

KIMMO TOLONEN

MITÄ SUOARKISTOT VOIVAT MEILLE TULEVAISUUDESSA KERTOA?

What would be the significance of peat archives in the future?

Tolonen, K. 1989: Mitä suoarkistot voivat meille tulevaisuudessa kertoa? (Abstract: What would be the significance of peat archives in the future?) — *Suo* 40:129-135. Helsinki. ISSN 0039-5471

An attempt is made to predict the progress of mire palaeoecological research in the near future. The prognosis is made in the light of recent advances in the field. Examples of some multi-faceted topics are given. They include ancient climatic changes for understanding the present changes, the greenhouse-effect, problems and new innovations in dating, organic pollutants such as PAHs and DDT, heavy metals and related air pollutants, man-made radionuclides, initiation of peatlands, peat growth, and fire history.

Keywords: Carbon balance, dating, fire, DDT, global warming, heavy metals, PAHs

K. Tolonen, Department of Biology, University of Joensuu, P.O. Box 111, SF-80101 Joensuu, Finland

JOHDANTO

Suokerrostumia on tieteellisessä mielessä tutkittu jo lähes 200 vuotta. Aika ajoin on tutkimus tällä suotieteen keskeisellä alueella, joka sai alkunsa Sveitsissä ja Saksassa, ollut hyvinkin vilkasta ja tuottoisaa. Tämän vuosisadan alku oli yksi sellainen kulta-aika. Silloin "keksittiin" mm. siitepölyanalyysi ja jo ennen sitä selvitettiin ansiokkaasti suokerrosten makrofossiileja ja piileviä. Näin saatiin käsitys sekä soiden oman kehityksen että jääkaudenjälkeisten kasvillisuus- ja ilmastovaiheiden pääpiirteistä. Erittäin hyvä aiheen kirjallisuuskatsaus on Overbeckin (1975) teoksessa. Vaikka myöhemmät menetelmälliset keksinnöt ovat tarkentaneet ja monessa kohti muuttaneetkin tätä kuvaa, useat suotieteen

keskeiset käsitteet ja oivallukset ovat ikivanhoja.

Luonnontieteiden ja tekniikan nopea kehitys viime vuosikymmeninä on avannut uusia mahdollisuuksia suokerrostumien käyttämisessä historiallisena arkistona. Viimeaikaisen alan kehityksen valossa yrittän seuraavassa arvioida, mitä antia turvearkistoista voitaisiin lähiaikoina odottaa ja toisaalta mihin pitäisi erikoisesti panostaa. Tulemme huomaamaan, että luonnossa "kaikki liittyy kaikkeen", niin kuin vanha kiinalainen viisaus tietää. Perimmäinen liittymäkohta on biosfäärin tulevaisuus, jonka ennusteiden laatimiseen turvearkistoista saadaan ainutlaatuista aineistoa.

MUINAISTEN ILMASTONMUUTOSTEN SANOMA

Kvartaarikautisen menneisyyden valossa elämme jäätiköitymisten välisen eli interglasiaalikauden loppuvaihetta. Viime vuosina on Suomestakin tavattu moreenin alta viimeistä jäätiköitymistä (Würm eli Veiksel-vaihe) edeltäneen Eem-interglasiaalin kerrostumia yli 100 000 vuoden takaa. Eem-vaihe kesti noin 10 000 vuotta. Reilusti sen verran aikaa on kulunut jään perääntymisestä Salpausseliltä, ja tämän analogian mukaisesti uusi jäätiköityminen voisi olla piakkoin odotettavissa. Paleoeekologisten todisteiden mukaisesti kaikkien tähänastisten interglasiaalien ilmastokehitys on ollut suurinpiirtein samanlainen. Sen mukaisesti olemme niinkään lähellä nykyisen interglasiaalikauden loppua.

