

Soistumisdynamiikka, soiden hiilitase ja ilmaston muutos

ATTE KORHOLA

Suomen Akatemia; Maantieteen laitos, Luonnonmaantieteen laboratoriot, Helsingin yliopisto



Korhola, Atte (1994). Soistumisdynamiikka, soiden hiilitase ja ilmaston muutos (The dynamics of mire formation in relation to carbon accumulation and climate change). Terra 106: 3, pp. 209–215.

Peatlands in their natural state are net accumulators of organic carbon and thus an important component of the global carbon cycle. Knowledge of general ecosystem dynamics, climatic controls, and rate of long-term peat accumulation are necessary for understanding and modelling the carbon cycle in mire environments. Here the role of different environmental factors in the process of carbon accumulation in peatland ecosystems is discussed. Examination of the formation and dynamics of an entire mire ecosystem, and the role of carbon in it is shown to be essential, instead of just making single-core analyses. Along vertical mire growth, the lateral expansion of mires in different time periods, for example, should be considered when calculating the long-term rates of carbon accumulation.

Atte Korhola, Department of Geography, Laboratory of Physical Geography, P.O. Box 9 (Siltavuorenpengert 20 A), FIN-00014 University of Helsinki, Finland.

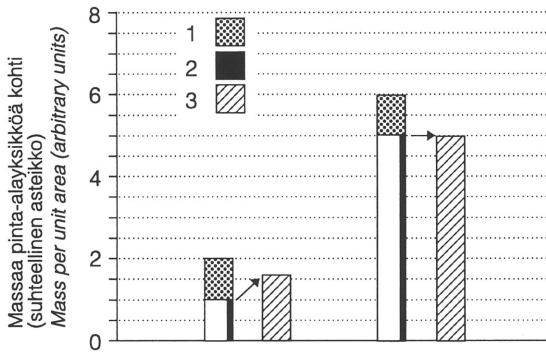
Suoekosysteemiä pitää yllä tuotannon ja hajotuksen epätasapaino: noin 7.5 % vuosittain soilla tuotetusta biomassasta kerrostuu turpeeksi eikä näin ollen palaa takaisin hiilen ja ravinteiden kiertoon (Gorham 1991; Gorham & Janssens 1992). Tämä tekee luonnontilaisista soista sekä merkittävän hiilivaraston että ilmakehän hiilidioksidin nettoliuon (Gorham 1991; Gorham & Janssens 1992). Yksistään boreaalisen vyöhykkeen turpeisiin on tallentunut noin 192–455 Pg (= 10¹⁵) hiiltä (Post *et al.* 1982; Gorham 1991), kun maapallon koko terrestrinen hiilivaranto on noin 2100 Pg (Harden *et al.* 1992). Valtaosa soihin sitoutuneesta hiilestä on ainakin periaatteessa vaihtokelpoista ilmakehän kanssa (Billings 1987).

Turpeen kertymisen avaintekijä on hajotuksen heikkous eikä esim. tuotoksen suuruus, joskin jälkimmäisellä on myös merkityksensä (Aaby & Tauber 1975). Turvekertymää säätelevät lisäksi mm. paikan hydrologia, mikrotopografia, makro- ja mikroilmasto sekä lukuisat intrinsiset tekijät kuten turvetta muodostavien kasvilajien koostumus ja lajispesifiset hajoamisominaisuudet (Johnson & Damman 1991; van Dierendonck 1992). Hajotuksen kannalta ratkaisevaa on aika, jonka maatuva kasviaines »viettää» suon hapekkaassa, hajottavassa pintakerroksessa eli akrotelmassa (Clymo 1978). Hajotusta tapahtuu myös suon anoksisissa pohjakerroksessa eli katotelmassa, mutta selvästi pintakerrosta hitaammin. Ajan

myötä katotelman hajotus kumulatiivisesti tarkasteltuna kasvaa kuitenkin niin suureksi, että akrotelmasta tuleva orgaanisen aineksen syöttö ei enää käytännössä lisää suon turvemassaa; suo saavuttaa tällöin ns. *steady state* -tilan (Clymo 1984, 1992; Kuva 1).

Turpeen akkumulaation nopeus, määrä ja sitä säätelevät tekijät on tunnettava hyvin, jotta hiilen dynamiikka suoekosysteemeissä voidaan ymmärtää ja mallintaa. Koska muutokset soilla tapahtuvat usein hitaasti, on pelkän reserentin tutkimuksen pohjalta vaikea jäljittää turvekertymissä ja olosuhteissa mahdollisesti ilmeneviä säännönmukaisuuksia. Tähän tarvitaan paleoekologista näkökulmaa, ja mm. Smol (1992) on painottanut pitkän aikavälin tarkastelun tärkeyttä tehokkaassa ekosysteemien hallinnassa. Koska soiden hiilikertymä on riippuvainen dynaamisesta vuorovaihtuksesta maiseman, kerrostumialustan, kasvilisuuden ja ilmaston välillä, on soita pyrittävä tarkastelemaan kokonaisina ekosysteeminä, jotka kehittyvät osana muuta ympäristöä samalla kerrostaen orgaanista tuotosta itseensä (Korhola 1992b, 1994b).

