

# Lannoituksen vaikutus hieskoivikoiden kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla turvemilla Pohjois-Suomessa

Effect of fertilization on the growth and foliar nutrient status of pubescent birch stands on drained mires in northern Finland

Timo Penttilä & Mikko Moilanen

*Timo Penttilä, The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Station, P.O. Box 16, FIN-96301 Rovaniemi, Finland (e-mail timo.penttila@metla.fi)*

*Mikko Moilanen, The Finnish Forest Research Institute, Muhos Research Station, Kirkkosaarentie, FIN-91500 Muhos, Finland*

The effects of fertilization and refertilization on the growth of pubescent birch (*Betula pubescens* Ehrh.) stands growing on drained peatlands in northern Finland were studied in eight field experiments. The treatments were: (I) control with no fertilization, (ii) fertilization with nitrogen (N), (iii) fertilization with phosphorus and potassium (PK), and (iv) fertilization with nitrogen, phosphorus, and potassium (NPK). The sites represented four different mesotrophic to eutrophic site types with stand median heights ranging from 7 m to 13 m. Tree growth was monitored at stand level during periods of five to eleven years following the setting up of the experiments and during periods of 4 to 7 years following the repetition of the treatments in 1985. At the end of the second period, sun-exposed leaves were sampled from two stands in August 1990 for the purpose of conducting foliar nutrient analyses. The first-time fertilization treatments did not affect tree growth on any of the site types. Following the repetition of the treatments, the stands responded positively to NPK or PK fertilization on all site types except on the shallow-peated herb-rich peatland forest. There was no response to mere N-fertilization on any of the site types. The growth responses observed were weaker than those reported for Scots pine in similar climatic conditions.

**Key words:** *Betula pubescens*, foliar nutrients, growth responses, nitrogen, peatland, phosphorus, potassium

## JOHDANTO

Metsänparannustoiminnan seurauksena hieskoivusta (*Betula pubescens* Ehrh.) on tullut merkittävä puulaji erityisesti ojitettujen soiden metsänkasvatuksessa. Vallitsevana puulajina hieskoivu on

yleinen sarakorpien, minerotrofisten nevojen sekä sararämeiden ojitusalueilla. Sekapuustona hiestä esiintyy lähinnä sararämeillä sekä lähes kaikilla korpityypeillä. Ojitetuilla rämeillä hieskoivun osuus metsiköiden kokonaisuudesta vähenee, mutta korpityypeillä lisääntyy siirryttäessä etelästä

pohjoiseen (Keltikangas et al. 1986, Paavilainen & Tiuhonen 1988). Hieskoivuvaltaisia metsiköitä oli Oulun ja Lapin läänien alueella 1980-luvun alkupuolella yli 0,6 miljoonaa hehtaaria eli noin 10% alueen koko metsämaan alasta (Kuusela ym. 1986). Alueen kokonaispuustosta hieskoivua oli vastaavasti lähes 15%. Pohjois-Pohjanmaalla, missä hieskoivua on ojitusalueilla erityisen paljon, hieskoivun osuus metsien kokonaiskasvusta oli 1990-luvun alkupuolella noin neljännes (Tomppo & Salminen 1995).

Viime aikoina kasvanut koivukuitupuun ja energiapuun kysyntä on lisännyt mielenkiintoa koivikoiden tuotospotentiaalin ja kasvatusmahdollisuuksien selvittämiseen entistä tarkemmin. Tässä yhteydessä on osoittautunut tarpeelliseksi saada lisätietoa myös koivikoiden kasvatuksen ravinnetaloudellisista perusteista sekä lannoituksen mahdollisuuksista tuotoksen lisäämiseksi erilaisilla kasvupaikoilla. Aiempien tutkimusten perusteella hieskoivun puuntuotoskyky ja kasvatuksen taloudellisuus suhteessa muihin puulajeihin ovat parhaimmillaan viljavuudeltaan keskinkertaisilla tai sitä paremmilla soiden kasvupaikkatyypeillä (Keltikangas & Seppälä 1977, Saramäki 1977). Tuotostuloksista on päätelty hieskoivikon tyydyttävän kasvun edellyttävän, että puustolla on käytettävissään riittävästi turpeesta vapautuvaa tyypeä. Keski-Pohjanmaan ilmasto-oloissa riittävä tyyden mineralisaatiotaso saavutetaan Keltikankaan ja Seppälän (1977) mukaan varsinaisen sararämeen edustamalla trofiatasolla.

Koivun lannoitustutkimusta on maassamme tehty melko vähän havupuihin verrattuna. Tähänastisten tutkimustulosten mukaan ravinnelisyksen vaikutus koivikoiden kasvuun on sekä kivennäismailla (Viro 1974) että turvemilla (Oikarinen & Pyykkönen 1981, Moilanen 1985, Paarlahti & Paavilainen 1985, Paavilainen 1990) vähäisempi ja lyhytaikaisempi kuin männiköissä tai kuusikoissa, ainakin viljavuudeltaan parhaimmilla kasvupaikoilla. Toisaalta tiedetään, että niin raudus kuin hies ovat kasvupaikan ravinteisuuden suhteen varsin vaateliaita puulajeja. Hieskoivikoista on löydetty myös ravinnepuutoksia ja ravinneperäisiä kasvuhäiriöitä (Reinikainen 1967, Ferm & Markkola 1985), ja hieksen tiedetään ainakin taimivaiheessa hyötyvän ravinnelisyksestä (esim. Moilanen ym. 1987). Lannoituksen on myös havaittu edesauttavan hieskoivun luontaista taimettumista

ojitusalueilla (mm. Moilanen & Issakainen 1981). Turvetuotannosta vapautuneiden suonpohjien metsitys- ja lannoituskokeissa myös rauduskoivun taimien on todettu hyötyvän lannoituksesta (Kau-nisto 1987, Lumme 1990).

Aiemman tutkimustiedon perusteella voidaan olettaa, että hieskoivikoita ei merkittävässä määrin synny sellaisille kasvupaikoille, joilla tyyden mineralisaation taso on koivun vaatimustasoon nähden selvästi liian alhainen. Silti on hyvinkin mahdollista, että hieksen luontaisilla kasvupaikoilla esiintyy tilanteita, joissa ravinteisuus rajoittaa koivikon kasvua joko epätasapainoisten ravinnesuhteiden vuoksi tai varsinkin Pohjois-Suomen oloissa silloin, kun tyyden saanti jää esimerkiksi keskimääräistä kylmempien ilmastojaksojen takia normaalia alhaisemmalle tasolle.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää lannoituskokeiden perusteella hieskoivikoiden ravinnetaloutta ojitettujen soiden yleisimmillä hieskoivun kasvupaikoilla Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun ja Peräpohjan alueella. Erityisesti haluttiin lisätietoja lannoitusreaktioiden eroista eri suotyyppien välillä Pohjois-Suomen ilmasto-oloissa.

