

MIKA NIEMINEN ja ANTTI PÄTILÄ

OJITETTUJEN RÄMEIDEN POHJAVEDEN LAATU JA SEN RIIPPUVUUS TURPEEN KEMIALLISTISTA OMINAISUUKSISTA

Groundwater quality and its relationship to peat chemical properties on drained pine mires

Nieminen, M. & Pätilä, A. 1991: Ojitettujen rämeiden pohjaveden laatu ja sen riippuvuus turpeen kemiallisista ominaisuuksista. (Summary: Groundwater quality and its relationship to peat chemical properties on drained pine mires.) — Suo 42:109–122. Helsinki. ISSN 0039-5471

The variation in groundwater nutrient concentrations from 29 oligotrophic pine mires were described. The relationships between groundwater chemistry and the chemical status of the surface peat layer were also investigated. The mean groundwater quality in different site type fertility groups was: pH 4.0–4.8; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 0.45–0.80 mg l^{-1} ; P 0.06–0.15 mg l^{-1} ; K 0.27–0.54 mg l^{-1} ; Ca 1.40–3.78 mg l^{-1} ; Mg 0.49–1.67 mg l^{-1} ; Mn 0.01–0.12 mg l^{-1} ; Fe 0.69–3.20 mg l^{-1} ; Al 0.34–0.57 mg l^{-1} ; Zn 0.006–0.015 mg l^{-1} ; Na 0.63–1.91 mg l^{-1} ; B 0.008–0.010 mg l^{-1} and S 1.15–1.47 mg l^{-1} . When ordered from the most infertile to the most fertile site types, groundwater pH and total concentrations of Ca, Mg, Mn, Fe and Na significantly ($P < 0.001$) increased. There was a large seasonal variation in the concentrations of S, K, Na, B and Zn, and a large within-plot variation in K, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, P and B concentrations. The results indicated that factors other than the chemistry of peat were involved in determining the concentrations of these nutrients in the groundwater. Groundwater concentrations of Al, Fe, Ca and Mg, on the other hand, were found to be strongly correlated with the corresponding total nutrient concentrations in the surface peat layer.

Keywords: peatlands, peat nutrients, water chemistry

M. Nieminen & A. Pätilä, The Finnish Forest Research Institute, P.O. Box 18, SF-01301 Vantaa, Finland

JOHDANTO

Useimmat soiden pintavesien ravinteisuustutkimukset ovat liittyneet suokasvillisuuden ombrotrofia–minerotrofia -vaihtelun kemiallisen taustan selvittämiseen (esim. Kivinen 1933, Witting 1947, 1948, Sjörs 1950, Gorham 1956a, Tolonen 1974, Tolonen ja Seppänen 1976, Tolonen ja Hosiainluoma 1978, Wieder 1985).

Ombro- ja minerotrofisen suoveden kemialliset erot vaikuttavat välittömästi vain joidenkin levien ja vesisammalien esiintymiseen (Tolonen 1974). Huolimatta siitä, että vain osa putkilokasvien käyttämistä ravinteista on suoraan liuenneena veteen, suovesien kemialliset ominaisuudet ovat osoittautuneet tärkeiksi suokasvillisuuden

trofiavaihtelun selittäjiksi. Myös kivennäismailla maaveteen liuenneiden ravinteiden on ajateltu kuvastavan kasvupaikkojen viljavuuseroja (Bourgeios ja Lavkulich 1972).

Suovesien ravinnepitoisuuksien vaihteluun vaikuttavia tekijöitä on tutkittu verraten paljon. Esimerkiksi suonpinnan erilaisten painanteiden välillä on huomattavia vesikemiallisia eroja (esim. Tolonen ja Seppänen 1976, Tolonen ja Hosiaislouma 1978, Gorham ym. 1985). Suoveden ravinteisuuden vaihtelua lisää myös ravinnepitoisuuksien vuodenaikaisvaihtelu (esim. Gorham 1956b, Wieder 1985, Blancher ja McNicol 1987). Erilaisilla soilla eri ravinteiden vuodenaikaisvaihtelun suuruudessa ja vaihtelusuunnassa on selviä eroja.

Ympäristötekijöistä mereisyyden vaikutus suoveden ravinnepitoisuuksiin tunnetaan ehkä tarkimmin. Mereisyys lisää varsinkin kloorin, natriumin ja boorin pitoisuuksia suovesissä (mm. Gorham ja Cragg 1960, Tolonen 1974, Gorham ym. 1985). Viljelymaasta peräisin oleva pöly voi lisätä joidenkin ravinteiden pitoisuuksia (esim. Gorham ym. 1985). Näytteenottohetken lämpötilalla on vaikutusta ainakin ammonium- ja nitraattityypeen, rikkiin ja fosforiin (ks. Tolonen 1974).

Ilman kemiallisen koostumuksen muuttuminen on tuonut uuden näkökulman soiden vesikemialliseen tutkimukseen. Koska ombrogeeniset suot saavat ravinnelisäystä ainoastaan ilmasta, suoveden ravinnepitoisuuksien on ajateltu heijastavan laskeumassa tapahtuneita muutoksia. Laskeuman aiheuttamaa suovesien happamoitumista ja soiden valumavesien vaikutusta alapuolisten vesistöjen happamoitumiseen onkin tutkittu verraten paljon (esim. Brække 1980, 1981a, 1981b, Gorham ym. 1985, Blancher ja McNicol 1987).

Myös syyt suovesien korkeaan luontaiseen happamuuteen ovat kiinnostaneet tutkijoita (esim. Gorham 1956a, 1956b, Gorham ja Cragg 1960, Clymo 1964,

Gorham ym. 1985). Nykyisen käsityksen mukaan suovesien happamuus on orgaanista alkuperää ja aiheutuu rahkasammalien syntetisoimista polygalakturonihapoista (PGA, Clymo 1964).

Metsätalouden toimenpiteiden ja happaman laskeuman haitallisten vesistövaikutusten torjunta edellyttää yksityiskohtaista tietoa metsä- ja suoekosysteemien ravinnevaroista ja ravinnekierrosta. Ojitusalueiden pohjaveden ravinnepitoisuuksia ei ole Suomessa juurikaan tutkittu (ks. kuitenkin Starr ja Laine 1988).

Käsitettä pohjavesi ei soiden hydrologisissa tai vesikemiallisissa tutkimuksissa ole yksiselitteisesti määritetty. Tässä tutkimuksessa pohjavesi tarkoittaa nk. pohjavesikaivosta otettua vesinäytettä erotuksena niistä tutkimuksista, joissa vesinäyte on suon pinnan painanteisiin kerääntynyttä vettä (= pintavesi tai suovesi).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuvata pohjaveden ravinnepitoisuuksien kasvukauden aikaista, kasvupaikkatyyppien välistä ja koealan sisäistä vaihtelua ojitetuilla rämeillä sekä selvittää pintaturpeen ja pohjaveden kemiallisten ominaisuuksien välisiä yhteyksiä.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Tämän tutkimuksen koealat perustettiin Metsäntutkimuslaitoksen 'Ilman epäpuhauksien vaikutus metsiin' (ILME) -projektin yhteydessä. ILME-koealat olivat systemaattinen otos valtakunnan metsien 8. inventoinnin pysyvien koealojen lohkoverkosta (Yli-Kojola 1988). Kolmen aarin kokoiset koealat olivat puustoisia, ojitettuja rämeitä ja korpia, joissa turvesyvyys oli yli 50 cm (Nieminen ja Pätilä 1990). Tutkimuksen perusaineistosta valittiin 39 nk. intensiivikoealaa pohjavesiseurantaan.

