



# FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE  
HELSINKI 1990

759

Antti Pätälä & Mika Nieminen

TURPEEN EMÄSRAVINNE- JA RIKKITASE KARUILLA OJITETUILLA  
RÄMEILLÄ LASKEUMA HUOMIOON OTTAEN

Base cation nutrients and sulphur status of drained oligotrophic pine  
mires considering the atmospheric input

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
*THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

Osoite: Unioninkatu 40 A  
*Address:* SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 857 051  
*Phone:*

Telex: 121286 metla sf  
Telefax: (90) 625 308

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

*The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.*

Antti Pätilä & Mika Nieminen

TURPEEN EMÄSRAVINNE- JA RIKKITASE KARUILLA OJITETUILLA  
RÄMEILLÄ LASKEUMA HUOMIOON OTTAEN

Base cation nutrients and sulphur status of drained oligotrophic pine mires  
considering the atmospheric input

*Approved on 26.10.1990*

SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT .....	4
3. TULOKSET JA TARKASTELU .....	4
31. Turpeen kokonais- ja vaihtuva emäsmäärä .....	4
32. Emäsravinteiden riittävyys turpeessa .....	5
33. Vaihtuva happamuus .....	7
34. Rikki .....	8
35. Ravinnetunnusten alueellinen vaihtelu .....	9
4. PÄÄTELMÄT .....	14
KIRJALLISUUS — REFERENCES .....	14
SUMMARY .....	16

Pätälä, A. & Nieminen, M. 1990. Turpeen emäsravinne- ja rikkikase karuilla ojitetuilla rämeillä laskeuma huomioon ottaen. Summary: Base cation nutrients and sulphur status of drained oligotrophic pine mires considering the atmospheric input. *Folia Forestalia* 759. 16 p.

Tutkimuksessa todettiin karujen rämeiden pintaturpeen (0–20 cm) vaihtuvan emäsisällön kykenevän ekvivalenttiperustein laskettuna kompensoimaan laskeuman tuoman happamuuden ainakin 50 vuoden ajan. Laskeuman turpeesta mahdollisesti huuhtoma emäsmäärä arvioitiin kuitenkin vähäisemmäksi kuin luontaisesti huuhtoutuva ja puuston ottama emäsmäärä. Emäsravinteiden riittävyuden luotettava arviointi todettiin vaikeaksi, koska turvemaiden ojitusalueilla maan ravinnetalous voimakkaasti muuttuu ojituksen ikääntyessä.

Eteläisessä Suomessa pintaturve oli happamampaa ja sen magnesium- ja kaliumpitoisuus alhaisempi kuin pohjoisessa. Tämä saattaa selittyä soiden ravinnetalouden luontaisilla eroilla tai kuivatuksen aiheuttamilla puusteroilla Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä. Pintaturpeen korkeampi rikkipitoisuus maan eteläosissa voisi aiheutua suuremmasta rikkilaskeumasta, mutta myös eteläisten ja pohjoisten koalojen välisistä vesitalous- ja turpeen maatuneisuuseroista.

The amount of available base cations in the surface peat (0–20 cm) of drained oligotrophic pine mires was found to be sufficient to neutralize current levels of hydrogen deposition for the next 50 years at least. The amount of base cations possibly lost from the peat through leaching caused by acidic deposition was, however, estimated to be less than the amount of base cations lost through natural leaching and uptake by the tree stand. Accurate estimation of the sufficiency of base cations was found to be difficult because the nutrient status of drained peatlands changes considerably as the drainage effect progresses.

The surface peat in southern Finland was more acidic and its magnesium and potassium contents lower than in the northern parts of the country. This may be due to natural differences in the nutrient status of peatlands, or to differences in stand growth following drainage between the south and north. The higher sulphur content in the surface peat in the southern part of Finland may be due to the higher deposition of sulphur, although differences in the hydrology and mineralization rates of the peat between southern and northern Finland may also be important.

Keywords: acidification, peatlands, sulphur, base cations.  
ODC 114.444 + 114.23 + 425 + 181.45

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Peatland Forestry, Box 18, SF-01301 Vantaa, Finland.

ISBN 951-40-1124-4  
ISSN 0015-5543  
Helsinki 1990. Valtion painatuskeskus

# 1. Johdanto

Ilman epäpuhtauksien vaikutusten seuranta turvemaiilla on ongelmallista, koska turpeen kemiallisen tilan pitkäaikaismuutokset saattavat joutua pikemminkin suon progressiivisesta tai regressiivisestä kehityksestä kuin laskeuman mukanaan tuomista aineista. Täten ei myöskään arvioita laskeuman vaikutuksesta turvemaiden happamoitumiseen ole tehty samaan tapaan kuin kivennäismailla (esim. Tamm & Hallbäckén 1988), vaikka vanhoja tutkimusaineistoja vertailujen pohjaksi turvemaitakin olisi käytettävissä (esim. Vahtera 1955).

Laskeuman vaikutuksia turvemaihin on arvioitu pääasiassa lysimetri- ja ainetasekokein. Lysimetrikokeet ovat osoittaneet, että kasvien kasvun kannalta oleelliseen ravinnehuuhtoumaan tai myrkyllisten metallien liukenemiseen tarvittavat happomäärät ovat ainakin ombrogeenisilla soilla kymmen- tai satakertaiset vallitsevaan laskeumatasoon verrattuna (Braekke 1978, Pätilä 1990). Ainetasekokeissa taas on havaittu, että laskeuman tuoma happamuus peittyi suon sisäisiin happojen tuotanto- tai kulutusprosesseihin (Urban ym. 1987). Tämä ei kuitenkaan merkitse sitä, etteivätkö ilman epäpuhtaudet vaikuttaisi suoekosysteemeihin. Emäksisillä tai lievästi happamilla minerogeenisilla soilla pH-säätelystä pääosin vastaava bikarbonaattipuskuri saattaa kulua happolaskeuman vaikutuksesta loppuun aiheuttaen suon happamoitumisen, minkä seurauksena rahkasammalet alkavat vallata alaa (Gorham ym. 1987). Toisaalta laskeuman lisääntynyt rikki- ja typpipitoisuus saattaa heikentää erityisesti kohosoilla rahkasammalten

kasvuoloja (Lee ym. 1987).

Metsämailla maata puskuroivat useat eri järjestelmät. Yksinkertaisimmillaan maaperän puskurijärjestelmä voidaan ajatella sellaiseksi, että laskeuman mukanaan tuomat vetyionit vaihtuvat ekvivalenttisesti maan emäskationeihin. Tämän seurauksena maan emästaso ja haponneutralointikyky laskevat (Ulrich 1983). Myös soilla tähän ekvivalenttiin ioninvaihtoon perustuva puskuroituminen on mahdollinen, vaikka turpeen vetyionitaseen kannalta muutkin prosessit (orgaanisten happojen tuotanto, sulfaatin ja nitraatin pelkistyminen) saattavat olla merkittäviä (Urban ym. 1987).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on (1) arvioida turvemaiden emäsravinteiden riittävyttä ja haponneutralointikykyä nykyisellä laskeumatasolla käyttäen hyväksi edellään mainittua emäskationineutralisaation perustuvaa tarkastelua, ja (2) selvittää turpeen ravinnetunnusten alueellista vaihtelua ja arvioida laskeuman vaikutusta siihen.

Tämän tutkimuksen aineisto on kerätty Ilman epäpuhtauksien vaikutukset metsiin (ILME) -projektissa 1985–1989. Projektin aikana Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosasto perusti koealaverkoston, jonka avulla seurataan turvemaiden kemiallisen tilan muutoksia pitkällä aikavälillä.

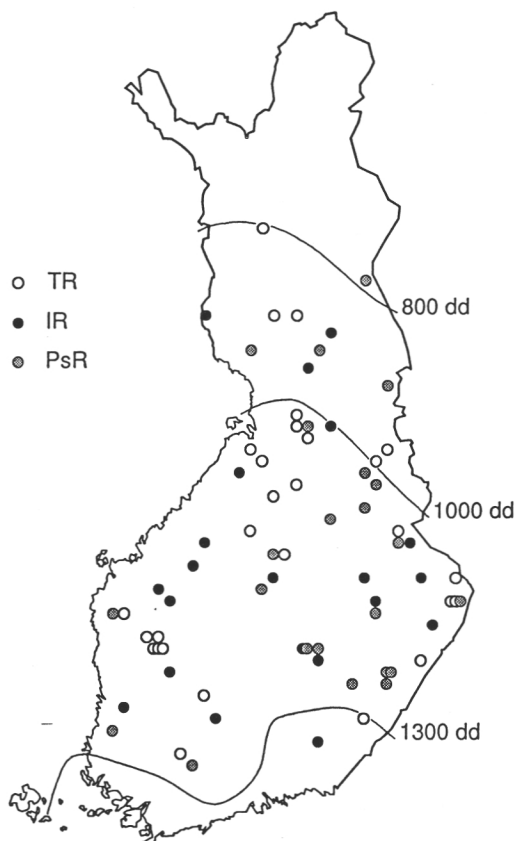
Koealoilla suoritetusta maastotyöstä vastasivat mti Kauko Taimi ja tutk.mest. Yrjö Sulkala. Näytteiden esikäsittelystä huolehti laborantti Seija Taskinen ja analysoinnista LuK Maija Ruokolainen. Aineiston ATK-talennuksen suoritti operaattori Inkeri Suopanki. Haluamme kiittää kaikkia työhön osallistuneita.

## 2. Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksen perusaineistona oli 163 kolmen aarin koikoista suokoealaa, jotka olivat systemaattinen otos valtakunnan metsien 8. inventoinnin (VMI 8) pysyvien koealojen lohkoverkosta. Otokseen hyväksytyt suot olivat puustoisia, ojikko-, muuttuma- tai turvekangasvaiheen rämeitä ja korpia, joissa turvesyvyys oli yli 50 cm. Lapis-otokseen hyväksyttiin myös ojittamattomia soita. Tutkimuksessa käytettiin Huikarin (1952, Huikari ym. 1964) kasvupaikkaluokitusta. Kyseisestä otoksesta tähän tutkimukseen sisällytettiin tupasvillaiset (n=28), isovarpuiset (n=21) ja piensaraiset (n=23) rämeet (kuva 1).