## AINEISTO JA MENETELMÄT

Metsäntutkimuslaitos perusti vuosina 1974–1978 maan eri osiin Metsähallituksen ja metsäyhtiöiden ojitusalueille kaikkiaan 13 koemetsikköä käsittävän ojitusaluiden hieskoivikoiden lannoituskoesarjan. Koesarjasta on julkaistu ennakkotuloksia ensimmäisen, noin viiden vuoden pituisen seurantajakson osalta (Paarlahti & Paavilainen 1985). Tämän tutkimuksen aineistoksi valittiin ne kokeet, joista oli käytettävissä puuston tilavuuskasvua koskevat mittaustulokset myös lannoituskäsittelyjen uusinnan jälkeiseltä seurantajaksolta. Mukaan otettiin myös yksi koemetsikkö (Pyhäjoki), josta oli käytettävissä vain uusintalannoituksen jälkeiset kasvutulokset.

Valitut 8 hieskoivikkoa sijaitsevat Pohjois-Suomessa, viisi Lapin läänissä ja kolme Oulun läänissä (Taulukko 1). Kohteiden uudisojitukset oli tehty 1930-luvulla lukuunottamatta Kittilän vuonna 1961 ja Kolarin vuonna 1976 toteutettuja ojituksia. Kunnostusojituksia tehtiin joko ennen kokeiden perustamista tai perustamistöiden yhtey-

dessä. Kunnostusojitusten jälkeen koalueiden kuivatusetehot vastasivat käytännön metsätaloudessa vakiintunutta tasoa, sillä sarkalevydet vaihtelivat metsiköstä riippuen 30–50 m. Koemetsiköiden kasvupaikat luokiteltiin sekä Heikuraisen (1986) suotyypiluokituksen että Laineen ja Vasanderin (1990) esittämän turvekangastyypiluokituksen mukaan.

Puustoltaan kohteet edustivat nuoria tai varttuneita kasvatusmetsiköitä (Taulukko 2). Metsiköiden runkotilavuus vaihteli kokeiden perustamisvaiheessa 27–72 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ja pohjapinta-alalla painotettu keskipituus 7–13 m. Useimmissa koemetsiköissä oli perustamisvaiheessa tehty lievä puus-

ton harvennus, jonka tavoitteena oli vähentää metsiköiden sisäistä vaihtelua lähtöpuuston määrässä. Harvennuksia tehtiin myös lannoituskäsittelyjen uusinnan yhteydessä (Taulukko 2). Harvennuskäsittelyistä aiheutuvat puuston kasvumuutokset ja mahdolliset yhdysvaikutukset lannoituksen aiheuttamien kasvureaktioiden kanssa katsottiin voitavan sisällyttää varianssianalyysimallin virhetermiin.

Kaikissa metsikkökokeissa käytettiin yhdenmukaista lohkoittain arvottua koejärjestelyä, jossa 2–4 kertaa toistetut käsittelyt olivat lannoittamaton vertailu (0), typpilannoitus (N), fosforikaliumlannoitus (PK) ja typpifosforikaliumlannoitus (NPK).

Taulukko 1. Koemetsiköiden yleistietoja. (H = korkeus merenpinnasta, DD = kasvukauden keskimääräinen lämpösumma, suotyypien lyhenteet Laine & Vasander (1990) mukaan.)

Table 1. Characteristics of the experimental sites. (H = elevation above sea level, DD = mean temperature sum at threshold value 5°C, KoLK = eutrophic birch fen, RhSK = herb-rich sedge hardwood-spruce fen, RhSN = herb-rich sedge fen, RhK = herb-rich hardwood spruce swamp Rhtkg = drained herb-rich peatland forest, Mtkg = drained Vaccinium myrtillus peatland forest.)

Sijainti Location	H m	DD dd	Ojitusketen suotyyppi Site type at drainage	Turvekangas- tyyppi Peatland forest type	Turpeen paksuus Peat thickness cm	Ojitusvuodet Ditching years	Lannoitusajankohdat kk/v		Tutkimusjaksot Study periods	
							I	II	I	II
Kittilä	230	740	KoLK	Rhtkg	50 ... 100 +	1961, 1985	08/1975	09/1985	1976–85	1986–90
Tervola	140	910	KoLK	Rhtkg	100 +	1935, 1974	10/1974	09/1985	1975–85	1986–89
Kuhmo	200	940		Mtkg II	100 +	1936, 1976	05/1976	05/1985	1976–80	1985–91
Sodankylä	230	740	RhSK	Rhtkg	100 +	1933, 1975	09/1975	09/1985	1976–80	1986–90
Pyhäjoki	10	1 080	RhSK	Rhtkg	10 ... 15	1964	05/1976	05/1985	–	1985–91
Pudasjärvi	100	980	RhSN	Rhtkg	80 ... 100 +	1935, 1952, 1963	10/1975	06/1985	1976–82	1985–91
Tornio	50	970	RhSN	Rhtkg	100 +	1933, 1976	06/1976	07/1985	1976–85	1986–89
Kolari	150	860	RhK	Rhtkg	20 ... 30	1976	08/1976	08/1985	1976–85	1986–89

Taulukko 2. Puustotunnukset (V = runkotilavuus, H<sub>med</sub> = pohjapinta-alalla painotettu keskipituus) kokeiden perustamisvaiheessa, puustojen harvennusvuodet ja kontrollikoealojen puuston keskikasvut (I<sub>v</sub>) tutkimusjaksoilla I ja II.

Table 2. Stand characteristics (V = stem volume, H<sub>med</sub> = median height) at the time of setting up of the experiments, years when stands were thinned, and mean annual increment (I<sub>v</sub>) on the control plots during Study Periods I and II.