Tutkimuksessa käytettiin Huikarin kasvupaikkaluokitusta (Huikari 1952, Huikari ym. 1964). Pohjavesiseurannan kohteena olleista koealoista tähän tutkimukseen

sisällytettiin Joensuun, Parkanon ja Muhoksen ympäristössä sijainneet III, IV ja V ravinteisuustason rämekealot (n=29) (kuva 1).

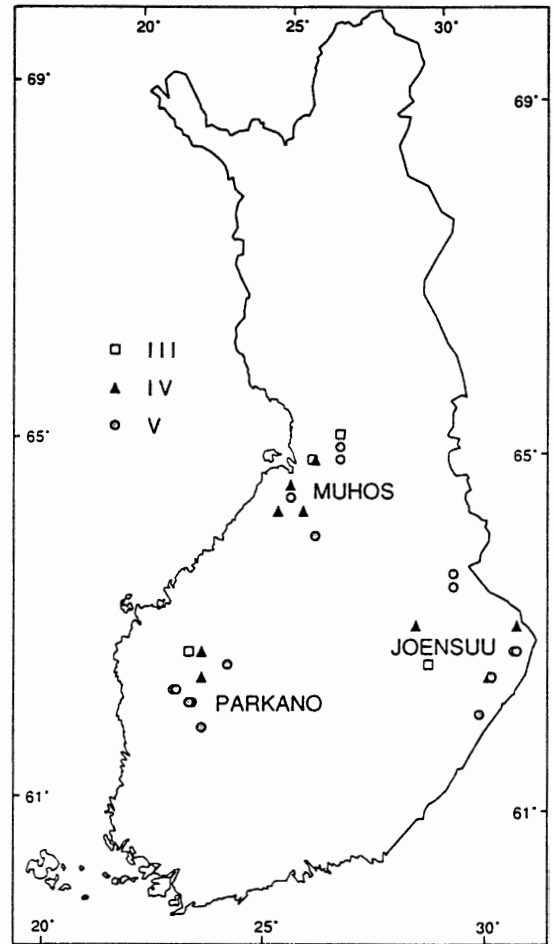
Turvenäytteiden keruu ja analysointi on kuvattu julkaisuissa Nieminen ja Pätilä (1990) sekä Pätilä ja Nieminen (1990). Tätä tutkimusta varten totaalianalyyseistä laskettiin volumetriset, turpeen luonnollista tiheyttä vastaavat kokonaisravinnepitoisuudet (mg l^{-1}) turvekerroksissa 0–20 cm ja 20–50 cm.

Turvenäytteiden oton jälkeen jokaiseen turvenäytteenottokohtaan asennettiin kairamalla pohjavesikaivo. Kaivot (10 kpl/koeala) sijaitsivat kolmen aarin suuruisen ympyräkoealan ulkopuolella metrin etäisyydellä koealan kehästä tasaisin välimatkoin.

Pohjavesikaivona käytettiin päistään suljettua 1 metrin pituista PVC-putkea, jonka halkaisija oli 13 cm. Putki oli reijitetty alapäästään noin 80 cm:n korkeudelle poraamalla 10 mm:n poralla putken pituussuunnassa 10 cm:n välein 4 reikää tasaetäisyyksin eri puolille putkea. Päistään suljettu putki painettiin turpeeseen kairattuun reikään siten, että putken yläpäästä jäi suonpinnan yläpuolelle n. 10 cm.

Pohjavesikaivoista otettiin vesinäytteet sulan maan aikana vuosina 1986 ja 1987. Näytteenottokauden ensimmäisellä käyntikerralla kaivot ainoastaan tyhjennettiin. Näytteenottokauden ensimmäiset vesinäytteet otettiin yleensä kesäkuun loppupuolella ja siitä eteenpäin noin kuukauden välein kaivojen jäätymiseen saakka.

Jokaisella näytteenottokerralla mitattiin kunkin pohjavesikaivon pohjavesipinnan etäisyys turpeen tasapinnasta ja otettiin yhden litran pohjavesinäyte. Näytteenoton jälkeen kaivo tyhjennettiin. Kymmenestä pohjavesikaivosta kerätyt näytteet yhdistettiin kokoomänäytteeksi. Kokoomänäytteestä otettiin kaksi yhden litran näytettä vesianalyysejä varten. Näytteenoton eri vaiheissa käytettiin PVC-muoviastioita. Koealan pohjavesipinnan ollessa syvällä



Kuva 1. Koealojen sijainti. Kuvaan on merkitty ravinteisuusluokkia (Huikari ym. 1964) kuvaavat symbolit.

Fig. 1. Location of the plots used in this study. The plots are marked with symbols indicating their fertility class (Huikari et al. 1964).

(n. 75 cm) kaivoihin ei aina kertynyt riittävästi vettä pohjavesinäytettä varten. Tästä syystä vuoden 1986 kesä–heinäkuun näytteitä ei kaikilta koealoilta saatu.

Lokakuussa 1986 yhdellä näytteenottokerralla otettiin lisäksi kunkin koealakeskittymän alueelta kahdelta koealalta kaivokohtaiset näytteet, jotka analysoitiin erikseen koealan sisäisen pohjaveden ravinteisuuden vaihtelun selvittämiseksi.

Laboratoriossa vesinäytteet suodatettiin suodatinpaperin (Schleicher & Schull Rundfilter 589 (3)) läpi, niistä mitattiin pH ja näytteet pakastettiin.

Pohjavesinäytteiden kemiallinen analyysi tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa. Pohjaveden NH_4^+ -N määritettiin kaasudiffuusiomenetelmällä (FIA) ja muiden ravinteiden pitoisuudet (P, S, K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe, Na, B, Zn) plasmaemissiospektrometrillä (ICP/AES, ARL 3580).

TULOKSET JA TARKASTELU

Pohjaveden laatu eri kasvupaikkaryhmissä

Pohjaveden happamuus väheni ja kalsium-, magnesium-, mangaani-, rauta- sekä natriumpitoisuus kasvoivat karuimmilta rehevämille kasvupaikoille (taulukko 1). Muiden ravinteiden pitoisuudet pohjavedessä olivat eri ravinteisuustasoilla samaa suuruusluokkaa. Verrattuna turpeen ravinnepitoisuuksiin tai -määriin (ks. Nieminen ja Pätilä 1990) pohjaveden ravinnepitoisuudet korreloivat selvästi voimakkaammin Huikarin menetelmällä (Huikari 1952, Huikari ym. 1964) tehdyn kasvupaikkaluokittelun kanssa.