Tilavuustarkat turvenäytteet otettiin tasaisin välimatkoin 10 pisteestä yhden metrin etäisyydeltä ympyräkoealan kehästä suon tasapinnasta syvyyksiltä 0–5 cm, 5–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm, 30–40 cm ja 40–50 cm. Pinnassa oleva raakahumuskerros poistettiin ennen näytteenottoa. Osanäytteet yhdistettiin kerroksittain kokomanäytteeksi.

Kokonaisravinnepitoisuudet määritettiin kuivatusta (70 °C) ja jauhetusta turvenäytteestä kuivapolttomenetelmällä (Halonen & Tulkki 1981) plasmaemissiospektrometrillä (ARL, ICP 3580). Kokonaistyyppi ja -hiili määritettiin LECO CHN 600- sekä kokonaisriikki LECO SC-132 -analyysaattorilla. Turpeen pH mitattiin ionivaihdetussa vedessä ja 1 N KCl:ssa (1:25). Vaihdeattavat emäskationit uutettiin neutraalissa (pH 7,00) 1 M NH<sub>4</sub>OAc-liuoksessa. Potentiaalinen vaihtuva happamuus määritettiin neutraalin NH<sub>4</sub>OAc-liuoksen suodoksesta Brownin (1943) esittämän menetelmän mukaisesti.



Kuva 1. Koealojen sijainti eri lämpösummavyöhykkeillä. Kasvupaikkatyyppien lyhenteiden selitykset taulukossa 1.

Fig. 1. Location of sample plots in different temperature sum (dd) zones. Key to the abbreviations of peatland site types in Table 1.

## 3. Tulokset ja tarkastelu

### 31. Turpeen kokonais- ja vaihtuva emäsmäärä

Tämän tutkimuksen ojitetuilla karuilla rämeillä turpeen tiheys sekä kalsiumin ja magnesiumin määrät (taulukko 1) olivat korkeammat ja pH-arvot alhaisemmat kuin vastaavan ravinnetason suonontilaisilla soilla (ks. Westman 1981). Sen sijaan kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksissa ero luonnontilaisiin soihin oli vähäisempi. Verrattuna vastaavan ravinteisuustason vanhoihin

ojitusalueisiin (Kaunisto & Paavilainen 1988) olivat kalsiumin pitoisuudet ja määrät tässä työssä samaa suuruusluokkaa, mutta magnesiumin ja erityisesti kaliumin pitoisuudet ja määrät korkeammat.

Turpeen tiheys ja pH olivat piensaraisten rämeiden ryhmässä hieman korkeammat, mutta kalsiumpitoisuus ja -määrä selvästi suuremmat kuin isovarpuisten ja tupasvillaisten rämeiden ryhmässä (taulukko 1). Magnesiumin ja kaliumin kohdalla erot eri kasvupaikkaryhmien vä-

Taulukko 1. Turpeen (0—20 cm) keskimääräinen tiheys, pH ja kokonaisuemäspitoisuus ja -määrä eri rämetyy-  
peillä.

Table 1. Bulk density, pH, base cation contents and amounts of base cations in 0—20 cm peat layer of different pine mires.

Mitattu suure Measured quantity	TR	Suotyypit — Mire type ①		F
		IR	PsR	
Tiheys (g cm <sup>-3</sup> )	0,083	0,085	0,092	0,84
Bulk density s.d.	0,027	0,016	0,019	
pH (H <sub>2</sub> O)	3,54	3,48	3,65	2,61
s.d.	0,27	0,19	0,26	
Ca(tot) mg g <sup>-1</sup>	2,42	2,47	3,62	4,95*
s.d.	1,33	0,88	2,02	
kg ha <sup>-1</sup>	416	434	674	4,34*
s.d.	324	228	425	
Mg(tot) mg g <sup>-1</sup>	0,51	0,54	0,57	0,55
s.d.	0,15	0,21	0,22	
kg ha <sup>-1</sup>	81	89	100	1,77
s.d.	33	34	44	
K(tot) mg g <sup>-1</sup>	0,47	0,50	0,53	0,69
s.d.	0,25	0,11	0,13	
kg ha <sup>-1</sup>	62	70	79	3,11
s.d.	31	17	18	

① TR = tupasvillaiset rämeet — cotton-grass pine mires  
IR = isovarpuiset rämeet — dwarf-shrub pine mires  
PsR = piensaraiset rämeet — low-sedge pine mires

lillä olivat vähäiset. Turpeen tiheyden vaikutus ravinnearvoihin ilmeni siten, että magnesium- ja kaliummäärien erot kasvupaikkatyyppien välillä olivat suuremmat kuin niiden pitoisuuksien.

Kalsium muodostaa tunnetusti pääosan turpeen vaihtuvasta ja kokonaisuemäsravinne-  
sällöstä (esim. Starr & Westman 1978). Turve-  
syvyyden lisääntyessä kalsiumpitoisuus ja -määrä kasvavat (esim. Kaila & Kivekäs 1956). Tämän tutkimuksen tupasvillaisilla rämeillä turpeen ylimmässä 20 cm:n kerroksessa vaihtuvia emäksiä oli lähes 18 keq ha<sup>-1</sup>, isovarpuisilla rämeillä 18,5 keq ha<sup>-1</sup> ja piensaraisilla rämeillä n. 25 keq ha<sup>-1</sup>, josta kalsium muodosti pääosan (taulukko 2).

Turpeen vaihtuvan kalsiumin ekvivalenttiosuus vaihtuvasta emäsravinteiden kokonaisuemäsravinne-  
sällöstä (Ca + Mg + K) kasvoi pinnasta 50 cm:n syvyydelle tupasvillaisilla rämeillä 58 prosentista 71 prosenttiin, isovarpuisilla rämeillä 65 prosentis-

ta 71 prosenttiin ja piensaraisilla rämeillä 66 prosentista 76 prosenttiin (kuva 2). Magne-  
siumin osuus vaihtuvista emäksistä oli kaikilla havaintosyvyyksillä samaa tasoa; tupasvillaisilla 27—28 %, isovarpuisilla 23—29 % ja piensaraisilla rämeillä 19—23 %. Kaliumin osuus, joka pintaturpeessa (0—5 cm) oli 12—15 % vaihtuvasta emäsmäärästä, laski noin yhteen prosenttiin syvyydellä 30—40 cm.

### 32. Emäsravinteiden riittävyys turpeessa

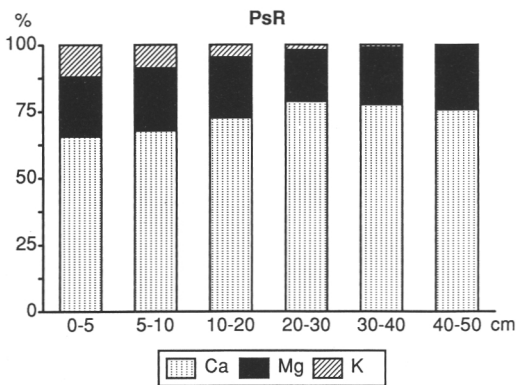
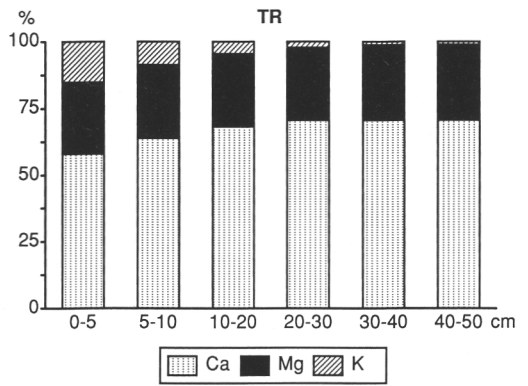
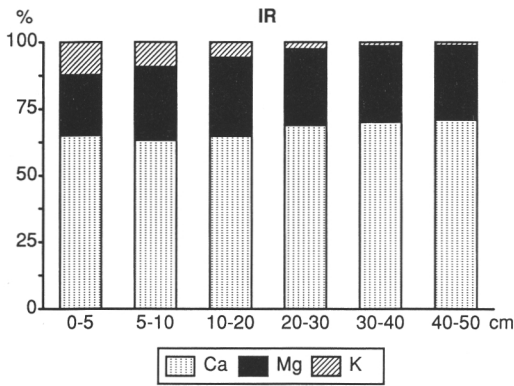
Etelä-Suomessa vahvojen happojen laskeuma vaihtelee välillä 0,20—0,40 keq H<sup>+</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Kulmala ym. 1990). Taulukon 2 arvojen perusteella ekvivalenttisesti laskettuna riittäisi turpeen vaihtuva emäsisältö kerroksessa 0—20 cm kompensoimaan Etelä-Suomessa vahvojen happojen aiheuttaman emäspoistuman karuimallakin kasvupaikkatyyppillä (TR) 50—90 vuoden ajan. Tämä lasketatapa edellyttää, että turve on täysin stabiilissa tilassa. Näin ei todellisuudessa kuitenkaan ole.

Luonnontilaisilla soilla, joilla turvekerros vielä kasvaa, syvempien kerrosten turve alkaa hajota. Ojitetuilla soilla hajoamista tapahtuu myös turpeen pintakerroksessa. Turpeen täydellisen hajoamisen seurauksena vapautuva emäsravin-  
nemäärä voidaan olettaa lähes samaksi kuin emästen totaalmäärä, joten emästen totaalmäärän avulla on arvioitavissa turpeen hajoamisen tuottama vaihtuva emäsravinnereservi. Tässä tutkimuksessa emästen vaihtuvan ja totaali-  
pitoisuuden välillä vallitsevat riippuvuudet olivat seuraavat:

$$\begin{aligned} \text{Ca(vaiht)} &= 0,48 * \text{Ca(tot)} + 0,11 & r &= 0,96 *** \\ \text{Mg(vaiht)} &= 0,67 * \text{Mg(tot)} + 0,01 & r &= 0,97 *** \\ \text{K(vaiht)} &= 0,96 * \text{K(tot)} - 0,03 & r &= 0,99 *** \end{aligned}$$

Koska kalsium muodostaa pääosan turpeen emäsisällöstä (kuva 2), turpeen vaihtuva emäsmäärä tulisi lähes kaksinkertaiseksi, jos turpeen koko emäsisältö vapautuisi hajoamisen myötä.