Tässä työssä on tarkoitus käsitellä suoekosysteemin kehitykseen ja kasvuun liittyviä tekijöitä, joilla on mahdollista relevanssia turvemaiden pitkän aikavälin hiilitasetta arvioitaessa. Aluksi esitetään kuitenkin laskennallisia arvoja pohjosiin soihin postglasiaaliaikana sitoutuneesta hiilestä.



Kuva 1. Turpeen kerrostumisen ja hajotuksen suhde ajan funktiona. Kuvan vasemman puolen pylväät esittävät tilannetta suon kehityksen alkuvaiheessa, jolloin suon pintakerroksen vuotuinen tuotanto ylittää akrotelmassa ja katotelmassa tapahtuvan yhteenlasketun hajotuksen. Oikealla puolella on esitetty tilanne suon myöhemmässä kehitysvaiheessa, jolloin suon paksuuntuneen turvemassan kokonaishajotus on muodostunut yhtä suureksi kuin suon pintakerroksen tuotanto. (1) vuotuinen lisäys (tuotanto), (2) vuotuinen hajotus turpeessa, (3) turpeen määrä vuoden lopussa. (Clymo 1992).

Fig. 1. The true rate of peat accumulation decreases with time. At an early stage of development (left), the annual rate of addition exceeds the combined loss by decay from all depths. When much more peat has accumulated (right), losses occur throughout a much greater mass of peat, and there is virtually no net accumulation. (1) Annual addition, (2) Annual decay in peat, (3) Amount of peat by end of year. (Clymo 1992).

Boreaalisten soiden hiilikertymät

Pitkän aikavälin hiilikertymän laskemiseksi määrätystä suokohteesta tarvitaan näytesarja, jonka kuivatilavuuspaino ja hiilen pitoisuus on määritetty. Orgaanisissa suoturpeissa kerrostuman hiilisisältö on karkeasti noin 50 % kuiva-ainekertymästä (Häkanson & Jansson 1983). Lisäksi tarvitaan tiedot kohteen turvestratigrafista sekä riittävä määrä (yleensä > 7) päällekkäisiä radiohiilijajoituksia tai vaihtoehtoisesti pohjimmaisesta turpeesta tehty ^{14}C -ajoitus. Turvepatsaita, joista ylläolevat parametrit on määritetty, on julkaistussa muodossa jo yli 200 eri puolilta boreaalista havumetsävyöhykettä. Siten vähintäänkin suuntaa antavaa tietoa pitkänajan hiilikertymistä eri tyyppien soilla on jo saatavilla (Tolonen *et al.* 1992).

Tulosten mukaan hiilen »näennäiset» (apparent) pitkäaikaiskertymät vaihtelevat pohjoisilla soilla maantieteellisestä sijainnista ja suotyypistä riippuen välillä 8–41 g m⁻² a⁻¹ (Tolonen *et al.* 1992). »Todelliset» (actual tai true) kertymät ovat

kuitenkin katotelmassa tapahtuva orgaanisen aineksen hajoamisen vuoksi noin 30 % pienempiä kuin näennäisarvot (Tolonen *et al.* 1992). »Todellisten» kertyminen määrittäminen on mahdollista suon kasvusta laadittujen teoreettisten mallien avulla (Clymo 1984; Tolonen *et al.* 1992). Tehävä ei ole kuitenkaan helppo, sillä useissa tapauksissa kohteet eivät käyttäydy mallien antamien ennusteiden mukaisesti (Korhola 1992b; Ikonen 1993; Tolonen *et al.* 1994). Tällöin on varmintä tyytyä näennäiskertymiin.

Suomen soilla hiilen pitkäaikaisten näennäiskertymien keskiarvo on 19.9 ± 10.7 g m⁻² a⁻¹ (vaihteluväli 4.6–85.8 g m⁻² a⁻¹) (Tolonen *et al.* 1994). Hiilen akkumuloituminen näyttäisi olevan selvästi tehokkaampaa ombrotrofisilla rahkasoilla (22.5 ± 11.5, vaihteluväli 6.6–85.8) kuin minerotrofisilla sarasoilla (15.1 ± 6.8, vaihteluväli 5.0–49.1). Yleissääntönä on, että kertymäarvot pienenevät kohti pohjoista. Myös suon iällä ja kehitysvaiheella on selvä vaikutus: nuorissa soissa turvevarojen kasvu ja hiilen akkumuloituminen on voimakkaampaa kuin vanhemmissa soissa (Tolonen *et al.* 1994).

