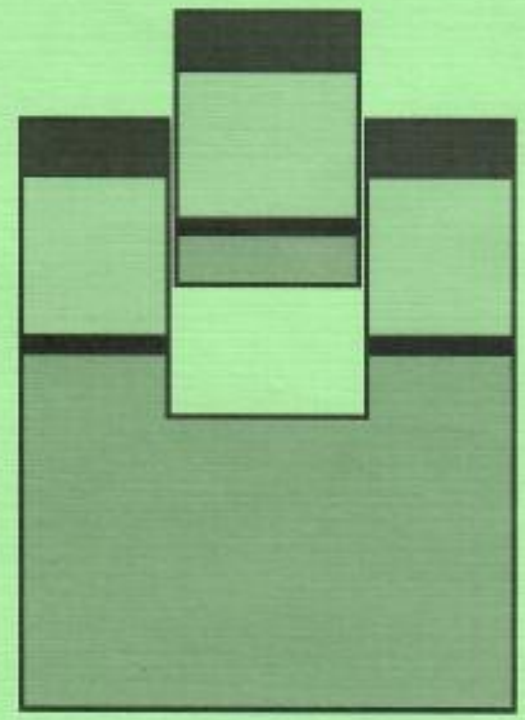
75

Gunnar Glückert, Kari Illmer,
Tuovi Kankainen, Pasi Rantala
& Matti Räsänen:

Littoistenjärven ympäristön kasvillisuuden kehitys jääkauden jälkeen ja järven luonnollinen happamoituminen



Turun yliopiston maaperägeologian osaston julkaisuja 75
Publications of the Department of Quaternary Geology University of Turku 75

TURKU 1992

TURUN YLIOPISTON MAAPERÄGEOLOGIAN OSASTON JULKAISUJA

*****

Turun yliopiston maaperägeologian osasto on vuodesta 1976 lähtien julkaissut omaa tieteellistä sarjaansa. Sarjassa voivat osaston vakinaiset ja tilapäiset opettajat sekä laitokselta valmistuneet maaperägeologit julkaista maaperägeologian osastossa ja muualla tekemiään tutkimuksia. Harkinnan mukaan sarjassa voidaan julkaista myös maaperägeologian osaston toimintaan liittyviä jatkokoulutus- ja symposiumyhteenvetoja.

Suomen-, ruotsin-, saksan- tai englanninkielinen käsikirjoitus kuvineen laaditaan A4- tai B 5 -kokoon ja painetaan offsetilla B 5-koossa Åbo Akademin kirjapainossa Turussa. Kielentarkastuksen jälkeen julkaistavaksi aiotun käsikirjoituksen käsittelee ja hyväksyy painettavaksi maaperägeologian osaston julkaisutoimikunta. Yhden numeron painosmäärä on noin 200 - 300 kappaletta, joista tutkimuksen tekijälle annetaan ilmaiskappaleita tarpeen mukaan.

****

Toimittaja / Editor: Gunnar Glückert

Julkaisusarjaa koskevat tilaukset:

Turun yliopisto, Maaperägeologian osasto, 20500 Turku

Subscriptions concerning this series should be addressed:

University of Turku, Department of Quaternary Geology,
SF-20500 Turku, Finland.

Gunnar Glückert,
Kari Illmer,
Tuovi Kankainen,
Pasi Rantala ja
Matti Räsänen

Littoistenjärven ympäristön kasvillisuuden kehitys jääkauden jälkeen ja järven luonnollinen happamoituminen

TURUN YLIOPISTON MAAPERÄGEOLOGIAN OSASTON JULKAISUJA

PUBLICATIONS OF THE DEPARTMENT OF QUATERNARY GEOLOGY

UNIVERSITY OF TURKU 75

TURKU 1992

Abstract

Glückert, Gunnar, Illmer, Kari, Kankainen, Tuovi, Rantala, Pasi ja Räsänen, Matti 1992: Littoistenjärven ympäristön kasvillisuuden kehitys jääkauden jälkeen ja järven luonnollinen happamoituminen. - Vegetational history in the surroundings of Lake Littoinen and its natural dystrofication.

Turun Yliopiston maaperägeologian osaston julkaisuja; Publications of the Department of Quaternary geology, University of Turku 75, 1992, 27 pp.

The palaeolimnology of Lake Littoinen near Turku in SW Finland was studied by sedimentary, pollen, diatom, ^{14}C, ^{137}Cs and chemical analyses. The lake basin lies 35.8 m above sea level and it is the oldest lake in the Turku district. It was isolated from the sea due to glacioisostatic land uplift about 5600 years BP. Since then the development of the lake and its surroundings have been mainly controlled by climatic changes, and the successive invasion of spruce. According to the sediment analyses the lake basin has evolved through the following changes:

1) time before 5600 years BP, when the basin still was a part of the Baltic Sea,
2) a successive isolation (glo-lake) phase from the Litorina Sea about 5600–5300 years BP,
3) an euthrophic phase with luxuriant deciduous forests in the drainage area about 5300–4500 years BP,
4) a dystrophic lake phase, partly owing to the spreading of spruce forest into forest into the drainage area from 4500 to 2000 years BP,
5) a marked hiatus owing to upfilling of the lake basin at 1500 years BP, up to this century, and,
6) the recent time during the few last decades, when the anthropogenic input of nutrients has again increased the trophic status of the lake, and sedimentation has accelerated.

The most remarkable limnological change was the sudden dystrofication in connection with spruce invasion to its catchment area. We suggest that the sedimentary record demonstrates in a particularly comprehensive way the processes of natural lake dystrofication which widely occurred in the Finnish lakes during the Holocene. Due to the small drainage area (4 km^2), the invasion of spruce into the lake catchment was rapid, and the sedimentary record shows the changes more clearly than usually in lakes with larger drainage areas.

G. Glückert, K. Illmer, P. Rantala and M. Räsänen, Institute of Quaternary Geology, Univeristy of Turku, 20500 Turku, Finland; T. Kankainen, Geological Survey of Finland, 02150 Espoo, Finland.

Sisällys

JOHDANTO 1

JÄRVI JA SEN VALUMA-ALUE 2
Sijainti ja luonto 2
Järvialueen historia 3

TUTKIMUSMENETELMÄT 6

TULOKSET 8
Pohjasedimentin litostratigrafia 8
^{14}C ja ^{137}Cs-ajoitustulokset ja kerrostumisnopeudet 9
Järven ja sen ympäristön kasvillisuuden kehityshistoria siitepölyanalyysin valossa 11
Piileväanalyysi järven limnologisen kehityksen kuvastajana 15
Pohjasedimentin kemia 17

JÄRVEN KEHITYSVAIHEET JA IHMISEN TOIMINTA 21

KIITOKSET 23

KIRJALLISUUSLUETTELO 24

1 JOHDANTO

Järvien ja niitä ympäröivän luonnon pitkäaikaista kehitystä selvitetään paleoekologisten sedimenttitutkimusten avulla. Järvisedimenteistä tutkitaan myös asutuksen ja maankäytön muuttumista esihistoriallisena ja historiallisena aikana. Järvisedimenttien mikropaleontologiset ja kemialliset tutkimukset antavat tietoja järven limnologisista muutoksista sekä järven ympäristön kasvillisuuden ja ilmaston kehityksestä pitkällä aikavälillä. Sedimenttisarjojen mikropaleontologiset ja kemialliset muutoshorisontit voidaan ajoittaa sekä absoluuttisesti että suhteellisesti erilaisilla menetelmillä. Useiden järviemme jääkauden jälkeisestä kehityksestä on olemassa kvartäärigeologisia ja paleolimnologisia sedimenttitutkimuksia. Eräiden tutkittujen järvien sedimenttisarjat kattavat lähes koko jääkauden jälkeisen, noin 10 000 vuotta pitkän ajanjakson (esim. Kukkonen 1973).

Paleoekologisia sedimenttitutkimuksia järvien ja niiden lähiympäristöjen luonnollisesta tai ihmisen toiminnan aiheuttamasta kehityksestä on tehty myös Lounais-Suomessa. Rannikkoalueen järvialtaiden sedimentit ovat kuitenkin nuoria ja kerrostuneet suhteellisen lyhyen ajanjakson kuluessa. Turun lähistöllä sijaitsevan Piikkiön Kuoppajärven sedimentit ovat kerrostuneet viimeisten 1500 vuoden kuluessa ja heijastavat kehittyvää maanviljelyskulttuuria tänä aikana (Salonen ym. 1981). Turun Kakskerranjärven sedimentit kertovat kaski- ja maanviljelyskulttuurin kehityksestä noin 800 viimeksi kuluneen vuoden aikana (Räsänen ja Salonen 1983). Historiallisen Turun keskustassa sijainneen Mätäjärven sedimentit osoittavat, että kaupunkikulttuuri rehevöitti tehokkaasti pientä järveä (Salonen ja Vuorela 1983, Räsänen ym. 1983, Salonen ym. 1985, 1987). Kauempana sisämaassa sijaitsevan Säkylän Pyhäärven historiaa on selvitetty sen Itämeren altaan kuroutumisesta lähtien aikavälillä 6000–2000 vuotta sitten (Eronen ym. 1982) ja 150 viimeksi kuluneen vuoden osalta (Räsänen ja Salonen 1984, Räsänen ym. 1992).

Lähellä Turkua sijaitsevan Littoistenjärven limnologiaa, nykyistä kasvillisuutta ja eläimistöä, on viime vuosina tutkittu monipuolisesti (esim. Rautanen ym. 1985). Järvi on myös ollut huomattava opetuskohde Turun yliopiston luonnontieteiden opiskelijoille. Järven nykytilaa ja biologiaa kuvaavien tutkimustulosten rinnalle on kuitenkin kaivattu tietoja myös järven aikaisemmasta pitkäaikaisesta kehityksestä. Littoistenjärvi on rannansiirtymistutkimusten perusteella kuroutunut Itämerestä yli 5000 vuotta sitten, ja se on Turun ympäristön vanhin suhteellisen suuri järviallas (Glückert 1976, 1977). Järven pohjasedimenteistä voidaan sen vuoksi tarkastella lounaisimman Suomen luonnon kehitystä viimeksi kuluneiden kuuden vuosituhannen aikana.

Turun yliopiston maaperägeologian osastolla on vuosina 1985–92 tutkittu järven pohjasedimenttien sekä rantasuon turvekerrostuman avulla Littoistenjärven ja sen lähiympäristön luonnon pitkäaikaista kehitystä. Lisäksi on selvitetty ihmistoiminnan merkkejä ja niiden vaikutuksia järven kehitykseen. Sedimenttitutkimukset on tehty Gunnar Glückertin johdolla, Kari Illmer on tehnyt kemialliset ja fysikaaliset määritykset, Tuovi Kankainen radiohiiliajoitukset, Pasi Rantala siitepölytutkimukset ja Matti Räsänen piileväanalyysit. Tekijät ovat yhdessä tulkinneet tulokset.

JÄRVI JA SEN VALUMA-ALUE

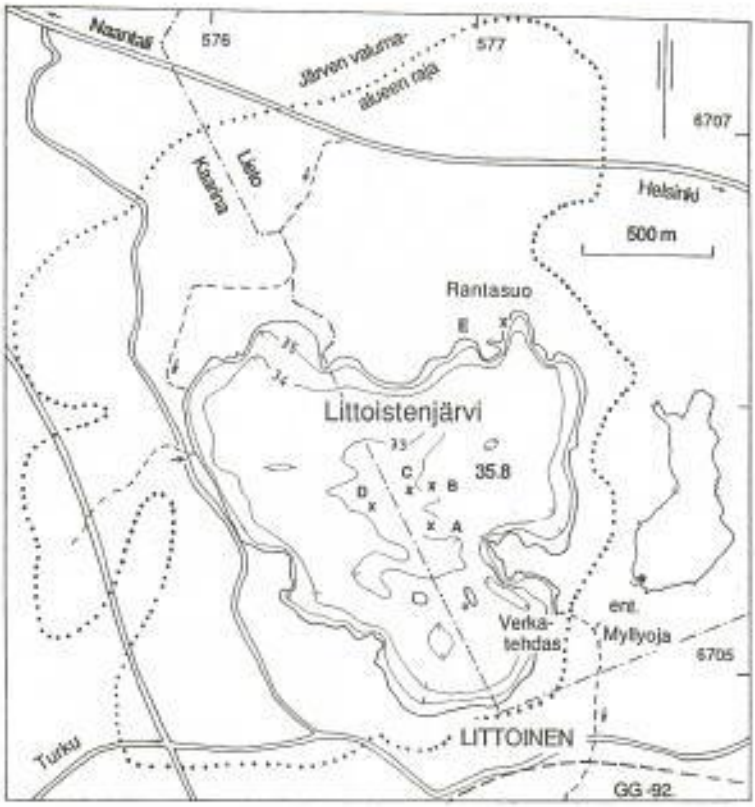
Sijainti ja luonto

Littoistenjärvi (35,8 m mpy) sijaitsee kallioisen vedenjakaja-alueen painanteessa ympäristöään korkeammalla noin 2 km Aurajokilaakson kaakkoispuolella Kaarinan ja Liedon kuntien rajalla. Järven valuma-alue on pieni, vain noin 4 km^2, ja sen vesipinta-ala on noin 1,5 km^2. Järvi on varsin matala, sillä sen keskisyvyys on vain noin 2 m eikä siinä ole syvänteitä. Veden teoreettinen viipymä altaassa on vain kaksi vuotta (Rautanen ym. 1985) (kuva 1).

