

Lannoituksen vaikutus kuusikoiden kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla turvemaileda Pohjois-Suomessa

Effects of fertilization on tree growth and nutrient status of Norway spruce stands on drained peatlands in northern Finland

Mikko Moilanen, Timo Penttilä & Jorma Issakainen

Mikko Moilanen & Jorma Issakainen, The Finnish Forest Research Institute, Muhos Research Station, Kirkkosaarentie, FIN-91500 Muhos, Finland (e-mail mikko.moilanen@metla.fi)

Timo Penttilä, The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Station, P.O. Box 16, FIN-96301 Rovaniemi, Finland

The stand-level responses to fertilization and refertilization were studied in seven factorial field experiments established in 1974–1976. The factors were nitrogen fertilization (N) and phosphorus–potassium fertilization (PK). The factorial treatments were applied at two levels: (i) control and (ii) fertilized with a dosage following the currently used Finnish forest fertilization guide-lines. The spruce-dominated stands were selected from areas drained according to normal forestry practices between 1932 and 1969. The sites covered fairly well the trophic variation that occurs on spruce-dominated peatlands in the mid-boreal zone in Finland. Tree growth was monitored during two periods of five to seven years. The second period followed the refertilization in 1985. At the end of the second period, one-year-old sun-exposed needles were sampled from the four southernmost stands for nutrient analyses. The effects of fertilization on tree growth were generally fairly weak and insignificant, especially during the first study period. After refertilization, the effect of N was positive in three stands on mesotrophic sites. The foliar nutrient analyses of unfertilized spruces showed low concentrations of N, P, and Cu. PK-fertilization increased foliar P concentrations and, in some cases, also K concentrations. Since the PK-fertilizer included some borate, it also increased foliar B concentrations. N-fertilization did not affect foliar N, P, or K concentrations but it decreased foliar concentrations of Ca, Zn, and B in some cases. Both the growth responses and the foliar nutrient analyses indicated that nitrogen was the most deficient macro-nutrient.

Key words: foliar nutrients, growth responses, mires, nitrogen, phosphorus, *Picea abies*, potassium

JOHDANTO

Käsitys suopuustojen ravinnetaloudesta ja lannoituksen vaikutuksesta siihen perustuu suurelta osin männiköistä saatuihin tutkimustuloksiin. Kuusikoiden ravinnetaloutta on tutkittu selvästi vähemmän. Korpia pidetään yleisesti rämeitä ravinteikkaampina kasvupaikkoina erityisesti kivennäisravinteiden suhteen. Kun korprien puulajeiksi luonnostaan valikoituvat kuusi ja hieskoivu, voidaan kuusen jo tämän perusteella olettaa olevan mäntyä vaateliaampi kasvupaikan ravinteisuuden suhteen. Luonnontilaisilla soilla kuusen esiintyminen kuvastaa Eurolan ym. (1994) mukaan yleensä kasvupaikan meso- tai eutrofisuutta, kun mäntyvaltaiset rämeet ovat ravinteisuudeltaan enimmäkseen ombro-oligotrofisia. Typen niukkuus tuskin rajoittaa kuusen esiintymistä turvemaidella, sillä niihin verrattuna yleensä niukatypisten kangasmaiden kasvupaikkojenkin tiedetään kuusettuvan helposti. Kuusen kasvun kannalta N kuitenkin saattaa olla minimitelijä Pohjois-Suomessa. Siihen viittaavat inventointiaineistoihin perustuvat havainnot, joiden mukaan metsäojitus lisää kuusikoiden kasvua vain Etelä-Lapin letto- ja ruohokorvissa (Penttilä 1990).

Valtakunnanmetsien 7. inventoinnin mukaan (Paavilainen & Tiihonen 1988) kuusivaltaisten metsiköiden osuus metsämaan soiden pinta-alasta oli Etelä-Suomessa 26% ja Pohjois-Suomessa 16%. Kuusen osuus suopuustojen kokonaistilavuudesta oli vastaavasti Etelä-Suomessa 33% ja Pohjois-Suomessa 28%, joten kuusikot ovat keskimäärin puustoisempia kuin muut suometsät. Kuusivaltaisuus painottuu lisäksi puuntuotoskyvyltään keskimääräistä paremmille soille.

Ojitettuja turvemaita koskevia kuusikoiden lannoitustuloksia on esitetty varsin niukalti. Kasvualustan typpitalouden on arvioitu määrävän lannoitusvaikutuksen suuruuden (Paavilainen 1975). Etelä-Suomessa runsastypissä korpikohteissa PK-käsittelyn vaikutuksen on havaittu kestäneen yli 10 vuotta, mutta puolukakorvessa kasvureaktio oli lyhyempi ja ilmeni vasta kun fosforin ja kaliumin lisäksi käytettiin typpeä (Hämäläinen ym. 1985). Paarlahden ja Paavilaisen (1985) tutkimuksessa pääravinnelisyysten puustovaikutukset jäivät vaatimattomiksi kohteen viljavuudesta riippumatta, etenkin Pohjois-Suomen korpikuusikoissa. Suokuusikoiden ja -männiköiden ravinnevaatimusten vertailua ei maassamme

ole juuri tehty. Finérin (1989) mukaan lannoitus lisäsi puuston biomassatuotosta mustikkakorpi-muuttuman kuusikossa enemmän kuin nevaräme-muuttuman männikössä. Kuusi myös hyödynsi lannoiteravinteista huomattavasti suuremman osan kuin mänty ja käytti saman biomassamäärän tuottamiseen enemmän kalsiumia, mangaania ja booria kuin mänty.

Kivennäismailla kuusen on todettu reagoivan typpilisäykseen mäntyä heikommin, etenkin viljavilla kasvupaikoilla (Malm ym. 1974, Hynynen & Kukkola 1989). Kuusi myös reagoi lannoitukseen yleensä mäntyä hitaammin, mutta vaikutus kestää pitempään (Puro 1977, 1982). Useimmiten puuston kasvunlisäys jää pienemmäksi kuin männyllä (Möller & Rytterstedt 1975, Keipi & Laakkonen 1980, Laakkonen ym. 1983). Lannoitusreaktiota mallittaessaan Kukkola ja Saramäki (1983) totesivat, että kuusikoissa typpilannoituksen vaikutus on kangasmailla voimakkain keskimääräistä karummilla kasvupaikoilla. Viljavuudeltaan parhaimmissa kuusikoissa typpilannoitus voi jopa heikentää puuston kasvua (Malm ym. 1974).