Suon kasvodynamiikka ja hiilitase

Yllä esitetyt kertymälaskelmat perustuvat vertikaalisista turvepatsaista määritettyihin keskiarvoihin, ja heijastavat siten ensisijaisesti soiden korkeuskasvun myötä tapahtuvaa hiilen akkumulatiota. Useissa tapauksissa laskelmissa on tukeuduttu yhteen, yleensä suon syvimmästä paikasta otettuun turveprofiiliin. Turpeen akkumulaatio saattaa kuitenkin vaihdella huomattavasti samanlainen suon eri osissa (Korhola 1992b; Ikonen 1993). Vaihtelua voivat aiheuttaa esim. suon mineraalipohjan ja pinnan viettosuhteet, suotyypit, kasvilajisuhteet, paikan trofia ja mikrotopografia (Aaby & Tauber 1975; Korhola 1992b). Hiilikertymiä arvioitaessa tulisi lisäksi soiden horisontaalinen kasvu ottaa huomioon (Korhola 1992b; Tolonen *et al.* 1992). Ihanteellisinta olisikin tarkastella hiilen kerrostumista ns. spatiaalisen massakasvuna kuhunkin suoaltaaseen, jolloin kohteena olisi koko suoekosysteemi ja sen muotoutuminen ajassa ja tilassa. Tällaisen moniulotteinen tarkastelutapa on kuitenkin runsasta työtä, aikaa ja rahaa vaativaa.

Mitä laajemmassa yhteydessä soiden hiilikertymiä tarkastellaan, sitä voimakkaammaksi nousee tarve tunnistaa ja ymmärtää tekijöitä, jotka säätelevät turpeen kerrostumista. Tietoa tarvitaan erityisesti soistumisilmiötä ja suoekosysteemin kasvua kontrolloivista tekijöistä. On viitteitä siitä, että esimerkiksi soiden korkeus- ja laajuuskas-

vu saattavat olla toisistaan riippumattomia prosesseja, joita säätelevät osin eri ympäristötekijät (Korhola 1992b, 1994c). Esimerkiksi monet eteläsuomalaiset keidassuot ovat saavuttaneet lähes nykyisen laajuutensa jo kehityksensä alun mineotrofisessa vaiheessa, minkä jälkeen suot ovat kasvaneet lähinnä enää vain korkeussuunnassa (Korhola 1992b; Ikonen 1993); ilmiö, jonka jo Aartolahti (1965) havaitsi Lounais-Hämeen ja Satakunnan soilla. Kuten kuvasta 2 näkyy, ovat alueiden symmetriset kilpিকেitaat kasvaneet laajuutta vain vähän alun nopean horisontaalisen ekspansion jälkeen. Lisäksi voidaan havaita, että tutkitut suot ovat säilyttäneet symmetrisen muotonsa koko kehityksensä ajan (Aartolahti 1965).

Jatkossa olisikin ensiarvoisen tärkeää tiedostaa soistumisessa ja suon kasvussa ilmenevät mahdolliset säännönmukaisuudet ja niiden yhteydet esimerkiksi ilmastoon muutokseen. Tällaisella tarkastelutavalla olisi arvoa myös ennustettua kasvihuoneilmastoa silmällä pitäen. Toistaiseksi tunnetaan vielä varsin heikosti tekijät, jotka kontrolloivat soistumista ja suon kasvua. Seuraavassa näitä kysymyksiä pohditaan tarkemmin.

Soistumisen yhteydet ilmastoon

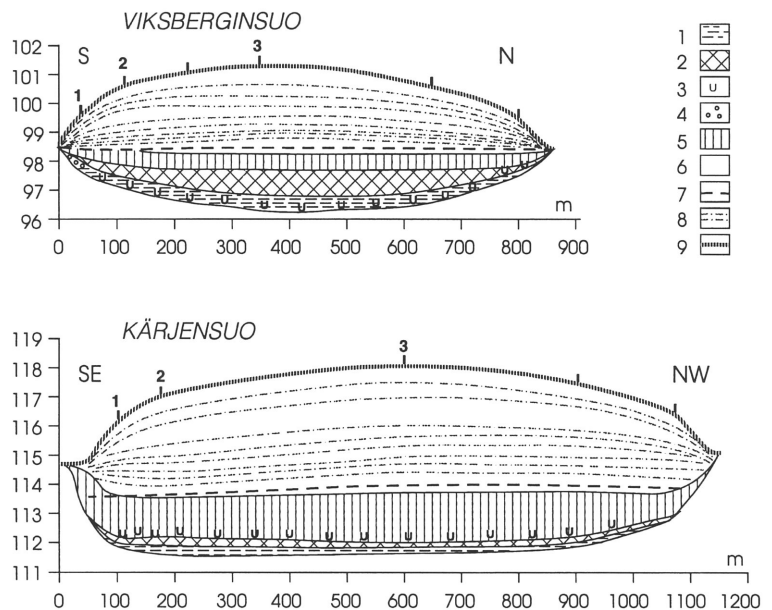
Syitä soistumiseen on pohdittu jokseenkin yhtä kauan kuin itse suotutkimustakin on harrastettu, mutta yksiselitteistä vastausta ei ole toistaiseksi

