VALUMA-ALUEEN METSÄTALOUSTOIMENPITEIDEN VAIKUTUKSET PIENIIN JÄRVIIN – PALEOLIMNOLOGINEN SELVITYS

SANNA HOVI

HELSINGIN YLIOPISTON
YMPÄRISTÖEKOLOGIAN LAITOKSEN
RAPORTTEJA JA SELVITYKSIÄ

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion	Laitos – Institution
Matemaattis luonnontieteellinen	Ympäristöekologian laitos

Tekijä – Författare
Sanna Hovi

Työn nimi – Arbetets titel
Valuma-alueen metsätaloustoimenpiteiden vaikutukset pieniin järviin-paleolimnologinen selvitys

Oppiaine – Läroämne
Ympäristöekologia

Työn laji – Arbetets art	Aika – Datum	Sivumäärä – Sidoantal
Pro gradu	12.7.2001	50 s.

Tiivistelmä – Referat

Järvien sedimenteissä oleva orgaaninen materiaali on peräisin järven valuma-alueelta sekä järven ranta- ja ulappa alueilta. Koska orgaaninen materiaali kertyy vuosittain sedimentteihin, heijastavat ne järvessä ja sen valuma-alueella tapahtuvia muutoksia. Järven perustuotanto, kemialliset prosessit sekä järveltä tulevan epäorgaanisen ja orgaanisen materiaalin sedimentaatio jättävät jälkensä sedimentteihin.

Ahvenlammi ja Sammalisto sijaitsevat Nastolan kunnassa, Kalliojärven entisellä erämaa-alueella. Sammaliston valuma-alueella on tehty metsätaloustoimenpiteitä 1970-luvulta alkaen. Ahvenlammen valuma-alueella tapahtuneet metsätaloustoimenpiteet rajoittuvat 1990-luvulle.Tässä tutkimuksessa tutkitaan valuma-alueen metsätaloustoimenpiteiden vaikutuksia em. järviin paleolimnologian menetelmin.Ahvenlammen ja Sammaliston sedimenteistä tutkittiin organinen materiaali, rauta-ja fosforipitoisuudet, piilevien kehitys sekä sedimenteissä mahdollisesti näkyvä valuma-alueen kasvillisuuden muutokset. Järvien sedimentaationopeutta tarkasteltiin etsimällä piilevien kevätmaksimikohtia sedimentin kuivuneista pinnoista tehdyistä teippipreparaateista.

Valuma-alueella tehdyt metsätaloustoimenpiteet ovat aiheuttaneet Sammalistossa orgaanisen materiaalin laskua 10 pintasenttimetrin aikana, joka kuvastaa viimeistä n. 30 vuotta. Piilevät osoittavat Sammaliston olleen humuspitoinen kauan, mutta humuspitoisuus on noussut valuma-alueen metsätaloustoimenpiteiden aikaan. Tehtyjen metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama valuma-alueen kasvillisuuden muutokset näkyvät Sammaliston sedimentissä heinäkasvien runsastumisena. Ahvenlammessa fosforipitoisuuden lasku sedimentin neljän pintasenttimetrin aikana voi johtua pohjan hapettomuudesta. Ahvenlammen rautapitoisuus nousee 10 cm:n syvyydellä, mikä ajoittuu metsäojituksiin. Ahvenlammessa on kirkasvetisyyttä ilmentävä piilevä *Cyclotella* spp, jota Sammalistossa ei ole.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että metsätaloustoimenpiteet Sammaliston ympäristössä näkyvät sedimentissä kasvillisuuden muutoksena heinäkasvien lisääntyessä. Sammaliston sedimentin hiili- ja typpipitoisuudet ovat laskeneet metsätaloustoimenpiteiden vaikutuksesta. Sammaliston valuma-alue on suomaisempaa kuin Ahvenlammen ja tästä voi johtua humuspitoisuutta ilmentävät piilevät. Metsätaloustoimenpiteet ovat myös lisänneet humuspitoisten piilevien esiintymistä Sammalistossa.

Avainsanat - Nyckelord
Sedimentti, paleolimnologia,kemia, siitepölyt, piilevät

Säilytyspaikka - Förvaringställe
Ympäristöekologian laitos

Muita tietoja

Sisällys:

Tiivistelmä

Sisällys

1 Johdanto ... 3

1.1 Yleistä sedimentoitumisesta ... 3

1.2 Sedimentin mikrobitoiminta ja orgaaninen aines ... 4

1.3 Sedimentin kemia ... 5

1.4 Siitepölyt ... 6

1.5 Piilevät ... 6

1.6 Työn tarkoitus ... 7

2 Aineisto ja menetelmät ... 8

2.1 Ahvenlammi ja Sammalisto ... 8

2.2 Maankäytön historia ... 10

2.3 Näytteen otto ... 12

2.4 Kemialliset menetelmät ... 13

2.5 Siitepölyt ... 14

2.6 Piilevät ... 15

2.7 Teippipreparaatti ... 16

3 Tulokset ... 17

3.1 Kuiva-ainepitoisuus ja hehkutushäviö ... 17

3.2 Hiili, typpi ja C/N-suhde ... 18

3.3 Fosfori ... 19

3.4 Rauta ... 20

3.5 Siitepölyt ... 22

3.5.1 Sammalisto ... 22

3.5.2 Ahvenlammi ... 22

3.6 Piilevät ... 24

3.6.1 Sammalisto ... 24

3.6.2 Ahvenlammi ... 26

3.7 Teippipreparaatti ... 29

3.7.1 Sammalisto *29*

3.7.2 Ahvenlammi *30*

4 Tulosten tarkastelu *33*

4.1 Sedimenttikerrosten ajoitus *33*

4.2 Orgaaninen materiaali *33*

4.3 Sedimentin kemia *34*

4.4 Siitepölyt *36*

4.5 Piilevät *36*

4.6 Metsätalouden vaikutukset *38*

5 Johtopäätökset *42*

6 Kiitokset *44*

7 Kirjallisuus *44*

1 Johdanto

1.1 Yleistä sedimentoitumisesta

Vedessä oleva orgaaninen materiaali on eri hajoamisvaiheessa olevien kasvien ja eliöiden kemiallisia ja biologisia hajoamistuotteita. Alkuperältään orgaaninen materiaali on joko järven ulkopuolelta tullutta materiaalia (alloktonista) tai järven ulappa- ja ranta-alueilla syntynyttä materiaalia (autoktonista). Suurin osa järvessä olevasta orgaanisesta materiaalista hajotetaan mikrobien toimesta ennen sen sedimentoitumista järvien pohjalle. Orgaanisen materiaalin vaikeasti hajotettava osa sisältää humusaineita (Wetzel 1983).

Pääosa järvien sedimenteissä olevasta orgaanisesta materiaalista on järvessä ja ympäröivillä maa-alueilla kasvavien kasvien kuollutta materiaalia. Järvessä ja valuma-alueella kasvavat kasvit voidaan jakaa kahteen osaan: kasvit, joiden soluseinässä ei ole selluloosaa (esim. levät), sekä puuvartisiin kasveihin, jotka ovat peräisin maalta tai järven matalista osista (esim. ruohot ja puut). Näiden kahden kasviryhmän sedimentissä olevien jäännösten suhteellinen osuus riippuu järven morfologiasta, topografiasta sekä järven ja valuma-alueen kasvillisuudesta (Meyers & Ishiwatari 1998).

Koska orgaaninen materiaali kertyy vuosittain sedimentteihin, heijastavaa se ilmastossa sekä järvessä ja järven valuma-alueella tapahtuvia muutoksia. Järven perustuotanto, kemialliset prosessit sekä järven ulkopuolelta tulevan epäorgaanisen ja orgaanisen materiaalin sedimentaatio näkyvät järvien sedimenteissä (O`Sullivan 1979; Kauppila & Salonen 1997). Järvien sedimenttien kemia, mineralogia sekä kasvillisuus ja eliöjäänteet heijastavat sedimentaatio-olosuhteiden ja paleoekologista historiaa (Alhonen 1967). Järvien sedimentteihin heijastuu järven ja valuma-alueen prosessien vuorovaikutussuhde sekä ihmisen vaikutus tähän suhteeseen (O`Sullivan 1979).

1.2 Sedimentin mikrobitoiminta ja orgaaninen aines

Mikrobit hajottavat järvien orgaanista materiaalia vesipatsaassa sen laskeutuessa pohjaan (Robbins & Edgington 1975). Orgaaninen materiaali hapetetaan jo pintavedessä, joten sen pitoisuus syvien järvien sedimenteissä voi olla vain 10 % pintavedessä olevasta pitoisuudesta (Meyers & Eadie 1993). Matalissa järvissä orgaanisella materiaalilla on lyhyempi laskeutumis- ja hapettumisaika, joten näiden järvien sedimentin orgaanisen materiaalin pitoisuus on korkeampi. Järvien pohjalla pohjaeläinten aiheuttama orgaanisen materiaalin sekoittuminen ja tätä seuraava hapettuminen lisäävät sen hajottamista. Pohjaeläimet tarvitsevat happea, siksi hapettomassa pohjassa niiden aiheuttama orgaanisen materiaalin sekoittuminen on vähäisempää (Robbins & Edgington 1975). Monissa järvissä alusvesi on hapetonta kerrostuneisuuden aikana, joten niiden sedimenteissä on suuri orgaanisen materiaalin pitoisuus. Kun orgaaninen materiaali on hautautunut sedimenttiin sen hajottamista jatkavat anaerobiset bakteerit, esim. metanogeeniset bakteerit, jotka hajottavat uudelleen orgaanista materiaalia (Meyers & Ishiwatari 1998).

Orgaanisen hiilen ja typen pitoisuuteen järvien sedimenteissä vaikuttavat orgaanisen materiaalin laatu ja sedimentaation aikana tapahtuvat muutokset. Typen määrään vaikuttaa myös järven perustuotannon vaihtelu (Digerfeldt & Håkanson 1993). Orgaanisen materiaalin lähteen voi erottaa hiili/typpi (C/N)-suhteella. Vesikasveilla, jotka eivät sisällä selluloosaa C/N-suhde on usein 4-10. Selluloosaa sisältävillä maakasveilla typpipitoisuus on matalampi kuin vesikasveilla, joten niillä C/N-suhde on usein yli 20. Monien järvien sedimenteissä on sekoittunut maa- ja vesikasviperäisyys, joissa C/N- suhde on 13-14 (Digerfeldt ym. 1975; Meyers & Ishiwatari 1998). On todettu, että C/N-suhteen kasvu osoittaa lisääntynyttä alloktonisen humuksen tuloa järveen ja matala C/N-suhde kuvastaa järven lisääntyvää rehevöitymistä (Itkonen ym. 1999).

1.3 Sedimentin kemia

Järvisedimenttien kemiallisen koostumuksen muutokset heijastavat järvien ja niiden valuma-alueiden prosessien, esim. eroosion, muutoksia (Birks & Birks 1980). Sedimentteihin kertyneillä ravinteilla, esim. fosforilla, on oma vaikutuksensa järvien rehevyystasoon (Salonen ym. 1993). Sedimenttien hiili-, typpi- ja fosforipitoisuudet ovat ilmentäjiä järvien lisääntyneestä tuotannosta (Lawace ym. 1978). Näiden kolmen ravinteen pitoisuuksien kohoaminen järvien sedimenttien pinnassa johtuu valuma-alueella tapahtuneesta lisääntyneestä huuhtoutumisesta (Kauppila & Salonen 1997). Hiilen, typen ja fosforin matalat pitoisuudet ilmentävät vähäravinteisuutta ja kasvavat pitoisuudet voivat ilmentää kulttuuriperäistä rehevöitymistä (Tolonen 1978 b).

Fosforia kertyy järvien sedimentteihin sekä järvistä itsestään että valuma-alueelta (Engström & Wright 1984). Fosfori kulkeutuu sedimentteihin osaksi rautaan ja osaksi orgaaniseen materiaaliin sitoutuneena (Digerfeldt 1975). Fosforin pidättäytymiseen sedimenteissä vaikuttaa hapetus-pelkistysolot sekä raudan hapettumisaste. Kokonaisfosforipitoisuus voi olla erilainen eri puolilla järvien sedimenttiä riippuen mm. järven muodosta, veden liikkeistä ja alloktonisen materiaalin koostumuksesta (Håkanson & Jansson 1983).

Rauta on yleinen alkuaine järvien sedimenteissä. Rautaa voi kertyä sedimentteihin järvissä epäorgaaniseen tai orgaaniseen materiaaliin sitoutuneena. Raudan pitoisuuteen sedimentissä vaikuttavat happipitoisuus ja hapetus-pelkistyspotentiaali (Håkanson & Jansson 1983). Järvissä ja sedimenteissä oleva rautapitoisuus on sitä suurempi mitä suurempi on veden ravinnepitoisuus. Rautapitoisuus on suuri myös humuspitoisten ja happamien järvien sedimenteissä (Järnefelt 1958; Hutchinson 1957).

1.4 Siitepölyt

Siitepölyä kertyy järvien sedimentteihin kolmesta eri lähteestä: järvialtaan pinnalle suoraan laskeutuneesta maa- ja vesikasvien pölystä, altaan ulkopuolelta tulevasta veden kuljettamasta pölystä sekä eroosion vaikutuksesta aikaisemmista kerrostumista irronneesta pölystä. Sedimenttien siitepölykoostumukseen vaikuttavat aallokon, pohjavirtausten ja pohjaeläinten toiminnan vaikutukset (Birks & Birks 1980; Hyvärinen 1986).

Siitepölyt säilyvät järvien sedimenteissä, koska niiden seinämän rakennusaine on kemiallisesti ja mekaanisesti kestävää sporopolleniinia. Siitepölyt säilyvät parhaiten happamassa ja hapettomassa ympäristössä. Siitepölyt hajaantuvat eri tavoin järvissä sedimentoituessaan pohjalle, esim. suuret ja kevyet siitepölyhiukkaset jäävät kellumaan veden pinnalle ja kulkeutuvat rannoille päin. Järvialtaiden keskiosissa oleva siitepölyskoostumus on selvästi alueellista. Alueellinen siitepölysade koostuu pääasiallisesti runsastuottoisten tuulipölytteisten siitepölystä ja nousee vallitsevaksi näytteissä, jotka edustavat laajempia aukkoja yhtenäisessä kasvipeitteessä (Birks & Birks 1980; Hyvärinen 1986).

Järven ympäristön kasvillisuuden muutokset heijastuvat järvien sedimenteissä olevaan siitepölykoostumukseen (Alhonen 1967). Kuitenkin yleiset lajit, kuten mänty, leppä ja koivu, tuottavat niin paljon siitepölyä metsän häiriöstä huolimatta, että ihmisen vaikutusta ei huomaa. Lajien siitepölyn prosentuaalinen lisääntyminen voi johtua lajien absoluuttisesta lisääntymisestä tai yksilöiden kukinnan lisääntymisestä johtuen määrän vähenemisestä (Vuorela 1975).

1.5 Piilevät

Piilevät ovat tärkeä makean veden leväryhmä. Nämä ovat läsnä merkittävin määrin järvissä ja ovat vallitsevia kasviplanktonlajistossa keväisin ja syksyisin. Suurin osa piilevälajeista elää rantavyöhykkeellä vesikasveihin tai pohjaan kiinnittyneinä, vapaasti kelluvat piilevälajit ovat vähemmistönä. Monet *Aulacoseira*-lajit ovat

meroplanktonisia, jotka ovat vain osan elämänkierrostaan vapaasti kelluvia, silloin kun vesi on tarpeeksi kiertävää. *Cyclotella kutzingiana* -ryhmän piilevät ovat planktisia (Hutchinson 1967; Huttunen & Turkia 1990). Järvien ranta-alueella olevia piileviä ovat mm. *Anomoeonesis-*, *Achnanthes-* ja *Nitchia-* sukujen lajit. Sekä *Eunotia-*, *Fragilaria-*, ja *Navicula*-sukujen lajit. Nämä piilevät ilmentävät läsnäolollaan ranta-alueen vaikutusta järvissä (Haworth 1984).

Piilevästön koostumus heijastaa järvien ravinnetasoa. Karuissa järvissä esiintyy oligotrofian ilmentäjälajeja, rehevissä eutrofian ilmentäjälajeja. Järvien rehevyyttä ilmentäviä piileviä ovat mm. *Fragilaria crotonensis* sekä osa *Asterionella-* että *Aulacoseira* sukujen lajeista, nämä suvut ovat edustettuina karuista reheviin järviin. Karuissa järvissä vallitsevat suuret *Cyclotella-* ja *Tabellaria-* sekä *Aulacoseira*-suvut (Hutchinson 1967).

Järvien pH säätelee järvissä esiintyviä piilevälajistojen koostumusta. Eri lajeille on omat pH arvonsa, jossa ne viihtyvät parhaiten. Veden pH:n muuttuessa myös piilevälajisto muuttuu, joten piileviä voidaan käyttää veden pH:n ilmentäjinä. Happamuutta ilmentäviä piilevälajeja on mm. *Aulacoseira lirata*, *Aulacoseira perglabra, Aulacoseira distans sekä* osa *Pinnularia*-suvun lajeista. Korkean pH:n ilmentäjälajeja on piilevistä esim. *F. crotonensis* (Tolonen 1978 a).

Korkea levätuotanto ja suuri orgaanisen materiaalin sedimentaatio järven pohjalle aiheuttavat alusveteen hapettoman ajan kesä- ja talvi kerrostuneisuuden aikoina. Hapettomaan sedimenttiin syntyy vuosittain lustoja, jotka ovat hyviä järvien lähihistorian tutkimiseen. Järvien pohjalle kertyy vuosittainen piilevämaksimi, joka näkyy lustoina, siksi vuosittaisen sedimentaation määrä on helppo mitata luston paksuutena (Liukkonen ym. 1993).