Viimeistään 5 000 vuotta sitten ohitettiin jääkauden jälkeinen lämpöoptimi, jolloin pähkinäpensas kasvoi Jalasjärvellä ja Multialla ja vesipähkinä (*Trapa natans*) Evijärvellä ja Siilinjärvellä. Männyn metsänraja oli silloin Lapissa noin 100 km nykyistä pohjoisempana ja tuntureilla nykyistä ylempänä, mikä merkitsi 2–3°C nykyistä korkeampia kesän keskilämpötiloja. Itä-Suomen soiden hyvin maatuneet turvekerrokset ovat niinkään perua tältä lämpökaudelta. On odotettavissa, että ennen pitkää tämän lämpökauden pikkupiirteistä ilmaston kulkua päästään jäljittämään männyn dendrokronologian keinoin vuoden ja vuodenaikojen tarkkuudella.

Suoliekojen ja veden alle hukkuneiden metsien avulla on jo Suomeen laadittu muutamia "kelluvia" männyn dendrokronologian osia, jotka siten ovat vanhempia kuin yli 600 vuoden taakse nykyisyydestä ulottuva lustokalenteri (Zetterberg & Meriläinen 1988). Kelluvat kronologiat on ajoitettu ¹⁴C-menetelmällä, mutta siihen liittyvät tilastolliset (todelliset) virherajat ovat useita satoja vuosia. Koko jääkauden jälkeisen mäntymetsien historian kattava yhtämittainen vuosilustojen sarja on yksi paleoeekologisen turvetutkimuksen tämän

hetken suurista haasteista, jonka tärkeys selviää seuraavan kysymyksen yhteydessä.

KASVIHUONEILMIÖ JA TURVEARKISTOT

Hiilidioksidin ja muiden ns. kasvihuonekaasujen lisääntymisen aiheuttama ilmaston muutoksen uhka on nykyisin yleisesti mainittu tieteellinen ennuste. Historiallisten ja esihistoriallisten ilmastovaihteluiden ja niiden syiden ymmärtäminen on silloin tarpeen. Yksi tässä yhteydessä esitetty tekijä on erilaisen kasvipeitteen ja avoimen maan osuus eri aikakausina, koska sillä on suuri merkitys ilman kiertoilmeisiin albedon erojen perusteella.

Riittävän suurista ja aukeista soista tehdyt siitepölyanalyysit edustavat alueellista siitepölysadetta. Siitä voidaan nykyisin laskennallisesti määrittää eri puulajien latvuspeittävyys tietyllä säteellä tutkimuskohdan ympärillä ja näytteen edustamana aikana. Turpeilla (nimenomaan rahkaturpeilla) on eräitä etuja paljon käytettyihin järvisedimentteihin nähden siitepölyarkistoina. Ensiksikin turpeiden ajoittaminen radiohiilimenetelmällä on luotettavampaa kuin tavanomaisten sedimenttien, joita räsittävät monet mm. aineksen alloktionisesta luonteesta johtuvat virhelähteet. Toisaalta turpeesta saatava siitepölytieto on täsmällisempää kuin sedimenttien (poislukien vuosilustoiset liejut) "pyörinyt" keskiarvotieto. Nykyinen tietotekniikka mahdollistaa valtaviin siitepöly- ja kasvillisuusaineistojen samanaikaisen käsittelyn ja muokkaamisen esim. muinaisiksi kasvillisuuskartoiksi. Tällä linjalla päästään varmasti tulevaisuudessa entistä pitävämmälle tulkintapohjalle.

Mikä on soiden ja turvekerrostumien osuus maapallon hiilitaseeseen? Suokasvien yhteyttämistoiminta sitoo ilmakehän hiilidioksidia, jota hengityksessä ja hajoituksessa taas vapautuu. Sen lisäksi vapautuu joskus runsaastikin toista tärkeää kasvihuonekaasua, metaania. Kaasunvaihto-

mittauksin on päädytty arvioon, että meikäläisiin soihin kertyy keskimäärin hiiltä noin 25 g neliömetrille vuodessa (Silvola 1987), jolloin jos kaikki suomme olisivat luonnontilassa, ne pystyisivät sitomaan 20–30% Suomessa poltetun fossiilisen polttoaineen hiilestä. Samoissa tutkimuksissa on laskeskeltu, että ojituksen aiheuttama hajotuksen kiihtyminen voi johtaa niin voimakkaaseen hiilenkarkaamiseen ilmakehään, että se voi olla kymmenkertainen turpeen kerrostumisessa sitoutuvaan hiileen verrattuna.

