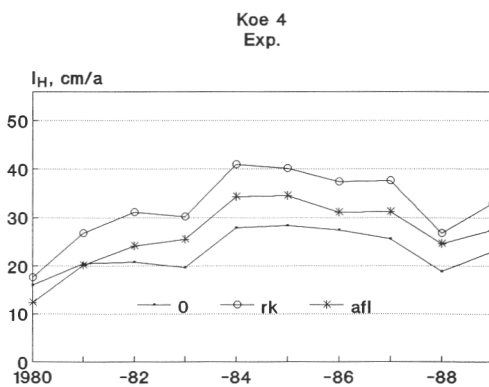
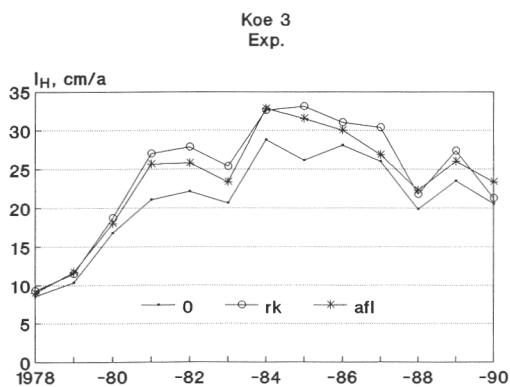
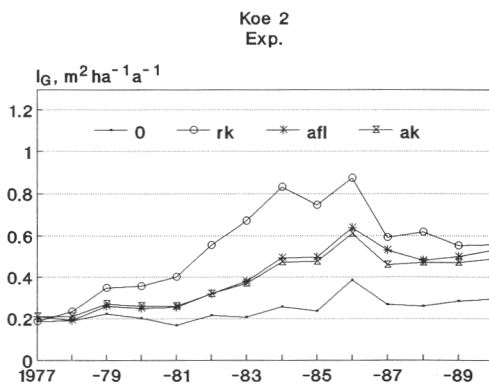
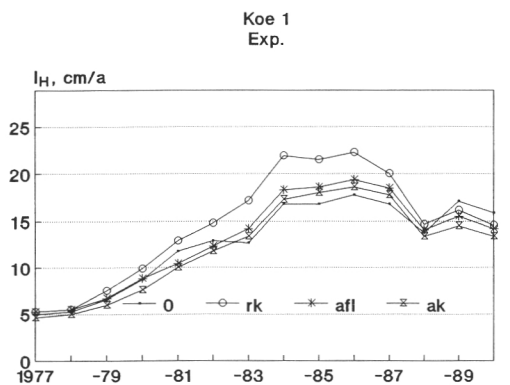
Lannoitus lisäsi puuston kasvua kaikissa kokeissa. Raakafosfaatti+kalisuola -lannoituksen vaikutus oli ensimmäisinä vuosina lannoituksen jälkeen useimmissa tapauksissa voimakkaampi kuin apatiitti+flogopiitti -yhdistelmän (kuvat 9 ja 10). Tutkimusjakson loppua kohti kasvuerot tasoittuivat ja kahdessa kokeessa (nrot 6 ja 9) kääntyivät päinvastaisiksi.

Selvimmin lannoitus vaikutti kokeissa 2, 4 ja 6, joissa raakafosfaatti+kalisuola -lannoitus lisäsi tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) puiden kasvua (kuvat 9 ja 10). Kokeissa 2 ja 6 myös apatiittia ja flogopiittia saaneiden puiden kasvu kohosi merkitsevästi lannoittamattomien puiden kasvua suuremmaksi. Muissa kokeissa käsittelyjen väliset erot jäivät vaille tilastollista merkitsevyyttä suurista keskiarvoeroista huolimatta. Kokeissa 1 ja 2 oli mukana myös apatiitti+kalisuola

-käsittely. Puiden kasvun kehitys oli yhdenmukainen apatiitti+flogopiitti -käsittelyn saaneiden puiden kasvun kanssa (kuva 9).

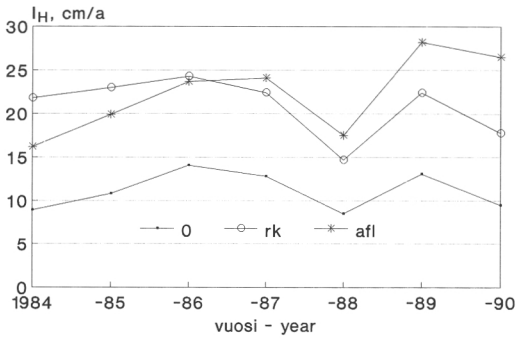
Puiden pituuskasvua tutkittiin myös kokeiden yhteisanalyseillä. Lannoitusreaktion suuruuteen vaikutti oleellisesti kasvualustan typpipitoisuus. Kokeissa 1 ja 3, joissa pintaturpeen typpipitoisuus oli keskimäärin vain 1,0 %, fosfori+kalium -lannoituksen vaikutus jäi vähäiseksi (kuva 11). Runsastyyppisissä kokeissa 4, 5 ja 9 (0–10 cm:n turvekerroksen typpipitoisuus 2,1 %) lannoitusreaktio oli sen sijaan voimakas ja jatkui vielä mittaushetkellä 9 vuoden kuluttua lannoituksesta. Näiden kokeiden yhteisanalyysissä raakafosfaatti+kalisuola -lannoituksen vaikutus alkoi näkyä tilastollisesti merkitsevästi 3 vuoden kuluttua ja flogopiitti+apatiitti -käsittelyn vaikutus 5 vuoden kuluttua lannoituksesta (kuva 11). Tutkimusjakson loppupuolella lannoittelajien vaikutukset eivät poikenneet toisistaan.

Kaliumin eri käyttömääriä selvittävässä kokeessa seurattiin puuston pohjapinta-alan (koe 7) tai tilavuuden kasvua (koe 8). Kokeessa 7 lannoitus lisäsi puuston kasvua merkitsevästi vuosina 1987–89, mutta erot flogopiitin käyttömäärien (K 19–113 kg/ha) välillä jäivät vähäisiksi (kuva 12). Kokeessa 8 puusto hyötyi vain kalisuolaa sisältäneistä lannoituskäsittelyistä (kuva 13). Flogopiitti ei sanottavasti kasvuun vaikuttanut. Parhaiten kasvoivat puut, jotka olivat saaneet suurimman määrän kalisuolaa. Ero oli vuosina 1982–84 merkitsevä pienimpään ja suurimpaan flogopiittimäärään verrattuna. Lannoitusvaikutus näytti



Kuva 9. Lannoituksen vaikutus männyn pituuskasvuun kokeissa 1–5 ja 9. Selitykset, kuten kuvissa 5 ja 6.
 Fig. 9. Effect of fertilization on the annual height growth of pine in Exps 1–5 and 9. Key as in Figs. 5 and 6.

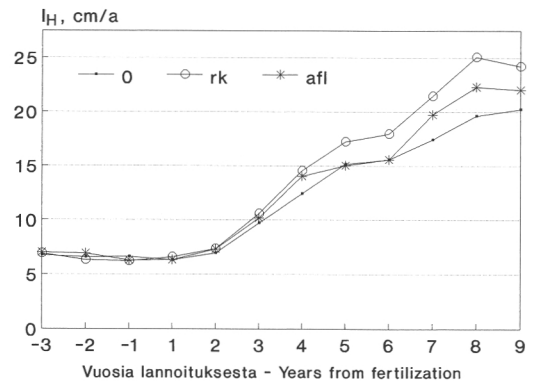
Koe 6
Exp.



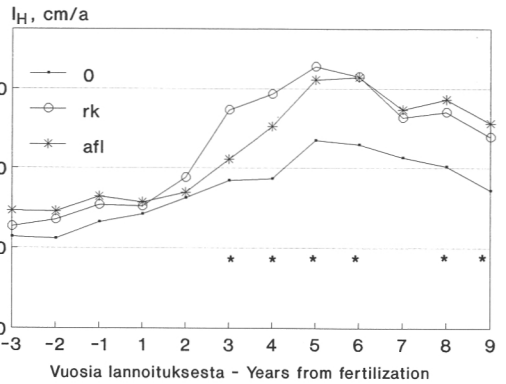
Kuva 10. Lannoituksen vaikutus männyn istutustaimikon vuotuisen pituuskasvuun kokeessa 6. Selitykset, kuten kuvassa 5.

Fig. 10. Effect of fertilization on the annual height growth of planted pine saplings in Exp. 6. Key as in Fig. 5.

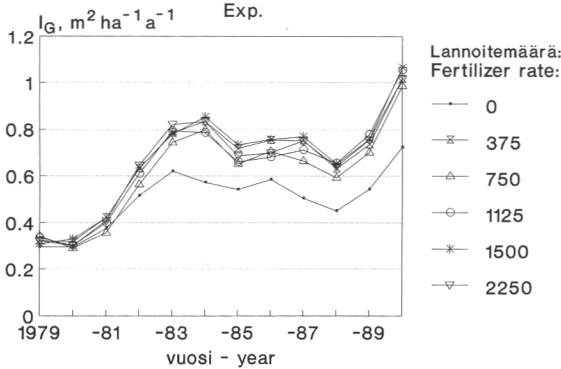
Kokeet 1,3
Exps



Kokeet 4,5,9
Exps



Koe 7
Exp.