1.6 Työn tarkoitus

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää näkyvätkö järvien valuma-alueella tehtyjen metsätaloustoimenpiteiden vaikutukset järviin niiden sedimenteissä. Valuma-alueen

metsätaloustoimenpiteiden vaikutuksien on havaittu näkyvän sedimenteissä esim. orgaanisen materiaalin suhteellisen osuuden vähenemisenä, typpipitoisuuden laskuna ja piileväkoostumuksen muutoksina. Näkyvätkö nämä vaikutukset humusvetisen järven, jonka valuma-alueella on tehty paljon metsätaloustoimenpiteitä, sedimentissä? Eroavatko ne kirkasvetisen järven, jonka valuma-alueella on tehty vähän metsätaloustoimenpiteitä, sedimentistä. Metsänhakkuut vähentävät puustoa valuma-alueella. Näkyykö valuma-alueen kasvillisuuden muutos järvien sedimenteissä? Johtuuko järven humuspitoisuus sen valuma-alueella tehdyistä metsätaloustoimenpiteistä?

2 *Aineisto ja menetelmät*

2.1 *Ahvenlammi ja Sammalisto*

Ahvenlammi ja Sammalisto-järvet kuuluvat entiseen Kalliojärven erämaa-alueeseen, joka sijaitsee Nastolan kunnan länsiosissa, aivan Lahden kaupungin läheisyydessä. Tämä alue on ollut Etelä-Suomessa harvinaisen laaja erämaa-tyyppinen luontoalue. Alue on harvaan asuttu, karu metsäinen ylänköalue. Valtaosa Kalliojärven erämaa-alueesta on nykyään tehokkaan metsätalouden piirissä. Suurelta osin metsä on uusiutumassa hakkuiden jäljiltä, mikä vaikuttaa alueen kasvillisuuteen ja vesistöihin (Kautto 1993).

Lehtipuut, lähinnä koivu (*Betula*), olivat vallitsevina puulajeina alueen metsissä vielä 1940-luvulla. Sodan aikaisten hakkuiden jäljiltä kuusi (*Picea abies*) nousi valtapuulajiksi (Kalliojärven erämaa-alueen luontoselvitys: Kalliola, haastattelu 1992). Nykyään valtalajeina on mänty (*Pinus silvestris*) kuivilla ja karuilla kalliosoilla sekä lehtipuut kosteikkopaikoissa.

Sammaliston suurin syvyys on n. 6,5 m ja pinta-ala 12 ha (Taulukko 1). Lammen rannoilla esiintyviä kasveja ovat: mm. rahkasammalet (*Sphagnum*), suokukka (*Andromedia polifolia*) sekä suopursu (*Ledum palustre*). Järvessä esiintyy ilmaversoisista vesikasveista: järviruoko (*Phragmites australis*), järvikorte

(*Equisetum fluviatile*) ja ruskoärviä (*Myriophyllum alterniflorum*). Sammalistossa esiintyviä kelluslehtisiä vesikasveja ovat: lumme (*Nymphaea*), ulpukka (*Nuphar*) ja siimapalpakko (*Sparganium gramineum*). Järven kovahkolla pohjalla esiintyy nuottaruohoa (*Lobelia dortmanna*) (Kautto 1993).

Ahvenlammi on vähähumuksinen järvi, jonka syvin kohta on n. 12 m ja pinta-ala 12 ha (taulukko 1). Rannan soistuneissa kohdissa esiintyy tavallisia suokasveja, kuten rahkasammalia, saroja ym. Järvessä esiintyy ilmaversoisista vesikasveista mm. saroja (*Carex* spp). Ahvenlammessa esiintyviä kelluslehtisiä vesikasveja ovat: ulpukka, lumme ja siimapalpakko. Pohjaruusukekasveista järvessä esiintyy nuottaruohoa ja lahnaruohoa (*Isoetes*). Järven pohja on paikoin vesisammaleen peittämää (Kautto 1993).

Taulukko 1. Ahvenlammen ja Sammaliston hydrologiset ja limnologiset tiedot 1993 (Kautto 1993).

	Sammalisto	Ahvenlammi
Pinta-ala	12 ha	12 ha
Suurin syvyys	6,5m	12 m
Arvioitu tilavuus	0,3 milj. m^3	0,5 milj. m^3
Valuma-alueen pinta-ala	220 ha	44 ha
Veden väri	35-45	10
Happipitoisuus	4 m:n alapuolella lähes tai kokonaan loppu	7 m:n alapuolella pieni
pH	6,0-6,1	5,8-6,1
Kok. N	440-530 $\mu g\ l^{-1}$	320-330 $\mu g\ l^{-1}$
Kok. P	7-11 $\mu g\ l^{-1}$	5-8 $\mu g\ l^{-1}$
Klorofylli$_a$	2,0-3,1 $\mu g\ l^{-1}$	1,7-2,7 $\mu g\ l^{-1}$

Ahvenlammen valuma-alueesta suurin osa on hiekkamoreenia. Ahvenlammen valuma-alueen eteläpuoli on saraturvesuota. Sammaliston valuma-alueen pohjois- ja luoteisosassa on Sammalistonsuo, joka on sara- ja rahkaturvesuota. Sammaliston

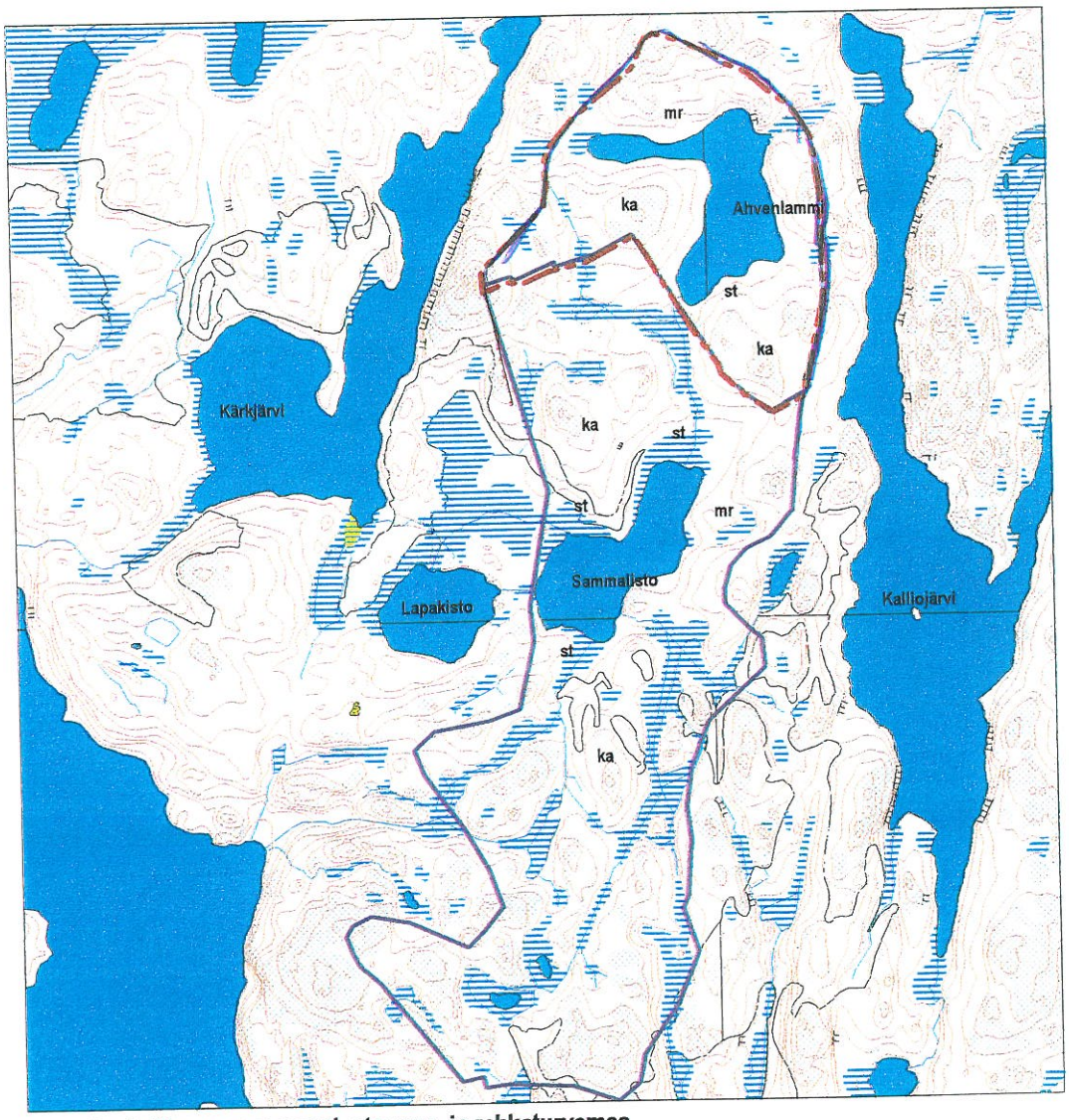
valuma-alueen länsiosa on kallioaluetta. Järven eteläpuolella on taas suomaista aluetta, jossa on sara- ja rahkaturvemaata. Järven itäpuolella valuma-alueen maalajina on hiekkamoreeni (Kuva 1)

2.2 *Maankäytön historia*

Ahvenlammen ja Sammaliston ympäristöissä tehdyistä metsätoimenpiteistä on saatu tietoa 1970- luvulta lähtien. Tiedot ovat Päijät-Hämeen metsäkeskuksen arkistosta.

Ahvenlammen ja Sammaliston ympäristöön on rakennettu metsäautoteitä vuosina 1973-1975. Ne sijaitsevat lähinnä Sammaliston valuma-alueella ja sen ympäristössä. Sammaliston eteläpuolelle rakennettiin vuonna 1992 metsäautotie (Kuva 2). Sekä Sammaliston, että Ahvenlammen ympäristössä on tehty metsäojituksia vuosina1979-1980 (Kuva 3).

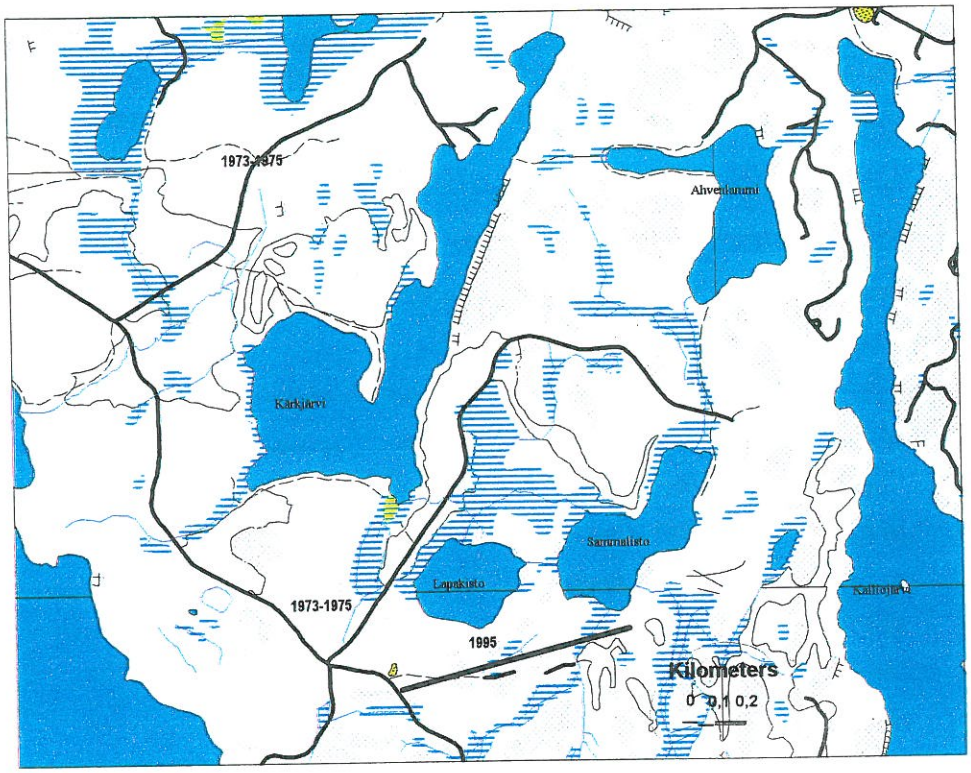
Sammaliston valuma-alueella metsätaloustoimenpiteet on aloitettu aikaisemmin kuin Ahvenlammen valuma-alueella (Taulukot 2a ja 2b sekä Kuva 4).



ka=kallio mr= moreeni st= sara- ja rahkaturvemaa

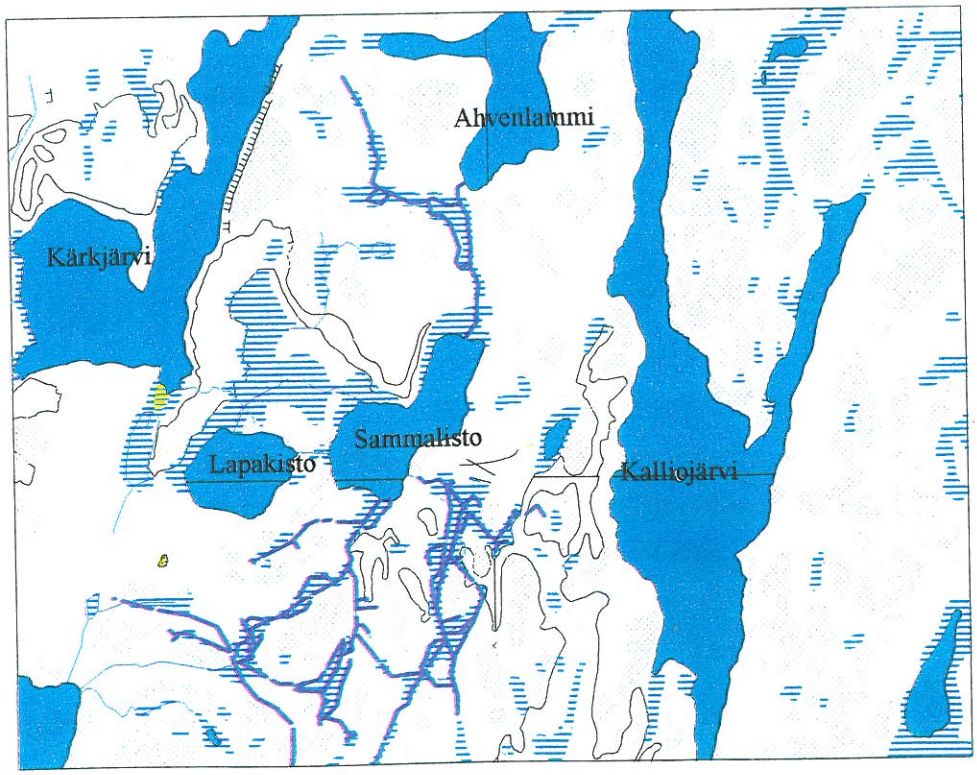
—— Sammaliston valuma-alue —— Ahvenlammen valuma-alue

Kuva 1. Sammalisto ja Ahvenlammi sekä valuma-alueet



tiet

Kuva 2. Sammaliston ja Ahvenlammen ympäristöön rakennetut metsäautotiet



Metsäojitukset vuosina 1979-1980

Kuva 3. Sammaliston ja Ahvenlammen ympäristöissä tehdyt metsäojitukset

Taulukko 2a. Sammaliston ja Ahvenlammen valuma-alueiden metsätoimenpidesuunnitelma on tehty vuosina 1983-1996 (Päijät-Hämeen metsäkeskusarkisto). Toimenpiteet on tehty parin vuoden viiveellä. Kuvioiden numerot on merkitty karttaan (kuva 3). Avohakkuu on puiden kokonaan poistoa, siemenpuuhakkuussa jätetään siemenpuut, ylispuiden poistossa kaadetaan suuret puut.

