

JUKKA-PEKKA JÄPPINEN

OJITUKSEN JA LANNOITUKSEN VAIKUTUKSET SAMMALTEN TYPPI- JA FOSFORIPITOISUUKSIIN KAHDELLA SUOMUUTTUMALLA

EFFECTS OF DRAINAGE AND FERTILIZATION ON NITROGEN AND PHOSPHORUS CONTENTS OF MOSSES IN TWO DRAINED PEATLAND FORESTS

Jäppinen, J.-P. 1987: Ojituksen ja lannoituksen vaikutukset sammalten typpi- ja fosforipitoisuuksiin kahdella suomuuttumalla. (Summary: Effects of drainage and fertilization on nitrogen and phosphorus contents of mosses in two drained peatland forests). — *Suo* 38: 13—22. Helsinki.

The short-term effects of wood ash, PK and NPK fertilizers on total N and P contents of various mosses at an old drainage area in eastern Finland are studied.

Total N contents increased after NPK treatment and total P contents increased after treatments that contained phosphorus (NPK, PK, wood ash). N contents of some mosses also increased after treatments which did not contain any nitrogen (PK and wood ash). On these plots drainage and obviously the fertilizer treatment fastened the decomposition rate of the peat and at the same time the mobilization of the nutrients.

On the control plots (no fertilization) the N contents of the mosses did not differ statistically between the years in either of the study sites. The P contents of some mosses decreased on the control plots of the spruce swamp. One reason for this was apparently the level of the ground water, which did not lower so much in the spruce swamp than in the pine mire, and so the mobilization of the nutrients remained smaller.

The observed nutrient contents of the peat mosses were much smaller than those of the forest mosses and the nutrient contents were also smaller at pine mire than at spruce swamp.

Keywords: bryophytes, fertilization, drained peatlands, nitrogen, phosphorus.

J.P. Jäppinen, University of Joensuu, Department of Biology, P.O. Box 111, SF-80101 Joensuu, Finland.

JOHDANTO

Tämä tutkimus on osa vuonna 1979 perustettua "Lannoituksen vaikutus metsän ekosysteemiin" -projektia (LAVAME). Ilomantsin Ahvensalossa (62°50' N, 30°54' E) vuosina 1979—1982 toteutetun osaprojektin tutkimuksia ovat aikaisemmin julkaisseet mm. Pasanen ym. (1983), Vuorinen (1984), Silvola ym. (1985), Hotanen (1986) ja Silvola (1986). Projektin kasvillisuusryhmä on selvittänyt ojituksen ja erilaisten lannoitekäsittelyjen vaikutuksia kenttä- ja pohjakerroksen perustuotantoon, kasvillisuuden sukkessioon sekä kasvien sitomaan ravinnemäärään (Kuusipalo 1980, 1982, Kuusipalo & Vuorinen 1981, Jäppinen 1985).

Kasvien sisältämät ravinnemäärät vaihtelevat riippuen kasvilajista, kasvin iästä ja elämäntien vaiheesta, maaperän ravinnepitoisuudesta, kastumisen ja kuivumisen frekvens-

sistä sekä kasvien fysiologisesta aktiiviteetista (Aulio 1982, Brown 1982). Nuorten kasvien ja kasvinosien on useassa yhteydessä todettu sisältävän paljon kolmea pääravinnetta (NPK), kun taas vastaavat vanhat osat sisältävät runsaasti kalsiumia, mangaania, rautaa ja booria (Tamm 1953, Smith 1962).

Monet sammat ovat hyvin sopeutuneet kasvamaan vähäravinteisessa ympäristössä. Ojituksen ja lannoituksen seurauksena sammalten kasvuympäristö muuttuu äkillisesti ja tämä heijastuu nopeasti sammalpeitteeseen lajistollisina dominanssivaihteluina. Tässä työssä on tutkittu sammalten typpi- ja fosforipitoisuuksia ennen ja jälkeen ojituksen ja lannoituksen. Näiden toimenpiteiden vaikutuksia tutkimusalueiden sammallajistoon, sammalten biomassaan (B), tuotokseen (P) ja tuotantosuhteeseen (PB) on käsitelty toisaalla (Jäppinen 1985).

AINEISTO JA MENETELMÄT

Koelue 1 on ruohoinen sararäme-muuttuma, jossa suosammalet dominoivat lähinnä korpikarhunsammalen (*Polytrichum commune*) runsauden vuoksi. Kangassammalia on silti paikoitellen hyvinkin runsaasti. Kenttäkerroksen yleisimmät varvut ovat puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*) ja mustikka (*V. myrtillus*). Alueen puusto on 50—60 vuotiasta mäntykoivu sekametsää. Turpeen keskipaksuus on yli 90 cm (Kuusipalo 1980). Alue 2 on korpea, jossa dominantit kangassammalet (*Pleurozium schreberi* ja *Hylocomium splendens*) ovat voimistuneet karhun- ja rahkasammalten kustannuksella. Alue luokiteltiin mustikka-ruohoturvekankaaksi. Kenttäkerroksen valtalajit ovat mustikka ja puolukka sekä paikoitellen mustikan ohella ruohot. Puusto on 100—110 vuotiasta kuusikkoa, jonka seassa on satunnaisesti koivuja. Turpeen keskipaksuus on hie-man yli 80 cm (Kuusipalo 1980).

Koelueiden puusto on hyväkasvuista, sillä alueet on ojitettu lapiolla 1930-luvulla, ojat perattu 1950-luvun puolivälissä ja v. 1968 ja uudelleen ojitettu vuonna 1979. Koetta varten alueille ojitettiin heinä-syyskuussa 1979 keskimäärin 30×40 m:n ruudut, jotka lannoitettiin (taulukko 1) saman vuoden lokakuussa. Rämelle tuli 13 ja korvelle 12 koeruutua. Tuhkalan- noitus, joka oli "köyhä" PK-lannoitus, levi- tettiin vasta vuoden 1980 kesäkuussa. NPK-lannoitteiden perustana oli hidasliukoi- nen PK-lannoitus, jonka lisänä oli typen läh- teenä urea (UREA) tai hitaammin liukeneva nitroform (TYP). Hivenlannoite (HIV) oli NPK-lannoite, jossa typen lähteenä oli urea ja jossa oli lisäksi hivenaineseos. PK-lannoitteet erosivat toisistaan liukenevuuden suhteen (HID ja NOP).

Ravinneanalyysit tehtiin vuonna 1979 syys- lokakuun vaihteessa ja vuonna 1980 syyskuun lopussa kerätyistä biomassanäytteistä. Näyt- teet olivat joko yhdestä kohdin koeruutua ke- rättyjä tai kokoomanäytteitä. Sammalten typ- pipitoisuutta tutkittiin vuosina 1979—80 sekä rämellä että korvessa, mutta fosforipitoisuut- ta vastaavana aikana vain korvessa. Analysoi- dut lajit olivat seinäsammal (*Pleurozium sch- reberi*), metsäkerrossammal (*Hylocomium splendens*), korpikarhunsammal (*Polytrichum commune*), kalvakkarahkasammal (*Sphagnum papillosum*) ja jokasuonrahkasammal (*Sphag- num angustifolium*). Vanhan biomassan elävä osa (vanhat segmentit) ja nuorin vuosikasvu (tuotos) analysoitiin erikseen, mikäli ne voitiin

Taulukko 1. Koaloilla käytetyt lannoitteet ja niiden lyhenteet.

