

Metsänrajat Petsamosta Jäämeren rannikolle: Leo Aarion tutkimukset Lapissa 1930- ja 1940-luvuilla

HEIKKI SEPPÄ

Geologian laitos, Helsingin yliopisto



Seppä, Heikki (2006). Metsänrajat Petsamosta Jäämeren rannikolle: Leo Aarion tutkimukset Lapissa 1930- ja 1940-luvuilla (Tree-lines from Petsamo to the Arctic Sea coast: the studies of Leo Aario in Lapland in the 1930s and 1940s). Terra 118: 1, 3–16.

Between the World War I and World War II Finland had a land connection to the Arctic Sea Coast through Petsamo (Pechenga), now part of Russia. This corridor crossed the conifer and birch tree-lines up to the narrow tundra zone of the coast. In the late 1930s and early 1940s professor Leo Aario conducted the first pollen-stratigraphical research into the post-glacial development of vegetation, tree-lines and climate of this sensitive ecotone area. This article reviews and evaluates the main aspects of his career, approaches, methods, and results. The most important and innovative aspects of his work were the relatively precise chronological control derived by connecting the pollen assemblage zones with the past shorelines of approximately known age, the use of modern pollen samples to validate the interpretation of fossil samples, and the use of pollen concentrations along with percentages. The resulting interpretation of post-glacial history of the tree-lines and climate is in general consistent with most of the modern contributions.

Heikki Seppä, Department of Geology, P.O. Box 64, FI-00014, University of Helsinki, Finland. E-mail: <heikki.seppa@helsinki.fi>

Suomen luonnon alueellisten piirteiden kartoittamisen ja tutkimisen kulta-aika sattui maailmansotien väliseen ajanjaksoon. Suomen itsenäistyttyä vuonna 1917 oli maassamme suurta tarvetta selvittää luonnontieteilijöiden alueelliset piirteet ja samalla nostaa Suomea tieteelliselle maailmankartalle. Tarton rauhansopimuksessa vuonna 1920 itsenäisen Suomen osaksi tuli myös Petsamo ja sen myötä avautui yhteys Jäämeren rannikolle. Luonnontieteellisen tutkimuksen kannalta oli tärkeää, että Petsamon Jäämeren rannikko kuuluu ilmastollisesti ja biogeografisesti arktiseen vyöhykkeeseen (Ahti ym. 1969; Tuhkanen 1984; Kremenetski & Patyk-Kara 1997). Vielä Metsä-Lapissa kesälämpötilat ovat riittävän korkeita havumetsille, mutta Jäämeren rannikolla kesä on niin kylmä, että vallitseva kasvillisuustyyppi on puuton tundra. Tätä ilmastollista muutosta seuraa kasvillisuuden muutos. Matka Metsä-Lapista Petsamon rannikolle kulkee erilaisten metsänrajojen poikki niin, että ensin jäävät taakse kuusimetsät, sitten mäntymetsät ja aivan rannikon läheisyydessä myös koivumetsät.

Petsamossa, kuten muuallakin metsänraja-alueilla, elollisen ja elottoman luonnon väliset suhteet ovat herkäät ja pienikin muutos ympäristöoloissa

voi aiheuttaa merkittävän muutoksen elollisessa luonnossa. Tästä syystä nykyisin on yhä selvemmin alettu ymmärtää metsänrajojen kaltaisten vaihteluvyöhykkeiden eli ekotonien merkitys ympäristön muutokseen painottuvassa luonnontieteellisessä tutkimuksessa. Myös Pohjois-Fennoskandian metsänrajalla tutkimus on jatkuvasti lisääntynyt, ja alue on ekotonitutkimuksen ydinalueita. Nykyisten tutkijoiden sukupolvi ei kuitenkaan ole ensimmäinen, joka on ymmärtänyt pohjoisen metsänrajan tieteellisen arvon, vaan tieteellisen tutkimuksen perinteet alueella ovat paljon vanhemmat.

Jo Utsjoen kirkkoherrana vuosina 1819–1830 toiminut Jaakko Fellman kiinnitti huomiota nykyisen männyn metsänrajan pohjoispuolelta löytyviin subfossiilisiin männynrunkoihin, joiden hän esitti osoittavan männyn kasvaneen aiemmin paljon nykyistä pohjoisempana (Eronen 1979). Ensimmäisenä metsänrajan jääkauden jälkeisen historian tieteellisen tutkimuksen Suomessa aloitti Väinö Auer, joka otti siitepölynäytteitä soista ja niiden pintaturpeista 1920-luvulla (Auer 1927). Hänen jälkeensä alueeseen kiinnitti huomiota tunnettu saksalainen tutkija Franz Firbas. Firbas oli paleoekologi, joka keräsi siitepölyn pintanäytteitä eri puolil-

ta Eurooppaa nähdäkseen, kuinka eri kasvillisuus-tyypit eroavat niiden tuottaman siitepölyn perusteella. Firbas (1934) käytti tutkimuksissaan siitepölyn pintanäytteitä myös Suomen Lapista ja Petsamosta, muttei kuitenkaan itse tehnyt kenttätöitä alueella (Aario 1940b).

Merkittävimpiä Suomen Lapin metsänrajan historian tutkijoista oli Leo Aario (1906–1998), josta myöhemmin tuli maantieteen professori Turun ja Helsingin yliopistoissa. Aario teki 1930-luvun lopulla ja 1940-luvun alussa Petsamossa metsänrajatutkimuksia, jotka menetelmällisesti ja tulkinallisesti olivat kymmeniä vuosia aikaansa edellä. Tämän artikkelin tarkoitus on esittää Leo Aarion tutkimuksen yleispiirteet. Selostan ensin Aarion taustan ja lähtökohdat ja sen jälkeen Aarion tutkimusten menetelmälliset pääpiirteet sekä keskeisimmät tulokset. Lopuksi arvioin Aarion tuloksia vertaamalla niitä nykyisiin käsityksiin metsänrajojen ja ilmaston jääkauden jälkeisestä kehityksestä pohjoisessa Fennoskandiassa.

Leo Aarion tausta: opinnot ja varhaisimmat tutkimukset

Leo Aario (vuoteen 1928 asti Leo Engman) syntyi Porissa vuonna 1906 ja kirjoitti ylioppilaaksi Viipurin suomalaisesta lyseosta vuonna 1925 (Aikio 1990). Hän oli jo kouluaikoina kiinnostunut luonnontieteistä ja harrasti muun muassa kasvien keräilyä. Niinpä ei ollut yllättävää, että hän hakeutui vuonna 1926 Helsingin yliopistoon opiskelemaan kasvitiedettä. Toisena opiskeluvuotenaan Aario kuitenkin vaihtoi pääaineekseen maantieteen, suurelta osin maantieteen laitoksella luennoineen Väinö Auerin ansiosta (Ruotsalo-Aario 1986). Auer (1895–1981) oli Aarion opiskeluaikojen tärkein opettaja ja merkittävin innoittaja. Auer, joka nimettiin maantieteen vaihtuvaan professorinvirkaan vuonna 1929, oli aloittanut tieteellisen uransa suotutkijana Metsätieteellisessä Koelaitoksessa (nykyinen Metsäntutkimuslaitos). Soiden kehityshistoriaa, varsinkin niiden morfologisten piirteiden kehitystä, tutkiessaan Auer otti ensimmäisenä Suomessa käyttöön siitepölyanalyysin, 1900-luvun alussa Ruotsissa kehitetyn menetelmän (Auer 1927).

Auer oli erinomainen opettaja ja luennoitsija, joka sai nuoret oppilaansa helposti innostumaan. Aarion uran kannalta ratkaisevaa oli ensimmäisen vuoden opiskelijana seurata Auerin luentoa Suomen soista. Auer vyörytti esiin Suomen soihin liittyviä kysymyksiä ja osoitti suuren tiedon ja tutkimuksen tarpeen (Aario 1981). Samalla Auer painotti tieteen merkitystä nuoren valtion kansallisen kuvan rakentamisessa, mikä vetosi Aarioon ja

muihin kansallismielisiin opiskelijoihin. Yhdessä kahden opiskelijatoverinsa, Esa Hyypän ja Ilmari Paasion, kanssa Aario ilmoittautui pikimmiten Auerin käyttöön halukkaana aloittamaan suotutkimukset. Auer antoi saman tien alustavat aiheet ja lähetti kolme nuorta ylioppilasta tekemään perigraduaan Parkanon Häädeteitaalle. Aarion tehtäväksi tuli tutkia suon pinnanmuotoja, Hyypän sen kehityshistoriaa ja Paasion sen kasvillisuutta. Havaittuaan Aarion lahjakkuuden Auer kehotti tätä laajentamaan tutkimusalueitaan Pohjois-Satakuntaan ja jatkamaan väitöskirjaan asti (Aikio 1990). Myös Hyypä ja Paasio väittelivät myöhemmin. Paasiosta tuli merkittävä soiden ekologian tutkija ja Hyypästä maaperägeologi. Samalla Häädeteitaasta tuli yksi Suomen tarkimmin tutkituista soista.