Turpeen vaihtuva emäsisältö ei kuitenkaan kokonaisuudessaan ole käytettävissä neutraloitumisreaktioon, sillä osa siitä sitoutuu kasvillisuuteen ja osa huuhtoutuu. Paavilaisen (1980) aineistossa lannoittamattoman VIR-muuttuman puusto (runkotilavuus 116 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, kasvu 4,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) otti vuosittain emäksiä yhteensä noin 1,5 keq ha<sup>-1</sup>. Tästä karikkeen mukana kuitenkin palautui noin 0,5 keq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Mittaushetkellä puuston maanpäälliseen ja maanalaiseen osaan



Kuva 2. Emäsravinteiden prosentiosuus turpeen vaihtuvasta kokonaisuusmäärästä (Ca + Mg + K). Kasvupaikkatyyppien lyhenteet taulukossa 1.

Fig. 2. Percentage of base cations from all available base cations (Ca + Mg + K). Abbreviations of peatland site types in Table 1.

sitoutuneeksi emäsmääräksi laskettiin noin 11 keq ha<sup>-1</sup>. Kenttäkerrokseen sitoutui emäksiä vuosittain yhteensä 0,6 keq ha<sup>-1</sup>. Kenttäkerroksen maanpäälliseen ja maanalaiseen osaan mitaushetkellä sitoutunut emäsmäärä oli noin 2,5 keq ha<sup>-1</sup>. Jos oletetaan, että karikesatoon ja kenttäkerrokseen sitoutunut emäsravinnevaranto kokonaisuudessaan vapautuu, olisi vuotuinen emäspoistuma maasta puustoon n. 1 keq ha<sup>-1</sup>. Puuston koko kiertoajalle laskettuna tämä on kuitenkin yliarvio kuten puuston mittaushetken emässisältö, 11 keq ha<sup>-1</sup>, osoittaa. Olettaen, että mittaushetken puuston runkotilavuus 116 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> saavutettaisiin 50 vuodessa (ks. Nyysönen 1978), sitoutuisi emäsravinteita puustoon yllä mainituin laskentaperustein vuosittain keskimäärin 0,2 keq ha<sup>-1</sup>.

Runkopuussa ja kuoressa oli emäksiä edellään mainittuun Paavilaisen (1980) aineistoon perustuen 4,15 keq ha<sup>-1</sup>, kun puuston maanpäällisen ja maanalaisen osan koko emäsmäärä oli 11 keq ha<sup>-1</sup>. Täten pääosa puustoon sitoutuneesta emäsmäärästä jää kasvupaikalle siinäkin tapauksessa, että puuston ainespuuosa korjataan.

Myös valunnan mukana poistuu kasvupaikalta emäksiä. Tämän emäspoistuman määrä ojitta-

mattomilta ombrogeenisilta soilta voi vuosittain vaihdella tasolta 0,1—0,3 keq ha<sup>-1</sup> (Verry 1975, Lehmusvuori 1981) tasolle 1,0 keq ha<sup>-1</sup> (Verry & Timmons 1982).

Näillä emäsravinteiden poistuma-arvoilla olisi tämän tutkimuksen koelohjen turvekerroksen 0—20 cm vaihtuva emäsravinnesisältö käytetty jo 30—50 vuodessa riippumatta laskeuman sisältämästä happokuormasta. Ojitetuilla soilla turvekerros kuitenkin painuu ja turve hajoaa, joten esimerkiksi yhden puusukupolven kiertoaikana käyttökelpoinen emäsravinnereservi on useita kertoja suurempi kuin hetkellinen pinta-turpeesta mitattu reservi kuten emästen totaali-määrät (taulukko 1) ja syvempien turvekerrosten emäsmäärät (taulukko 2) osoittavat. Lisäksi laskeuma tuo mukanaan myös emäsravinteita, joiden yhteismäärä enimmillään Suomessa on luokkaa 0,5 keq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Järvinen 1986) vastaten siten keskimääräistä valunnan mukana huuhtoutuvaa emäsmäärää.

Emäsravinnepoistumien vertailu osoittaa sen, että nykyisen suuruisella happamalla laskeumalla on vähäinen merkitys turvemaiden emäsravinnetaseeseen olettaen emäskationinvaihdon turpeen pääasialliseksi puskurointimekanismik-



Taulukko 2. Turpeen vaihtuvan kalsiumin, magnesiumin ja kaliumin määrä (keq ha<sup>-1</sup>) 0–50 cm:n turvekerroksessa erilaisilla rämeillä.

Table 2. Available calcium, magnesium and potassium contents (keq ha<sup>-1</sup>) in 0–50 cm peat layer in different pine mires.

Kerros Layer cm	Ca	Mg	K	Yht. — Tot.
Tupasvillaiset rämeet — Cotton-grass pine mires				
0— 5	2,33	1,08	0,60	4,01
5—10	2,91	1,25	0,39	4,55
10—20	6,21	2,48	0,40	9,09
20—30	6,42	2,46	0,19	9,07
30—40	7,04	2,81	0,11	9,96
40—50	7,00	2,79	0,10	9,89
0—20	11,45	4,81	1,39	17,65
0—50	31,91	12,87	1,79	46,57

Isovarpuiset rämeet — Dwarf-shrub pine mires

0— 5	2,94	1,02	0,55	4,51
5—10	3,09	1,34	0,44	4,87
10—20	6,31	2,87	0,54	9,72
20—30	7,04	2,90	0,25	10,19
30—40	7,54	3,05	0,13	10,72
40—50	7,97	3,10	0,13	11,20
0—20	12,34	5,23	0,99	18,56
0—50	34,89	14,28	2,04	51,21

Piensaraiset rämeet — Low-sedge pine mires

0— 5	3,27	1,12	0,59	4,98
5—10	4,01	1,39	0,51	5,91
10—20	10,23	3,17	0,66	14,06
20—30	13,61	3,33	0,33	17,27
30—40	12,90	3,57	0,15	16,62
40—50	13,22	4,13	0,11	17,46
0—20	17,51	5,68	1,76	24,95
0—50	57,24	16,71	2,35	76,30

si. Jos ilman epäpuhtaudet aiheuttavat emäsravinnetasapainon häiriöitä turvemaiden puustoihin, johtuvat ne todennäköisimmin kyseisten ravinteiden huuhtoutumisesta neulasista tilanteessa, jossa juurten ravinteidenotto on heikko.

### 33. Vaihtuva happamuus

Turpeen kationinvaihtokapasiteetti ja emäskyllästysaste riippuvat voimakkaasti vaihtuvan happamuuden mittausten menetelmästä. Happamas-

Taulukko 3. Turpeen keskimääräinen potentiaalinen kationinvaihtokapasiteetti (PKVK) (meq g<sup>-1</sup>), potentiaalinen vaihtuva happamuus (PVH) (meq g<sup>-1</sup>) ja emäskyllästysaste (EKA) (%) erilaisilla rämeillä kerroksissa 0–5 cm ja 5–10 cm.

Table 3. Potential cation exchange capacity (PCEC) (meq g<sup>-1</sup>), potential exchangeable acidity (PEA) (meq g<sup>-1</sup>) and degree of base saturation (BS) (%) in 0–5 cm and 5–10 cm peat layers in different pine mires.

Mitattu suure Measured quantity	Suotyyppi — Mire type ①					
	TR		IR		PsR	
	0–5 cm	5–10 cm	0–5 cm	5–10 cm	0–5 cm	5–10 cm
PKVK	0,682	0,678	0,730	0,717	0,718	0,706
PCEC						
PVH	0,559	0,568	0,585	0,600	0,559	0,573
PEA						
EKA	18,0	16,1	19,3	16,2	22,0	18,6
BS						

① ks. taulukko 1 — see Table 1

ta uutosta mitattu efektiivinen vaihtuva happamuus on alhaisempi kuin neutraalista tai alkaalisesta uutosta mitattu potentiaalinen vaihtuva happamuus, koska ensin mainitussa tilanteessa huomattava osa vaihtuvasta vetyionisisällöstä on dissosioitumatonta ja sitoutunut turpeen vaihtopaikkoihin (Thomas & Hargrove 1984). Jos oletetaan, että pääosa turpeen humushappojen happovakioiden arvoista olisi tasoa 4,6 (Stevenson 1982, s. 318), olisi happamassa (pH 4,65) ammoniumasetaattiuutossa vasta noin puolet kyseisten happojen vetyioneista dissosioitunut. Neutraalissa uutossa näiden happojen vetyionit ovat lähes täysin dissosioituneet, jos humuksen happoryhmät ovat valtaosin karboksyylihappojohdannaisia (esim. Thomas & Hargrove 1984). Koska emäskationien pitoisuudella ei ole vastaavaa menetelmäriippuvuutta (Vuorinen & Mäkitie 1955), on emäskyllästysaste happamasta uutosta mitattuna huomattavasti korkeampi ja kationinvaihtokapasiteetti alhaisempi kuin neutraalista tai alkaalisesta uutosta mitattu.

Suurimmat pintaturpeen potentiaalisen vaihtuvan happamuuden ja potentiaalisen kationinvaihtokapasiteetin arvot mitattiin isovarpuisilla rämeillä (taulukko 3). Edellämäinittu menetelmäriippuvuudesta johtuen potentiaalisen KVK:n arvot olivat noin kaksinkertaiset Westmanin (1981) mittaamiin efektiivisen KVK:n arvoihin verrattuna. Emäskyllästysasteen arvot taas olivat lähes puolet alhaisempia kuin Westmanin lyhytkorsirämeille esittämät.