Pieneltä valuma-alueelta vetensä saava järvi reagoi valuma-alueellaan tapahtuviin muutoksiin suhteellisen nopeasti. Laajat valuma-alueet ovat luonnonolosuhteiltaan usein monimuotoisempia, eivätkä kasvillisuussuksession tai ilmastonmuutosten alkuunpanemat muutokset tapahdu niissä kaikkialla yhtä nopeasti. Pienen valuma-alueen omaava järvi, kuten Littoistenjärvi, voi siten olla suhteellisen herkkä ympäristönsä luonnon kehityksen mittari.

Littoistenjärven rantavyöhykkeestä lähes puolet on kalliota. Itäpuolella maaperä on yleisimmin moreenia, länsipuolella hiekkaa ja soraa. Pienialaisia savikoita on järven lounais- ja pohjoispuolella. Osa järven pohjoisrannasta on soistunut ja sieltä purkautuu ruskeita humusvesiä järveen. Kaksi pientä puroa tuo sameita savespitoisia vesiä järveen sen luoteisosassa.

Järven rantakallioilla kasvaa mäntyä, rantametsissä myös kuusta, koivua ja pihlajaa. Rantavyöhykkeessä on lisäksi tervaleppää ja haapaa sekä eteläosissa tammea ja pähkinäpensasta. Metsien osuus valuma-alueesta on noin 60 %. Suurin osa niistä on kuusivaltaisia, pieni osa mäntyvaltaisia metsiä. Peltojen osuus valuma-alueesta on vain 8 %. Järven ranta- ja vesikasvillisuudesta on tehty useita selvityksiä. Vesikasvillisuutensa perusteella järvi on nykyisin yhdistelmäjärvi, jossa esiintyy kaisla- (*Scirpus*), korte- (*Equisetum*), ruoko-



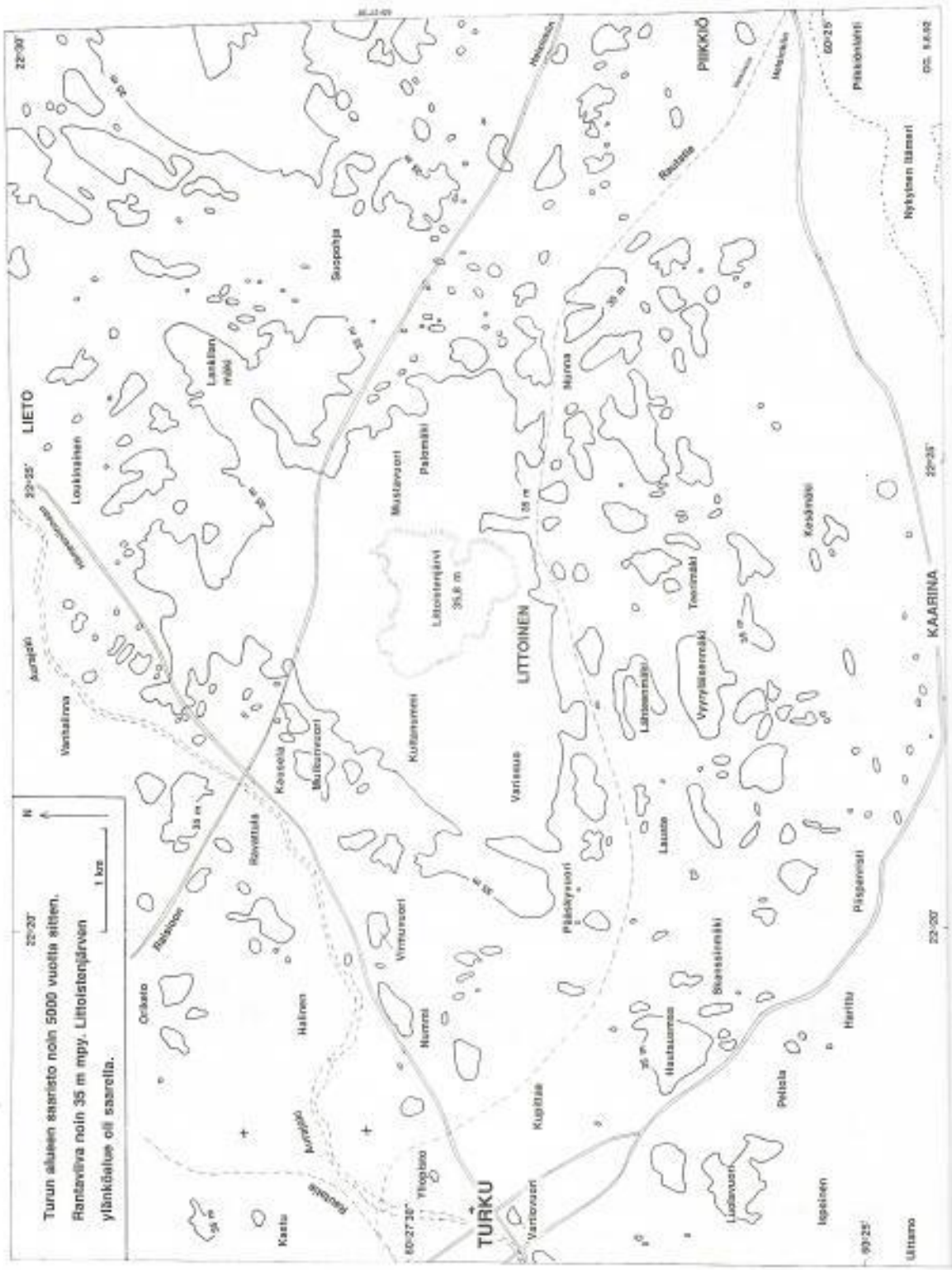
Kuva 1. Littoistenjärvi, valuma-alue, syvyystiedot ja näytteenottopaikat (x): järven pohjasedimentit (A-D), rantasuo (E).

(*Phragmites*), nuottaruoho- (*Lobelia*), vesirutto- (*Elodea*) ja saratyypin (*Carex*) vesikasviyhdyskuntia (Rautanen ym. 1985).

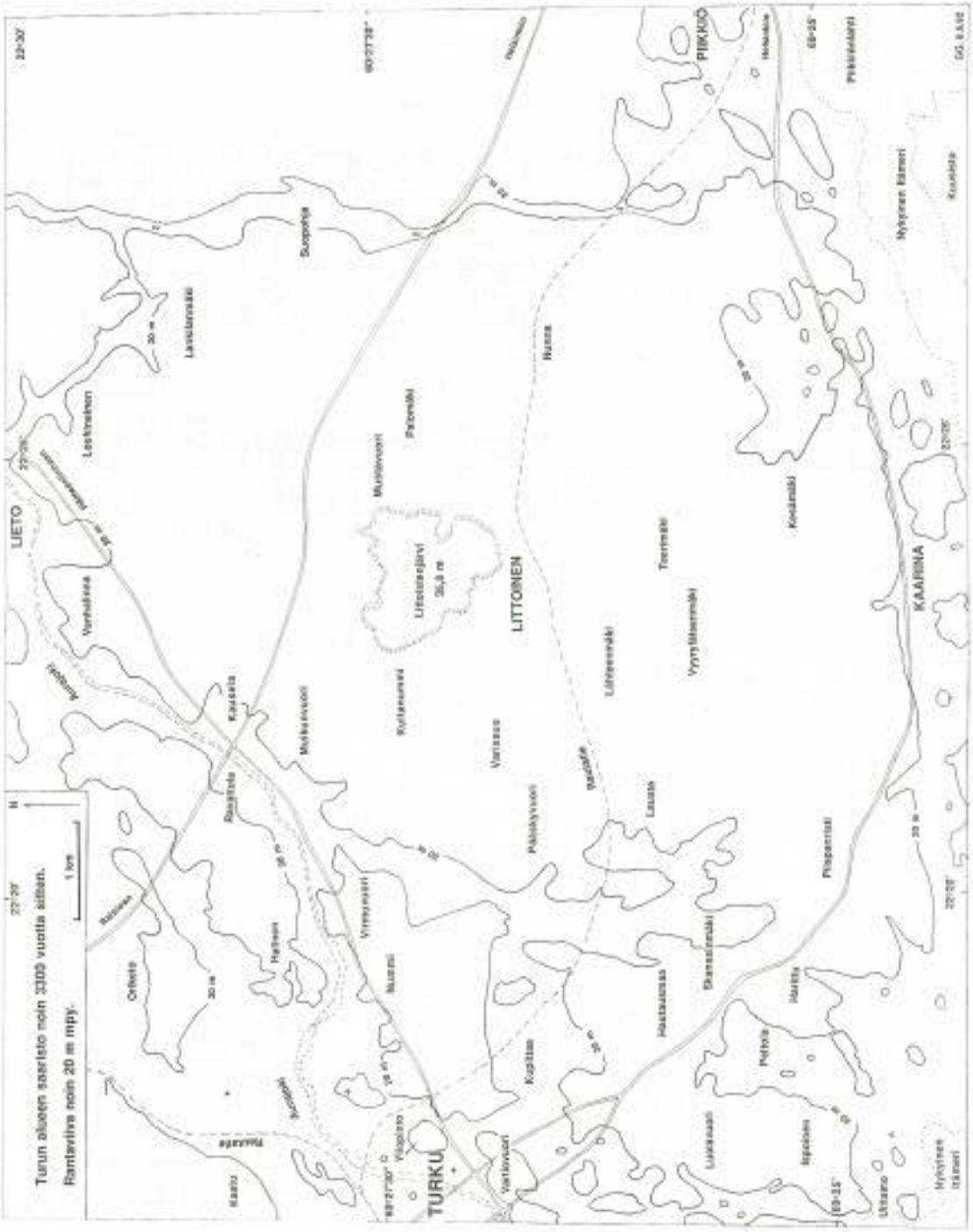
Koska Littoistenjärvi on varsin matala, tuulen synnyttämät virtaukset suspendoivat uudelleen sedimenttejä, joiden kulkeutuminen virtausten mukana samentaa järven vettä. Kesäisin sameus on 5–10 FTU, kiintoaineen pitoisuus 5 mg l^{-1} ja näkösyvyys 1,2–1,8 m. Veden kesäiset kokonaisfosforipitoisuudet vaihtelevat välillä 0,040–0,052 mg l^{-1} ja typpeä on keskimäärin 0,490 mg l^{-1}. Veden perustuotantomittausten mukaan järvi on nykyisin lievästi rehevä (Rautanen ym. 1985).

2.2 Järvialueen historia

Kuvat 2 ja 3 esittävät Littoistenjärven ympäristön maatumista ja Turun alueen saaristoa noin 5000 ja 3300 vuotta sitten (Glückert 1976, 1977). Varhaisin merkki ihmisen liikkumisesta Littoistenjärven alueella on noin 4500 vuoden



Kuva 2. Turun alueen saaristo noin 5000 v. sitten. Rantaviiva noin 35 m mpy. Littoistenjärvi sijaitsi kallioylängöllä saarella.


Turun alueen saaristo noin 3300 vuotta sitten.
Rantaviiva noin 20 m mpy.
1 km
N
22°30'
22°20'
60°27'30"
60°25'
LIETO
TURKU
LITTOINEN
KAARINA
PIKKIO
Lieto
Lieto-Inkoo
Vanhalinna
Kaarina
Raisio
Muskovuori
Ruskeasuo
Vähäsuo
Vähäjärvi
Vähäjärvi
Vähäjärvi

takaa. Sen todisteena on löydetty rikkoutunut kivikautinen oikokirves järven etelärannalta (Kivikoski ja Oja 1946). Ensimmäiset merkit maanviljelyksestä Lounais-Suomessa on ajoitettu noin ajankohtaan 3600 vuotta sitten (Vuorela 1990a ja b, 1991). Kirjallisuuslähteiden mukaan Littoistenjärven ympäristössä oli asutusta noin 1200-luvulta alkaen. Järven karun ympäristön takia sen rantoja ja niihin rajoittuvia metsäalueita viljeltiin ja asuttiin vasta historiallisena aikana. Asutus ja maatalous keskittyivät Aurajoen varteen, noin 2–3 km:n päähän itse järvestä. Aurajokilaaksossa, jossa asutusta oli jo esihistoriallisella ajalla, joki ja viljellyt savikot antoivat elämisen edellytykset (Kivikoski ja Oja 1946, Oja 1981, Mansikkaniemi ym. 1988) (kuva 1).

Maataloutta, kauppaa ja kalastusta harjoitettiin Littoistenkylän alueella keskiajalla. Maatalous lisääntyi 1400- ja 1500-luvuilla, peltoviljelyn ohella harjoitettiin myös karjan- ja metsänhoitoa. Pelloilla viljeltiin pääosin viljoja mutta myös talous- ja rehukasveja. Ulkoniittyjä sekä laidunmaita oli karjaa varten ilmeisesti myös Littoistenjärven läheisyydessä. Jakokuntien ja kylien yhteismetsät ja niiden käyttö tarvepuiden hakkuineen ulottuivat järven läheisyyteen. Littoistenjärven mainitaan olleen hyvä kalavesi mm. 1700-luvun alussa (Kivikoski ja Oja 1946, Oja 1981, Suistoranta 1988).