Tulokset ovat yhteneviä Tolosen (1974) sekä Tolosen ja Hosiaisloman (1978) luonnontilaisten ombro- ja minerotrofisten soiden pintavesien ravinteisuuserojen kanssa. Mainituissa tutkimuksissa kuitenkin myös kaliumpitoisuus selitti trofiaeroja. Starrin ja Laineen (1988) mukaan pohjaveden happamuus, orgaaninen tyyppi ja kalsium vaihtelevat suotyypeittäin.

Tämän tutkimuksen koaloilla pohjaveden ravinnepitoisuudet olivat natriumia ja sinkkiä lukuunottamatta jonkin verran Brækken (1981b) Etelä-Norjassa sijaitseville turvemaille esittämiä pitoisuuksia korkeammat. Starrin ja Laineen (1988) ombrotrofiselle keidassuoyhdistymälle esittämät pohjaveden kalsium- ja magne-

siumpitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa, mutta ammoniumtyppipitoisuudet alhaisemmat kuin tässä tutkimuksessa.

Luonnontilaisten ombro- ja minerotrofisten soiden pintavesien ravinnepitoisuuksiin verrattuna (ks. Tolonen ja Hosiaisloma 1978) tämän tutkimuksen pohjaveden ravinnepitoisuudet olivat yleensä samaa suuruusluokkaa. Sen sijaan valumavesien fosfori- ja ammoniumtyppipitoisuudet (n. 0,020 mg l⁻¹ ja alle 0,1 mg l⁻¹ vastaavassa järjestyksessä, ks. Sallantaus 1986) ovat pohjavesien pitoisuuksia alhaisemmat.

Useimpien ravinteiden osalta ei havaittu selviä alueellisia eroja. Pohjaveden natriumpitoisuudet olivat kuitenkin rannikkoalueilla jonkin verran keskimääräisiä pitoisuuksia korkeammat, mikä aiheutuu merestä sateen mukana kulkeutuvasta ravinnelisästä (esim. Tolonen 1974, 1976, Gorham ym. 1985).

Taulukosta 1 puuttuvat nk. sulfaatti- eli alunamailla (n=2) (ks. esim. Erviö 1975) sijainneet ja 1980-luvulla lannoitetut (n=3) koealat. Aineiston korkeimmat kuukausittaiset pohjaveden rikki- (19 mg l⁻¹), kalsium- (15 mg l⁻¹), magnesium- (6 mg l⁻¹), mangaani- (0,7 mg l⁻¹) ja rautapitoisuudet (8 mg l⁻¹) mitattiin alunamaiden koealojen pohjavesistä. Aineiston ainoalla typpilannoitetulla koealalla vuoden 1987 keskimääräinen ammoniumtyppipitoisuus oli 4,10 mg l⁻¹. PK-lannoitetuilla koaloilla keskimääräinen kaliumpitoisuus oli 2,48 mg l⁻¹, booripitoisuus 0,046 mg l⁻¹ ja fosforipitoisuus 0,50 mg l⁻¹. Kyseisten ravinteiden pitoisuudet olivat siten lannoitetuilla koaloilla 5–10 kertaiset lannoittamattomiin koaloihin verrattuna (taulukko 1).

Kasvukauden aikainen pohjaveden laadun vaihtelu

Ravinnearvojen kasvukauden aikaista vaihtelua tutkittiin Parkanon koaloilla, joilta oli kerätty ajallisesti edustavimmat

Taulukko 1. Pohjaveden ravinnepitoisuudet (mg l^{-1}) eri rämetyypeillä (ks. Huikari ym. 1964). Taulukon arvot ovat vuoden 1987 keskimääräisiä pitoisuuksia.

Table 1. Groundwater acidity and nutrient concentrations (mg l^{-1}) in different site type fertility groups (see Huikari et al. 1964). Values are means of the year 1987.

Mitattu suure Determination	Ravinteisuustasot ¹⁾ — Fertility levels ¹⁾			
	III (n=4)	IV (n=6)	V (n=14)	F
pH	4,8 ± 0,5	4,3 ± 0,3	4,0 ± 0,1	14,79 ***
NH ₄ ⁺ -N	0,80 ± 0,37	0,47 ± 0,14	0,45 ± 0,41	1,50
P	0,06 ± 0,02	0,12 ± 0,12	0,15 ± 0,20	0,46
K	0,27 ± 0,12	0,54 ± 0,44	0,44 ± 0,33	0,75
Ca	3,78 ± 1,61	2,89 ± 0,65	1,40 ± 0,40	20,25***
Mg	1,67 ± 0,91	0,96 ± 0,28	0,50 ± 0,19	14,74 ***
Mn	0,12 ± 0,07	0,04 ± 0,02	0,01 ± 0,01	20,23 ***
Fe	3,20 ± 1,84	1,93 ± 1,21	0,69 ± 0,42	12,26 ***
Al	0,45 ± 0,40	0,57 ± 0,26	0,34 ± 0,27	1,47
Zn	0,006 ± 0,002	0,008 ± 0,004	0,015 ± 0,009	2,93
Na	1,91 ± 1,24	0,80 ± 0,18	0,63 ± 0,19	10,85 ***
B	0,008 ± 0,007	0,009 ± 0,009	0,010 ± 0,008	0,08
S	1,47 ± 0,82	1,47 ± 0,74	1,15 ± 0,38	0,98