Aario väitteli vuonna 1932 26-vuotiaana aiheesta ”Pflanzentopografische und Paläogeografische untersuchungen in Nord-Satakunta”. Väitöskirjassaan hän keskittyi Pohjois-Satakunnan soiden kehityshistorian ja niiden morfologisten piirteiden tutkimiseen. Hän selvitti keidassoiden morfologiaa, syntyä ja kehitystä koskevia kysymyksiä ja loi samalla uutta soihin liittyvää sanastoa. Käytöksen hyväkseen siitepölydiagrammiensa samanaikaisia muutoskohtia, joista tärkein oli kuusen runsastuminen, Aario (1932) osoitti etteivät soiden eri turvekerrosten rajat olleet samanaikaisia eri soilla eivätkä aina edes yhdellä suolla. Siten näiden kerrosten rajoja ei voinut yhdistää alueellisiin ilmastomuutoksiin. Tämä tulos oli ristiriidassa monien arvovaltaisten vanhempien tutkimusten kanssa (esim. Osvald 1923). Koska ilmastomuutokset eivät riittäneet selittämään keidassoiden kehityshistoriassa havaittavia muutoksia, Aario (1932) päätyi painottamaan keidassoiden oman, luonnollisen kehityksen eli soiden vanhenemisen vaikutusta kerrosrakenteen selittäjänä. Tämä teoria on osoittautunut kestäväksi, ja Aarion väitöskirjaa siteerataan edelleen usein kansainvälisessä suotutkimuksessa (esim. Foster & Glaser 1986; Glaser 1992; Karofeld 1998).

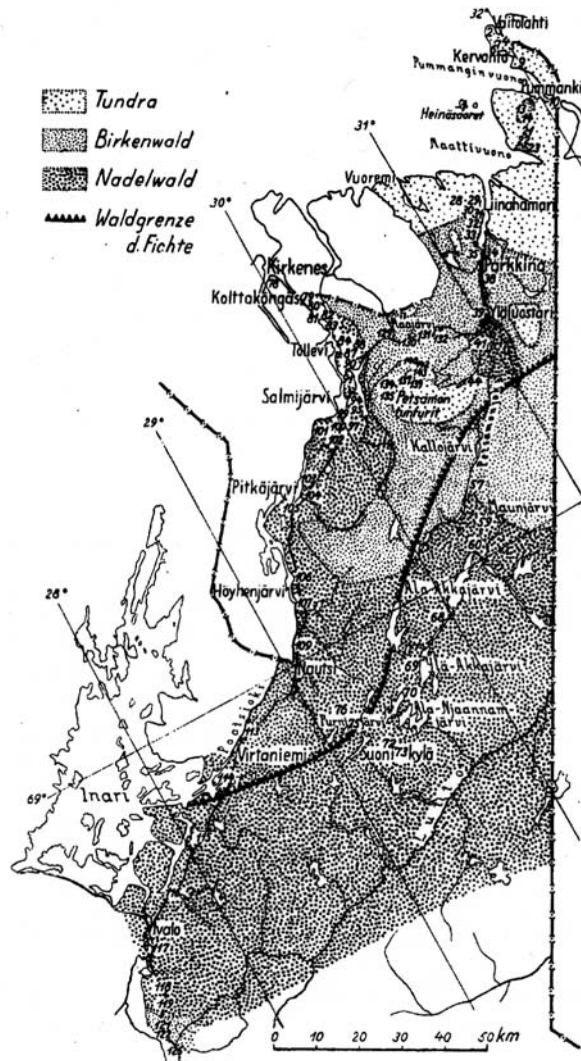
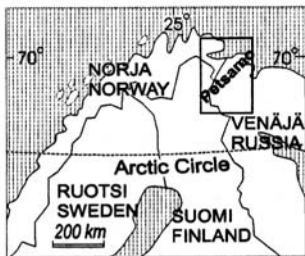
Väitöskirjan valmistumisen jälkeen Aario muutti Hämeenlinnaan luonnonhistorian ja maantieteen opettajaksi. Vuonna 1934 hän teki oppikoulun lehtorina kolmen kuukauden opintomatkan Ruotsiin (Aikio 1990). Vaikka matkan päätarkoitus liittyikin maantieteen kouluopetuksen kehittämiseen, oli Aariolla tällä matkalla myös mahdollisuus tavata tunnettuja ruotsalaisia siitepölytutkijoita, jotka auttoivat Aariota kehittämään siitepölyjen tunnistuksessa. Tällainen henkilökohtainen opastus oli tärkeää, sillä siitepölyjen tunnistus oli vielä 1930-luvulla alkuasteella, eikä kunnollisia kirjallisia oppaita juurikaan ollut.

Opettajan virastaan huolimatta Aario säilytti kiinnostuksensa tieteeseen. Hän tutki muun muassa Päijänteen jääkauden jälkeistä kehitystä ja Suomenlahden rannikkoalueen rannansiirtymistä. Hän sai maantieteen dosentuurin vuonna 1934. Muutettuaan takaisin Helsinkiin vuonna 1936 Aario suuntautui yhä enemmän tutkimukseen ja aloitti kesällä 1936 tieteellisen suururakan Petsamon metsänraja-alueella. Tutkimus jatkui seuraavina vuosina. Saatuaan dosenttistipendin vuonna 1938 Aario pystyi keskittymään kokonaan Petsamon tutkimuksiinsa eikä enää palannut opettajaksi (Aikio 1990).

Aario ei suinkaan ollut ainoa suomalainen tutkija, jonka tieteellinen mielenkiinto sotien välisenä aikana suuntautui Petsamoon. Petsamo oli liitetty Suomeen Tarton rauhansopimuksella vuonna 1920. Kiinnostus maamme uutta, pohjoista osaa kohtaan heräsi heti, ja Petsamosta tuli pian taloudellises-

sa mielessä ”Suomen Klondyke”, missä talouselämän nousu oli nopeampaa kuin muualla Suomessa (Lehtola 1997). Myös tieteellisessä mielessä Petsamoa ja koko Suomen Lappia voi pitää sotien välisen ajan ”Klondykenä”. Tutkimusta ohjaamaan perustettiin vuonna 1926 Petsamo-toimikunta, jonka rahoituksella alueen luontoa, väestöä ja asutusta alettiin aktiivisesti tutkia (Lehtola 1997).

Yksi tärkeimmistä syistä hakea näytteitä Petsamon tundralta liittyi Etelä-Suomen kasvillisuuden jääkauden jälkeisen historian tutkimuksiin, jotka alkoivat 1930-luvulla siitepölyanalyysin vähitellen yleistettyä (esim. Hyypä 1936). Fossiilisten siitepölynäytteiden tulkinna tekniikka teki epävarmaksi se, ettei ollut selvyyttä siitä, millä perusteella esimerkiksi tundran siitepölynäytteet eroavat metsäisten alueiden näytteistä. Petsamossa, missä kapeahko tundravöyhyke reunustaa Jäämeren rannikkoa (kuva 1), oli



Kuva 1. Leo Aarion tutkimusalue Petsamossa ja kairauspisteiden sijainti (Aario 1943a: 2). Birkenwald = koivumetsä, Nadelwald = havumetsä, Waldgrenze d. Fichte = kuusen metsänraja.

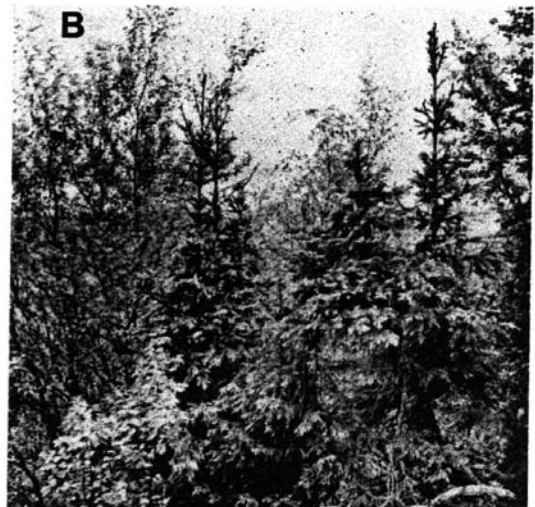
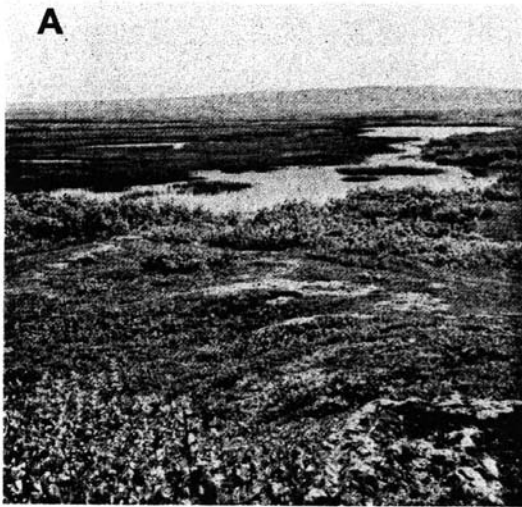
Figure 1. Leo Aario's study area in Petsamo and location of the coring sites (Aario 1943a: 2). Birkenwald = birch forest, Nadelwald = conifer forest, Waldgrenze d. Fichte = the tree-line of spruce.

mahdollisuus tutkia siitepölyn pintanäytteitä tundralta ja muilta kasvillisuusvyöhykkeiltä, ja sen jälkeen soveltaa pintanäytteitä fossiilisten näytteiden tulkinnassa. Aario myös ymmärsi täysin metsänrajan luonteen ja merkityksen ekotonina ja käsitti, että ilmastomuutosten vaikutukset voisivat olla siellä helpommin todettavissa kuin Etelä-Suomessa. Tärkeää oli, että Aarion valitsema näytelinja Ivalosta Petsamon halki Jäämerelle kulki kuusen, männyn ja koivun metsänrajojen läpi Jäämeren rannan puuttomalle tundralle. Näin Aario halusi selvittää, mitä siitepöly kertoi näiden kasvillisuusvyöhykkeiden jääkauden jälkeisistä muutoksista ja millaisia ilmastollisia tulkintoja kasvillisuusmuutoksista olisi tehtävissä.