Taulukko 4. Turpeen keskimääräinen rikkipitoisuus 0—50 cm:n syvyyskerroksessa eri rämeillä.  
Table 4. Mean sulphur content in 0—50 cm peat layer in different pine mires.

Kerros Layer cm	Rikkipitoisuus — Sulphur content, mg g <sup>-1</sup>		
	TR	IR	PsR
0—5	1,41	1,39	1,48
5—10	1,75	1,65	2,02
10—20	1,85	1,95	2,36
20—30	1,70	1,93	2,36
30—40	1,63	1,88	2,47
40—50	1,66	2,15	2,67

① ks. taulukko 1 — see Table 1

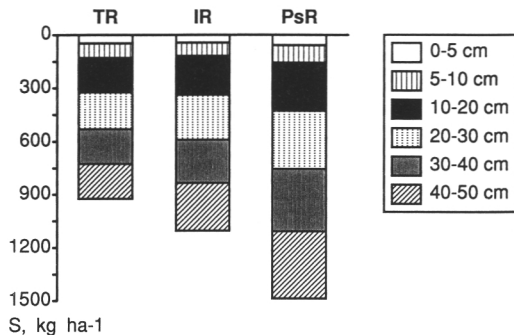
### 34. Rikki

Tutkituista kasvupaikkatyypeistä suurimmat turpeen rikkipitoisuudet mitattiin piensaraisten rämeiden ryhmässä (taulukko 4).

Saman suuruusluokan rikkipitoisuusarvoja ovat julkaisseet Wieder & Lang (1986) Yhdysvalloissa sijaitsevilta luonnontilaisilta soilta. Sen sijaan mitatut rikkipitoisuudet olivat kaksinkolminkertaisia verrattuna Pakarisen & Tolosen (1980) luonnontilaisilta kohosoilta Etelä- ja Pohjois-Suomessa esittämiin arvoihin.

Turpeen rikkipitoisuus pääosin lisääntyi näytesyvytyden kasvaessa (taulukko 4). Luonnontilaisilla kohosoilla turpeen rikkipitoisuudessa on todettu selvä maksimi 30—40 cm:n syvydellä hapettoman kerroksen rajapinnan läheisyydessä (Pakarinen & Tolonen 1980). Vastavaa pitoisuusmaksimia ei tässä tutkimuksessa todettu, vaan rikkipitoisuuden vertikaalijakuma muistutti Urbanin ym. (1989) eräälle Minnesotan (USA) kohosuolle esittämää.

Turpeen sisältämä rikkimäärä 0—20 cm kerroksessa oli keskimäärin 322 kg ha<sup>-1</sup> tupasvillaisilla rämeillä, 338 kg ha<sup>-1</sup> isovarpuisilla rämeillä ja 429 kg ha<sup>-1</sup> piensaraissilla rämeillä (kuva 3). Arvot ovat korkeita verrattuna Pakarisen & Tolosen (1980) tuloksiin, joissa rikkimäärät olivat 26—60 kg ha<sup>-1</sup> vastaavasta kerroksesta luonnontilaisilta kohosoilta Suomessa. Sen sijaan Ohtosen ym. (1989) tutkimuksessa todettiin kiennäismaiden n. 3 cm:n paksuisen humuskerroksen rikkimääräksi tausta-alueilla lähes 90 kg ha<sup>-1</sup>, joka humuksen suurempi tiheys (0,160 g cm<sup>-3</sup>) huomioon ottaen vastaa tämän tutkimuksen tuloksia kerroksessa 0—5 cm.



Kuva 3. Rikkimäärä (kg ha<sup>-1</sup>) 0—50 cm:n turvekerroksessa.

Fig. 3. The amount of sulphur (kg ha<sup>-1</sup>) in 0—50 cm peat layer.

Turpeen rikki on pääosin orgaanisesti sitoutunutta, ja sitoutuminen on tehokasta myös epäorgaanisen rikin laskeuman ollessa suuri (Bayley ym. 1986, Urban ym. 1989). Laskeuman epäorgaanisesta rikistä on todettu pidättyvän 58—93 % luonnontilaisten soiden turpeeseen (Urban ym. 1987, Urban ym. 1989). Epäorgaanisen rikin sitoutuminen orgaaniseen muotoon voi tapahtua suokasvien tai mikrobiston suorittaman sulfaatin otton ja proteiinisynteesin kautta. Sitoutuminen saattaa tapahtua myös siten, että sulfaatti pelkistyy anaeroobeissa oloissa rikkivedyksi, ja liittyy humusyhdisteiden rengasrakenteeseen (Brown 1985, 1986). Turpeen orgaaninen rikkivarasto ei ole kuitenkaan pysyvä, vaan turpeen hapetus/pelkistys-aste säätelee rikin vapautumista mm. happamina sulfaatteina (Ødelien ym. 1975, Bayley ym. 1986, Urban ym. 1989).

Arvioita rikin kertymisestä turpeeseen ei tämän aineiston perusteella voi tehdä, koska analysoitujen turvekerrosten ikää ei tunneta. Lisäksi koelajojen erilainen kuivatustila on saattanut vaikuttaa rikin pidättymiseen, joten ajoitetuistakin rikkiprofiileista kertymäärät olisivat epäluotettavia (ks. Pakarinen & Tolonen 1980, Urban ym. 1989). Jos rikkilaskeuman osuutta turpeen sisältämään kokonaisrikkimäärään halutaan kuitenkin arvioida, se olisi rikkilaskeumatasolla 10 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> 30 vuoden aikana ja 50 %:n pidättymisteholla (ks. Urban ym. 1989) ollut 150 kg S ha<sup>-1</sup>. Verrattaessa tätä arvoa 50 cm:n profiileista mitattuihin keskimääräisiin rikkimääriin 900—1500 kg ha<sup>-1</sup> (kuva 3) voidaan todeta, että suot ovat luontaisestikin merkittäviä rikkivarastoja.

Taulukko 5. Tehoisan lämpösumman ja eräiden turpeen fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien väliset korrelaatiot turvekerroksissa 0—5 cm ja 5—10 cm erilaisilla rämeillä.

Table 5. Correlation coefficients between annual effective temperature sum and physical and chemical properties of 0—5 cm and 5—10 cm peat layers in different pine mires.

	TR		Suotyypit — Mire type ①				Kaikki — All types	
	0—5 cm	5—10 cm	IR		PsR		0—5 cm	5—10 cm
			0—5 cm	5—10 cm	0—5 cm	5—10 cm		
Tiheys g cm <sup>-3</sup> Bulk density	0,150	-0,208	0,572	0,148	0,738	0,587	0,485	0,143
Tuhka % Ash content	-0,292	-0,206	-0,158	-0,357	-0,257	-0,333	-0,261	-0,295
pH(H <sub>2</sub> O)	0,000	-0,338	-0,186	-0,487	-0,562	-0,560	-0,280	-0,445
C %	0,288	-0,306	0,557	0,416	0,738	0,622	0,532	0,266
N %	0,021	-0,341	0,316	-0,238	0,610	0,196	0,241	-0,149
C/N	-0,137	0,206	-0,222	0,315	-0,502	-0,096	-0,217	0,140
Ca mg g <sup>-1</sup>	0,221	0,172	0,113	-0,074	-0,171	-0,145	0,055	-0,019
Mg mg g <sup>-1</sup>	0,245	0,489	-0,583	-0,405	-0,356	-0,159	-0,254	-0,043
K mg g <sup>-1</sup>	0,345	0,217	-0,448	-0,390	-0,569	-0,626	-0,069	-0,083
PVH meq g <sup>-1</sup> ② PEA ②	0,513	0,566	0,258	0,377	0,721	0,640	0,524	0,543
PKVK meq g <sup>-1</sup> ② PCEC ②	0,592	0,568	0,173	0,228	0,563	0,468	0,409	0,449
EKA % ② BS ②	0,144	0,045	-0,104	-0,367	-0,424	-0,345	-0,166	-0,228
S mg g <sup>-1</sup>	0,180	0,038	0,485	-0,220	0,692	0,358	0,424	0,100

① ks. taulukko 1 — see Table 1

② ks. taulukko 3 — see Table 3

### 35. Ravinnetunnusten alueellinen vaihtelu

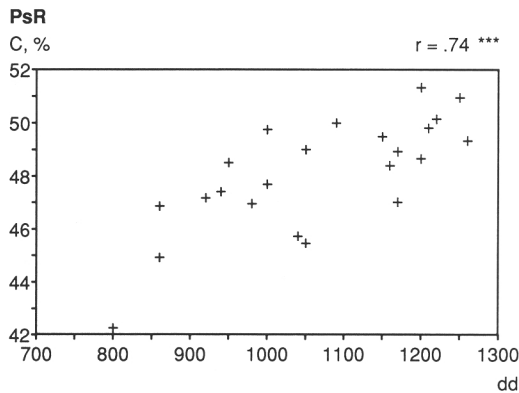
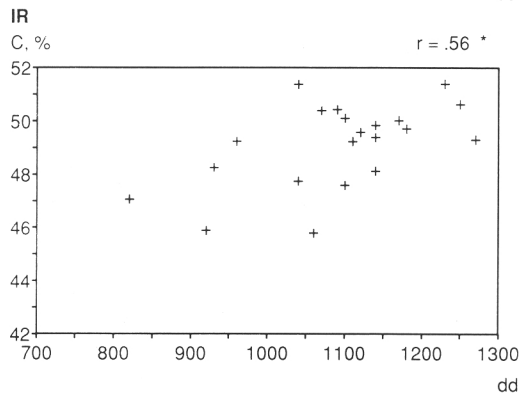
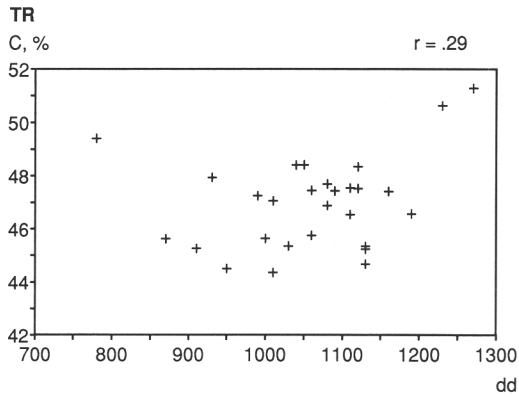
Ravinnetunnusten alueellista vaihtelua tutkittiin korrelaatioanalyyseillä, jossa selittävänä muuttujana käytettiin merenpintaan redukoitua koealan tehoisaa lämpösummaa kynnysarvona +5 °C (Heikurainen 1973) ja selitettävänä muuttujina ylimpien turvekerrosten (0—5 cm ja 5—10 cm) ravinnetunnuksia.