Vuoteen 1964 asti järven vedet laskivat verkatehtaan luona ollutta uomaa (Myllypuro) pitkin etelään Itämereen, nykyiseen Kuusistonsalmeen. Vanha luusua on sittemmin peitetty. Kaarinan ja Liedon kunnat rakensivat verkatehtaan alueelle Littoisten vesilaitoksen ja perustivat vedenottoa varten säännöstely-yhtiön. Nykyisin järvi on säännöstelty ja sen vettä käytetään raakavesilähteenä. Vedenpinnan sännöstelyväli on 85 cm ja maksimikorkeus 36,05 m mpy. Vuonna 1975 johdettiin Aurajoen vettä 300 000 m^3 järveen sen raakaveden määrän lisäämiseksi (kuva 1).

3 TUTKIMUSMENETELMÄT

Sedimenttinäytteet otettiin järven pohjakerrostumista vuosina 1985 ja 1986 altaan laakeasta, noin 3 m syvästä keskiosasta. Löyhät pintasedimentit kairattiin jääsorminäytteenottimella (piste A; kuva 1) ja niiden alla olevat sedimentit sekä vanhimmat, merelliset sedimentit mäntäkairalla (piste B; kuva 1). Jääsorminäytteenottimella ja mäntäkairalla otetut sedimenttisarjat (A ja B) korreloitiin siitepölyanalyysin tulosten perusteella. Vuonna 1989 järven laakeaa keskiosaa kairattiin mäntäkairalla vielä kahdessa kohdassa (pisteet C ja D; kuvat 1 ja 4). Sedimenttisarjojen C ja D litostratigrafia on samanlainen kuin tässä tutkimuksessa yksityiskohtaisesti kuvattujen sedimenttisarjojen A ja B.

Pohjasedimentin litostratigrafia kuvattiin näytteenoton yhteydessä. Sedimentin

Kuva 4. Näytteenottoa mäntäkairalla Littoistenjärven pohjasedimenteistä 1989.

fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet määritettiin Bengtssonin ja Enellin (1986) kuvaamalla menetelmällä. Kemiallista analyysiä varten näytteitä uutettiin kuumalla väkevällä typpihapolla. Alkuaineiden (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn ja Zn) pitoisuudet suodatetussa uutosnesteessä määritettiin AAS:llä (Perkin Elmer 360). Fosforin pitoisuus määritettiin kolorimetrisellä analyysimenetelmällä (esim. Egner ym. 1960).

Siitepölyanalyysit tehtiin absoluuttisina (Stockmarr 1971, Faegri-Iversen 1989). Sedimenttisarjan syvyystasoilta 30–0 cm ja 330–180 cm laskettiin noin 500 puiden siitepölyhiukkasta. Syvyystasoilta 170–35 cm laskettiin yli 1000 puiden siitepölyhiukkasta, jotta mahdollisten vähäisesti esiintyvien antropogeenisten kasvilajien esiintyminen havaittaisiin. Piileväanalyysit tehtiin hapettamalla sedimentin orgaaninen aines vetyperoksidilla. Lisäksi sedimentin karkein aines separoitiin erilleen (Vuorela ja Eronen 1978). Piilevämäärityksissä apuna olivat teokset: Hustedt (1930), Cleve-Euler (1951–1955), Mölder ja Tynni (1967–1973) ja Tynni (1975–1980). Eräistä lajeista on kuitenkin käytetty uudempia taksonomisia nimityksiä (kuvat 6 ja 7).

Sedimenttisarjasta ajoitettiin viisi näytettä Geologian tutkimuskeskuksen radio-

hiililaboratoriossa CO_2-kaasuverrannollisuuslaskurilla. Karbonaattien poistamiseksi näytteitä keitettiin 4-% suolahapossa yhden tunnin ajan ja huuhdottiin pH:iin 4. Näytteistä ei erotettu humushappoja eikä muita kemiallisia fraktioita. $\delta^{13}C$-määritykset tehtiin Geologian tutkimuskeskuksen isotooppigeologian yksikössä Finnigan Mat 251-massaspektrometrilla. Iät qvat konventionaalisia ^{14}C-ikiä, eli käytettiin ^{14}C:n puoliintumisaikaa ($T\frac{1}{2}$) 5568 ± 30 vuotta. Iät korjattiin mitatun $\delta^{13}C$-arvon perusteella isotooppifraktioitumisen normaaliarvoon -25 ‰ PDB, ja ne ovat 68 %:n todennäköisyydellä ilmoitettujen virherajojen (± 1 σ) sisällä (kuva 5, taulukko 1). Sedimenttisarjan pintaosasta teetettiin myös ^{137}Cs-määrityksiä (Pennington ym. 1973) Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen reaktorilaboratoriossa.

Järven sedimenttisarjan yläosassa on tutkimusten perusteella 28 cm:n syvyydellä kulumishorisontti (hiatus), josta puuttuvat noin 1500 vuoden sedimentit. Puuttuvan ajanjakson tutkimiseksi otettiin järven pohjoispään rantasuosta 1992 talvella yksi turvenäytesarja mikrofossiilianalyysejä varten. Turvesarjasta tutkittiin siitepölyt kasvillisuuden kehityshistorian selvittämiseksi järven ympäristössä (piste E; kuva 1).

TULOKSET

Pohjasedimentin litostratigrafia

Korreloitujen järvisedimenttisarjojen A ja B yhteispituus on 330 cm (kuva 6). Syvyystasojen 330–285 cm sedimentti on homogeenista harmaata liejusavea (As3, Ld°1 Dg+; ns. Troel-Smith koodi). Näytepisteen D sedimenttisarja on kerrallista syvyystasoilla 305–295 cm. Kerrallisuus todistaa, että sedimentin syntyessä altaan vesimassa oli kerrostunut, koska suolainen murtovesi jäi kuroutumisvaiheessa makeaa vettä tiheämpänä altaan pohjalle. Syvyystasoilla 285–150 cm sedimentti on vihertävää hienodetritusliejua (Ld12, Ag2 Dg+). Tämän yläpuolella, syvyystasoilla 150–28 cm, sedimentti muuttuu ruskehtavaksi mutamaiseksi hienodetritusliejuksi (Ld3, Sh1). Sedimentin pintaosassa (28–0 cm) aineksen laatu muuttuu jyrkästi uudelleen ja mustat vaakalustoiset sulfidiraidat värjäävät harmaan minerogeenisen liejusedimentin. Tummien sulfidiraitojen muodostamien kerroksien paksuus on 3–5 mm. Näytteenottopaikoilla A–D veden syvyys on keskimäärin 275 cm.

Alustavasti tutkitun rantasuon näytesarjassa (piste E; kuva 1) pohjalla on 125 cm:n syvyydessä olevan liejun päällä saraturvetta, joka vaihtuu rahkaturpeeksi noin 100 cm:n syvyydellä suon pinnasta.

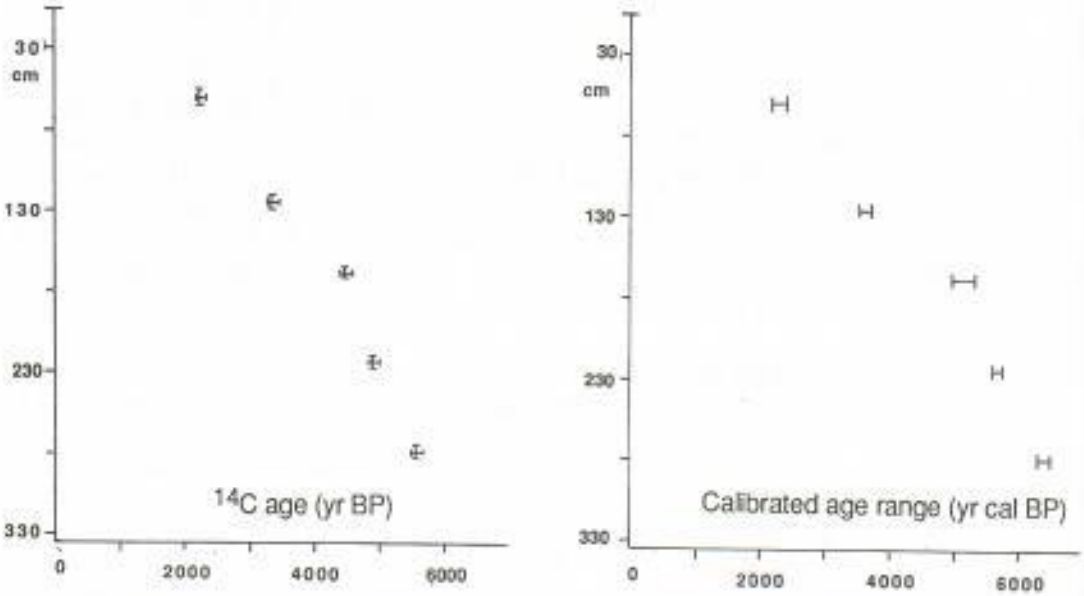
4.2 ^{14}C- ja ^{137}Cs-ajoitustulokset ja kerrostumisnopeudet

Murtoveden liejusaven muutoskohta orgaanista ainesta sisältäväksi järvisedimentiksi 278–270 cm:n syvyydellä ajoitettiin altaan kuroutumisiän määrittämiseksi. Iäksi saatiin 5560 ± 90 vuotta BP, mikä vastaa hyvin rannansiirtymistutkimusten perusteella laskettua kuroutumisikää (Glückert 1976, 1977). Kuusi yleistyi Littoistenjärven ympäristössä siitepölydiagrammin ja sedimentin ^{14}C-ajoituksen perusteella ajankohtana 3350 ± 80 vuotta BP (taulukko 1). Glückertin (1976) ja Tolosen (1983) tutkimusten mukaan kuusen yleistymisajankohta Turun alueella oli noin 3200 vuotta BP.

Sedimentaationopeuden laskemiseksi ^{14}C-iät muutettiin kalenterivuosiksi (Stuiver ja Pearson 1986, Pearson ja Stuiver 1986, Pearson ym. 1986). Muutosta tehtäessä kalibrointikäyrää "pehmennettiin" vastaamaan näytteiden noin 100 vuoden kerrostumisaikaa (taulukko 1, kuva 5). Kalibroitujen ikien perusteella kerrostumisnopeudet ovat sedimenttisarjan alaosan (270–210 cm) hienodetritusliejussa noin 0,8 mm vuodessa ja kasvavat ylempänä (210–160 cm) noin 1 mm:iin vuodessa. Ruskean mutamaisen hienodetritusliejun kerrostumisnopeudet ovat alaosassaan (160–120 cm) merkittävästi pienemmät, keskimäärin vain 0,3 mm vuodessa. Tätä tukevat myös samoilla syvyystasoilla havaitut suurimmat siitepölykonsentraatiot (maks. 400 000 puiden siitepölyhiukkasta/cm^3) (kuva 6). Tämän yläpuolella mutamaisen hienodetritussedimentin kerrostumisnopeudet kasvavat noin 0,5 mm:iin vuodessa. Sedimenttisarjasta saadut ajoitustulokset tukevat toisiaan ja ovat sopusoinnussa alueen rannansiirtymistutkimusten perusteella arvioidun järvialtaan kuroutumisiän kanssa. Koska myös siitepölykonsentraatiot antavat viitteitä kuvatuista sedimentaationopeuden muutoksista, voidaan radiohiiliajoitustuloksia sekä syvyystasolta 278–270 cm että muiltakin syvyyksiltä pitää melko luotettavina.

Taulukko 1. Littoistenjärven pohjasedimentin iänmääritystulokset. Kalibrointilähteet: 1) Stuiver ja Pearson (1986), 2) Pearson ja Stuiver (1986), 3) Pearson ym. 1986). Kalibroidut iät on ilmoitettu 68 %:n todennäköisyydellä.

^{14}C-lab. nro	syvyys, cm	$\delta^{13}C$ ‰ (PDB)	^{14}C-ikä (vuotta BP)	kalibroitu ikä (vuotta kal. BP)
Su-1589	50 - 60	-29,8	2280 ± 80	2190–2370 1)
Su-1590	117 - 125	-30,2	3350 ± 80	3490–3690 2)
Su-1591	160 - 167	-30,9	4490±100	4970–5310 3)
Su-1592	215 - 223	-28,7	4920 ± 80	5600–5750 3)
Su-1593	270 - 278	-19,4	5560 ± 90	6300–6450 3)



Kuva 5. Konventionaaliset sekä kalibroidut radiohiili-iät syvyyden funktiona.

Sedimenttisarjan pintaosan (28–0 cm) sulfidipitoinen lustolieju eroaa selvästi sekä aineksellaan että iältään alemmasta mutamaisesta hienodetritusliejusta. Pintaosasta tehtiin kuusi ^{137}Cs-määritystä. Koska niissä todettiin ^{137}Cs:ia, on pintaosan sedimentti nuorta, 1950-luvun puolivälin jälkeen kerrostunutta liejua. Tulokset eivät kuitenkaan anna mahdollisuutta ajoittaa sedimenttiä tämän tarkemmin (Anita Liehu, suullinen tiedonanto 1988).