Tässä tutkimuksessa selvitettiin sekä kerta-että uusintalannoituksen vaikutuksia ojitettujen korpikuusikoiden ravinnetilaa ja puuston kasvuun Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun ja Perä-Pohjan alueella. Tutkimuskohteiden ravinnetilän muutokset määritettiin neulasanalyyseillä ja puustovaikutusten suuruutta tutkittiin runkopuuston tilavuuskasvussa ensimmäisen ja toisen lannoituksen jälkeen tapahtuneiden muutosten avulla.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Metsäntutkimuslaitos perusti vuosina 1974–76 maan eri osiin 14 koetta käsittävän ojitusaluiden kuusikoiden lannoituskoesarjan. Tähän tutkimukseen koesarjasta valittiin seitsemän koetta Oulun ja Lapin läänien alueelta (Taulukko 1). Sijainnin lisäksi valituilta kohteilta edellytettiin, että käytettävissä olivat riittävät puustonmittaustiedot kahdelta vähintään viiden vuoden pituiselta aikajaksolta.

Kokeiden kasvupaikat luokiteltiin perustamistavaiheessa ja tutkimusjakson aikana tehtyjä suotyypimääriä hyväksi käyttäen Laineen ja Vasanderin (1990) esittämiin turvekangastyyppihin. Kasvupaikat kattoivat lehtokorpia lukuunottamatta sen vaihtelun, jolla metsänkasvatuskelpoi-

Taulukko 1. Kokeiden yleistietoja: N, E = pohjois- ja itäkoordinaatit; H = korkeus merenpinnasta (m); DD = kasvukauden keskimääräinen tehoisa lämpösumma (dd, kynnyksarvolla 5°C).

Table 1. Characteristics of the experiments: N, E = coordinates; H = elevation a.s.l. (m); DD = average temperature sum of growing seasons (dd, at 5°C threshold).

Koe Experiment	N	E	H	DD	Turvekangas- tyyppi Site type	Turpeen syvyys Peat depth cm	Ojitusvuodet Years of ditching	Lannoitusajankohdat Times of treatments kk/v month/year
Juuka	6999	608	210	1014	Mtkg I	25–50	1968	05/1975, 06/1985
Kuhmo	7144	642	199	939	Rhtkg	20–40	1936, 1976	05/1976, 05/1985
Pyhäjärvi	7051	432	160	1032	Mtkg I	70–100+	1934, 1970	05/1975, 05/1985
Ristijärvi	7167	561	200	919	Ptkg I	25–30	1957	06/1975, 06/1985
Tervola 1	7342	445	140	907	Rhtkg	40–60	1935, 1974	10/1974, 06/1985
Tervola 2	7325	418	70	957	Rhtkg	30–60	1969	10/1974, 08/1985
Ylitornio	7381	440	130	880	Ptkg I	20–40	1932, 1976	08/1975, 06/1985

sia kuusikoita Pohjois-Suomessa esiintyy. Sarkaleveys vaihteli kokeesta riippuen välillä 30–60 m. Kolmessa kohteessa kuivatusta parannettiin kunnostusojituksella kokeiden perustamisen yhteydessä. Juukan kokeella oijen kunto heikkeni merkittävästi tutkimusjakson loppua kohti. Muissa kohteissa kuivatustila säilyi tyydyttävänä.

Puustoltaan kohteet edustivat nuoria ja varttuneita kasvatusmetsiköitä (Taulukko 2). Useimmilla kokeilla puustoa harvennettiin sekä perustamisvaiheessa että toisen lannoituksen yhteydessä 1980-luvulla. Poistettava ja jäävä puusto eriteltiin puustonmittauksessa, ja harvennukset toteutettiin mittausten jälkeen. Harvennusten tavoitteena oli vähentää lähtöpuuston määrän vaihtelua metsiköi-

den sisällä. Harvennukset olivat lieviä, joten niistä aiheutuvat kasvureaktiot ja mahdolliset yhdysvai-
kutukset lannoituksen aiheuttamien kasvureaktioiden kanssa katsottiin voitavan sisällyttää varianssianalyysimallin virhetermiin.

Kaikissa kokeissa käytettiin yhdenmukaista faktoriaalista koejärjestelyä, joka toistettiin kahdesta neljään kertaan kussakin kokeessa. Tekijät olivat typpilannoitus (N) ja fosforikaliumlannoitus (PK). Kumpikin tekijä esiintyi kahdella tasolla, lannoittamaton (taso 0) ja lannoitettu (taso 1). Käsitteilyn taso 1 vastasi kunkin pääravinteiden osalta metsänlannoituksessa yleisesti käytettyä annostusta (Taulukko 3). N annettiin oulunsalpietarina, P ja K suometsien PK-lannoksena. Koealat, joiden pinta-ala vaihteli välillä 0,06–0,16 ha, rajattiin sarkaojan keskeltä seuraavan ojan keskelle, joten ne edustivat metsiköiden todellisia pinta-aloja ojastoineen. Saran pituussuunnassa peräkkäisten koealojen väliin jätetylle vaippa-alueelle annettiin

Taulukko 2. Puustotunnukset (V = runkotilavuus, Hdom = valtapituus) kokeiden perustamisvaiheessa, puustojen harvennusvuodet ja kontrollikoealojen puuston keskikasvut (I_v) tutkimusjaksoilla I ja II.

Table 2. Stand characteristics (V = stem volume, Hdom = dominant height) at the set-up of the experiments, years of thinnings in the stands, and mean annual increment (I_v) on the control plots by study periods I and II.