Laskeuman vaikutusta ravinnetunnusten alueellisiin eroihin arvioitiin Kulmalan ym. (1990) esittämien vahvojen happojen laskeuma-arvojen perusteella. Niiden mukaan vahvojen happojen laskeuma on eteläisimmässä Suomessa 0,20—0,40 keq ha<sup>-1</sup> ja laskee selvästi pohjoiseen ollen Lapissa yleensä alle 0,10 keq ha<sup>-1</sup>.

Turpeen tiheys, typpipitoisuus ja hiilipitoisuus yleensä lisääntyvät ojituksen ikääntyessä tur-

peen painumisen ja maatumisen seurauksena (Malmer & Holmen 1984, Stevenson 1982, s. 115). Näillä tunnuksilla sekä suon maantieteellisellä sijainnilla etelä-pohjoissuunnassa on usein selvä riippuvuus. Emäsravinteiden pitoisuuksissa maantieteellinen gradientti sen sijaan on vähemmän selvä (Starr & Westman 1978, Westman 1981, Malmer & Holmen 1984).

Tässä tutkimuksessa erityisesti pintaturpeen (0—5 cm) tiheys lisääntyi isovarpuisilla ja piensaraisilla rämeillä lämpösumman kasvaessa (taulukko 5). Piensaraisten rämeiden ryhmässä turpeen tiheys myös 5—10 cm:n kerroksessa korreloi merkitsevästi lämpösumman kanssa. Suuremmat tiheysarvot Etelä-Suomessa pohjoiseen verrattuna aiheutuivat todennäköisesti siitä, että etelämpänä ojituksen jälkeinen turpeen painuminen ja maatuminen oli suotuisampien



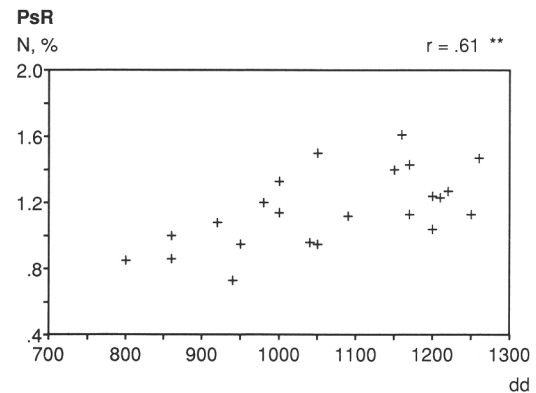
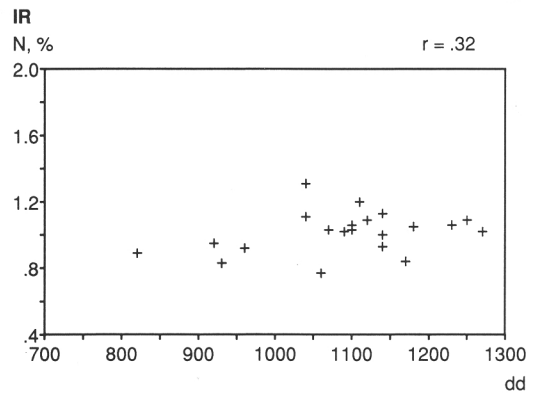
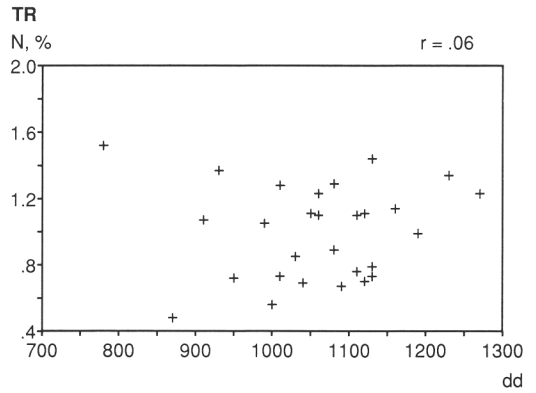
Kuva 4. Pintaturpeen (0—5 cm) hiilipitoisuuden ja lämpösunnan välinen riippuvuus.

Fig. 4. The relationship between annual effective temperature sum (dd) and carbon content of surface peat (0—5 cm).

ilmasto-olojen seurauksena ollut nopeampaa.

Pohjois-Suomen koalojen minerotrofisesta luonteesta johtuen turpeen tuhkapitoisuus oli hie- man korkeampi pohjoisilla koaloilla verrattuna eteläisiin (taulukko 5).

Ojituksenjälkeinen pintaturpeen voimakkaampi maatuminen eteläisessä Suomessa ilmeni iso- varpu- ja piensararämeillä Pohjois-Suomen

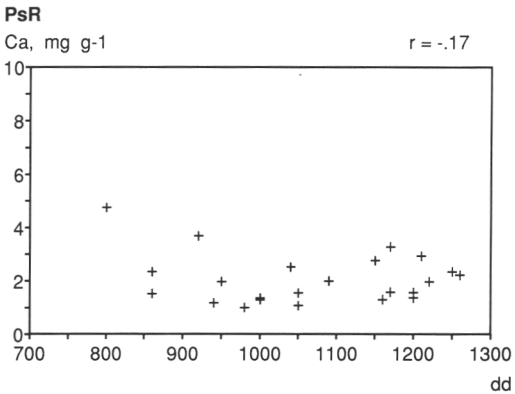
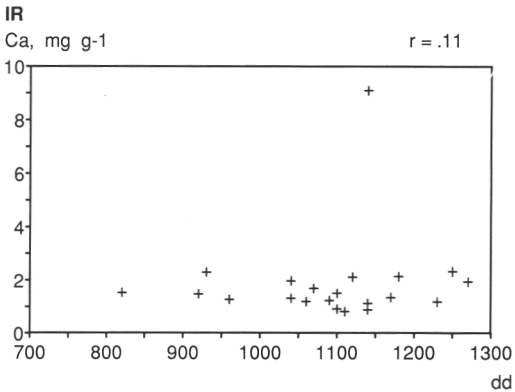
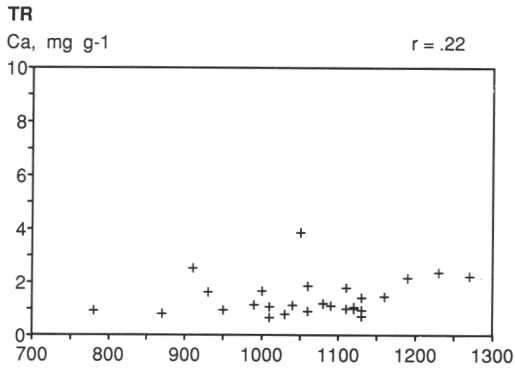


Kuva 5. Pintaturpeen (0—5 cm) typpipitoisuuden ja lämpösunnan välinen riippuvuus.

Fig. 5. The relationship between annual effective temperature sum (dd) and nitrogen content of surface peat (0—5 cm).

koaloja suurempana pintaturpeen hiilipitoisuutena (kuva 4).

Typhen mineralisaatio nopeutuu turpeen maatumisessa. Tässä tutkimuksessa turpeen typpipitoisuuden ja lämpösunnan välillä oli selvä positiivinen riippuvuus vain piensaraisilla rämeillä kerroksessa 0—5 cm (kuva 5). Kyseisen suotyypin pintakerroksessa hiili/typpi -suhteen ja



Kuva 6. Pintaturpeen (0—5 cm) kalsiumpitoisuuden ja lämpösunnan välinen riippuvuus.

Fig. 6. The relationship between annual effective temperature sum (dd) and calcium content of surface peat (0—5 cm).

lämpösunnan välinen negatiivinen korrelaatio oli vahvin (taulukko 5) osoittaen typen voimakkaampaa mineralisaatiota Etelä-Suomessa.

Vaihtuvan kalsiumin pitoisuuden ja lämpösunnan välillä ei todettu tilastollisesti merkittävää riippuvuutta millään tutkituista kasvupaikatyypeistä kerroksissa 0—5 ja 5—10 cm (taulukko 5, kuva 6).

Vaihtuvan magnesiumin ja lämpösunnan välinen riippuvuus oli tupasvillaisilla rämeillä positiivinen, ja kerroksessa 5—10 cm tämä riippuvuus oli voimakas. Sen sijaan isovarpuisilla ja piensaraisilla rämeillä magnesiumin ja lämpösunnan välinen riippuvuus oli negatiivinen, selvimmin 0—5 cm:n kerroksessa (taulukko 5, kuva 7). Turpeen magnesiumipitoisuus ei kuitenkaan suoraviivaisesti vähentynyt lämpösunnan kasvaessa, vaan piensaraisilla rämeillä riippuvuutta kuvasi parhaiten paraabelin yhtälö magnesiumipitoisuusminimin ollessa lämpösunnan 1100 dd kohdalla. Samanlaisen magnesiumin maantieteellisen jakauman on esittänyt Westman (1981) luonnontilaisilla ruohoisilla ja varsinaisilla sararämeillä.