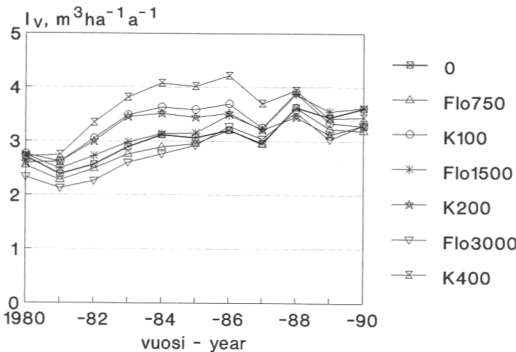
Kuva 12. Flogopiitin määrän (kg/ha) vaikutus puuston pohjapinta-alan kasvuun kokeessa 7. Flogopiitti sisältää 4,2 % HCl:lla uutuvaa kaliumia.

Fig. 12. Effect of phlogopite rate (kg/ha) on the basal area increment of the stand in Exp. 7. Phlogopite contains 4.2 % of HCl extractable potassium.

Kuva 11. Männyn pituuskasvun kehitys kokeiden 1 ja 3 (turpeen kokonaistyyppi n. 1,0 %) sekä kokeiden 4, 5 ja 9 (turpeen kokonaistyyppi n. 2,1 %) yhdistetyssä aineistossa. Tähti osoittaa tilastollisesti merkitsevän (95 %:n luotettavuudella) eron eri käsittelyjen välillä.

Fig. 11. Annual height growth of pine stands in the combined data of Exps 1 and 3 (peat total N a. 1.0 %) and 4, 5 and 9 (peat total N a. 2.1 %). Stars indicate the statistically significant (at 95 % confidence level) differences between the treatments.

Koe 8
Exp.



Kuva 13. Kalisuoalan (k, 50 % alkuainetta) ja flogopiitin (fl, 4,2 % HCl:lla uutuvaa kaliumia) vaikutus puuston kuutiokasvuun kokeessa 8.

Fig. 13. Effect of the rate of KCl (k, 50% of K as element) and phlogopite (fl, contains 4.2 % of HCl soluble K) on the volume growth of stands in Exp. 8.

päättäneen vajaassa 10 vuodessa. Molemmissa kokeissa pohjalannoituksena käytettiin kaikilla kaliumtasoilla apatiittia. Pelkän apatiittikäsittelevä vaihtoehdon puuttumisen takia kaliumin ja fosforin osuutta lannoitusreaktiosta ei voitu eritellä.

Puuston kasvu lisääntyi tutkimuskauden aikana useassa tapauksessa myös lannoittamattomilla koelohjoilla. Syynä tähän on pidettävä puiden nuoren iän lisäksi kuivatuksen tehostamista lannoitushetkellä.

4 Tulosten tarkastelu

4.1 Aineisto

Tutkimuksen yhdeksästä kokeesta kuusi (1, 2, 4–6 ja 9) sijaitsee Metsäntutkimuslaitoksen Muhkan tutkimusalueen mailla ilmastollisesti hyvin yhtenäisellä alueella. Näissä kaikissa tarkasteltiin erityisesti fosforin ja kaliumin eri lähteiden vaikutusta turpeen ravinnemääriin sekä puuston ravinnetilaa ja kasvuun. Koe 3 sijaitsee ilmastollisesti jossain määrin erilaisella alueella Kainuussa eikä ole näin täysin vertailukelpoinen muiden kanssa. Myös kokeiden perustamisen samoin kuin puuston ensimmäisen näytteiden oton ajankohdatkin vaihtelevat kokeittain jonkin verran. Vuosien 1981–84 neulasnäytteiden ravinneanalyysitulokset olivatkin, ehkä näiden syiden vuoksi, jossain määrin hajanaisia. Vuoden 1990 neulasissa samoin kuin tällöin otetuissa maanäytteissäkin voitaneen kuitenkin olettaa alkuvaiheen eroavuuksien tasaantuneen. Koe 6 poikkesi oleellisesti kaikista muista kasvupaikkansa ja puustonsa suhteen, koska se oli rimpinevalle perustettu männyn istutus- ja lannoituskoe, kun taas muut kokeet oli perustettu rämepuustoihin.

Aineisto tarjosi mahdollisuuden vertailla toisaalta raakafosfaatin ja apatiitin vaikutuksia niukoissa puiden fosforiravitsemusolosuhteissa ja toisaalta flogopiitin ja kalisuolan vaikutuksia niukoissa kaliumravitsemuksen olosuhteissa. Kumpaakin oli mahdollista tarkastella jossain määrin erilaisilla turpeen typpipitoisuuden tasoilla.

Lannoittamattomien koelohjojen neulasten ravinnepitoisuuksien perusteella arvioiden (Paarlahti ym. 1971) kokeilla 2, 5, 6 ja 9 vallitsi sekä fosforin että kaliumin puutos todennäköisesti jo kokeita perustettaessa. Fosforin puutukseen viittaa myös turpeen pintakerroksen korkeahko N/P-suhde (Alexander 1967 ja Swift ym. 1979), joka kokeissa 2, 6 ja 9 oli yli 20 kummassakin turvekerroksessa ja kokeessa viisi 16 ja 22 vastaavasti 0–10 ja 10–20 cm:n kerroksissa.

Neulasten kaliumpitoisuuksien perusteella arvioiden (Paarlahti ym. 1971 ja Sarjala & Kaunisto 1993) kokeilla 4, 7 ja 8 kehittyi kaliumin

puutos toiseen näytteenottokertaan mennessä. Kokeissa 1, 3 ja 7 sekä maa- että neulasanalyysin perusteella puolestaan oli niukasti typpeä, mutta kohtalaisesti fosforia sekä kokeissa 1 ja 3 kohtalaisesti myös kaliumia typpeen verrattuna.

4.2 Turpeen ravinteet ja pH

Sekä raakafosfaatti- että apatiittilannoitus lisäsivät turpeen kokonaisfosforin määriä. Sen sijaan kalilannoituksen vaikutus turpeen kaliummääriin oli epämääräisempi. Kokeissa 1–5 ja 9 kokonaiskaliumin määrä oli flogopiittia saaneilla koelohjoilla keskimäärin korkeampi kuin kalisuolalla lannoitetuilla tai lannoittamattomilla koelohjoilla. Toisaalta oli yllättävää, että lannoituksessa annetun flogopiitin määrä (kokeet 7 ja 8) näytti vaikuttavan varsin vähän maan kokonaiskaliumin määrään. Kokonaiskalium tutkimuksessa määritettiin turpeen tuhkan HCl-uutoksesta, jolloin osa flogopiitin kaliumista jää liukenematta. Kuitenkin flogopiitin erilaisten määrien olisi olettanut vaikuttavan em. tavalla määritetyn kokonaiskaliumin määrään, koska flogopiitissa oli 4,2 % suolahappoon liukenevaa kaliumia. Syynä jossain määrin hajanaiseen tulokseen saattaa osittain olla maanäytteen osanäytteiden vähäinen lukumäärä (5 kpl/koelohjo). Tällaisen vaikealiukoisien lannoitteen levityksen pienikin epätasaisuus saattaa vaikuttaa maasta löytyvän ravinteiden määrään, vaikka sillä puuston kannalta ei olisikaan merkitystä.

Eräänä syynä saattaa olla myös näytteenotto-menettelmä, jossa elävä sammalkerros ja osa raakamuskkerrosta poistettiin. Osa flogopiitista on saattanut poistua tämän kerroksen mukana, vaikka lannoituksesta olikin kulunut jo 9–14 vuotta. Sen sijaan kalisuolalla ei vastaavanlaista voine tapahtua, koska siitä osa jo muutamassa vuodessa painuu syvempiin turvekerroksiin (Kaunisto & Tuveva 1984) osan huuhtoutuessa kokonaan alueelta (Ahti 1983). Suurelta kalisuolan määrät (yli 600 kg/ha kaliumina) eivät enää sanottavasti vaikuta 0–30 cm:n turvekerroksen kalium-

määriin 20–30 vuoden kuluttua lannoituksesta (Kaunisto 1992).

Apatiitti- ja flogopiittilannoituksen on todettu vähentävän kangashumuksen happamuutta (Martikainen ym. 1989). Tässä tutkimuksessa lannoitus ei sanottavasti vaikuttanut turpeen pintakerroksen pH-arvoihin, vaikka apatiitin määrät suurimmillaan olivat lähes kaksinkertaiset ja flogopiitin määrät lähes kaksinkertaiset em. tutkimukseen verrattuna. Tähänkin näytteenottometelmä on saattanut vaikuttaa.