1) III=Suursaraiset rämeet — *High-sedge pine mires*

IV=Piensaraiset rämeet — *Low-sedge pine mires*

V=Tupasvilla- ja isovarpurämeet — *Gottongrass and dwarf-shrub pine bogs*

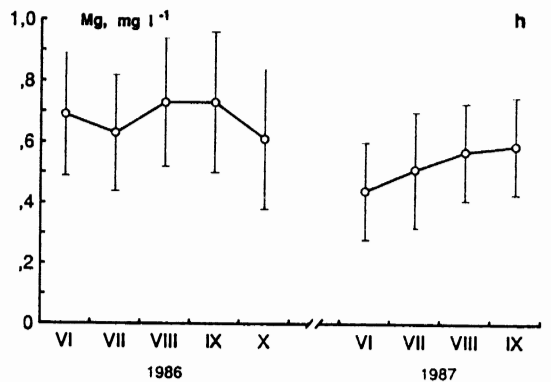
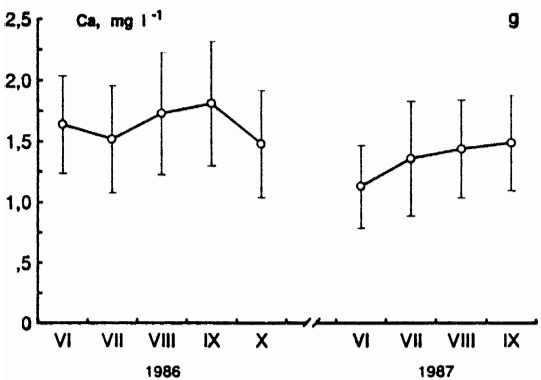
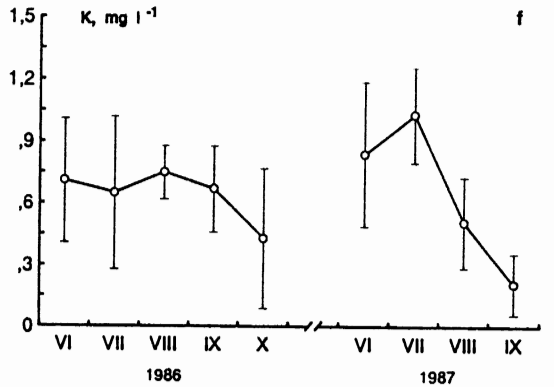
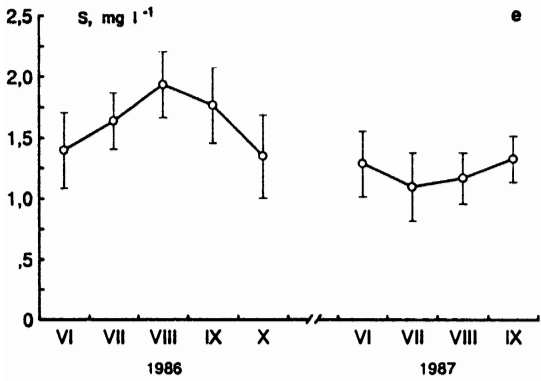
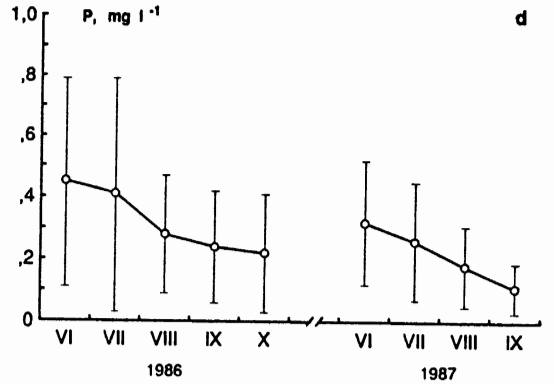
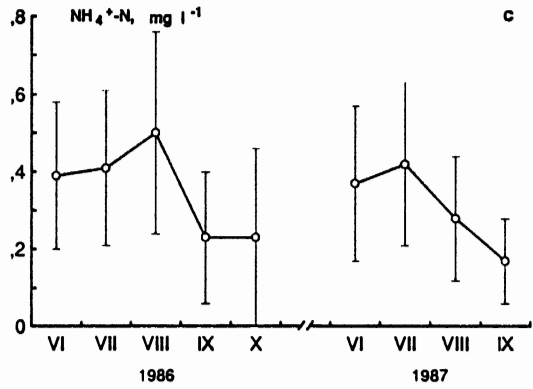
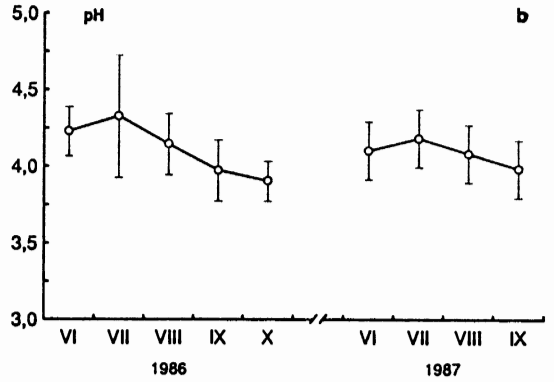
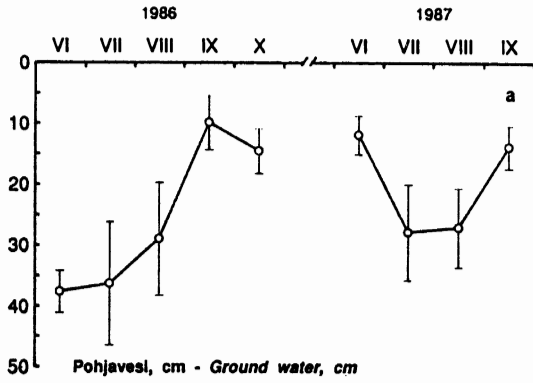
pohjavesinäytteet kuukausittain kesä-lokakuussa v. 1986 ja kesä-syyskuussa v. 1987 (kuva 2).

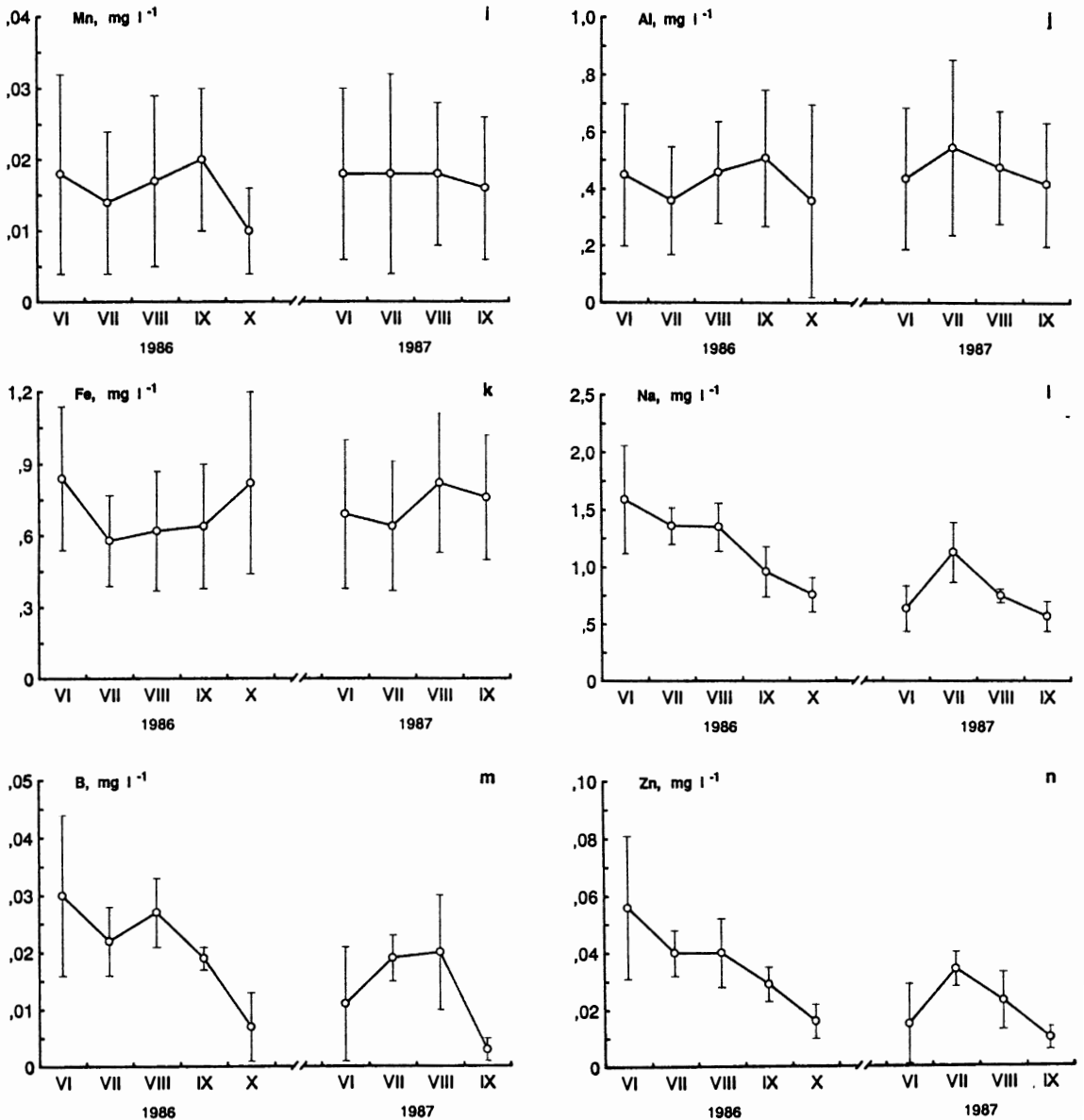
Tilastollisesti merkitseviä eroja eri näytteenottoajankohtien välillä oli rikin, kaliumin, natriumin, boorin ja sinkin pitoisuuksissa. Myös pohjaveden pH sekä ammoniumtyypin ja fosforin pitoisuudet vaihtelivat näytteenottoajankohtien välillä, eivät kuitenkaan tilastollisesti merkitsevästi. Rikkiä lukuunottamatta em. ravinteiden pitoisuudet olivat yleensä alku- ja keskikesällä syksyn pitoisuuksia korkeammat. Kalsiumin, magnesiumin, mangaanin, alumiinin ja raudan pitoisuudet vaihtelivat vähän.