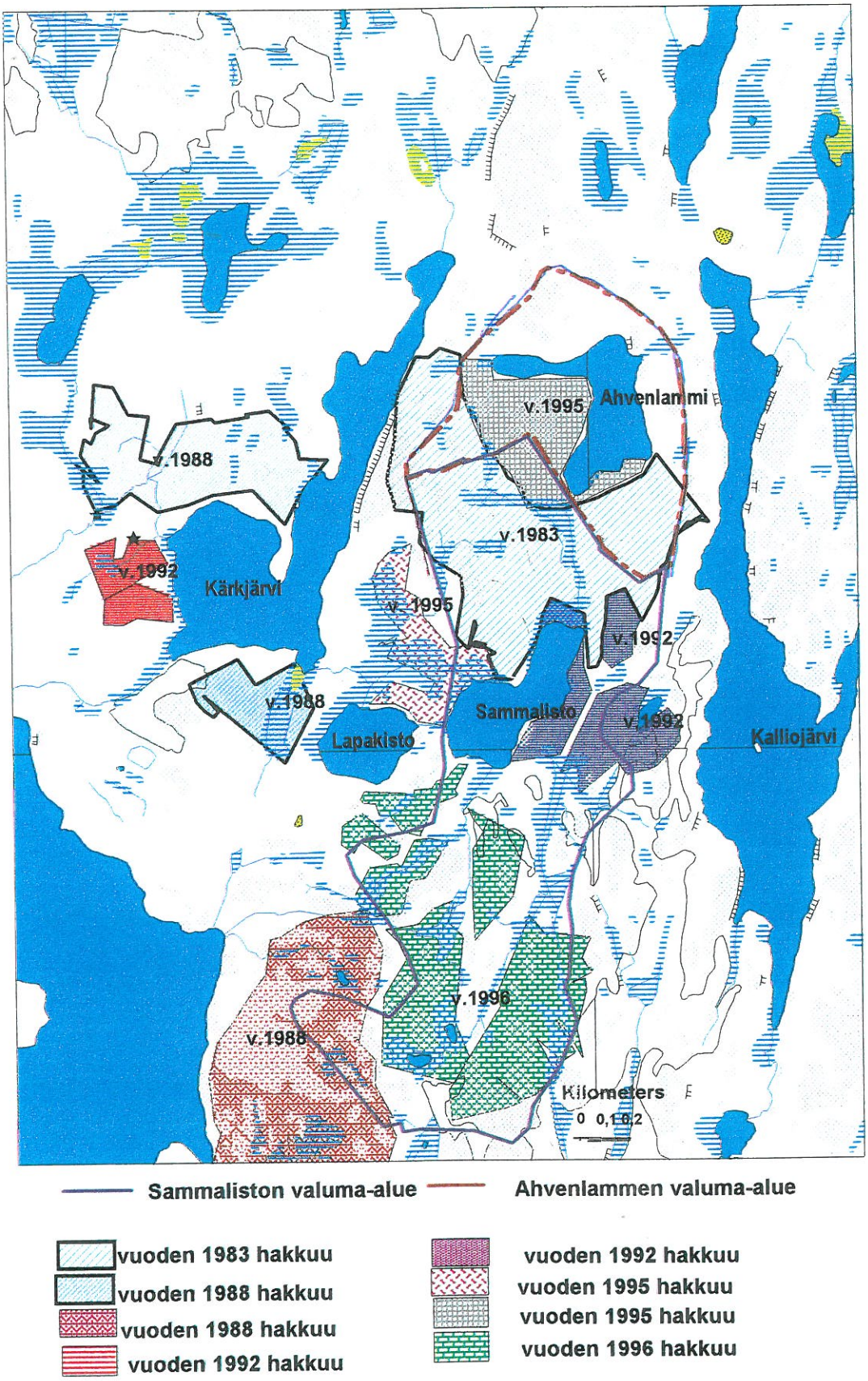
Sijainti	Vuosiluku	Hakkuutapa	Pinta-ala	Toimenpide hakkuun jälkeen	Tämän pinta-ala
Sammaliston ja Ahvenlammen välinen alue	1983	avohakkuu	62,4 ha	mek. raivaus	62,4 ha
				kulotus v.1984	42 ha
				äestys v. 1984	42,6 ha
				istutus yht.	
				mänty	10,5 ha
				kuusi	1,9 ha
				männyn kylvö	41,2 ha
Sammalistosta länteen, Kärkjärven-länsipuoli	1988	avohakkuu	6,4 ha	kulotus v. 1991	8 ha
				kem. heinäntorjunta	4,1 ha
Kärkjärven eteläpuoli		avohakkuu	7,1 ha	äestys v. 1984	12,3 ha
		ylispuuhakkuu	8,2	istutus yht.	
				mänty	8,2 ha
				kuusi	0,8 ha
Sammaliston eteläpuolella	1992	ylispuuhakkuu	36,0 ha		
Sammaliston Itäpuoli		harvennushakkuu	6,0 ha	mek. raivaus	45 ha
		avohakkuu	2,0 ha	koneellinen laikutus	56 ha
		kaistalehakkuu	13,0 ha	ojitus-mätästys	4,0 ha
Pitkäjärven Länsi- ja luoteis Puoli				istutettu	
				kuusi	6,9 ha
				koivu	6,4 ha
				mänty	7,0 ha

Taulukko 2 b. Jatkoa metsätoimenpide suunnitelmasta Sammaliston ja Ahvenlammen alueella (Päijät-Hämeen metsäkeskus arkisto). Toimenpiteet on tehty parin vuoden viiveellä. Kuvioiden numerot on merkitty karttaan (kuva 3).

Sijainti	Vuosiluku	Hakkuutapa	Pinta-ala	Toimenpide hakkuun jälkeen	Tämän pinta-ala
Sammaliston pohjoispuoli	1995	avohakkuu	3 ha	mek. raivaus	3 ha
		harvennushakkuu	10 ha	koneellinen laikutus	
Ahvenlammen Eteläpuoli		harvennushakkuu	13 ha		
		ylispuuhakkuu	0,8 ha		
		siemenpuuhakkuu	0,3 ha		
Sammaliston eteläpuoli	1996	ylispuuhakkuu	1,2 ha		
		siemenpuuhakkuu	15,6 ha		
		harvennushakkuu	1,5 ha		
		avohakkuu	5,0 ha		
		suojuspuuhakkuu	7,0 ha		

2.3 Näytteen otto

Sedimenttinäytteet otettiin kevättalvella 1999 jään päältä sekä Ahvenlammen (14.4) että Sammaliston (15.4.) syvänteistä (Ahvenlampi n. 11 m, Sammalisto n. 7 m). Näytteet otettiin kylmäsormi (ice-finger) -menetelmällä, käyttäen metallista ja teräväkärkistä koteloa (30 cm leveä, 1 m pitkä). Kotelo täytettiin hiilihappojäällä $-79^{\circ}C$ ja suljettiin kannella. Tämän jälkeen näytteenotin pudotettiin veteen ja annettiin sen uppoutua sedimenttiin pystyyn. Kotelon ulkopintaan jäätyi 45 minuutin kuluessa parin cm:n paksuinen sedimenttikerros (Huttunen & Meriläinen 1978). Näytteenoton jälkeen näytteet säilytettiin pakastimessa ($-20^{\circ}C$) n. 1 m:n pituisina pätkinä.



Kuva 4. Metsätaloustoimenpiteet Sammaliston ja Ahvenlammen valuma-alueilla

2.4 Kemialliset menetelmät

Ahvenlammen sedimentti tutkittiin kemiallisten menetelmien osalta 0-44 cm:n syvyyksiltä ja Sammaliston 0-44 cm:n syvyyksiltä. Kummankin järven sedimentin tutkittava osa jaettiin osanäytteisiin, jotka olivat jaettu syvyyssuuntaisesti 1 cm:n välein (Taulukko 3).

Taulukko 3. Kemialliset menetelmät

	Menetelmä
Kuiva-aine	Osanäytteiden kuivatus kuivaksi lämpökaapissa $60°C$ 24-36 h
Hehkutushäviö	Kuivatut ja jauhetut osanäytteet hehkutettiin upokkaissa muhveliuunissa $550°C$ 2,5 h ja punnittiin eksikaattorissa tapahtuneen jäähdytyksen jälkeen.
Hiili ja typpi	Kuivatusta ja jauhetuista näytteistä otettiin erilleen 2- 10 mg:n osanäytteet. Hiili ja typpi määritettiin Viikissä limnologian laitoksella automaattisella LECO CHN-laitteella. Näytteet punnittiin paikan päällä tarkemmin. Laite poltti jokaisen näytteen erikseen $953°C$ lämpötilassa.
Fosfori	Jokaisen osanäytteen hehkutusjäännös uutettiin rikkihapolla: 95,97 % H_2SO_4 laimennettiin 1/4-pitoisuuteen tislatulla vedellä 10 ml:aan (2,5 ml H_2SO_4 ja loput vettä). Tällä seoksella uutettiin upokkaissa oleva tuhka. Tämän jälkeen lisättiin tislattua vettä 100 ml:aan asti. Seokset uuttuivat muovipulloissa ($4°C$) 7-14 vrk. Näytteet suodatettiin ennen mittausta $0{,}2\mu m$ lasikuitusuodattimella (Puradisc 25 As Disposable filter Device ja laimennettiin 1/5 osaan. Fosfori mitattiin ortofosfaattina automaatisella LACHAT INSTRUMENTS Quick Chem- laitteella
Rauta	Rauta määritettiin samoista osanäytteiden rikkihappouutoksista kuin fosfori. Ennen mittausta näytteet laimennettiin 10 %:lla typpihapolla 1/10-pitoisuuteen. Näytteet mitatiin AAS:lla (atomiabsorptiospektrofotometri). AAS:ssa käytettiin ontokatodilamppua, jonka virta on 3 mA ja allonpituus 2483 Å.

2.5 Siitepölyt

Siitepölyanalyysiä varten Sammaliston ja Ahvenlammen sedimenttiprofiileista leikattiin 0-20 cm:n syvyydeltä osanäytteet. Sedimentti jaettiin syvyyssuuntaisesti 1

cm:n paksuisiin osanäytteisiin. Jokainen osanäyte keitettiin 10 ml:ssa 10 % KOH-liuoksessa n. 1 minuutin ajan. Tämän jälkeen osanäyte siivilöitiin sentrifugiputkeen. Näytteitä sentrifugoitiin n. 5 min 3000 kierrosta/min. Tämän jälkeen pintaneste kaadettiin pois ja jäljelle jäänyt sakka pestiin tislatulla vedellä. Näytteet sentrifugoitiin uudelleen (n. 5 min 3000 kierrosta/min) ja pintaneste kaadettiin pois. Sentrifugiputkessa olevasta sakasta otettiin pieni nokare spaattelilla objektilasin päällä olevaan glyserolipisaraan, jonka jälkeen näyte levitettiin peitinlasin kokoiseksi alueeksi. Tämän jälkeen näyte värjättiin safraniinilla, peitettiin peitinlasilla sekä preparaatti suljettiin kynsilakalla (Tolonen 1978 c).

Siitepölypreparaatit laskettiin valomikroskoopilla 400-kertaisella suurennoksella. Siitepölypreparaateista laskettiin maakasvien siitepölyjen osuudet, jokaisesta preparaatista n. 500 siitepölyhiukkasta. Siitepölyt tunnistettiin käyttäen kasviekologian kurssin työohjeita (Tolonen 1978 c) sekä Siitepölyanalyysi ja Kvartäärin siitepölystratigrafia-luentomonistetta (Hyvärinen 1986). Tutkittavana olevista Ahvenlammen ja Sammaliston valuma-alueesta suurin osa on aukeata. Tämän vuoksi peruspölysummana käytetään kaikkien maasiemenkasvien pölysummaa ($\sum P$=AP+NAP), joka sisältää myös ei- ruohovartisten kasvien komponentin (Hyvärinen 1986).

Puukasvien ja muiden maakasvien osuudet laskettiin peruspölysummasta. ($\sum P$=AP+NAP). Lisäksi laskettiin $\sum AP$ ja $\sum NAP$ sekä suhde puukasvit /muut maakasvit ($\sum AP / \sum NAP$). Itiökasvien prosenttiosuudet laskettiin summasta $\sum P$+itiöt (Hyvärinen 1986).

2.6 Piilevät

Ahvenlammen ja Sammaliston sedimenttiprofiileista tutkittiin piileviä 0-20 cm:n osalta. Kummankin lammen ensimmäinen 5 cm jaettiin 2,5 mm:n välein, seuraava 5 cm jaettiin 0,5 cm:n välein ja 10-20 cm välinen osa jaettiin 1 cm:n välein osanäytteisiin. Jokainen osanäyte kuivatettiin $60^{\circ}C$ lämpötilassa kuivamassan laskemiseksi.

Kuivatut osanäytteet keitettiin 97% typpihapossa muutaman minuutin ajan. Tämän jälkeen näytteet sentrifugoitiin 5 min 3000 kierrosta minuutissa. Sentrifugoinnin jälkeen pintaneste kaadettiin pois jättäen pohjalle 1 ml verran näytettä, johon lisättiin tislattua vettä 10 ml:aan asti, mikä sentrifugoitiin uudelleen em. tavoin. Tämän jälkeen näytteestä otettiin pipetillä päällimmäinen vesi pois jättämällä näytettä 1 ml pohjalle, joka laimennettiin tislatulla vedellä 10 ml:aan. Näytettä tiputettiin 100 μl peitinlasin pintaan ja kuivatettiin lämpölevyllä $60^{\circ}C$. Preparatti suljettiin objektilasilla, jonka päälle tiputettiin pisara Naphrax- suljinainetta. Preparaattia lämmitettiin lämpölevyllä $60^{\circ}C$, jotta se sulkeutuisi (Huttunen ym. 1990).

Sekä Ahvenlammesta että Sammaliston sedimentistä tehtiin kaikki osanäytteet preparaateiksi. Kuitenkin kummankin lammen preparaateista tutkittiin vain joka kolmas. Piilevät laskettiin valomikroskoopilla 1000-kertaisella suurennoksella immersioöljyä käyttäen. Jokaisesta preparaatista laskettiin vähintään 300 kuorenpuolikasta (Huttunen ym. 1990) ja määritettiin piilevät suvulleen poikkeuksena muutamat lajit. Yhden lajin osalta määritettiin erikseen *Aulacoseira distans* pieni ja *Aulacoseira distans* iso. Näiden epäiltiin olevan saman lajin eri variaatioita. Piileväsukujen tunnistuksessa käytettiin apuna lajitunnistusoppaita (Mölder & Tynni 1967-1973; Tynni 1975-1980).

2.7 Teippipreparaatti

Ahvenlammen ja Sammaliston sedimentin kuivuneista pinnoista otettiin teippipreparaatit pituussuuntaisesti. Teippisuikaleet laskettiin pituussuuntaisesti koko kuivuneen sedimentin pinnan päälle ja sormea siveltiin teipin yli. Sedimentin pinnasta otettiin vierekkäin kaksi rinnakkaisia teippisuikaletta. Teippisuikaleet katkottiin 4 cm:n pituisiksi suikaleiksi. Teipin pätkät asetettiin objektilasin päälle ja tämän päälle 50x20 mm suuruinen peitinlasi. Lasien ja teippisuikaleen väleissä oli Naphrax- suljinainetta. Preparaattia lämmitettiin lämpölevyllä $60^{\circ}C$ hetken aikaa, jotta neste haihtuisi pois ja preparaatti sulkeutuisi (Simola 1986 ym).

Teippipreparaattia tarkasteltiin valomikroskoopilla 400-kertaisella suurennoksella pinnasta alkaen 0,5 mm:n näkökenttävälein. Molempien järvien sedimenteistä laskettiin kaksi rinnakkaista teippipreparaattia n. 5,2 cm:n syvyydelle asti. Teippipreparaateista etsittiin nokihiukkasia, jotka ilmentäisivät vuoden 1984 metsäkulotusta. Teippipreparaateista etsittiin myös vuosittaisia piilevämaksimikohtia.

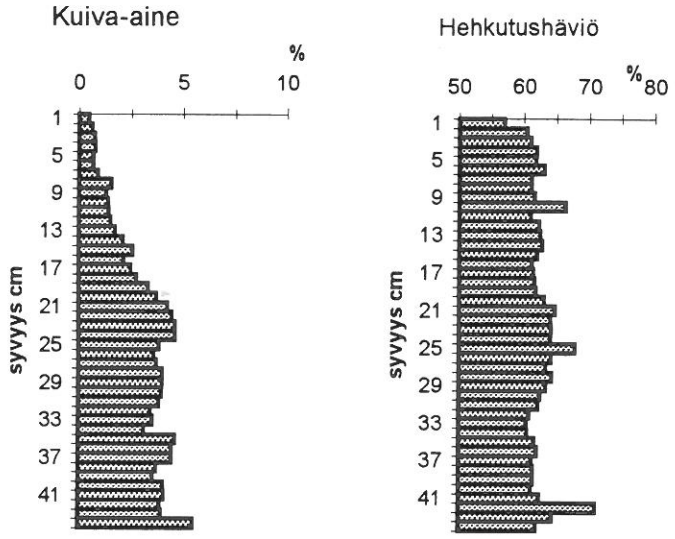
3 *Tulokset*

3.1 *Kuiva-ainepitoisuus ja hehkutushäviö*

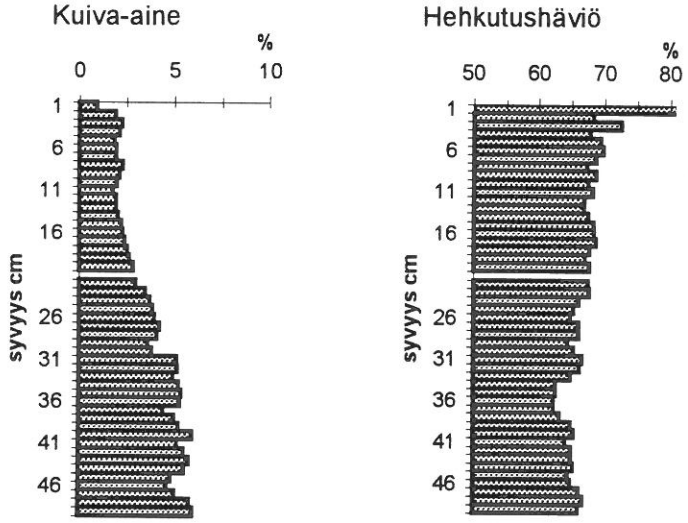
Kuiva-ainepitoisuus oli sekä Sammalistossa että Ahvenlammessa matala, alle 5% märkäpainosta 40 cm:n syvyydeltä pintasedimenttiin. Molempien järviensedimenteissä kuiva-aineen osuus laski ja vesipitoisuus nousi syvemmältä pintasedimenttiä kohti tarkasteltaessa. Ahvenlammessa oli hieman suurempi kuiva-ainepitoisuus kuin Sammalistossa, koko tutkimuskohteena olevassa sedimentissä (Kuva 5).