4.3 Puuston reaktio

Lannoitus raakafosfaatilla kohotti neulasten fosforipitoisuudet tyydyttävälle tai hyvälle tasolle (ks. Paarlahti ym. 1971) jo ensimmäiseen näytteenottokertaan (3–7 v. lannoituksesta) mennessä. Sen sijaan apatiitin vaikutus jäi selvästi pienemmäksi. Ero raakafosfaatin hyväksi näkyi myös puuston kasvureaktiossa lannoitusta välittömästi seuraavina vuosina, erityisesti runsastypillisissä kokeissa 2, 4, 5 ja 9. Samantapaisen tuloksen ovat esittäneet myös Carlsson ja Möller (1985) typpilannoitetuilta karuilta soilta. Ilman typpilannoitusta raakafosfaatin ja apatiitin vaikutusten välillä ei heidän tutkimuksessaan ollut eroja. Tässä tutkimuksessa turpeen kokonaistypipitoisuuden merkitys puuston kasvun kannalta näkyi myös siten, että PK-lannoituksen vaikutus puuston kasvuun oli runsastypillisissä kokeissa 2, 4, 5, 6 ja 9 selvästi suurempi kuin vähätyppisissä kokeissa 1 ja 3 (ks. myös Paavilainen 1977 ja 1979a, Kaunisto 1982 ja 1987, Moilanen & Issakainen 1990, Moilanen 1993). Hidasliukoiset fosforilannoitteet vaikuttivat myös Penttilän ja Moilasan (1987) tutkimuksessa varsin pitkäaikaisesti (yli 20 v) puuston kasvuun runsastypillisillä soilla.

Toiseen näytteenottokertaan (v. 1990) mennessä neulasten fosforipitoisuudet olivat apatiittia saaneilla koealoilla edelleen kohonneet jonkin verran, mutta olivat vieläkin monissa tapauksissa Paarlahden ym. (1971) esittämän puutosrajan tuntumassa, kun taas raakafosfaattia saaneilla koealoilla neulasten fosforipitoisuudet olivat varsin korkeita koetta 6 lukuunottamatta. Siitä huolimatta kokeissa 4, 5 ja 9 puuston kasvuerot olivat tasoittuneet 5–6 vuoden kuluessa lannoituksesta. Tulos on hyvin samantapainen kuin Karsiston (1976 ja 1977) fosforilannoitelajikokeiden perusteella esittämä. Pieni määrä apatiittia nopealiukoisempaa fosforia lannoitteessa voisi olla eduksi puiden fosforiravitsemukselle.

Kumpikin kaliumlannoite kohotti neulasten kaliumpitoisuuden yleensä akuutin kaliuminpuutoksen (Paarlahti ym. 1971, Sarjala & Kaunisto 1993) yläpuolelle jo ensimmäiseen näytteenottokertaan mennessä. Ensimmäisellä näytteenottokerralla kalisuolan vaikutus oli kuitenkin voimakkaampi. Jälkimmäiseen näytteenottokertaan (9–14 vuoden kuluttua lannoituksesta) mennessä neulasten kaliumpitoisuudet olivat yleensä alentuneet, mutta olivat kuitenkin poikkeuksetta korkeampia lannoitetuilla kuin lannoittamattomilla puilla ja monissa tapauksissa korkeampia flogopiitilla kuin kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla. Neulasten kaliumpitoisuuden perusteella arvioiden flogopiitilla on voitu tyydyttää puuston kaliumin tarve verrattain hyvin ainakin 9–14 vuoden ajaksi.

Neulasten kaliumpitoisuudet kohosivat jonkin verran flogopiitin määrän kohoamisen myötä. Sen sijaan puuston kasvureaktioon tämä ei vaikuttanut. Tyydyttävä taso neulasten kaliumpitoisuudessa ($K > 4,0$ mg/g) saavutettiin antamalla flogopiittia 750 kg/ha.

Apatiitin käyttö oli kokeissa yleensä sidottu flogopiittiin ja raakafosfaatin käyttö kalisuolaan. Kokeissa 1 ja 2 oli kuitenkin mahdollista tarkastella myös apatiitti+kalisuola -yhdistelmän vaikutuksia. Puuston pituuskehitys (koe 1) ja pohjapinta-alan kehitys (koe 2) olivat riippumattomia kalilannoitelajista. Samanaikaisesti neulasten kaliumpitoisuudet olivat sekä flogopiittia että kalisuolaa saaneilla koealoilla samalla tasolla ja selvästi puutosrajan yläpuolella. On ilmeistä, että flogopiitista liukeni riittävästi kaliumia hidasliukoisen fosforilannoitteen, apatiitin, yhteydessä annettuna. Tulos osoittaa myös, että lannoituksen jälkeinen ero puuston kasvussa apatiitti+ flogopiitti- ja raakafosfaatti+kalisuola -yhdistelmien välillä johtui todennäköisesti juuri apatiitin raakafosfaattia vähäisemmästä liukoisuudesta.

Aineistossa ei ollut mahdollista tarkastella flogopiitin vaikutusta raakafosfaatin yhteydessä. Toisaalta käytännössä suomensälannoitteiden fosforilähteenä käytetään nykyään nimenomaan apatiittia. Puutteen aineistossa on myös pelkän fosforilannoituksen saaneen vertailun puuttuminen.

Apatiitin (Salonen 1968) samoin kuin kaliumsilikaattienkin (Black 1968), kuten flogopiitti, liukoisuus riippuu turpeen vetyionikonsentraatiosta. Tässä tutkimuksessa turpeen happamuus kuivasta turpeesta määritettynä vaihteli välillä pH 3,4–4,7, mikä lettoja lukuunottamatta kattaa suurimman osan Suomen soiden pH-vaihtelusta. Fosfori sitoutuu turpeessa helposti vaikealiukoisiksi rauta- tai alumiiniyhdisteiksi. Turpeen rau-

ta- ja alumiinipitoisuuksien erot kokeiden välillä olivat tässä tutkimuksessa verrattain suuret. Apatiitin ja flogopiitin vaikutus puuston reaktioon oli kuitenkin varsin samantapainen eri kokeissa eikä mitään selvää turpeen happamuuden tai alumiini- ja rautapitoisuuden vaikutusta puiden ravinteiden saantiin ollut havaittavissa.

Koelueiden turpeessa oli booria niin vähän, että se muutamaa poikkeusta lukuunottamatta jäi alle määritysrajan (0,04 mg/l). Osa raakafosfaatti+kalisuola -yhdistelmällä lannoitetuista kokeista sai myös booria. Näillä kokeilla neulasten booripitoisuudet olivat tyydyttävällä tasolla (>10

ppm, Brække 1979, Reinikainen & Veijalainen 1983, Veijalainen ym. 1984) vielä toisella näytteenotokerrallakin. Sen sijaan koelaloilla, jotka eivät saaneet booria neulasten booripitoisuudet olivat alentuneet puutostasolle tai sen alapuolelle (Veijalainen ym. 1984). Samanlaista neulasten booripitoisuuden ohentumista pääravinnelannoituksen yhteydessä on raportoitu myös useissa muissa tutkimuksissa (esim. Veijalainen 1977, Kaunisto 1987). Tutkimuksessa ei selvitetty, oliko boorin vähäisyys mahdollisesti aiheuttanut puustolle kasvuhäiriöitä.

5 Yhteenvedo ja päätelmät

Tutkimuksessa tarkasteltiin kotimaisten fosfori- ja kaliummineraalien apatiitin, ja flogopiitin käytökelpoisuutta suopuustojen lannoituksessa (taulukot 1–3). Apatiittia louhitaan Siilinjärvellä. Malmassa on epäpuhtautena flogopiittia, joka erotetaan malmista apatiitin sisältämän fosforin rikastusprosessissa. Flogopiitti on biotiitin lähisukuinen kiillemineraali. Molemmat mineraalit ovat veteen liukenemattomia, mutta liukenevat vähitellen happamissa olosuhteissa. Flogopiitissa on suolahappoon liukenevaa kaliumia n. 4,2 % (liite 3).

Aineisto kerättiin 9–14 vuoden kuluttua lannoituksesta yhdeksältä ravinteisuudeltaan karuille ja keskinkertaisille rämeille perustetulta lannoituskokeelta (taulukko 1), joista suurimmalla osalla kasvualustassa oli niukasti kaliumia ja puille käytökelpoista fosforia (liitteet 1 ja 2). Turpeen kokonaistyyppi 0–10 cm:n syvyydessä vaihteli matalista (0,9 %) kohtalaisen korkeisiin (2,6 %) pitoisuuksiin (liite 1).

Apatiittia ja flogopiittia puiden fosforin ja kaliumin lähteinä vertailtiin raakafosfaatin ja kalisuolan kanssa seuraavina yhdistelminä: raakafosfaatti+kalisuola, apatiitti+flogopiitti sekä raakafosfaatti+flogopiitti (taulukko 2). Kahdessa kokeessa tutkittiin lannoitekaliumin määrän vaikutusta puuston kasvuun (taulukko 3).

Sekä apatiitti että raakafosfaatti lisäsivät jonkin verran maan fosforin määrää lannoittamattomaan verrattuna (liite 4a, kuva 2). Flogopiitti lisäsi pintaturpeen kaliumin määrää enemmän kuin kalisuola (liite 4a, kuvat 2 ja 4). Kummassakin tapauksessa kaliumia oli enemmän kuin lannoittamattomilla koelaloilla.

Apatiitin vaikutus sekä neulasten fosforipitoisuuksiin (kuvat 5 ja 6, liite 6) että puiden kasvuun (kuvat 9–11) oli raakafosfaatin vaikutusta hitaampi. Viive puuston kasvussa raakafosfaattiin verrattuna kesti n. 3–8 vuotta. Kasvuero oli verrattain vähäinen. Turpeen pH samoin kuin alumiini- ja rautapitoisuudetkin vaihtelivat kokeittain verrattain paljon (liitteet 1 ja 2). Apatiitin vaikutus puuston reaktioon oli kuitenkin varsin samantapainen eri kokeissa eikä mitään selvää turpeen happamuuden tai alumiini- ja rautapitoisuuden vaikutusta puiden ravinteiden saantiin ollut havaittavissa. Apatiitti osoittautuikin kohtalaisen hyväksi, joskin raakafosfaattia hitaammaksi puiden fosforin lähteeksi.