Wiederin (1985) tutkimuksessa pohjaveden kalsium-, magnesium- ja natriumpitoisuudet vaihtelivat vähän tarkastelu-

jakson (touko-joulukuu) aikana. Kalium- ja ammoniumtyypipitoisuuksien vaihtelun trendi riippui kasvupaikasta. Brækken (1981a) tutkimuksessa turvemaiden pohjavesien ammoniumtyppi-, kalsium-, magnesium-, natrium- ja alumiinipitoisuudet olivat korkeimmillaan elo-lokakuussa, kun taas tässä tutkimuksessa ravinnepitoisuudet olivat samana aikana yleensä alhaisia. Myös kivennäismailla vuodenajoittainen maaveden ravinnepitoisuuksien vaihtelu voi olla suurta (Starr 1985).

Joidenkin ravinteiden vaihtelu näytti olevan yhteydessä pohjavedenpinnan tason vaihteluun siten, että korkean pohjavesipinnan aikana pitoisuudet olivat alhaiset ja nousivat vedenpinnan laskiessa. Vedenpinnan tason vaikutusta pohjaveden ravinnepitoisuuksiin tutkittiin aineistossa,





Kuva 2a–n. Pohjaveden syvyyden, happamuuden ja ravinnepitoisuuksien kasvukauden aikainen vaihtelu vuosina 1986 ja 1987. Pylväät osoittavat $\pm 95\%$ luotettavuusvälit.

Fig. 2a–n. Seasonal variation in ground water level, acidity and nutrient concentrations in 1986 and 1987. Bars represent $\pm 95\%$ confidence limits.

jossa olivat Parkanon koeloilla kaikkina näytteenotokertoina mitatut pohjaveden-pinnan etäisyydet ja ravinnepitoisuudet ($n=81$). Mainitussa aineistossa sinkin, natriumin ja boorin pitoisuudet korreloivat positiivisesti ja merkitsevästi pohjavesi-

pinnan etäisyyden kanssa (Zn; $0,37^{***}$, Na; $0,52^{***}$ ja B; $0,35^{**}$). Siten ravinnepitoisuuksien laimeneminen sadejaksojen aikana ja väkevytyminen kuivana aikana voisivat selittää ravinne-eroja (ks. myös Starr ja Laine 1988). Tolosen (1974)

tutkimuksessa sade vaikutti laimentavasti luonnontilaisten soiden pintavesien boori-, mangaani- ja vetyionipitoisuuteen, mutta pitoisuutta kohottavasti etenkin molybdeeniin, nitraatti- ja ammoniumtyyppeen, rikkiin sekä magnesiumiin.

Myös ravinteiden mineralisaatio, turpeen hapetus/pelkistys-tilan muutokset pohjaveden tason vaihtelun mukaan, kasvillisuuden ravinteidenotto ja ravinteiden huuhtoutuminen kasvillisuudesta sekä lämpötilan muutokset voivat olla syynä pitoisuusvaihteluun (esim. Wieder 1985).

Kasvillisuuden ja maaperän ravinnepitoisuuksien kasvukaudenaikainen vaihtelu on kangasmaan männikössä todettu suureksi kaliumilla, tyrellä sekä fosforilla, mutta kalsium- ja magnesiumpitoisuudet eivät juurikaan muuttuneet tarkastelujakson aikana (Lehtonen ym. 1976). Tältä osin tulokset vastaavat tämän tutkimuksen pohjaveden ravinnepitoisuuksien vaihtelua.

Luonnontilaisten soiden pintavesissä ravinteisuuden vuodenaikais- ja vuosien välinen vaihtelu on suurinta rauta- ja fosforipitoisuuksissa (Tolonen 1974, Tolonen ja Hosiaisuusluoma 1978). Pintavesien ravinnepitoisuuksien vuodenaikaisvaihtelu eroaa kuitenkin selvästi pohjavesissä esiintyvistä vaihtelusta (ks. Wieder 1985).

Pohjaveden laadun vaihtelu koealan sisällä

Kuudelta koealalta analysoitiin yhdellä näytteenottokerralla pohjaveden ravinnepitoisuudet erikseen kaikista kymmenestä kaivosta (taulukko 2).

Kalium pidättyy tehokkaasti pintakasvillisuuteen ja huuhtoutuu helposti kasvinjäänneistä. Pohjaveden kaliumpitoisuuden suuri koealan sisäinen vaihtelu ei siten ollut yllättävää. Myös ammoniumtyypen, fosforin ja boorin pitoisuuserot pohjavesikaivojen välillä olivat huomattavat. Tähän voisivat olla syynä puuston ja pinta-

kasvillisuuden ravinteidenotossa ja turpeen mineralisaatiossa esiintyvä koealan sisäinen vaihtelu.

Esimerkiksi boorin, sinkin, mangaanin ja kaliumin pitoisuudet olivat useissa pohjavesikaivoissa hyvin alhaiset. Siten suuri vaihtelu saattaa osittain aiheutua myös epätarkkuuksista näytteenotossa ja ICP-ravinneanalyyseissä.

Myös pohjavesipinnan etäisyyden vaihtelut olivat huomattavan suuret. Pohjavesikaivosta mitattu pohjavesipinnan etäisyys on kuitenkin epätarkka vesivaraston tunnus (Ahti 1987). Tämä aiheutuu siitä, että sateiden yhteydessä vettä virtaa pohjavesikaivoon turpeen pintakerroksessa ts. varsinaisen pohjavesipinnan yläpuolella.

Kalsiumin, magnesiumin, alumiinin, raudan ja rikin pitoisuudet vaihtelivat vähän lukuunottamatta koealaa 6, jolla lienee ravinteisuudeltaan erilaisia osia.