Hehkutushäviön (orgaanisen materiaalin) osuus oli Sammaliston sedimentissä 55-65 %. Orgaanisen materiaalin osuus alkoi laskea 10 cm:n syvyydeltä pintasedimenttiin päin. Orgaanisen materiaalin maksimi oli 6 cm:n syvyydellä. Pintasedimentissä orgaanisen materiaalin pitoisuus oli 55 % (kuva 5a). Ahvenlammen sedimentin orgaanisen materiaalin osuus oli korkeampi kuin Sammaliston. Ahvenlammen hehkutushäviön osuus nousi 30 cm:stä alkaen pintaa kohden ja oli maksimissaan aivan sedimentin pinnassa, 80 % (Kuva 5b).

a) Sammalisto



b) Ahvenlammi



Kuva 5. Kuiva ainepitoisuus ja hehkutushäviö a) Sammaliston ja b) Ahvenlammen sedimenteissä. Jokaisen osanäytteen kuiva-aineen osuus on laskettu prosenttiosuuksina märkäpainosta ja hehkutushäviön osuus on laskettu prosenttiosuuksina kuiva-aineesta. Sammaliston sedimenttiprofiili on 0-44 cm:n syvyydeltä ja Ahvenlammen 0-49 cm:n osalta leikattu osanäytteisiin 1 cm:n välein. Osanäytteet ovat 1 cm:n paksuisia. Syvyydet ovat senttimetrejä.

3.2 Hiili, typpi ja C/N-suhde

Sammaliston sedimentissä hiilipitoisuuden prosenttiosuus kuiva-aineesta oli 28-31 %. Hiilipitoisuus alkoi laskea 10 cm:n syvyydeltä pintasedimenttiä kohti

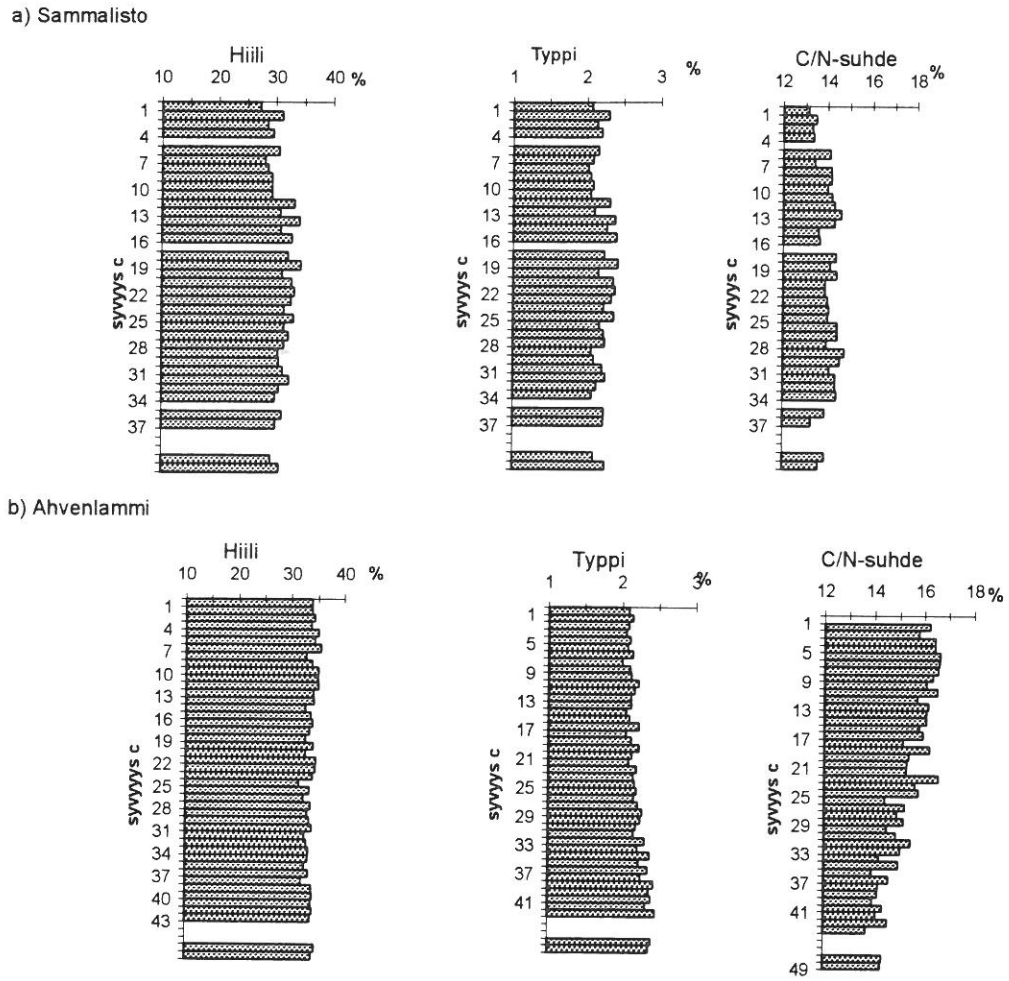
tarkasteltaessa. Tämän jälkeen hiilipitoisuus nousi 6 cm:n syvyydessä, jonka jälkeen taas laski (Kuva 6a). Ahvenlammen sedimentissä hiilipitoisuuden prosenttiosuus kuiva-aineesta oli 34-35 %. Ahvenlammen sedimentissä hiilipitoisuus oli tasaisempi ja korkeampi kuin Sammaliston tutkittavassa sedimentin jaksossa. Hiilipitoisuudessa oli vain pieniä vaihteluja Ahvenlammen sedimentissä 40-0 cm:n jaksolla (Kuva 6b).

Typpipitoisuuden prosenttiosuus vaihteli Sammaliston sedimentissä 0-44 cm:n osalla 2,0-2,4%:iin. Typpipitoisuus laski 11 cm:n syvyydellä ja oli laskeva pintasedimenttiä kohti, missä oli typpipitoisuuden minimi (Kuva 6a). Ahvenlammen sedimentissä typen osuus oli 49 cm:n syvyydellä 2,4 % ja laski tarkasteltaessa pintasedimenttiä kohden. Ahvenlammen ja Sammaliston typpipitoisuuden prosenttiosuudet olivat pintasedimentissä samat (Kuva 6b).

Sammaliston sedimentissä C/N-suhde vaihteli 44-13 cm:n jaksolla runsaasti ollen 13-15%. C/N-suhde alkoi laskea 12 cm:n syvyydeltä pintasedimenttiin päin tarkasteltaessa (kuva 6a). Ahvenlammen sedimentissä C/N suhde oli suurempi kuin Sammaliston. Ahvenlammessa C/N -suhde oli nouseva 35 cm:n syvyydestä pintaa kohti, jossa se oli yli 15 (Kuva 6b).

3.3 Fosfori

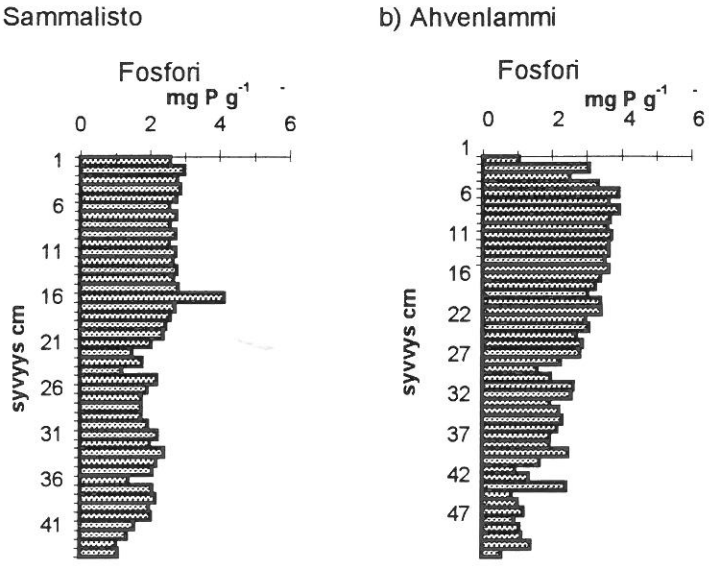
Sammalistossa fosforipitoisuus vaihteli 44-22 cm:n jaksolla, jonka jälkeen se nousi n. 3 mg P g^{-1} ja pysyi pienin vaihteluin vakaana 2 cm:n asti (kuva 7a). Fosforipitoisuus laski aivan Sammaliston pintasedimentissä. Ahvenlammessa fosforipitoisuus oli suurempi kuin Sammalistossa. Ahvenlammen sedimenttiprofiilissa fosforipitoisuus oli nouseva 49-5 cm:n syvyyksillä. Ahvenlammen sedimentissä fosforipitoisuus laski 4 cm:n syvyydeltä pintasedimenttiä kohden, jossa oli n.1 mg P g^{-1} (Kuva 7b).



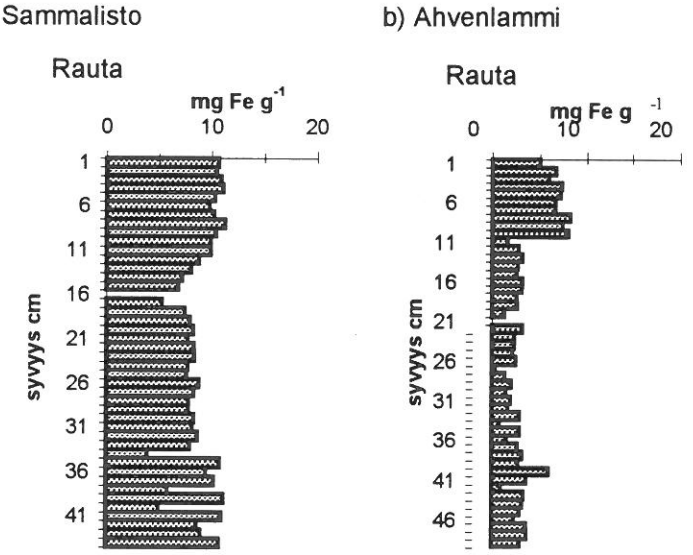
Kuva 6. a) Sammaliston ja b) Ahvenlammen sedimenttien hiili- ja typpipitoisuudet sekä C/N-suhde. Sammaliston sedimenttiprofiili on 0-44 cm:n syvyydeltä ja Ahvenlammen 0-49 cm:n osalta leikattu osanäytteisiin 1 cm:n välein. Osanäytteet ovat 1 cm:n paksuisia. Tyhjiltä kohdilta puuttuvat näytteet.

3.4 Rauta

Sammaliston sedimentissä rautapitoisuus oli 8-10 mg Fe $g^{-1}ka^{-1}$ ja vaihteli 44-33 cm:n syvyydellä runsaasti Rautapitoisuus laski 17 cm:n syvyydellä, jonka jälkeen se alkoi nousta, nousten pintasedimenttiin asti portaittain (kuva 8a). Rautapitoisuus oli Sammaliston sedimentissä suurempi kuin Ahvenlammen koko tutkittavan ajanjakson. Ahvenlammessa rautapitoisuus oli 49-11 cm:n jaksolla 1-3 mg Fe $g^{-1}ka^{-1}$. Rautapitoisuus nousi 10 cm:n syvyydellä ja laski pintasedimenttiä kohden tarkasteltaessa (Kuva 8b).



Kuva 7. Fosforipitoisuudet (mg P g^{-1} ka^{-1}) a) Sammaliston ja b) Ahvenlammen sedimenteissä Sammaliston sedimenttiprofiili on 0-44 cm:n syvyydeltä ja Ahvenlammen 0-49 cm:n osalta leikattu osanäytteisiin 1 cm:n välein. Osanäytteet ovat 1 cm:n paksuisia. Fosforipitoisuudet on laskettu kuiva-ainetta kohti. Syvyydet ovat senttimetrejä



Kuva 8. Rautapitoisuudet (mg Fe g^{-1} ka^{-1}) a) Sammaliston ja b) Ahvenlammen sedimenteissä. Sammaliston sedimenttiprofiili on 0-44 cm:n syvyydeltä ja Ahvenlammen 0-49 cm:n osalta leikattu osanäytteisiin 1 cm:n välein. Osanäytteet ovat 1 cm:n paksuisia. Rautapitoisuudet on laskettu kuiva-ainetta kohti.

3.5 Siitepölyt

3.5.1 Sammalisto

Sammaliston sedimentissä koivun siitepölyn osuus vaihteli 20-30% 0-20 cm:n jaksolla. Koivun osuuden vaihtelut olivat vähäisiä tällä sedimentin jaksolla. Kuusen siitepölyn prosenttiosuus oli 0-20 cm:n jaksolla alle 20% (Kuva 9).

Sammaliston sedimentissä männyn siitepölyn osuus oli n. 40-50% 20 cm:n syvyydeltä pintasedimenttiin saakka. Männyn siitepölyn osuus oli Sammaliston sedimentissä lievästi laskeva 11 cm:n syvyydeltä alkaen pintasedimenttiin päin. Lepän siitepölyosuus oli 20-15 cm:n syvyydellä n 2 %. Lepän siitepölyn osuus nousi 14 cm:n kohdalla ja oli n. 5 % pintasedimenttiin asti (Kuva 9).

Sammaliston sedimentissä heinäkasvien osuus oli 20-11 cm:n syvyydellä n. 3 % ja nousi 9 cm:n syvyydellä. Sammalten itiöiden prosenttiosuus oli 20-5 cm:n jaksolla 0-5 % (Kuva 9).

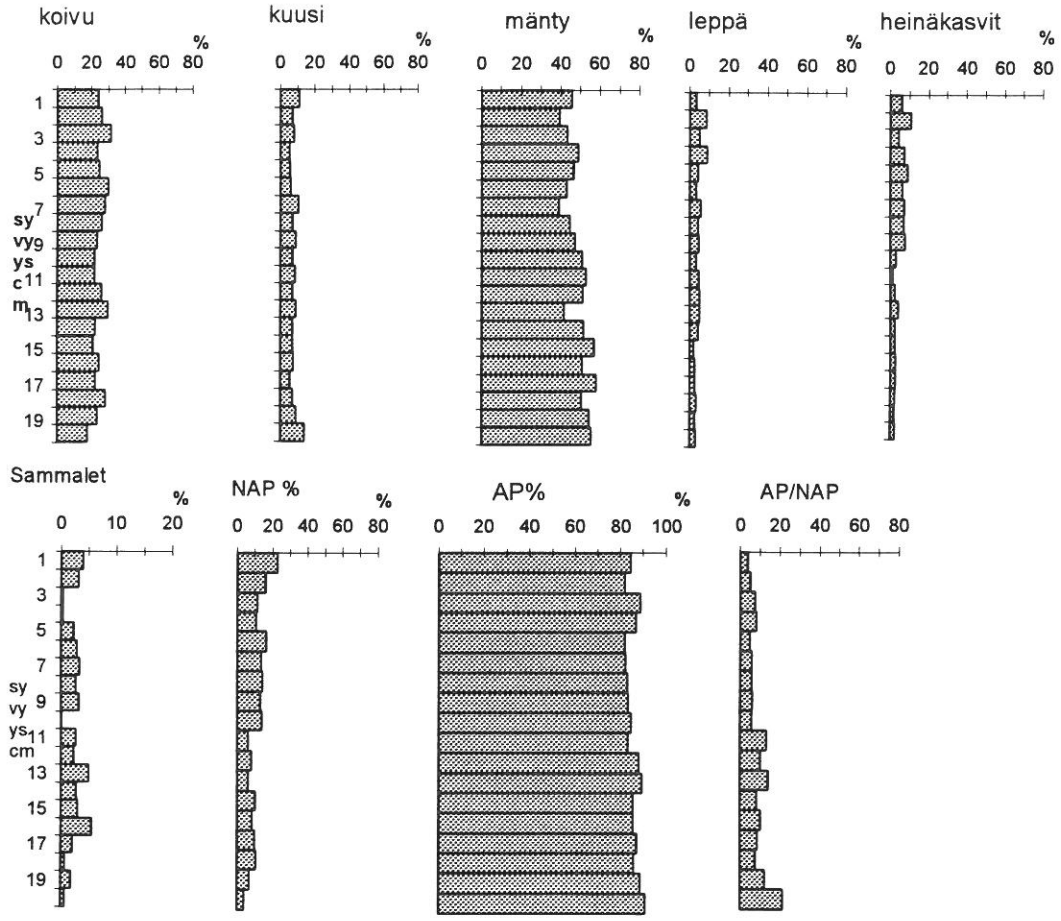
Sammaliston sedimentissä muiden kuin puukasvien (NAP) osuus nousi 17 cm:n syvyydellä yli 10%:iin sekä nousi vielä 9 cm:n syvyydellä n. 15 %:iin. Sammaliston sedimentissä puukasvien (AP) osuus oli 18-1 cm:n syvyydellä 80-90%. Sammaliston AP/NAP suhde oli laskeva 18 cm:stä pintasedimenttiä kohden tarkasteltaessa ja oli 5-20 % (Kuva 9).