Koe Experiment	V, m ³ ha ⁻¹	Hdom, m	Harvennus Thinning year	I _v , m ³ ha ⁻¹	
				I	II
Juuka	71	12.7	1976, -85	6.1	7.4
Kuhmo	123	17.4	1976	2.7	4.7
Pyhäjärvi	67	11.7	1970, -85	3.9	3.9
Ristijärvi	68	11.5	1976, -85	3.8	2.2
Tervola 1	43	9.6	1974	3.2	2.8
Tervola 2	15	6.6	1974	1.9	1.0
Ylitornio	41	7.7	1975	1.3	1.7

Taulukko 3. Pääravinteiden ja boorin annostus (kg ha⁻¹) käsittelytekijöittäin 1. ja 2. lannoituskerralla.

Table 2. Dosages (kg ha⁻¹) of the main nutrients and boron by experimental factors at the 1st and the 2nd fertilization treatment.

Tekijä Factor	Lannoituskerta Treatment	Ravinneannos – Nutrient dosage			
		N	P	K	B
N	1 (1975–1976)	104	–	–	–
	2 (1985)	110	–	–	–
PK	1 (1975–1976)	–	53	63	–
	2 (1985)	–	45	85	10

noin 5 metrin levyiselle kaistalle sama lannoitus-käsittely kuin varsinaiselle koelalle.

Koalojen puustotunnukset mitattiin tutkimusjakson aikana neljä kertaa (ensimmäinen mittaus vuosina 1975–76, toinen vuosina 1981–82, kolmas vuonna 1985 ja neljäs vuosina 1990–91). Ensimmäisessä ja toisessa mittauksessa puusto luettiin läpimittaluokittain. Koko läpimittajakauman alueelta valittiin koelaa kohti 30–35 koepuuta, joista mitattiin rinnankorkeusläpimitan (mm) lisäksi pituus (dm). Uusintamittauksissa kontrolloitiin, että koaloittainen lukupuiden määrä täsmäsi edellisen mittauksen jäävän puuston lukumäärään. Kolmannessa mittauksessa koalojen puut yksilöitiin kartoittamalla. Tässä tutkimuksessa ensimmäisen lannoituksen jälkeinen tutkimusjakso I käsitti Oulun läänin kokeilla ensimmäisen ja toisen mittauksen väliset kasvukaudet ja Lapin läänin kokeilla ensimmäisen ja kolmannen mittauksen väliset kasvukaudet. Toisen lannoituksen jälkeinen tutkimusjakso II käsitti kaikilla kokeilla kolmannen ja neljännen mittauksen väliset kasvukaudet.

Puustotunnukset laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen KPL-laskentaohjelmalla (Heinonen 1994). Runkopuuston tilavuuskasvu määritettiin koaloittain erotusmenetelmällä vähentämällä mitaushetken kokonaistilavuudesta edellisessä mittauksessa jääneen puuston kokonaistilavuus. Lannoituksen vaikutusta puuston tilavuuskasvuun analysoitiin SAS-ohjelmiston GLM-proseduurin mukaisella faktorikokeen varianssianalyysimallilla käyttäen pienimmän neliösumman menetelmää. Kokeiden sisäisestä lähtöpuuston vaihtelusta aiheutuvan kohinavaikutuksen vähentämiseksi analyysit tehtiin myös käyttäen kovariaattina runkopuuston kokonaistilavuutta ensimmäisessä mittauksessa. Niillä kokeilla, joilla kovariaatin varianssikomponentti oli merkitsevä molemmilla tutkimusjaksoilla, esitettävät tulokset perustuvat kovarianssianalyysiin.

Puuston kasvureaktioiden tulkinnan tueksi kerättiin Oulun läänin kokeilta joulukuun 1989 ja maaliskuun 1990 välisenä aikana (viisi kasvukautta uusintalannoituksesta) kaikilta koaloilta neulasnäytteet ravinneanalyysijä varten. Uusintalannoituksesta oli tällöin kulunut viisi kasvukautta. Neulasnäytteiden keruu tehtiin standardimenetelmällä (Kukkola & Veijalainen 1987). Kukin näyte koostui koalan vallitsevasta latvuserroksesta 6–8

puusta latvuksen etelänpuoleisesta yläosasta kerätyistä edellisestä kesän syntyneistä neulasista. Neulasten tuhkapitoisuus ja kokonaisravinteet määritettiin kuivapoltetuista näytteistä. Ravinteet analysoitiin tuhkituksen jälkeen suolahappoliuoksesta. Fosfori määritettiin vanadomolybdaattimenetelmällä ja K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn ja Cu AAS:lla. Boori määritettiin atsometiini-H-menetelmällä ja N Kjeldahl-menetelmällä (Halonen ym. 1983).

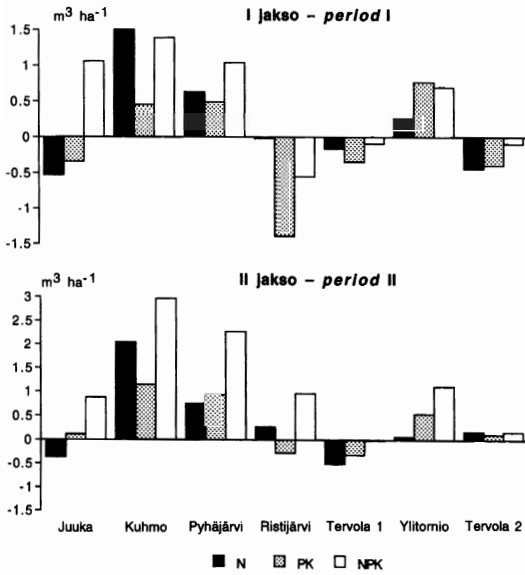
TULOKSET

Lannoituksen faktoriaaliset vaikutukset koemetsiköiden tilavuuskasvuun olivat yleensä heikkoja (Taulukko 4, Kuva 1). Ensimmäisen lannoituskeran jälkeen PK-tekijä lisäsi Ylitornion kokeessa puuston kasvua merkitsevästi. Lannoituksen uusi-

Taulukko 4. Varianssianalyysitulokset lannoituksen faktoriaalisesta vaikutuksesta puuston tilavuuskasvuun tutkimusjaksoilla I ja II.