Flogopiittilannoituksen vaikutus neulasten kaliumpitoisuuksiin oli alkuvaiheessa selvästi hitaampi kuin kalisuolan (kuvat 5, 6, 8, liite 6). Pitoisuudet 9–14 vuoden kuluttua lannoituksesta olivat kuitenkin yhtä korkeat tai korkeammat flogopiitilla kuin kalisuolalla lannoitetuilla koelaloilla. Neulasten kaliumpitoisuudet kohosivat flogopiitin määrän (375–3000 kg/ha) kohotessa (kuvat 7 ja 8), mutta puuston kasvua 750 kg/ha suuremmat määrät eivät sanottavasti lisänneet (kuvat 12 ja 13). Flogopiitti ja kalisuola lisäsivät puuston kasvua hyvin samalla tavoin apatiitin yhteydessä käytettynä (kuva 9). Lannoitus lisäsi puuston kasvua selvästi enemmän runsas- kuin vähätppisillä turpeilla (kuva 11). Tulosten mukaan flogopiitti oli varsin hyvä puiden kaliumin lähde ainakin ensimmäisten 9–14 vuoden aikana lannoituksen jälkeen

Kirjallisuus — References

- Ahti, E. 1983. Fertilizer-induced leaching of phosphorus and potassium from peatlands drained for forestry. Seloste: Lannoituksen vaikutus fosforin ja kaliumin huuhtoutumiseen ojitetuilta soilta. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 111. 20 s.
- Alexander, 1967. Introduction to soil microbiology. New York. 472 s.
- Black, A. 1968. Plant and soil relationships. Wiley & Sons. 792 s.
- Brække, F. H. 1979. Boron deficiency in forest plantations on peatland in Norway. Meddelser fra Norsk Institutt for Skogforskning 35(3): 213–236.
- Carlsson, T. & Möller, G. 1985. Effekter av svårösliga fosforgödselmedel på torvmark. Growth response after treatment of peatland forest with phosphorus fertilizers of low solubility. Föreningen Skogsträdförädlingen och Institutet för Skogsförbättring. Årsbok 1985: 81–109.
- Finér, L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. Seloste: Biomassa ja ravinteiden kierto ojitusalueen lannoitetussa ja lannoittamattomassa männikössä, koivu-mäntysekametsikössä ja kuusikossa. Acta Forestalia Fennica 208. 63 s.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Kaila, A. & Kivekäs, J. 1956. Distribution of extractable calcium, magnesium, potassium and sodium in various depths of some virgin peat soils. The Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland 28(4): 237–247.
- Karsisto, K. 1976. Fosforilannoitelajit suometsien lannoituksessa. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 6/1976. 252 s.
- 1977. Kotimaisten fosforirikasteiden käyttökelpoisuus suometsien lannoituksessa. Summary: Possibilities of native phosphate concentrates in fertilizing peatland forests. Suo 28(2): 43–46.
- Kaunisto, 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 Instituti Forestalis Fenniae 109. 56 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 Instituti 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.
- 1992. Effect of potassium fertilization on the growth and nutrition of Scots pine. Tiivistelmä: Kalilannoituksen vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilaan. Suo 43(2): 45–62.
- & Tukeva, J. 1984. Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuasteen männiköissä. Summary: Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs. Folia Forestalia 585. 40 s.
- Kivinen, E. 1948. Suotiede. Werner Söderström Oy. Porvoo-Helsinki. 219 s.
- Laine, J. & Vasander, H. 1990. Suotyypit. Kirjayhtymä, Helsinki. 80 s.
- Lindholm, T. & Vasander, H. 1988. Effect of readily and slowly soluble PK and NPK fertilizers on the growth of Scots pine on a drained raised bog in southern Finland. Proceedings of the 8th International Peat Congress, USSR Leningrad August 14–21. 1988. 3: 144–122.
- Malcolm, D. C. & Cuttle, S. P. 1983. The application of fertilizers to drained peat. 1. Nutrient losses in drainage. Forestry 56: 155–176.
- Martikainen, P. J., Aarnio, T., Taavitsainen, V.-M., Päivinen, L. & Salonen, K. 1989. Mineralization of carbon and nitrogen in soil samples taken from three fertilized pine stands: Long-term effects. Plant and Soil 114: 99–106.
- Moilanen, M. 1993. Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla. Käsikirjoitus METLA:n Muehoksen tutkimusasemalla.
- , Ferm, A. & Issakainen, J. 1987. Kasviuonekokeita erilaisten jätteaineiden vaikutuksesta hieskoivun alkukehitykseen turvealustalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 281. 36 s.
- & Penttilä, T. 1988. Pääravinlannoitus. Julkaisussa: Ahti, E. (toim.) Soiden käyttö metsänkasvatukseen. Suontutkimusosasto 60 vuotta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308: 85–101.
- & Issakainen, J. 1990. Suometsien PK-lannos ja typpilannoitelajit 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.
- Mäkinen, Y. 1978. Tilastotiedettä biologille. Tilastotieteen ja tietojenkäsittelyn alkeet. Synapsi ry:n kurssikirja. Turku. 306 s.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turve maiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 74(5). 58 s.
- Paavilainen, E. 1977. Jatkolannoitus vähäravinteisilla rämeillä. Ennakkotuloksia. Abstract: Refertilization on oligotrophic pine swamps. Preliminary results. Folia Forestalia 327. 32 s.
- 1979a. Jatkolannoitus runsastyyppisillä rämeillä. Ennakkotuloksia. Abstract: Refertilization on nitrogen-

- rich pine swamps. Preliminary results. *Folia Forestalia* 414. 23 s.
- 1979b. Metsänlannoitusopas. Kirjayhtymä. Helsinki. 112 s.
- & Huikari, O. 1968. Metsän lannoitus. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisuja. 55 s.
- Penttilä, T. & Moilanen, M. 1987. Fosforilannoitteet suometsien lannoituksessa Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 136–148.
- Puustinen, K. 1973. Tetraferriphlogopite from the Siilinjärvi carbonatite complex, Finland. *Bulletin of the geological Society of Finland* 45: 35–42.
- Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1983. Diagnostics of needle analysis in growth disturbed Scots pine stands. *Julkaisussa: Kolari, K.K. (toim.) Growth disturbances of forest trees. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 44–48.
- Salonen, M. 1968. Apatite as a phosphorus fertilizer. *Maataloustieteellinen aikakauskirja* 40: 209–218.
- Sarjala, T. & Kaunisto, S. 1993. Needle polyamine levels and potassium nutrition in Scots pine. *Käsikirjoitus METLAn Parkanon tutkimusasemalla.*
- Silvola, J., Välijoki, J. & Aaltonen, H. 1985. Effect of draining and fertilization at three ameliorated peatland sites. *Acta Forestalia Fennica* 191. 32 s.
- Steel, R.G.D. & Torrie, J.H. 1960. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Book Company, inc. New York. 481 s.
- Swift, M. J., Heal, O. W. & Anderson, J. M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. University of California press. Berkeley and Los Angeles. 372 s.
- Veijalainen, H. 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatland. *Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravinnetilanteen määrittämisessä turvemilla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 92(4). 32 s.
- , Reinikainen, A. & Kolari, K. K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report. *Folia Forestalia* 601. 41 s.

Total of 40 references

Summary

Apatite and phlogopite as phosphorus and potassium fertilizers in peatland pine forests

Introduction

Rock phosphate and potassium chloride have been the phosphorus and potassium sources in the fertilizers for peatland forests in Finland for decades. Rock phosphate is slowly soluble and may increase tree growth for 20–30 years, whereas potassium chloride is water soluble and susceptible to leaching. Its effect on tree growth may cease in 15–20 years or even sooner. At the moment apatite replaces rock phosphate. It is even more slowly soluble than rock phosphate. So far only a few studies have given information on apatite as a phosphorus source for trees. In order to get the full benefit of phosphorus fertilization trees should be fertilized twice with potassium chloride. Another possibility would be to use a more slowly soluble potassium source as phlogopite, a potassium silicate.

The effects of rock phosphate+potassium chloride, apatite+phlogopite and rock phosphate+phlogopite on pine nutrition and growth, and peat nutrient regime were studied in this investigation.

Material

The material consists of nine experiments totalling 116 experimental plots in the north-central part of Finland (Tables 1–3, Fig. 1.). Exp. 6 was established on a pine

afforestation site and was therefore kept separate in the calculations. The others were established in natural pine forests with a wide range of nitrogen regime (Table 1, Appendixes 1 and 2). The treatments are shown in Tables 2 and 3 and the nutrient contents of different fertilizers in App. 3. Exps 1–6 and 9 deal with the different sources of phosphorus and potassium and Exps 7 and 8 with different potassium rates.

Peat was sampled from 0–10 and 10–20 cm layers in 1990 using five subsamples/plot. Living plant material and a part of the raw humus layer were removed. In addition to the total concentrations of the elements shown in App. 1, also AAAC (pH 4.65) extractable phosphorus, potassium, calcium and magnesium were analyzed. The pH of peat was determined from dried material in distilled water (V/V 1/5).