Imulysimetrikokeet (Starr 1985) ovat osoittaneet, että myös kivennäismaalla voi maaveden ravinteisuudessa olla huomattavaa vaihtelua vain muutaman metrin etäisyydellä olevissa näytteenottokohdissa.

Pintaturpeen ja pohjaveden kemiallisten ominaisuuksien väliset riippuvuudet

Pohjaveden ja pintaturpeen ravinnepitoisuuksien välisiä yhteyksiä tutkittiin ainoastaan V ravinteisuustason koealoilla. Poistamalla aineistosta kasvupaikkatyyppien välinen vaihtelu pyrittiin siihen, että tutkittavat suot olisivat esim. turpeen paksuuden ja kasvinjäänköostumuksen, puuston ja pintakasvillisuuden suhteen mahdollisimman yhtenäisiä. Mikäli näiden tekijöiden vaikutus on vähäinen, voidaan luotettavammin arvioida pelkästään turpeessa tapahtuvien kemiallisten ja fysikaalisten prosessien vaikutusta pohjaveden laatuun.

Pohjaveden alumiinilla, raudalla ja magnesiumilla yhteys vastaavan ravinteiden pitoisuuteen turvekerroksissa 0–20 ja

Taulukko 2. Kuudella koealalla kymmenestä kaivosta mitattu keskimääräinen pohjavesipinnan etäisyys ja ravinnepitoisuus, havaintojen vaihtelukerroin (% CV) ja vaihteluväli (R).

Table 2. The mean, coefficient of variation (CV) and range of values (R) for various groundwater characteristics for 10 groundwater wells in 6 selected plots.

Mitattu suure Characteristic	Koeala — Sample plot					
	1	2	3	4	5	6
Pohjaveden etäisyys, cm Ground water level, cm						
\bar{x}	22	13	10	17	22	27
% CV	27	73	43	48	25	37
R	13–29	5–33	5–20	3–31	12–30	12–41
NH ₄ ⁺ -N, mg l ⁻¹						
\bar{x}	0,28	0,56	0,05	0,05	1,20	0,45
% CV	84	62	88	69	60	33
R	0,02–0,68	0,20–0,98	0,01–0,15	0,01–0,10	0,64–2,60	0,23–0,72
P, mg l ⁻¹						
\bar{x}	0,40	0,00	0,26	0,03	0,09	0,53
% CV	95	200	118	34	129	110
R	0,00–0,97	0,00–0,01	0,02–0,93	0,02–0,05	0,02–0,41	0,03–1,41
K, mg l ⁻¹						
\bar{x}	0,04	0,21	1,60	0,12	0,21	0,24
% CV	213	218	83	95	98	94
R	0,00–0,22	0,00–1,41	0,00–3,38	0,00–0,34	0,00–0,53	0,00–0,55
Ca, mg l ⁻¹						
\bar{x}	1,80	2,85	2,87	5,86	3,54	2,67
% CV	22	22	19	19	17	56
R	1,28–2,39	1,77–3,75	2,05–3,72	4,10–7,59	2,07–4,06	1,02–4,91
Mg, mg l ⁻¹						
\bar{x}	0,71	1,02	1,19	3,31	1,01	0,64
% CV	28	18	16	19	21	56
R	0,41–0,95	0,67–1,30	0,92–1,41	2,26–4,19	0,62–1,34	0,27–1,23
Mn, mg l ⁻¹						
\bar{x}	0,01	0,05	0,04	0,13	0,03	0,01
% CV	83	29	39	55	55	71
R	0,00–0,02	0,03–0,07	0,03–0,06	0,05–0,27	0,01–0,05	0,00–0,02
Fe, mg l ⁻¹						
\bar{x}	0,50	3,36	1,71	1,00	1,43	0,21
% CV	24	39	14	28	48	52
R	0,30–0,64	1,66–5,50	1,35–1,96	0,66–1,45	0,84–3,05	0,10–0,45
Al, mg l ⁻¹						
\bar{x}	0,74	0,81	0,41	1,01	0,94	0,33
% CV	34	27	21	26	14	104
R	0,46–1,15	0,50–1,24	0,26–0,53	0,69–1,51	0,76–1,16	0,10–1,09
Na, mg l ⁻¹						
\bar{x}	0,65	0,87	1,44	2,14	0,80	0,64
% CV	27	33	13	40	31	28
R	0,46–1,05	0,48–1,32	1,18–1,88	1,03–3,07	0,57–1,34	0,38–1,03
B, mg l ⁻¹						
\bar{x}	0,010	0,001	0,043	0,005	0,002	0,001
% CV	110	100	35	40	100	100
R	0,000–0,031	0,000–0,002	0,024–0,069	0,002–0,007	0,000–0,005	0,000–0,002
Zn, mg l ⁻¹						
\bar{x}	0,020	0,001	0,012	0,006	0,010	0,007
% CV	50	100	58	17	20	43
R	0,011–0,046	0,000–0,003	0,006–0,032	0,005–0,009	0,007–0,013	0,003–0,013
S, mg l ⁻¹						
\bar{x}	1,41	1,41	1,20	5,65	2,04	1,21
% CV	27	28	28	38	21	57
R	1,06–2,31	0,96–1,98	0,74–1,73	2,62–9,08	1,42–2,64	0,35–2,62

Taulukko 3. Pohjaveden kemiallisten ominaisuuksien ja pintaturpeen vastaavien ravinnetunnusten väliset korrelaatiot V ravinteisuusluokan koealoilla (ks. taulukko 1). Turpeen volumetriset kokonaisravinnepitoisuudet (mg l^{-1}) kerroksista 0–20 cm (I) ja 20–50 cm (II).

Table 3. Correlations between mire water nutrient concentrations (mg l^{-1}) and the corresponding total concentration (mg l^{-1}) in the 0–20 cm (I) and 20–50 cm (II) peat layers of the plots belonging to fertility group V (see Table 1).

		Pohjavesi/Turve Groundwater/Peat					
	$\text{NH}_4^+\text{-N/N}$	P/P	S/S	K/K	Ca/Ca	Mg/Mg	Mn/Mn
I	.676*	-.076	.041	-.106	.519	.704**	.322
II	.313	.014	.425	-.130	.760**	.588*	.689
*							
	Al/Al	Fe/Fe	Na/Na	B/B	Zn/Zn	pH/pH	
I	.929***	.717**	-.360	.091	.028	.447	
II	.850***	.834***	.377	-.175	.078	.339	

20–50 cm oli voimakas (taulukko 3). Myös pohjaveden kalsium korreloi positiivisesti ja merkitsevästi turpeen vastaavan ravinnepitoisuuden kanssa kerroksessa 20–50 cm. On ilmeistä, että em. ravinteiden vaihtuminen pintaturpeen ja pohjaveden välillä on tehokasta ja tasapainotila turpeen ja pohjaveden ravinnepitoisuuksien välillä vakaa. Tämä selittää sekä vähäisen koelan sisäisen (taulukko 2) ja näytteenottoajankohtien välisen (kuvat 2g, 2h, 2j, 2k) pohjaveden ravinnepitoisuuden vaihtelun että voimakkaat riippuvuudet pohjaveden ja turpeen ravinnepitoisuuksien välillä.