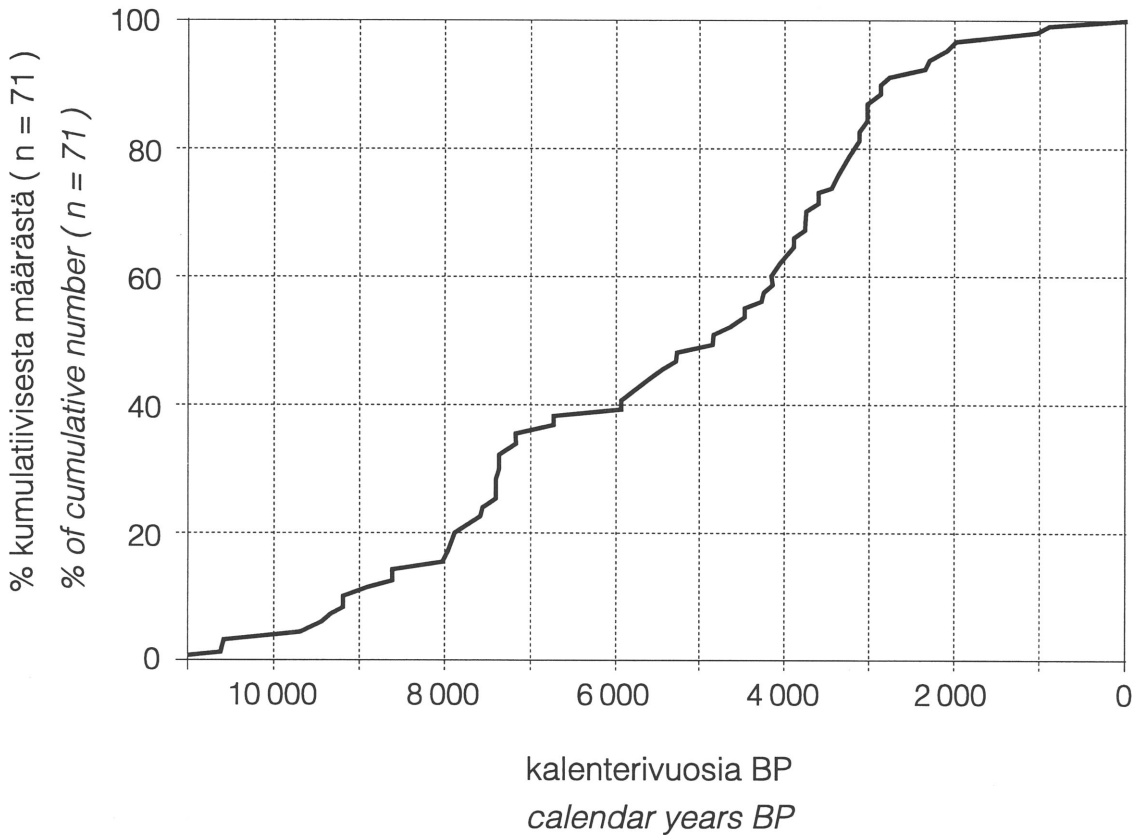
löydetty. Joidenkin tutkijoiden mukaan turpeen kerrostumisen liikkeellelähtö on suoraan riippuvainen ilmastosta, toisin sanoen makroilmastossa tapahtuneesta muutoksesta kohti kosteampia olosuhteita, minkä seurauksena hajotus olisi hidastunut ja maanpinnan kosteuden lisääntyminen olisi tehnyt alustan otolliseksi hygrofiilille suokasvillisuudelle (Nichols 1969; Moore 1986; Tallis 1991). Vaihtoehtoisen näkemyksen mukaan mineraalimaiden hautautuminen turpeiden peittoon olisi seurausta ennen muuta paikallisissa kosteusoloissa tapahtuneista muutoksista. Tällaisia muutoksia voivat aiheuttaa esim. metsäpalo (Tolonen 1982), maannoksen ikääntyminen (Ugolini & Mann 1979), vesien valuminen jo ennestään olemassaolevilta soilta (Auer 1921) tai ihmistoiminta (Pennington 1965).

Eräs parhaita keinoja selvittää soistumisen liikkeellelähtöön vaikuttavia syy-yhteyksiä on ns. alueellisen sykronismin periaate (Korhola 1994a,b). Mikäli määrättyllä, biogeografisesti yhtenäisellä alueella, soistumista on tapahtunut jokseenkin samanaikaisesti, ja/tai mikäli alueellisessa soistumisrytmiikassa voidaan havaita selkeitä yhtäläisiä trendejä, on soistuminen luontevaa tulkita alloktioniseksi tapahtumasarjaksi: tällöin makrokliimaattinen selitysmalli nousee päällimmäiseksi. Mikäli taas soistumisdynamiikassa vallitsee alueellinen diakronismi, korostuvat paikalliset ja ekosysteemien sisäiset syyt. Tällaista tarkastelua tehtäessä on kuitenkin syytä kiinnittää erityistä

Kuva 2. Symmetrisen kilpিকেitaan kehitys synkronisiin siitepölytasoihin perustuen. (1) hienodetrituslieju, (2) karkeadetrituslieju, (3) *Equisetum*-turve, (4) *Phragmites*-turve, (5) *Carex*-turve, (6) *Sphagnum*-turve, (7) kuusen siitepölyraja, (8) synkroninen siitepölytaso, (9) kairasupiste. (Aartolahti 1965).