Pintanäytteet ja niiden tulkinta

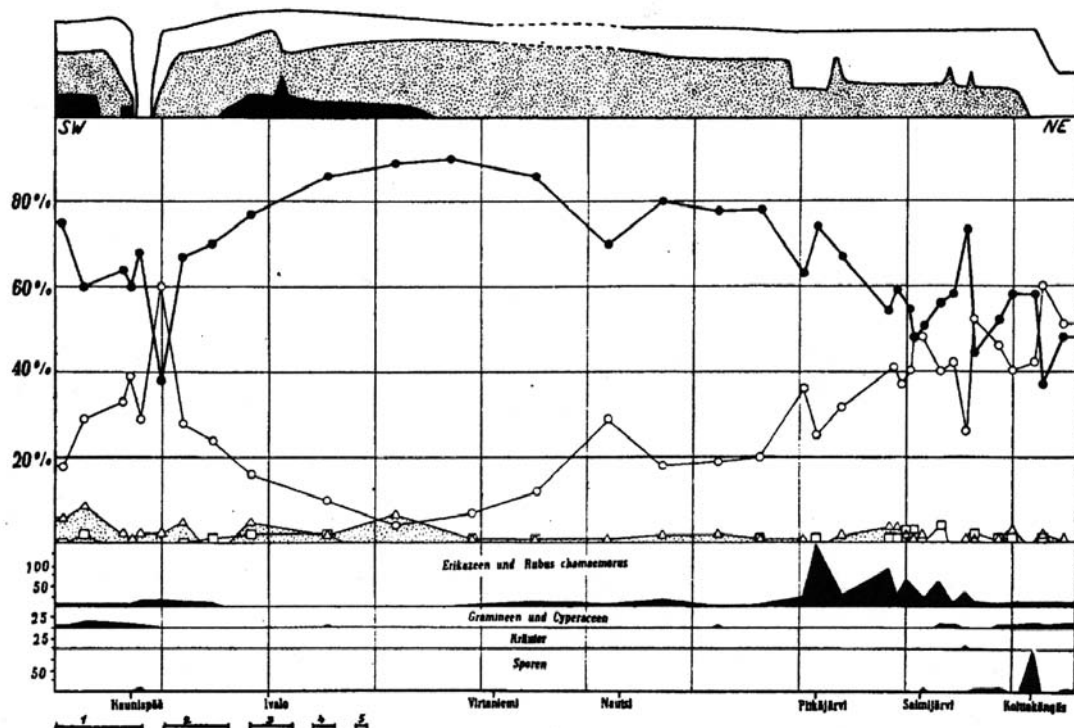
Aario aloitti kenttätönsä vuonna 1936 keräämällä apulaistensa kanssa pinta- ja sedimenttinäytteitä kahdelta linjalta Lapista. Toinen linja kulki Inarin Laanilasta Salmijärven kautta Kolttaköngäälle ja toinen Suonikylästä Akkajärven ja Liinahamarin kautta Isolle Heinäsaarelle Petsamon rannikolle (kuvat 1 ja 2). Vuoteen 1939 asti jatkuneiden kenttätöiden aikana Aario keräsi yhteensä noin 200 pintanäytettä, jotka hän otti soiden pintaturpeesta. Mikroskooppisesti analysoimalla hän selvitti näytteistä puiden ja ei-puumaisten kasvien (pensaat, ruohot ja sanikkaiset) suhteelliset siitepölyosuudet.

Pintanäytetutkimuksen tulokset Aario esitti kahdena diagrammina, joissa verrattiin nykyisiä kasvillisuusvyöhykkeitä ja niiltä kerättyjen pintanäytteiden siitepölykoostumusta. Toinen, Laanila-Költtäköngäs -tutkimuslinjaa kuvaava diagrammi on esitetty kuvassa 3. Tulokset osoittavat, kuinka tutkimuslinjan eteläosan mäntyvaltaisessa havumetsässä mänty on yleisin siitepölytyyppi ja koivu toiseksi yleisin. Tultaessa varsinaisten mäntymetsien pohjoispuolelle, missä mänty esiintyy harvana sekapuuna tunturikoivumetsässä, männyn siitepölyosuus pienenee, mutta se pysyy edelleen valtajina. Vasta viimeisten mäntujen pohjoispuolella, puhtaassa tunturikoivumetsässä, on koivun siitepölyosuus suurempi kuin männyn. Aarion (1940a, 1940b) mukaan korkeatkaan männyn siitepölyosuudet eivät siten välttämättä merkitse mäntymetsän läsnäoloa tutkimuspaikalla. Tämä kävi erityisen selvästi ilmi Aarion tundralta ottamista pintanäytteistä, joissa mäntyä oli yli 60 prosenttia puiden siitepölystä. Syytä on se, että mänty tuottaa runsaasti siitepölyä, joka leviää tehokkaasti tuulen mukana (Aario 1940a, 1940b). Aario löysi tundran pintanäytteistä jopa jalojen lehtipuiden, lähinnä lehmuksen siitepölyä. Tämä todisti, kuinka hyönteispölytteisten kasvien siitepölyä saattaa kulkeutua Jäämeren rannalle jopa 1000 kilometrin päästä. Tundralla, missä paikallinen kasvillisuus ja siitepölyn tuotanto on vähäistä, ne pääsevät esille, mutta metsäisillä alueilla niiden osuudet peittyvät paikallisen siitepölyn tuotannon runsauden vuoksi.



Kuva 2. Tutkimusalueen kasvillisuutta. (A) Puutonta Jäämeren rannikkoa Kervannossa Pummanginvuonon itäpuolella ja (B) pohjoisin kuusimetsikkö Liinahamarissa (Aario 1940a: taulu 2). Leo Aarion alkuperäiset valokuvat on julkaistu Suomalaisen Tiedeakatemian luvalla.

Figure 2. Vegetation features of the study area. (A) Treeless Arctic Sea coast in Kervanto, east of the Pummanki fjord and (B) the northernmost spruce stand in Liinahamari (Aario 1940a: table 2). The original photographs by Leo Aario are reproduced by permission of the Finnish Academy of Science and Letters.



Kuva 3. Pintanäytteiden siitepölykoostumuksen prosentuaaliset muutokset edettäessä havumetsästä rannikon tundralle. Käyrän yhdistämät mustat pisteet kuvastavat männyn osuuksia ja valkoiset pisteet koivun osuuksia. Erikazeen und Rubus chamaemorus = kanervakasvit ja lakka, Gramineen und Cyperaceen = heinät ja sarakasvit, Kräuter = ruohot, Sporen = sanikkaiset. Diagrammin yläosa kuvaa valtapuulajien suhteellisia osuuksia: musta = kuusi, harmaa = mänty, valkoinen = koivu (Aario 1940a: 65). Leo Aarion alkuperäinen diagrammi on julkaistu Suomalaisen Tiedeakatemian luvalla.

Figure 3. The pollen percentage changes of the surface samples on a transect from the conifer forest up to the coastal tundra. The black dots joined by the curve depict the pine values and the white dots birch values. Erikazeen und Rubus chamaemorus = ericoids and cloudberry, Gramineen und Cyperaceen = grasses and sedges, Kräuter = herbs, Sporen = peridiphytes. The silhouettes on the top of the diagram indicate the relative proportions of the dominant tree species: black = spruce, grey = pine, white = birch (Aario 1940a: 65). The original diagram by Leo Aario is reproduced by permission of the Finnish Academy of Science and Letters.

Jotta tundrakasvillisuusvaihe kyettäisiin erottamaan siitepölykoostumuksen perusteella, ei pelkkä puiden siitepölysuhteiden tarkastelu siis riitä, vaan huomiota pitää kiinnittää ei-puumaisten kasvien siitepölyosuuksiin. Kuvasta 3 nähdään, kuinka kanervakasvien, lakan, heinien, saramaisien kasvien ja ruohojen osuudet nousevat tundralle. Aario (1940a, 1040b) käsitteli myös monien harvinaisempien ei-puumaisten siitepölytyyppien esiintymistä tutkimusalueellaan. Pintanäytekoelman tulkinnan perusteella siitepölynäytteiden käyttö tundran ja metsän erottamisessa oli tiivistettävissä seuraavasti:

heinien, sarojen ja ruohojen siitepöly on selvästi keskittynyt tundralle. Kumminkin on tundralla tavattu näytteitä, joissa on ei-puumaisten kasvien siitepölyä jopa niukemmin kuin keskimäärin metsänäytteissä,

mikä johtuu siitä, että paikalla on kasvanut niukasti siitepölyä tuottavia kasveja. Jos ei olisi tietoa, mistä näytteet ovat peräisin, voitaisiin ne helposti lukea metsänäytteisiin. Vaikkakin siis tundran ja metsän siitepölystä voidaan ei-puumaisten kasvien siitepölyn avulla erottaa toisistaan, on näytteissä esiintyvän vaihtelun vuoksi syytä pidättäytyä johtopäätösten teosta yksitisten näytteiden nojalla

(Aario 1940b: 70).