Muilla ravinteilla ei ollut selkeää yhteyttä vuoden 1987 keskimääräisen pohjaveden ravinnepitoisuuden ja vastaavan ravinteiden turpeen ravinnepitoisuuden välillä. Syitä lienee useita. Kasvillisuuden ravinteidenoton vuodenaikaisvaihtelu, ravinteiden huuhtoutuminen, ravinnepitoisuuksien laimeneminen ja konsentroituminen sademäärien mukaan ja turpeen hapetus/pelkistys -tilan muutokset pohjave-

denpinnan vaihtelun mukaan voivat olla syynä siihen, että myös koealan sisäinen ja/tai näytteenottoajankohtien välinen vaihtelu olivat useimmiten suuret.

Starr ja Laine (1988) tutkivat pohjaveden ja pintaturpeen välisiä suhteita kahdessa erillisessä ryhmässä: ryhmä A koostui metsäisistä kasvupaikoista (16 suotyyppiä) ja ryhmä B avosoista ja harvapuustoisista kasvupaikoista (41 suotyyppiä). Mainitussa tutkimuksessa pohjaveden ja pintaturpeen väliset suhteet riippuivat selvästi valitusta ryhmäjaosta. Ryhmässä A pohjaveden ammoniumtyypin ja pintaturpeen kokonaistyyppipitoisuuden välinen korrelaatio oli 0,673 ja ryhmässä B 0,101. Pohjaveden fosfaattifosforin, kaliumin ja kalsiumin korrelaatiot vastaavan ravinteiden pintaturpeen kokonaispitoisuuden kanssa olivat ryhmässä A: $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 0,601; K 0,290; Ca 0,891. Ryhmässä B vastaavat riippuvuudet olivat: $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -0,438; K -0,060; Ca 0,356 (tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot 5% riskillä: ryhmä A:0.506; ryhmä B:0.314). Tulokset olivat yhteneviä

tässä tutkimuksessa esitettyjen kanssa sikäli, että kyseisistä ravinteista ainoastaan kalsiumilla riippuvuus pohjaveden ja pintaturpeen ravinnepitoisuuksien välillä oli selvästi positiivinen.

YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Pohjaveden happamuus, kalsium-, magnesium-, mangaani-, rauta- ja natriumpitoisuus korreloivat selkeästi nk. Huikarin järjestelmällä (Huikari 1952, Huikari ym. 1964) tehdyn koealojen kasvupaikkaluokittelun kanssa. Myös luonnontilaisten soiden pintavesissä kyseiset ravinnetunnukset selittävät hyvin trofiaeroja (ks. esim. Tolonen ja Hosiaislouma 1978), eivätkä pintavesien ravinnepitoisuudet juurikaan poikkea vastaavista pohjavesien pitoisuuksista.

Pohjaveden rikin, kaliumin, natriumin, boorin ja sinkin pitoisuuksissa kasvukaudenaikainen vaihtelu oli huomattavaa. Koealan sisällä vaihtelivat erityisesti kalium-, ammoniumtyppi-, fosfori- ja booripitoisuudet. Kyseisillä ravinteilla ei ollut selkeää yhteyttä vastaaviin pintaturpeen ravinnepitoisuuksiin. Siten muutkin tekijät kuin turpeen ravinnemäärät ovat tärkeitä pohjaveden kemiallisen laadun kannalta. Pohjaveden alumiinin, raudan, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet kuitenkin riippuvat selvästi vastaavista turpeen ravinnepitoisuuksista.

Näytteenoton helppous pohjavesikajoista mahdollistaa tiheän ja pitkäaikaisen pohjaveden kemiallisen laadun seurannan. Tästä on etua mm. lannoituksen tai happaman laskeuman pitkäaikaisvaikutusten seurannassa. Tähänastisissa tutkimuksissa selviä yhteyksiä soiden pohjaveden ja esimerkiksi turpeen ravinnepitoisuuksien välillä ei kuitenkaan ole pystytty osoittamaan. Yhteyksien puuttuminen saattaa olla todellista, mutta toisaalta syynä voi olla esimerkiksi näytteenoton eriaikaisuus tai -paikkaisuus. Myöskään pohjaveden ravinteiden merkitystä puuston ja pintakasvillisuuden ravinteidenoton tai valumavesien laadun kannalta ei kunnolla tunneta. Siten soiden pohjaveden ekologisen merkityksen selvittämiseksi tarvitaankin toisaalta vertailevaa menetelmätutkimusta pohjavesinäytteenotosta, toisaalta pohjaveden ravinteisuuden liittämistä yksityiskohtaisiin suoekosysteemien ravinnevara- ja ravinnekiertotutkimuksiin.

KIITOKSET

Koaloilla suoritetusta maastotyöstä vastasivat mti. Kauko Taimi ja tutk. mest. Yrjö Sulkala. Aineiston tallentamisesta ja kuvien piirtämisestä huolehti operaattori Inkeri Suopanki. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit Eero Paavilainen, Juhani Päivänen ja Seppo Kaunisto sekä MMT Erkki Ahti. Ph.D. Michael Starr on kääntänyt englanninkielisen osuuden. Haluamme kiittää kaikkia työhön osallistuneita.

KIRJALLISUUS

- Ahti, E. 1987: Water balance of drained peatlands on the basis of water table simulation during the snowless period. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 141:1–64.
- Blancher, P. J. & McNicol, D. K. 1987: Peatland water chemistry in Central Ontario in relation to acidic deposition. — *Water, Air and Soil Pollution* 35:217–232.
- Bourgeois, W. W. & Lavkulich, L. M. 1972: A study of forest soils and leachates on sloping topography using a tension lysimeter. — *Canadian Journal of Soil Science* 52: 375–391.
- Brække, F. H. 1980: Ionetransport og svovelomsetning i torvmark. II. Jord- og vannkemiske forhold i torvmarksområder på