Table 4. The *F* and *p* values according to the ANOVA of the factorial effects on the stand volume increment, by study periods I and II.

Koe <i>Experiment</i>	Tekijä <i>Factor</i>	F		p	
		I	II	I	II
Juuka	N	0.10	0.02	0.77	0.89
	PK	0.20	0.29	0.68	0.62
	N*PK	0.48	0.20	0.53	0.67
Kuhmo	N	2.99	5.86	0.16	0.07
	PK	0.06	1.65	0.82	0.27
	N*PK	0.15	0.02	0.72	0.89
Pyhäjärvi	N	3.26	4.23	0.15	0.11
	PK	1.85	5.73	0.25	0.08
	N*PK	0.01	0.33	0.19	0.60
Ristijärvi	N	1.19	7.84	0.34	0.05
	PK	6.48	0.60	0.06	0.48
	N*PK	1.30	3.25	0.32	0.15
Tervola 1	N	0.02	0.16	0.89	0.70
	PK	0.19	0.10	0.67	0.76
	N*PK	0.41	2.49	0.53	0.14
Tervola 2	N	0.10	1.36	0.75	0.27
	PK	0.21	1.58	0.66	0.25
	N*PK	0.86	0.15	0.37	0.71
Ylitornio	N	0.37	0.58	0.57	0.49
	PK	11.02	4.63	0.03	0.09
	N*PK	0.51	0.08	0.52	0.79

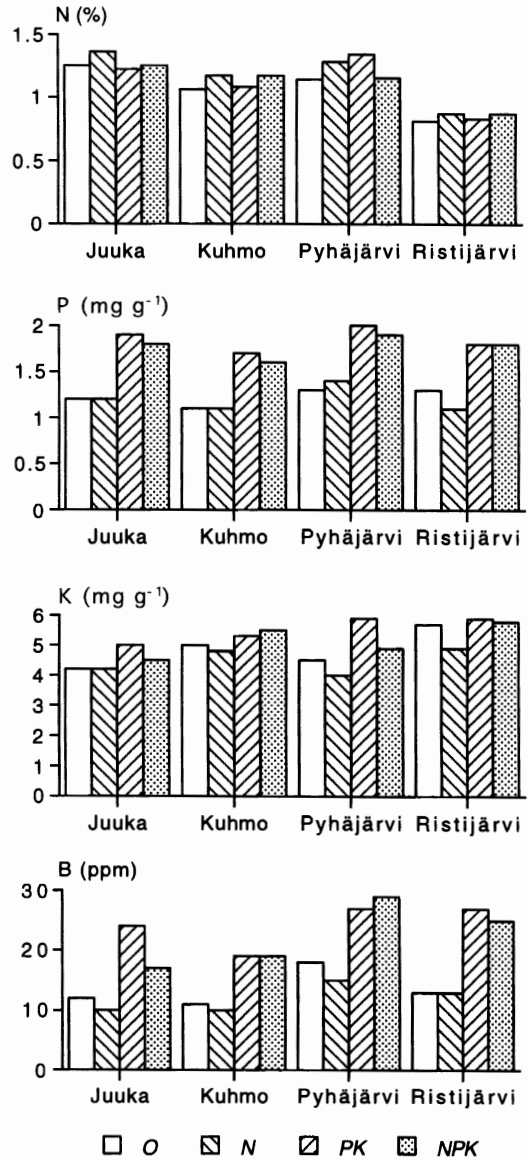


Kuva 1. Lannoituksen aiheuttamat puuston tilavuuskasvu-reaktiot kokeittain, käsittelyittäin ja tutkimusjaksoittain (I ja II).

Fig. 1. Stand volume growth responses by experiments, by treatments, and by study periods I and II.

misen jälkeen viitteitä typen positiivisesta vaikutuksesta ilmeni selvimmin Kuhmon ja Pyhäjärven kokeilla, joskaan ei niilläkään tilastollisesti merkitsevinä. Ylitorniossa ja Pyhäjärvellä PK-uusintalannoituksen vaikutus oli samoin viitteellinen. Merkitseviä yhdysvaikutuksia ei esiintynyt kummallakaan tarkastelujaksolla.

Lannoittamattomilla koelaloilla neulasten N-pitoisuus vaihteli välillä 0,82–1,26%, P-pitoisuus välillä 1,09–1,60 mg g⁻¹ ja K-pitoisuus välillä 4,23–5,71 mg g⁻¹ neulasten kuivamassasta (Kuva 2). Typpitekiä ei yleensä vaikuttanut ravinnepitoisuuksiin, mutta alensi muutamissa tapauksissa neulasten Ca-, Zn- ja B-pitoisuuksia (Taulukko 5). PK-tekijällä oli merkitsevä positiivinen vaikutus neulasten P-pitoisuuteen kaikilla kokeilla. Kuusenneulasten P-pitoisuus oli PK- ja NPK-käsittelyn saaneilla koelaloilla keskimäärin 1,81 mg g⁻¹ ja vertailukoelaloilla 1,22 mg g⁻¹ (Kuva 2). Neulasten K-pitoisuutta PK-tekijä kohotti merkitsevästi vain Pyhäjärven kokeessa. Kuitenkin koko aineistossa K-pitoisuus oli PK-lannoitetuilla koelaloilla keskimäärin korkeampi (5,5 mg g⁻¹) kuin vertailualoilla (4,9 mg g⁻¹). Booripitoinen PK-lannos kohotti kaikissa kokeissa selvästi myös neulasten B-pitoisuutta (Kuva 2, Taulukko 5). Lannoittamatto-



Kuva 2. Neulasten typpi-, fosfori-, kalium- ja booripitoisuudet kokeittain ja lannoituskäsittelyittäin talvella 1990–1991. Uusintalannoituksesta kulunut 5 vuotta. Käsittelyt kuten Kuvassa 1.

Fig. 2. The foliar concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium and boron by treatments in winter 1990–1991, five years after re-fertilization. Treatments as in Fig. 1.

mien kuusten neulasten B-arvot olivat keskimäärin 14 ppm ja PK-lannoitetujen vastaavasti 23 ppm. Muiden ravinteiden osalta lannoituskäsittelyjen vaikutukset eivät yleensä olleet merkitseviä (Taulukko 5).