Selvä litostratigrafinen kulumisraja 28 cm:n syvyydellä edustaa isotooppiajoitusten perusteella katkosta sedimentaatiossa. Jos oletetaan mutamaisen hienodetritusliejun kerrostumisnopeuden sedimentaatiokatkoksen alapuolella olleen enintään noin 0,5 mm vuodessa (sedimentit vuosiin 2190–2370 BP ajoitetun tason, 60–50 cm, yläpuolella), voidaan sedimenttisarjasta laskea puuttuviksi sedimentit 500-luvulta 1950-luvulle. Syynä sedimentaatiokatkoksen syntyyn on todennäköisesti ollut altaan täyttyminen sedimenteillä ja mataloituminen luonnollisen kerrostumisen kannalta kriittiselle tasolle. Myöhemmin sedimentit ovat suspendoituneet aallokon vaikutuksesta uudelleen ja kulkeutuneet vähitellen luusuan kautta pois altaasta. Myös orgaanisen aineksen hajotus on näissä olosuhteissa ollut tehokasta. 1950-luvun jälkeen kerrostunut sedimentin pintaosa (28–0 cm), sisältää runsaasti mineraaliainesta, jonka vuoksi se ei suspendoidu uudelleen yhtä herkästi kuin löyhä mutamainen sedimentti (kuva 6).

Pohjakerrostumien päälle on pitkän tauon jälkeen viime vuosikymmeninä alkanut jälleen kerrostua sedimenttejä. Siihen voi olla useitakin syitä, sillä järvialtaan sedimentatio-olot ovat muuttuneet 1960-luvulta lähtien. Veden

säännöstely on hidastanut pohjavirtauksia ja luonut mahdollisuuden uudelle sedimentaatiolle. Järven vedenpinta on viime aikoina ollut säännöstelyn yläylärajalla 36,05 m. Nykyisin lasku-uomaa ei ole, ja siten sedimentit eivät enää pääse kulkeutumaan pois järvestä. Lisäksi vesikasvillisuuden, erityisesti uposlehtisen vesiruton erittäin nopea määrän kasvu 1960-luvun jälkeen on mahdollisesti lisännyt sedimentaatiota.

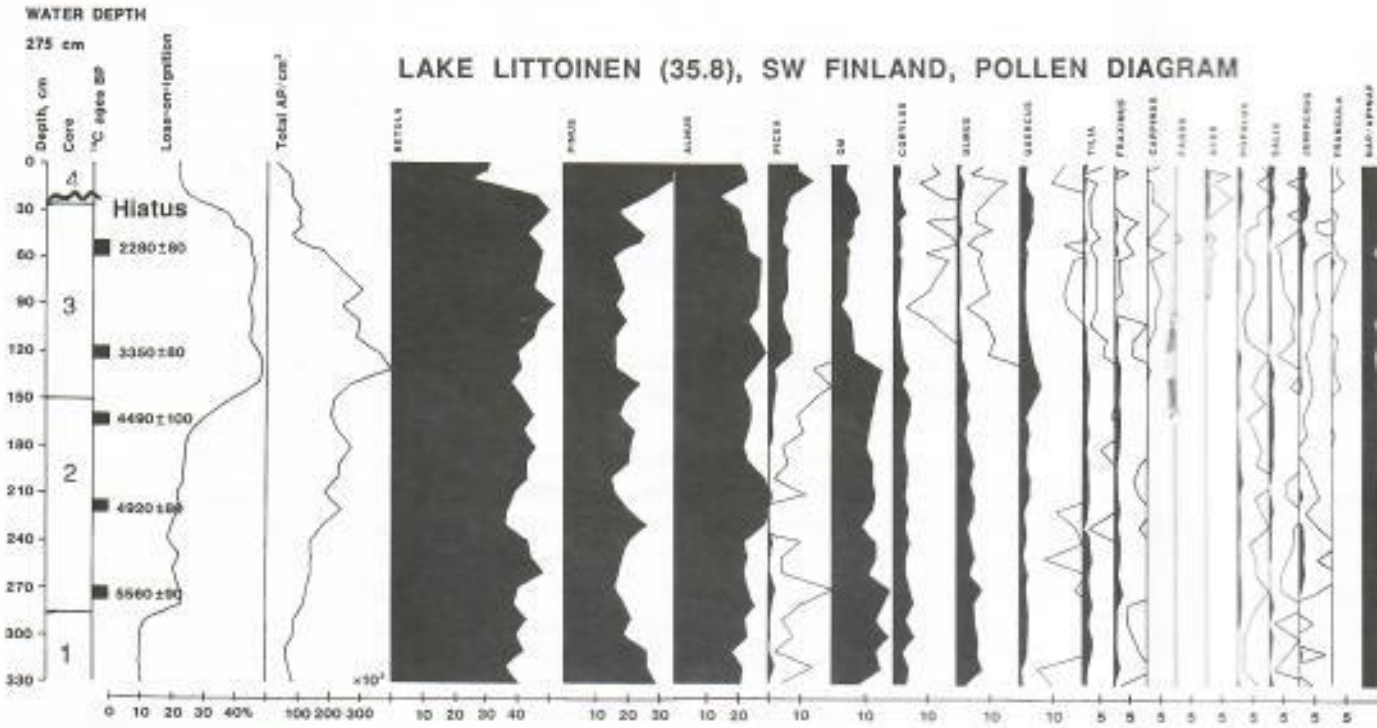
Järven ja sen ympäristön kasvillisuuden kehityshistoria siitepölyanalyysin valossa

Koska järven pohjakerrostumien pintaosasta puuttuvat sedimentit noin 1500 vuoden ajalta, ei ihmistoiminnan lisääntyvää vaikutusta järven ympäristössä voida järvisedimenteistä riittävästi tarkastella lukuun ottamatta aivan viimeisiä vuosikymmeniä. Siitepölyanalyysi tarjoaa kuitenkin mahdollisuuden tarkastella alueen kasvillisuuden kehitystä vuosina 5500–1500 BP. Littoistenjärven rantasuon siitepölyanalyysin tulokset täydentävät tietoja alueen kasvillisuushistoriasta ja ihmisen toiminnasta viimeisten 3000 vuoden ajalta.

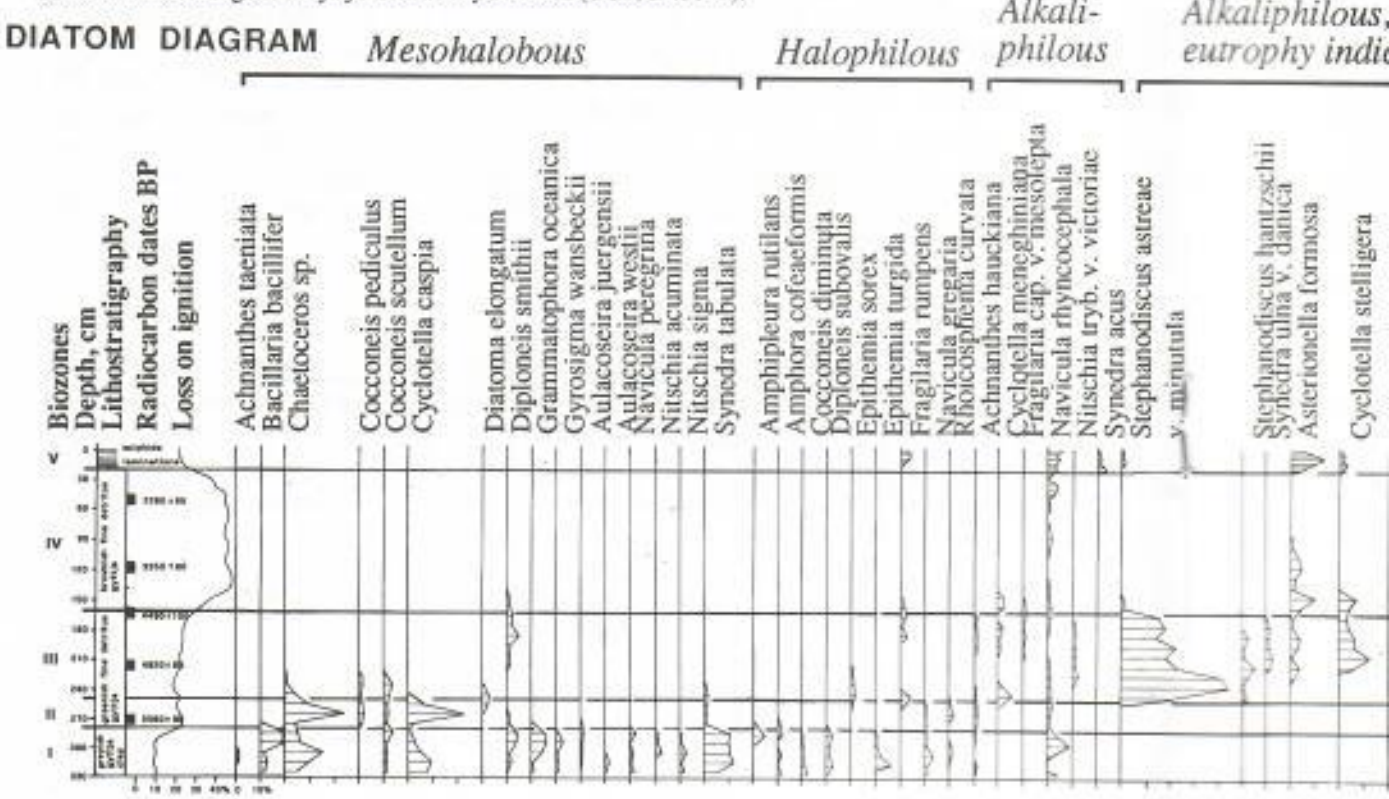
Siitepölydiagrammissa erottuu metsien yleinen kehitys sekä eri puulajien tyypillinen suksessio myöhäisatlanttisen (VII), subboreaali- (VIII) ja subatlanttisen (IX) kronozoonin aikana Lounais-Suomessa. Jalojen lehtipuiden (*Corylus, Ulmus, Tilia, Fraxinus* ja *Quercus*) määrä alkoi vähetä subboreaalikaudella. Niiden määrä väheni edelleen vuoden 3000 BP tienoilla, kun ilmasto viileni ja havupuiden määrä lisääntyi. Kuusi (*Picea*) tuli Lounais-Suomen metsiin toiseksi valtahavupuuksi noin ajankohtana 3200 vuotta BP (Glückert 1976, Tolonen 1983). Siitepölydiagrammissa kuusen suhteelliset siitepölymäärät kasvavat samalla kun jalojen lehtipuiden siitepölymäärät vähenevät huomattavasti. Myöhäiset lehtipuutulokkaat, *Acer, Carpinus* ja *Fagus*, ilmestyivät metsiin, kuten muuallakin maamme eteläosassa, vasta subatlanttisella kaudella (kuva 6).

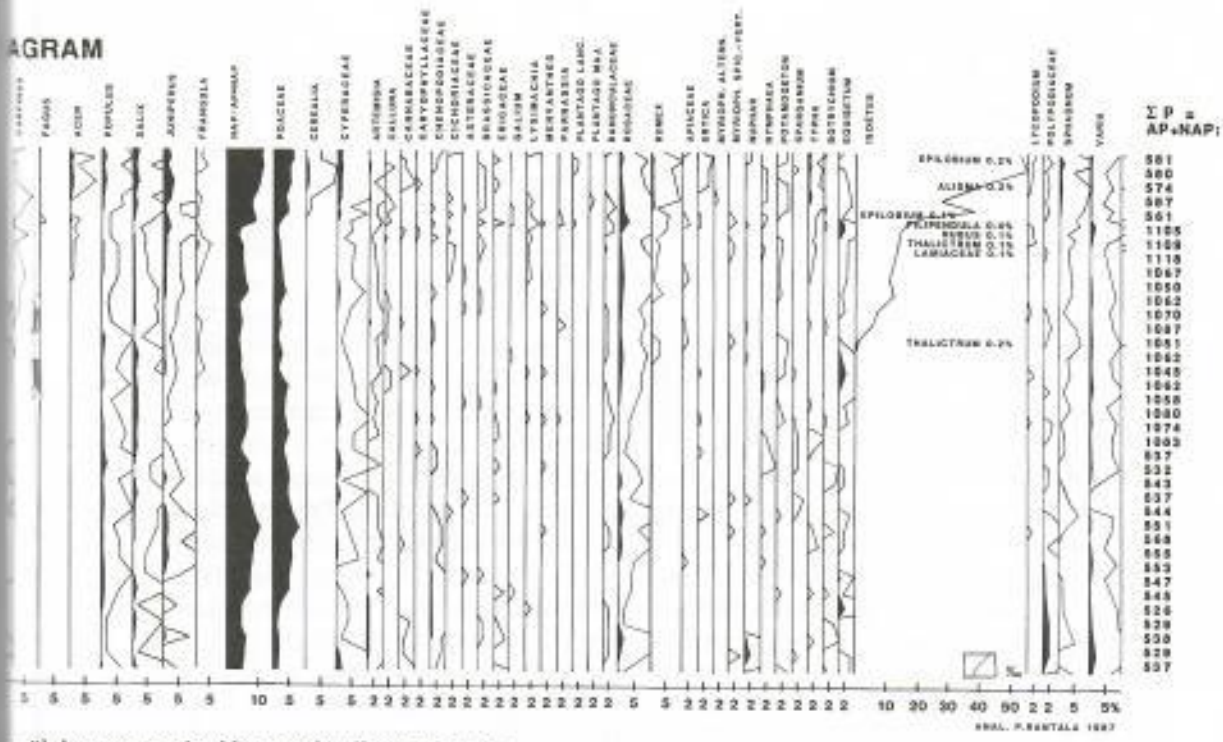
Kuroutumisen jälkeen Littoistenjärven altaaseen kerrostui hienodetritusliejua. Katajan (*Juniperus*) ja ruusukasvien (Rosaceae) siitepölyjen suhteelliset osuudet pysyivät tuolloin korkeina noin 500–600 vuoden ajan. Myös heinäkasvien (Poaceae) määrä oli tänä aikana suhteellisesti suurimmillaan. Havainnot ilmentävät rantavyöhykkeen kasviston vaikutusta siitepölykertymään. Meren rantavyöhyke loitontuu vähitellen maankohoamisen vuoksi järven välittömästä läheisyydestä, minkä vaikutuksesta mm. heinäkasvien siitepölyt vähenevät (vrt. Vuorela 1991) (kuva 6).