Fig. 2. The development of symmetric raised bogs determined by synchronic pollen niveaus. (1) Fine detritus gyttja, (2) Coarse detritus gyttja, (3) *Equisetum* peat, (4) *Phragmites* peat, (5) *Carex* peat, (6) *Sphagnum* peat, (7) *Picea* pollen-limit, (8) Synchronic pollen niveau, (9) Boring site. (Aartolahti 1965).





Kuva 3. Etelä-Suomen kivennäismaasoistumien pohjaturpeiden ^{14}C -ikien prosentuaalinen summakäyrä, vanhimmasta nuorimpaan. Yksityiskohtainen aineisto ja lähteet, ks. Korhola (1994b).
 Fig. 3. Cumulative number – earliest to latest – of southern Finland radiocarbon dates for basal peats of the paludified sites. (Korhola 1994b). For detailed data, see Korhola (1994b).

huomiota tapoihin, joilla soistuminen on lähtenyt liikkeelle, sillä eri soistumistyyppien yhteydet ilmastoon saattavat olla toisistaan hyvinkin poikkeavia. Niinpä esim. kuiva ilmastovaihe saattaa vähentää soistumista kivennäismailla, mutta kiihdyttää soistumista järvien umpeenkasvun seurauksena (Korhola 1990a,b, 1992a,b, 1994a,b,c).

Kuvaan 3 on piirretty eteläsuomalaisten metsämaan soistumien pohjimmaisesta (ensimmäisestä) turpeesta laadittujen ^{14}C -ikien prosentuaalinen summakäyrä, vanhimmasta iästä nuorimpaan. Käyrän voidaan tulkita kuvastavan soistumintensiteettiä eri aikoina jääkauden jälkeen. Aineisto on kerätty useiden tutkijoiden julkaisuista, ja yksityiskohtainen lähdeluettelo on esitetty toisessa yhteydessä (Korhola 1994b). Ajoitukset on laadittu joko suoaltilaiden syvimmästä kohdasta, mineraalimaan päällä olevasta ensimmäisestä turpeesta, jolloin iät edustavat kohteiden vanhinta turvetta, tai linjaverkostoa käyttäen koko suoaltilta.

Kuvasta voidaan havaita, että alueen vanhimmat turpeet ajoittuvat lähes 11 000 cal BP taakse (kalenterivuosi kalibroituja radiohiili-ikä). Soiden leviäminen on aluksi ollut vaatimatonta, mikä on luonnollista, sillä Suomen etelärannikko oli holoseenin alussa vielä suureksi osaksi Itämeren peitossa. Aikavälillä 8000–7300 cal BP soistumisen intensiteetti näyttäisi kasvavan, mitä seuraa noin 3000 vuotta kestävä rauhallisempi jakso. Noin 4300 cal BP soiden lateraalinen leviäminen kiihtyy hetkeksi uudelleen, mutta noin 3000 cal BP soistumisessa tapahtuu ratkaiseva hidastuminen. Tämä viimeaikainen hidastuminen selittyy ensisijaisesti topografisilla syillä, toisinaan soistumiselle alttiiden paikkojen loppumisella (Tolonen 1982; Ruuhijärvi 1983; Korhola 1992b; Korhola 1994c). Sen sijaan aikaisemmin ilmenevissä trendeissä saattaisi heijastua ilmaston vaikutus. Näin erityisesti sen vuoksi, koska esitetty typologia on hyvin samankaltainen Ete-

lä-Ruotsista järvien vesipintojen avulla rekonstruoitujen ilmaston kosteusvaihtelujen kanssa (Digerfeldt 1988; Harrison *et al.* 1993).

Kaaviota tulkittaessa täytyy ottaa huomioon kohteiden korkeus merenpinnasta, sillä rannansiirtymisen vuoksi korkeiden paikkojen suot ovat voineet soistua aikaisemmin kuin matalalla sijaitsevat paikat. Kuvassa ilmenevää jaksollisuutta ei voida kuitenkaan selittää pelkästään maan iän perusteella, sillä useissa tapauksissa paikan kuroutumisen ja soistumisen väliin jää pitkä ajallinen viive; joissakin tapauksissa 'hiatus' on jopa yli 6000 vuotta (Korhola 1994b).