Table 1. Fertilizers used in the study.

LANNOITUSKÄSITTELY, TREATMENT	TUNNUS, CODE	KG/HA
Lannoittamaton — no fertilization	K	—
PK : Siilinjärvi apatiitti + biotiitti (hidasliukoinen)	HID	43.6 P + 83.0 K*
PK : Siilinjärvi apatiite + biotite (slowly dissolving)		
PK superfosfaatti + kalisuola (K 60)	NOP	43.6 P + 83.0 K
PK superphosphate + potassium salt		
NPK : urea + Siilinjärven apatiitti + biotiitti	URE	43.6 P + 83.0 K 100.0 N
NPK urea + Siilinjärvi apatiite and biotite		
NPK nitroform + Siilinjärvi apatiitti ja biotiitti	TYP	43.6 P + 83.0 K + 100.0 N
NPK nitroform + Siilinjärvi apatiite and biotite		
NPK + hivenseos: urea + Siilinjärven apatiitti ja biotitti + hivenseos	HIV	43.6 P + 83.0 K + 100.0 N + 12.8 Cu +
NPK + micronutrient mixture: urea + Siilinjärvi apatiite + biotite + micronutrient mixture		9.8 Fe + 5.5 Zn + 5.5 Mn + 1.4 Mo + 1.1 B + 0.7 Na
Puun tuhka (3000 kg/ha) Wood ash	TUH	19.9 P + 56.5 K + 602.6 Ca + 0.3 Cu + 0.8 Zn + 24.5 Mn + 0.3 B

* Arvot laskettu Viljavuuspalvelu Oy:n analyysien pohjalta.
Analyses by Viljavuuspalvelu Oy.

erottaa. Rahkasammalten tuotosta oli vaikein- ta erottaa, joten paria poikkeusta lukuunotta- matta niille annetut ravinnearvot ovat koko elävän biomassan pitoisuuksia.

Kasvien typpi- ja fosforipitoisuuksien selvit- tämiseksi märkälampettiin (Allen ym. 1974) n. 0.5 g kuivattua sammalta polttoputkessa.

Polttoliuoksen koostumus oli seuraava:

340 ml väkevää rikkihappoa, H₂SO₄

0,42 g seleniä, Se

14,00 g litiumsulfaattia, LiSO₄·H₂O

420 ml 60 % vetyperoksidiä, H₂O₂

Poltonestettä lisättiin 7—8 ml putkea koh- den ja polttolaitteen lämpötila säädettiin tällä menetelmällä 420°C:ksi. Polttoa jatkettiin, kunnes neste putkissa kirkastui. Neste poltet- tiin 2 ml:ksi tai väkevämmäksi. Mikäli neste haihtui alle kahden ml:n, täydennettiin se puhtaalla rikkihapolla kahdeksi ml:ksi. Jäähdytet- ty kahden ml:n nestemäärä laimennettiin ke- miallista analyysiä varten kymmeneksi ml:ksi ionivaihdetulla ja suodatetulla (Millipore) ve- dellä. Laimennetut polttoliuokset analysoi- tiin automaattisella AKEA-analysointorilla (AKEA 1978a—c). Tulostus tapahtui graafi-

sesti piirturipaperille, jonka piikeistä ravinne-
määrät laskettiin. Ennen ja jälkeen jokaisen
analyysin ajettiin AKEA:lla ravinnearvoiltaan
tunnettuja standardiliuoksia, joiden piikkeihin
vertaamalla voitiin laskea näytepiikkien arvot
(kts. laskukaavat Jäppinen 1985). Ravinnepi-
toisuudet laskettiin milligrammoina typpeä ja
fosforia kuiva-ainegrammaa kohti (mg/g).

Käsiteltyjen vaikutusta sammalten tyypipi-
toisuuteen verrattiin erottamalla typpeä sisäl-
täneet lannoitekäsitellyt (NPK = TYP, HIV,
UREA), typtöttömät käsitellyt (PK ja Tuh-
ka = HID, NOP, TUH) ja kontrolliruudut (K)
omiksi ryhmikseen, joiden lajikohtaisia ravin-
nepitoisuuksia tutkittiin tilastollisesti. Sam-
malten fosforipitoisuuksia tutkittiin vastaavas-
ti erottamalla kontrolliruudut ja fosforia sisäl-
täneet lannoitekäsitellyt (kaikki muut). Vuon-
den 1979 tausta-aineiston koealat jaettiin sa-
moin ryhmisiin tulevan lannoitekäsitelyn
mukaan. Ravinnepitoisuuksia tutkittiin täten
molempina vuosina samojen koeruutujen suh-
teen. Kaksisuuntaisella varianssianalyysillä
(SPSSX-Anova) tutkittiin sammalten ravinne-
pitoisuutta tutkimusvuoden ja käsitelyn suh-
teen. Yksisuuntaisella varianssianalyysillä
(SPSSX-Oneway) testattiin erosivatko käsitte-
lyryhmät toisistaan jo syksyllä 1979 ennen
lannoitusta ja vastaavasti syksyllä 1980 sen
jälkeen (vuosien sisäiset erot). Yksisuuntaista
varianssianalyysyä käytettiin myös vuosien vä-

listen lajikohtaisten ravinne-erojen testaami-
seen.

TULOKSET

Sammalten ravinnepitoisuudet

Sammalten kokonaistyyppipitoisuudet vuosi-
na 1979—80 on rämeen osalta koottu kuvaan
1, ja korven osalta kuvaan 2. Korven sammal-
ten kokonaisfosforipitoisuudet samana ajan-
kohtana ovat kuvassa 3. Kuvissa on eroteltu
vanhat kasvinosat (segmentit) ja tuotos-osa
(produktio), mikäli ne ovat olleet erotettavissa,
sekä käsitelyryhmät. Ravinnepitoisuuksista
lasketut biotooppikohtaiset keskiarvot ennen
ja jälkeen ojituksen ja lannoituksen ovat tau-
lukossa 2.

Sammallajien keskimääräiset typpi- (kuvat 1
ja 2) ja fosforipitoisuudet (kuva 3) eivät eron-
neet tilastollisesti eri käsittelyryhmien välillä
tulevan lannoitekäsitelyn mukaan jaotellussa
tausta-aineistossa. Ainoa poikkeus oli joka-
suonrahkasammal, jonka typpipitoisuus (10.3
mg/g kuiva-ainetta) korven tulevilla PK- ja tuh-
karuuduilla oli merkittävästi suurempi
($F = 7.4$, $p < 0.01$) kuin NPK-ruuduilla (7.8
mg/g) (kuva 2).