Pääpaino Aarion pintanäytekoelmassa oli siitepölyjen prosenttisuhteiden selvittämisessä. Luonnollista kuitenkin on, että myös siitepölyn absoluuttisessa määrässä esiintyy vaihtelua eri kasvilisuusvyöhykkeiden välillä niin, että tundralla sedimentissä siitepölyä on paljon vähemmän kuin metsäisillä alueilla. Yhtenä ensimmäisistä tutkijoista koko maailmassa Aario käytti myös pintanäytteiden absoluuttisia siitepölymääriä (konsentraatioita)

eri kasvillisuusvyöhykkeiden määrittämiseen. Tämän hän teki kuivattamalla 50 milligrammaa turvetta pintanäytteistä, jotka edustivat eri kasvillisuusvyöhykkeitä, ja laskemalla tästä turvemäärästä kaiken siitepölyn. Aarion tulokset vahvistivat sen, että siitepölyn absoluuttiset määrät ovat yleisesti ottaen pienempiä tundralla kuin metsävyöhykkeillä. Absoluuttinen analyysi osoittautui näin käyttökelpoiseksi tundran tunnistamismenetelmäksi. Yleensä tundralla puiden siitepölyn määrä 50 milligrammassa ilmakeivattua turvetta oli Aarion näytteissä alle 1000, metsävyöhykkeillä useita tuhansia (Aario 1943a).

Aariolta ei jäänyt huomaamatta eräs konsentraatioiden käyttöä monimutkaistava tosiasia: konsentraatio ei riipu pelkästään laskeutuvan siitepölyn määrästä vaan myös sedimentin kerrostumisnopeudesta. Siitepölyä on enemmän sellaisessa turvenäytteessä, joka on kerrostunut esimerkiksi 100 vuoden aikana kuin sellaisessa, joka on kerrostunut 40 vuodessa. Hitaasti kerrostuneilla soilla konsentraatiot saattavat siten olla korkeita jopa tundralla (Aario 1943a: 6–7), eivätkä absoluuttiset tulokset ole aina suoraan verrannollisia siitepölysaateen määrään ja paikallisen kasvillisuuden tiheyteen.

Aarion pintanäytteiden perusteella vaikutti siis siltä, että suhteellisen kapeakin tundravyöhyke voidaan yleensä erottaa siitepölystön perusteella metsävyöhykkeistä. Tämä johtopäätös ja sen soveltaminen Etelä-Suomen siitepölydiagrammeihin johti 1940-luvun alussa Aarion *Terran* sivuilla käytyyn kiivassanaiseen väittelyyn Esa Hyypän kanssa Suomen myöhäisjääkauteisesta ilmastosta (Aario 1943b, 1943c; Hyypä 1943). Hyypän (1943) mukaan peräytyvän mannerjäätikön reunan edessä oli vain kapea tundravyöhyke, jota pian seurasi metsä. Hyypä myös edusti näkemystä, jonka mukaan ilmasto oli ollut lämmin jo myöhäisjääkaudella jäätikön sulaessa. Aario ei hyväksynyt näitä tulkintoja, vaan oli sitä mieltä, että vallitseva kasvillisuus-tyyppi myöhäisjääkaudella oli ollut tundra ja että vielä varhaisen postglasiaalin aikana metsät olivat olleet harvoja ja ilmasto viileä. Jälkikäteen arvioituna on vaikea sanoa kummankaan olleen selvästi väärässä tai oikeassa. Tämä oli myöhemmin myös Aarion oma arvio väittelystä (Aikio 1990).

Kasvillisuuden ja metsänrajojen jääkauden jälkeiset muutokset

Pintanäytekokelman keräämisen, analysoimisen ja tulkinnan jälkeen oli luonnollista jatkaa tutkimusta Petsamon kasvillisuuden ja metsänrajojen jääkauden jälkeisen historian selvittämiseen. Tätä tarkoi-

tusta varten Aario keräsi 143 suolta näytesarjoja ja analysoi siitepölykoostumuksen turvekerroksen pinnalta pohjaan asti yleensä 10 senttimetrin välein. Jotta kasvillisuuden kehityksen tutkimus olisi onnistunut, tarvitsi Aario menetelmän, jonka avulla hän sai näytteensä ajoitetuksi riittävän tarkasti. Nykyisin orgaaniset sedimentinäytteet ajoitetaan rutiinomaisesti radiohiilimenetelmällä, mutta Aariolla ei ollut käytössä tätä vasta 1950-luvulla yleiseen käyttöön tullutta menetelmää. Aario perusti ajoitusmenetelmänsä alueen muinaisrantoihin, jotka Väinö Tanner (1930) oli tarkoin tutkinut. Tanner löysi Petsamon rannikolta maankohoamisen myötä kohonneita muinaisrantoja, jotka hän rinnasti Itämeren muinaisrantoihin ja vastaaviin Itämeren vaiheisiin. Näiden rantojen ja vaiheiden ikä taas oli melko tarkasti tunnettu, sillä ne oli kyetty yhdistämään Ruotsin savilustokronologiaan (Tanner 1930). Petsamossa eri merivaiheet olivat seuraavat:

- I Myöhäisglasiaaliaika, Rha ja Ancylys, noin vuoteen 5000 eKr.
- II Vanhempi Litorina noin vuoteen 2900–2800 eKr. ("atlantinen aika")
- III alkuosa: Nuorempi Litorina noin vuoteen 1200 eKr. (pääosa "subboreaalikautta"; kivikauden loppuosa); loppuosa: Vanhempi Limnea noin ajanlaskumme alkuun ("subboreaalisen" ajan loppu ja "subatlantisen" ajan alku; pronssikausi ja varhaisempi rautakausi)
- IV Nuorempi Limnea Kristuksen syntymästä nykyaikaan.

Nämä rantavaiheet Aario "konnektoi" siitepölydiagrammeista määrittämiinsä neljään vyöhykkeeseen, jotka olivat:

- I vyöhyke, jota luonnehti koivun runsaus
- II vyöhyke, jota luonnehti männyn runsaus
- III vyöhyke, jota luonnehti männyn vähittäinen lasku
- IV vyöhyke, jota luonnehti kuusen ilmestyminen

Rinnastaminen rantavaiheiden ja siitepölyvyöhykkeiden välillä tapahtui seuraavasti: Aario etsi maankohoamisrannikolta meren pintaan nähden mahdollisimman korkealla sijaitsevan suon, jossa siitepölyvyöhykkeiden rajakohta esiintyi vielä merisedimentissä ja mahdollisimman matalalla sijaitsevan suon, jossa vastaava vyöhykkeiden rajakohta esiintyi järvisedimentissä. Näin hän pystyi määrittämään, millä tasolla merenpinta oli ollut siitepölyvyöhykkeiden rajakohtien aikana. Kun merivaiheiden ikä oli edellä esitetyllä tavalla tiedossa, saatiin rantapinnan ikä näin siirrettyä vastaamaan siitepölyvyöhykkeiden rajoja (Aario 1943a). Näin

Aario pystyi luomaan tutkimuksilleen kronologian, joka edelleen tuntuu hämmästyttävän oikealta.

Aarion (1943a) mukaan varhaisin jääkauden jälkeinen kasvillisuustyyppi oli tundra. Koivumetsät olivat kuitenkin alkaneet nopeasti levitä alueelle etelästä (kuva 4). Jo Rha-kaudella ne olivat levinneet laajalti Petsamoon ja Ancylyl-kaudella ne levisivät yhä kauemmas pohjoiseen niin, että Ancylyl-kauden lopulla koivumetsien pohjoisraja oli yhtä kaukana pohjoisessa ja yhtä ylhäällä tuntureilla kuin nykyisin. Koivumetsien kenttäkerroksessa vallitsivat heinät ja ennen muuta saniaiset ja lieot. Myös ensimmäiset männyn levisivät Petsamoon ja muodostivat yksittäisiä metsiköitä koivumetsän keskelle suojaisiin jokilaaksoihin (kuva 5). Soistuminen oli runsasta.

Vanhemman Litorina-kauden alussa mänty runsastui nopeasti (kuva 4) ja mäntymetsät valtasivat

nykyisen mänty- ja sekametsävyöhykkeen. Koivumetsä kutistui kapeaksi vyöhykkeeksi mäntymetsän ja tundran väliin (kuva 6), ja tundraa oli vain muutamina pienehköinä kuvioina rannikoilla ja tuntureilla. Pohjoisessa männyn levinneisyysalue jatkui Paatsjoen laaksoa pitkin Jäämeren rannalle Liinahamariin ja Kalastajasaarentoon asti. Männyn pohjoisraja oli siten lähellä nykyistä koivun pohjoisrajaa. Soistumista ei juurikaan tapahtunut.