Näin saadun skenaarion mukaan holoseenin alkujakso aina noin 7300 cal BP saakka olisi ollut tutkimuskohteena olevalla alueella ilmastollisesti kostea. Järvien vedenpinnat ovat tällöin olleet korkealla ja mineraalimaiden vettyminen ja soistuminen on ollut yleistä. Tämän jälkeen olisi seurannut noin 3000 vuotta kestävä »aridimpi» jakso (7300–4300 cal BP), jolloin uusien soiden syntyminen ja vanhojen soiden laajuuskasvu on ollut vähäistä; vesipinnat Etelä-Ruotsin järvissä ovat myös olleet selvästi nykyistä matalammalla (Digerfeldt 1988; Harrison *et al.* 1993). Mainittakoon myös, että kyseisellä aikavälillä monet Etelä-Suomen järvet ovat kasvaneet umpeen ja muuttuneet suoksi – mahdollisesti juuri vesipintojen voimakkaan laskun seurauksena (Korhola 1990a, 1992a, 1994a). Noin 4300 cal BP ilmaston humidisuus olisi jälleen lisääntynyt ja kivennäismaiden soistuminen samalla vilkastunut. Etelä-Ruotsin järvien vesipinnat ovat samanaikaisesti kääntyneet nousuun (Digerfeldt 1988; Harrison *et al.* 1993). Koska, kuten aikaisemmin jo todettiin, soistumisen hidastuminen viimeisen noin 3000 vuoden aikana on mitä ilmeisimmin yhteydessä fysiografisiin tekijöihin, ei selkeää käsitystä kyseisenä aikana tapahtuneista kosteusvaihteluista voida nyt esitetyn soistumisaineiston avulla saada. Järvien vedenpinnat Etelä-Ruotsissa ovat kuitenkin tänä jaksolla pysyneet yleisesti ottaen korkealla, joskin aikavälille saattaa useita lyhytsyklisiä flukтуаatioita (Digerfeldt 1988; Harrison *et al.* 1993).

Ilmaston muutos ja soiden hiilitase

Soiden hiilivaraston ja ilmaston muutoksen vuorovaikutuksen kannalta kriittinen kysymys kuuluu: kuinka voimakkaasti ilmasto on säädellyt turpeen akkumulaatiota ja sen myötä hiilen sitoutumista menneisyydessä ja mitä sen perusteella on odotettavissa lähitulevaisuudessa, jos ilmasto kehittyä yleisesti esitetettyjen ennusteiden mukaisesti?

Mineraalimaiden soistumista esittävän aineis-

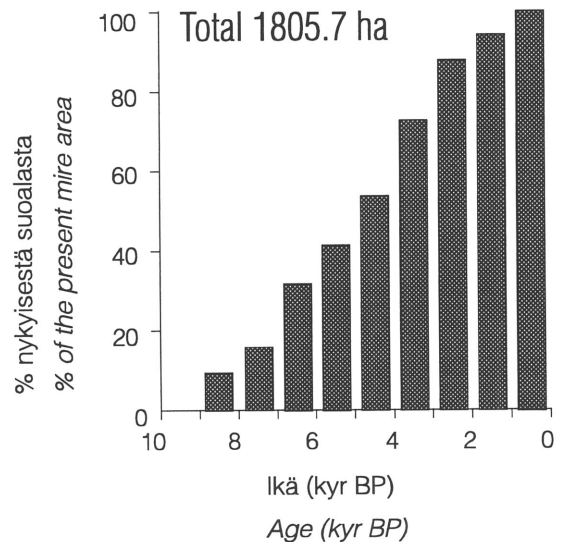


Fig. 4. Neljän eteläsuomalaisen suon yhteenlaskettujen pinta-alojen prosentuaalinen kasvu esitettyinä 1000 kalibroidun ^{14}C -vuoden jaksoissa. (Korhola 1994c).
Fig. 4. The percentual increase in total mire area of four raised bogs in southern Finland per 1000 years. (Korhola 1994c).

ton kohdalla kävi ilmi, että ilmaston kontribuutio soistumistapahtumassa ja soiden horisontaalisessa laajentumisessa on saattanut olla huomattava. On kuitenkin syytä korostaa, että yksityiskohtaisesti tutkittujen tapausten määrä on vielä pieni, ja esitetyn aineiston tulkintaan liittyy monia riskejä (Korhola 1994b,c). Lisäksi on huomattava, että käsiteltävänä olevassa aineistossa on kyse vain yhden soistumistavan suhteesta ilmaston kehitykseen. Kuvassa 4 on puolestaan esitetty viiden suurehkon eteläsuomalaisen keidassuon yhteenlaskettu pinta-alallinen kasvu holoseenianaikana, soistumistapoja erottelematta. Vaikka histogrammista voidaankin tunnistaa samantyyppinen soistumisintensiteetin vaihtelu kuin metsämaan soistumien kohdalla esitetyissä kumulatiivisissa ikäfrekvensseissä (kuva 3), ei jaksollisuus ole kuitenkaan yhtä selvä. Sen mukaan suoalan lisääntyminen on ollut melko tasaista läpi postglasiaalisen viimeisintä 2–3 vuosituhatta lukuunottamatta. Tulos ei ole ristiriidassa aiemmin esitetyn kanssa, sillä vaikka metsämaan soistumisessa onkin esiintynyt selvää jaksollisuutta, ja vaikka suot ovatkin kasvaneet laajuutta nopeasti syn-

tynsä jälkeen, näyttävät em. trendit hivenen häivyttävän, kun soiden laajuuskasvua tarkastellaan kokonaisvaltaisemmin. Tämä merkitsee sitä, että esimerkiksi järvien umpeenkasvu on saattanut olla tutkimusalueella hyvin tehokasta niinäkin (tai juuri niinä) aikoina, jolloin kivennäismaiden soistuminen on ollut rauhallisempaa. Oletettavaa on myös, että primaarinen soistuminen on edennyt jokseenkin tasaisena prosessina kautta koko holoseenin.