Needles were first sampled in the winters of 1982–85 (1981–84 needles), 3–7 years after fertilization and again in March and December 1990, 9–14 years after fertilization. Nitrogen, phosphorus, potassium, boron and copper contents were analyzed from all the needles, and calcium, magnesium and zinc also from the 1990 -needles.

Height growth of trees was measured in Exps 1, 3–6 and 9, basal area growth in Exps 2 and 7, and volume increment in Exp. 8. Fertilization effect was studied both in single experiments and in combinations of experiments (Exps 1–5 and 9).

Results

Peat acidity

In Exps 8 and 9 the highest phlogopite application rates contained 550 kg/ha of magnesium and calcium together and 150 kg/ha of potassium. However, pH was not significantly affected by fertilization (Table 4).

Nutrients in peat

In Exps 1–6 and 9 fertilization increased the amounts of peat phosphorus and potassium on average (App. 4a, Fig. 2). Phlogopite increased peat potassium amounts significantly more than potassium chloride in the 0–10 cm peat layer, but not in the 10–20 cm layer. Apatite+phlogopite fertilization increased the amounts of calcium and magnesium significantly on average in the 0–10 cm peat layer (App. 4b and Fig. 2).

The amount of elemental potassium applied as phlogopite or potassium chloride in Exps 7 and 8 varied between 19 and 200 kg/ha. Yet, no significant differences were found in the peat total potassium contents between the different application rates (Fig. 3, Table. 5). Neither were there any significant differences between the potassium sources, although the potassium amounts were slightly higher on phlogopite fertilized plots than on the other ones (Table 5, Fig. 4).

Needle nutrients

Fertilization with phosphorus and potassium of different sources increased significantly needle phosphorus and potassium, but decreased needle nitrogen concentrations in Exps 1–6 and 9 (Fig. 5, Apps 6 and 7). In 1981–84 needle potassium concentrations were higher in trees fertilized with potassium chloride than with phlogopite (see also Exp. 8, Fig. 8), but the situation was quite the contrary in 1990. Different potassium fertilizer rates (Exps 7 and 8) had no significant effect on needle potassium concentrations in 1981, but in 1990 concentrations increased slightly with increasing rates (Figs 7 and 8). While needle potassium concentrations on unfertilized plots in 1990 were under or near the potassium deficiency limit in most experiments, they showed satisfactory or good potassium nutrition of trees on potassium fertilized plots.

Fertilization with macronutrients decreased the concentrations of some micronutrients (Fig. 5, App. 7). Especially needle boron concentrations in 1990 were quite low in the experiments not fertilized with boron (App. 7).

Tree growth

Fertilization enhanced tree growth in all experiments. The growth response was faster and greater right after

fertilization to rock phosphate + potassium chloride than to apatite + phlogopite fertilization (Figs 9 and 10). The difference in response levelled down towards the end of the study period and in Exps 6 and 9 turned to the opposite. The growth response was more pronounced on sites with high peat nitrogen contents (Fig. 11, Exps 4, 5 and 9) than on nitrogen-poor sites (Fig. 11, Exps 1 and 3).

No difference in growth response was found between apatite + potassium chloride and apatite + phlogopite treatments (Exps 1 and 2, Fig. 9). This indicates that the faster growth response to rock phosphate + potassium chloride than to apatite + phlogopite fertilization was due to a difference in the phosphorus rather than in the potassium source.

The different application rates of phlogopite in Exps 7 and 8 caused no particular growth response in trees (Figs 12 and 13).

Conclusions

The effect of fertilization on peat nutrients was restricted to the uppermost 10 cm layer. Even there the effect on potassium contents was vague if compared to the rather large amounts used in fertilization. Obviously most of the potassium chloride had been taken up by trees and ground vegetation or leached to deeper peat layers or even off the area. A part of potassium in phlogopite might have disappeared when the living part of the moss layer was removed in peat sampling.

Apatite improved phosphorus, and phlogopite potassium nutrition of trees, but more slowly than rock phosphate and potassium chloride. Tree growth was slightly lower with apatite than with rock phosphate for the first five, six years after fertilization, but there was no difference in growth response of trees between potassium chloride and phlogopite. The results suggest that phlogopite is a good potassium source and apatite a satisfactory phosphorus source for trees. However, trees might benefit if a part of apatite could be replaced by a more easily soluble phosphorus source than apatite.

The experimental sites covered quite a large range of peat pH, 3.4–4.6 on average. There were no signs of different responses of trees to fertilization due to differences in peat pH. It seems, that apatite and phlogopite can provide trees with satisfactory phosphorus and potassium nutrition on quite different peatland sites.

The amount of phlogopite affected only vaguely the potassium nutrition of trees and tree growth. The dosage of 750 kg/ha of phlogopite gave about the same result as larger amounts with only some exceptions. On the other hand, only 9–14 years had elapsed from the fertilization.

Liite 1. Turpeen tiheys ja ravinnepitoisuudet sekä näiden keskihajonnat eri kokeissa.

Appendix. 1. Peat bulk density, nutrient concentrations and standard deviations in the experiments.

Koe Exp.	Kerros, Layer, cm	Tiheys, Bulk density, mg/cm ³	N g/kg	P mg/kg	Alkuaine — Element		Ca mg/kg	Mg
					N/P mg/kg	K g/kg		
1	0–10	71 ± 19	9,5 ± 1,8	783 ± 263	12,1	603 ± 217	2,45 ± 1,20	928 ± 743
	10–20	106 ± 20	9,5 ± 2,8	545 ± 245	17,4	225 ± 96	1,33 ± 0,34	497 ± 120
2	0–10	130 ± 7	25,8 ± 1,4	1142 ± 183	22,6	202 ± 29	1,16 ± 0,28	219 ± 103
	10–20	121 ± 4	26,5 ± 0,9	1023 ± 131	25,9	71 ± 7	1,80 ± 0,32	180 ± 38
3	0–10	62 ± 16	10,8 ± 2,9	823 ± 289	13,1	353 ± 43	2,68 ± 0,70	737 ± 382
	10–20	84 ± 23	15,2 ± 5,1	841 ± 252	18,1	150 ± 21	2,18 ± 0,39	450 ± 87
4	0–10	136 ± 18	20,5 ± 1,7	1644 ± 673	12,5	453 ± 184	2,40 ± 0,75	505 ± 342
	10–20	198 ± 8	21,7 ± 1,5	1219 ± 59	17,8	137 ± 36	1,53 ± 0,39	152 ± 25
5	0–10	135 ± 18	18,6 ± 1,5	1139 ± 95	16,3	368 ± 76	1,85 ± 0,39	351 ± 95
	10–20	174 ± 10	19,4 ± 0,7	874 ± 156	22,2	142 ± 67	2,44 ± 0,44	359 ± 80
6	0–10	92 ± 19	20,3 ± 6,9	989 ± 211	20,5	258 ± 126	2,69 ± 2,04	441 ± 372
	10–20	103 ± 11	20,8 ± 1,3	829 ± 94	25,1	119 ± 92	1,87 ± 0,29	282 ± 126
7	0–10	79 ± 16	11,4 ± 2,5	819 ± 163	13,9	395 ± 146	2,39 ± 0,91	872 ± 426
	10–20	107 ± 25	12,0 ± 3,1	598 ± 135	20,1	141 ± 35	1,98 ± 0,90	387 ± 52
8	0–10	101 ± 9	15,8 ± 1,4	1097 ± 130	14,4	302 ± 102	2,73 ± 1,11	446 ± 287
	10–20	106 ± 15	17,6 ± 1,9	831 ± 77	21,2	85 ± 23	1,99 ± 0,54	177 ± 52
9	0–10	151 ± 12	22,7 ± 2,0	1092 ± 217	20,8	253 ± 65	0,92 ± 0,42	226 ± 140
	10–20	180 ± 8	23,8 ± 1,1	1093 ± 148	21,8	79 ± 14	1,41 ± 0,24	169 ± 28