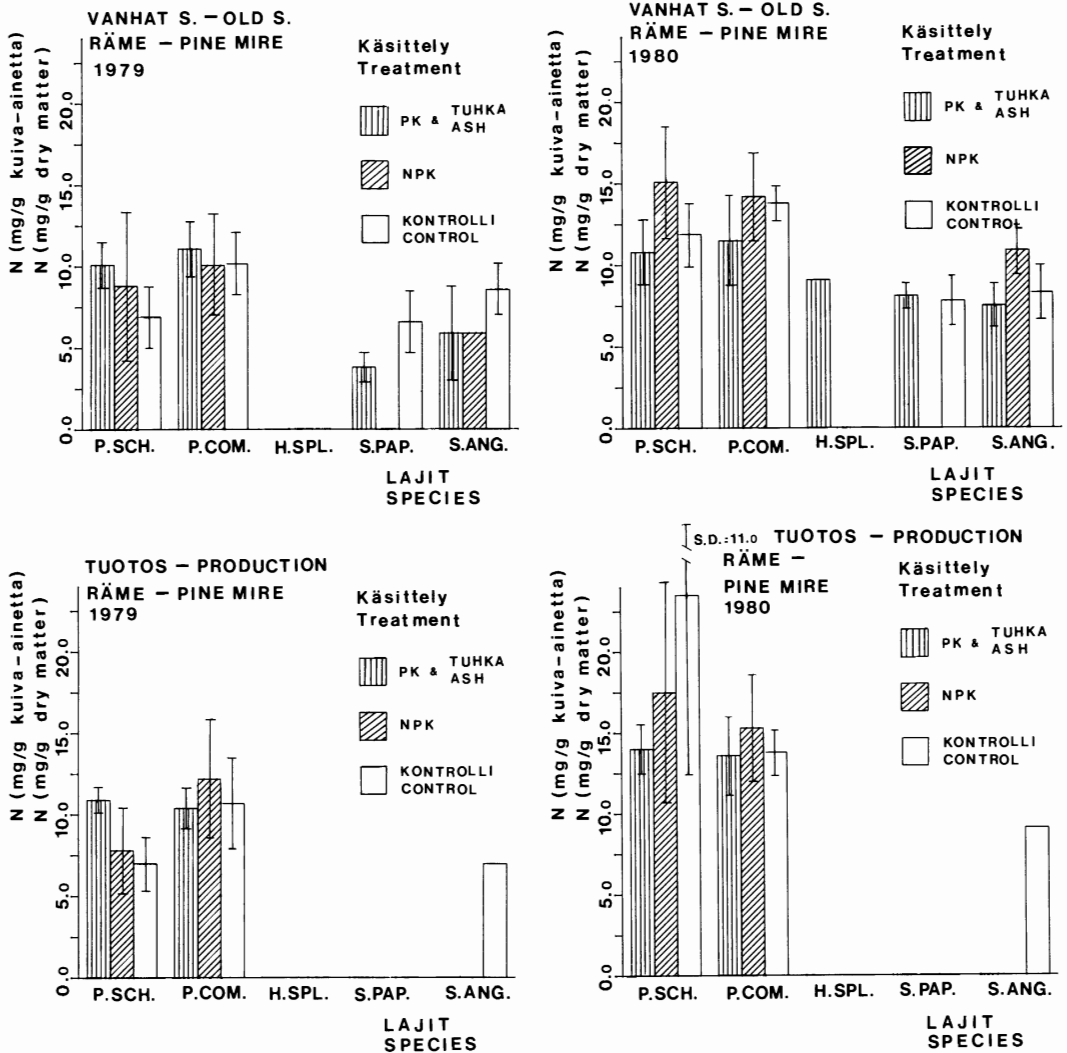
Käsitelyjen vaikutukset

Sammalten ravinnepitoisuutta tutkittiin tut-
kimusvuoden ja käsitelyn suhteen kaksisuun-

Taulukko 2. Ahvensalon sammalten N- ja P-pitoisuuksien (mg/g kuiva-ainetta) biotooppikohtaiset keskiarvot (mukana myös kontrolliruudut) ennen käsitelyä (1979) ja n. vuosi niiden jälkeen (1980).

Table 2. Mean N and P contents (mg/g dry weight) in the mosses at both sites before (1979) and after (1980) the treatments. Site 1 = pine mire, site 2 = spruce swamp. The control plots (no fertilization) are included.

LAJIT — SPECIES	N-pitoisuus, N content, mg/g				P-pitoisuus, P content, mg/g			
	1979		1980		1979		1980	
	Räme Site 1	Korpi Site 2	Räme Site 1	Korpi Site 2	Korpi Site 2	Räme Site 1	Korpi Site 2	
<i>P. schreberi</i>								
prod.	8.7	12.6	17.7	17.2	1.2	1.5	2.1	
vanha — old	8.8	14.2	13.5	12.4	1.2	1.7	1.4	
<i>P. commune</i>								
prod.	11.3	16.9	14.4	12.9	1.0	1.1	1.3	
vanha — old	10.5	13.1	13.0	12.2	0.8	1.1	1.3	
<i>H. splendens</i>								
prod.	—	13.5	—	17.1	1.4	—	4.4	
vanha — old	—	13.3	9.1	14.9	1.1	2.3	1.8	
<i>S. papillosum</i>	5.2	8.6	7.9	10.0	0.6	0.5	1.4	
<i>S. angustifolium</i>		9.1		9.6	0.8		1.3	
prod.	7.0		9.1			0.8		
vanha — old	7.2		8.7			0.9		