Koe Experiment	V (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	H <sub>med</sub> (m)	Harvennusvuodet Thinning years	I <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	
				I	II
Kittilä	29	7,3	1975, 1985	1,9	1,4
Tervola	29	7,9		1,0	1,2
Kuhmo	64	11,5	1966, 1976	2,1	2,1
Sodankylä	27	7,4	1975	1,7	0,6
Pyhäjoki	72	13,1	1978, 1985	–	2,5
Pudasjärvi	56	9,3	1968, 1985	3,7	2,2
Tornio	60	9,4	1976, 1985	2,5	1,3
Kolari	40	8,9	1975	2,6	2,1

Ravinteiden annostuksessa noudatettiin käytännön metsänlannoitussuosituksia (Taulukko 3). Typpi annettiin oulunsalpietarina ja fosfori sekä kalium suometsien PK-lannoksena. Koealat, joiden pinta-ala vaihteli 0,06–0,16 ha, rajattiin sarkaojan keskeltä seuraavan ojan keskelle, joten ne edustivat metsiköitä ojastoineen. Saran pituussuunnassa koealojen väliin jätetylle vaippa-alueelle annettiin noin 5 metrin levyiselle kaistalle sama lannoitus-käsittely kuin varsinaiselle koealalle. Käsittelyt uusittiin kaikissa koemetsiköissä noin 10 vuoden kuluttua ensimmäisestä lannoituksesta.

Tutkimusmetsiköiden puustotunnukset mitattiin kaikkiaan kolmesta neljään kertaa (ensimmäinen mittaaminen vuosina 1975–1976, toinen vuosina 1980–1982, kolmas vuosina 1985–1986 ja neljäs vuosina 1989–1991). Tässä tutkimuksessa tarkasteltavat kasvukausijaksot rajattiin tehtyjen puustomittauksen perusteella siten, että tutkimusjakso I käsitti 5–11 ensimmäisen lannoituksen jälkeistä kasvukautta ja tutkimusjakso II vastaavasti 4–7 uusintalannoituksen jälkeistä kasvukautta (Taulukko 1). Kahdessa ensimmäisessä mittauksessa puusto luettiin läpimittaluokittain. Kolmannessa ja neljännessä mittauksessa koealojen puut yksilöitiin kartoittamalla ja kaikista puista luettiin läpimitta millimetrin tarkkuudella. Ensimmäisessä mittauksessa valittiin koko läpimittajakauman alueelta suurimpia puita painottaen koealaa kohti 30–35 koepuuta, joista mitattiin läpimitan (mm) lisäksi pituus (dm). Uusintamittauksissa pyrittiin käyttämään samoja koeputa kuin ensimmäisessä. Koeputien kuoleamisen tai niissä olleiden merkin-tojen häviämisen vuoksi jouduttiin vanhoja koeputa jonkin verran korvaamaan vastaavista läpimittaluokista valituilla uusilla koeputilla.

Puustotunnukset laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen KPL-ohjelmistolla (Heinonen 1994). Runkokuuston tilavuuskasvu määritettiin koealoittain

Taulukko 3. Tärkeimpien ravinteiden annostus (kg ha<sup>-1</sup>) 1. ja 2. lannoituskerralla.

Table 3. Dosages (kg ha<sup>-1</sup>) of the main nutrients and boron in connection with the 1st and 2nd fertilization treatment.

Lannoituskerta Time of fertilization	Ravinneannos – Nutrient dosage			
	N	P	K	B
I (1974–1976)	104	53	63	–
II (1985)	110	45	85	10

erotusmenetelmällä vähentämällä mittaushetken kokonaistilavuudesta edellisessä mittauksessa kasvamaan jääneen puuston kokonaistilavuus.

Lannoituksen vaikutusta koealoittaiseen, hehtaaria kohti laskettuun puuston tilavuuskasvuun analysoitiin SAS-ohjelmiston GLM-proseduurin mukaisella varianssianalyysillä pienimmän neliösumman menetelmää käyttäen. Koemetsiköt ryhmiteltiin kasvupaikkaryhmiin, jotta käsittelyvaihtelun lisäksi voitiin analysoida myös kasvupaikan ja lannoituskäsittelyn mahdollisia yhdysvaikutuksia. Kasvupaikkaryhmät muodostettiin ojitushetken suotyypin ja vertailukoealojen puuston kasvun tason perusteella siten, että ryhmään A kuuluivat koivulettokorvet sekä Kuhmon mustikaturvekangastyyppejä edustanut koemetsikkö, ryhmään B ruohoiset sarakorvet, ryhmään C ruohoiset saranevat ja ryhmään D Kolarin ohutturpeinen ruohoturvekankaan metsikkö. Varianssianalyysit tehtiin erikseen kummallekin tutkimusjaksolle seuraavan varianssianalyysimallin mukaisesti:

$$y = ST + \text{lohko}(ST) + \text{lannoitus} + ST \times \text{lannoitus} + \varepsilon, (1)$$

missä

- y = metsikön vuotuinen tilavuuskasvu,  
 ST = suotyypiryhmä,  
 lohko = kokeen sisäinen lohkokotekijä,  
 lannoitus = lannoituskäsittely, jossa neljä tasoa (kontrolli, N, PK, NPK), ja  
 ε = virhetermi.

Puuston kasvuun perustuvien tulosten ravinnetaloudellisen tulkinnan tueksi kerättiin Kuhmon ja Pudasjärven koemetsiköistä koealoittain hieskoivuista lehtinäytteet elokuussa 1990. Uusintalannoituksesta oli tällöin kulunut 5 kasvukautta. Kukin näyte koostui koealan 6–8 valtuusta, niiden latvuksen yläosasta otetuista elävistä lehdistä. Lehtien tuhkapitoisuus ja kokonaisravinteet määritettiin kuivapoltetuista näytteistä. Ravinteet analysoitiin tuhkipitoisuuden jälkeen suolahappoliuoksesta. Lehtien fosforipitoisuus määritettiin vanadomolybdaattimenetelmällä. Kalium-, kalsium-, magnesium-, rauta-, sinkki-, mangaani- ja kuparipitoisuudet analysoitiin AAS:lla. Booripitoisuus määritettiin atsometriini-H-menetelmällä ja typpi-pitoisuus Kjeldahl-menetelmällä (ks. Halonen ym. 1983). Lannoituksen vaikutusta lehtien ravinne-pitoisuuden vaihteluun analysoitiin seuraavan varianssianalyysimallin mukaisesti:

$$y = \text{lannoitus} + \text{lohko} + \text{lannoitus} \times \text{lohko} + \varepsilon, \quad (2)$$

missä

$y$  = lehtien alkuainepitoisuus, ja

$\varepsilon$  = virhetermi.