Taulukko 5. Varianssianalyysitulokset lannoituksen faktoriaalisesta vaikutuksesta neulasten ravinnepitoisuuksiin viiden vuoden kuluttua uusintalannoituksesta (+ = lisäävä vaikutus; - = alentava vaikutus).

Table 5. The *F* and *p* values according to the ANOVA of the factorial effects upon the foliar nutrient concentrations 5 years after refertilization (+ = increasing effect; - = decreasing effect).

Ravinne <i>Element</i>	Tekijä <i>Factor</i>	Koe – <i>Experiment</i>							
		Juuka		Kuhmo		Pyhäjärvi		Ristijärvi	
		F	p	F	p	F	p	F	p
N	N	1.37	0.31	28.4	0.01 +	0.08	0.79	0.65	0.47
	PK	1.61	0.27	0.90	0.40	0.17	0.70	0.01	0.93
	N*PK	0.40	0.56	0.33	0.60	3.38	0.14	0.01	0.93
P	N	0.06	0.81	0.29	0.62	0.02	0.89	34.1	0.00 –
	PK	46.8	0.00 +	20.2	0.01 +	32.5	0.01 +	484	0.00 +
	N*PK	0.46	0.54	0.29	0.62	1.35	0.31	15.0	0.02 +
K	N	0.16	0.71	0.00	0.97	6.57	0.06	1.50	0.29
	PK	0.53	0.51	3.79	0.12	14.3	0.02 +	2.04	0.23
	N*PK	0.16	0.71	0.93	0.39	0.53	0.51	0.72	0.44
Ca	N	13.4	0.02 –	1.43	0.30	4.56	0.10	1.03	0.37
	PK	0.00	0.95	0.03	0.88	0.72	0.45	0.99	0.38
	N*PK	8.38	0.04 –	0.90	0.40	0.76	0.44	1.47	0.29
Mg	N	0.53	0.51	0.01	0.94	1.76	0.26	4.92	0.09
	PK	1.21	0.33	0.01	0.94	0.04	0.85	0.88	0.40
	N*PK	4.56	0.10	0.44	0.54	22.6	0.01 +	8.12	0.05 +
Fe	N	0.00	0.99	0.02	0.90	0.73	0.44	1.17	0.34
	PK	1.82	0.25	0.78	0.43	0.05	0.84	0.24	0.65
	N*PK	2.41	0.20	0.03	0.87	0.65	0.47	0.00	0.96
Mn	N	1.45	0.29	0.13	0.73	0.18	0.69	1.03	0.37
	PK	1.51	0.29	0.08	0.79	5.33	0.08	1.79	0.25
	N*PK	0.00	0.96	0.57	0.49	0.08	1.79	0.01	0.93
Zn	N	2.97	0.16	2.96	0.16	0.03	0.88	14.7	0.02 –
	PK	0.07	0.80	0.30	0.62	0.20	0.68	1.17	0.34
	N*PK	1.53	0.28	0.02	0.90	0.01	0.95	0.13	0.74
Cu	N	0.17	0.70	3.75	0.12	6.27	0.07	7.75	0.05 +
	PK	14.0	0.02 –	0.86	0.41	1.53	0.28	0.12	0.75
	N*PK	0.49	0.52	0.00	0.95	0.13	0.74	1.44	0.30
B	N	73.0	0.00 –	0.04	0.85	0.32	0.60	2.65	0.18
	PK	54.0	0.00 +	8.83	0.04 +	304	0.00 +	393	0.00 +
	N*PK	35.5	0.00 +	0.01	0.92	3.97	0.12	1.19	0.34

TARKASTELU

Koejärjestelyjen, lannoituskäsittelyjen ja mittausten samanaikaisuuden suhteen tutkimusaineisto oli varsin yhtenäinen. Tämä on ilmeinen etu tulosten tulkinnan kannalta, sillä mm. ilmastonvaihtelu vaikutusten voidaan eri kokeilla olettaa olevan samansuuntaisia. Koesarja edusti sekä maantieteellisesti että kasvupaikkajakauman suhteen Pohjois-Suomen ojitettujen soiden kuusikoita varsin hyvin.

Tutkimuskohteiden välisen huomattavan kasvu- paikka- ja turvepaksuusvaihteluun vuoksi kokeita ei kuitenkaan katsottu voitavan yhdistää varianssi-analyysimallissa paikallisiksi toistoiksi. Kokeiden sisäinen puuston rakenteen ja määrän vaihtelu osoittautui lannoituksen aiheuttamien kasvureaktioiden analysoinnin kannalta ongelmalliseksi. Useimmat kokeen sisäiset toistot sekä paremmin puuston vaihteluun perustuvat lohkoittamiset olisivat todennäköisesti tehostaneet tilastollisia ana-

lyyseyä. Erotusmenetelmällä mitattujen kasvureaktioiden mittaustarkkuuden parantamiseksi olisi kokeiden puut ollut hyödyllistä yksilöidä heti peustamisvaiheessa.

Tätä aineistoa koskevat alustavat tulokset ensimmäisen lannoituksen vaikutuksesta on esitetty aiemmin (Paarlahti & Paavilainen 1985). Niiden mukaan NPK-lannoitus lisäsi Pohjanmaan kuusikoiden tilavuuskasvua viiden vuoden aikana $1,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, N-lannoitus $1,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja PK-lannoitus n. $0,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Tässä tutkimuksessa päädyttiin Pohjanmaan osalta pienempiin kasvunlisäyksiin — tarkasteltavana oli tosin hieman pitempi aikajakso. Lapissa ensimmäisen lannoituksen aiheuttamat puustoreaktiot todettiin alustavassakin selvityksessä vaatimattomiksi (Paarlahti & Paavilainen 1985). Tämän tutkimuksen aineistossa kuusen runkotilavuuden kasvu oli NPK-lannoituksen saaneilla koealoilla ensimmäisen lannoituksen jälkeen keskimäärin $0,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ suurempi kuin lannoittamattomilla koealoilla. Toisen lannoituksen jälkeisellä tutkimuskaudella vastaava kasvunlisäys oli $1,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Uusintalannoitusta seuranneet puuston kasvunmuutokset olivat etenkin Oulun läänin kokeilla suurempia kuin ensimmäisen lannoituksen jälkeen.