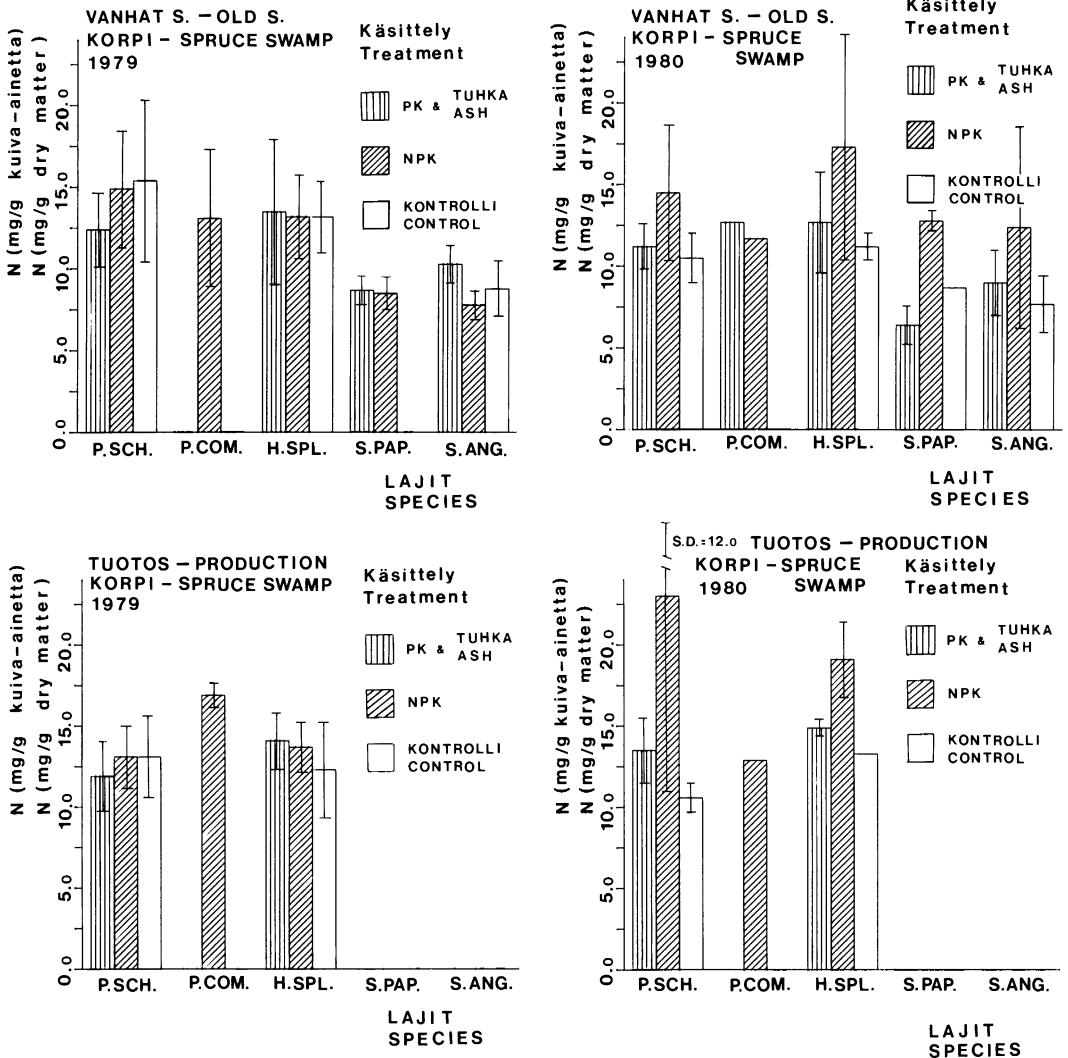
Kuva 1. Sammalten vanhojen segmenttien ja tuotoksen kokonaistyyppipitoisuus rämeellä ennen (1979) ja jälkeen (1980) käsittelyjen. Pylväissä myös keskihajonnat (S.D.). Rahkasammalten vanhojen segmenttien arvot sisältävät myös tuotoksen, ellei sitä ole eroteltu. Lajit/Species: P.SCH. = *Pleurozium schreberi*, P.COM. = *Polytrichum commune*, H.SPL. = *Hylocomium splendens*, S. PAP. = *Sphagnum papillosum*, S.ANG. = *S. angustifolium*.

Figure 1. Mean total nitrogen contents of moss samples at site 1 (pine mire) before (1979) and after (1980) the fertilization treatments and drainage. Standard deviations (S.D.) are indicated. Samples include both old and productive segments if sampled separately.

taisella varianssianalyysillä. Analyseissä havaittiin useita tilastollisia eroja sammalten N- ja P-pitoisuuksissa tausta- ja seurantavuoden välillä kuten myös lähtötilanteen ja käsittelyjen välillä (taulukko 3). Ojituksen ja lannoituksen vaikutusta sammalten N- ja P-pitoisuuteen tutkittiin myös yksisuuntaisella varianssianalyysillä, vertaamalla kunkin käsittelyryhmän sammalten ravinnepitoisuutta tutkimusvuosien välillä. Seuraavassa tulokset käsittelyryhmittäin.

PK- ja tuhkaruudut (tyypeä sisältämätön käsittely)

Rämeen PK- ja tuhkaruuduilla sammalten tyyppipitoisuudet nousivat kauttaaltaan näiden käsittelyjen jälkeen ja osa noususta oli tilastollisesti merkitsevää. Rämeellä seinäsammalten tuotos-osan kokonaistyyppipitoisuus (14,0 mg/g) oli käsittelyjen jälkeen jokseenkin merkitsevästi ($F = 9.5, p < 0.05$) suurempi kuin ennen niitä (10,9 mg/g) (kuva 1). Korpikarhunsammalten tuotos-osan N-pitoisuus (13,6 mg/g) oli rämeen



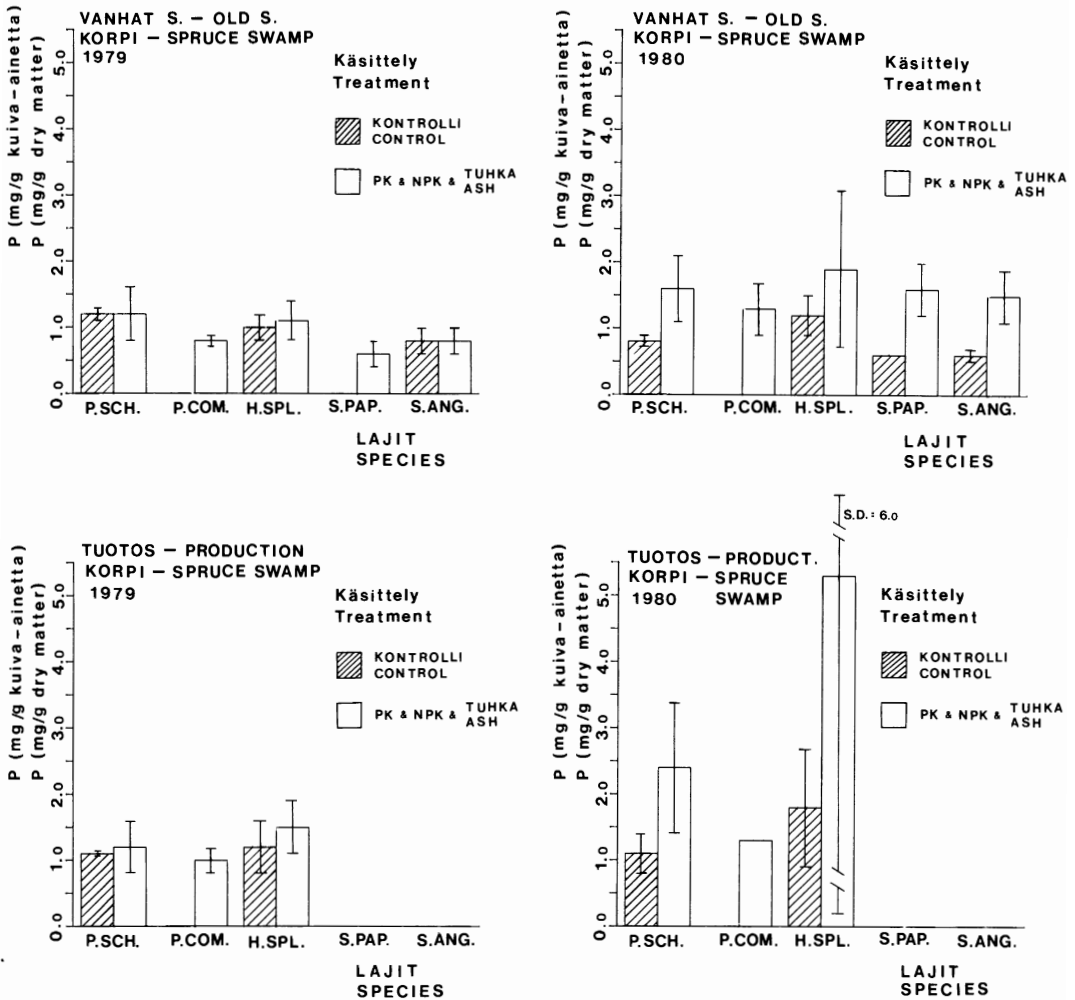
Kuva 2. Sammalten vanhojen segmenttien ja tuotoksen kokonaistypipitoisuus korvessa ennen (1979) ja jälkeen (1980) käsittelyjen. Pylväissä myös keskihajonnat (S.D.). Rahkasammalten vanhojen segmenttien arvot sisältävät myös tuotoksen. Lajit/Species: P.SCH. = *Pleurozium schreberi*, P.COM. = *Polytrichum commune*, H.SPL. = *Hylocomium splendens*, S.PAP. = *Sphagnum papillosum*, S.ANG. = *S. angustifolium*.