Koe Exp.	Kerros, Layer, cm	Mn mg/kg	Cu mg/kg	Alkuaine — Element		
				Zn mg/kg	Fe g/kg	Al g/kg
1	0–10	46,0 ± 35,0	3,1 ± 1,1	119,4 ± 109,5	3,0 ± 1,9	0,6 ± 0,3
	10–20	10,0 ± 5,6	2,2 ± 1,5	106,3 ± 80,4	2,9 ± 2,2	0,6 ± 0,7
2	0–10	17,3 ± 9,5	2,8 ± 0,4	21,0 ± 26,3	20,1 ± 5,8	2,6 ± 0,5
	10–20	16,4 ± 5,4	2,8 ± 0,6	26,9 ± 27,9	11,3 ± 1,6	3,1 ± 0,5
3	0–10	15,1 ± 4,5	2,8 ± 0,5	243,2 ± 66,1	2,5 ± 0,7	0,7 ± 0,2
	10–20	10,2 ± 2,8	3,1 ± 0,6	203,9 ± 68,8	2,4 ± 0,9	1,1 ± 0,4
4	0–10	41,2 ± 22,8	8,9 ± 4,4	14,8 ± 16,0	6,0 ± 2,6	4,1 ± 2,5
	10–20	7,4 ± 1,7	9,3 ± 0,5	1,2 ± 1,0	3,1 ± 0,5	6,1 ± 0,4
5	0–10	8,6 ± 3,9	4,3 ± 1,0	37,5 ± 38,7	9,7 ± 2,4	1,9 ± 0,6
	10–20	12,5 ± 3,5	4,8 ± 1,7	32,9 ± 42,5	9,0 ± 2,2	2,4 ± 0,9
6	0–10	120,4 ± 276,1	7,8 ± 8,1	17,1 ± 15,7	7,4 ± 2,0	4,1 ± 0,6
	10–20	25,2 ± 23,0	4,8 ± 1,4	7,3 ± 11,6	6,5 ± 1,3	5,6 ± 0,6
7	0–10	63,5 ± 51,0	4,2 ± 1,9	61,3 ± 45,7	3,1 ± 1,6	0,6 ± 0,2
	10–20	29,3 ± 17,4	4,3 ± 3,6	101,1 ± 94,5	2,9 ± 1,7	0,7 ± 0,4
8	0–10	9,8 ± 3,9	7,6 ± 5,1	92,0 ± 85,1	3,8 ± 1,8	1,8 ± 0,5
	10–20	8,5 ± 6,9	6,8 ± 1,6	109,5 ± 114,2	2,4 ± 1,4	2,5 ± 0,4
9	0–10	13,5 ± 4,9	6,4 ± 0,5	12,1 ± 9,4	1,7 ± 5,9	5,7 ± 0,6
	10–20	14,0 ± 5,1	6,8 ± 0,6	7,6 ± 5,4	9,0 ± 1,5	7,7 ± 0,5

Liite 2. Eri alkuaineiden kokonaismäärät turpeessa (kg/ha), pH ja C/N-suhde sekä näiden hajonnat eri kokeissa.
Appendix 2. Total amounts of nutrients (kg/ha), pH and C/N ratio in peat and their standard deviations in the experiments.

Koe Exp.	Kerros, Layer, cm	N	P	Alkuaine — Element		Mg	Mn
				K	Ca		
1	0–10	632 ± 237	52 ± 27	41 ± 19	170 ± 88	73 ± 61	2,6 ± 1,8
	10–20	915 ± 457	52 ± 34	25 ± 20	140 ± 83	50 ± 20	1,7 ± 4,0
2	0–10	3129 ± 170	139 ± 25	26 ± 4	139 ± 37	28 ± 11	2,3 ± 1,1
	10–20	2952 ± 109	116 ± 15	9 ± 1	193 ± 39	20 ± 4	1,7 ± 0,6
3	0–10	605 ± 282	44 ± 26	19 ± 9	147 ± 71	39 ± 30	0,8 ± 0,3
	10–20	1160 ± 613	64 ± 32	11 ± 3	179 ± 71	37 ± 12	0,7 ± 0,4
4	0–10	2489 ± 405	208 ± 81	58 ± 28	302 ± 83	65 ± 48	5,1 ± 2,6
	10–20	4022 ± 246	226 ± 12	25 ± 7	284 ± 74	28 ± 4	1,4 ± 0,3
5	0–10	2334 ± 462	150 ± 27	49 ± 12	224 ± 46	44 ± 11	1,1 ± 0,5
	10–20	3212 ± 194	152 ± 32	24 ± 10	401 ± 67	60 ± 12	2,0 ± 0,6
6	0–10	1720 ± 382	86 ± 30	23 ± 14	241 ± 208	40 ± 40	1,1 ± 2,5
	10–20	1968 ± 249	78 ± 13	11 ± 9	177 ± 38	27 ± 13	2,4 ± 2,3
7	0–10	862 ± 346	61 ± 21	28 ± 11	180 ± 90	63 ± 32	4,9 ± 4,6
	10–20	1251 ± 617	62 ± 28	14 ± 4	211 ± 141	38 ± 10	3,1 ± 2,3
8	0–10	1767 ± 1579	98 ± 15	26 ± 6	224 ± 77	32 ± 19	0,9 ± 0,3
	10–20	2891 ± 3049	80 ± 14	8 ± 2	186 ± 69	17 ± 4	0,8 ± 0,7
9	0–10	3167 ± 433	151 ± 27	35 ± 8	128 ± 55	31 ± 20	1,8 ± 0,6
	10–20	3961 ± 281	182 ± 26	13 ± 2	236 ± 46	27 ± 6	2,4 ± 0,9

Koe Exp.	Kerros, Layer, cm	Cu	Zn	Alkuaine — Element		pH	C/N
				Fe	Al		
1	0–10	0,2 ± 0,1	7,1 ± 7,2	199 ± 132	42 ± 25	3,4 ± 0,1	51,4 ± 7,5
	10–20	0,2 ± 0,2	8,3 ± 6,2	258 ± 259	60 ± 88	3,4 ± 0,1	50,3 ± 14,0
2	0–10	0,3 ± 0,1	2,3 ± 2,6	2677 ± 860	332 ± 77	3,8 ± 0,1	17,8 ± 1,1
	10–20	0,3 ± 0,1	2,9 ± 2,8	1272 ± 222	364 ± 61	3,9 ± 0,2	19,3 ± 0,6
3	0–10	0,2 ± 0,1	12,8 ± 4,4	137 ± 73	41 ± 24	3,6 ± 0,1	44,1 ± 8,0
	10–20	0,2 ± 0,1	18,1 ± 5,1	180 ± 65	88 ± 41	3,9 ± 0,2	34,5 ± 8,3
4	0–10	1,1 ± 0,5	1,8 ± 2,0	758 ± 292	525 ± 301	3,8 ± 0,2	22,5 ± 2,1
	10–20	1,7 ± 0,1	0,2 ± 0,2	592 ± 95	1141 ± 110	4,0 ± 0,1	20,5 ± 6,2
5	0–10	0,6 ± 0,3	4,8 ± 4,2	1180 ± 366	268 ± 100	3,9 ± 0,2	26,3 ± 2,2
	10–20	0,9 ± 0,4	5,2 ± 6,2	1457 ± 369	455 ± 193	4,1 ± 0,1	27,6 ± 1,2
6	0–10	0,7 ± 0,8	1,5 ± 1,5	642 ± 253	350 ± 100	4,1 ± 0,4	22,1 ± 1,8
	10–20	0,4 ± 0,1	0,7 ± 1,1	621 ± 141	528 ± 69	4,1 ± 0,1	23,3 ± 1,9
7	0–10	0,3 ± 0,2	4,3 ± 3,0	250 ± 172	46 ± 27	3,7 ± 1,0	42,7 ± 8,1
	10–20	0,5 ± 0,5	8,8 ± 7,4	327 ± 265	83 ± 72	3,7 ± 1,0	42,8 ± 8,8
8	0–10	0,7 ± 0,4	10,1 ± 7,8	339 ± 188	170 ± 52	3,8 ± 0,3	30,4 ± 2,5
	10–20	0,7 ± 0,2	13,9 ± 9,9	230 ± 159	243 ± 53	3,9 ± 0,3	26,3 ± 7,4
9	0–10	0,9 ± 0,1	1,7 ± 1,2	2421 ± 678	795 ± 98	4,6 ± 0,1	18,7 ± 2,1
	10–20	1,1 ± 0,1	1,3 ± 0,9	1503 ± 286	1289 ± 97	4,7 ± 0,2	19,9 ± 1,6

Liite 3. Fosfori- ja kaliumlähteet, käytetyt ainemäärät (kg/ha) ja niiden ravinnepitoisuudet (%), sekä fosforin (P) ja kaliumin (K) määrät alkuaineina. Appendix 3. Phosphorus and potassium sources, their amounts (kg/ha) and nutrient concentrations (%), and the amounts of elemental P and K (kg/ha).

Ravinnelähde ¹⁾ Nutrient source ²⁾	1	2	3	4	5	6	7	8	9	P	K	Ca	Mg	B
	Koe — Experiment kg/ha													
Apatiittimalmi, mat. Apatite ore	1900	1900	2350	—	—	—	—	—	—	1,7	5,0	5,5	8,0	—
P_{el}	32	32	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K_{el}	95	95	118	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Apatiittirikaste, mat. Enriched apatite, P_{el}	—	—	—	200	234	200	300	300	203	15,5	0,1	34,8	1,2	—
P_{el}	—	—	—	31	36	31	46,5	46,5	31	—	—	—	—	—
Raakafosfaatti, mat. Rock phosphate, P_{el}	—	—	300	—	309	—	—	—	—	14,4	—	36,4	—	—
P_{el}	—	—	43	—	44	—	—	—	—	—	—	—	—	—
PK-lannos, mat. PK fertilizer, P_{el}/K_{el}	400	400	—	400	—	400	—	—	500	8,7	16,6	21,8	—	0,2 ⁴⁾
P_{el}/K_{el}	35/73	35/73	—	35/73	—	35/73	—	—	44/83	—	—	—	—	—
Flogopiitti mat. Phlogopite, K_{el}	600	600	750	1100	1000	1100	375–2250	750–3000	1200	0,9 ³⁾	4,2–8,1 ³⁾	7,8 ²⁾	7,1 ²⁾	—
K_{el}	30	30	38	55	55	55	20–113	38–150	60	—	—	—	—	—
Kalisuola, mat. Potassium chloride K_{el}	133	133	100	—	142	—	—	100–400	—	—	50	—	—	—
K_{el}	63	63	50	—	71	—	—	50–200	—	—	—	—	—	—
K_{el} apat. + flog, kg/ha	125	125	156	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K_{el} apat. + KCl , kg/ha	95	95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1) mat. = lannoitainetta — fertilizer material, P_{el}, K_{el} = P ja K alkuaineena — P and K as element

2) HCl-uutos — HCl extraction

3) HCl-uutos — HCl extraction 4,2 %, $H_2SO_4 + HNO_3$ -keitto — cooking 7,0 %. Sulate — Melted material 8,1 %

4) Kokeessa 4 ei booria — No boron in Exp. 4

Liite 4 a. Lannoituksen vaikutus fosforin ja kaliumin määriin (kg/ha) turpeen 0–10 cm kerroksessa. Fosforin totaaliarvot kovarianssikorjattu kokonaisalumiinin määrän suhteen. Lannoituksesta 9–13 vuotta.