Kokeittaisten tulosten perusteella typpikäsittelyllä oli yleisesti positiivinen vaikutus kuusikoiden tilavuuskasvuun. Uusintalannoituksen jälkeen typen vaikutus oli selvempi kuin ensimmäisen lannoituskerran jälkeen. Tämä havainto viittaa siihen, että typen saatavuus oli tutkimusaineiston kuusikoissa puuston kasvun minimitekijä. Koska typpi-lannoitus ei kuitenkaan yksinään lisännyt kasvua, myös muista ravinteista oli ilmeisesti lievää puutetta. Typen osoittautuminen minimiravinteeksi on hieman yllättävää, kun otetaan huomioon, että useimmat kasvupaikat olivat ravinteisuudeltaan mesotrofisia. Turpeen volumetrisia ravinnetunnuksia ei ollut käytettävissä, mutta on syytä olettaa, että kasvupaikkojen pintaturpeen typpivarat olivat kohtalaisen suuret. Typen huonon saatavuuden täytyy siten liittyä hitaaseen mineralisaatioon ja/tai puiden juuristojen heikkoon toimintaan. Hytösen ja Silfverbergin (1991) mukaan korvet ovat yleensä rämeitä kylmempiä kasvupaikkoja, ja vuosien välinen vaihtelu kasvupaikkojen lämpötiloissa ja etenkin lämpösummissa on Pohjois-Suomessa suurempaa kuin Etelä-Suomessa. Varsinkin kylminä kasvukausina kasvupaikan epäedulliset

lämpöolot saattavat rajoittaa turpeen mikrobitointoja, typen mineralisaatiota ja puiden ohutjuurten kasvua. Aiemmissa turvemaiden ravinnetaloutta koskevissa tutkimuksissa on typen mineralisaation hitauden arvioitu olevan Pohjois-Suomessa myös männyn kasvua rajoittava tekijä (Seppälä & Westman 1976, Starr & Westman 1978, Moilanen 1984, Penttilä 1984).

Sekä ensimmäisen että uusintalannoituksen vaikutus kuusen kasvuun jäi pienemmäksi kuin mitä vastaavalta ilmastoalueelta turvemaan männiköiden osalta on esitetty (Penttilä & Moilanen 1987, Moilanen 1993). Tämän tulos on yhdensuuntainen kangasmailta aiemmin saatujen tulosten kanssa ja lienee osittain selitettävissä eri puulajien luontaisen kasvupaikkojen ravinteisuuden eroilla. Osasyynä PK-lannoituksen vaatimattomaan vaikutukseen tutkimuskohteissa voitaneen pitää myös sitä, että turvekerroksen paksuus jäi tutkituissa kohteissa yleensä alle 50 cm:n, mistä johtuen puut todennäköisesti saivat kivennäisravinteita pohjamaasta.

Tämän tutkimuksen lannoittamattomilla koealoilla kuusen neulasten Ca- ja Mn-pitoisuudet olivat hiukan korkeammat, kun taas N-, P- ja erityisesti Cu-pitoisuudet olivat selvästi alhaisemmat kuin mitä aiemmissa selvityksissä on todettu (Paavilainen 1975, Silfverberg 1980, 1982, Veijalainen 1992). Mikäli neulasanalyysitulosten tulkinnassa käytettäisiin männiköille määritettyjä ravinnepitoisuuksien raja-arvoja (Paarlahti ym. 1971), nyt tutkittujen kuusikoiden voisi päätellä kärsineen voimakkaista typen ja fosforin puutoksista. Kaliumpuutokset sensijaan ilmenivät vain lievinä.

Tutkittujen kuusikoiden neulasten typpipitoisuuksien alhaisuus viljavillakin kasvupaikoilla oli odottamatonta. Moilasan (1992) mukaan myös Pohjois-Suomen suomänniköissä esiintyi tavallista alhaisempia neulasten N- ja P-pitoisuuksia talvella 1991. Erityiseksi syyksi 1980-luvun loppupuolella Pohjois-Suomesta kerätyissä aineistoissa todettuun suopuustojen heikkokoon ravinnetilaan voi olettaa talven 1986–1987 ja kesän 1987 poikkeuksellisen epäedullisia sääoloja (Ritari 1989), ja niistä todennäköisesti johtunutta puiden ohutjuurten vaurioitumista (Jalkanen 1992).

Tämän tutkimuksen tulokset lannoituksen vaikutuksesta neulasten ravinnepitoisuuksiin olivat samansuuntaisia kuin aikaisemmissa tutkimuksissa. Paavilaisen (1975) mukaan PK-käsittely kohotti P- ja hiukan myös K-pitoisuutta kuusen neu-

lasissa. Samassa aineistossa fosforilannoituksen vaikutus näkyi neulasissa vielä 12 vuoden kuluttua käsittelystä (Hämäläinen ym. 1985). Silfverberg (1982) totesi hivenlannoituksen kohottaneen kuusen neulasten B-pitoisuutta, mikä näkyi myös tässä tutkimuksessa.

Käsillä olevan tutkimuksen tulosten perusteella korpikuusikon lannoituksessa tulisi Pohjois-Suomessa käyttää kaikkia kolmea pääravinnetta kaikilla kasvupaikoilla, mikäli halutaan saada aikaan mainittavampi puuston kasvureaktio. Nykyisissä lannoitusohjeissa typpilisäystä suositellaan vain piensaratojen korpisoille. Mahdollista on sekin, että tässä tutkimuksessa käytetyt ravinnemäärät jäivät potentiaalista kasvureaktiota ajatellen ainakin tynen osalta liian pieniksi. Kun toisaalta odotettavissa olevat kasvureaktiot ovat melko vaatimattomia ja toisaalta lannoituskäsittelyjen kustannukset nousisivat korkeiksi, korpikuusikoiden lannoitus lienee vain harvoissa tapauksissa kilpailukykyinen investointikohde verrattuna esimerkiksi varttuneiden rämemänniköiden lannoitukseen.