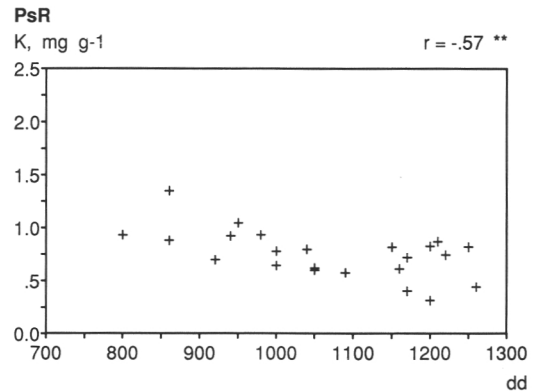
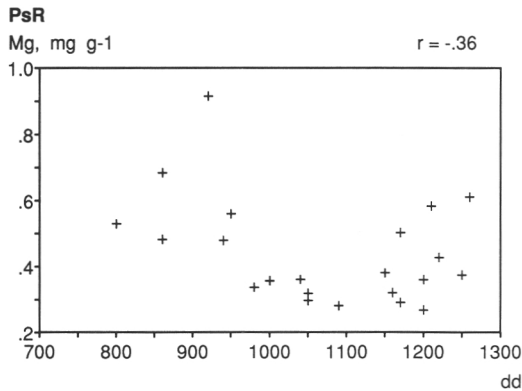
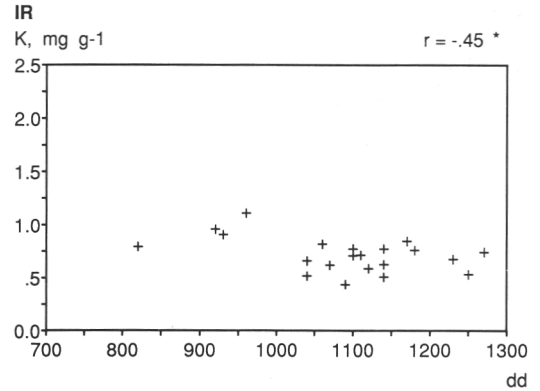
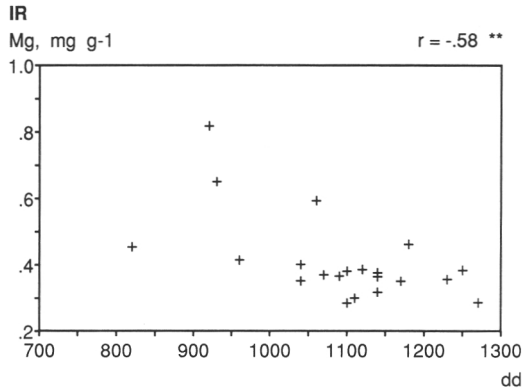
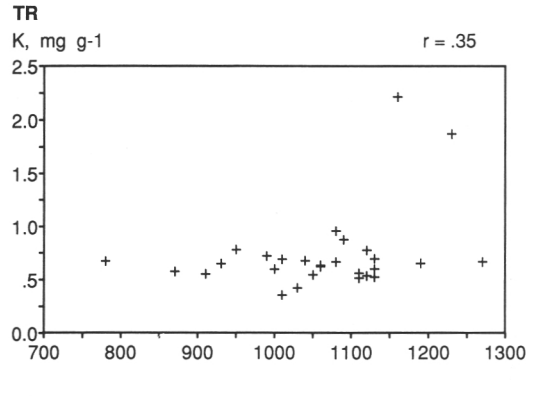
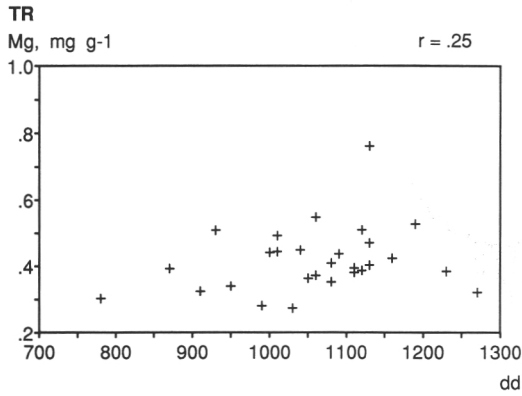
Turpeen kaliumipitoisuus oli tupasvillarämeillä eri lämpösunnavyöhykkeillä yleensä samaa tasoa (kuva 8). Sen sijaan isovarpu- ja piensararämeillä kaliumipitoisuus väheni lämpösunnan kasvaessa. Tämä johtunee siitä, että ojituksen jälkeinen puuston ja pintakasvillisuuden elpyminen oli Etelä-Suomessa ollut nopeampaa kuin Pohjois-Suomessa, ja kaliumia oli sitoutunut lisääntyneeseen biomassaan (ks. Kaunisto & Paaivilainen 1988).

Pintaturpeen pH pääsääntöisesti aleni lämpösunnan kasvaessa, ja tämä negatiivinen riippuvuus oli voimakkaampi kerroksessa 5—10 cm kuin kerroksessa 0—5 cm (taulukko 5). Negatiivinen riippuvuus oli voimakkain piensaraisen ryhmässä (kuva 9).

Potentiaalinen vaihtuva happamuus lisääntyi lämpösunnan kasvaessa. Potentiaalisen vaihtuvan happamuuden ja lämpösunnan välinen positiivinen riippuvuus oli tupasvillaisilla rämeillä tilastollisesti merkitsevä ja piensaraisilla erittäin merkitsevä kerroksissa 0—5 cm ja 5—10 cm (taulukko 5).

Potentiaalisen kationinvaihtokapasiteetin maantieteellinen jakauma oli tyypiltään samanlainen kuin potentiaalisen vaihtuvan happamuuden (taulukko 5). Emäskyllästysasteen ja lämpösunnan välillä ei todettu tilastollista riippuvuutta tupasvillaisilla rämeillä. Sen sijaan isovarpuisilla ja erityisesti piensaraisilla rämeillä emäskyllästysaste oli pienempi eteläisillä kuin pohjoisilla koaloilla (taulukko 5).

Pintaturpeen (0—5 cm) rikkipitoisuuden ja lämpösunnan välillä oli selvä positiivinen riippuvuus (kuva 10, taulukko 5). Piensaraisten rämeiden ryhmässä tämä riippuvuus oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ja isovarpuisten ryhmässä jokseenkin merkitsevä. Riippuvuus heikkeni turvesyvyuden kasvaessa ja oli jo 10—20 cm:n syvyydellä lievästi negatiivinen kaikilla



Kuva 7. Pintaturpeen (0—5 cm) magnesiumipitoisuuden ja lämpösunnan välinen riippuvuus.

Fig. 7. The relationship between annual effective temperature sum (dd) and magnesium content of surface peat (0—5 cm).

Kuva 8. Pintaturpeen (0—5 cm) kaliumipitoisuuden ja lämpösunnan välinen riippuvuus.

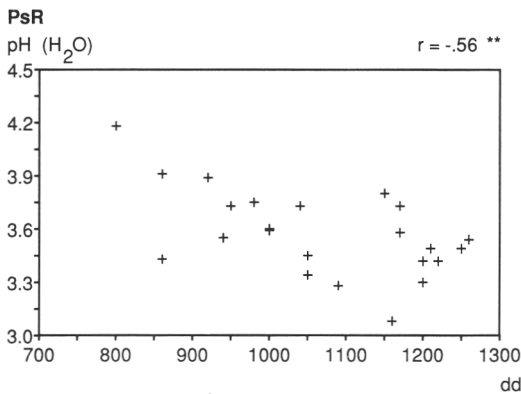
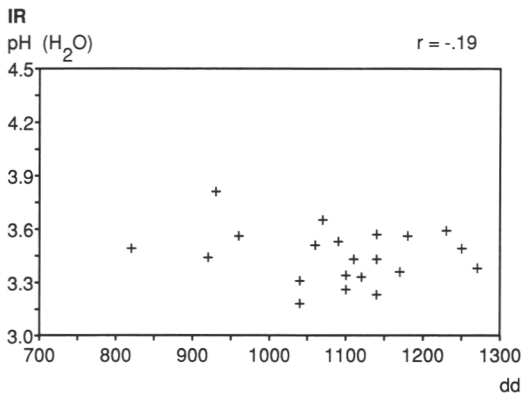
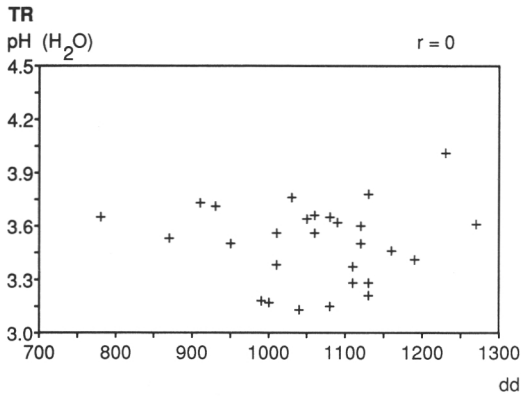
Fig. 8. The relationship between annual effective temperature sum (dd) and potassium content of surface peat (0—5 cm.)

tutkimuksen kasvupaikkatyypeillä.