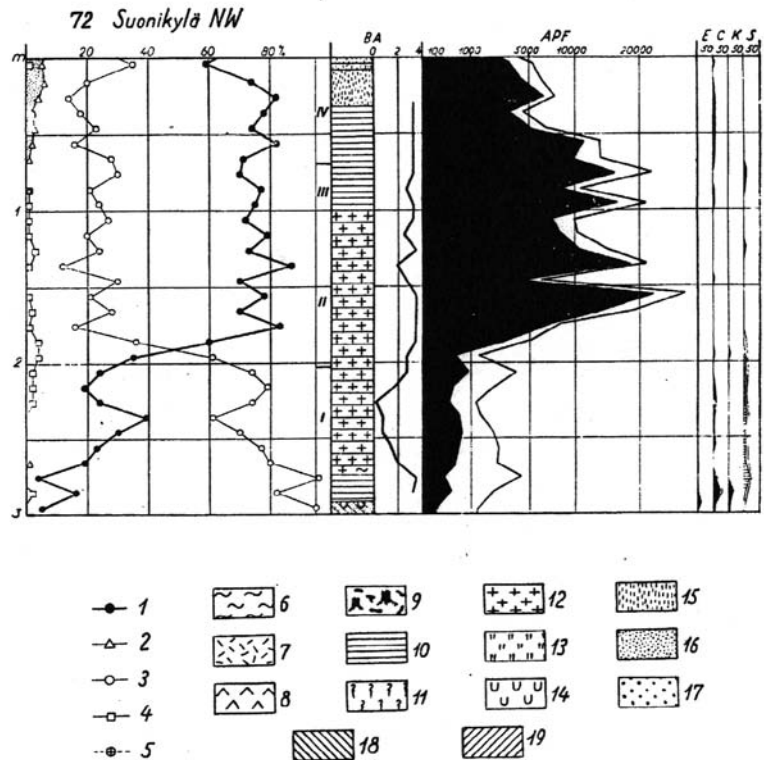
Nuoremman Litorina-kauden alussa alkoivat koivun ja männyn metsänrajat vetäytyä. Sen sijaan leppä runsastui, mikä Aarion (1943a) mukaan oli yhteydessä soistumisen yleistymiseen kuivan Litorina-kauden jälkeen. Tundra alkoi laajeta, mikä kehitys jatkui vanhemman Limnean aikana, jolloin tundra saavutti koko jääkauden jälkeisen ajan suurimman laajuuden. Kuusen siitepölyosuudet olivat nousussa, mikä kuvasti sitä, että

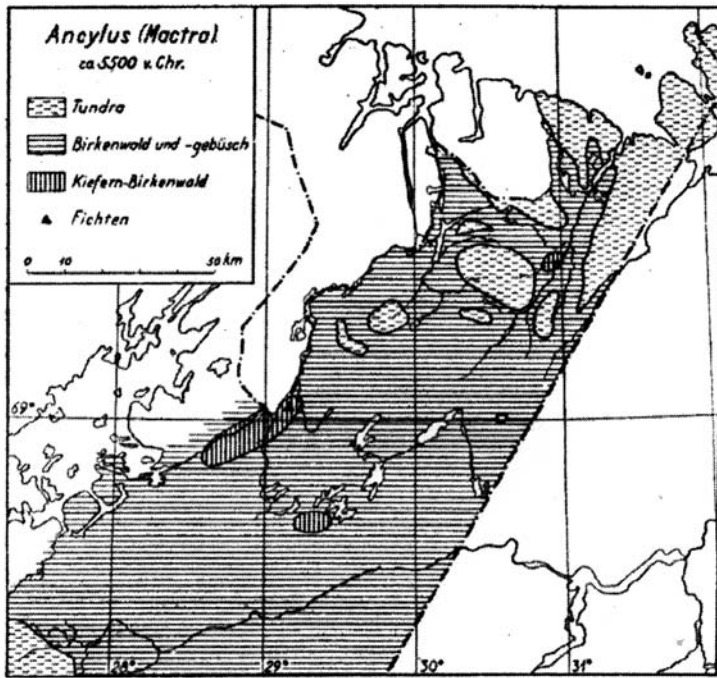
Kuva 4. Leo Aarion Suonikylän läheiseltä suolta laatima siitepölydiagrammi, josta käyvät ilmi Petsamon kasvillisuuden jääkauden jälkeisen kehityksen pääpiirteet. Selitteet: 1 = mänty, 2 = kuusi, 3 = koivu, 4 = leppä, 5 = paju, 6 = rahkaturve, 10 = sara-turve, 12 = ruskosammalturve, 15 = piilevämaa, 17 = hiekka, 18 = savi. BA = 0–4 turpeen maatunisuus: 0 = heikosti maatonutta, 4 = hyvin maatonutta. APF = absoluuttinen siitepölymäärä/5 g turvetta (musta rasteri männyn siitepölyn konsentraatio, musta viiva = siitepölyn kokonaiskonsentraatio); E, C, K, S = ei-puumaisten kasvien siitepölymäärä 100 puupölyä kohti, E = kanervakasvit ja lakka, C = sarakasvit ja heinät, K = ruohot, S = liekojen ja saniaisten itiöt.

Roomalaiset numerot I–IV merkitsevät neljää Aarion erottamaa alueellista siitepölykoostumusvyöhykettä. Männyn metsänrajan vetäytyminen parin viimeisen vuosituhannen aikana ei näy männyn prosentiosuuksissa, mutta käy selvästi ilmi sen absoluuttisen siitepölymäärän laskussa (Aario 1943a: 60).

Fig. 4. A pollen diagram by Leo Aario from the vicinity of Suonikylä, showing the general features of the post-glacial vegetation history of Petsamo. Legend: 1 = pine, 2 = spruce, 3 = birch, 4 = alder, 5 = willow, 6 = Sphagnum peat, 10 = Carex peat, 12 = moss peat, 15 = diatomite, 17 = sand, 18 = clay. BA = 0–4 decomposition degree of peat: 0 = weakly decomposed, 4 = well decomposed. APF = absolute number of pollen/5 g peat (black shading = pollen concentration of pine, black line = total pollen concentration); E, C, K, S: non-arboreal pollen/100 arboreal pollen, E = Ericaceae and Rubus chamaemorus, C = sedges and grasses, K = herbs, S = spores of lycophytes and ferns.

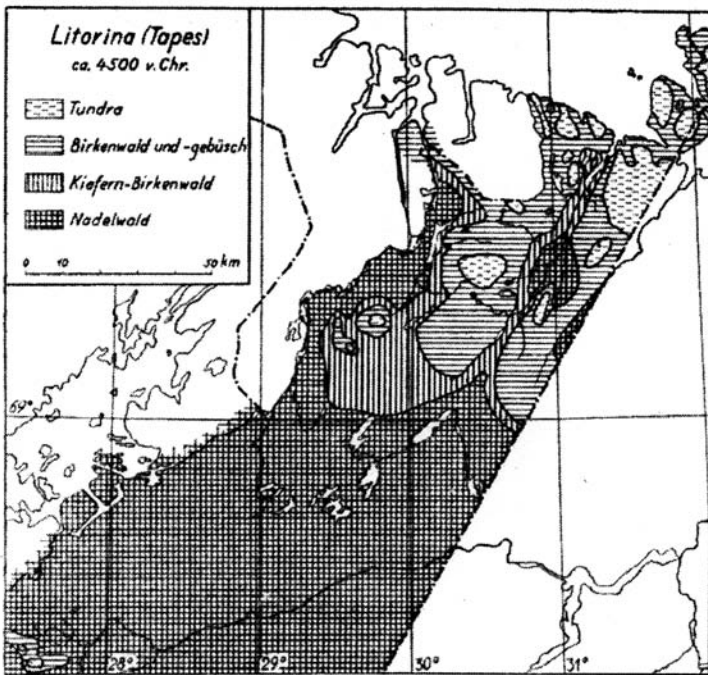
The Roman numbers I–IV indicate the four regional pollen assemblage zones identified by Aario. The retreat of pine tree-line during the last two millennia is not apparent in the proportions of pine but appears as a clear decrease in its concentration values (Aario 1943a: 60).





Kuva 5. Aarion siitepölydiagrammien perusteella laatima karttaesitys Petsamon metsänrajan ja kasvillisuusvyöhykkeiden sijainnista Ancylos-kauden aikana (noin 7500 vuotta sitten). Koivumetsä oli vallitseva kasvillisuus tyyppi; mäntymetsää esiintyi vain satunnaisesti. Birkenwald und -gebüsch = koivumetsää ja -pensaikkoa, Kiefern-Birkenwald = mänty- ja koivumetsä, Fichten = yksittäisiä kuusia (Aario 1943a: 83).

Figure 5. A map by Aario depicting the location of the tree-lines and vegetation zones during the Ancylos period (approximately 7500 years ago), based on his pollen diagrams. Birch forest was the dominant vegetation type; there were only sporadic pine forests. Birkenwald und -gebüsch = birch forest and scrub, Kiefern-Birkenwald = pine and birch forest, Fichten = scattered spruces (Aario 1943a: 83).



Kuva 6. Metsänrajojen sijainti Litorina-kaudella. Mänty oli runsastunut ja tundraa oli vain kapeana kaistaleena Jäämeren rannikolla. Koivumetsä oli supistunut kapeaksi vyöhykkeeksi männyn metsänrajan ja tundran välissä. Birkenwald und -gebüsch = koivumetsää ja -pensaikkoa, Kiefern-Birkenwald = mänty- ja koivumetsää, Nadelwald = havumetsä (Aario 1943a: 86).

Figure 6. The location of tree-lines during the Litorina period. Pine had become more common and tundra was restricted into a narrow zone on the shore of the Arctic Sea. A narrow strip of birch forest was located between the pine forest and the tundra. Birkenwald und -gebüsch = birch forest and scrub, Kiefern-Birkenwald = pine and birch forest, Nadelwald = coniferous forest (Aario 1943a: 86).

laji saattoi esiintyä alueella harvakseen, muttei vielä yhtenäisenä metsänä (Aario 1943a). Nuoremman Limnean aikana suurin muutos oli kuusen leviäminen ja sen metsänrajan vakiintuminen

lähelle männyn metsänrajan. Koivumetsä levisi hieman pohjoiseen tundran vastaavasti supistuesssa. Soistumista tapahtui vähemmän kuin edellisten kausien aikana.