## TULOKSET

Metsiköiden tilavuuskasvussa ei esiintynyt merkitseviä lannoituskäsittelyjen välisiä eroja ensimmäisen lannoituksen jälkeisellä 5–11 vuoden jaksolla (Taulukko 4). Kasvupaikan ja lannoituskäsittelyn välillä ei myöskään todettu merkitseviä yhdysvaikutuksia.

Uusintalannoituksen jälkeisellä 4–7 vuoden jaksolla vertailukoalojen puuston vuotuinen kasvu oli useimmissa koemetsiköissä selvästi pienempi kuin ensimmäisellä tutkimusjaksolla (Taulukko 2). Lannoitusvaikutusten analyysissä kasvupaikan ja lannoituskäsittelyjen välinen yhdysvai-

kutus osoittautui merkitseväksi (Taulukko 4), joten käsittelyjen välisiä eroja testattiin erikseen kasvupaikkaryhmittäin.

Uusintalannoituksen jälkeen puuston kasvussa esiintyi eri käsittelyjen välillä merkitseviä eroja lähes kaikissa kasvupaikkaryhmissä (Taulukko 5). Poikkeuksen teki vain Kolarin ohutturpeisen ruoho- ja heinäkorven metsikkö. Erot olivat selkeimmät ruohoisten saranevojen ryhmässä, jossa NPK-lannoitus lisäsi kasvua voimakkaasti ja PK-lannoituskin merkitsevästi (Kuva 1). Ruohoisen sarakorven ryhmässä PK-lannoitus lisäsi kasvua, mutta muut käsittelyt eivät eronneet vertailusta. Koivulettokorpien ryhmässä havaittiin suuntaa-antavana erona NPK-lannoituksen lievä positiivinen kasvivaikutus verrattuna PK-lannoituksen lievästi negatiiviseen vaikutukseen.

Lannoittamattomien hieskoivujen lehtien typipitoisuus oli tutkituissa Kuhmon ja Pudasjärven koemetsiköissä 2,2–2,5%, fosforipitoisuus 2,8–

Taulukko 4. Varianssianalyysitulokset suotyypiryhmän ja lannoituskäsittelyjen vaikutuksesta puuston tilavuuskasvuun kahdella tutkimusjaksolla (ST = suotyypiryhmä)

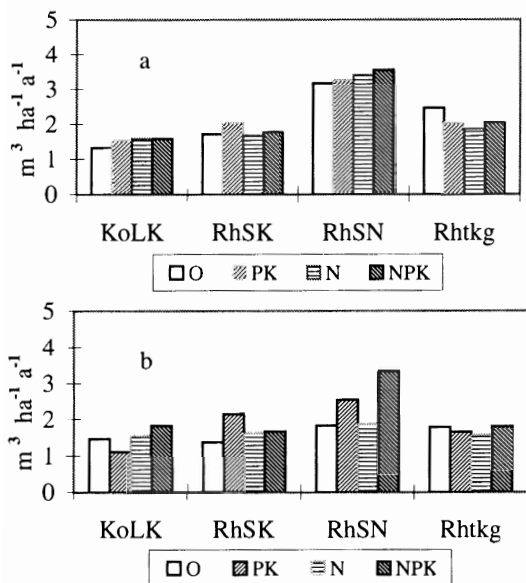
Table 4. The *F*, *p*, and MSE values according to ANOVA of the site-type grouping and fertilization treatment effects on the stand volume increment during Study Periods I and II (ST = site-type group)

Vastemuuttuja – Dependent variable		Vaihtelun lähde – Source of variation		
		ST ST (D.F. = 3)	Lannoitus Fertilization (D.F. = 3)	ST × Lannoitus ST × Fertilization (D.F. = 9)
Kasvu I-jaksolla – Growth during Period I	F	31,302	0,156	0,263
	p	0,002	0,925	0,981
	MSE	0,525	0,195	0,491
Kasvu II-jaksolla – Growth during Period II	F	2,087	1,350	3,998
	p	0,133	0,313	0,001
	MSE	1,858	0,728	0,211

Taulukko 5. Käsittelyjen väliset erot Tukeyn testin mukaan kasvupaikkaryhmittäin kasvujaksolla II. Samalla kirjaimella merkityt käsittelykeskiarvot eivät eronneet toisistaan merkitsevästi.

Table 5. Differences among treatments by site type (see Table 1) according to Tukey's Studentized Range Test during Growth Period II. Means with the same letter were not statistically significantly different.

Kasvupaikka Site type	F	p	Lannoituskäsittely – Fertilization treatment			
			0	N	PK	NPK
KoLK	3,062	0,050	AB	AB	B	A
RhSK	4,755	0,021	B	AB	A	AB
RhSN	12,644	0,000	B	B	AB	A
Rhtkg	0,069	0,972	A	A	A	A



Kuva 1. Puuston vuotuinen tilavuuskasvu lannoituskäsittelyittäin ja suotyypiryhmittäin tutkimusjaksolla I kertalannoituksen jälkeen (a) ja tutkimusjaksolla II uusintalannoitusten jälkeen (b).

Fig. 1. Mean annual growth by site-type group and treatment during Study Period I following first-time fertilization (a), and during Study Period II following repetition of fertilization treatments (b). For site-type code, see Table 1.

3,6  $\text{mg g}^{-1}$ , kaliumpitoisuus 5,7–8,3  $\text{mg g}^{-1}$  ja booripitoisuus 26–38 ppm lehtien kuivamassasta. Lannoituksen vaikutusta neulasten ravinnepitoisuuksiin voitiin selvittää vain uusintalannoituksen jälkeen. Toistettu PK-lannoitus kohotti merkittävästi lehtien fosforipitoisuutta Kuhmon koemetsikössä (lisäys 1,5  $\text{mg g}^{-1}$ ;  $p < 0,001$ ). Pudasjärvellä PK- ja NPK-lannoitus lisäsi lehtien kaliumpitoisuutta (lisäys noin 2  $\text{mg g}^{-1}$ ;  $p = 0,003$ ) ja booripitoisuutta (lisäys noin 15 ppm;  $p = 0,001$ ). Muiden ravinteiden pitoisuuksissa ei havaittu muutoksia kummallakaan kokeella.

## TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimukseen valitut hieskoivikoiden lannoituskokeet muodostivat koejärjestelyltään, käsittelyiltään ja seurantatavaltaan jokseenkin yhtenäisen koesarjan. Tulosten tulkinnan kannalta tästä oli mm. se etu, että vuosien välinen vaihtelu esimer-

kiksi sääoloissa lienee vaikuttanut puustojen kehitykseen samansuuntaisesti kaikissa koemetsiköissä. Kokeiden perustamisen ja edelleen uusintalannoitusten yhteydessä metsiköiden kuivatukseen tilaa pyrittiin parantamaan ja sisäistä puuston vaihtelua vähentämään. Näiden toimenpiteiden seurauksena lannoitusvaikutuksiin saattoi sekoitua vaihtelevassa määrin ojitus- ja harvennusvaikutusta, mikä todennäköisesti lisäsi tulosten hajontaa. Lannoituskäsittelyjen ja mainittujen tekijöiden mahdollisia yhdysvaikutuksia ei voitu analysoida tässä tutkimuksessa, mutta niiden merkitys oletettiin vähäiseksi. Tutkimusjaksojen välillä saattoi olla eroja varianssianalyysojen tehokkuudessa, sillä mittausvirheen aiheuttaman hajonnan voidaan puustojen mittausmenetelmässä tapahtuneen muutoksen vuoksi olettaa olleen toisella tutkimusjaksolla vähäisempää kuin ensimmäisellä tutkimusjaksolla. Tutkimusjaksojen välinen ero mittausvirhevarianssissa ei kuitenkaan liity havaittujen käsittelyjen välisten keskiarvoerojen suuruuteen.

Tämän tutkimuksen aineistona olevan koesarjan aiemmin julkaistut ennakkotulokset ensimmäisen lannoituksen vaikutuksesta osoittivat, etteivät hieskoivikot reagoineet ravinnelisyäkseen lannoitusta seuranneen viisivuotisjakson aikana (Paarlahti & Paavilainen 1985). Nyt esillä olevassa tutkimuksessa oli useimmista koemetsiköistä käytävissä noin kymmenen vuoden seurantajakson kasvuhavainnot ensikertaisen lannoituksen jälkeen. Tulokset vahvistivat ennakkotuloksia, sillä edelleenkin kertalannoituksen ei todettu merkittävästi vaikuttaneen hieskoivikoiden kasvuun.

Tämän tutkimuksen tulokset ensimmäisen lannoituksen vähäisestä vaikutuksesta koivikoiden kasvuun ovat sopusuhteissa muista aineistoista julkaistujen tulosten kanssa, sillä kertalannoituksen vaikutus koivun kasvuun niin kivennäis- kuin turvemaalla on useissa aiemmissa tutkimuksissa todettu heikoksi (Viro 1974, Jonsson & Möller 1976, Oikarinen & Pyykkönen 1981, Puro 1982, Moilanen 1985, Paarlahti & Paavilainen 1985). Koivikoissa lannoitusvaikutuksen suuruus ja vaikutusajan pituus ovat jääneet yleensä alle puoleen verrattuna havupuumetsiköissä todettuihin vaikutuksiin.

Toistettu NPK-lannoitus lisäsi kasvua tämän tutkimuksen koko aineistossa keskimäärin 0,6  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  vertailukoalojen kasvuun verrattuna. Tulos oli yllättävä suhteessa ensimmäisen

käsittelyn tuloksiin ja ennako-odotuksiin. Useimmissa lannoitustutkimuksissa sekä turvemailla että kivennäismailla uusintalannoituksen vaikutukset kasvuun ovat olleet ensikertaisen lannoituksen vaikutuksia pienempiä. Tämän tutkimuksen kanssa samansuuntaisia tuloksia uusintalannoituksen vaikutuksesta on kuitenkin esittänyt Paavilainen (1990), jonka mukaan Pohjois-Suomessa, Iin Katosojalla sijaitsevassa runsastyyppisen ojitetun suometsän lannoituskoesarjassa koivikoiden kasvu lisääntyi jatkolannoituksen jälkeen, mutta kasvuvasteet olivat pienempiä ja lyhytkestoisempia kuin männiköiden reaktiot.

Hieskoivikoiden voimakkaampi kasvureaktio toistettuun lannoitukseen kuin kertalannoitukseen voisi olla selitettävissä koivikoiden suurella ravinnetarpeella. Koivu tarvitsee kuiva-aineyksikön tuottamiseen noin kaksinkertaisesti ravinteita esimerkiksi mäntyyn verrattuna. (esim. Mälkönen 1974, 1977, Finér 1989). Lannoitteina annettavien ravinteiden annostuksen mitoitus, jota tässäkin tutkimuksessa käytettiin, perustuu lähinnä männiköiden lannoituskokeista saatuihin empiirisiin tuloksiin. Hieskoivun suuremman ravinnetarpeen vuoksi tulisi ehkä myös lannoituksessa annettavan ravinnemäärän olla selvästi suurempi kuin männiköissä, jotta reaktio havaittaisiin kasvuvasteena. Tätä olettamusta tukee tulos eräästä kangasmaan rauduskoivikon lannoituskokeesta, jossa kasvunlisäys voimistui tyypimäärän kasvaessa aina 480 kg:aan N ha<sup>-1</sup> saakka (Jonsson & Möller 1976). Toisaalta on todettu, että ylisuuret tyypimäärät saattavat jopa heikentää puuston kasvua ojitusalueen hieskoivikossa (esim. Moilanen 1985). Tässä tutkimuksessa lannoitus uusittiin kymmenen vuoden kuluttua ensimmäisestä lannoituksesta. Kasvuvasteiden selittyminen peräkkäisissä lannoituksissa annettujen ravinteiden yhteenlaskien suuremmalla määrällä sisältää sen oletuksen, että ensimmäisen lannoituksen ravinteita olisi ollut kymmenen vuoden kuluttua edelleen merkittävässä määrin puuston käytettävissä. Tätä oletusta ei ollut mahdollista testata käytettävissä olleen aineiston perusteella, mutta turvemaiden männiköiden lannoituskokeista raportoidut havainnot (esim. Moilanen 1993) tukevat olettamusta ainakin fosforin osalta.