3.5.2 Ahvenlammi

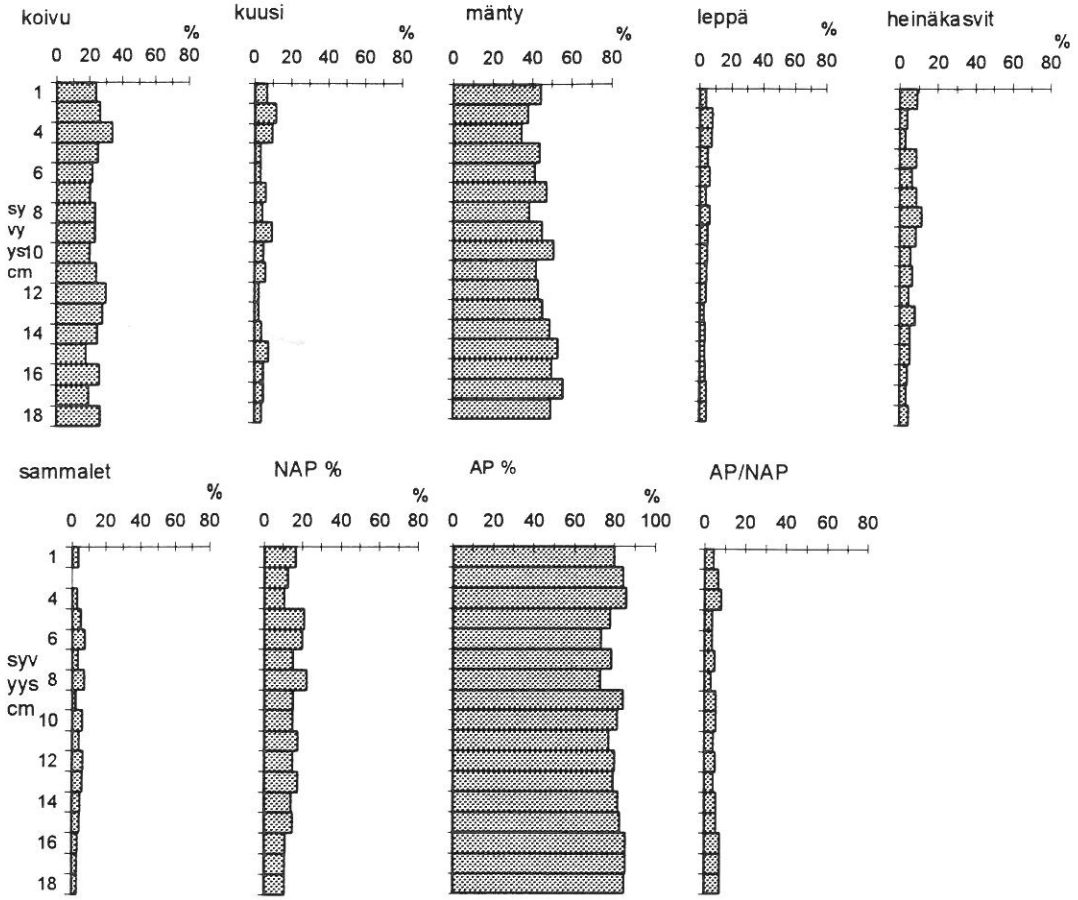
Ahvenlammen sedimentissä koivun siitepölyn osuus 20 cm:n syvyydeltä pintasedimenttiin oli 20-35 %. Kuusen siitepölyn osuus oli n. 10 % ylimmän 20 cm:n jaksolla. Ahvenlammen sedimentissä männyn siitepölyn osuus oli 40-50 %. Lepän siitepölyn osuus oli 5-10 %, sen osuus laski aivan pintasedimentissä (1 cm) (Kuva 10).

Ahvenlammen sedimentissä heinäkasvien siitepölyn osuus oli 20-14 cm syvyydellä alle 5% ja nousi tämän jälkeen. Ahvenlammen sedimentissä sammalten osuus oli 0-6 %, joillakin syvyyksillä sammalten osuus nousi 10 %:iin Ahvenlammessa (Kuva 10).

Ahvenlammen sedimentissä NAP oli 18-5 cm:n syvyydellä 15-20%. Ahvenlammen sedimentissä AP:n osuus oli 75-85%. AP/NAP %-suhde oli laskeva 18 cm:n syvyydeltä pintasedimenttiä kohti tarkasteltaessa ja oli 5-10 % (Kuva 10).



Kuva 9. Sammaliston sedimentissä runsaimpien kasvien siitepölysuhteet sekä AP, NAP ja AP/NAP. Maakasvien osuudet on laskettu peruspölysummasta ($\sum P$=AP+NAP). AP on puukasvit, NAP on muut kuin puukasvit. Y- akseli on syvyys senttimetreissä. Kolme ensimmäistä kuvassa olevaa senttimetriä ovat 1, 2 ja 3 cm.



Kuva 10. Ahvenlammen sedimentissä runsaimpien kasvien siitepölysuhteet sekä AP, NAP ja AP/NAP. Maakasvien osuudet on laskettu peruspölysummasta ($\sum P$=AP+NAP). AP on puukasvit, NAP on muut kuin puukasvit. Y- akseli on syvyys senttimetreissä. Kolme ensimmäistä kuvassa olevaa senttimetriä ovat 1, 2 ja 4 cm.

3.6 Piilevät

3.6.1 Sammalisto

Asterionella ralfsii-levän suhteellinen osuus nousi pintaa kohden. Aivan pintasedimentissä tämän piilevän osuus laski. Saman lajin, mutta eri variaatioiden *Aulacoseira distans* ison ja *Aulacoseira distans* pienen osuudet olivat alle 5 % 0-20 cm:n syvyydellä (Kuva 11).

Aulacoseira lirata-levän osuus oli 13-11 cm:n syvyydellä n. 8 % ja laski 9 cm:n syvyydellä 5 %:iin. Aivan pintasedimentissä *A. lirata*-levän osuus nousi pintasedimenttiä kohti tarkasteltaessa. *Aulacoseira perglabra*-levän osuus nousi 9 cm:n syvyydeltä 5 %:iin. *Aulacoseira tenella*-levän osuus laski 9 cm:n syvyydellä ja nousi 4,75 cm:n syvyydellä. Aivan pintasedimentissä tämän piilevän osuus oli pieni (Kuva 11).

Sammaliston piileväprofiilia tarkasteltaessa syvemmältä pintaan päin ei ollut selviä muutoksia sukujen prosenttisuhteissa kuin vasta 9 cm:n syvyydellä. Tällä syvyydellä *Achnanthes*-suvun ja *Fragilaria lata*-levän prosenttiosuudet nousivat ja *Aulacoseira tenella* sekä *Eunotia*-suvun lajien osuudet laskivat. *Anomoeonesis serians* ilmestyi Sammaliston piilevälajistoon 7,5 cm:n syvyydellä, millä syvyydellä *Asterionella ralfsii*-levän prosenttiosuus laski (Kuva 11).

Fragilaria-suvun ja *A. distans* pienen prosenttiosuudet nousivat ja *Achnanthes* lajien prosenttiosuudet laskivat 6 cm:n syvyydellä (kuva 11). Sammaliston sedimentissä 4,75 cm:n syvyydellä tapahtui runsaasti muutoksia piilevälajistossa. *Achnanthes-Anomoeonesis*-ja *Navicula* sukujen sekä *Asterionella ralfsii*, *Aulacoseira distans* ison, *Aulacoseira. tenella* lajien prosenttiosuudet nousivat edellisestä tarkastellusta kerroksesta. Toisten *Aulacoseira* - lajien %- osuudet laskivat 4,75 cm:n syvyydellä (Kuva 11).

3,25 cm:n syvyydellä *Achnanthes*-suvun prosenttiosuus laski ja pysyi samankaltaisena pintasedimenttiin asti. *F. laata* -levän prosenttiosuus nousi tällä kohtaa ja pysyi samana pintasedimenttiin asti. *Eunotia-suvun* lajien prosenttiosuus nousi tässä kerroksessa mutta muuttui vielä piileväprofiilia tarkasteltaessa pintaa kohden (Kuva 11).

Sammaliston piileväprofiilissa tapahtui sukujen suhteissa muutoksia 1 cm:n kohdalla. *A. distans* pienen ja *A.lirata* prosenttisuhteet laskivat , mutta ne nousivat taas 0,25 cm:n kohdalla. *Eunotia*-ja *Fragilaria*-sukujen prosenttiosuudet nousivat 1 cm:n syvyydellä ja pysyivät myös 0,25 cm:n syvyydellä saman suuruisina (Kuva 11).

3.6.2 Ahvenlammi

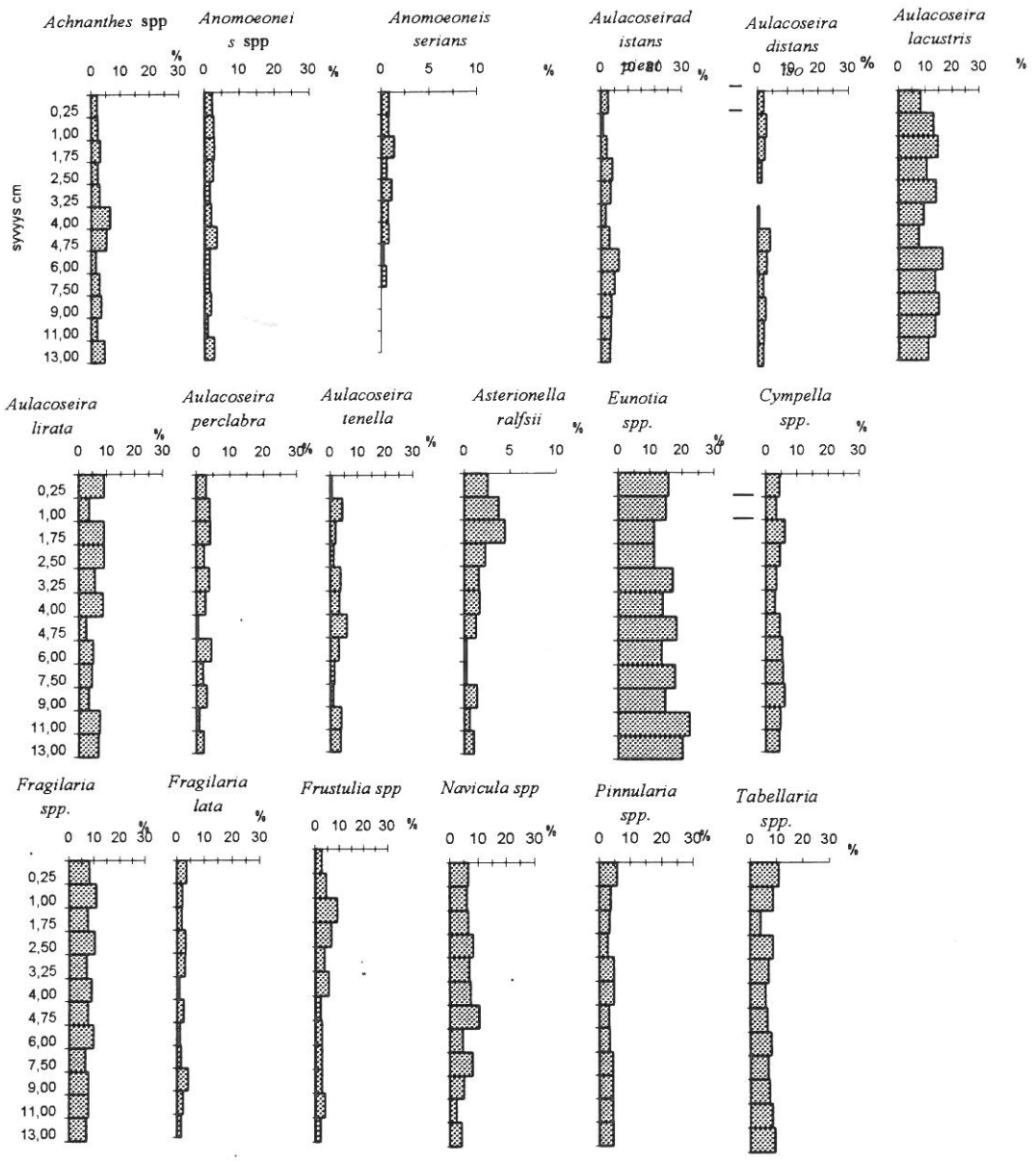
Ahvenlammen sedimentissä *Aulacoseira distans* ison osuus nousi pintasedimenttiä kohti tarkasteltaessa. *Aulacoseira distans* pienen osuus nousi 9,0 - 4,0 cm:n syvyydellä ja laski 3,25 cm:n syvyydeltä alkaen kunnes pintasedimentissä ei ollut ollenkaan. *Aulacoseira lacustris*-levän osuus laski 14 cm:n syvyydeltä pintasedimenttiä kohti tarkasteltaessa, mistä se puuttui kokonaan. Suurimmillaan *Aulacoseira lirata*-levän osuus oli 2,5 cm:n syvyydellä (Kuva 12).

Aulacoseira perglabra-levän osuus laski pintasedimenttiä kohti tarkasteltaessa. *Aulacoseira tenella* ilmestyi Ahvenlammen piilevälajistoon sedimentin11 cm:n syvyydellä. Tämän piilevän osuus nousi pintasedimenttiä kohti tarkasteltaessa (Kuva 12).

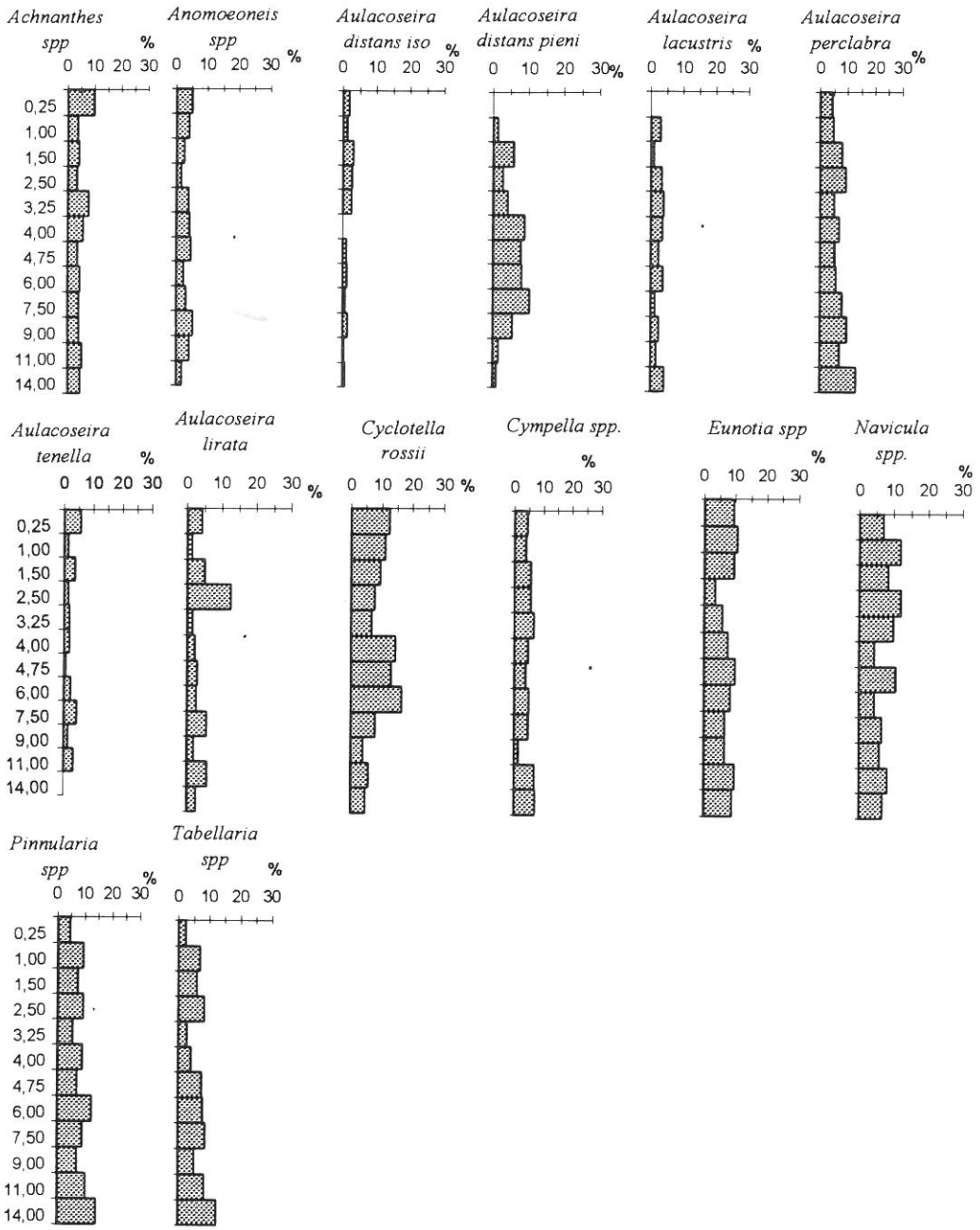
Suurimmillaan oligotrofian ilmentäjäryhmän *C. kuetzingiana* osuus oli 7,5-4 cm:n syvyydellä. Tämän ryhmän osuus nousi yli 10 %:iin 6 cm:n syvyydellä *C. kuetzingiana* -levän osuus pintasedimentissä oli n. 12 % (Kuva 12).

Anomoeonesis-suvun osuus nousi sekä *Pinnularia*- ja *Tabellaria*-sukujen prosenttiosuudet laskivat 11 cm:n syvyydellä. Näiden kahden piileväsuvun osuudet laskevat koko ajan pintasedimenttiä kohden tarkasteltaessa. *Eunotia*-. ja *Cympella*-sukujen osuudet laskivat 9 cm:n syvyydellä. *A. lirata*-, *A. tenella*-levien sekä *Cympella*- ja *Tabellaria*- sukujen osuudet nousivat 7,5 cm:n syvyydellä (Kuva 12).

Frustulia- ja *Eunotia*- sukujen prosenttiosuudet laskivat 3,25 cm:n syvyydellä. Samalla kohtaa *Navicula*- ja *Fragilaria*-sukujen osuudet nousivat. Sedimentin 1,5 cm:n syvyydellä *Anomoeonesis- ja Eunotia*- sukujen sekä *A. distans* pienen ja *A. tenella*-levän osuudet taas nousivat (Kuva 12).



Kuva 11 Yleisimmät piilevätaksonit Sammaliston sedimentissä. %-osuudet laskettu kokonaispiilevien summasta. Y- akseli on syvyys sedimentin pinnasta senttimetreinä. Viiden ensimmäisen senttimetrin osanäytteet on jaettu 0,25 cm:n välein, seuraavat viisi senttimetriä on jaettu 0,5 cm:n välein ja seuraava 1 cm:n välein. Osanäytteistä laskettiin vain joka kolmas.