Nykyinen soiden hyötykäyttö onkin tehnyt niistä laskelmien mukaan jo globaalisen hiilenlähteen, jolloin luonnontilaiset suot pystyvät sitomaan hiiltä vähemmän kuin mitä soiden kuivatus ja turpeen poltto yhdessä tuottavat.

Turpeen hajoaminen ei kuitenkaan rajoitu vain suon pinnalle, vaan jatkuu suhteellisen voimakkaana läpi koko hapekkaan suon pintaosan eli ns. akrotelman. Tämän seikan huomioonottaminen tuo mukanaan paleoekologisen näkökulman. Turvearkistojen avulla voidaan varmimmin tutkia myös sitä yllättävää väitettä, että useimmat keidassuot ovat saavuttaneet nykyisin vaiheen, jossa turpeen nettokasvua ei enää tapahdu (Damman 1988). Akrotelman pohjaosista onkin paleoekologisin menetelmin saatu hajoamatta säilyneen kasvimassan määräksi jopa vain muutamia prosentteja suon pinnalla alunperin tuotetusta (Tolonen ym. 1988). Tulos on saatu yksinkertaisella laskutoimituksella: turvekertymä = kerrostumisnopeus \times turpeen tiheys (= ent. kuivatilavuuspaino). Periaate on erittäin käyttökelpoinen myös ravinteiden ja muiden aineiden taseita tarkasteltaessa suoekosysteemeissä (Pakarinen 1981a). Menetelmässä on kuitenkin vakavia virhelähteitä ja heikkouksia, joita pitäisi tulevaisuudessa päästä vähentämään.

AJOITUSONGELMIA

Jos turpeen ajoittaminen tehdään radiohiilimenetelmällä, syväjuuristen kasvien ku-

ten lakan, variksenmarjan ja suokukan hienojuurien kärkiin siirtyvät ja niistä erittyvät yhteyttämistuotteet nuorentavat systemaattisesti turpeen ^{14}C -ajoituksia. Näin akrotelman alarajan ajoittaminen on jäänyt usein varsin epävarmaksi, varsinkin kun radiohiilijajoitusta 0–400 vuotta nykyajasta taaksepäin haittaavat suuresti myös kaksi muuta virhelähdettä: toisaalta fossiilisten polttoaineiden aiheuttama ilman epänormaali ^{14}C : ^{12}C suhde ja toisaalta ydinräjäytysten aiheuttamat häiriöt.

Turvepatsaita on jonkin verran ajoitettu myös lyijy-210 menetelmällä (esim. El-Daoushy ym. 1982). Se ulottuu suhteellisen tarkkana noin 100 vuotta ja kaikkiaan vain n. 150 vuotta taaksepäin. Radiohiili- ja radiolyijyajoitusmenetelmien käyttöalueiden väliin jää siis useamman sadan vuoden pituinen jakso, johon ei ole kunnan ajoituskeinoa.

UUDET AJOITUSKEINOT

Yleisesti on päädytty arvioimaan, että akrotelman alarajan ikä on vähintään noin 150 vuotta (esim. Malmer & Holm 1984). Viime aikoina on kehitelty kahta ajoitusmenetelmää tämän ikäisten ja vanhempienkin turvekerrostumien ajoittamiseen. Toisessa määritetään ensin siitepölyhiukasten konsentraatio, toisessa happoon liukenemattoman tuhkan (= mineraalipölyn) pitoisuus tilavuusyksikössä turvetta. Olettamalla siitepölyjen vuosikertymä vakioksi (Middeldorp 1982), tai mineraalipölyn vuo turpeeseen vakioksi (Fitzgerald 1986), voidaan laskea näytteiden kerrostumisaika, kun sitä ennen on määritetty mainittujen komponenttien nykyiset vuosikertymät suon pinnalle. Maamme oloissa menetelmien vakiovuon perusedellytys täyttyy tarkkaan ottaen tuskin muualla kuin kaukaisilla erämaa-alueilla, jotka sijaitsevat muinaisen kasviviljelyn ja muun maankäytön ulkopuolella.