Koivikoiden usein havaitun heikon ja lyhytkestoisen lannoitusvaikutuksen sekä toisaalta ravinnetarpeen yhteyttä voidaan tarkastella ravin-

nekiertoon liittyvien tutkimustulosten perusteella. Puuston ja kasvupaikan välinen ravinnekierto, johon ravinteiden oton ja puustoon sitoutumisen lisäksi keskeisesti liittyy karikkeen määrä ja siihen sitoutuneiden ravinteiden vapautumisnopeus, on koivikossa tunnetusti vilkkaampaa kuin männikössä (esim. Mälkönen 1974, 1977, Berg & Staaf 1986, Finér 1989, Paavilainen 1990). Paavilaisen (1990) tutkimuksen mukaan turvemaan koivikoissa karikkeiden mukana maahan myös palautui suurempi osa puuston ottamista ravinteista kuin männiköissä, mutta karikkeen ravinnepitoisuuksia lisäävä lannoitusvaikutus loppui koivikoissa selvästi aiemmin kuin männiköissä. On ilmeistä, että männikköön verrattuna koivikon suurempi ravinnetarve ja 'tuhlailevampi' ravinteiden kierrätys osaltaan aiheuttavat koivikoiden ja männiköiden välillä havaittuja eroja lannoituksen aiheuttamissa kasvuvasteissa ja niiden kestossa.

Tutkimusjaksojen välillä havaitut erot erityisesti NPK-lannoitusvasteissa voivat osittain selittyä myös 1980-luvun loppupuolen keskimääräistä kylmempien kasvukausien vaikutuksella typen mineralisaatioon ja puiden ravinteiden ottoon. Osassa Pohjois-Suomea esiintyi talvella 1986–1987 ja kesällä 1987 metsäpuiden juuristojen kasvun ja ravinteiden saannin kannalta poikkeuksellisen epäedullisia sääoloja (esim. Ritari 1989), joilla on arvioitu olleen merkitystä 1980-luvun lopussa turvemaiden männiköissä havaittuihin neulasten tavallista alempiin typpi- ja fosforipitoisuuksiin (Moilanen 1992). Suotyypiryhmien välillä todetut erot kasvuvasteissa (Kuva 1) eivät kuitenkaan yksiselitteisesti tue tätä mahdollisuutta.

Tämän tutkimuksen mukaan hieskoivikoiden lannoitusvasteessa oli eroja tutkittujen suotyypiryhmien välillä. Ohutturpeisen ruohoturvekan kaan koemetsikön osalta syynä reagoimattomuuteen saattaa olla se, että päätehakkuuvaihetta lähestyvä koivikko oli jo luontaiselta kasvurytmiltään taantuvassa vaiheessa, jolloin lannoitusvastetta ei enää olisi odotettavissakaan. Mesotrofista ja eutrofista ravinteisuustasoa edustavissa muissa suotyypiryhmissä esiintyi odottamatonta vaihtelua lannoitusvasteissa. Ruohoisilla saranevoilla ja suuntaa-antavasti myös koivulettokorvissa hieskoivikko hyötyi NPK-lannoituksesta enemmän kuin PK-lannoituksesta, mutta ruohoisissa sarakorvissa PK-lannoitus lisäsi kasvua hieman eikä NPK-lannoitus lainkaan. Typpi- ja PK-lannoituk-

sen positiivinen yhdysvaikutus näyttäisi siis ilmeiseltä ruohoisilla saranevoilla ja koivuletoilla.

Kun koemetsiköiden turpeen ravinnevaroista ja puuston käytettävissä olleiden ravinteiden määristä ei ollut tietoa, suotyypiryhmien välillä havaittujen erojen selittäminen on vaikeaa. Kolarin ohutturpeista ruohoturvekangasta ehkä lukuunottamatta kaikissa suotyypiryhmissä pintaturpeen typpipitoisuus ja siten potentiaalisesti puuston käytettävissä olevat typpivarat voidaan olettaa varsin suuriksi, joten kysymys täytynee tavalla tai toisella olla turpeen tyypin käytettävyyteen vaikuttavista tekijöistä. Lienee mahdollista, että metsiköissä, joissa kivennäisravinteiden puute on selvästi kasvua rajoittava tekijä, PK-lannoitus lisää mikrobiston toimintaa ja mikrobimassaa, mikä voi aiheuttaa metsikön ravinnekierrossa olevien typpivarojen lisääntyvää sitoutumista mikrobistoon. Tämä yhdessä kylmien ilmasto-olojen kanssa saattaa aiheuttaa puustolle lievän puutteen käytettävissä olevasta tyypestä, mikä selittäisi PK- ja N-lannoituksen positiivisen yhdysvaikutuksen.

Hieskoivun lehtien fosforipitoisuudet kahden tutkitun kokeen lannoittamattomilla koaloilla olivat korkeammalla ja kaliumpitoisuudet alemmalla tasolla verrattuna Fermin ja Markkolan (1985) sekä Paavilaisen (1990) tutkimuksissa esitettyihin ravinnepitoisuuksiin. Myös typpipitoisuudet olivat tämän tutkimuksen koemetsiköissä selvästi alemmat kuin Paavilaisen (1990) tutkimissa PK-peruslannoituksen saaneissa koivikoissa. Lannoitusvaikutus havaittiin selvästi koivunlehtien ravinnepitoisuuksissa viiden vuoden kuluttua uusintakäsittelystä. Tulokset antoivat viitteitä siihen, että koivun lehtien ravinnepitoisuuksia voitaisiin hyödyntää ojitusaluiden koivikoiden ravinnetilan analysoinnissa ja kasvua rajoittavien ravinteiden tunnistamisessa samaan tapaan kuin männiköissäkin. Koivunlehtianalyysin menetelmien ja tulosten tulkinnessa sovelluskelpoisten raja-arvojen määrittäminen on kuitenkin vasta aivan alkuvaiheessa.

Tutkimuksen tuloksista voidaan vetää sekä jatkotutkimustarpeisiin että käytännön metsätalouden harjoittamiseen liittyviä johtopäätöksiä. Jotta ojitettujen suometsien koivikoiden ravinnetaloutta voitaisiin entistä paremmin ymmärtää, tulisi tutkimuspanostusta kohdentaa perinteisten lannoituskokeiden lisäksi ravinteisuuden, mikrobiston ja mykorritsasienten monimutkaisten vuorovaiku-

tussuhteiden selvittämiseen erilaisilla turvekasvu- paikoilla ja erilaisissa ilmasto-oloissa. Ravinnetalouteen ja ravinnekiertoon liittyvien ilmiöiden ymmärtäminen on erityisen tärkeää turvemaidella, missä kivennäisravinteiden määrät ovat vähäisiä, ja ravinnekiertoon vaikuttavat tekijät, esimerkiksi hakkuut ja niiden mukana kierrosta poistuvat ravinteet, saattavat kyseenalaistaa kestävä metsätalouden harjoittamisen perusteet. Käytännön lannoitustoiminnan kannalta olennaista on, että tutkituissa Pohjois-Suomen ojitusaluiden koivikoissa lannoituksen vaikutus hieskoivikon kasvuun jäi selvästi pienemmäksi kuin mitä vastaavalla ilmastoalueelta turvemaan männiköiden osalta on esitetty (Penttilä & Moilanen 1987, Moilanen 1993). Näin ollen ojitusaluiden koivikoiden lannoitus lienee Pohjois-Suomessa vain harvoissa tapauksissa kilpailukykyinen investointikohte verrattuna esimerkiksi varttuneiden männiköiden lannoitukseen.