Ilmaston kehitys

Selvitettyään näin kasvillisuuden kehityksen yleispiirteet Aario jatkoi aineistonsa ilmastohistorialliseen tulkintaan (taulukko 1). Varhainen jääkauden jälkeinen aika Ancyclus-kauden alkupuolelle oli kasvillisuuden perusteella viileän mereistä aikaa, mikä saattoi johtua pohjoisten ilmavirtausten vaikutuksesta (Aario 1943a). Kosteaviileä ilmasto oli syynä runsaaseen soistumiseen. Ancyclus-kauden lopulla (noin 5000 eKr.) ilmasto lämpeni, mikä ilmeni muun muassa männyn vähittäisenä runsastumisena. Vanhemmalla Litorina-kaudella (noin vuoteen 2900 eKr.) ilmaston lämpeneminen jatkui, ja tämä kausi vastaa niin sanottua jääkauden jälkeistä lämpöoptimia. Aarion mukaan lämpenemisen syynä oli ilmavirtausten muuttuminen niin, että vallitsevat tuulet tulivat Petsamoon lounaasta laajojen maa-alueiden yli ja esiintyivät siten Petsamossa lämpiminä ja kuivina. Kuivuus ilmeni soistumisen lakkaamisena. Nuoremman Litorinan (2900–1200 eKr.) alussa sateisuus lisääntyi ja ilmasto alkoi viiletä. Tämä kehitys jatkui vanhemman Limnean aikana, joka Aarion (1943a) mukaan oli koko jääkauden jälkeisen ajan viileintä kautta. Nuoremman Limnean eli viimeisen 2000 vuoden aikana ilmasto oli ”Petsamossa hiukan parantunut”, mikä

saattoi olla lievän ilmaston kontinentalisoitumisen (mantereistumisen) ansiota (Aario 1943a: 158).

Viimeisten vuosisatojen ilmastovaihteluita Aario tulkitseksi paitsi siitepölyaineistonsa myös muiden luonnossa havaittavien merkkien kuten puiden kasvutavan ja soilla havaittavien jäätymisilmiöiden ja soiden kosteusolojen muutosten perusteella (Aario 1941a). Kaikki merkit viittasivat siihen, että ilmasto oli jo pidemmän aikaa kylmennyt ja tundra laajentunut. Aario otti käyttöön Väinö Auerin Patagonian aavikoiden leviämistä kuvaavasta sanasta ”aavikkopaholainen” muokatun termin ”napapaholainen”, joka kuvasi tundran ja yleensä pohjoisen kasvillisuustyypin leviämistä etelään päin. Aarion (1941a: 57) mukaan

aavikkopaholainen on meille verrattain etäinen, mutta sen sijaan napapaholaisen kouraisut tuntuvat selvästi metsänrajoillamme ja jossain määrin muuallakin maassa.

Ilmaston kylmeneminen ei kuitenkaan Aarion mukaan ollut jatkuvaa, vaan metsänrajalla oli havaittavissa merkkejä siitä, että ilmasto oli viime aikoina muuttunut jälleen vähän lämpimämmäksi ja kuivemmaksi eli Aarion (1941a) sanoin ”paremmaksi”. Hän havaitsi, että nykyinen lämpenevä suuntaus oli kuitenkin vain muutaman kymmenen vuo-

Taulukko 1. Yhteenveto Petsamon kasvillisuuden, soistumisen ja ilmaston jääkauden jälkeisestä kehityksestä Leo Aarion tulosten perusteella.

Table 1. A summary of the development of vegetation, mire initiation, and climate during the postglacial period in Petsamo based on the results of Leo Aario.

Kausi	Kronologia	Soistuminen	Ilmasto	Kasvillisuus
Nuorempi Limnea	0–nyky aika	vähäistä	lievää lämpenemistä	kuusen saapuminen, koivu ja mänty etenevät vähän
Vanhempi Limnea	1200–0 eKr.	runsasta soistumista	kosteaa viileää	koivun metsänraja vetäytyy edelleen, tundra laajimmillaan
Nuorempi Litorina	2900–1200 eKr.	soistumista	kosteampaa	männyn ja koivun metsänrajat vetäytyvät
Vanhempi Litorina	5000–2900 eKr.	ei soistumista	lämmintä, kuivaa	mäntymetsät laajimmillaan
Rha ja Ancyclus	deglasiaatio–5000 eKr.	runsasta soistumista	oseaaninen, kosteaa ja viileää mutta lämpenevää	koivumetsää, heiniä ja sanikkaisia

Period	Chronology	Mire initiation	Climate	Vegetation
Younger Limnea	0–present	some	some warming	spruce immigration, some advance of birch and pine
Older Limnea	1200–0 BC	active	moist and cool	birch tree-line still retreating, maximum extent of tundra
Younger Litorina	2900–1200 BC	some	moister	pine and birch retreating
Older Litorina	5000–2900 BC	no mire initiation	warm, dry	maximum extent of pine forest
Rha and Ancyclus	deglaciation–5000 BC	active	oceanic, moist and cool but warming	birch forest with grasses, lycopods and ferns

den ikäinen. Tämä lämpeneminen kävi ilmi metsänrajan kasvillisuudessa. Pummangissa Aario havaitsi kuolleiden tunturikoivujen runkoja, jotka olivat kuolleet puoli vuosisataa ennen Aarion kenttätöitä. Samalla alueella olivat elävät koivut kuitenkin taas kasvamassa (Aario 1941a).

Aarion kronologia sekä tulkinta kasvillisuuden ja ilmaston kehityksestä on esitetty tiivistettynä taulukossa 1.

Aarion tulokset nykytiedon valossa

Menetelmät

Aarion Petsamon tutkimusten lähtökohta on fossiilisten siitepölynäytteiden tulkinta modernien näytteiden perusteella. Vaikka hän ei ollutkaan ensimmäinen, joka Lapissa menetelmää hyödynsi, on modernien ja fossiilisten näytteiden vertailu yksi niistä tekijöistä, joiden ansiosta Aarion metsänrajatutkimukset ovat saavuttaneet kestävänsä aseman. Toinen tärkeä menetelmällinen lähtökohta Aarion tutkimuksissa oli siitepölyvyöhykkeiden ajoittaminen. Nykyajan radiohiiliajoituksiin tottunut tutkija ei voi olla hämmästelemättä Aarion tutkimusten ajallista tarkkuutta, joka siis perustui Tannerin (1930) rannansiirtymistutkimusten soveltamiseen siitepölyvyöhykkeisiin. Aarion käsitykset eri kasvillisuusvaiheiden ja niitä aiheuttaneiden ilmastomuutosten ajankohdista eivät paljon poikkea nykyisestä. Yleisesti ottaen ne ovat kuitenkin hieman nuoria, mikä epäilemättä johtuu silloin vallinneesta virheellisen nuoresta käsityksestä Litorina-transgression iästä. Tanner nimittäin yhdisti Rharantansa Litorina-transgressiota vastaavaan Itämeren rantaan, jonka iäksi 1930-luvulla arvioitiin noin 4500 eKr. (Tanner 1930). Tämä on näin 1000 vuotta nuorempi kuin nykyinen radiohiiliajoituksiin perustuva ikä, minkä Aariokin myöhemmin myönsi (Aikio 1990).

Joiltain osin Aarion tutkimukset kärsivät siitä, että ne olivat lähtökohdiltaan sidottuja oman aikansa vallitseviin tutkimuskäytäntöihin. Aario noudatti hänen aikanaan vallinnutta tapaa laskea puiden siitepölyosuudet puiden siitepölyn yhteissummasta. Tämä johti luonnollisesti siihen, että myös puuttomilla alueilla puiden siitepölyosuudet pysyivät korkeina. Nykyisin puiden siitepölyosuudet lasketaan yleensä kaikkien maakasvien siitepölyn yhteissummasta. Tehdäkseen Aarion tulokset vertailukelpoisiksi uusien diagrammien kanssa Birks (1973) laski uudelleen puiden ja muiden tärkeimpien lajien prosenttiosuudet Aarion alkuperäisestä aineistosta. Näin laaditussa diagrammissa männyn prosenttiosuudet ovat

60 prosentin luokkaa mäntyvaltaisessa metsässä, laskevat koivumetsässä 30 prosentin paikkeille ja pysyvät likimain samansuuruisina tundralla (Birks 1973). Tundra on siitepölynäytteissä erotettavissa erityisesti ruohojen ja sanikkaisten korkeiden osuuksien perusteella.

Suokerostumien heikkous järvisedimentteihin verrattuna on, että niissä on mukana soiden oman kasvillisuuden tuottamaa siitepölyä, joka saattaa häiritä selkeän kuvan saamista mineraalimaan metsän ja tundran kasvillisuuden historiasta. Lisäksi soiden turpeen kerrostumisnopeus on yleensä vaihtelevampi kuin järvien pohjaliejun. Turpeen kerrostuminen voi välillä olla nopeaa, välillä pysähtyä lähes kokonaan. Vaihteleva kerrostumisnopeus on ongelma silloin, kun tutkitaan sedimentin siitepölykonsentraatioita, kuten Aariokin teki. Aarion eduksi on kuitenkin sanottava, että hän ymmärsi tämän ongelman ja otti sen tulkinnoissaan huomioon.