ORGAANISET YMPÄRISTÖMYRKYT

Hydrofobiset orgaaniset ympäristömyrkyt kuten DDT ja PCB ovat sitoutuneet tiukasti turpeen orgaaniseen ainekseen ja voidaan luotettavasti jäljittää turvekerrostuksista. Pohjois-Amerikassa niiden alueellinen ja ajallinen esiintyminen turpeissa näyttää vastaavan todennäköisiä laskeumarvoja edellyttäen, että tulokset esitetään pitoisuusarvojen sijasta vuosikertyminä (Eisenreich ym. 1984). Tämän tapaista tutkimusta kannattaisi meilläkin tehdä, koska sedimenttikertymiä rasittavat eräät virhelähteet, joista tarkemmin tuonnempana.

Monet monirenkaisista, aromaattisista hiilivety-yhdisteistä (ns. PAH-aineet) ovat pahoja syöpää ja perimän vaurioita aiheuttavia ympäristömyrkyjä. Ilmakehään joutuvien PAH-yhdisteiden pääasiallinen lähde on eri polttoaineiden tms. (etenkin kivihiihen) poltto. Koska nämä yhdisteet ja niiden vaarallisuus on "keksitty" vasta viime vuosikymmeninä, niiden aikaisempaa esiintymistä on pyritty selvittämään järvien ja jokien pohjasedimenteistä. Suomessa sellainen on Wickströmin ja Tolosen (1987) julkaisema tutkimus pienten metsäjärvien sedimenteistä. Niissä PAH-kertymät alkoivat selvästi nousta jo 1850-luvulta lähtien ja nousu kiihtyi suuresti sotien jälkeen. Eri kohteiden välillä oli hyvin suuria kertymän eroja.

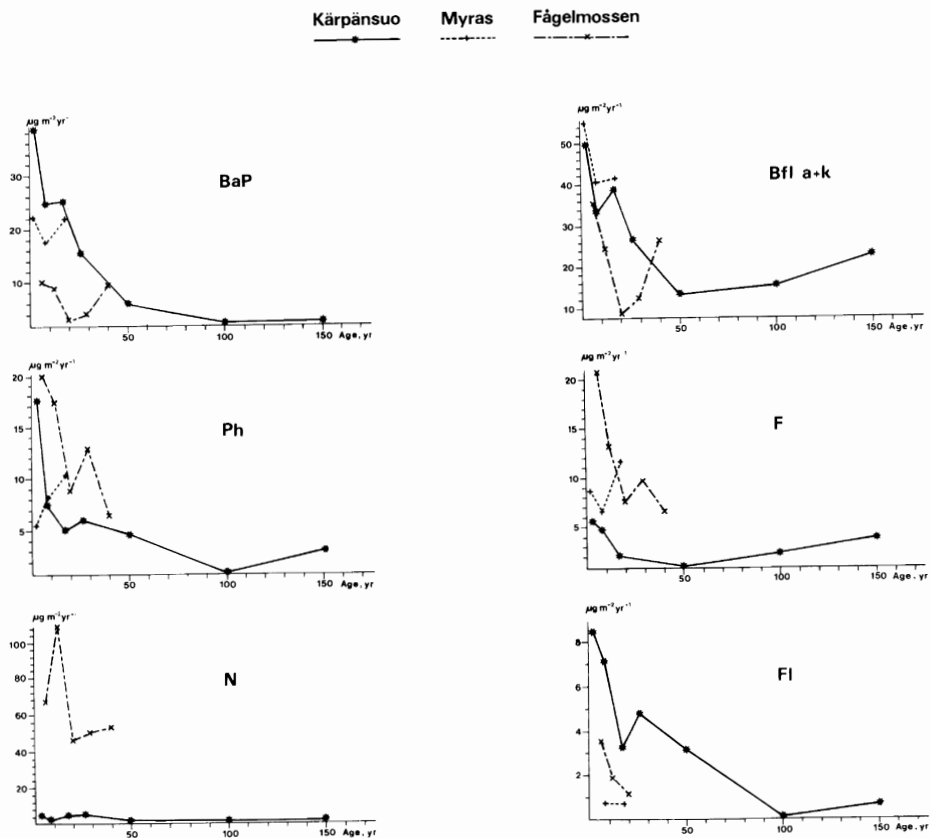
Tulosta haluttiin kontrolloida ajoitettuja pintaturvepatsaista tehdyin analyysien. Monien ihmisperäisten PAH-yhdisteiden kertymät (ja pitoisuudet) lisääntyvät soissa vasta viimeksikuluneiden 20–50 vuoden aikana (kuva 1) ja ovat noin yhtä kertaluokkaa pienemmät kuin useimmissa tutkituissa järvissä. Ero johtuu ainakin osaksi siitä, että järvisyvänteet toimivat suppilon tavoin koko valuma-alueelta lähtöisin olevan aineksen rikastajina. Ajoitusten ero saattaa johtua menetelmällisistä heikkouksista kyseisten järvisedimenttien kairaamisessa ja ajoittamisessa lyijy-210 isotoopin avulla.