Mikäli pitäydytään pelkästään soiden horisontaalisessa laajentumisessa niin seuraava varovainen johtopäätös voidaan nyt esitetyn aineiston valossa tehdä: ainakaan Suomen oloissa ilmaston muutoksen ei voida katsoa aiheuttaneen järin merkittäviä käännteitä tai heilahteluja suoalan lisääntymisessä eikä siten myöskään hiilen akkumuloinnin määrissä. Suppeammin tarkasteltuna ilmaston muutoksilla on saattanut kuitenkin olla merkitystä niillä alueilla, joissa joko vesistöjen umpeenkasvu tai metsämaiden soistuminen on ollut huomattavan yleistä. Kokonaan toinen kysymys on ilmaston vaikutus soiden vertikaaliseen kasvuun. Syytä on kuitenkin huomauttaa, että Hardenin *et al.* (1992) laajasta, Pohjois-Amerikkaa käsittelevästä tutkimuksesta käy ilmi, että juuri soiden lateraalinen laajeneminen on avainasemassa turpeeseen sitoutuneen hiilen määrää pitkällä aikavälillä arvioitaessa. Ilmaston osuudesta hiilen suoekosysteemin kehityksessä tiedetään kaikkiaan kuitenkin vielä liian vähän.

Viime aikoina on esitetty näkemyksiä, joiden mukaan ilmaston mahdollinen lämpeneminen, sademäärän kasvu ja muutokset aktuaalisessa evapotranspiraatioissa (AET) pohjoisilla alueilla saattavat aiheuttaa lähitulevaisuudessa kasvua sekä soiden pinta-aloissa että vuotuisessa aktiivisessa kaasujen emissioajassa (Boer *et al.* 1990; Crill *et al.* 1992). Mitä suoalan kasvuun tulee, lienee kysymys ainakin Suomen kohdalla jokseenkin marginaalisesta ilmiöstä, sillä soistuminen on tällä fysiografisten syiden vuoksi ollut ilmeisesti jo pitkään lähes pysähdyksissä (Ruuhijärvi 1983; Korhola 1992b). Tosin Ruotsissa näyttäisi kivennäismaiden soistuminen edenneen eräiden tutkimusten mukaan (Foster *et al.* 1988) tasaisena prosessina aina nykypäiviin saakka. Pinta-alallisten muutosten sijasta on sen sijaan todennäköisempää, että ilmaston lämpenemisen seurauksena nykyinen rahkasoiden alue saattaa siirtyä pohjoisemmaksi, ja sarasoiden alue siten kutistua aiempaa pienemmäksi (Tolonen *et al.* 1994). Tämänkaltaisilla muutoksilla olisi välitön vaikutus myös hiilen sitoutumiseen. Kaiken kaikkiaan em. väittämät haastavat tutustumaan soiden historiaan entistä seikkaperäisemmin. Se kuinka pitkälle ilmasto on kontrolloinut soistumista, soiden levinnei-

syttä ja suoekosysteemien kasvua menneisyydessä, on ratkaiseva kysymys myös tulevia muutoksia silmälläpitäen.

KIRJALLISUUS

- Aaby, B. & H. Tauber (1975). Rates of peat formation on relation to degree of humification and local environment, as shown by studies of a raised bog in Denmark. *Boreas* 4, 1–17.
- Aario, L. (1932). Pflanzentopographische und paläogeographische Mooruntersuchungen in N-Satakunta. *Fennia* 55, 1–179.
- Aartolahti, T. (1965). Oberflächenformen von Hoochmooren und ihre Entwicklung in Südwest-Häme und Satakunta. *Fennia* 93, 1–268.
- Auer, V. (1921). Zur Kenntnis der Stratigraphie der mittelösterreichischen Moore. *Acta Forestalia Fennica* 18, 1–40.
- Billings, W.D. (1987). Carbon balance of Alaskan tundra and taiga ecosystems: past, present and future. *Quaternary Science Review* 6, 165–177.
- Boer, M., E.A. Koster & H. Lundberg (1990). Greenhouse Impact in Fennoscandia – Preliminary Findings of a European Workshop on the Effects of Climatic Change. *Ambio* 19, 2–10.
- Clymo, R.S. (1978). A model of peat bog growth. *Teoksessa* Heal, O.W. & D.F. Perkins with W.M. Brown (eds.): *Production ecology of British moors and montane grasslands*, 187–223. Springer Verlag, Berlin.
- Clymo, R.S. (1984). The limits to peat bog growth. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London B* 303, 605–654.
- Clymo, R.S. (1992). Models of peat growth. *Suo (Mires and peat)* 43, 127–136.
- Crill, P., K. Bartlett & N. Roulet (1992). Methane flux from Boreal peatlands. *Suo (Mires and peat)* 43, 173–182.
- Digerfeldt, G. (1988). Reconstruction and regional correlation of Holocene lake-level fluctuations in Lake Bysjön, South Sweden. *Boreas* 17, 165–182.
- Foster, D.R., H.E. Wright Jr, M. Thelau & G.A. King (1988). Bog development and landform dynamics in central Sweden and south-eastern Labrador, Canada. *Journal of Ecology* 76, 1164–85.
- Gorham, E. (1991). Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications* 1, 182–195.
- Gorham, E. & J.A. Janssens (1992). The paleorecord of geochemistry and hydrology in northern peatlands and its relation to global change. *Suo (Mires and peat)* 43, 117–126.
- Harden, J.W., E.T. Sundquist, R.F. Stallard & R.K. Mark (1992). Dynamics of Soil Carbon During Deglaciation of the Laurentide Ice Sheet. *Science* 258, 1921–24.
- Harrison, S.P., I.C. Prentice & J. Guiot (1993). Climatic controls on Holocene lake-level changes in Europe. *Climate Dynamics* 8, 189–200.
- Håkanson, L. & M. Jansson (1983). *Principles of Lake Sedimentology*. 316 pp. Springer Verlag, Berlin.