Figure 2. Mean total nitrogen contents of moss samples at site 2 (spruce swamp) before (1979) and after (1980) fertilization treatments and drainage. Standard deviations (S.D.) are indicated. Samples include both old and productive segments if sampled separately.

PK- ja tuhkaruuduilla käsittelyjen jälkeen merkitsevästi ($F = 12.6$, $p < 0.01$) suurempi kuin ennen käsittelyä (10.4 mg/g) (kuva 1). Kalvakkarahkasammalten elävän biomassan N-pitoisuus (8.1 mg/g) räumen vastaavilla käsittelyruuduilla oli lannoituksen jälkeen merkitsevästi ($F = 38.9$, $p < 0.01$) suurempi kuin ennen sitä (3.8 mg/g) (kuva 1). Korvessa sammalten tuotos-osan N-pitoisuudet kohosivat, ja vanhojen segmenttien N-pitoisuudet laskivat käsittelyjen jälkeen, mutta muutoksissa ei havaittu tilastollisia eroja (kuva 2).

NPK-ruudut (tyypeä sisältävä käsittely)

NPK-lannoiteruuduilla sammalten N-pitoisuudet olivat lähes kauttaaltaan kohonneet lannoituksen jälkeen. Ainoat poikkeukset olivat korvessa seinäsammalten vanhojen segmenttien ja korven karhunsammalten vanhojen segmenttien ja tuotoksen N-pitoisuudet, jotka laskivat käsittelyn jälkeen (kuva 2), mutta ne eivät kuitenkaan poikenneet taustavuodesta tilastollisesti. Räumen NPK-ruuduilla seinäsammalten vanhojen segmenttien lannoit-



Kuva 3. Sammalten vanhojen segmenttien ja tuotoksen kokonaisfosforipitoisuus korvessa ennen (1979) ja jälkeen (1980) käsittelyjen. Rahkasammalten vanhojen segmenttien tulokset sisältävät myös tuotoksen. Pylväissä myös keskiahjonat. (S.D.) Lajit/Species: P.SCH. = *Pleurozium schreberi*, P.COM. = *Polytrichum commune*, H.SPL. = *Hylocomium splendens*, S.PAP. = *Sphagnum papillosum*, S.ANG. = *S. angustifolium*.

Figure 3. Mean total phosphorus contents of moss samples at site 2 (spruce swamp) before (1979) and after (1980) fertilization treatments and drainage. Standard deviations (S.D.) are indicated. Samples include both old and productive segments if sampled separately.

tuksen jälkeinen typpipitoisuus (15,1 mg/g) oli jokseenkin merkitsevästi ($F = 9,1$, $p < 0,05$) suurempi kuin ennen sitä (8,8 mg/g) (kuva 1). Korvessa ei tilastollisia eroja havaittu. Myös seinäsammalten produktio-osan NPK-lannoituksen jälkeinen N-pitoisuus (17,5 mg/g) oli rämeellä jokseenkin merkitsevästi ($F = 7,1$, $p < 0,05$) suurempi kuin ennen lannoitusta (7,8 mg/g) (kuva 1). NPK-lannoituksen jälkeen korpikarhunsammalten vanhojen segmenttien N-pitoisuus (14,2 mg/g) oli rämeellä merkitsevästi ($F = 9,8$, $p < 0,01$) suurempi kuin ennen lannoitusta (10,1 mg/g) (kuva 1). Metsäkerrossammalten produktio-osan käsittelyn jälkeinen N-

pitoisuus (19,1 mg/g) oli korvessa erittäin merkitsevästi ($F = 22,8$, $p < 0,001$) suurempi kuin ennen käsittelyä (13,7 mg/g) (kuva 2). Korvessa kalvakkarahkasammalten käsittelyn jälkeinen typpipitoisuus (12,8 mg/g) oli merkitsevästi ($F = 46,5$, $p < 0,01$) suurempi kuin ennen lannoitusta (8,5 mg/g) (kuva 2).

NPK; PK- ja tuhkaruudut (fosforipitoiset lannoitteet)

Korvessa seinäsammalten vanhojen segmenttien ja rahkasammalten elävän biomassan P-pitoisuudet nousivat tilastollisesti mer-

Taulukko 3. Kaksisuuntaisen varianssianalyysin tulokset (F-arvot).

Table 3. *F-values from a 2-way analysis of variance. Site 1 = pine mire, site 2 = spruce swamp.*

Laji ja näyte <i>Species and samples</i>	Muuttuja <i>Source</i>	N-pitoisuus <i>N content</i>		P-pitoisuus <i>P content</i>	
		Räme <i>Site 1</i>	Korpi <i>Site 2</i>	Korpi <i>Site 2</i>	Korpi <i>Site 2</i>
<i>P. schreberi</i> prod. ²⁾	Y ¹⁾	15.0*** ³⁾	3.0	9.6**	
	T	0.5	2.8	5.3*	
	Y×T	2.1	1.8	2.4	
<i>P. schreberi</i> vanha-old	Y	12.4**	2.9	4.1*	
	T	1.2	3.4	9.3**	
	Y×T	1.4	1.7	6.9*	
<i>P. commune</i> prod.	Y	13.3**			
	T	2.1			
	Y×T	0.6·10 ⁻³			
<i>P. commune</i> vanha-old	Y	9.9**	0.1		
	T	0.2	0.3·10 ⁻¹		
	Y×T				
<i>H. splendens</i> prod.	Y		14.1**	4.4	
	T		3.0	0.9	
	Y×T		2.9	0.9	
<i>H. splendens</i> vanha-old	Y		1.7	11.8**	
	T		1.6	1.1	
	Y×T		2.4	1.5	
<i>S. papillosum</i> elävä-living	Y	11.7**	9.1*	27.9**	
	T	2.7	16.4**	8.9*	
	Y×T	3.7	33.3**		
<i>S. angustifolium</i> elävä-living	Y	2.1	0.4	38.6***	
	T	3.2	1.2	22.0***	
	Y×T	2.4	4.6**	27.1***	

¹⁾ Y = Vuosi-year: 1979 & 1980

T = Käsittely (treatment):

N = PK + tuhka/NPK/Kontrolli

(N = PK + wood ash/NPK/Control)

P = PK + tuhka + NPK/Kontrolli

(P = PK + wood ash + NPK/Control)

Y×T = Yhteisvaihtelu (yhdyksvaikutus) (2-way interactions)

²⁾ Prod. = Tuotos-segmentti (productive segment)

Vanha = Vanhat segmentit (old segments)

Elävä = Elävä osa (living part)

*** = $p < 0.001$

** = $p < 0.01$

* = $p < 0.05$

kitsevästi fosforia sisältäneillä käsittelyillä. Seinäsammalen vanhojen segmenttien P-pitoisuus (1,6 mg/g) oli korvessa lannoituksen jälkeen merkitsevästi ($F = 7,5, p < 0,01$) suurempi kuin ennen käsittelyä (1,2 mg/g) (kuva 3). Myös seinäsammalen produktio-osan P-pitoisuus oli korvessa käsittelyjen jälkeen kohonnut (kuva 3), muttei edes jokseenkin merkitsevästi.