RASKASMETALLIT

Alkuaineiden analysointitekniikan ja turvemaiden fysikaalisten tutkimusmenetelmien kuten radioaaltotutkan ja suosondin (Tiuri ym. 1983) kehittyminen sekä näiden tulosten vertaamisen mahdollistava tietotekniikka tehnevät ajankohtaiseksi ottaa uudelleen tutkittavaksi turpeen ja pintakasvillisuuden käyttämisen geokemiallisessa malminetsinnässä. Alalla on Suomessa vankat perinteet (Salmi 1955, 1967 ja sen kirjallisuus, Yliuokanen 1976).

Myös ilmaperäisten raskasmetallisaasteiden alueellisen levinneisyyden kartoittamiseen on osoitettu rahkasoiden pintaturpeiden sopivan hyvin (mm. Salmi 1969, Pakarinen & Tolonen 1976, Pakarinen 1981a, b, Malmer 1988). Sateen varassa elävän suon pintakerroksen raskasmetallikertymät ovat hyvin vastanneet samojen ajanjaksojen laskeumatietoja ja noin vuosikymmenen välein tehdyt uusintänäytteenotot laskeumissa tapahtuneita muutoksia (esim. Pakarinen 1981, Pakarinen 1983). Turvepatsaiden päällekkäistä näytteistä ei sen sijaan voida tarkasti jäljittää esim. lyijyn tai sinkin laskeumien historiaa, koska pieni osa lyijystä ja usein huomattava osa sinkistä huuhtoutuu (esim. Pakarinen & Tolonen 1977a, Norton & Kahl 1987). Ajoitus- ja analyysimenetelmien parantuessa tätäkin tutkimushaaraa kannattaa jatkaa.