Järvessä nykyisinkin kasvavan lahnanruohon (*Isoëtes*) siitepöly ilmestyi ja sen suhteellinen määrä alkoi lisääntyä samaan aikaan kun kuusi yleistyi järven valuma-alueella. Nykyisin järven tunnuskasvi on tummalahnanruoho (*Isoëtes*

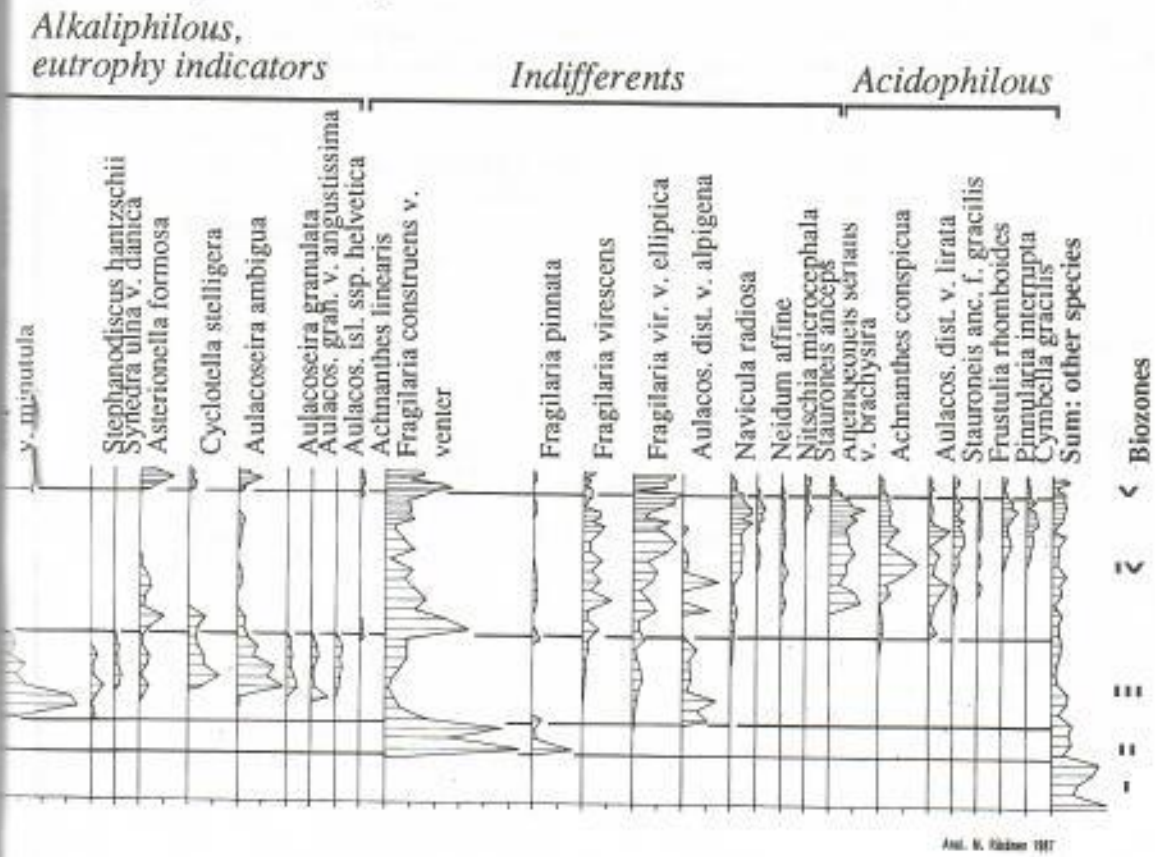


Kuva 6. Siitepölydiagrammi, litostratigrafia, radiohiili-iät, sedimentin hehkutushäviö ja absoluuttinen siitepölykonsentraatio. N
1 = harmaa homogeeninen liejusavi, 2 = vihertävä hienodetrituslieju, 3 = ruskehtava mutainen hienodetrituslieju, 4 = sulfidipito
Kuva 7. Piilevädiagrammi ja järven kehitysvaiheet (biozoonit I-V).





pölykonsentraatio. Näytesarjan litostratigrafia:
uslieju, 4 = sulfidipitoinen lustolieju.



lacustris L.), joka kasvaa järven länsiosan kirkasvetisillä eroosiopohjilla, ja sen tiedetään karttavan runsasravinteisia vesiä. Lahnanruohon tulo liittynee järven ravinteisuuden vähenemiseen, joka johtui valuma-alueen kasviston muutoksesta Tähän viittaa myös hienodetritusliejun muuttuminen mutamaiseksi (kuva 6).

Kuusen siitepölyn suhteellinen osuus kasvaa lähes 10 %:iin vuoteen 3350 ± 80 BP mennessä kerrostuneessa sedimentissä. Kuusi ilmeisesti syrjäytti tuolloin suhteellisen nopeasti Littoistenjärven valuma-alueella kasvaneet lehtimetsät. Välittömästi yleistymisensä jälkeen kuusen siitepölymäärät vähenevät ja katajan suhteelliset määrät kasvavat. Heinäkasvien ja viljojen (*Cerealia*) siitepölyt eivät kuitenkaan yleisty. Nämä heikot muutokset saattavat heijastaa kaskeamisen ja karjan laiduntamisen vaikutuksia kasvillisuuteen kauempana järvestä. Laiduntamisen merkit voimistuivat vasta noin vuonna 2000 BP. Samaan aikaan kerrostuneessa sedimentissä kasvavat myös katajan, sarakasvien (Cyperaceae), ruusukasvien ja hierakoiden (*Rumex*) sekä heinäkasvien siitepölyjen suhteelliset määrät (vrt. Vuorela 1972, 1977). Ensimmäiset viljakasvien siitepölyt esiintyvät juuri ennen sedimentaatiokatkosta (noin 2000 BP) ja runsaammin vasta pintaosan (28–0 cm) sedimenteissä. Pintasedimentit kerrostuivat 1950-luvun jälkeen, jolloin järven lähialueita oli säännöllisesti viljelty jo kauan. Uusimpien havaintojen mukaan maanviljelyä on harjoitettu Lounais-Suomessa ainakin vuodesta 3600 BP lähtien (Vuorela 1990a ja b, 1991) (kuva 6).

Littoistenjärven rantasuon siitepölyanalyysin alustavat tulokset täydentävät alueen kasvillisuushistorian ja ihmisen toiminnan vaikutuksen tuntemusta. Maanviljely alkoi järven lähialueilla, ilmeisesti ensin Aurajokilaaksossa, jo ennen Kristuksen syntymää. Siitepölyanalyysin mukaan maanviljelystä on alettu harjoittaa pian kuusen yleistymisen jälkeen eli noin 2500 vuotta sitten. Viljakasvien siitepölyjä esiintyy rantasuon turvesarjassa hieman kuusen yleistymisen (3200 BP) jälkeen. Ihmisen vaikutus näkyy myös eräiden muiden ihmisen seuralaiskasvien yleistymisenä samaan aikaan viljakasvien siitepölyjen ilmestymisen kanssa. Ihmisen seuralaiskasveista mainittakoon mm. savikat (Chenopodiaceae), mykerökukkaiset (Compositae) ja hierakat (kuva 6).

Järven pohjasedimenttien litostratigrafiassa näkyvä sedimentaatiokatkos 28 cm:n syvyydellä on havaittavissa selvästi myös siitepölysuhteissa. Koivun (*Betula*) siitepölymäärät vähenevät yli 40 %:sta (kaskikulttuurimetsille tyypillinen osuus) 20–30 %:iin (nykyiset talousmetsät). Männyn (*Pinus*) siitepölymäärät toisaalta kasvavat alle 20 %:sta yli 30 %:iin. Samantapainen jyrkkä muutos siitepölysuhteissa on todettu Säkylän Pyhäjärven vastaavanlaisten kerrostumien sedimentaatiokatkoksen kohdalla (Räsänen ym. 1992) (kuva 6).

4.4 Piileväanalyysi järven limnologisen kehityksen kuvastajana

Littoistenjärven sedimenttisarjan piilevälajiston kehitys on vaihteleva, mikä osoittaa, että järven limnologisessa tilassa on tapahtunut merkittäviä muutoksia. Piileväanalyysin perusteella järven limnologinen kehitys jakautuu viiteen eri vaiheeseen. Sedimenttisarjassa nämä vaiheet on erotettu biozooneina I–V (kuva 7).

Sedimenttisarjan alaosan liejusavessa (330–280 cm, biozooni I) esiintyvät runsaimpina mesohalobiset piilevälajit (mm. *Bacillaria bacillifer*, *Chaetoceros*, *Cyclotella caspia* ja *Synedra tabulata*). Lajisto vastaa Itämeren nykyistä litoraalin murtoveden piilevästöä. Sedimentti kuvaa olosuhteita Littoistenjärven altaassa ennen vuotta 5560 BP, jolloin altaalla oli vielä selvä yhteys mereen. Näytepisteen D sedimenttisarja on lustoinen syvyystasoilla 305–295 cm, mikä osoittaa, että vesimassa oli tuolloin kerrostunut. Suolaisin ja tihein vesi kerrostui Littoistenjärven laakean altaan pohjalle, kun taas vähemmän suolainen vesi jäi pinnalle. Täysin makeaa ei pintaosan vesi ilmeisesti ollut koko biozooni I:n kerrostumisen aikana, koska makean veden piileviä ei sedimentissä todettu (kuva 7).

Piilevälajisto vaihtuu selvästi, kun sedimentti muuttuu liejusavesta hienodetritusliejuksi (280–255 cm, biozooni II). Biozooni II:n kerrostuminen kesti noin 300 vuotta (noin 5600–5300 vuotta BP), jos keskimääräinen kerrostumisnopeus oli 0,8 mm vuodessa. Tänä aikana altaan kynnys nousi 1,5–2 m merenpinnan yläpuolelle. Piilevälajistossa vallitsee *Fragilaria construens v. venter* (jopa 50 %), ja myös *Fragilaria pinnataa* esiintyy jonkin verran. *Fragilaria*-lajien runsaus selittynee sillä, että altaan kuroutuessa esiintyy vallitsevana jokin uposlehtinen kasvi, ja *F. construens v. venter* mahdollisesti kasvaa tämän epifyyttinä (vrt. Räsänen 1985). Mesohalobisista lajeista esiintyvät runsaina planktiset *Chaetoceros sp.* ja *Cyclotella caspia*.. Näiden lajien on myös todettu esiintyvän runsaina makeavesialtaiden veden makeutumiskehityksen yhteydessä (Räsänen 1985). Vähenevään suolapitoisuuteen viittaa myös *Diatoma elongatumin* esiintyminen vain biozooni II:n aikana kerrostuneessa sedimentissä. Lajin esiintymisen optimisuolapitoisuudeksi on Lounais-Suomessa ja Ahvenanmaalla todettu 3,5–6,0 ‰ (Räsänen 1983). Suurin osa muista murtoveden lajeista on jo hävinnyt piilevästöstä, kun taas makeanveden lajit eivät vielä esiinny runsaina (kuva 7).

Biozooni II voidaan tulkita suksessiovaiheeksi. Tässä vaiheessa murtovesi tunkeutui altaaseen enää poikkeuksellisesti, esimerkiksi voimakkaiden etelämyrskyjen aikana. Järvi oli juuri kuroutunut Itämerestä ja sijaitsi saarella. Altaan kynnyskohta mereen sijaitsi järven eteläpäässä (kuva 2). Altaassa viihtyi sen vuoksi vain anomaalisen yksipuolinen piilevälajisto. Biozooni II:n sedimen-

teissä on runsaasti saveshiukkasia todisteena altaan yhteydestä mereen ja suolaisen veden tunkeutumisesta altaaseen.