Samoilla lannoitteilla ja samassa biotoopissa kalvakkarakasammalen käsittelyjen jälkeen pitoisuus (1,6 mg/g) oli erittäin merkitsevästi ($F = 27,9, p < 0,001$) suurempi kuin ennen niitä (0,6 mg/g) (kuva 3). Vastaavasti jokasuonrahkasammalen P-pitoisuus (1,5 mg/g) oli korvessa käsittelyjen jälkeen erittäin merkitsevästi ($F = 50,9, p < 0,001$) suurempi kuin ennen niitä (0,8 mg/g) (kuva 3). Korven karhunsammalen ja metsäkerrossammalen vanhojen segmenttien ja tuotuksen P-pitoisuudet nousivat korvessa myös käsittelyjen jälkeen, mutta ero ei ollut tilastollinen (kuva 3).

Kontrolliruudut

Kontrolliruuduilla sammalten typpipitoisuudet eivät eronneet tilastollisesti vuosien välillä (kuvat 1 ja 2). Sammalten P-pitoisuudessa havaittiin korven kontrolliruuduilla laskua ojituksen jälkeisenä syksynä. Seinäsammalen vanhojen segmenttien P-pitoisuus (1,2 mg/g) oli lähtötilanteessa merkitsevästi ($F = 24,8, p < 0,01$) suurempi kuin seurantavuotena (0,8 mg/g) (kuva 3). Vastaavasti jokasuonrahkasammalen elävän biomassan P-pitoisuus (0,8 mg/g) osoittautui korven kontrolliruuduilla jokseenkin merkitsevästi ($F = 6,6, p < 0,05$) suuremmaksi ennen käsittelyä kuin niiden jälkeen (0,6 mg/g) (kuva 3).

TULOSTEN TARKASTELU

Sammalten ravinnepitoisuus

Saadut N- ja P-pitoisuudet vastaavat hyvin luonnontilaisilta kasvupaikoilta saatuja sammalten ravinnepitoisuuksia (vrt. Tamm 1953, Malmer & Sjörs 1955, Pakarinen 1978). Esi-merkiksi Wielgolaski ym. (1975) ilmoittavat vihreän sammalmateriaalin sisältävän tyypeä kuivapainogrammaa kohden keskimäärin 1,2 % (12 mg/g) ja fosforia 0,12–0,15 % (1,2–1,5 mg/g). Ei-vihreän sammalmateriaalin N-pitoisuuksien keskiarvoksi saatiin em. tutkimuksessa 1,1 % (11 mg/g) ja P-pitoisuudelle 0,14 % (1,4 mg/g). Keskiarvot oli laskettu yhdeksästä sammallajista. Aikaisemmissa tutkimuksissa (esim. Tamm 1953, Pakarinen 1978) havaittu nuorten kasvosien vanhoja korkeampi N- ja P-pitoisuus näytti myös Ahvensalon aineistossa pitävän paikkansa, mutta aineiston pienuus esti tältä osin laajempien johtopäätösten teon.

Analyyseissä rahkasammalet osoittautuivat varsin typpiköyhiksi, jonka jo Kivinen (1933)

on todennut olevan tyypillistä myöhään kesällä otetuille näytteille (vrt. myös Lehtonen ym. 1976). Kangassammalten typpipitoisuudet olivat ennen ja jälkeen käsittelyjen selvästi rahkasammalia suuremmat (taulukko 2). Syy on rakenteellinen, sillä kangassammalten solu-koissa dominoivat vihreät klorofyllisolut kuolleiden hyaliinisolujen sijaan (Pakarinen 1978). Myös fosforipitoisuudet olivat kangassammalla rahkasammalia suuremmat, jonka on todettu (Clymo 1963) johtuvan rahkasammalten erittäin heikosta anioninvaihtokyvystä, sillä niillä fosfaatti-ioneja absorboivat vain elävät Sphagnum-lehdet. Korven karhunsammalen N- ja P-pitoisuudet sijoittuvat melko selvästi kangas- ja rahkasammalten ravinnepitoisuuksien väliin.

On tunnettua (esim. Mengel & Kirkby 1982), että kasvien ottama ravinnemäärä riippuu ravinteiden konsentraatiosta maaperässä ja että se on yleensä sitä suurempi kasvissa, mitä enemmän ravinnetta on saatavilla. Suhde ei ole lineaarinen, mutta se seuraa asymptoottista käyrää. Ahvensalossa tämä näkyy korven sammalten rämettä suurempina ravinnepitoisuuksina (taulukko 2).

Jo Gully (1913) osoitti tutkiessaan Etelä-Saksan rahkasammalia, että korpilajit sisältävät huomattavasti runsaampia N-määriä kuin rahkasoiden lajit. Tamm (1953) puolestaan havaitsi kerros- ja seinäsammalen N- ja P-pitoisuuksien kasvavan voimakkaasti, kun metsän valoisuus vähenee (siis kun puusto sulkeutuu). Tähän on syynä se, että karikkeen ohella sammalten pääravinnelähteenä on sadevesi, joka sisältää puista liuenneita ravinteita. Kasvupaikan ravinne-ekologinen vaihtelu heijastuu siis selvästi sammalten N- ja P-pitoisuuksissa.

Ahvensalon ravinneosaprojekti (Pasanen ym. 1983) havaitsi mustikan ja puolukan kokonaistyppipitoisuuksien olevan rämeellä ja korvessa 5—15 mg/g (kuivapaino), joka on samaa suuruusluokkaa nyt julkaistujen sammalten N-pitoisuuksien kanssa. Em. tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu puolukan ja mustikan eikä muidenkaan analysoitujen kenttäkerroksen kasvien N-pitoisuuksissa oleellisia muutoksia lannoituksen jälkeen. Mustikan ja puolukan P-pitoisuudet rämeellä ja korvessa vaihtelivat Pasanen ym. (1983) tutkimuksessa yleensä rajoissa 0,3—0,7 mg/kuivapaino-g, jotka ovat selvästi pienempiä kuin nyt julkaistavat sammalten P-pitoisuudet. Pasanen ym. havaitsivat fosforipitoisuuden nousua kummallakin suotyyppillä varsinkin nopealiukoisen (NOP) lannoit-

teen ruuduilla, joissa mustikan ja puolukan P-arvojen todettiin nousevan vuosina 1981-82 1,2—1,7 mg/kuivapaino-g tasolle, joka vastaa nyt julkaistavia sammalten P-pitoisuuksia. Pasanen ym. havaitsivat jonkinasteista em. varpujen P-pitoisuuden kasvua myös HID; HIV- ja TYP-ruuduilla.