Kuva 12. Yleisimmät piilevätaksonit Ahvenlammen sedimentissä. %-osuudet laskettu kokonaispiilevien summasta. Y- akseli on syvyys sedimentin pinnasta senttimetreinä. Viiden ensimmäisen senttimetrin osanäytteet on jaettu 0,25 cm:n välein, seuraavat viisi senttimetriä on jaettu 0,5 cm:n välein ja seuraava 1 cm:n välein. Osanäytteistä laskettiin vain joka kolmas.

3.7 Teippipreparaatti

Teippipreparaatin tarkastelun tarkoituksena oli löytää vuonna 1984 tehdyn metsäkulotuksessa syntyneet ja lampien pohjalle mahdollisesti sedimentoituneet nokihiukkaset, mutta niitä ei löytynyt kummankaan järven sedimentin pinnoilta tehdyistä teippipreparaateista. Teippipreparaatin tarkastelun toisena tavoitteena oli löytää piileväsukkession avulla vuosittainen piilevämaksimikohta, joita tämän työn tuloksina esitetään.

Teippipreparaateissa selvästi näkyvät piilevät olivat *Aulacoseira*-lajeja. Teippipreparaatista laskettiin kaikki havaittavissa olevat *Aulacoseira*-lajit yhteen. Ryhmä: muut piilevät, ovat kaikki muut yhteenlasketut havaittavissa olevat piileväsuvut. Piilevät yhteensä ovat muut piilevät + *Aulacoseira-lajit* summattuna (Kuvat 13 ja 14) .

3.7.1 Sammalisto

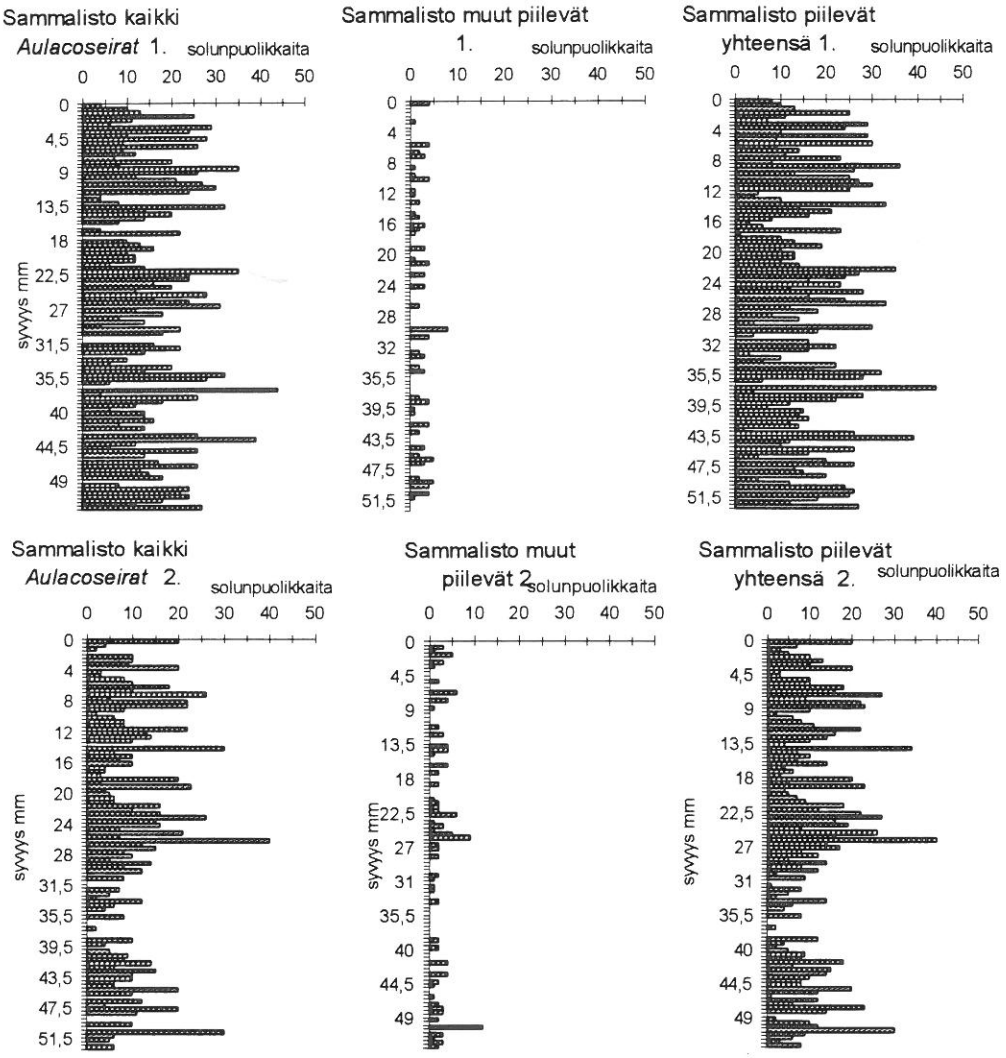
Aulacoseira- piilevien maksimikohtia oli 3 kpl/cm, ja ne olivat n. 3 mm:n välein Sammaliston sedimentin pinnasta tehdyssä ensimmäisessä rinnakkaisessa teippipreparaatissa. Tässä teippipreparaatissa piilevät yhteensä-ryhmän maksimikohdat olivat samanaikaisesti *Aulacoseira-* lajien maksimien kanssa. *Aulacoseira-* lajien ja muut piilevät-ryhmän maksimikohdat eivät olleet samanaikaisesti (Kuva 13).

Toisessa rinnakkain tehdyssä teippipreparaatissa oli samalla lailla piilevämaksimikohtia n. 3 kpl/cm. Rinnakkaisissa teippipreparaateissa piilevämaksimikohdat eivät osuneet samoille syvyyksille (Kuva 13).

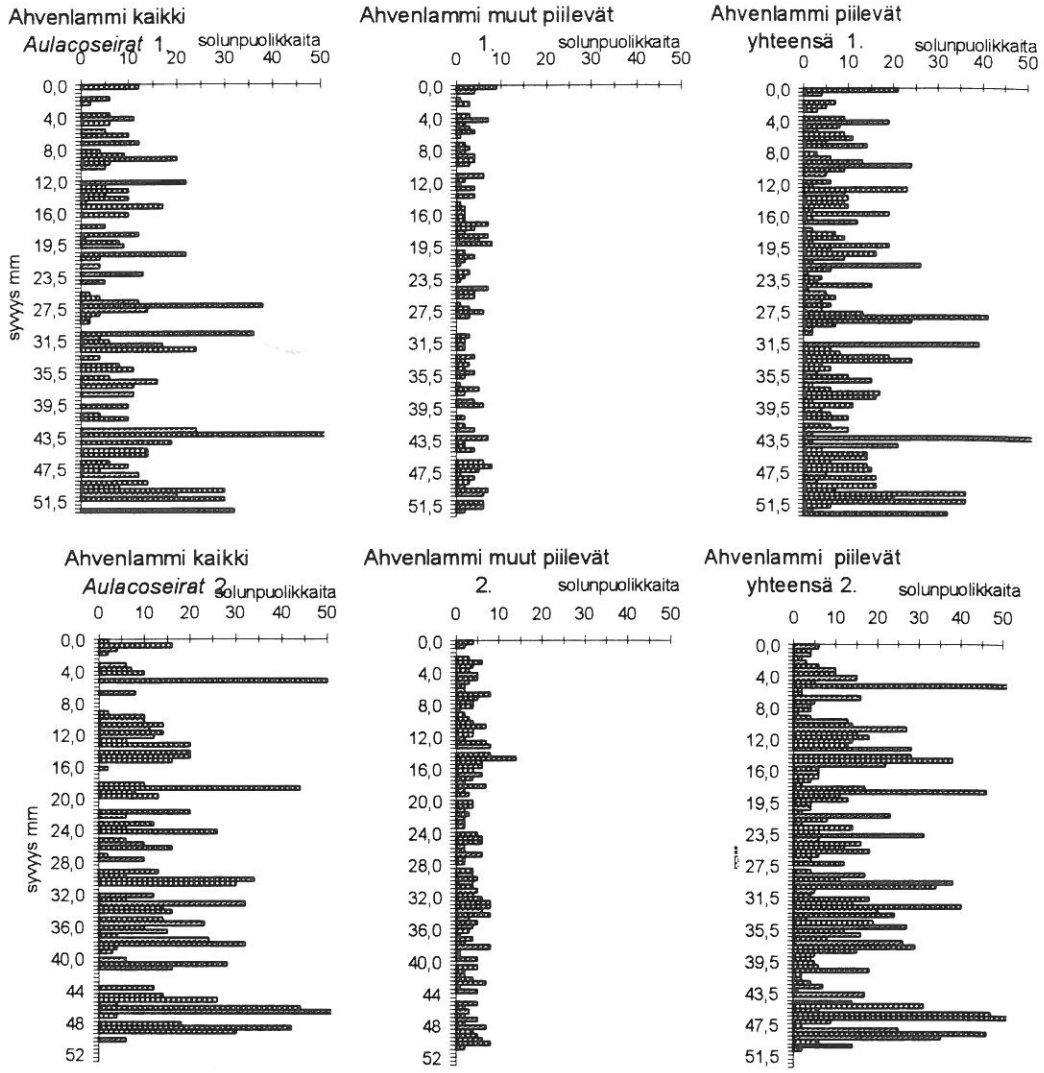
3.7.2 Ahvenlammi

Ahvenlammen ensimmäisen rinnakkaisen teippipreparaatin *Aulacoseira*-lajien maksimikohtia oli 0-4 cm:n syvyyksillä 2 kpl/cm. Muut piilevät maksimikohdat eivät olleet samanaikaisesti *Aulacoseira*-lajien maksimisyvyyksien kanssa. Piilevät yhteensä maksimikohdat olivat samanaikaisesti *Aulacoseira*-lajien maksimikohtien kanssa (Kuva 14).

Toisessa rinnakkain tehdyssä teippipreparaatissa oli samalla lailla piilevämaksimikohtia n. 2 kpl/cm. Rinnakkaisissa teippipreparaateissa piilevämaksimikohdat eivät osuneet samoille syvyyksille (Kuva 14).



Kuva 13. Sammaliston sedimentin teippipreparaatti tulokset. Tulokset ilmoitetaan kuorenpuolikkaiden kpl/ näkökenttä Teippipreparaateissa selvästi näkyvät piilevät olivat *Aulacoseira*- lajit. Teippipreparaatista tarkasteltiinkin kaikki havaittavissa olevat *Aulacoseira*- lajit yhteen. Muiksi piileviksi laskettiin kaikki muut havaittavissa olevat piilevät. Muut piilevät+*Aulacoseira*-lajit laskettiin yhteen=piilevät yhteensä. Pystyakseli kuvaa syvyyttä millimetreinä. Yksi väli on 0,5 mm. Kaksi rinnakkaista teippiä on merkitty numeroin 1 ja 2.



Kuva 14. Ahvenlammen sedimentin teippipreparaatti tulokset. Tulokset ilmoitetaan kuorenpuolikkaiden kpl/ näkökenttä. Teippipreparaateissa selvästi näkyvät piilevät olivat *Aulacoseira*-lajit. Teippipreparaatista tarkasteltiinkin kaikki havaittavissa olevat *Aulacoseira*-lajit yhteen. Muiksi piileviksi laskettiin kaikki muut havaittavissa olevat piilevät. Muut piilevät + *Aulacoseira*-lajit laskettiin yhteen = piilevät yhteensä. Pystyakseli kuvaa syvyyttä millimetreinä. Yksi väli on 0,5mm. Kaksi rinnakkaista teippiä on merkitty numeroin 1 ja 2.

4 *Tulosten tarkastelu*

4.1 *Sedimenttikerrosten ajoitus*

Sammaliston sedimentistä tehdyissä rinnakkaisissa teippipreparaateissa *Aulacoseira*-piilevien maksimikohtia oli n.3 kpl/cm. Koska tarkkaa sedimentaationopeutta ei voi teippipreparaateista päätellä, vertaan Sammalistoa muiden tutkimusten järvien sedimentaationopeuksiin. Espoossa sijaitseva Majaslampi on Sammaliston kanssa saman kokoinen järvi, jossa on yhtä suuri orgaanisen materiaalin pitoisuus. Tässä järvessä sedimentaationopeus oli 3 mm vuodessa. Sedimentti oli ajoitettu nokihiukkasanalyysillä, metsäpalojen jälkeen syntyneistä ja järven pohjalle laskeutuneista hiukkasista (Virkkanen ym. 1997). Englantilaisessa Slapton Ley järven sedimentin kerrostumisnopeus oli 3 mm vuodessa ^{210}Pb - ajoituksen perusteella (O'Sullivan 1994). Verraten em. järviin tässä tarkastelussa tarkastellaan niin, että Sammaliston sedimentaationopeuden oletetaan olevan 3 mm vuodessa.

Ahvenlammen sedimentistä tehdyissä rinnakkaisissa teippipreparaateissa *Aulacoseira*-levien maksimikohtia oli 2 kpl/cm viiden ylimmän senttimetrin jaksolla. Tämän mukaan Ahvenlammen sedimenttiä olisi kertynyt vuodessa n. 5 mm. Teippipreparaateista ei voi päätellä sedimentaationopeutta, joten vertailen Ahvenlampea pinta-alaltaan saman suuruiseen mutta hieman syvempään Tuusulan Rusutjärveen. Rusutjärvessä sedimentaationopeus oli 5-10 mm vuodessa. ^{210}Pb - ajoituksen perusteella (Tolonen ym. 1990).

4.2 *Orgaaninen materiaali*

Sammalistossa orgaanisen materiaalin osuus laski sedimentin pintaa kohden, mikä johtuu yleensä lisääntyneestä mineraaliaineksen osuudesta (Sandman ym. 1992). Orgaanisen materiaalin suhteellisen osuuden lasku ja mineraalimateriaalin lisääntyminen johtuvat valuma-alueella tapahtuvasta kiihtyneestä eroosiosta (Turkia ym. 1998).

Ahvenlammessa orgaanisen materiaalin suhteellinen osuus nousi sedimentin pintaa kohden, mikä on havaittu myös Kuhmon Lentuan ja Änättijärven sedimenteissä (Sandman ym. 1994 b). Orgaanisen materiaalin pitoisuuden nousu pintasedimentissä johtuu lisääntyneestä orgaanisen materiaalin kertymästä ja sedimentin ylemmissä pintakerroksissa tapahtuvasta jatkuvasta orgaanisen materiaalin hajottamisesta (Sandman ym. 1994b; Tolonen 1978b).

Sammaliston sedimentissä C/N- suhde on 13-14 %, mikä ilmaisee sekoittunutta leva- ja putkilokasviperäisyyttä. Tämä on yleistä monissa järvissä, kuten myös Mangrove- ja Bosubtwi- järvissä (Meyers & Lallier-Verges 1999). Ahvenlammen sedimentin C/N- suhde vaihtelee 15-16 % välillä, kuten Sambosjön järvessä. (Digerfeldt ym. 1975).

Ahvenlammen ja Sammaliston sedimenttien alkuperää voidaan tarkastella vertaillen typen ja orgaanisen materiaalin suhdetta. Ahvenlammen sedimentissä orgaanisen materiaalin osuus nousee ja typen osuus laskee pintasedimenttiä kohden tarkasteltaessa. Tämä kuvastaisi sedimentin orgaanisen materiaalin alloktonista alkuperää, koska sedimentissä on typen minimin kanssa samanaikaisesti orgaanisen materiaalin maksimi (Turkia ym 1998). Sammalistossa sekä typen että orgaanisen materiaalin osuudet laskevat 10 cm:n syvyydeltä pintaa kohden. Sammalistossa tämä suhde kuvastaa kasvavaa autoktonista orgaanisen materiaalin alkuperää, koska typen osuus nousee (Turkia ym 1998).

4.3 Sedimentin kemia

Sammaliston ja Ahvenlammen sedimenttien fosforipitoisuudet olivat <5 mg P g^{1}. Kuhmon Änättijärven ja Lentuan fosforipitoisuudet olivat samankaltaiset, vaikka orgaanisen materiaalin pitoisuudet (Sandman ym. 1994a) olivat pienempiä, kuin Ahvenlammessa ja Sammalistossa. Fosforipitoisuuden lasku johtuu epäorgaanisen materiaalin osuuden lisääntymisestä tai ilmentää hapettomia oloja pintasedimentissä (Koljonen & Carlson 1975). Ahvenlammen sedimentissä fosforipitoisuuden lasku ei johdu epäorgaanisen materiaalin noususta, koska orgaanisen materiaalin määrä ei

laske samanaikaisesti fosforipitoisuuden kanssa. Ahvenlammen pohja on hapeton, joka voi aiheuttaa pintasedimentin fosforipitoisuuden laskua tässä lammessa. Sammalistossa orgaanisen materiaalin pitoisuuden lasku pintasedimenttiä kohden ei vaikuta fosforipitoisuuteen laskevasti.

Fosforipitoisuudet ovat suurimpia järvissä, joissa on kasvi- ja suoainesta, kuin kirkasvetisissä järvissä (Koljonen & Carlson 1975). Kirkasvetisessä Ahvenlammessa fosforipitoisuudet ovat suurempia 20-5 cm:n jaksolla kuin humuspitoisessa Sammalistossa. Sammaliston sedimentissä fosforipitoisuudet ovat suuremmat viiden pintasenttimetrin osalta kuin Ahvenlammen sedimentissä.