## KIITOKSET

Tutkimus perustuu professori Eero Paavilaisen ja edenneen MML Kimmo Paarlahden laatimaan koosuunnitelmaan. Kokeiden perustamisesta, mihin saatiin rahoitusta myös Metsähallitukselta, vastasi metsätalousinsinööri Jorma Issakainen. Useat Metsätutkimuslaitoksen Rovaniemen, Kolarin ja Muhoksen tutkimusosastojen työntekijät hoitivat mittauksiin liittyvät kenttätyöt. Tutkimusmestarit Riitta Alaniva ja Heikki Vesala vastasivat aineiston käsittelystä ja peruslaskennasta. LuK Juha Hyvönen avusti tulosten analysoinnissa. MH Erkki Pekkinen tarkasti käsikirjoituksen englanninkieliset osat. Kaikille työssä mukana olleille esitämme lämpimät kiitokset.

## KIRJALLISUUS

- Berg, B. & Staaf, H. 1986. Release of nutrients from decomposing white birch leaves and Scots pine needle litter. *Pedobiologia* 30: 55–63.
- Ferm, A. & Markkola, A. 1985. Hieskoivun lehtien, oksien ja silmujen ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu (Abstract: Nutritional variation of leaves, twigs and buds in *Betula pubescens* stands during the growing season). *Folia Forestalia* 613: 1–28.
- Finér, L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. Biomassa ja ravinteiden kierto ojitusalueen lannoitetussa ja lannoittamattomassa männikössä, koivu-mäntysekametsikössä ja kuusikossa. *Acta Forestalia Fennica* 208: 1–63.



- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121: 1–28.
- Heikurainen, L. 1986. Suo-opas. 4.p. 51 s. Kirjayhtymä. Helsinki.
- Heinonen, J. 1994. Koalojen puu- ja puustotunnusten laskeentaohjelma KPL. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504: 1–80.
- Jonsson, S. & Möller, G. 1976. Björkens reaktion på kvävegödsling (Summary: The response of birch (*Betula verrucosa*) to nitrogen fertilization). Föreningen Skogs-trädsförädlare och Institutet för skogsförbättring. Årsbok 1975, verksamhets- och revisionsberättelser: 103–144.
- Kaunisto, S. 1987. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas. FF 681: 1–23.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930–1978 ojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia (Summary: Peatlands drained for forestry during 1930–1978: results from field surveys of drained areas). Acta Forestalia Fennica 193: 1–94.
- Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1977. Ojitusalueiden hieskoivikoiden kasvatusta taloudellisena vaihtoehtona (Summary: The economics of growing birch stands on drained peatlands). Silva Fennica 11: 49–68.
- Kuusela, K., Mattila, E. & Salminen, S. 1986. Metsävarat piirimetsälautakunnittain Pohjois-Suomessa 1982–1984 (Summary: Forest Resources in North Finland by Forestry Board Districts, 1982–1984). Folia Forestalia 655: 1–86.
- Laine, J. & Vasander, H. 1990. Suotyypit. Kirjayhtymä. Helsinki. 80 s.
- Lumme, I. 1990. Early growth of silver birch in a peat cutover area. Julkaisussa: Zhu Yajie (ed.). Proceedings of the International Conference on New and Renewable Energy. Beijing, China, June 14–18, 1990: 112–119.
- Moilanen, M. 1985. Lannoituksen ja harvennuksen vaikutus hieskoivun kasvuun ohutturpeisilla ojitetuilla rämeillä (Summary: Effect of fertilization and thinning on the growth of birch (*Betula pubescens*) on the drained mires with thin peat layer). Folia Forestalia 629: 1–29.
- 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: 1–37.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1981. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus kuusen ja koivun uudistumiseen eräillä Kainuun vaara-alueen paksutturpeisilla soilla (Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the regeneration of birch and spruce on thick peat soils in Kainuu). Folia Forestalia 481: 1–16.
- Moilanen, M., Ferm, A. & Issakainen, J. 1987. Kasvihuonekokeita erilaisten jätteen vaikutuksesta hieskoivun alkukehitykseen turvealustalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 281: 1–46.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. (Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertoalku männikössä.) Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 84(4): 1–87.
- Mälkönen, E. 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. (Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertoalku koivikossa.) Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91(5): 1–35.
- Oikarinen, M. & Pyykkönen, J. 1981. Harvennuksen ja lannoituksen vaikutus turvekankaan hieskoivikon kehitykseen Pohjanmaalla (Abstract: The effect of thinning and fertilization on the growth of pubescent birch (*Betula pubescens*) on drained *Myrtillus* spruce swamp in Ostrobothnia). Folia Forestalia 486: 1–15.
- Paarlahti, K. & Paavilainen, E. 1985. Turvemaiden varttuneiden kuusikoiden ja koivikoiden lannoitus. Ennakkotuloksia (Summary: The fertilization of mature spruce and birch stands on peat soils. Preliminary results). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 206: 4–18.
- Paavilainen, E. 1990. Effect of refertilization of pine and birch stands on a drained fertile mire. Tiivistelmä: Jatkolannoituksen vaikutus viljavan suon männikössä ja koivikossa. Julkaisussa: Leikola, M. & Koponen, A. (toim.-eds.). Metsä Akatemiana. Professori Paavo Yli-Vakkuri 75 vuotta. Professori Paavo Yli-Vakkuri 75 years. Silva Fennica 24(1): 83–92.
- Paavilainen, E. & Tiihonen, P. 1988. Suomen suomensäät vuosina 1951–1984 (Summary: Peatland forests in Finland in 1951–1984). Folia Forestalia 714: 1–29.
- Penttilä, T. & Moilanen, M. 1987. Fosforilannoitteet suometsien lannoituksessa Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 136–148.
- Puro, T. 1982. Lannoitusajankohdan merkitys eri puulajien kasvureaktiossa (Summary: Effect of fertilization time on growth reaction of different tree species). Folia Forestalia 507: 1–14.
- Reinikainen, A. 1967. The appearance of nutrient deficiency in plants growing in the experimental area for forest fertilization at Kivisuo. In: Int. Proc. of the 9th Congress of the Intern. Potash Inst., Jyväskylä: 345–361.
- Ritari, A. 1989. Talven 1986–87 sääolojen poikkeuksellisuus ja pakkasvauriot Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 31–33.
- Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla (Summary: Development of white birch (*Betula pubescens* Ehrh.) stands on drained peatlands in northern Central Finland). Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91(2): 1–59.
- Tomppo, E. & Salminen, O. 1995. Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnan alueen metsävarat ja niiden kehitys 1952–1993. Teoksessa: Pohjois-Pohjanmaan metsät v. 1993 valtakunnanmetsien 8. inventoinnin mukaan: 1–7. Pohjanmaan metsänhoitajat ry.
- Viro, P. J. 1974. Fertilization of birch. (Seloste: Koivun lannoitus.) Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 81(4): 1–38.