Syvyystasolla 255 cm (biozooni III) meriveden sedimenttiin jättämät merkit vähenevät. Biozooni III:n sedimenteistä häviävät myös saveshiukkaset, mikä osoittaa altaan irtautuneen lopullisesti ajoittaisista meriyhteyksistään. Piileväs-tön valtalajiksi tulee tällöin halofiilinen *Stephanodiscus astraea v. minutula* noin 300 vuoden ajaksi. Piilevälajiston muutoksen perusteella altaan veden sähkönjohtavuus ja kloridipitoisuus ovat laskeneet tavallisen järviveden tasolle (sähkönjohtavuus 2–15 mSm^{-1} ja kloridipitoisuus 5–30 mg l^{-1}). Myöhemmin ilmestyy muita veden ravinteisuuden suhteen vaativia lajeja, kuten *Stephanodiscus hantzschii, Asterionella formosa, Cyclotella stelligera, Aulacoseira ambigua* ja muita *Aulacoseira*-lajeja. Veden ravinteikkaan, neutraalin tilan aiheuttivat altaaseen virranneet suhteellisen ravinteikkaat valuvedet. Nämä olivat peräisin Atlanttisen kauden lämpimän saaristoilmaston ylläpitämän lehtipuuvaltaisen kasvillisuuden emäksisestä lehtipuukarikkeesta (kuva 7).

Kun sedimentti muuttuu syvyystasolta 160 cm (4490 ± 100 vuotta BP, biozooni IV) ylöspäin tummemmaksi mutamaiseksi hienodetritusliejuksi, vaihtuu myös piilevälajisto huomattavasti. Varsinkin sedimentin hehkutushäviön kasvaessa 20 %:sta noin 40 %:iin esiintyy *Fragilaria construens v. venter* jälleen vallitsevana (> 30 %). Laji väistyy kuitenkin 160 cm:n syvyystasolla, jolla hehkutushäviö on suurin ja jolla sedimentin kerrostumisnopeudet vähenevät siitepölykonsentraatioiden ja ajoitustulosten perusteella muutamaan kymmenesosamillimetriin vuodessa. Radiohiiliajoituksiin perustuvan keskimääräisen vuotuisen kerrostumisnopeuden perusteella tämä muutosvaihe kesti melkein 1000 vuotta. Tänä aikana orgaanisen aineksen ja humushappojen määrät sedimentissä lisääntyivät.

Hitaasti kerrostuneessa sedimentissä syvyystasoilla 130–120 cm (3350 ± 80 vuotta BP) saavuttavat hehkutushäviö ja siitepölykonsentraatio maksiminsa (kuvat 6 ja 8). Samoilla syvyystasoilla kuusen siitepölymäärät kasvavat lähelle kymmentä porsenttia. Kuusi näyttää tuolloin merkittävästi syrjäyttäneen lehtipuuvaltaisia metsiä Littoistenjärven valuma-alueella. Piilevälajistossa *Fragilaria construens v. venter*in osuus pienenee ja mukaan ilmestyy ensimmäisen kerran runsaasti happamien vesien tyyppilajia *Anomoeoneis serians v. brachysira*a. Lisäksi asidofiiliset piilevälajit *Aulacoseira distans v. lirata, Achnanthes lapponica* ja *Stauroneis anceps f. gracilis* lisääntyvät tältä syvyystasolta ylöspäin (kuva 7).

Muutos Littoistenjärven limnologisessa kehityksessä on Suomen olosuhteissa varsin selkeä. Se osoittaa, että järven dystrofioituminen liittyi ajallisesti kuusen yleistymiseen valuma-alueella. Muutoksen nopeutta kuvaa se, että kuusen siitepölymäärät ovat syvyystasolla 130 cm alle 2 %, mutta heti ylempänä 120

cm:n syvyystasolla jo 7 %. Siitepölykonsentraatioiden perusteella sedimentin kerrostumisnopeus oli tällöin minimissään, mahdollisesti 0,3–0,5 mm vuodessa. Tämän mukaan kuusi yleistyy tässä alle 10 cm paksussa sedimenttikerrostumassa, jonka syntyminen kesti 200–400 vuotta. Tänä aikana kuusi saattoi tukahduttaa valuma-alueen moreeni- ja savimailla kasvaneet lehtipuuvaltaiset metsät. Huomionarvoista on, että rahkaturpeiden (*Sphagnum*) itiöiden osuudet eivät tänä aikana kasvaneet, ja humuksen lisääntynyt kerrostuminen altaaseen saattoikin olla seurausta runsaan lehtipuubiomassan hajoamisesta valuma-alueella. Valuma-alueella on nykyisin pieniä soita, mutta soistumisen alun osoittaminen vaatii tarkempia tutkimuksia ja turpeen kasvuunlähdön ajoituksia. Tutkitun rantasuon siitepölyanalyysin tulokset osoittavat, että suo on alkanut muodostua hieman ennen kuusen yleistymistä valuma-alueella. Kuusen yleistymisen jälkeen soistumiselle oli kuitenkin huomattavasti paremmat edellytykset kuin aikaisemmin lehtipuuvaltaisen metsävaiheen aikana.

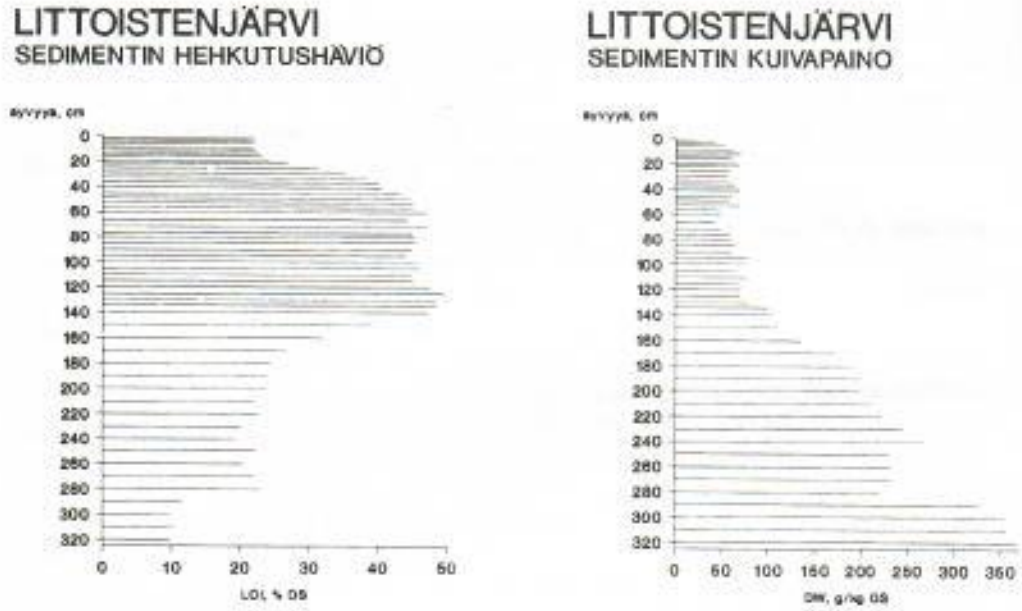
Radiohiiliajoitusten perusteella järven dystrofinen tila jatkui samanlaisena noin 500-luvulle, johon saakka myös samat asidofiiliset piilevälajit vallitsivat. Lisäksi asidofiiliset lajit *Pinnularia interrupta* ja *Cymbella gracilis* yleistyvät.

Sedimentaatiokatkoksen yläpuolella (28–0 cm; biozooni V) sedimentin piilevälajisto osoittaa, että järveen tulevien ravinteiden määrä on viime vuosikymmeninä lisäytynyt. *Fragilaria construens v. venter*in määrät ovat biozooni V:n alaosassa korkeita (25 %), mikä osoittaa, että se on yleensä selvästi edusteilla järven limnologisissa muutosvaiheissa. Piilevästössä lisääntyvät myös eutrofiaa indikoivien lajien suhteelliset määrät (*Asterionella formosa, Cyclotella stelligera, Melosira ambigua*). Piilevälajistossa esiintyy kuitenkin yhä asidofiilisia lajeja, joskin niiden määrät vähenevät. Järvi on 1950-luvun jälkeen palannut tuottavampaan tilaan, mutta piilevälajisto osoittaa, että järven kemia on erilainen kuin lämpökauden ravinteikkaassa vaiheessa.

4.5 Pohjasedimentin kemia

Sedimenttisarjan kemia kuvaa järven kehityksen aikana muuttuneita mineraali- ja orgaanisen aineksen määräsuhteiden vaihteluja. Altaan merenlahtivaiheen sedimenttiä (piileväanalyysin biozooni I) luonnehtivat suuret alkali- ja maa-alkalimetalli- sekä suhteellisen suuret rauta- ja mangaanimäärät. Nämä alkuaineet ovat pääasiassa sitoutuneina sedimentin mineraaliainekseen (hehkutushäviö noin 10 %) (kuvat 8 ja 9).

Altaan kuroutumisen jälkeen kerrostuneessa sedimentissä (piileväanalyysin biozoonit II ja III), kasvaa orgaanisen aineksen määrä ensin 25 %:iin ja vähitellen yli 30 %:iin. Sedimentin kemiassa tämä heijastuu natriumin ja kaliumin määrien vähenemisinä ja kalsiumin määrän kasvuna, kun taas magnesiu-

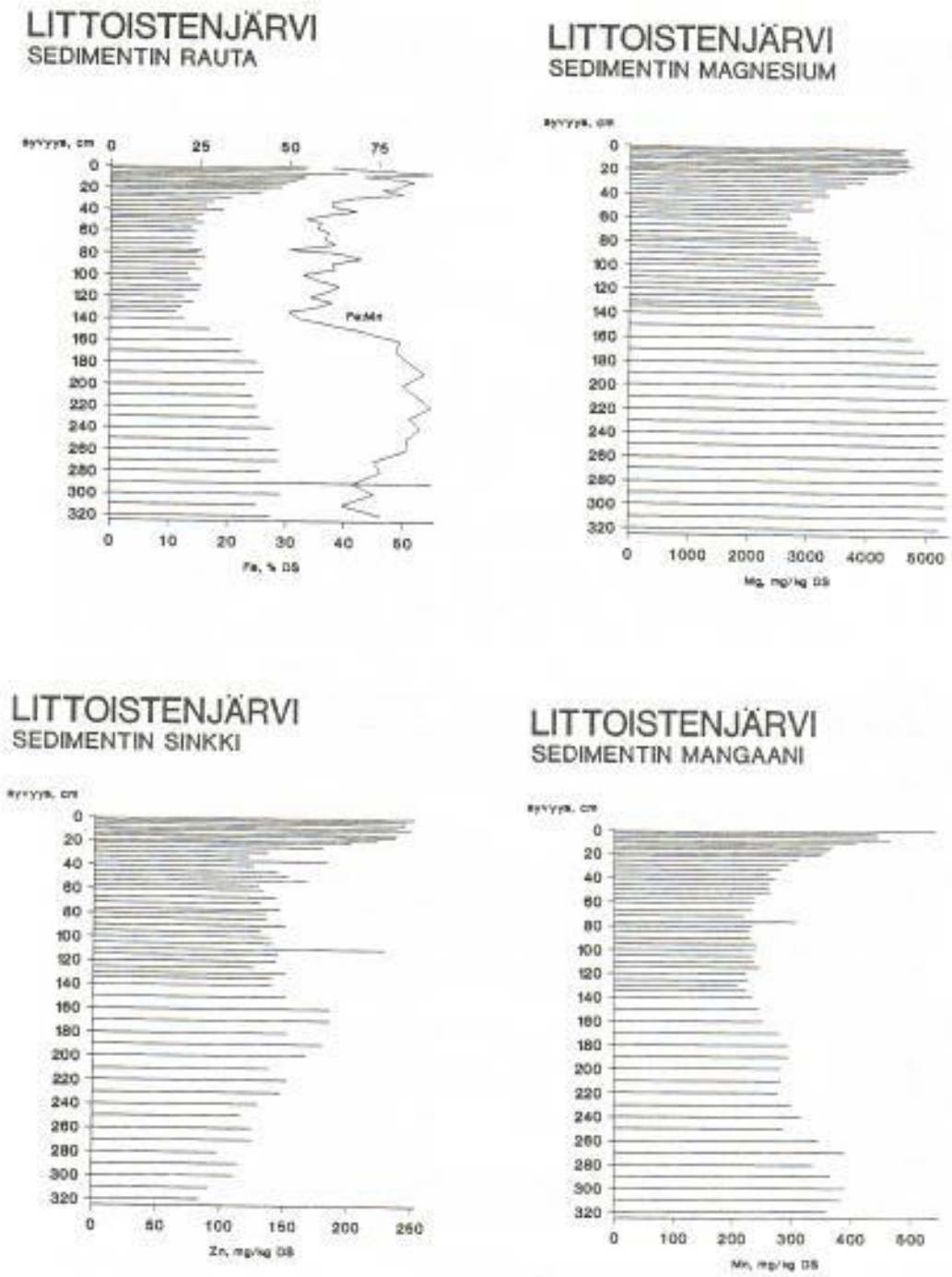


Kuva 8. Pohjasedimentin hehkutushäviö ja kuivapaino.