Oivalliseksi keinoksi teollistumisen historian seuraamiseen ajoitettuja turvepatsaista on löytynyt sekundaarisesti magnetoituneiden hiukkasten mittaaminen (Oldfield ym. 1981, Tolonen & Oldfield 1986). Hiukkaset kantavat hyvin pysyvää isotermaalista jäännösmagnetismia, joka on syntynyt fossiilisia polttoaineita (etenkin kivihiihtä) poltettaessa. Samoista lähteistä ja edellisiin liittyen luontoon on satanut myös pyöreitä nokipallosia, jotka elektronimikroskooppisesti voidaan varmuudella tunnistaa. Mikäli ne voidaan kätevästi preparoida esille turpeen kasvijäännösten ja humusaineitten joukosta, nii-



Kuva 1. Kuuden PAH-yhdisteen vuosikertymät kolmen eteläsuomalaisen rahkasuon ajoitetuissa pinta-kerroksissa: Kärpänsuo, Kuhmoinen, Myras, Sipoo ja Fågelmossen, Porvoon mlk. BaP = bentso(a)pyreeni, Ph = fenantreeni, N = naftaleeni, Bfl a + k = bentsofluoranteenit b ja k, F = fluoranteeni, Fl = fluoreni. K. Tolosen ja K. Wickströmin julkaisemattomien tulosten mukaan.

Fig. 1. Annual net accumulation of six PAH-compounds in dated peat cores from three ombrotrophic bogs in South Finland: Kärpänsuo, Myras and Fågelmossen. BaP = Benzo(a)pyrene, Ph = Phenanthrene, N = Naphthalene, Bfl a + k = Sum of Benzo(a) and (k) fluoranthenes, F = Fluoranthene, Fl = Fluorene. According to unpublished results by K. Tolonen and K. Wickström.

den laskeminen kerroksista tarjoaisi uuden epäsuoran turpeen ajoittamiskeinon. Edellytyksenä on, että niiden määrän historiallinen kehitys saadaan joko päästötiedoista tai niiden kertymätrendit määritetään vuosilustoista sedimenteistä (Renberg & Wik 1983).

IHMISPERÄISET RADIONUKLIDIT

Tähänastiset tutkimukset viittaavat siihen, että ihmisperäisten radionuklidien kuten ydinkokeista ja ydinvoimaloista peräisin olevien radiokesiumin (^{137}Cs) ja plutoniu-

min isotooppien (239 , ^{240}Pu) esiintyminen turvepatsaissa ei ensinkään vastaa niiden laskeumaa. Edellinen näyttää pääosaltaan rikastuvan ja pysyvän aivan suon pintakerroksessa, jälkimmäinen taas huuhtoutuvan alaspäin ja rikastuvan akrotelman alaosaan tai alapuolelle (esim. Pakarinen & Tolonen 1977b, Oldfield ym. 1979).

SOIDEN SYNTY JA TURPEEN KASVU

Moniin soiden kehitykseen liittyviin kysymyksiin voidaan tulevaisuudessa suoarkis-

toista saada nykyistä täydellisemmät vastaukset. Tässä yhteydessä on mahdollista ottaa esille vain pari esimerkkiä. Erilaisen sienijäännösten ja muiden aikaisemmin "mysteerioksi" siitepölytutkijoille jääneiden mikrofossiilien kuvaaminen ja niiden ekologian selvittäminen luo mahdollisuuksia tarkempaan menneisyyden tulkitsemiseen (Huikari 1956, van Geel 1986). Hämästyttävän huonosti meillä tunnetaan suon synnyn ja laajuuskasvun tarkka ajoittaminen. Olemme tyytyneet suurpiirteiseen ajoittamiseen tai konnektointiin siitepölyanalyysin avulla käyttäen esim. kuusen siitepölyrajaa kiinnekohtana (Lukkala 1933). Pohjimmaisena turpeen ajoittaminen monista pisteistä altaan eri osista voi muuttaa perusteellisesti aikaisemmillä keinoilla saatuja käsityksiä (Foster ym. 1988).

Radiohiiliajoitusmenetelmän kehitys

(esim. pienemmät näytteet jne) mahdollistaa jatkossa turpeen korkeuskasvun entistä tarkemman määrittämisen. Tällä on merkitys mm. turpeen kasvumallien testaamisessa.