Appendix 4 a. Effect of fertilization on the amount of phosphorus and potassium in 0–10 cm peat layer. The analysis of covariance was used for the total P calculations with total Al as the covariate. 9–13 years from fertilization.

Ravinne, Nutrient,	Koe Exp.	Totaali — Total Lannoitus — Fertilization						Liukoinen — Soluble Lannoitus — Fertilization					
		0	rk	afl	\bar{x}	p	w ₅ % ¹⁾	0	rk	afl	\bar{x}	p	w ₅ % ¹⁾
P	1	52	58	49	53	>,05	—	14	15	14	14	>,05	—
	2	124	153	139	139	>,05	—	4	6	4	5	<,05	1,6
	3	48	36	72	52	>,05	—	8	9	14	12	>,05	—
	4	185	202	239	209	>,05	—	8	11	11	10	>,05	—
	5	133	158	140	144	>,05	—	8	9	7	8	>,05	—
	9	136	167	150	151	>,05	—	3	4	3	3	<,05	1,0
	\bar{x}	113	129	132	125	<,01 ²⁾	14	8	9	8	9	>,05 ²⁾	—
p				<,001 ³⁾	<,01 ⁴⁾					<,001 ³⁾	>,05 ⁴⁾		
6	48	82	88	73	<,001	11	1	3	2	2	>,05		
K	1	33	34	52	40	>,05	—	35	34	38	36	>,05	
	2	20	28	25	24	<,05	7	13	20	17	>,05		
	3	21	16	24	20	>,05	—	21	16	21	20	>,05	
	4	38	45	93	58	<,05	50	36	42	68	49	>,05	
	5	41	47	47	46	>,05	—	40	45	47	43	>,05	
	9	27	38	40	35	<,05	12	15	26	20	20	>,05	
	\bar{x}	30	35	47	37	<,001 ²⁾	8	27	31	35	31	>,05 ²⁾	
p				<,001 ³⁾	<,01 ⁴⁾					<,001 ³⁾	>,05 ⁴⁾		
6	10	19	16	15	>,05	11	6	14	12	11	>,05		

1) Keskiarvojen merkitsevä ero 5 % riskillä Tukeyn w-range testin mukaan — Significant difference between means at 5 % risk level according to Tukey's w-range test

2) Lannoituksen p-arvo — p value for fertilization

3) Kokeen p-arvo — p value for experiment

4) Lannoituksen ja kokeen yhdysvaikutus. — Interaction between fertilization and experiment

Liite 4 b. Lannoituksen vaikutus kalsiumin ja magnesiumin määriin (kg/ha) turpeen 0–10 cm:n kerroksessa. Lannoituksesta 9–13 vuotta.

Table 4 b. Effect of fertilization on the amount (kg/ha) of calcium and magnesium in 0–10 cm peat layer. 9–13 years from fertilization.

Ravinne, Nutrient,	Koe Exp.	Totaali — Total Lannoitus — Fertilization						Liukoinen — Soluble Lannoitus — Fertilization					
		0	rk	afl	\bar{x}	p ¹⁾	w ₅ % ¹⁾	0	rk	afl	\bar{x}	p ¹⁾	w ₅ % ¹⁾
Ca	1	121	127	255	168	>,05	—	88	91	158	112	>,05	—
	2	105	155	161	140	>,05	—	51	91	96	79	>,05	—
	3	141	109	234	161	>,05	—	105	88	163	118	>,05	—
	4	209	324	374	302	>,05	—	133	213	167	171	>,05	—
	5	230	239	232	234	>,05	—	159	167	153	159	>,05	—
	9	75	144	164	128	<,05	84	55	81	102	79	<,05	4
	\bar{x}	147	183	237	189	<,001	43	99	122	140	120	<,01	6
p ¹⁾				<,001	>,05					<,001	>,05		
6	95	158	158	134	>,05		14	8	17	13	>,05	—	
Mg	1	39	31	128	66	<,05	100	35	29	65	43	<,001	19
	2	17	23	39	26	>,05	—	12	16	22	17	<,05	8
	3	35	24	80	46	>,05	—	33	24	44	34	>,05	—
	4	31	38	126	65	<,01	62	29	34	45	36	>,05	—
	5	49	35	51	45	>,05	—	46	33	42	40	>,05	—
	9	20	23	50	31	<,05	29	11	14	19	15	<,01	4
	\bar{x}	32	29	79	47	<,001	18	28	26	39	31	<,001	8
p ¹⁾				<,01	<,01					<,001	<,001		
6	14	20	30	21	>,05	—	11	16	18	15	<,05	—	

1) Selitykset liitteessä 4a — Key in App. 4a.

Liite 5. Kalsiumin ja magnesiumin määrät turpeen 0–10 cm:n kerroksessa (kg/ha) kokeessa 8 annettaessa apatiitin (300 kg/ha) lisäksi eri määriä kalisuolaa (k) ja flogopiittia (fl).

Appendix 5. Effect of the rate of KCl (k) and phlogopite (fl) on the amounts (kg/ha) of calcium and magnesium in 0–10 cm peat layer in Exp. 8. In addition 300 kg/ha of apatite was applied.

Ravinne Nutrient	Laji Type	Lannoitetta — Fertilizer,				\bar{x}	p ¹⁾	w ₅ % ¹⁾
		0	100 k 750 fl	200 k 1500 fl	400 k 3000 fl			
Tot. Ca	KCl	154	210	180	185	192		
	Flog.		219	256	367	281		
	\bar{x} p ¹⁾		214	218	276	237 <,01	>,05 <,05	72
Liuk. Sol. Ca	KCl	90	125	107	108	113		
	Flog.		124	151	229	168		
	\bar{x} p ¹⁾		125	129	169	141 <,01	>,05 <,05	
Tot. Mg	KCl	19	22	22	22	22		
	Flog.		27	46	67	47		
	\bar{x} p ¹⁾		24	34	44	35 <,001	<,05 <,05	19
Liuk. Sol. Mg	KCl	16	11	19	18	16		
	Flog.		21	27	28	25		
	\bar{x} p ¹⁾		16	23	23	21 <,01	>,05 >,05	

¹⁾ Lannoittamattomat eivät mukana varianssianalyysissä. Selitykset taulukossa 5 ja liitteessä 4a. — *Unfertilized plots not included in the analyses of variance. Key in Table 5 and App. 4a*

Liite 6. Neulasten tyyppi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet 3–7 ja 9–14 vuoden kuluttua lannoituksesta.
Appendix 6. Foliar nitrogen, phosphorus and potassium concentrations 3–7 and 9–14 years after fertilization.

Ravinne Nutrient	Koe Exp.	Aika ¹⁾ Time ¹⁾ a	Näytteet — Samples 1981–84			Näytteet — Samples 1990			w ₅ % ²⁾					
			rk	afl	\bar{x}	p ²⁾	w ₅ % ²⁾	rk		afl	\bar{x}	p ²⁾	w ₅ % ²⁾	
N, %	1	7	1,15	1,14	1,16	1,15	>05	—	1,01	0,98	0,94	0,98	>05	—
	2	5	1,99	1,63	1,92	1,85	>05	—	1,49	1,24	1,24	1,33	>05	—
	3	5	1,43	1,49	1,52	1,48	>05	—	1,16	1,03	1,13	1,07	>05	—
	4	3	1,64	1,56	1,57	1,59	>05	—	1,19	1,20	1,33	1,24	>05	—
	5	3	—	—	—	—	—	—	1,39	1,17	1,19	1,25	>05	—
	9	5	1,60	1,32	1,32	1,41	<05	0,26	1,68	1,49	1,45	1,54	<05	0,18
	\bar{x}		1,56	1,43	1,50	1,50	<05	0,12	1,30	1,19	1,21	1,23	<01	0,07
	p ²⁾		—	—	<001	<001	<001	—	2,00	1,73	1,68	1,80	<05	>05
	6		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P, g/kg	1	7	1,33	1,48	1,32	1,38	>05	—	1,42	1,64	1,38	1,48	<01	0,24
	2	5	1,05	1,48	1,07	1,20	<001	0,04	1,07	1,65	1,26	1,32	<001	0,14
	3	5	1,56	2,04	1,99	1,86	>05	—	1,60	2,31	2,70	2,20	>05	—
	4	3	1,34	1,73	1,57	1,55	>05	—	1,41	2,07	1,93	1,80	>05	—
	5	3	—	—	—	—	—	—	1,11	1,63	1,48	1,41	<001	0,35
	9	5	0,93	1,41	1,31	1,21	<001	0,14	0,98	1,42	1,44	1,28	<001	0,15
	\bar{x}		1,24	1,62	1,45	1,44	<001	0,12	1,26	1,78	1,70	1,51	<01	0,11
	p ²⁾		—	—	<001	<001	<05	—	0,88	1,12	1,17	1,05	<05	<01
	6		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,20
K, g/kg	1	7	4,05	4,18	4,56	4,27	>05	—	4,22	4,32	4,28	4,27	>05	—
	2	5	3,90	4,80	4,37	4,36	<05	0,51	3,30	3,68	4,33	3,77	>05	—
	3	5	5,30	6,15	6,35	5,93	>05	—	4,35	5,15	5,20	4,90	>05	—
	4	3	4,35	5,10	4,30	4,58	<01	0,77	3,50	4,05	4,30	3,95	>05	—
	5	3	—	—	—	—	—	—	3,37	4,18	4,03	3,86	<001	0,43
	9	5	3,04	4,03	3,91	3,67	<01	0,67	3,58	3,90	4,25	3,91	<01	0,41
	\bar{x}		4,13	4,85	4,70	4,38	<001	0,35	3,72	4,21	4,40	4,09	<001	0,18
	p ²⁾		—	—	—	<001	>05	—	—	—	—	<001	<05	<05
	6		—	—	—	—	—	—	2,67	2,82	3,92	3,14	<001	0,29