Pintaturpeen rikkipitoisuuden alueellinen jakauma saattaisi olla suoraan selitettävissä rikkilaskeuman erolla Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä olettaen, että laskeuman rikki ainakin osittain pidättyy pintaturpeeseen. Tätä tukee myös se, että metsähumuksen rikkiarvojen on todettu lisääntyvän alueilla, joilla rikkilaskeuma on suuri

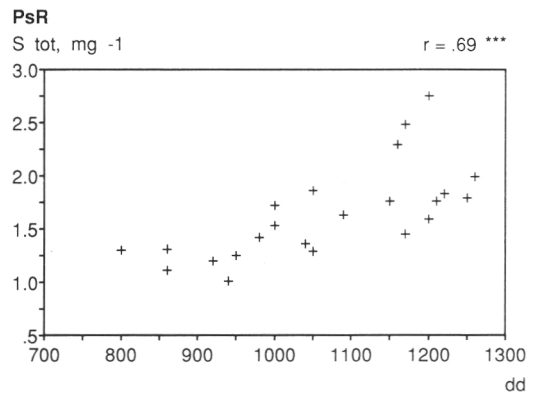
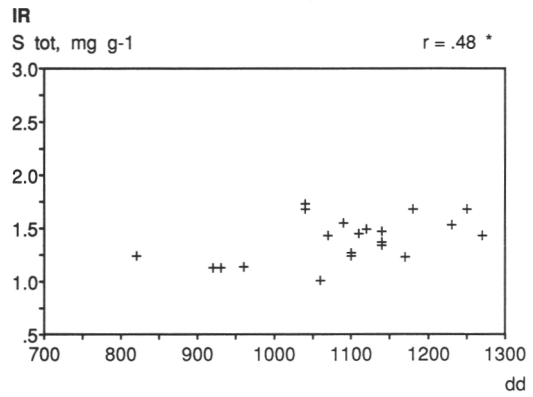
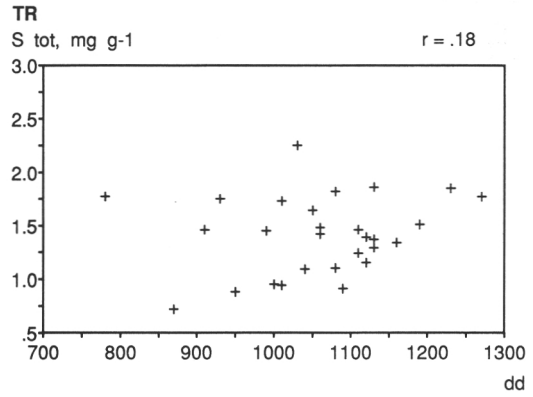
(Ohtonen ym. 1989). Rikkipitoisuuden alueellinen jakauma voi kuitenkin selittyä myös eteläisten ja pohjoisten koealojen välisillä vesitalous- ja turpeen maatuneisuuseroilla.

Maantieteellinen tarkastelu osoitti, että erot turpeen kokonaisemäspitoisuudessa olivat varsin vähäisiä maan pohjois- ja eteläosien välillä. Selvin maantieteellinen jakauma oli kaliumilla,



Kuva 9. Pintaturpeen (0—5 cm) pH:n ja lämpösunnan välinen riippuvuus.  
Fig. 9. The relationship between annual effective temperature sum (dd) and acidity of surface peat (0—5 cm).

jonka vaikutus emästen kokonaismäärään oli kuitenkin vähäinen. Samoin turpeen magnesiumpitoisuus oli eteläisillä koaloilla jonkin verran pienempi kuin pohjoisilla. Samanlaisiin tuloksiin ovat päätyneet myös Starr & Westman (1978) ja Westman (1981). Starrin & Westmanin tuloksista on syytä todeta kuitenkin se, että keskiverteisilla ja ravinteisilla rämeillä turpeen



Kuva 10. Pintaturpeen (0—5 cm) rikkipitoisuuden ja lämpösunnan välinen riippuvuus.  
Fig. 10. The relationship between annual effective temperature sum (dd) and sulphur content of surface peat (0—5 cm).

emästatot olivat pohjoisilla koaloilla eteläisiä selvästi korkeammat.

Jos maan alkuperäinen emäsravinnetaso ja emästen luontainen poistuma olisivat olleet Suomen etelä- ja pohjoisosissa samat, saattaisi ero vahvojen happojen laskeumassa Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä näkyä eroina maan emäsravinne määrissä. Soilla tällaisten maantie-

teellisten erojen toteaminen, vaikka laskeuma olisi niitä aiheuttanutkin, on kuitenkin vaikeaa. Tämä johtuu siitä, että samaan kasvupaikkatyyppiin luokitellut suot saattavat olla ravinnekoostumukseltaan erilaisia johtuen eroista peruskallion laadussa (emäksiset—happamat kivi-lajit), suo yhdistymätyypeissä (keidassuot-aapa-

suot) ja suurilmastossa (ravinteiden mineralisointinopeus) (ks. Westman 1981). Ojitetuilla soilla lisäksi erot ojituksen iässä ja puuston kehityksasteessa voivat vaikuttaa turpeen ravinnekoostumukseen (esim. Kaunisto & Paavilainen 1988).

## 4. Päätelmät

Tutkimus osoitti, että ekvivalenttiperustein laskeutena riittää karumpienkin soiden turvekerroksen 0—20 cm sisältämä vaihtuva emäsmäärä kompensoimaan laskeuman happamuuden ainakin 50 vuoden ajan. Ottamalla huomioon turpeen hajoamisen tuloksena vapautuva emäsmäärä saattaisi puskurointireaktioihin käyttökelpoisten emästen määrä ojitetuilla soilla lisääntyä alkuperäisestä kaksinkertaiseksi kuivatussukcession edetessä. Kuitenkin on ilmeistä, että laskeuman happamuuden vaikutus turvemaiden emäsravinteiden riittävyteen ei ole ratkaiseva verrattuna kasvillisuuteen sitoutuvaan tai huuhtoutuvaan emäsmäärään.

Turvemaiden happamuus oli Etelä-Suomessa selvästi suurempi ja magnesiumipitoisuus pie-

nempi pohjoisiin koealoihin verrattuna. Saman havainnon on tehnyt Westman (1981) luonnon-tilaisilta rämeiltä. Syy tähän ilmiöön ei ole yksiselitteinen. Erot maan ja kallioperän mineraalikoostumuksessa, soiden kehityshistoriassa, kasvillajistossa, puuston kehityksasteessa, turvelajeissa ja turpeen maatuneisuudessa pohjoisten ja eteläisten koealojen välillä ovat mahdollisia syitä eroihin.

Pintaturpeen korkeammat rikkiarvot Etelä-Suomessa pohjoiseen verrattuna saattoivat olla osittain laskeumatekijöiden aiheuttamia. Turpeen sisältämää rikkimäärää ei kuitenkaan suoraan voida käyttää rikkilaskeuman indikoijana, koska suon hydrologia säätelee rikin pidättymisen ja vapautumisen suhdetta.

## Kirjallisuus — References

- Bayley, S.E., Behr, R.S. & Kelly, C.A. 1986. Retention and release of S from a freshwater wetland. *Water Air Soil Pollution* 31: 101—114.
- Braekke, F.H. 1978. Ionetransport og svovelomsetning i torvmark, 1. Effekt av sur nerbör på torvmonolitter med permanente grunnvannsspeil og temperaturregulering. SNSF-projektet IR 37/78. 176 s.
- Brown, I. 1943. A rapid method of determining exchangeable hydrogen and total exchangeable bases of soils. *Soil Science* 56: 353—357.
- Brown, K.A. 1985. Sulphur distribution and metabolism in waterlogged peat. *Soil Biology and Biochemistry* 17: 39—45.
- , 1986. Formation of organic sulphur in anaerobic peat. *Soil Biology and Biochemistry* 18: 131—140.
- Gorham, E., Janssens, J.A., Wheeler, G.A. & Glaser, P.H. 1987. The natural and anthropogenic acidification of peatlands. Teoksessa: Hutchinson, T.C. & Meema, K.M. (toim.). Effects of atmospheric pollutants on forests, wetlands and agricultural ecosystems. NATO ASI Series G 16. Springer-Verlag, Berlin—Heidelberg. s. 493—512.
- Halonen, O. & Tulkki, H. 1981. Ravinneanalyysien työ-
- ohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 36. 23 s.
- Huikurainen, L. 1973. Soiden metsänkasvatuskelpoisuuden laskentamenetelmä. *Acta Forestalia Fennica* 131. 35 s.
- Huikari, O. 1952. Suotyypin määrittäminen maa- ja metsätaloudellista käyttöarvoa silmällä pitäen. Summary: On the determination of mire types, especially considering their drainage value for agriculture and forestry. *Silva Fennica* 75: 1—22.
- , Muotiala, S. & Wäre, M. 1964. Ojitusopas. Toinen painos. Kirjayhtymä, Helsinki. 244 s.
- Järvinen, O. 1986. Laskeuman laatu Suomessa 1971—1982. Vesihallituksen monistesarja 408. 142 s.
- Kaila, A. & Kivekäs, J. 1956. Distribution of extractable Ca, Mg, K and Na in various depths of some virgin peat soils. *The Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 28: 237—247.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 145. 39 s.