KULOJEN JA KASVILLISUUDEN DYNAMIIKKA

Monista jäljellä olevista aihepiireistä mainittakoon lopuksi turvearkistojen erinomaiset mahdollisuudet pikkupiirteissään seurata vuosituhansien ajalta sekä ympäristöä että kairauspaikan palohistoriaa ja kasvillisuuden dynamiikkaa mikroskoopipisten hiilihiukkasten ja siitepölyjen avulla. Menetelmä tietysti edellyttää näytepatseen yhtämittaista analysointia varsin ohuista siivuista (Mehringner ym. 1977, Wein ym. 1987).

KIRJALLISUUS

- Damman, A.W.H. 1988: Regulation of nitrogen removal and retention in Sphagnum bogs and other peatlands. — *Oikos* 51:291–305.
- El-Daoushy, F., Tolonen, K. & Rosenberg, R. 1982: Lead 210 and moss-increment dating of two Finnish Sphagnum hummocks. — *Nature* 296 (No. 5856): 429–431.
- Eisenreich, S.J., Rapaport, R., Urban, N., Cappel, P., Looney, B. & Baker, J. 1984: Accumulation and processing of chlorinated hydrocarbons in lake and bog sediments: relationship to atmospheric deposition. — Teoksessa: Norton, S. (toim.), Proceedings of a workshop on paleolimnological studies of the history and effects of acid precipitation. Rockland, Maine May 23–25, 1984: 387–408.
- Fitzgerald, M. 1986: Dating developmental changes in recent ombrotrophic peat deposits by the accumulation of acid insoluble ash. — M.s. Thesis, Univ. of Connecticut, Storrs.
- Foster, D.R., Wright, H.E. Jr., Thelaus, M. & King, G.A. 1988: Bog development and landform dynamics in Central Sweden and South-Eastern Labrador, Canada. — *J. Ecol.* 76: 1164–1185.
- Huikari, O. 1956: Primäärinen soistumisen osuudesta Suomen soiden synnyssä. (Ref. Untersuchungen über den Anteil der primären Versumpfung an der Entstehung der finnischen Moore.) — *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 46(6):1–79.
- Lukkala, O.J. 1933: Tapahtuuko nykyisin metsämaan soistumista. (Referat: Vollzieht sich gegenwärtig Versumpfung von Waldböden). — *Comm. Inst. Forest. Fenniae* 19(1):1–127.
- Malmer, N. 1988: Patterns in the growth and the accumulation of inorganic constituents in the Sphagnum cover on ombrotrophic bogs in Scandinavia. — *Oikos* 53:105–120.
- Malmer, N. & Holm, E. 1984: Variation in the C/N-quotient of peat in relation to decomposition rate and age determination with ²¹⁰Pb. — *Oikos* 43:171–182.
- Mehringner, P.J., Arno, S.F. & Petersen, K.L. 1977: Postglacial history of Lost Trail Pass Bog, Bitterroot Mountains, Montana. — *Arctic and Alpine Research* 9:345–368.
- Middeldorp, A.A. 1982: Pollen concentration as a basis for indirect dating and quantifying net organic and fungal production in a peat bog ecosystem. — *Rev. Palaeobot. Palynol.* 37: 225–282.
- Norton, S.A. & Kahl, J.S. 1987: A comparison of lake sediments and ombrotrophic peat depo-