Käsittelyjen vaikutukset

Sammalten ravinnepitoisuuksien on todettu lisääntyvän lannoituksen seurauksena, vaikkakin usein hitaasti (Mengel & Kirkby 1982). Ahvensalossa muutokset sammalten N- ja P-pitoisuuksissa näkyvät selvästi tarkasteltaessa niitä n. vuosi ojituksen ja lannoituksen jälkeen. Nämä toimet lisäsivät tutkittujen ravinteiden pitoisuutta paitsi kasvien tuotos-osassa, myös aiempien kasvukausien aikana muodostuneissa elävissä osissa. Ravinnepitoisuuksien nousu johtuu siis lannoituksesta, mutta myös siitä, että ojitus ja ilmeisesti myös lannoiteruuduille levitetty lannoitus on nopeuttanut turpeen hajoamista ja samalla ravinteiden vapautumista. Täten tyypeä vapautuu kasvien käyttöön myös niillä ruuduilla (PK ja tuhka), joille sitä ei lisätty. Päivänen (1970) onkin todennut kivennäisravinteiden (erityisesti fosforin) lisäyksen vilkastuttavan typen mobilisaatiota turpeessa ja tämän lisäävän kenttäkerroksen kasvillisuuden N-pitoisuutta myös ruuduilla, jotka eivät saa typpipitoista lannoitetta. Nyt julkaistavat tulokset osoittavat näin käyvän myös pohjakerroksen sammalissa.

Korven kontrolliruuduilla havaittiin toisaalta selvä lasku eräiden lajien P-pitoisuuksissa ojituksen jälkeisenä syksynä. Myös sammalten N-pitoisuuksissa voitiin havaita pientä laskua, mutta typen kohdalla ei havaittu tilastollisia eroja. Ravinnepitoisuuksien lasku näkyi enimmäkseen sammalten vanhoissa segmenteissä. Tämä ilmiö on ainakin osittain seurausta siitä, ettei korvessa pohjaveden taso laskeutunut yhtä jyrkästi kuin korpirämeellä, joten turpeen hajoaminen ja ravinteiden vapautuminen jäi siellä ilmeisesti pieneksi.

Sammalia ei huuhdeltu ennen polttoa ja siksi niiden pinnalla saattoi joissakin tapauksissa olla lannoitetta. Tätä virhetekijää pyrittiin pienentämään karistelemalla kaikki näkyvä, irtonainen lannoite pois kasveista ennen märkäpolttoa. Sammalten huuhtelusta tai liottamisesta luovuttiin, koska se olisi saattanut rikkoa kasvien soluja, jolloin ravinteita olisi karannut.

Analyseissa käytetty liuosten laimennus-suhde osoittautui suurissa ravinnepitoisuuksissa riittämättömäksi, ja siksi jotkut analyysitulokset ovat aliarviolta todellisista pitoisuuksista. Myös sillä, että sammalten poltossa jäi joskus palamatta orgaanista ainetta, saattaa joissakin tapauksissa olla ravinnepitoisuutta alentava vaikutus. Yhtenä epätarkkuutta aiheuttavana tekijänä mainittakoon tulostuksessa käytetyn piirturipaperin ravinnepiikkien laskemisen vaikeus, 0-tason heilahtelun ja standardipiikkien erilaisten tasojen vuoksi.

KIITOKSET

Kiitokset Ahvensalon LAVAME-projektin vetäjille, erityisesti tutkimustani ohjanneelle FT Jukka Vuoriselle myötämielisestä suhtautumisesta ja avusta. Projektin opiskelijajäsenille erityinen kiitos lämminhenkisestä yhteistyöstä. Joensuun yliopiston biologian laitoksen laborantit ja FK Juha Paakkola avustivat suuritöissä ravinne-määrityksissä. Joensuun korkeakoulu, Kemira Oy, Metsäntutkimuslaitos, Nessling-säätiö ja Enso-Gutzeit Oy loivat tutkimuksen perusedellytykset. Kiitän lämpimästi myös FT Jouko Silvola ja FK Juha-Pekka Hotasta, jotka lukivat käsikirjoituksen ja tekivät siihen parannusehdotuksia.