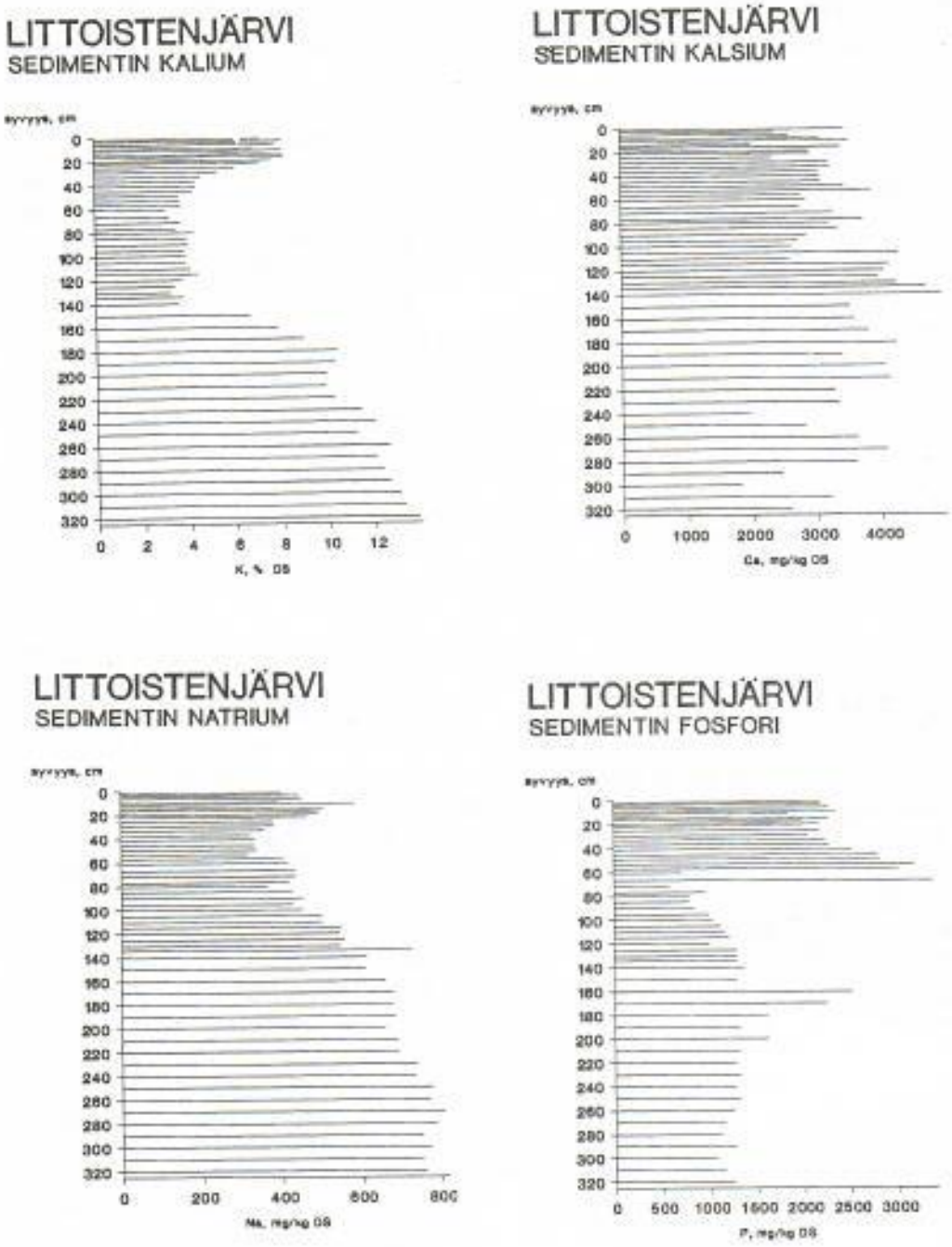
min määrä pysyy tasaisena. Natriumin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin muutokset kuvastavat orgaanisen aineksen määrän hidasta kasvua. Raudan määrä pysyy suhteellisen muuttumattomana, kun taas mangaanin määrä laskee vähitellen. Raudan ja mangaanin määräsuhde on kuitenkin suurimmillaan, mikä viittaisi siihen, että olosuhteet altaassa olivat kuroutumisen jälkeen pelkistävämmät kuin ennen kuroutumista. Myös sinkin määrä lisääntyy, mikä heijastaa orgaanisen aineksen määrän kasvua. Fosforin määrä pysyy suhteellisen muuttumattomana (kuvat 8 ja 9).

Dystrofioitumisen alkuvaiheessa kerrostuneessa sedimentissä (biozooni IV) saavuttavat sekä minerogeeniseen että orgaaniseen ainekseen sitoutuneet alkuaineet maksimimääränsä. Sedimentin muuttuminen mutaisemmaksi hienodetritusliejuksi (hehkutushäviö 40–50 %) näkyy kaliumin ja magnesiumin määrien selvänä vähenemisenä ja kalsiumin määrän lievänä kasvuna. Natriumin määrässä ei tapahdu selvää muutosta. Raudan ja mangaanin määrät pienenevät myös, samoin niiden suhde. Aiempien vaiheiden aikana suurentuneet sinkkimäärät alkavat vähetä, kun alloktonisen aineksen osuus kasvaa. Suuri fosforimäärä hiatuksen alapuolella (60–40 cm) saattaa olla kertynyt silloiseen pintasedimenttiin ja rikastunut pitkän sedimentaatiokatkoksen aikana (kuva 9).

Sedimentin pintaosassa (28–0 cm, biozooni V) useimpien alkuaineiden määrät kasvavat. Natriumin, kaliumin, magnesiumin raudan ja mangaanin osalta kasvu johtuu lisääntyneestä minerogeenisen aineksen määrästä. Raudan ja mangaanin



Kuva 9. Pohjasedimentin kemiallisten analyysien tuloksia.



Kuva 10. Pohjasedimentin kemiallisten analyysien tuloksia.

määräsuhde on jälleen kasvanut, ja altaassa vallinneiden pelkistyneempien olosuhteiden todisteena ovat myös sedimentissä näillä tasoilla havaitut mustat sulfidiraidat. Fosforin ja sinkin määrien lisääntyminen liittyy ilmeisesti viime vuosikymmeninä kasvaneeseen hajakuormitukseen, mahdollisesti suo- ja metsäojitukseen sekä valuma-alueen pelto- ja nurmikkoalueiden lannoitukseen (kuvat 8 ja 9).

5 JÄRVEN KEHITYSVAIHEET JA IHMISEN TOIMINTA

Littoistenjärven kuroutumishistoria on verraten selkeä. Lustoiset pohjasedimentit osoittavat, että altaan vesimassa oli kerrostunut Itämerestä kuroutuvan merenlahtivaiheen aikana. Murtovesi saattoi tunkeutua saarella olevaan altaaseen vuosittaisten myrskyjen aikaan ja jäädä altaan pohjalle.

Kun allas kuroutui lopullisesti merenlahdesta noin ajankohtana 5600 vuotta BP, muuttuivat sedimentaatio-olosuhteet ja liejua kerrostui. Altaan vesi makeutui noin 300 vuodessa samalla, kun altaan kynnys nousi 1,5–2 m meren keskivedenpinnan yläpuolelle. Tässä kuroutumisen toisessa vaiheessa esiintyivät tietyt heikolle suolapitoisuudelle tyypilliset piilevälajit, kuten *Chaetoceros* - lajit, *Cyclotella caspia* ja *Diatoma elongatum*. Myös *Fragilaria construens* v. *venter*in määrät olivat runsaat tässä suksessiovaiheessa. Syynä saattoi olla lajin esiintyminen jonkun upos- tai kelluslehtisen kasvin epifyyttinä, joka usein muodostaa monokulttuureja merenlahtien kuroutuessa (Räsänen 1985). Tämä selittäisi tutkimuksissa usein todetut *Fragilaria*-lajien runsaat määrät merestä kuroutuvien altaiden sedimenteissä. Stabell (1985) selittää vastaavanlaisissa kuroutuneissa altaissa todetut *Fragilaria*-lajien esiintymismaksimit altaiden ravinteisuuden muutosten seurauksekseksi. Koska Littoistenjärvessä *Fragilaria* lajit runsastuvat aina limnologisissa muutoshorisonteissa tukee tässä tutkittu aineisto paremmin *Fragilaria*-lajien esiintymistä tiettyjen uposlehtisten kasvien epifyyttinä kuin ravinteisuuden muutoksia.

Altaan vesi makeutui noin 5500 vuotta sitten. Altaaseen kerrostui lämpökaudelle tyypillistä hienodetritusliejua (Birks 1986). Sedimentin piilevälajiston mukaan altaan vesi oli ravinteikasta, koska valuma-alueen lehtipuuvaltaisista (*Corylus, Ulmus, Quercus, Tilia, Fraxinus*) metsistä valui ravinteikkaita vesiä. Saaristoilmaston keskilämpötilat olivat muutamia asteita nykyistä korkeampia. Maannokset olivat multaisempia ja orgaanisen aineksen hajotus tehokasta. Maannoksista vapautuneet ravinteet pitivät altaan veden ravinteikkaana.

Huomattavin muutos järven limnologiassa tapahtui ennen vuotta 4000 BP. Sedimentin litostratigrafia, kemia ja piilevälajisto osoittavat järven alkaneen tuolloin selvästi dystrofioitua. Tässäkin muutosvaiheessa *Fragilaria construens*

*ens v. venter*in määrät kasvavat. Lajin valta-asema häviää samalla kun sedimentin fysikaaliset ja kemialliset tekijät sekä muu piilevälajisto muuttuvat dystrofiselle järvelle tyypillisiksi. Tämä muutosvaihe, jossa kuusen siitepölymäärä nousee lähes 10 %:iin, osoittaa kuusen vakiinnuttaneen asemansa aivan järven ympäristössä.

Siitepölykonsentraation perusteella sedimentin kerrostumisnopeus oli kuusen yleistymisen aikana pienimmillään. Sedimentti on mutamaista ruskehtavaa hienodetritusliejua. Järven dystrofioituminen johtui ilmeisesti nimenomaan kuusen lehtipuustoa syrjäyttävästä vaikutuksesta ja sitä seuranneesta karikekerroksen happamoitumisesta. Tätä osoittaa alloktonisen mineraaliaineksen sedimentaation huomattava väheneminen. Happamat valuvedet toivat järveen vähemmän ravinteita, koska orgaanisen aineksen hajoaminen oli epätäydellisempää muuttuneissa olosuhteissa. Tämän vaikutuksesta järven perustuotantokyky heikkeni. Hitaasti kerrostuneessa sedimentissä alloktonisen orgaanisen aineksen määrä kasvoi. Tämä saattoi osaltaan olla seurausta valuma-alueen syrjäytetyn lehtipuubiomassan hajoamisesta. Kuusimetsän biomassa on huomattavasti pienempi kuin sen syrjäyttämän lehtipuuvaltaisen metsän biomassa. Muutokseen liittyi myös minerogeenisen aineksen määrän aikaisempaa vähäisempi kulkeutuminen altaaseen, jolloin myös sedimentin hehkutushäviö kasvaa 20 %:sta 40 %:iin. Tämä saattoi johtua siitä, että valuma-alueen happamassa karikekerroksessa minerogeeninen aines ei enää noussut matojen toiminnan vaikutuksesta maanpintaan ja sadevesieroosion kuljetettavaksi kuten aiemmin.

Järvi on tuskin dystrofioitunut maaperän podsoloitumisen ja ravinteiden huuhtoutumisen takia, vaikkakaan tämän prosessin vaikutusta ei voida täysin sulkea pois. Myös turvekerrostumia alueella on nykyisin vähän. Sitä vastoin kuusen leviämisen on todettu etenevän lehtipuuvaltaisissa metsissä noin 500 m vuodessa, joten kuusi on voinut vallata Littoistenjärven pienen valuma-alueen hyvin nopeasti. Valuma-alueen pienuuden vuoksi kasvillisuusmuutoksen vaikutus on myös ollut jyrkkä. Tätä tukee havainto, jonka mukaan kuusi on syrjäyttänyt pähkinäpensaan nopeasti ainakin pohjoisilta levinneisyysalueiltaan (Eriksson ym. 1991).

Syvyystasoilla 175–145 cm havaittavan järven limnologisen muutoksen kestoa voidaan arvioida sedimentaationopeuksien avulla. Kalibroitujen radiohiili-ikien perusteella keskimääräinen sedimentaationopeus on syvyysvälillä 175–163 cm ollut noin 1 mm ja välillä 163–145 cm noin 0,3 mm vuodessa Kun otetaan huomioon myös radiohiili-ikien virherajat, limnologinen muutos olisi tapahtunut 500–1100 vuodessa. Muutoksen tarkemman keston arviointi on hankalaa, koska sedimentin uudelleen sekoittumisen vaikutusta (mm. bioturbaatio) analysoitujen muuttujien profiileihin on vaikea tulkita.