- sits as long-term monitors of atmospheric pollution. — Teoksessa: Boyle, T.P. (toim.), New approaches to monitoring aquatic ecosystems. ATM STP 940. American Society for Testing and Materials, Philadelphia:40-57.
- Oldfield, F., Appleby, P.G., Crambray, R.S., Eakins, J.D., Barber, K.E., Battarbee, R.W., Pearson, G.R. & Williams, J.M. 1979: ^{210}Pb , ^{137}Cs and ^{239}Pu profiles in ombrotrophic peat. — *Oikos* 33:40-45.
- Oldfield, F., Tolonen, K. & Thompson, R. 1981: History of particulate atmospheric pollution from magnetic measurements in dated Finnish peat profiles. — *Ambio* 10:185-188.
- Overbeck, R. 1975: *Botanischgeologische Moor-kunde*. — 719 pp. Wachholtz.
- Pakarinen, P. 1981a: Ravinteiden pidättyminen kohosoiden hapettomiin turvekerroksiin. (Summary: Anaerobic peat as a nutrient sink in raised bogs). — *Suo* 32:15-19.
- Pakarinen, P. 1981b: Metal content of ombrotrophic Sphagnum mosses in NW Europe. — *Ann. Bot. Fennici* 18:281-292.
- Pakarinen, P. & Tolonen, K. 1976: Regional survey of heavy metals in peat mosses (Sphagnum). — *Ambio* 5:38-40.
- Pakarinen, P. & Tolonen, K. 1977a: Distribution of lead in Sphagnum fuscum profiles in Finland. — *Oikos* 28:69-73.
- Pakarinen, P. & Tolonen, K. 1977b: Pintaturpeen kasvunopeudesta ja ajoittamisesta. (Summary: On the growth-rate and dating of surface peat). — *Suo* 28:19-24.
- Pakarinen, P., Tolonen, K., Heikkinen, S. & Nurmi, A. 1983: Accumulation of metals in Finnish raised bogs. — Teoksessa: Hallberg, R. (toim.), *Environmental Biogeochemistry*, *Ecol. Bull.* 35:377-382.
- Renberg, I. & Wik, M. 1985: Soot particle counting in recent lake sediments; an indirect dating method. — *Ecol. Bull.* 37:53-57.
- Salmi, M. 1955: Prospecting for bog-covered ore by means of peat investigations. — *Bull. Comm. Géol. Finl.* 169:1-34.
- Salmi, M. 1967: Peat in prospecting applications in Finland. — Teoksessa: Kvalheim, A. (toim.), *Geochemical prospecting in Fennoscandia*: 113-125.
- Salmi, M. 1969: Tienvarsien saastuminen Suomessa. [Contamination of roadsides in Finland]. — *Terra* 81:229-233.
- Silvola, J. 1987: Ilmakehän CO_2 -pitoisuuden nousu, syitä ja seurauksia (The rise of the CO_2 -concentration of the atmosphere, causes and consequences). — *Aquilo ser. Bot.* 25: 82-88.
- Tiuri, M., Toikka, M., Marttila, I. & Tolonen, K. 1983: The use of radio wave probe and sub-surface interface radar in peat resource inventory. — *Proc. Symp. IPS Commission I, Aberdeen, Scotland*: 131-143.
- Tolonen, K. & Oldfield, F. 1986: The record of magnetic-mineral and heavy metal deposition of Regent Street Bog, Fredricton, New Brunswick, Canada. — *Physics Earth Planetary Interiors* 42:57-66.
- Tolonen, K., Davis, R.B. & Widoff, L.S. 1988. Peat accumulation rates in selected Maine peat deposits. — *Maine Geological Office, Bulletin* 33:1-93.
- van Geel, B. 1986: Application of fungal and algal remains and other microfossils in palynological analyses. — Teoksessa: Berglund, B.E. (toim.), *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*: 497-505. John Wiley & Sons Ltd.
- Wein, R.W., Burzynski, M.P., Sreenivasa, B.A. & Tolonen, K. 1987: Bog profile evidence of fire and vegetation dynamics since 3 000 years BP in the Acadian forest. — *Can. J. Bot.* 65:1180-1186.
- Wickström, K. & Tolonen, K. 1987: The history of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and perylene as recorded in dated lake sediments. — *Water, Air and Soil Pollution* 32:155-175.
- Ylirokanen, I., 1976: Heavy metal distribution and their significance in Finnish peat bogs. — *Proc. 5th Int. Peat Congress (Poznan, Poland)* 2:276-283.
- Zetterberg, P. & Meriläinen, J. 1988: Männyn ajantieto — puulustot kertovat [The pine chronicle — treerings as a source of ecological, environmental and historical information]. — *Luonnon Tutkija* 92:169-173.

Received 2.III.1989

Approved 20.III.1989