1) Vuosia lannoituksesta — Years from fertilization

2) Selitykset liitteessä 4a — Key in App. 4a

Liite 7. Neulasten boori-, kupari- ja sinkkipitoisuudet 3–7 ja 9–14 vuoden kuluttua lannoituksesta.
Appendix 7. Foliar boron, copper and zinc concentrations 3–7 and 9–14 years after fertilization.

Ravinne Nutrient	Koe Exp.	Aika ¹⁾ Time ¹⁾ a	0	rk	afl	\bar{x}	p ³⁾	w ₅ % ³⁾	Aika ¹⁾ Time ¹⁾ a	0	rk	afl	\bar{x}	p ³⁾	w ₅ % ³⁾	
			Näytteet — Samples 1981–84 Lannoitus — Fertilization								Näytteet — Samples 1990 Lannoitus — Fertilization					
B, mg/kg	1	7	25	11 ²⁾	11	16	<01	10	14	16	14 ²⁾	12	14	>05	—	
	2	5	13	16 ²⁾	17	15	<05	3	14	13	10 ²⁾	11	11	>05	—	
	3	5	20	18	22	20	>05	—	14	8	7	4	6	>05	—	
	4	3	19	17	15	17	>05	—	12	9	6	3	6	>05	—	
	5	3	—	—	—	—	—	—	9	10	6	6	7	<001	3	
	9	5	12	20 ²⁾	10	14	<001	5	11	13	18 ²⁾	9	14	<01	6	
	\bar{x}		18	17	15	16	>05	—		12	10	10	7	10	<001	3
	p ³⁾		—	—	—	>05	<001	—	11	16	14 ²⁾	7	12	>05	<01	3
	6		—	—	—	—	—	—								
Cu, mg/kg	1	7	4,1	3,4	4,0	3,8	>05	—	14	2,8	2,6	2,5	2,7	>05	—	
	2	5	3,1	3,0	3,2	3,1	>05	—	14	3,0	1,6	2,7	2,4	<01	0,9	
	3	5	3,1	3,2	2,8	3,0	>05	—	14	3,6	3,4	3,2	3,4	>05	—	
	4	3	4,1	3,4	3,8	3,8	>05	—	12	3,4	3,4	3,6	3,5	>05	—	
	5	3	—	—	—	—	—	—	9	2,9	2,5	2,6	2,7	>05	—	
	9	5	3,5	2,8	3,3	3,2	<05	0,5	11	4,1	3,2	3,4	3,6	<05	0,8	
	\bar{x}		3,6	3,1	3,4	3,4	<05	0,4		3,3	2,8	3,0	2,9	<001	0,3	
	p ³⁾		—	—	—	<001	>05	—	11	3,1	3,0	3,1	3,1	<05	<05	>05
	6		—	—	—	—	—	—								
Zn, mg/kg	1	7	—	—	—	—	—	—	14	55	56	54	55	>05	—	
	2	5	—	—	—	—	—	—	14	67	43	65	58	<001	—	
	3	5	—	—	—	—	—	—	14	58	53	52	54	>05	—	
	4	3	—	—	—	—	—	—	12	59	45	50	51	>05	—	
	5	3	—	—	—	—	—	—	9	63	50	55	56	>05	—	
	9	5	—	—	—	—	—	—	11	78	53	61	64	>01	—	
	\bar{x}		—	—	—	—	—	—		63	50	56	56	<001	5	
	p ³⁾		—	—	—	—	—	—	11	43	36	47	42	<01	<05	
	6		—	—	—	—	—	—								

1) Vuosia lannoituksesta — Years from fertilization

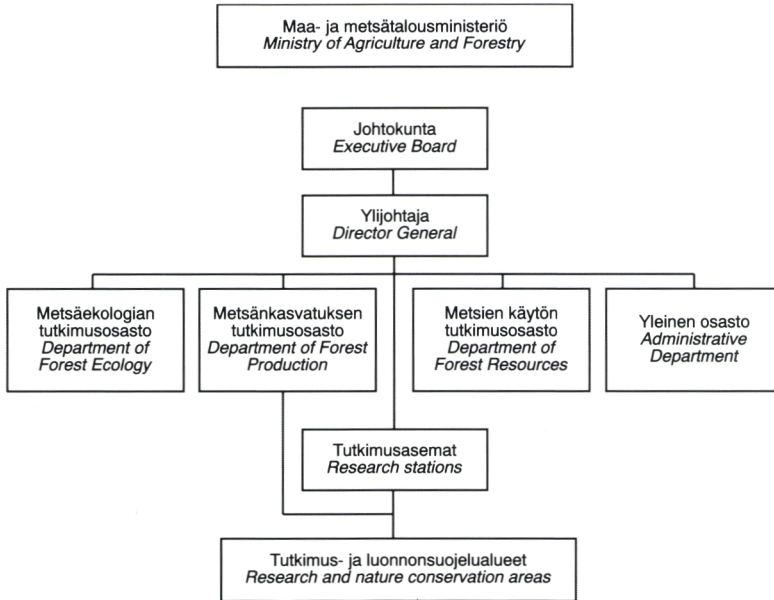
2) Saanut booria — Received boron

3) Selitykset liitteessä 4a — Key in App. 4a

Liite 8. Neulasten keskimääräiset ravinnepitoisuudet kokeissa 7 ja 8.
Appendix 8. Mean foliar nutrient concentrations in Exps. 7 and 8.

	Vuosi Year	Ravinne — Nutrient				
		N mg/g	P mg/g	K mg/g	B mg/kg	Cu mg/kg
Koe — <i>Exp. 7</i>	1981	16,2	1,67	4,75	23	3,7
	1990	11,8	1,63	4,11	8	2,2
Koe — <i>Exp. 8</i>	1981	14,4	2,07	5,09	11	4,3
	1990	12,7	1,67	4,59	4	2,9

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 799 Penttinen, Markku: Tulos- ja kustannuslaskentamallien soveltuvuus yhteismetsätalouteen.
Applicability of profit and cost accounting models to jointly-owned forests.
- No 800 Pesonen, Mauno & Hirvelä, Hannu: Liiketaloudelliset harvennusmallit Etelä-Suomessa.
Thinning models based on profitability calculations for southern Finland.
- No 801 Mäkinen, Harri & Uusvaara, Olli: Lannoituksen vaikutus männyn oksikkuuteen ja puuaineen laatuun.
Effect of fertilization on the branchiness and the wood quality of Scots pine.
- 1993
- No 802 Pesonen, Mauno, Jämsä, Jari & Hirvelä, Hannu: Harvennushakkuiden edullisuusvertailu metsälötasolla.
Profitability comparisons of thinnings at the forest holding level.
- No 803 Hakkila, Pentti & Kalaja, Hannu: Ketjukarsinta ensiharvennumännikön korjuuratkaisuna.
Flail delimiting in the first commercial thinning of Scots pine.
- No 804 Saarilahti, Martti: Mikroaaltosondin soveltuvuus hakekuorman käyttöarvon mittaukseen.
Measuring of the chip load properties using microwave sounding.
- No 805 Salminen, Olli: Männikön ja kuusikon liiketaloudellinen vajaatuottoisuus.
Profitability of growing understocked Scots pine and Norway spruce stands.
- No 806 Verkasalo, Erkki: Koivupuutavaran vikaantuminen pitkittyneessä metsävarastoinnissa ja sen vaikutus viulun saantoon, laatuun ja arvoon.
Deterioration of birch timber during prolonged storage in the forest and its effect on the yield, quality and value of rotary-cut veneer.
- No 807 Rossi, Seppo, Varmola, Martti & Hyppönen, Mikko: Pellonmetsitysten onnistuminen Lapissa.
Success of afforestation of old fields in Finnish Lapland.
- 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.