- Kulmala, A., Leinonen, L. & Säynätkari, T. 1990. Taustasemien ilmanlaatu Suomessa 1980—1986. Abstract: Air quality at background stations in Finland 1980—1986. Ilmatieteen laitos. Ilmansuojelun julkaisuja 7. 201 s.
- Lee, J.A., Press, M.C., Woodin, S. & Ferguson, P. 1987. Responses to acidic deposition in ombrotrophic mires in the U.K. Teoksessa: Hutchinson, T.C. & Meema, K.M. (toim.). Effects of atmospheric pollutants on forests, wetlands and agricultural ecosystems. NATO ASI Series G 16. Springer-Verlag, Berlin—Heidelberg. s. 549—560.
- Lehmusvuori, M. 1981. Valunta ja ravinteiden huuhtoutuminen Laavionsuon ojitus- ja lannoitusalueelta 1980. Suo 32: 134—137.
- Malmer, N. & Holmen, E. 1984. Variation in the C/N-quotient of peat in relation to decomposition rate and age determination with <sup>210</sup>Pb. Oikos 43: 171—182.
- Nyssonen, A. 1978. Metsän arvioiminen. Teoksessa: Tapion taskukirja, 18. painos. K.J. Gummerus Oy, Jyväskylä. s. 233—268.
- Ohtonen, R., Markkola, A.M. & Torvela, H. 1989. Total sulfur content in the humus layer of urban polluted forest soils. Water Air Soil Pollution 44: 135—141.
- Paavilainen, E. 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. Seloste: Lannoituksen vaikutus kasvubiomassaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla isovarpuisella rämeellä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 98(5). 71 s.
- Pakarinen, P. & Tolonen, K. 1980. Rikin huuhtoutuminen pintaturpeesta. Summary: Leaching of sulphur from surface peat. Suo 31(1): 1—6.
- Pätilä, A. 1990. Buffering of peat and peaty soils: Evaluation based on the artificial acidification of peat lysimeters. Teoksessa: Kauppi, P., Kenttämies, K. & Anttila, P. (toim.). Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin. s. 305—324.
- 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.
- Stevenson, F.J. 1982. Humus chemistry. John Wiley & Sons, New York—Chichester—Brisbane—Toronto—Singapore. 443 s.
- Tamm, C.O. & Hallbäcken, L. 1988. Changes in soil acidity in two forest areas with different acid deposition: 1929s to 1980s. Ambio 17(1): 56—61.
- Thomas, G.W. & Hargrove, W.L. 1984. The chemistry of soil acidity. Teoksessa: Adams, F. (toim.). Soil acidity and liming. Number 12 in the series Agronomy. American Society of Agronomy, Madison. s. 3—56.
- Ulrich, B. 1983. Soil acidity and its relations to acid deposition. Teoksessa: Ulrich, B. & Pankrath, J. (toim.). Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht—Boston—London. 389 s.
- Urban, N.R., Eisenreich, S.J. & Gorham, E. 1987. Proton cycling in bogs: geographic variation in northeastern North America. Teoksessa: Hutchinson, T.C. & Meema, K.M. (toim.). Effects of atmospheric pollutants on forests, wetlands and agricultural ecosystems. NATO ASI Series G 16. Springer-Verlag, Berlin—Heidelberg. s. 577—598.
- , Eisenreich, S.J. & Grigal, D.F. 1989. Sulfur cycling in a forested Sphagnum bog in northern Minnesota. Biogeochemistry 7: 81—109.
- Vahtera, E. 1955. Metsänkasvatusta varten ojitettujen soiden ravinnepitoisuuksista. Referat: Über die Nährstoffgehalte der für Walderziehung entwässerten Moore. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 45(4). 108 s.
- Verry, E. 1975. Streamflow chemistry and nutrient yields from upland-peatland watersheds in Minnesota. Ecology 56: 1149—1157.
- Westman, C.J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. Seloste: Pintaturpeen viljavuustunnukset suhteessa kasvupaikatyyppiin ja puuston kasvupotentiaaliin. Acta Forestalia Fennica 172: 1—77.
- Wieder, K.R. & Lang, G.E. 1986. Fe, Al, Mn and S chemistry of Sphagnum peat in four peatlands with different metal and sulfur input. Water Air Soil Pollution 29: 309—320.
- Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Selostus: Viljavuustutkimuksen analyysimenetelmästä. Agrogeological Publications 63: 1—44.
- Ødelien, M., Selmer-Olson, A.R. & Haddeland, I. 1975. Investigation of some redox processes in peat and their influence on run-off water. Acta Agriculturae Scandinavica 25: 161—166.

*Total of 35 references*

## Summary

### Base cation nutrients and sulphur status of drained oligotrophic pine mires considering the atmospheric input

The nutrient characteristics of drained cotton-grass, dwarf-shrub and low-sedge pine mires, and the regional variation in these characteristics, were studied in this paper. Special attention was paid to the possible effects of atmospheric deposition patterns.

The average bulk density of peat in the 0–20 cm layer was 0.083–0.093 cm<sup>-3</sup>, pH 3.48–3.65, total calcium content 2.42–3.62 mg g<sup>-1</sup>, total magnesium content 0.51–0.57 mg g<sup>-1</sup> and total potassium content 0.47–0.53 mg g<sup>-1</sup> (Table 1).

The amount of available base cations (Ca, Mg, K) in the 0–20 cm peat layer was 18–25 keq ha<sup>-1</sup> and in the 0–50 cm peat layer 46–76 keq ha<sup>-1</sup> (Table 2). The major available base cation was calcium, accounting for 58–76% of available base cations (Fig. 2). If the maximum strong acid deposition load currently recorded in southern Finland of 0.20–0.40 keq H<sup>+</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> is taken as the criterion, the amount of available base cations present in the 0–20 cm peat layer would be sufficient to compensate for the proton load over a period of at least 50 years. This is based on the assumption that base cation exchange is the main buffering mechanism in peat soils. Decomposition of the surface peat of drained peatlands further increases the amount of available base cations in the soil. If we assume that the total reserves of base cations in peat are released, then the maximum increase through decomposition could be almost 100 %.

However, it was not possible to demonstrate that the pH of precipitation is the critical factor from the point of view of the sufficiency of available base cations in peat. Comparison with earlier studies showed that the amount of base cations bound in tree stands on oligotrophic pine bogs would be about 0.2 keq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, and the loss of base cations through natural leaching from 0.1–0.3 to 1.0 keq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. However, most of the base cations bound in a tree stand are returned to the soil, even though the stem wood

would be harvested. In addition, precipitation also contains basic cations, which reach a maximum level of 0.5 keq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> in Finland.

The sulphur content of peat varied from 1.41–2.67 mg g<sup>-1</sup>. The highest sulphur contents usually occurred at the depth of 40–50 cm (Table 4). The amount of sulphur in the 0–20 cm layer was 322–429 kg ha<sup>-1</sup> (Fig. 3). Peatlands therefore represent major sinks for sulphur.

There is a clear geographical gradient in deposition quality in Finland. For instance, the deposition of strong acids, which is 0.20–0.40 keq H<sup>+</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> in the southernmost Finland, falls almost linearly below 0.10 keq H<sup>+</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> in northern Finland. The possible effects of deposition on the south–north distribution of peat nutrient parameters was examined by analysing the correlation between annual effective temperature sum (threshold value +5 °C) in the plots, which is mostly dependent on the degree of latitude (see Fig. 1), and the soil variables in the 0–5 and 5–10 cm peat layers by peatland site type (Table 5).

The bulk density, total nitrogen content and carbon content of peat were highest on the southern plots. This is probably because of a stronger drainage effect in southern Finland. Out of the base cations, magnesium and potassium had the clearest geographical distribution. The reduction in potassium on the southern plots (Fig. 8) was probably due to the more effective uptake of nutrients by the tree stands. The lower magnesium content (Fig. 7) and pH (Fig. 9) of the surface peat was probably due to differences in the original nutrient composition of the peatlands.

The higher sulphur values for the surface peat in southern Finland (Fig. 10) may be due to higher levels of sulphur deposition. However, as the retention of sulphur in peat is strongly dependent on the hydrology of the peatlands, differences in the sulphur content of peat can not be directly attributed to sulphur deposition.

# METSÄNTUTKIMUSLAITOS

## THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

### Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto  
*Department of Soil Science*

Suontutkimusosasto  
*Department of Peatland Forestry*

Metsänhoidon tutkimusosasto  
*Department of Silviculture*

Metsänjalostuksen tutkimusosasto  
*Department of Forest Genetics*

Metsänsuojelun tutkimusosasto  
*Department of Forest Protection*

Metsäteknologian tutkimusosasto  
*Department of Forest Technology*

Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
*Department of Forest Inventory and Yield*

Metsäekonomian tutkimusosasto  
*Department of Forest Economics*

Matemaattinen osasto  
*Department of Mathematics*

### Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema  
*Parkano Research Station*  
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland  
Puh. — *Phone:* (933) 82 912

Muhoksen tutkimusasema  
*Muhos Research Station*  
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland  
Puh. — *Phone:* (981) 533 1404

Suonenjoen tutkimusasema  
*Suonenjoki Research Station*  
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland  
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun tutkimusasema  
*Punkaharju Research Station*  
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland  
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema  
*Ojajoki Field Station*  
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland  
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema  
*Kolari Research Station*  
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland  
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema  
*Rovaniemi Research Station*  
Os. — *Address:* PL 16  
96301 Rovaniemi, Finland  
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema  
*Joensuu Research Station*  
Os. — *Address:* PL 68  
80101 Joensuu, Finland  
Puh. — *Phone:* (973) 1514 000

Kannuksen tutkimusasema  
*Kannus Research Station*  
Os. — *Address:* PL 44  
69101 Kannus, Finland  
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoeasema  
*Ruotsinkylä Field Station*  
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland  
Puh. — *Phone:* (90) 824 420



- No 752 Salminen, Hannu & Varmola, Martti: Puolukkatyyppin kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen.  
Development of seeded Scots pine stands from precommercial thinning to first commercial thinning.
- No 753 Saksa, Timo, Nerg, Jukka & Tuovinen, Jussi: Havupuutaimikoiden tila 3—8 vuoden kuluttua istutuksesta tuoreilla kankailla Pohjois-Savossa.  
State of 3—8 years old Scots pine and Norway spruce plantations.
- No 754 Moilanen, Mikko & Issakainen, Jorma: Suometsien PK-lannos ja typpilannoitelajit karuhkojen ojitettujen rämeiden lannoituksessa.  
PK fertilizer and different types of N fertilizer in the fertilization of infertile drained pine bogs.
- No 755 Salonen, Tommi & Oja, Seppo (toim.): Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1989.  
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1989.
- No 756 Isomäki, Antti & Niemistö, Pentti: Ajourien vaikutus puuston kasvuun Etelä-Suomen nuorissa kuusikoissa.  
Effect of strip roads on the growth and yield of young spruce stands in southern Finland.
- No 757 Kaila, Erkki & Saarenmaa, Hannu: Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa.  
Computer-aided decision making in forestry.
- No 758 Ylitalo, Esa, Mäki-Simola, Elina & Turunen, Jukka: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1988.  
Removals and flows of commercial roundwood in Finland in 1988, by districts.
- No 759 Pätilä, Antti & Nieminen, Mika: Turpeen emäsravinne- ja rikki-tase karuilla ojitetuilla rämeillä laskeuma huomioon ottaen.  
Base cation nutrients and sulphur status of drained oligotrophic pine mires considering the atmospheric input.
- No 760 Aarne, Martti, Uusitalo, Matti & Herrala-Ylinen, Helena (toim.): Metsätalastollinen vuosikirja 1989.  
Yearbook of forest statistics, 1989.