- Ikonen, L. (1993). Holocene development and peat growth of the raised bog Pesänsuo in southwestern Finland. *Geological Survey of Finland, Bulletin* 370, 1–58.
- Johnson, L.C. & A.W.H. Damman (1991). Species controlled *Sphagnum* decay on a South Swedish raised bog. *Oikos* 61, 234–242.
- Korhola, A. (1990a). Paleolimnology and hydroseral development of the Kotasuo bog, Southern Finland, with special reference to the Cladocera. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae A. III.* 40 pp.
- Korhola, A. (1990b). Suomen soiden synty ja kehitys (The origin and development of the mires in Finland). *Terra* 102, 256–267.
- Korhola, A. (1992a). The early Holocene hydrosere in a small acid hill-top basin studied using crustacean sedimentary remains. *Journal of Paleolimnology* 7, 1–22.
- Korhola, A. (1992b). Mire induction, ecosystem dynamics and lateral extension on raised bogs in the southern coastal area of Finland. *Fennia* 170, 25–94.
- Korhola, A. (1994a). Lake terrestrialization as a mode of mire formation – regional review. *Publications of the Water and Environment Research Institute* (in print).
- Korhola, A. (1994b). Holocene climatic variations in southern Finland reconstructed from peat initiation data *The Holocene* 5 (1), in print.
- Korhola, A. (1994c). Radiocarbon evidence for rates of lateral expansion in raised mires in southern Finland. *Quaternary Research* (in print).
- Moore, P.D. (1986). Hydrological changes in mires. *Teoksessa* Berglund, B.E. (ed.): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, 91–107. John Wiley & Sons, Chichester.
- Nichols, H. (1969). Chronology of peat growth in Canada. *Palaeogeography, palaeoclimatology and palaeoecology* 6, 61–65.
- Pennington, W. (1965). The interpretation of some post-glacial vegetation diversities at different Lake District sites. *Proceedings of the Royal Society of London B* 161, 310–323.
- Post, R.M., W.R. Emanuel, Zinke, P.J. & A.G. Stangenberger (1982). Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 298, 156–159.
- Ruuhijärvi, R. (1983). The Finnish mire types and their regional distribution. *Teoksessa* Gore, A.J.P. (ed.): *Ecosystems of the world 4A: swamp, bog, fen and moor*, 69–94. Elsevier, Amsterdam.
- Smol, J.P. (1992). Paleolimnology: an important tool for effective ecosystem management. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 1, 49–58.
- Tallis, J.H. (1991). Forest and moorland in the South Pennine uplands in the Mid-Flandrian period. III. The spread of moorland – local, regional and national. *Journal of Ecology* 79, 401–415.
- Tolonen, K. (1982). Turpeiden luokitus ja stratigrafia. *Teoksessa* Laine, J. (toim.): *Suomen suot ja niiden käyttö*, 29–32. Suoseura – IPS:n Suomen kansallinen komitea. Espoo.
- Tolonen, K., H. Vasander, A.W.H. Damman & R.S. Clymo (1992). Preliminary estimate of long-term carbon accumulation and loss in 25 Boreal peatlands. *Suo (Mires and peat)* 43, 277–280.
- Tolonen, K., J. Turunen, H. Vasander & H. Jungner (1994). Rate of carbon accumulation in boreal mires. *Teoksessa* Kanninen & Heikinheimo (ads) *The Finnish Research Programme on Climate Change. 2. Progress Report*. Publication of the Academy of Finland 1994.
- Ugolini, F.C. & D.H. Mann (1979). Biopedological origin of peatlands in South East Alaska. *Nature* 281, 366–368.
- Van Dierendonck, M.C. (1992). Simulation of peat accumulation: an aid in carbon cycling research? *Suo (Mires and peat)* 43, 203–206.