## SUMMARY:

## Effect of fertilization on the growth and foliar nutrient status of pubescent birch stands on drained mires in northern Finland

The present understanding of the nutritional status of tree stands growing on drained peatland sites is mostly based on experiments with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). There are only a few studies concerning the nutritional status of pubescent birch (*Betula pubescens* Ehrh.; later referred to as birch) on peatlands. Following drainage, birch often takes over as the dominant tree species on mesotrophic and meso-oligotrophic site types. It commonly forms mixed stands with Scots pine and Norway spruce. In Finland, birch-dominated stands are most common on the drained peatlands of Pohjanmaa and southwestern Lapland. In these regions, birch-dominated peatland forests cover ca. 0.6 million ha and they account for about 25% of the total annual growth of the forests there.

According to results obtained in earlier studies, birch stands show only minor responses to fertilization treatments on both mineral soil and drained peatland sites. Nevertheless, it has been shown that birches are quite demanding as to site nutrition; a birch stand requires approximately twice as much nutrients as Scots pine per unit of dry-mass production (e.g. Finér 1989). The growth rates of birch stands compare well with those of Scots pine stands on meso-oligotrophic or mesotrophic sites on drained peatlands (Keltikangas & Seppälä 1977, Saramäki 1977). This has been connected to the favourable rate of nitrogen mineralization on these sites. It seems probable that birch seldom occupies sites with low rates of nitrogen mineralization. Yet, lack of nutrients, especially nitrogen, can in several cases constitute a significant growth-limiting factor in birch stands, e.g. in northern Finland during cold climatic periods or on sites characterized by a disturbed nutrient balance.

The aim of this study was to examine the nutritional status of pubescent birch stands growing on sites typical for them on drained peatlands in northern Finland. Special attention was focused on the possible interactions between fertilization treatments and site types to stand volume growth responses.

The study material consisted of the data obtained from field experiments established between 1974 and 1976 in different parts of the Province of Oulu and Finnish Lapland, altogether eight locations (Table 1). The sites representing four different mesotrophic to eutrophic site types, with stand median heights from 7 to 13 meters, and stand volumes from 27 to 72 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, were selected from areas drained according to normal forestry practices. Light thinnings were carried out in most of the experimental stands at the times of the fertilization treatments in order to reduce the invariance among the treatments (Table 2). The experimental designs followed the concept of randomized blocks with 2 to 4 replications depending on the location. The treatments applied to quadratic plots 600 to 1 600 m<sup>2</sup> in size were as follows: (i) control with no fertilization (0), (ii) fertilization with nitrogen (N), (iii) fertilization with phosphorus and potassium (PK), and (iv) fertilization with nitrogen, phosphorus, and potassium (NPK). The dosages of the main nutrients complied with those given in the Finnish fertilization guidelines for commercial forestry (Table 3).

Tree growth was monitored at stand level during periods of five to eleven years following the setting up of the experiments and for periods of four to seven years following the repetition of the fertilization treatments in 1985. At the end of the second study period, in August 1990, sun-exposed leaves were sampled from two stands for the purpose of conducting foliar nutrient analyses.

For the purpose of conducting ANOVA, the experimental stands were ordinated into four groups according to their peatland site types. The effects of the site-type group, site type subordinated to experimental blocking, fertilization treatment, and the interaction of fertilization treatment and site-type group on stand volume growth were analyzed separately for both study periods, following the general linear models procedure associated with the SAS statistical software.

The first-time fertilization treatments did not affect tree growth in any of the site-type groups. Following refertilization, a significant interaction of site-type groups and fertilization treatments was observed (Table 4). Consequently, the treatment effects were analyzed separately for each site-type group. According to a studentized Tukey's range test, there were significant differences among the treatments in all other site-type groups except for the shallow-peated herb-rich peatland forest (Table 5). The fertilization impacts (Figure 1) were the clearest in the group of drained herb-rich sedge fens with a relatively strong response to NPK fertilization and a significant response also to PK fertilization. The stands in the eutrophic birch fens group also responded positively to NPK fertilization. The stands in the herb-rich sedge hardwood-spruce fens responded only to PK fertilization. The growth responses were weaker than those reported earlier for Scots pine stands growing in similar climatic conditions.

On the control plots in the two stands selected for foliar analyses, the nitrogen, phosphorus, and potassium concentrations varied between 2.2–2.5%, 2.8–3.6 mg g<sup>-1</sup>, and 5.7–8.3 mg g<sup>-1</sup> of dry mass, respectively. In one experiment the foliar P

increased following repeated PK fertilization and in the other one, the foliar K increased following PK and NPK fertilization. No statistically significant effects were observed in the concentrations of the other foliar nutrient elements.

The positive responses to the repeated treatments, as well as the differences in the interactions to repeated N and PK treatments among site types, were somewhat unexpected. The nutrient dosages applied in the treatments may have been relatively low with respect to the demands of birch stands. This would appear to be in accordance with some earlier results from upland birch stands (Jonsson & Möller 1976). The differences between the responses during the two study periods may also relate to the exceptionally harsh climatic period 1986–1987 acting on the tree root systems and consequently the nutritional status of drained peatland stands and also upland stands throughout northern Finland (e.g. Ritari 1989). As to the differences in the responses among the site-type groups, further research is proposed to improve our understanding of the complex correlations and interactions of microbial activity, nutrient regimes in different types of peat, and the variation of the organic composition of peat.

*Received 4.10.1997, accepted 18.11.1997*