- Sorlandet. — SNSF-project IR 60/81: 1–86.
- Brække, F. H. 1981a: Hydrochemistry of high altitude catchment in South Norway. 2. Water chemical gradients inside a catchment. — *Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning* 36(9):1–39.
- Brække, F. H. 1981b: Hydrochemistry in low-pH-soils of South Norway. 1. Peat and soil water quality. — *Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning* 36(11):1–32.
- Clymo, R. S. 1964: The origin of acidity in Sphagnum bogs. — *The Bryologist* 67: 427–431.
- Ervio, R. 1975: Kyrönjoen vesistöalueen rikkipitoiset viljelysmaat. — *Maataloustieteellinen Aikakauskirja* 47:550–561.
- Gorham, E. 1956a: The ionic composition of some bog and fen waters in the English Lake District. — *Journal of Ecology* 44:142–152.
- Gorham, E. 1956b: On the chemical composition of some waters from the Moor House Nature Reserve. — *Journal of Ecology* 44:375–382.
- Gorham, E. & Cragg, J. B. 1960: The chemical composition of some bog waters from the Falkland Islands. — *Journal of Ecology* 48:175–181.
- Gorham, E., Eisenreich, S. J., Ford, J. & Santelmann, M. V. 1985: The chemistry of bog waters. — *Teoksessa: Stumm, W. (toim.), Chemical processes in lakes. Wiley, New York: 339–363.*
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983: Nutrient analysis methods. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 121:1–28.
- 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.
- Huikari, O., Muotiala, S. & Wäre, M. 1964: Ojitusopas. 2. painos. — Helsinki. 244 s.
- Kivinen, E. 1933: Suokasvien ja niiden kasvu-alustan kasvinravintoainesuhteista. (Referat: Untersuchungen über den Gehalt an Pflanzennährstoffen in Moorplanzen und an ihren Standorten.) — *Acta Agraria Fennica* 27:1–140.
- Lehtonen, I., Westman, C. J. & Kellomäki, S. 1976: Ravinteiden kierto eräässä männikössä: I Kasvillisuuden ja maaperän ravinnepitoisuuksien vaihtelu kasvukauden aikana. — *Silva Fennica* 10:182–197.
- Nieminen, M. & Pätälä, A. 1990: Karujen rämeiden luokittelu pintakasvillisuuden ja ravinnetunnusten avulla. (Summary: Classification of oligotrophic pine mires on the basis of ground vegetation and fertility parameters.) — *Folia Forestalia* 749:1–29.
- Pätälä, A. & Nieminen, M. 1990: Turpeen emäsravinne- ja rikkittase karuilla ojitetuilla rämeillä laskeuma huomioon ottaen. (Summary: Base cation nutrients and sulphur status of drained oligotrophic pine mires considering the atmospheric input.) — *Folia Forestalia* 759:1–16.
- Sallantaus, T. 1986: Soiden metsä- ja turvetalouden vesistövaikutukset. Kirjallisuuskatsaus. — *Maa- ja metsätalousministeriön luonnonvarainjulkaisuja* 11:1–203.
- Sjörs, H. 1950: On the relation between vegetation and electrolytes in North Swedish mire waters. — *Oikos* 2:241–258.
- Starr, M. R. 1985: Variation in the quality of tension lysimeter soil water samples from a Finnish forest soil. — *Soil Science* 140: 453–461.
- Starr, M. R. & Laine, J. 1988: Interactions among peat properties, nutrient contents and water chemistry at Lakkasuo mire, Central Finland. — *Proc. 8th Int. Peat Congress, Leningrad, USSR, 1988. Section IV: 140–148.*
- Tolonen, K. 1974: Suomen keidassuovesien ravinteista. (Summary: On the nutrient content of surface water in ombrotrophic mire complexes in Finland.) — *Suo* 25: 41–51.
- Tolonen, K. & Hosiaisuus, V. 1978: Chemical properties of surface water in Finnish ombrotrophic mire complexes with special reference to algal growth. — *Annales Botanici Fennici* 15:55–72.
- Tolonen, K. & Seppänen, P. 1976: Comparison of ombrotrophic and minerotrophic mire waters in Finland. — *Proc. 5th Int. Peat Congress, Poznan, Poland, 1976. Section II: 73–89.*
- Wieder, R. K. 1985: Peat and water chemistry at Big Run Bog, a peatland in the Appalachian mountains of West Virginia, USA. — *Biogeochemistry* 1:277–302.
- Witting, M. 1947: Katjonbestämningar i myrvatten. — *Botaniska Notiser* 100: 287–304.
- Witting, M. 1948: Preliminärt meddelande om fortsatta katjonbestämningar i myrvatten sommaren 1947. — *Svensk Botaniska Tidsskrift* 42:1–116.

SUMMARY:

GROUNDWATER QUALITY AND ITS RELATIONSHIP TO PEAT CHEMICAL PROPERTIES ON DRAINED PINE MIRES

The aims of the research were to describe the variation in the nutrient concentrations of groundwater from oligotrophic pine mires and to elucidate any relationship between the nutrient status of surface peat and the groundwater.

The study was carried out on 29 drained plots, which were selected from the 8th National Forest Inventory network. The plots were selected on the basis of peatland site type (cotton-grass, dwarf-shrub, low-sedge and high-sedge pine mires — see Huikari 1952, Huikari et al. 1964), peat thickness (> 50 cm) and the location of the plot (see Fig. 1). Peat samples were taken in the summer of 1986 for the determination of pH (H₂O) and total nutrient concentrations (for methods, see Halonen et al. 1983).

Groundwater samples were taken during the snowless period of 1986 and 1987 at approximately monthly intervals. On each sampling occasion, water samples were taken from ten wells in each plot and combined to give a single sample for analysis. In addition, the depth from the mire surface to the groundwater table was measured. The groundwater samples were filtered, pH measured and analysed for P, K, S, Ca, Mg, Mn, Fe, Al, Zn, Na and B by inductively coupled plasma emission spectrophotometry (ICP, ARL 3580). NH₄⁺-N was determined by flow injection analysis (FIA). Once on two plots in each of the three geographical sample plot groups the within-plot samples were not combined, but analysed separately in order to describe the amount of within-plot variation in groundwater quality.

Groundwater pH and concentrations of calcium, magnesium, manganese, iron and

sodium were higher in sites of higher fertility (Table 1). The concentrations of the other nutrients did not differ significantly between the site types. The results from 5 of the plots are excluded from Table 1. Two of these five were located on mires in a region of acid sulphate mineral soils and three on mires that had been fertilized. In the case of the plots from the acid sulphate region, the concentrations of sulphur, calcium, magnesium, manganese and iron were 5 to 10 times greater than the average concentrations presented in Table 1. The concentrations of ammonium, phosphorus, boron and potassium from the three fertilized plots (NH₄⁺-N 4.1 mg l⁻¹, K 2.5 mg l⁻¹, P 0.5 mg l⁻¹, B 0.046 mg l⁻¹) were higher than those of corresponding nonfertilized plots (Table 1).

Groundwater concentrations of calcium, magnesium, manganese, aluminium and iron showed little variation during the study period (Fig. 2g–2k). The other nutrients and depth-to-groundwater, in contrast, showed large seasonal and between-year variation. The observed variation in the concentrations of nutrients in the groundwater may be related to many factors. For example, variation in plant nutrient uptake and leaching, oxidizing/reducing conditions in peat and mineralisation during the study period may all be expected to have an effect. For the 6 plots studied in detail, the within-plot variation was very large for ammonium (CV=33–88%), phosphorus (CV=34–200%), potassium (CV=83–218%) and boron (CV=35–110%) (Table 2).

The relationship between the nutrient concentrations in the groundwater and the corresponding nutrient in the surface peat were investigated by correlation analysis

(Table 3). Concentrations of aluminium, iron, calcium and magnesium in the groundwater were strongly and positively correlated with their respective concentra-

tions in peat. Because of the large seasonal and/or within-plot variation in groundwater concentrations, correlations for the other nutrients were low.

Received 20. IX. 1991

Approved 2.XII. 1991

KORJAUS

Suo-lehdessä 42(3-4), s. 86 oli uutinen IPS:n toimiston siirtymisestä Jyväskylään. Puhelinnumero oli kuitenkin väärä. Alla oikeat tiedot:

International Peat Society
Kuokkalantie 4
40420 Jyskä

puh. 941-674 042
fax 941-677 405