Aarion siitepölytaksonominen tarkkuus ei vastaa nykyistä tasoa, vaikka hän tunnistikin selvästi enemmän siitepölytyyppejä kuin diagrammeissaan esitti (Aario 1940a). Tämä tietysti on ymmärrettävää, kun otetaan huomioon 1930-luvun analyysitekniinen taso ja silloin vielä pahasti vajavaisten tieto eri siitepölytyypeistä. Jälkikäteen tuntuu, että jotkin Aarion siitepölytyypeistä ovat virhemäärityksiä – tämä voi selittää esimerkiksi ruohokanukan (*Cornus suecica*) epäilyttävän runsaan esiintymisen Aarion näytteissä. Lisäksi on mielenkiintoista lukea Aarion pohdiskelua joistakin päänvaivaa aiheuttaneista siitepölytyypeistä. Aario (1940a: 72) esimerkiksi keskustelee eräästä Baltian Jääjärven myöhäisglasiaalisesta savesta tavattavasta, vielä tunnistamatta olevasta siitepölystä, mutta epäilee sen olevan linnunsilmän (*Chrysosplenium*) siitepölyn. Jälkikäteen voitane sanoa, että epäily oli väärä, sillä linnunsilmää ei juurikaan esiinny Lapin siitepölynäytteissä eikä muualakaan Suomessa.

Metsänrajan historia nykytiedon valossa

Aarion tulkinnat kasvillisuuden ja metsänrajojen jääkauden jälkeisestä kehityksestä ovat yleispiirteiltään samat kuin niiden nykyisinkin ymmärrettään olevan. Varhaisen postglasiaalin koivumetsävaiheesta tarkemmat siitepölydiagrammit ovat tuoneet jonkin verran uutta tietoa. Monet paleoekologiset tutkimukset Kuolan niemimaalla (Snyder ym. 2000) sekä Suomen ja Norjan Lapissa (Hyvärinen 1975; H.C. Prentice 1981; Seppä 1996) ovat osoittaneet, että Aarion esittämä varhaisen postglasiaalin koivuvaihe on kaikkialla Lapissa tavattava kasvillisuusvaihe, jonka aikana kenttäkerrosta luonnehtivat

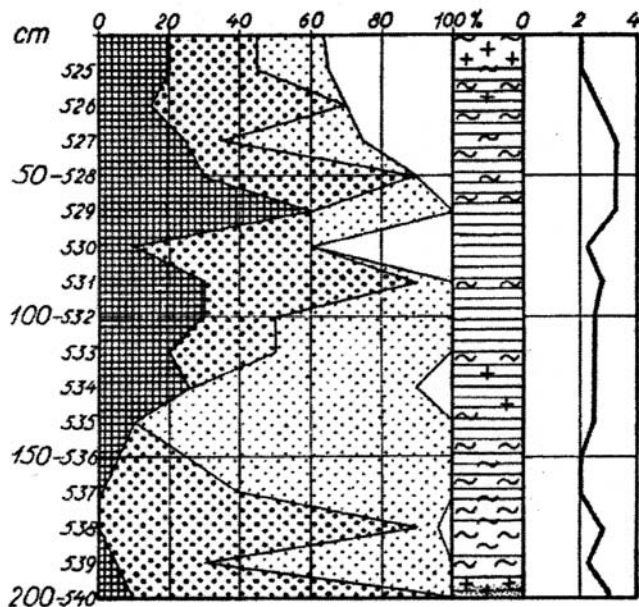
heinät, kookkaat ruohot sekä ennen kaikkea saniaiset ja lieot, kuten jo Aario (1943a) totesi. Mielenkiintoista on, että Aarion (1943a) tulkinnan mukaan jo Ancyclus-kaudella koivumetsissä kasvoi mäntyä joko yksittäisinä metsiköinä tai harvana sekapuuna. Suomesta ei ole myöhemmin löytynyt varmoja todisteita varhaisten mäntyjen olemassaololle, sillä vanhimmat löydetty mäntyn megafossiilit ovat iältään noin 7500 vuotta (Eronen & Zetterberg 1996). Sen sijaan Kuolan niemimaalta ja Pohjois-Norjasta on löydetty mäntyn makrofossiileja, joiden iäksi on saatu noin 9500–9000 vuotta (Gervais ym. 2002; Jensen ym. 2002).

Mäntyn nopealle runsastumiselle ja metsänrajan etenemiselle noin 8000–7000 vuotta sitten on nykyisin runsaasti todisteita. Ilmeisesti lähellä oikeaa oli Aarion arvio siitä, että mäntymetsien ollessa laajimmillaan mäntyn metsänrajan oli pohjoisessa lähellä nykyistä koivun metsänrajaa (Seppä 1996), mistä se alkoi vetäytyä noin 5000–4000 vuotta sitten ilmaston viilennyttyä, samanaikaisesti koivun metsänrajan kanssa. Epävarmaa sen sijaan on, ovatko koivun ja mäntyn rajat edenneet uudelleen, kuten Aario (1943a) oletti tapahtuneen nuoremman Limnean aikana. Jatkuvasti kasvaneesta siitepöly- ja megafossiiliaineistosta huolimatta ei ole varmuudella kyetty osoittamaan tällaista etenemistä tapahtuneen (esim. Eronen 1979; Seppä 1996; Seppä ym. 2002). Joka tapauksessa yleinen kehitys suunta myöhäispostglasiaalin aikana on ollut metsänrajojen vetäytyminen ja metsien harveneminen.

Mielenkiintoista on jälkikäteen myös tarkastella Aarion tutkimuksia koivujen siitepölyistä. Pohjois-

Fennoskandiassa tavataan kolme koivulajia: hieskoivu, rauduskoivu ja vaivaiskoivu sekä neljäntenä yleensä hieskoivun alalajiksi luokiteltava tunturikoivu. Kaikilla näillä on hyvin samantyyppinen siitepölyhiukkanen. Aario uskoi saksalaisten esimerkkien (esim. Firbas & Firbas 1935) mukaisesti, että voisi olla mahdollista erottaa eri koivulajien siitepölyt toisistaan niiden kokomittausten avulla. Tämän toteamiseksi hän mittasi mikroskooppisesti eri koivulajien siitepölyhiukkasia, ja tulokset näyttivät vahvistavan sen, että erottaminen on mahdollista (Aario 1942). Tämän jälkeen Aario analysoi samalla tavalla koivun siitepölyhiukkasten kokosuhteet kahdesta turvesarjasta, joista toinen, Petsamon Trifonajärvenjängän diagrammi, on esitetty kuvassa 7. Siitä havaitaan, että puumaisten koivujen siitepölyt hallitsevat diagrammin alaosa ja että vaivaiskoivun siitepölyt alkaa yleistyä vasta ylimmän 100 senttimetrin osuudella. Aario tulkitsi tämän perusteella, että myöhäispostglasiaalin aikana tunturikoivumetsä on vähitellen alkanut harventua ja avoimet tunturinummet, joiden lajeihin vaivaiskoivu kuuluu, ovat yleistyneet. Monet myöhemmät tutkijat Lapin metsänraja-alueilla ovat päätyneet samankaltaisiin tulkintoihin (Hyvärinen 1975; Seppä 1996).

Myöhemmin koivun siitepölyn kokomittauksia on tehty runsaasti, mutta edelleenkin ei varmuudella kyetä erottamaan eri koivulajien siitepölyjä toisistaan (esim. I.C. Prentice 1981; Mäkelä 1996). Monet tutkijat pitävät menetelmää epäluotettavana. Siten voi todeta, että vaikka Aarion kokomittauksiin perustuva menetelmä ei ehkä ole osoittau-



Kuva 7. Koivun siitepölyjen mikroskooppisten kokomittauksien tulokset. Kokoluokat vasemmalta: rauduskoivu, hieskoivu, tunturikoivu ja vaivaiskoivu. Pienin kokoluokka runsastuu myöhäispostglasiaalin aikana ja kuvastaa koivumetsien vähittäistä harvenemista ja vaivaiskoivun yleistymistä (Aario 1942: 622). Oikealla turpeen maatuneisuusastetta kuvaava käyrä (0 = heikosti maatunut, 4 = täysin maatunut). Sedimenttisyömbölit kuten kuvassa 4. Figure 7. The results of microscopic size measurements of *Betula* pollen grains. Size classes from the left: *Betula verrucosa* (= *B. pendula*), *B. pubescens*, *B. tortuosa* (*B. pubescens* ssp. *tortuosa*) and *B. nana*. The percentages of the smallest size class increase during the late post-glacial period and reflect the gradual opening of the birch forests (Aario 1942: 622). The curve on the right indicates the degree of decomposition (0 = weakly decomposed, 5 = well decomposed). Sediment symbols as in Figure 4.

tunut kestäväksi, on hänen tulkintansa koivumetsien harvenemisesta ja vaivaiskoivun yleistymisestä kuitenkin mitä ilmeisimmin oikeasuuntainen.

Ilmastohistoria nykytiedon valossa

Aarion tulkinnan mukaan varhaisin jääkauden jälkeinen koivuvaltainen kasvillisuustyyppi kuvasti viileän mereistä ilmastoa, sillä vastaavaa kasvillisuutta esiintyy nykyisin Norjan mereisellä luoteisrannikolla. Tulkinta kosteasta varhaispostglasiaalista on edelleen paikkansa pitävä (Seppä & Birks 2001, 2002) ja sitä tukevat monet kasvillisuudesta riippumattomat rekonstruktioit (esim. Hammarlund ym. 2002). Myös Aarion tulkinta lämpömaksimin ajoittumisesta Ancyclus-kauden loppuun ja varhaisen Litorina-kauden alkuun on saanut tukea uusista numeerisista ilmastorekonstruktioista. Lapin kesälämpötilat näyttävät olleen noin 2,5–1,5 °C nykyistä korkeammat noin 8000–6000 vuotta sitten, samalla kun ilmasto on vähitellen muuttunut kuivemmaksi (Seppä & Birks 2001, 2002; Kultti 2004). Se, että lämpimin vaihe näyttää ajoittuvan noin 1000 vuotta varhaisemmaksi kuin Aario arvioi, johtuu edellä todetusta liian nuoreksi arvioidusta Rha-vaiheen iästä. Tästä eteenpäin ilmasto on vähitellen jäähtynyt kohti nykyistä viileää ilmastovaihetta.