KIRJALLISUUS

- AKEA 1978a: Ammonia in fresh and saline waters. Moniste. 4 s. Instrumentarium.
- AKEA 1978b: Orthophosphate in seawater (without heater bath). Moniste. 4 s. Instrumentarium.
- AKEA 1978c: Automatic Chemical Analysis System. Operating manual N:o 85321. 47 s. Datex-Instrumentarium Oy.
- Allen, S. E., Grimshaw, H. M., Parkinson, J. A. & Quamby, C. 1974: Chemical analysis of ecological materials. 565 s. Oxford.
- Aulio, K. 1982: Nutrient accumulation in Sphagnum mosses. II. Intra- and interspecific variation in four species from ombrotrophic and minerotrophic habitats. — Ann. Bot. Fennici 19(2): 93—101.
- Brown, D. H. 1982: Mineral nutrition. — Teoksessa: Smith, A. J. E. (toim.), Bryophyte ecology. 511 s. London.
- Clymo, R. S. 1963: Ion exchange in Sphagnum and its relation to bog ecology. — Annals of Botany, N. S. 27: 309—324.
- Gully, E. 1913: Untersuchungen über die Humussäuren III. Die chemische Zusammensetzung und das Basenabsorptionsvermögen der Sphagnen, die Abhängigkeit derselben vom Standarte und die Bedeutung der einzelnen Nährstoffe bei der Bildung von Hochmoor. — Mitt. d.K. Bayr. Moorkulturanstalt, 5 P: 1—84. (Ref. Kivinen 1933).
- Hotanen, J.-P. 1986: Tuhka- ja NPK-lannoituksen lyhyen aikavälin vaikutuksista änkyrimatoihin kahdella vanhalla ojitusalueella Itä-Suomessa. (Summary: Short term effects of ash and NPK fertilization on Enchytraeidae populations in two old, drained peatland areas in eastern Finland.) — Suo 37(2): 35—43.
- Jäppinen, J.-P. 1985: Ojituksen ja lannoituksen vaikutus sammalten tuotantobiologiaan sekä typpi- ja fosforipitoisuuteen kahdella suomuuttumalla. Pro gradu-tutkielma. 70 s. Joensuun yliopisto, biologian laitos.
- Kivinen, E. 1933: Suokasvien ja niiden kasvuolustan kasvinvirintoainesuhteista. — Acta Agralia Fennica 27: 1—141.
- Kuusipalo, J. 1980: Metsänparannustoimenpiteiden vaikutus räme-ekosysteemin kasvillisuuden suksessiokehitykseen Ilomantsin Ahvensalossa. Pro gradu-tutkielma. 60 s. Joensuun korkeakoulu, biologian laitos.
- Kuusipalo, J. 1982: Lannoituksen ja täydennysojituksen vaikutuksista pintakasvillisuuden rakenteeseen ja dynamiikkaan kolmella eriaisteisella muuttumalla. Lisensiaattitutkielma. 74 s. Joensuun yliopisto, biologian laitos.
- Kuusipalo, J. & Vuorinen, J. 1981: Pintakasvillisuuden suksessioista vanhalla ojitusalueella Itä-Suomessa. (Summary: Vegetation succession on an old, drained peatland area in eastern Finland.) — Suo 32(3): 61—66.
- Lehtonen, I., Westman, C. J. & Kellomäki, S. 1976: Ravinteiden kierto eräässä männikössä: I Kasvillisuuden ja maaperän ravinnepitoisuuksien vaihtelu kasvukauden aikana. (Summary: Nutrient cycle in a pine stand: I Seasonal variation in nutrient content of vegetation and soil.) — Silva Fennica 10(3): 182—197.
- Malmer, N. & Sjörs, H. 1955: Some determinations of elementary constituents in mire plants and peat. — Bot. Not. 108(1): 46—80.
- Mengel, K. & Kirky, E. A. 1982: Principles of plant nutrition. 655 s. Bern.
- Pakarinen, P. 1978: Production and nutrient ecology of three Sphagnum species in southern Finnish raised bogs. — Ann. Bot. Fennici 15: 15—26.
- Pasanen, S., Miettinen, J. & Paakkola, J. 1983: Tutkimusraportti Ahvensalon (Ilomantsi) lannoiteprojektin ravinne- ja mineraalimäärityksistä. 104 s. Moniste-sarja. Joensuun korkeakoulu, biologian laitos.
- Päivänen, J. 1970: Hajalannoituksen vaikutus lyhytkortisen nevan pintakasvillisuuden kenttäkerrokseen. (Summary: On the influence of broadcast fertilization on the field layer of the vegetation of open low-sedge bog.) — Suo 21(1): 18—24.
- Silvola, J. 1986: Carbon dioxide dynamics in mires reclaimed for forestry in eastern Finland. — Ann. Bot. Fennici 23: 59—67.
- Silvola, J., Välijoki, J. & Aaltonen, H. 1985: Effect of draining and fertilization on soil respiration at three ameliorated peatland sites. — Acta For. Fennica 191: 1—32.
- Smith, P. F. 1962: Mineral analysis of plant tissues. — Ann. Rev. Plant Physiol. 13: 81—108.
- Tamm, C. O. 1953: Growth, yield and nutrition in carpets of a forest moss (*Hylacomium splendens*). — Meddel. f. Stat. Skogsforskningsinst. 43: 1—140.
- Vuorinen, A. 1984: Entsyymiaktiivisuuksista lannoitetun suometsän maaperässä. — Jyväskylän yliopiston biologian laitoksen tiedonantoja 40: 107—113.
- Wielgolaski, F. E., Kjelvik, S. & Kallio, P. 1975: Mineral content of tundra and forest tundra plants in Fennoscandia. — Teoksessa: Wielgolaski, F. E. (toim.), Fennoscandian tundra ecosystems. Part 1. Plants and microorganisms. 366 s. Berlin, Heidelberg, New York.

SUMMARY:

EFFECTS OF DRAINAGE AND FERTILIZATION ON NITROGEN AND PHOSPHORUS CONTENTS OF MOSSES IN TWO DRAINED PEATLAND FORESTS

The short-term effects of wood ash, PK and NPK fertilizers on total nitrogen and phosphorus contents of various moss species were studied at an old drainage area in eastern Finland (62° 50' N, 30° 54' E). Site 1 is a drained pine mire, where peat mosses (especially *Polytrichum commune*) are dominant, but the amount of forest mosses is also quite noticeable. The tree stand is a 50 to 60-years-old Scots pine and birch mixed forest. Site 2 is a spruce swamp, classified as a herb-rich *Myrtillus* heathy peatland. Forest mosses (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) dominate and the site has an 100 to 110-years-old Norway spruce stand. Both sites were drained for forestry purposes some four decades ago and they were re-drained and fertilized at the beginning of this study.

The NPK fertilizer (100 kg/ha of each element) was applied in October 1979, and the wood ash treatment (3000 kg/ha) was performed in June 1980 (Table 1). Moss samples (*Pleurozium schreberi*, *Polytrichum commune*, *Hylocomium splendens*, *Sphagnum papillosum*, *S. angustifolium*) were taken in autumn before (1979) and after (1980) the treatments. The total N and P contents of the samples were analyzed by an automatic chemical analysis system, AKEA (see Allen et al. 1974 and AKEA 1978a-c for detailed information about the methods and reagents used). The old and productive segments of mosses were analyzed separately.

The treatments (Table 1) which contained nitrogen (NPK = TYP, HIV, UREA), the treatments which did not (PK, wood ash = HID, NOP, TUH), and the control plots (K) were used to classify the material into groups and the N and P contents of each moss species statistically evaluated. The material was also classified into groups in a similar way using P fertilizer treatments and differences studied in the same way.

The N and P contents (mg/g dry weight) of forest mosses were greater than those of the *Sphagnum* species, both before and after treatment (Table 2). This was due to structural and physiological differences between the species (see Clymo 1963, Pakarinen 1978). The

nutrient content values measured in this study are similar to those reported in earlier studies, for example, Tamm (1953), Malmer & Sjörs (1955) and Pakarinen (1978).

On the PK and wood ash plots of the pine mire (site 1), N contents of the mosses generally increased after the treatments, and in some cases significantly so (Fig. 1). On the NPK-plots of both sites N contents of the mosses generally increased after treatment (Fig. 1, 2), and the differences were statistically significant for some species. The P contents of *Sphagnum* species and *Pleurozium schreberi* were significantly greater after the treatments that contained phosphorus (Fig. 3).

On the control plots (no fertilizer) at both sites, N contents did not differ significantly between the two study years. The P contents of some mosses decreased on the control plots of the spruce swamp after draining. The P content in the old segments of *P. schreberi* was significantly ($p < 0.01$) greater before drainage than after, mean values of 1.2 and 0.8 mg/g, respectively (Fig. 3). The P content in the living parts of *S. angustifolium* was also greater before drainage than after it, mean values of 0.8 and 0.6 mg/g, respectively (Fig. 3).

Fertilization increased the nutrient content of the mosses directly, but nutrients are also mobilized from the peat through an increased rate of decomposition of the peat related to the effects of drainage and fertilization. For example, the nitrogen content of mosses increased on those plots where N was given (PK and wood ash). Päivänen (1970) also found that fertilizers, especially phosphorus, increase the mobilization of nitrogen from the peat resulting in higher N contents in field layer plants.

On the control plots of the spruce swamp, there was a clear decrease in the P contents of some moss species after draining. One reason for this was the ground water level which did not lower so much compared to the other site type resulting in less mobilization of the nutrients.

Received 26. XI. 1986

Approved 6. III. 1987