KIITOKSET

Tutkimus perustuu professori Eero Paavilaisen ja edenneen MML Kimmo Paarlaiden laatimaan koesuunnitelmaan. Työ saatettiin loppuun Metsäntutkimuslaitoksen 'Turvemaiden ravinnevarat ja kestävä puuntuotanto'-hankkeessa. Valtion ja metsäyhtiöiden mailla sijainneiden kokeiden perustamiseen ja hoitoon saatiin arvokasta apua Metsähallitukselta sekä silloisilta Kajaani Oy:ltä ja Veitsiluoto Oy:ltä. FK Jyrki Kauppinen tarkasti käsikirjoituksen englanninkieliset osat. Toimittaja ja ennakkotarkastajat, professorit Seppo Kaunisto ja Juhani Päivänen, tekivät käsikirjoitukseen hyödyllisiä muutos- ja parannusehdotuksia. Kaikille työssä mukana olleille esitämmme lämpimät kiitokset.

KIRJALLISUUS

Eurola, S., Huttunen, A. & Kukko-oja, K. 1994. Suokasvillisuusopas. Oulanka Biological Station, University of Oulu. Oulanka Reports 13. 81 s.

Finér, L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. *Acta Forestalia Fennica* 208. 63 p.

Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 121. 28 p.

Heinonen, J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskeentamishjelma KPL. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 504. 80 s.

Hynynen, J. & Kukkola, M. 1989. Harvennustavan ja lannoituksen vaikutus männikön ja kuusikon kasvuun (Summary: Effect of thinning method and nitrogen fertilization on the growth of Scots pine and Norway spruce stands). *Folia Forestalia* 731. 20 s.

Hämäläinen, J., Paavilainen, E., Salminen, O. & Heinonen, R. 1985. Tuloksia ojitettujen korpikuusikoiden lannoituksesta (Summary: The growth response to and profitability of fertilization in drained spruce swamp stands). *Folia Forestalia* 623. 26 s.

Jalkanen, R. 1992. Defoliation of pines caused by injury to roots resulting from low temperatures. *The Finnish Forest Research Institute. Research Papers* 451: 77–88.

Keipi, K. & Laakkonen, O. 1980. Päätehakkuuikäisten metsiköiden urealannoituksen kannattavuusvertailuja (Summary: Profitability comparisons of urea fertilization in old stands). *Folia Forestalia* 420. 35 s.

Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 114. 55 s.

Kukkola, M. & Veijalainen, H. 1987. Neulas- ja lehtianalyysin maastotyöt. Teoksessa: *Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 257: 137–144.

Laakkonen, O., Keipi, K. & Lipas, E. 1983. Typpilannoituksen kannattavuus varttuneissa kangasmetsissä (Summary: Profitability of nitrogen fertilization in mature forests on mineral soils). *Folia Forestalia* 577. 20 s.

Laine, J. & Vasander, H. 1990. Suotyypit. Kirjayhtymä. Helsinki. 80 s.

Malm, D., Möller, G. & Nömmik, H. 1974. Gödslingseffektens samband med växtnäringsinnehåll i mark och barr (Summary: Relation between growth response to nitrogen application and nutrient content in soil and needles). *Föreningen Skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättring. Årsbok 1973, verksamhets- och revisionsberättelser*: 48–75.

Moilanen, M. 1984. Tuloksia suursararämeen männikön jatkolannoituksesta Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa (Summary: Results on refertilization of large sedge swamp pine stands in the North Ostrobothnia and Kainuu area). *Suo* 35: 102–105.

Moilanen, M. 1992. Suopuustojen ravinnetila Pohjois-Suomen vanhoilla ojitusalueilla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 419: 58–65.

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

Möller, G. & Rytterstedt, P. 1975. Gödslingseffektens varaktighet och förlopp hos tall och gran (Summary: Duration and course of response to nitrogen fertilizer in pine and spruce stands). *Föreningen Skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättring. Årsbok 1974, verksamhets- och revisionsberättelser*: 75–97.

Paarlahti, K. & Paavilainen, E. 1985. Turvemaiden varttu-

- neiden kuusikoiden ja koivikoiden lannoitus. Ennakkotuloksia. (Summary: The fertilization of mature spruce and birch stands on peat soils. Preliminary results.) *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 206: 4–18.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 74(5): 1–58.
- Paavilainen, E. 1975. Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikossa (Summary: On the response to fertilizer application of Norway spruce growing on peat). *Folia Forestalia* 239. 10 s.
- Paavilainen, E. & Tiitonen, P. 1988. Suomen suomensäät vuosina 1951–1984 (Summary: Peatland forests in Finland in 1951–1984). *Folia Forestalia* 714. 29 s.
- Penttilä, T. 1984. Jatkolannoitus Lapin viljavilla rämeillä (Summary: Refertilization on mesotrophic pine swamps in northern Finland). *Suo* 35: 106–110.
- Penttilä, T. 1990. Metsäojituksen vaikutus puustoon ja sen kasvuun Pohjois-Suomen turvemilla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 362: 21–31.
- Penttilä, T. & Moilanen, M. 1987. Fosforilannoitteet suometsien lannoituksessa Pohjois-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 278: 136–148.
- Puro, T. 1977. Operaatio metsänlannoitus II. Tuloksia uusintalannoituksesta (Summary: Results of the second fertilization with nitrogen). *Folia Forestalia* 304. 15 s.
- Puro, T. 1982. Lannoitusajankohdan merkitys eri puulajien kasvureaktiossa (Summary: Effect of fertilization time on growth reaction of different tree species). *Folia Forestalia* 507. 14 s.
- Ritari, A. 1989. Talven 1986–87 sääolojen poikkeuksellisuus ja pakkasvauriot Pohjois-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 347: 31–33.
- Seppälä, K. & Westman, C. J. 1976. Results of some fertilization experiments in drained peatland forests in North-Eastern Finland. *Proceedings of 5th International Peat Congress, Poznan, Poland 1976*.
- Silfverberg, K. 1980. Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet (Abstract: Micronutritional growth disorder in Norway spruce). *Folia Forestalia* 432. 13 s.
- Silfverberg, K. 1982. Näringsanalys i två spårämnesgödslade granplanteringar (Abstract: Nutrient analysis of Norway spruce after application of micro-nutrients). *Folia Forestalia* 526. 12 p.
- Starr, M. & Westman, C. J. 1978. Easily extractable nutrients in the surface peat layer of virgin sedge-pine swamps. *Silva Fennica* 12(2): 65–78.
- Veijalainen, H. 1992. Neulasanalyysituloksia suometsistä talvella 1987–88 (Summary: Nutritional diagnosis of peatland forests by needle analysis in winter 1987–88). *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 408. 28 s.