Ahvenlammessa ja Sammalistossa on pienet rautapitoisuudet verrattuna orgaanisen materiaalin määrään. Molempien lampien rautapitoisuudet ovat pienemmät kuin Bussjösjön-järvessä, jossa rautapitoisuus vaihteli 10-25 mg/g ka ja orgaanisen materiaalin pitoisuus oli pienempi (Olsson ym. 1997) kuin Sammalistossa ja Ahvenlammessa. Ahvenlammessa ja Sammalistossa ovat pienet rautapitoisuudet verrattuna myös Kanadassa sijaitsevaan Amarak - järveen (Wolfe & Härtling 1996). Tässä järvessä on suurempi orgaanisen materiaalin pitoisuus kuin tämän tutkimuksen lammissa.

Sammaliston ja Ahvenlammen rautapitoisuudet ovat pienet suhteessa orgaanisen materiaalin määrään. Näissä järvissä on suuret orgaanisen materiaalin pitoisuudet, kuten rehevässä Jalantijärvessä (Alhonen 1967). Rautapitoisuudet muistuttavat karun Sarkkilanjärven pitoisuuksia sekä Sammalistossa että Ahvenlammessa (Alhonen 1967). Humuspitoisten järvien sedimenteissä rautapitoisuudet ovat suuret. Sammalistossa on ollut koko tutkitun sedimentin jakson ajan suurempi rautapitoisuus kuin Ahvenlammessa. Tämä saattaa ilmentää sitä, että Sammalisto on ollut koko ajan humuspitoisempi kuin Ahvenlammi.

4.4 Siitepölyt

Ahvenlammessa ja Sammalistossa puukasvien osuudet ovat 80-90 % tutkitussa sedimentin jaksossa, kuten myös Pyhäjärvessä (Räsänen ym. 1992). Sammalistossa heinäkasvien ja NAP osuudet nousevat syvyydellä 9 cm ja samalla AP/NAP osuus laskee. Laskeva AP/NAP-suhde kuvastaa avartuvaa maa-aluetta (Vuorela & Lempiäinen 1997). Tämä osoittaisi, että Sammaliston ympäristö on ollut jatkuvasti avointa maa- aluetta tutkitun yhdeksän senttimetrin jaksolla. Sammaliston sedimentissä 9 cm voisi ajoittua 1970 luvulle, jolloin ensimmäiset tiet rakennettiin valuma-alueelle. Ahvenlammen sedimentissä ei näy olevan avartuvan maa-alueen ilmentäjää, laskevaa AP/NAP suhdetta.

Sekä Ahvenlammen että Sammaliston sedimenteissä männyn siitepölyä on enemmän kuin kuusen, lepän tai koivun siitepölyä, kuten myös Tuusulanjärven sedimentissä (Tolonen ym. 1990). Männyn siitepölyn suuri määrä johtuu sen istutuksesta valuma-alueelle (Gaillard ym.1991).

Ravinteiden kyky kiertää ja palautua metsämaassa riippuu metsämaan ja metsän koostumuksesta. Puiden poisto vaikuttaa ravinteiden kiertoon metsämaassa ja maan akkumulaatiokykyyn. (Digerfeldt ym.1975). Sammalistossa puiden poisto on lisännyt epäorgaanisen materiaalin eroosiota sedimenttiin, koska ei ole ollut puita sitomassa liukenevaa materiaalia.

4.5 Piilevät

Järven humuspitoisuutta, niukkaravinteisuutta ja happamuutta ilmentäviä piileviä ovat esim. *Aulacoseira tenella*, *Aulacoseira* ja *Aulacoseira lacustris* (Sandman ym. 1992; Turkia ym.1998; Virkkanen ym. 1997). Humuspitoisessa Sammalistossa *Aulacoseira tenella* esiintyy kuten Kalliojärvessä, jossa tämän piilevän osuus pienenee viime vuosina sedimentoituneessa materiaalissa (Sandman ym. 1992). Humuspitoisessa Sammalistossa *Aulacoseira lirata*-levän osuus nousee pintasedimenttiä kohden. Samoin kuin Majaslammessa ja Kalliojärvessä (Sandman

ym. 1992; Virkkanen ym. 1997). Näitä järven humuspitoisuutta, niukkaravinteisuutta ja happamuutta ilmentäviä piileviä on myös Ahvenlammessa, mutta vähemmän kuin Sammalistossa.

Aulacoseira distans on karun järven ilmentäjälaji. Piilevä ilmentää järvessä olevaa humusaineita ja vähäravinteisuutta, mikä aiheutuu suohumuksesta ja ravinnesuolojen sulautumisesta humukseen (Kukkonen 1973). Humuspitoisessa Sammalistossa *Aulacoseira distans* pienen osuus on suurempi ja *Aulacoseira distans* ison osuus on pienempi kuin Ahvenlammessa

Sammalistossa esiintyvä *Asterionella ralfsii* on humuspitoisten ja happamien järvien piilevälaji (Sandman ym 1992). Sammalistossa *Asterionella ralfsii* -levän osuus on pieni verrattuna Rajaslampeen, jossa tämän piilevän osuus oli 50-52% (Turkia ym. 1998). Sammalistossa esiintyvä *Asterionella serians* -piilevä on happamien järvien ilmentäjälaji. Tämä piilevä ilmestyy Sammaliston sedimenttiin 7,5 cm:n syvyydellä, joka voisi ajoittua 1980- luvun alkuun ja suo-ojitusten jälkeiseen aikaan. Kirkasvetisestä Ahvenlammesta puuttuivat kokonaan nämä humuspitoisuutta ja happamuutta ilmentävät piilevälajit.

Kirkkaille ja karuille järville tyypillinen *Cyclotella kuetzingiana* -piileväryhmä (Järnefelt 1956) esiintyy Ahvenlammessa, mutta ei Sammalistossa. Tämä piilevä ilmentää, että järveen ei tule ympäröivältä metsäalueelta paljoa humusaineita (Turkia ym. 1998).

Kalliojärvessä epifyyttilevät *Achnanthes altaica* ja *Achnanthes linearis* yleistyvät sedimentin pinnassa. Ahvenlammessa *Achnanthes* -suvun lajit yleistyvät sedimentin pintaa kohti ja Sammalistossa vähenevät. Kalliojärven matalassa osassa piilevävaltalajeina ovat epipeeliset lajit, kuten *Stauroneis anceps fo gracilis* ja *Pinnularia biceps* *Pinnularia* -ja *Stauroneis* lajien osuudet ovat suuret lähellä sedimentin pintaa (Sandman ym. 1992). Ahvenlammessa *Pinnularia*- suvun piilevät vähenevät sedimentin pintaa kohden tarkasteltaessa ja Sammalistossa yleistyvät. Epipeelisten lajien runsauden muutokset saattavat ilmentää veden värissä tapahtuvia muutoksia (Sandman ym. 1992).

Happamissa järvissä planktoniset piilevät ovat vähemmistönä, koska eivät pysty käyttämään yhtä hyvin vähäisiä ravinteita kuin alustalla elävät piilevät (Huttunen & Turkia 1990). Sammaliston ja Ahvenlammen sedimenteissä vallitsevat järven pohjaan kiinnittyvien *Anomoeoneis*-, ja *Nitzschia*- sukujen lajit sekä vesikasveihin kiinnittyvien, *Achnanthes*- *Eunotia*-, *Fragilaria*-, ja *Navicula*.-sukujen lajit (Haworth 1984). Ahvenlammessa ja Sammalistossa planktoniset piilevät ovat vähemmistönä.

Sammaliston ja Ahvenlammen piilevälajistossa on samojen sukujen edustajia. Ahvenlammessa on runsahkosti *Cyclotella kuetzingiana*-ryhmään kuuluvia piileviä, jotka puuttuvat Sammalistosta. Sammalistossa esiintyy Ahvenlammesta puuttuvat piilevät *Asterionella ralfsii, A Anomoeoneis serians* ja *Fragilaria lata* lajit.

4.6 Metsätalouden vaikutukset

Epäorgaanisen ja orgaanisen materiaalin suhteen vaihtelu järvien sedimenteissä antaa käyttökelpoista tietoa maankäytön muutoksista, koska suurin osa sedimentoituvasta materiaalista on peräisin valuma-alueelta (Sandman ym.1994 a; Tolonen 1978 b). Valuma-alueen käytön muutokset aiheuttivat Kuhmon Lentuan ja Änättijärven orgaanisen materiaalin pitoisuuden nousun pintasedimenteissä. Valuma-alueelle tehdyt vaot ja ojat lisäsivät maalla syntyneen humuksen kulkeutumista (Sandman ym. 1994 b).

Järven ulkopuolelta tulevan orgaanisen materiaalin määrä on suurimmillaan C/N suhteen maksimikohdissa (Hansen 1961) Sammaliston sedimentissä orgaanisen materiaalin maksimikohtia olivat 10 ja 6 cm, nämä ajoittuvat 1970 luvun teiden rakentamisen ajankohtaan sekä vuonna 1979-1980 tehtyihin metsäojituksiin. Ahvenlammen sedimentissä orgaanisen materiaalin pitoisuus ja C/N-suhde nousevat pintasedimenttiä kohden, tämä saattaa ilmentää suurta alloktonista alkuperää olevan orgaanisen materiaalin kuormaa (Hansen 1961).

Sammaliston sedimentissä orgaanisen materiaalin osuus alkoi laskea 10 cm:stä pintasedimenttiä kohti, tämä ilmiö johtuu yleensä lisääntyneestä mineraaliaineksen

eroosiosta (Sandman ym. 1992). Sammaliston orgaanisen materiaalin lasku ajoittuu aikaan, jolloin alueelle tehtiin ensimmäiset tiet. Tämän jälkeen minerogeenisen materiaalin eroosio valuma-alueelta on kiihtynyt johtuen lienee metsätaloustoimenpiteiden lisääntymisestä.

Suurten metsäojitusten jälkeen fosforipitoisuudet nousivat Kuhmon Änättijärvessä ja Lentuassa (Sandman ym. 1994 a). Vuosina 1979-1980 Sammaliston valuma-alueella tehdyt metsäojitukset eivät näy kohonneina fosforipitoisuuksina Sammaliston sedimentissä. Sammalistossa sekä Ahvenlammessa fosforipitoisuudet ovat alkaneet nousta ennen tiedettyjä metsätaloustoimenpiteitä.

Valuma-alueen tulipalot lisäävät fosforipitoisuutta järvien sedimenteissä (Wright 1976). Metsäpalot kiihdyttävät eroosiota, kuitenkaan mineraalimateriaalin akkumulaatiossa sedimenttiin ei tapahdu suuriakaan muutoksia sedimenttistratigrafiassa. Tulipalon suurin vaikutus on humuksen ja epäorgaanisen/orgaanisen materiaalin kulkeutuminen järviin (Virkkanen ym. 1997). Sammaliston valuma-alueella, tutkittujen lampien välissä, oli tehty kulotus vuonna 1984, tämä ajoittuu Sammaliston sedimentissä 6 cm:n ja Ahvenlammessa 8 cm:n syvyydelle. Kummankaan lammen sedimentissä kulotus ei näy fosforipitoisuuden nousuna.

Rautapitoisuuden nousu sedimenteissä johtuu valuma-alueella lisääntyneestä ihmistoiminnasta. Rautaa valuu lisää järviin ja sedimentteihin metsättömän maan eroosion kiihtyessä (Digerfeldt & Håkansson 1993). Sammaliston rautapitoisuus alkoi nousta ennen kuin tiedetyt metsätaloustoimenpiteet aloitettiin valuma-alueella 1970-luvun teiden rakentamisella. Sammalistossa rautapitoisuus on korkeampi kymmenen ylimmän cm:n jaksolla kuin aiemmin valuma-alueen metsätaloustoimenpiteiden vaikutuksesta. Ahvenlammessa rautapitoisuus nousi äkillisesti 10 cm:n syvyydellä, joka ajoittuu vuosien 1979-1980 metsäojituksiin.

Sammalistossa suurimmat kemialliset muutokset tapahtuivat 10 pintasenttimetrin aikana. Ahvenlammessa 10 pintasenttimetrin aikana ei ole yhtä selviä kemiallisia muutoksia kuin Sammalistossa lukuun ottamatta rautapitoisuuden nousua 10 cm:n syvyydellä. Sammalistossa kemialliset muutokset ajoittuvat tiedettyjen valuma-

alueella tehtyjen metsätaloustoimenpiteiden aikaan. Majaslammessa suurimmat kemialliset muutokset tapahtuivat 0-10 cm:n syvyydellä ja aiheutuivat valuma-alueella tapahtuvasta ihmistoiminnasta (Virkkanen ym. 1997).

Aulacoseira tenella -levän vallitsevuus saattaa ilmentää ojitusten vaikutuksia ja niistä johtuvaa veden humuspitoisuuden nousua (Sandman ym. 1992). Sedimentin orgaanisen aineksen lisääntymiseen liittyy *Aulacoseira tenella*-levän suhteellisen osuuden jyrkkä kasvu. Tämän piilevän maksimeja edeltävät hehkutushäviön minimit Kuhmon Änättijärven ja Lentuan sedimenteissä (Sandman 1994 a). Ahvenlammen ja Sammaliston alueilla tehdyt suo-ojitukset olivat vuosina 1979-1980. Sammaliston sedimentissä nämä vuodet ajoittuvat 7,5 cm:n, jolloin *Aulacoseira tenella* -levän osuus nousi. Sammaliston sedimentissä ei ole hehkutushäviön osuudessa minimiä ennen *Aulacoseira tenella* -levän maksimia. Ahvenlammen sedimentissä ojitukset ajoittuvat 10 cm:n syvyydelle, mutta *Aulacoseira tenella* -levän osuudessa ei ole nousua.

Saarijärvessä piilevät kuvastavat sen olleen ruskeapitoinen jo pitkään mutta jotkut ilmentäjälajit, kuten *Aulacoseira tenella,* kuvastavat, että humuspitoisuus on noussut puolessa vuosisadassa johtuen metsänhakkuista (Turkia ym. 1998). Humuspitoisemmassa Sammalistossa *Aulacoseira tenella* -levän osuus on suurempi kuin Ahvenlammessa lukuun ottamatta pintasedimenttiä. Tämä osoittaisi että Sammalisto olisi ollut koko tutkittavan jakson ajan humuspitoisempi kuin Ahvenlammi. Ahvenlammessa *Aulacoseira tenella* -levän osuus on noussut viimeisten hakkuiden jälkeen.

Puiden kaadon ja maaperän muokkauksen seurauksena lisääntynyttä humusmateriaalin määrää sedimenteissä ilmentää *Asterionella ralfsii*-piilevä. Tämä piilevä on happamuuden ilmentäjä ja sen optimaalinen pH on 4,9. Rajalammen pintasedimentissä tämän piilevän lisääntynyt määrä ilmensi järven lisääntynyttä happamuutta happaman laskeuman aiheuttamana (Turkia ym. 1998). Sammalistossa esiintyi *Asterionella ralfsii* -piilevää, vaikka pH ei ollut yhtä matala kuin tämän piilevän optimaalinen pH. Sammalistossa *Asterionella ralfsii* -levän osuus nousi 4,75 cm:n syvyydellä, joka kuvastanee v. 1984 tehtyä suurta avohakkuuta ja

metsäkulotusta. Toinen maksimikohta on 1,75 cm:n syvyydellä, joka kuvastanee 1990- luvun alun metsänhakkuita.

Moni emäksisiä oloja suosiva piilevälaji ilmestyi 18 hehtaarin hakkuiden jälkeen Nurkka-Saarinen järveen mm. *Eunotia*-suvun lajit (Turkia ym. 1998). Sammalistossa *Eunotia*-suvun lajit nousivat pintasedimenttiä kohden. Sammalistossa *Eunotia*-suvun lajien osuudet ovat nousseet puunhakkuiden jälkeen, vuosina 1984, 1988 ja 1995. Ahvenlammessa *Eunotia*-suvun lajien osuus alkoi nousta Ahvenlammessa 1,5 cm:n syvyydellä, mikä voisi kuvastaa 1990-luvun metsänhakkuiden jälkeistä aikaa. *Eunotia*-suvun lajien suhteelliset osuudet olivat suuremmat Sammaliston kuin Ahvenlammen sedimentissä. Sekä Sammalistossa että Ahvenlammessa suurimmat *Eunotia*-lajien osuudet olivat 11-14 cm:n syvyyksillä, joka kuvastaa aikaa ennen tiedettyjä metsätaloustoimenpiteitä.

Monet piilevät, esim. *Asterionella formosa ja Cyclotella radiosa,* ilmentävät järviveden lisääntynyttä ravinnepitoisuutta. Veden noussut ravinnepitoisuus johtunee valuma-alueilla tapahtuneista metsänhakkuista, tosin yksittäisten metsänhakkuiden vaikutuksia ei voi erotella (Turkia ym. 1998). Sammalistossa eikä Ahvenlammessa ollut näitä nousseen ravinnepitoisuuden ilmentäjäpiileviä.

Järven valuma-alueella tapahtuneet metsänhakkuut nostavat usein veden fosforipitoisuutta, ja pH:ta. Usein veden emäksisyyttä kuvastavat piilevälajien osuudet ovat suurimmillaan sedimentin pintaosissa, mutta happaman veden ilmentäjä *Aulacoseira tenella* vallitsee sedimenttien piilevälajistossa (Turkia ym. 1998). Sammalistossa *Aulacoseira tenellaa* on runsaasti viimeisen 10 cm:n jaksolla.

Tulipalot vaikuttavat puustoa vähentävästi, mm. kuusi kasvaa huonosti metsäpalon tuhkasta ja siksi sen elpyminen kestää useita vuosia. Metsäpalon jälkeen koivu nousee ensimmäisenä maasta, sen jälkeen leppä (Tolonen 1978a). Vuoden 1984 metsäkulotus Sammaliston valuma-alueella ei näy kuusen eikä männyn siitepölyjen vähenemisenä Sammaliston sedimentissä.