Littoistenjärven limnologinen muutos ennakoi kuusen siitepölyn yleistymistä altaan sedimentissä. Vastaavalla tavalla dystrofioituneessa Majavijärvessä Hämeessä sedimentin orgaanisen aineksen määrä kasvoi 15–20 %:iin ennakoiden kuusen siitepölyn yleistymistä sedimentissä (Raukola 1988). Muutos liittyy kuitenkin kuusen yleistymiseen, koska järven piilevästratigrafiassa tietyt suksessiolajit esiintyivät tänä aikana runsaina. Järven sedimentissä havaitun muutoksen voidaan siten arvioida edustavan niitä vuosisatoja, joiden aikana kuusi tukahdutti lehtipuuvaltaisen metsän ja sai latvustossa sen valtaaseman, joka sillä on nykypäivään asti säilynyt. Järviä on vastaavalla tavalla happamoitunut Pohjois-Amerikassa kuusimetsien levittäytyessä tietyille alueille (Whitehead 1987).

Limnologisen muutoksen jälkeen Littoistenjärvi säilyi edelleen dystrofisena. Piilevälajistoon ilmaantui yhä useampia happaman veden lajeja. Vasta tässä, oligotrofisemmassa vaiheessa lahnanruoho ilmestyi järveen ja valtasi myöhemmin altaan pohjan. Kun allas oli täyttynyt sedimenteillä siten, ettei sen keskiosassakaan ollut vettä kuin 3 metriä, sedimentaatiota ei enää tapahtunut. Radiohiiliajoitusten perusteella tämä tapahtui noin 1500 vuotta sitten.

Siitepölydiagrammissa esiintyy heti kuusen ilmestymisen jälkeen merkkejä ihmistoiminnasta Littoistenjärven alueella. Niiksi voidaan tulkita kuusen väheneminen sekä hierakan ilmestyminen. Kyseiset muutokset saattavat olla osoituksena jopa 3000 vuotta sitten tehdyistä metsänhakkuista ja kaskeamisista. Metsien raivaus, laiduntaminen ja viljely alkoivat järven ympäristössä kuitenkin vasta myöhemmin, noin ajankohtana 2500–1500 vuotta BP. Niiden merkkejä ovat *Cerealia*-siitepölyjen ilmestyminen sekä mm. *Urtica*- ja *Juniperus*-lajien lisääntyminen noin 40 cm:n syvyydellä sedimentin pinnasta (vrt. Vuorela 1972, 1977). Vuorelan (1991) mukaan kuusen siitepölysuhteiden vaihtelut osoittavat, että metsänraivaus alkoi Lounais-Suomessa jo noin 3000 vuotta sitten. Vanhinta maanviljelys on Turun alueella ilmeisesti ollut Aurajokilaaksossa, ja sitä on harjoitettu jo ennen Kristuksen syntymää. Littoistenjärven sedimentin pintaosassa näkyy sedimentaatiokatkoksen yläpuolella olevassa sekoittuneessa sedimentissä selvästi nykyisen ihmistoiminnan vaikutus.

KIITOKSET

Lausumme parhaat kiitoksemme Turun yliopistolle, joka projektiin 1985-86 myöntämällään tutkimusmäärärahalla mahdollisti hankkeen läpiviemisen. Lisäksi kiitämme kaikkia niitä henkilöitä, jotka ovat edesauttaneet hanketta matkan varrella.

KIRJALLISUUSLUETTELO

Bengtsson, L. ja Enell, M. (1986): Chemical analysis. In: *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, ed., B. E. Berglund. John Wiley & Sons Ltd., Great Britain, 423-451.

Birks, H. J. B. (1986): Late-Quaternary biotic changes in terrestrial and lacustrine environments, with particular reference to north-west Europe. In: *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, ed., B. E. Berglund. John Wiley & Sons Ltd., Great Britain, 3-65.

Cleve-Euler, A. (1951-55): Die Diatomeen von Schweden und Finnland I-V. *Kungl. Svenska Vetenskapsakad. Handl.* Ser. 4,2,1, 161 s, (1951); 3,3, 153 s, (1952); 4,1, 148 s, (1953); 5,4, 232 s, (1955).

Egner, H., Riehm, H. ja Domingo,W. R. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethode zur Phosphor und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukhögskolans Annaler* 26, 199-215.

Eriksson, B., Aalto, M. ja Kankainen, T.(1991): Hazelnuts from a peat deposit at Evijärvi, western Finland. *Bull. Geol. Soc. Finland* 63:2, 141-148.

Eronen, M., Heikkinen, O. ja Tikkanen, M. (1982): Holocene development and present hydrology of Lake Pyhäjärvi in Satakunta, south-western Finland. *Fennia* 160:2, 195-223.

Fægri, K. ja Iversen, Johs. (1989): Textbook of pollen analysis. John Wiley & Sons, Chichester etc., 328 s. 4. painos.

Glückert, G. (1976): Post-Glacial shore-level displacement of the Baltic in SW Finland. *Ann.Acad.Scient.Fennicae,* Ser.A, III, 118, 92 s.

Glückert, G. (1977): Itämeren rannansiirtymisestä Turussa ja sen lähiympäristössä. *Turun yliopiston maaperägeologian osaston julkaisuja* 21, 36 s.

Hustedt, Fr., (1930): Bacillariophyta (Diatomeae). In: Pascher, E: *Die Süsswasser-Flora Mittel-Europas*. Heft 10, 466 s. G. Fischer, Jena.

Kivikoski, E. ja Oja, A. (1946): *Kaarinan pitäjän historia*. I osa, 313 s, Kaarina.

Kukkonen, E. (1973): Sedimentation and typological development in the basin of lake Lohjanjärvi, South Finland. *Geol. Survey of Finland, Bull.* 216, 67 s.

Mansikkaniemi, H., Luoto, J. ja Hiltunen, E. (1988): *Liedon historia 1 - aikojen alusta vuoteen 1809*. Liedon kunta ja seurakunta. Turku, 547 s, Lieto.

Mölder, K. ja Tynni, R. (1967-1973): Über Finnlands rezente und subfossile Diatomeen I-VII. I: *Bull. Comm. géol. Finlande* 229, 199-217,

(1967), II: *Bull. Geol. Soc. Finland* 40, 151-170, (1968), III: *ibid.* 41, 235-251, (1969), IV: *ibid.* 42, 129-144, (1970), V: *ibid.* 43, 203-220, (1971), VI: *ibid.* 44,141-159, (1972), VII: *ibid.* 45, 159-179, (1973).

Oja, A. (1981): *Kaarinan pitäjän historia. I osa: Kaarina keskiajalla ja 1500-luvulla*. Turku.

Pearson, G.W., Pilcher, J. R., Baillie, M. G. L., Corbett, D.M. ja Qua, F. (1986): High-Precision ^{14}C Measurement of Irish Oaks to show the natural ^{14}C variations from AD 1840 to 5210 BC. *Radiocarbon 28*, No. 2B, 911-934.

Pearson, G.W. ja Stuiver, M. (1986): High-Precision Calibration of the Radiocarbon Time Scale, 500-2500 BC. *Radiocarbon 28*, No. 2B, 839-862.

Pennington, W., Cambray, R.S. ja Fisher, E.M. (1973): Observations on lake sediments using fallout ^{137}Cs as a tracer. *Nature*, 242, 324-326.

Raukola, T. (1988): Majavijärven kehitys dystrofiseksi biostratigrafisten ja geokemiallisten indikaattorien valossa. *Julkaisematon pro gradu-tutkielma*, Helsingin yliopisto, Geologian ja paleontologian laitos, 53 s.

Rautanen, H., Sarvala, J., Gustafsson, E., Isotalo, I., Laine, U. ja Sainio, J. (1985): Littoistenjärven luonto ja käyttö. Kaarinan-Piikkiön luonnonsuojeluyhdistys. Turku, 64 s.

Räsänen, M. (1983): Ahvenanmaan järvialtaissa 1900 -luvulla tapahtuneiden veden suolapitoisuusmuutosten vaikutus altaiden limnologiaan ja piilevälajistoon. *Turun yliopiston maaperägeologian osaston julkaisuja* 49, 45 s.

Räsänen, M. (1985): Recent sedimentation in the freshwater reservoir of Uusikaupunki, SW Finland: the diatomological and chemical evidence of the sediments on the development of the water body. *Julkaisematon fil. lis. tutkielma*. Maaperägeologian osasto, Turun yliopisto, 39 s.

Räsänen, M. ja Salonen, V.-P. (1983): Turun Kakskerranjärven ravinnetila ja sen kehitys. *Turun yliopiston maaperägeologian osaston julkaisuja* 50, 38 s.

Räsänen, M., Salonen, V.-P. ja Terho, A. (1983): Turun seudun asutushistoria paleoekologisin keinoin tulkittuna. B. Paleolimnologia. *Karhunhammas* 7. Turun yliopisto, Kulttuurien tutkimuksen laitos, Suomalainen ja vertaileva arkeologia, 57-65.

Räsänen, M. ja Salonen, V.-P. (1984): Pyhäjärven paleolimnologinen kehitys. *Lounais-Suomen Vesiensuojeluyhdistys r.y.* Säkylän Pyhäjärven luonnontaloudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Turku. Julkaisu 60, 37-57.

Räsänen, M., Salonen, V.-P., Salo, J., Walls, M. ja Sarvala, J. 1992: Recent history of sedimentation and biotic communities in Lake Pyhäjärvi, SW Finland. *Palaeolimnology*, (painossa).

Salonen, Veli-Pekka, Ikäheimo, Markku ja Luoto, Jukka (1981): Rautakautisen ja historiallisen asutuksen ilmeneminen paleontologisin ja arkeologisin keinoin Piikkiön Kuoppajärven ympäristössä Lounais-Suomessa. *Turun yliopiston maaperägeologian osaston julkaisuja* 44, 23 s.

Salonen, Veli-Pekka ja Vuorela, Irmeli (1983): Turun seudun asutushistoria paleoekologisin keinoin tulkittuna. A. Siitepölyanalyysi. *Karhunhammas* 7. Turun yliopisto, Kulttuurien tutkimuksen laitos, Suomalainen ja vertaileva arkeologia, 47-56.

Salonen, V.-P., Räsänen, M. ja Terho, A. (1985): Palaeolimnology of ancient Lake Mätäjärvi. Third Nordic Conference of the Application of Scientific Methods in Archaeology, Mariehamn, Åland, Finland, 8-11 October 1984. *Iskos* 5, 236-246.

Salonen, V.-P., Räsänen, M. ja Terho, A. (1987): Mätäjärven paleolimnologinen kehitys. Mätäjärvis paleolimnologiska evolution. *Turun Maakuntamuseo*, Raportteja 10, 169-176.

Stabell, B. (1985) The development and succession of taxa within the diatom genus *Fragilaria* Lyngbye as a response to basin isolation from the sea. Boreas 14 (4) 273-286.

Stuiver, M. ja Pearson, G. W. (1986): High-Precision Calibration of the Radiocarbon Time Scale, AD 1950-500 BC. *Radiocarbon* 28, No. 2B, 805-838.

Stockmarr, J. (1971): Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores* (4), 615-621.

Suistoranta, Kari (1988): *Liedon historia 2 - vuodesta 1809 nykypäivään.* Liedon kunta ja seurakunta. Turku, 465 s.

Tolonen, Kimmo (1983): Kuusen levinneisyyshistoriaa Suomessa. *Sorbifolia* 14, 53-59.

Tynni, Risto (1975-1980): Über Finnlands rezente und Subfossile Diatomeen VIII-XI. *Geol.Surv. of Finland, Bull.* 274, 55 s, (1975), *ibid.* 284, 37 s, (1976), *ibid.* 296, 55 s, (1978), *ibid.* 312, 93 s, (1980).

Whitehead, D. R. (1987): Palaeolimnological evidence for recent acidification of Big Moose Lake, Adironack Mountains, N.Y., (USA). *Biogeochemistry* 3 (1-3), 267-296.

Vuorela, Irmeli (1972): Human influence on the vegetation of Katinhäntä bog, Vihti, S. Finland. *Acta Bot. Fennica* 98, 21 s.

Vuorela, Irmeli (1977): Suomen asutushistoria ja siitepölyanalyysi. *Luonnon Tutkija* 81, 134-138.

Vuorela, Irmeli (1990a): Pollenanalytiska studier om Åbolands historia. In: "Finska Skären". Studier i åboländsk kulturhistoria utgivna av Konstsamfundet till des 50-årsjubileum 1990 (ed. K. Zilliachus). *Föreningen Konstsamfundets publikationsserie* VII, 115-132.

Vuorela, Irmeli (1990b): Från svedjebruk till åkerbruk i Åbo skärgård. *Skärgård* 3. Tidskrift utgiven av Skärgårdsinstitutet vid Åbo Akademi, 13 årgången, 33-37.

Vuorela, Irmeli (1991): Lounais-Suomen varhaismetallikautinen asutus ja viljely siitepölyanalyysin valossa. *Karhunhammas* 13. Turun yliopisto, Kulttuurien tutkimuksen laitos, Suomalainen ja vertaileva arkeologia, 2-23.

Vuorela, Irmeli ja Eronen, Matti (1978): Suomen kvartääripaleontologian yleiset perusteet ja menetelmät. *Helsingin yliopisto, geologian laitos, geologian ja paleontologian osasto*, moniste no. 3, 1978, 113 s.

Åbo Akademis tryckeri
Åbo 1992

ISBN 951-880-846-5
ISSN 0356-7400

Hinta 25 mk