SUMMARY:

Effects of fertilization on tree growth and nutrient status of Norway spruce stands on drained peatlands in northern Finland

The present understanding about the nutrition of tree stands growing on drained peatland sites is mostly based on experiments with Scots pine (*Pinus sylvestris*). There are only a few studies concerning the nutrition of Norway spruce (*Picea abies*) on peatlands. Out of the total of approximately 5 million ha of productive forest land area and 300 million m³ of tree stem volume on peatlands in Finland, spruce-dominated stands account for 26% and 16% of area, and 33% and 28% of stem volume in the southern and northern parts of the country, respectively. Given the relatively high stocking of the stands and good growth potential of the sites, spruce-dominated peatland stands could form a potential for fertilization measures aiming at increasing yields in production forestry. However, the results reported so far seem to suggest that, on drained peatlands as well as on upland sites, the growth responses of spruce stands to fertilization treatment would be weaker than

those of pine stands in a given climate. In this study the effects of fertilization and refertilization on tree growth and foliar nutrition of spruce stands were examined in the mid-boreal zone in Finland.

The study material consisted of seven fertilization experiments set up in 1974–1976. The fairly shallow-peated sites represented a wide trophic scale, typical of drained areas in northern Finland (Table 1). At the time of the set-up, the dominant heights, stem volumes, and volume increments of the stands on the control plots varied from 7 to 17 metres, from 15 to 123 m³ha⁻¹, and from 1.3 to 6.1 m³ha⁻¹a⁻¹, respectively (Table 2).

The experimental design in all the experiments followed the concept of factorial design with two to four replications within each experiment. The factors were nitrogen fertilization (N) and phosphorus–potassium fertilization (PK). Both factors were applied at two levels: fertilized and control. The fertilization treatments were applied at the

time of setting up the experiments (1974–1976) and the treatments were repeated in 1985 (Table 3). In the four southernmost experiments, needle samples were collected at the end of study period II, five growing seasons after the refertilization, during the dormancy period of trees between December 1989 and March 1990. One-year-old needles were sampled from 6 to 8 dominant trees per plot, from the sun-exposed upper parts of the tree crowns. The factorial effects on tree growth and foliar nutrient concentrations were analyzed separately for each experiment, using an ANOVA model for factorial designs, following the general linear models procedure associated with the SAS statistical software. The analyses were carried out separately for the two study periods: period I following the first fertilization treatment, and period II following the repeated fertilization treatment.

The factorial effects of the fertilization treatments on stand volume growth were generally insignificant (Table 4). During study period I, a positive response to PK-fertilization occurred in one experiment and indications of a positive response to N-fertilization in two experiments. After refertilization, during the study period II, the N-factor seemed to have stronger positive, although still statistically insignificant, effect on growth in three experiments located in the southern part of the study area. The significance of the fertilization effects on volume growth during both study periods are demonstrated in Fig. 1.

Fig. 2 demonstrates the differences in the foliar nutrient concentrations among the fertilization treatments. The ANOVA-results of the factorial effects on the foliar nutrients are shown in Table 5. The PK-factor increased the foliar P concentrations significantly in all four experiments and the K concentrations in one experiment. Since the PK-fertilizer included some borate, the PK-factor also increased the foliar B concentrations. The N-factor did not affect the foliar N, P, or K concentrations but it decreased the foliar concentrations of Ca, Zn, and B in some cases.

The growth responses of the Norway spruce stands examined in this study were fairly weak when compared with earlier results reported with Scots pine in similar climatic conditions (Moilanen & Penttilä 1987, Moilanen 1993). In the three

northernmost experiments located in southern Lapland, practically no responses occurred at all. In the more southern part of the study material, the average annual growth increase due to repeated NPK-fertilization was roughly $1.7 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$. Great variation in site quality and stand structure within the experiments was probably the most important underlying reason for the insignificance of the factorial effects. However, the results implied that the availability of N was the most important growth limiting factor, although not the only one.

The foliar nutrient analyses of unfertilized spruces in this material showed lower concentrations for N, P, and Cu but somewhat higher concentrations for Ca and Mn when compared to the findings of some earlier studies (Paavilainen 1975, Silfverberg 1980, 1982, Veijalainen 1992). Applying the critical foliar nutrient concentrations defined for Scots pine (Paarlahti *et al.* 1971) would have indicated a deficiency of N and P in most stands of this study. Especially the N concentrations were surprisingly low in relation to the mesotrophy of the sites. This may indicate restricted N uptake which may be due to the exceptionally hard winter climate in 1986–1987, followed by a cold growing season and very slow melting of the ground frost (Ritari 1989), and presumably the subsequent injury to the fine roots of the trees (Jalkanen 1992). Poor foliar N and P nutrition during the years of the late 1980s has been reported also for Scots pine stands on drained peatlands (Moilanen 1992). In all, the results of the foliar nutrition of the stands supported the conclusion of N being the most deficient nutrient in this study material.

Our results have implications for the fertilization measures in practical forestry. Firstly, the currently used guide-lines for spruce stands, suggesting the application of N (in addition to P and K) only for oligotrophic peatlands sites, should be revised to suggest the application of N for also mesotrophic sites in northern Finland. On the other hand, the need of using also N in a multi-nutrient fertilization treatment would probably result in poor cost-efficiency in most cases. For these reasons, large-scale fertilization of spruce stands in northern drained peatlands does not seem to be a reasonable option when searching for increasing yields in production forestry.