5 *Johtopäätökset*

Sammaliston sedimentissä orgaanisen materiaalin määrän lasku alkaa ensimmäisten teiden rakentamisen valuma-alueella aikaan 1970 luvulla. Tästä alkaen hehkutushäviö laskee pintasedimenttiä kohden. Orgaanisen materiaalin määrä nousi Sammalistossa n.16 vuotta sitten. Tämä ilmentää 1984 tapahtuneiden metsähakkuun ja kulotuksen jälkeistä aikaa. Sammalistossa hiilen ja typen osuudet alkavat laskea samalla kohden kuin orgaaninen materiaali. Sammalistossa laskeva C/N-suhde 10 pintasenttimetrin aikana kuvastaa valuma-alueella tapahtuneen puiden poiston johdosta tapahtuvaa mineraalimateriaalin eroosion nousua. Laskeva C/N-suhde kuvastaa myös järven lisääntyvää perustuotantoa (Turkia ym. 1998).

Valuma-alueella tehdyt, tiedetyt metsätaloustoimenpiteet eivät ole nostaneet fosforipitoisuuksia Sammalistossa. Sammalistossa orgaanisen materiaalin suhteellinen osuus laskee, ja epäorgaaninen materiaali lisääntyy, mutta tästä johtuvaa fosforipitoisuuden vähenemistä ei tapahdu. Sammalistossa rautapitoisuus nousee ennen tiedettyjä metsätaloustoimenpiteitä. Notkahduksen 8-5 cm jälkeen rautapitoisuus alkaa taas nousta 4 cm:n kohdalla. Tämä voi aiheutua vuoden 1988 hakkuiden ja sen seurauksena lisääntyneen mineraalimateriaalin valuman aiheuttamana.

Ahvenlammen valuma-alueella ei ole tapahtunut metsätaloustoimenpiteitä ennen 1990-lukua. Ahvenlammen orgaanisen materiaalin ja C/N-suhteessa ei ole tapahtunut äkillisiä muutoksia tutkitussa sedimentissä. Nämä kaksi elementtiä nousevat hiljalleen pintasedimenttiä kohden. Orgaanisen materiaalin nousu kymmenen pintasenttimetrin aikana voi johtua hajottamattomasta orgaanisesta materiaalista. Tämä kuvastaa, että Ahvenlammessa ei ole ollut muutoksia epäorgaanisen/orgaanisen materiaalien suhteissa.

Ahvenlammen fosforipitoisuudet laskevat 4 cm:n syvyydeltä pintasedimenttiin. Ne voisivat ajoittua vuoden 1992 metsähakkuisiin ja hapettomaan alusveteen, mitä se oli ainakin vuonna 1993 (Kautto 1993). Ahvenlammessa myös rautapitoisuus laski pintasedimenttiä kohden. Fosfori- ja rautapitoisuuksien lasku voisivat liittyä toisiinsa ja hapettomaan alusveteen. Sammaliston ja Ahvenlammen valuma-alueilla tehdyt

metsätaloustoimenpiteet eivät näy kummassakaan lammessa nousseina fosfori- tai rautapitoisuuksina.

Sammalistossa nousevat NAP ja heinäkasvien suhteet ilmentävät avointa maa-aluetta 10 ylimmän senttimetrin aikana eli 1970-luvulta lähtien. Tämä johtunee valuma-alueilla eri aikoina tapahtuneista metsänhakkuista, joiden vaikutukset yhdistyvät. Ahvenlammen ja Sammaliston välissä v. 1984 tehdyllä kulotuksella ei ollut vaikutusta sammaleiden määrään. Ahvenlammessa ei ole suuria muutoksia kasvillisuudessa tutkittavan sedimentin jaksossa. Siitepölyt kulkeutuvat kaukaakin, joten todellista puiden yksilömäärän vähenemistä ei lienee voida arvioida suhteellisella siitepölylaskulla. Lammet ovat vierekkäin, joten puiden siitepölyä on voinut kulkeutua molempien lampien valuma-alueilta kumpaakin järveen.

Sammalistossa oli enemmän humuspitoisuutta ja happamuutta ilmentäviä piileviä kuin Ahvenlammessa. Sammalistossa humuspitoisuutta ilmentävät piilevät ovat olleet koko tutkittavan sedimentin jakson ajan lukuun ottamatta *Anomoenes serians* - piilevää. Tämä ilmentäisi että Sammalisto olisi ollut humuspitoisempi kuin Ahvenlammi koko tutkitun sedimentin jakson ajan. *Anomoenes serians*- piilevä ilmestyi Sammalistoon 7,25 cm:n syvyydellä, mikä kuvastanee vuosina 1979-1980 valuma-alueella tehtyjen metsäojitusten jälkeistä aikaa. Viimeisen kymmenen senttimetrin aikana humuspitoisuutta ilmentävien piilevien osuus nousi. Tämä ja aiempaa korkeampi rautapitoisuus ilmentävät lienee kohonnutta humuspitoisuutta.

Ahvenlammessa esiintyy kirkasvetisyyttä ilmentävä piileväryhmä *Cyclotella kuetzingiana*. Tämä piileväryhmä kuvastanee Ahvenlammen kirkkautta. Ahvenlammessa ja Sammalistossa olivat kasvien ja sedimentin pinnoilla elävien piileväsukujen lajit vallalla, planktonsukujen lajit olivat vähemmistöinä. Kummankaan järven sedimentissä ei ollut runsasravinteisuutta ilmentäviä piileväsukuja.

Ahvenlammessa monet humuspitoisuutta ilmentävien piilevien osuus nousi pintasedimenttiä kohden ja *Cyclotella kuetzingiana* - piilevä osuus laski. Myös Ahvenlammen C/N osuus nousi pintasedimenttiä kohden, ilmentäen lisääntyvää alloktonisen orgaanisen osuutta järven sedimentissä.

Valuma-alueen metsätaloustoimenpiteiden vaikutukset näkyvät Sammaliston sedimentissä orgaanisen materiaalin suhteellisen osuuden vähenemisenä sekä valuma-alueen heinäkasvien ja muiden ruohomaisten kasvien lisääntymisenä. Sammaliston sedimentissä piilevät olivat suurelta osaltaan happaman ja humuspitoisen järven ilmentäjiä, mikä merkitsee, että nämä metsätaloustoimenpiteet eivät ole vaikuttaneet järveen rehevöittävästi.

Ahvenlammen valuma-alueella metsätaloustoimenpiteet alkoivat myöhemmin kuin Sammaliston. Metsätaloustoimenpiteillä ei ole ollut vaikutusta Ahvenlammen orgaanisen materiaalin määrään. Sen sijaan niillä on ollut vaikutusta rauta- ja fosforipitoisuuteen ensin nostavasti ja sitten laskevasti. Ahvenlammen valuma-alueen kasvillisuuden osuuksissa ei ole suuria muutoksia.

6 *Kiitokset*

Tämä työ on tehty Helsingin yliopiston Ympäristöekologian laitoksella. Kiitän ohjaajaani prof. Timo Kairesaloa. Kiitokset myös FM Mikko Liukkoselle kärsivällisestä opastuksesta kemiallisten ja biologisten analyysien käytännön työhön. FM Heli Karjalaiselle kiitos tekstini lukemisesta ja kommenteista.

7 *Kirjallisuus*

Alhonen, P. 1967. Paleolimnological studies of three inland lakes in south-western Finland. Acta Bot. Fenn. 76: 1-59.

Birks, H. J. B. & Birks, H. H. 1980. Quaternary Palaeoecology. Edwood Arnold 289 s.

Digerfeldt, G. & Håkansson, H. 1993. The Holocene paleolimnology of Lake Sambosjön, Southwestern Sweden. J. Paleolimnol. 8: 189-210.

Donner, J. J., Alhonen, P. Eronen, M., Jungner, H. & Vuorela, I. 1978. Biostratigraphy and radiocarbon dating of the Holocene lake sediments of Työtjärvi and the peats in the adjoining bog Varrassuo west of Lahti in southern Finland. Ann. Bot. Fennici 15: 258-280.

Engstrom, D.R. & Wright, H. E. Jr. 1984. Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change. Teoksessa: Haworth, E.Y. & Lund, J. W. G. (toimitt.) Lake Sediments and Environmental History. Leicester University Press s. 11-68.

Gaillard, M.J., Dearing, J.A., El-Daoushy, F., Enell, M.& Håkansson, H. 1991. A late Holocene record of land-use history, soil erosion, lake trophy and lake level fluktuations in Bjäresjösjön (South Sweden)

Hansen 1961: Lake Types and Lake Sediments Verh. Int. Ver. Limnol 14. 285-290.

Haworth, E. Y. 1984. Stratigraphic changes in algal remains (diatoms and chrysophytes) in the recent sediments on Blelham Tarn, English Lake District. Teoksessa. Lake Sediments and Environmental History (Toim. Haworth, E.Y. & Lund, J. W. G.) Leicester University Press 1984, s. 165-190.

Hutchinson, G.E. 1957. A Treatise on Limnology, volume I. Geography, physics and chemistry. John Wiley & Sons New York, London, Sydney 1015 s.

Hutchinson, G.E. 1967. A Treatise on Limnology, volume II. John Wiley & Sons New York, London, Sydney 1115 s.

Huttunen, P. & Meriläinen, J. 1978. New freezing device providing large unmixed sediment samples from lakes. Ann. Bot Fennici 15: 128-130.

Huttunen, P. & Turkia, J. 1990. Surface sediment diatom assemblages and lake acidicity. Teoksessa: (Kauppi, P toim.) Acidification in Finland. Springer Verlag Berlin Heidelberg 1990, s.995-1007

Huttunen, P., Kenttämies, K., Liehu, A., Liukkonen, M., Nuotio, T., Sandman, O. & Turkia, J. 1990. Paleoecological Evaluation of the Recent Lake Acidification of Lakes in Finland. Teoksessa: (Kauppi, P. toim.) Acidification in Finland. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1990, s. 1071-1092.

Hyvärinen, H. 1986. Siitepölyanalyysi ja kvartäärin siitepölystratigrafia. Helsingin yliopisto geologian laitos, paleontologian osasto.

Håkanson, L. & Jansson, M. 1983. Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio, 316 s.

Järnefelt, H. 1956. Zur Limnologie einiger Gewässer Finnlands. XVI.Mit besonderer Berueczichtigung des Planktons. Suomal. Eläin- ja kasvit. Seur.van. eläin. Julk. (Annals Zool. Soc. Vanamo)17 (7) 201 s. 375-393.

Järnefelt, H. 1958. Vesiemme luonnontalous. Helsinki, 325 s.

Kauppila, T. & Salonen, V-P. 1997. The effect of Holocene treeline fluctuations on the sediment chemistry of Lake Kilpisjärvi, Finland. J. paleolimnol. 18: 145-163.

Kautto, M. 1993. Nastola, Kallio- ja Pitkä- ja Särkijärven alueen osayleiskaava. Perusselvitysraportti. Insinööritoimisto Paavo Ristola OY, 30 s.

Kukkonen, E: 1973. Sedimentation and typological development in the basin on Lake Lohjanjärvi, South Finland. Geol. Surv. Finland Bull. 261: 67 s.

Koljonen, T. & Carlson, L. 1975. Behaviour of the major elements and minerals in sediments of four humic lakes in South-Western Finland. Fennia 137: 1-47

Laaksonen, R. 1970. Vesistöjen veden laatu. Vesiensuojelun valvontaviranomaisen vuosina 1962- 1968 tarkkailuun perustuva tutkimus. (English abstract) Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia 17: 132 s.

Lawase, W., Planter, M., Stasiak, K., Tatur, A. & Wieckowski, K. 1978: The past, present and future of three Mazurian lakes. Pol. Arch. Hydrobiol. 25: 233-238.

Liukkonen, M., Kairesalo, T. & Keto, J. 1993: Eutrophication and recovery of Lake Vesijärvi (south Finland): Diatom frustules in varved sediments over a 30 year period. Hydrobiologia 269/270: 415-426

Meyers, P. A. & Ishiwatari, R. 1998: Organic matter accumulation records in lake sediments. Teoksessa: Lerman, A. (toim.) Physics and chemistry of lakes. Springer-Verlag New York, Berlin, Heidelberg s. 279-328.

Meyers, P.A. & Lallier-Verges, E. 1999: Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates. J. Paleolimnol. 21(3): 345-372.

Mölder, K. & Tynni, R. 1967-73. Uber Finnlands rezente und subfossile Diatomeen I-VII. Bull. Geol. Soc. Finland 39: 199-217 (1967), 40:151-170 (1968), 41: 235-251 (1969), 42: 129-144 (1970), 43: 203-220 (1971), 44:141-149 (1972), 45: 159-179 (1973)

Olsson, S., Regnell, J., Persson, A & Sandgren, P. 1997: Sediment-chemistry response to land-use change and pollutant loading in a hypertrophic lake, southern Sweden. J. Paleolimnol 17: 275-294.

O´Sullivan, P. E. 1979: The Ecosystem-watershed concept in the environmental sciences - a review. International J. Env. Stud. 13: 273-281.

O´Sullivan, P.E 1994: The Natural History of Slapton Ley National Nature Reserve XXI: The Palaeolimnology of the uppermost sediments of the Lower Ley with interpretations based on ^{210}Pb dating and the historical record. Field Studies 8 (3): 403-449.

Robbins J. A. & Edgington D. N. 1975: Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137. Geochim. Cosmochim. Acta 39: 285-304.

Räsänen, M., Salonen, V-P, Salo, J., Walls, M.R. & Sarvala, J. 1992: Recent history of sedimentation and biotic communities in lake Pyhäjärvi SW Finland. J. Paleolimnol 7: 107-126.

Salonen, V-P., Alhonen, P., Itkonen, A. & Olander, H. 1993: The trophic history of Enäjärvi, SW Finland, with special reference to its restoration problems. Hydrobiologia 268: 147-162.

Sandman, O., Turkia, J. & Huttunen, P. 1992: Paleolimnologinen tutkimus Metsäojituksen ja lannoituksen vesistövaikutuksista Juupajoen Kalliojärvessä. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja A 84: 1-53.

Sandman, O., Turkia, J. & Huttunen, P. 1994a: Metsätalouden pitkäaikaiset vaikutukset suurissa järvissä, Kuhmon Änättijärven ja Lentuan sedimenttitutkimus. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja A 179: 5-56.

Sandman, O., Kauppi, L. & Tossavainen, T. 1994b: Metsäojitusten ja -lannoitusten aiheuttamien ravinnehuuhtoumien pidättyminen järvikerrostumiin. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja A 179: 58-84.

Simola, H., Huttunen, P., Meriläinen, J. 1986: Techniques for sediment freezing and tratment of frozen sediment samples. Teoksessa: Simola, H. (toim.) Huhmari 85, Proceedings of the Finnish-Soviet symposium on methods in paleoecology and the nordic meeting of diatomologists. Joensuun yliopisto, Karjalan tutkimuslaitoksen julkaisuja 79:99-107

Tolonen, K., Ilmavirta, V., Hartikainen, H. & Suksi, J. 1990: Paleolimnological investigation of the eutrophication history of lake Tuusulanjärvi, Southern Finland . Aqua Fennica 20 (1):27-41

Tolonen, K., Ilmavirta, V., Uimonen-Simola, P., Hartikainen, H. & Suksi, J. 1994. Eutrophication history of a small pelotrophic lake, Rusutjärvi, Southern Finland. Aqua Fennica 24 (2):141-162.

Tolonen, M. 1978a. Palaeoecology of annually laminated sediments in Lake Ahvenainen, S. Finland I. Pollen and charcoal analyses and their relation to human impact. Ann. Bot. Fennici 15: 177-208.

Tolonen, M. 1978b. Palaeoecology of annually laminated sediments in Lake Ahvenainen, S. Finland. III. Human influence in lake development. Ann. Bot. Fennici 15: 223-240.

Tolonen, M 1978c. Paleoekologia työohjeet. Kasviekologian kenttäkurssi 1978. Helsingin yliopiston kasvitieteenlaitos 1978.

Turkia, J., Sandman, O., Huttunen, P. 1998. Palaeolimnological evidence of forestry practices disturbing small lakes in Finland. Boreal Env. Research 3: 45-61.

Tynni, R. 1975-80. Uber Finnlands rezente und subfossile Diatomeen VIII-XI. Geol. Surv. Finland 274: 1-55 (1975), 284: 1-37 (1976), 296: 1-55 (1978), 312: 1-93 (1980)

Virkanen, J., Korhola, A., Tikkanen, M. & Blom, T. 1997. Recent environmental changes in naturally acidic rocky lake in southern Finland, as reflected in its sediment geochemistry and biostratigraphy. J. Paleolimnol. 17: 191-213

Vuorela, I. 1975. Pollen Analysis as a means of tracing settlement history in SW-Finland. Acta Bot. Fennica 104: 4-48.

Vuorela, I. & Lempiäinen, T. 1997. Palynology and palaeobotany of a cultural layer in the centre of Helsinki. Ann. Bot. Fennici 34: 1-13.

Wetzel, R. G. 1983: Limnology. Saunders College Publishing, U.S.A. 767 s

Wolfe, A. P. & Härtling, J. W. 1996. The late quaternary development of three ancient tarns on southwestern Cumberland Peninsula, Baffin Island, Arctic Canada: paleolimnological evidence from diatoms and sediment chemistry. J. Paleolimnol. 15(1): 1-18.

Wright, R. F. 1976: The impact of forest fire on the nutrient influxes to small lakes in northeastern Minnesota. Ecology 57: 649-663