Myös Aarion tulkinta ilmaston muuttumisesta kosteammaksi metsänrajan vetäytymisen alkaessa on saanut myöhemmin tukea monista tutkimuksista. Enontekiön järvissä todettu veden pinnan nousu noin 4000 vuotta sitten (Hyvärinen & Alhonen 1994; Korhola & Rautio 2002; Korhola ym. 2005) on arvattavasti yhteydessä Aarion havaitsemaan soistumisen yleistymiseen nuoremman Litorinan alussa. Samoin ilmenee monissa alueen siitepölydiagrammeissa rahkasammalen itiön runsastuminen viimeisten vuosituhansien aikana, mikä sopii hyvin yhteen kosteanviileän ilmaston ja lisääntyvän soistumisen kanssa (Hyvärinen 1975; Seppä 1996).

Aario (1941, 1943a) ilmastolliselle tulkinnalle, jonka mukaan kahden viimeisen vuosituhannen aikana ilmasto on jälleen “parantunut” eli jonkin verran lämmennyt, ei ole löytynyt tukea uudemmissa tutkimuksissa (Seppä & Birks 2001, 2002) eivätkä sitä tue myöskään esimerkiksi Grönlannin jääkoorien happi-isotooppitutkimukset (Stuiver ym. 1995; Johnsen ym. 2001). Myöskään Aario (1943a) esittämälle teorialle 800 vuoden syklisestä ilmastokehityksestä ei ole myöhemmin löytynyt tukea.

Lopuksi

Petsamo jäi Moskovan välirauhansopimuksessa syksyllä 1944 Neuvostoliiton puolelle, eikä Aario

enää 1940-luvun alun jälkeen palannut Lapin metsänrajalle, vaikka hän jatkoi luonnonmaantieteellisiä tutkimuksia selvittämällä esimerkiksi Päijänteen jääkauden jälkeistä kehitystä (Aario 1952). Tultuaan nimitetyksi maantieteen professoriksi Turkuun vuonna 1945 alkoi hänen tieteellinen kiinnostuksensa suuntautua yhä enemmän kulttuurimaan-tieteeseen. Aario palasi maantieteen professoriksi Helsinkiin vuonna 1953, josta virasta hän jäi eläkkeelle vuonna 1970. Leo Aario kuoli vuonna 1998.

Aario Petsamon tutkimuksista on vuosikymmenien saatossa tullut klassikkoja, joihin toistuvasti viitataan alan kansainvälisessä kirjallisuudessa. Kuten edellä olevasta tarkastelusta käy ilmi, oli Aario sekä menetelmällisesti että tulkinnallisesti aikaansa edellä ja hänen tulostensa pääpiirteitä voi edelleen pitää perusteltuina ja suurimmaksi osaksi paikkansapitävinä. Lapin metsänrajojen, kasvillisuuden ja ilmaston historiasta kiinnostuneelle tutkijalle Aarion tutkimukset ovat edelleen mielenkiintoista ja hyödyllistä luettavaa. Nykyajan tutkijakin voi oppia siitä huolellisesta tutkimuksen suunnittelusta, ennakkoluulottomasta uusien menetelmien ja ideoiden soveltamisesta sekä pikutarkasta perusteellisyydestä, joka voimakkaasti leimaa Leo Aarion Petsamon metsänrajatutkimuksia.

Kiitokset

Kiitän Sheila Hicksiä, Matti Tikasta ja kahta ennakkotarkastajaa kommenteista ja avusta käsikirjoituksen viimeistelyssä.

KIRJALLISUUS

- Aario, L. (1932). Pflanzentopografische und paläogeografische Mooruntersuchungen in N-Satakunta. *Fennia* 55: 1, 1–179.
- Aario, L. (1940a). Waldgrenzen und subrezentenen Pollenspektren in Petsamo Lappland. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae*, Ser. A 54: 8, 1–120.
- Aario, L. (1940b). Petsamon kasvillisuusvyöhykkeitten siitepölysuhteet ja maamme metsien kehitys. *Terra* 52: 2, 65–74.
- Aario, L. (1941a). Napapaholainen ja ilmaston paraneminen. *Terra* 53: 1, 57–69.
- Aario, L. (1942). Die größenstatische Analyse der Betulapollen in Torfproben. *Geologische Rundschau* 32: 4/5, 612–626.
- Aario, L. (1943a). Über die Wald- und Klimaentwicklung an der Lappländischen Eismeerküste in Petsamo. *Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae Vanamo* 19: 1, 1–158.
- Aario, L. (1943b). Myöhäisglasiaalin ilmasto. *Terra* 55: 1, 13–15.
- Aario, L. (1943c). Myöhäisglasiaalisesta ilmastosta. *Terra* 55: 4, 94–97.

- Aario, L. (1952). Über die südlichen Abfluss des vor-Päijänneesees. *Annales Universitatis Turkuensis* A 9: 3, 1–31.
- Aario, L. (1981). Professori Väinö Auer 7.1.1895–20.3.1981. *Terra* 93: 2, 80–82.
- Ahti, T., L. Hämet-Ahti & J. Jalas (1968). Vegetation zones and their sections in northwestern Europe. *Annales Botanici Fennici* 5: 3, 169–211.
- Aikio, M. (1990). Leo Aario maantieteilijänä. Julkaisu-maton pro gradu -tutkielma. 106 s. Maantieteen lait-os, Oulun yliopisto.
- Auer, V. (1927). Untersuchungen über die Waldgrenzen und Torfböden in Lappland. *Commentationes Insti-tutum Quaestionum Forestalium Finlandiae* 12: 4, 1–52.
- Birks, H.J.B. (1973). Modern pollen rain studies in some Arctic and Alpine environments. *Teoksessa* Birks, H.J.B. & R.G. West (toim.): *Quaternary Palaeoecology*, 143–168. Blackwell Scientific Pub-lications, Oxford.
- Eronen, M. (1979). The retreat of pine forest in Finn-ish Lapland since the Holocene climatic optimum: a general discussion with radiocarbon evidence from subfossil pines. *Fennia* 157: 2, 93–114.
- Eronen, M. & P. Zetterberg (1996). Expanding megafos-sil-data on Holocene changes at the polar/alpine pine limit in northern Fennoscandia. *Paläoklimaforschung* 20, 127–134.
- Firbas, F. (1934). Über die Bestimmung der Walddichte und der Vegetation waldloser Gebiete mit Hilfe der Pollenanalyse. *Planta* 22: 1, 109–145.
- Firbas, F. & I. Firbas (1935). Zur Frage der grösensta-tischen Pollendiagnosen. *Beih. Bto. Centralbl.* 54.
- Foster, D.R. & P.H. Glaser (1986). The raised bogs of south-eastern Labrador, Canada: classification, dis-tribution, vegetation and recent dynamics. *Journal of Ecology* 74: 1, 47–71.
- Gervais, B.R., G.M. MacDonald, J.A. Snyder & C.V. Kremenetski (2002). *Pinus sylvestris* treeline devel-opment and movement on the Kola Peninsula of Rus-sia: pollen and stomate evidence. *Journal of Ecology* 90: 4, 627–638.
- Glaser, P. (1992). Peat landforms. *Teoksessa* Wright, H.E. Jr., B.A. Coffin and N.E. Aaseng (toim.): *The Patterned Peatlands of Minnesota*, 3–14. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Hammarlund D, L. Barnekow, H.J.B. Birks, B. Buchardt & T.W.D. Edwards (2002). Holocene changes in atmospheric circulation recorded in the oxygen-iso-tope stratigraphy of lacustrine carbonates from north-ern Sweden. *The Holocene* 12: 3, 339–351.
- Hyvärinen, H. (1975). Absolute and relative pollen dia-grams from northernmost Fennoscandia. *Fennia* 142, 1–23.
- Hyvärinen, H. & P. Alhonen (1994). Holocene lake-level changes in the Fennoscandian tree-line region, western Finnish Lapland: diatom and cladoceran ev-idence. *The Holocene* 4: 3, 251–258.
- Hyypä, E. (1936). Über die spätquartäre Entwicklung Nordfinnland mit Ergänzungen zur Kenntnis des spätglazialen Klimas. *Bulletin de la Commission Géologique de Finlande* 115, 401–465.
- Hyypä, E. (1943). Suomen myöhäisglasiaalisesta il-mastosta. *Terra* 55: 3, 43–51.
- Jensen, C., G.J. Kuiper, & K.-D. Vorren (2002). First post-glacial establishment of forest trees: early Ho-locene vegetation, mollusc settlement and climate dy-namics in central Troms, North Norway. *Boreas* 31: 3, 285–301.
- Johnsen, S., D. Dahl-Jensen, N. Gundestrup J.P. Steffes-sen, H.B. Clausen, V. Masson-Delmotte, A.E. Svein-björnsdóttir & J. White (2001). Oxygen isotope and palaeotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye-3, GRIP, GISP2, Renland and NorthGRIP. *Journal of Quaternary Sci-ence* 16: 4, 299–307.
- Karofeld, E. (1998). The dynamics of the formation and development of hollows in raised bogs in Estonia. *The Holocene* 8: 6, 697–704.
- Korhola A. & M. Rautio (2002). Cladocera and other brachiopod crustaceans. *Teoksessa* Smol J.P., H.J.B. Birks & W.M. Last (toim.): *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 4: Zoo-logical Indicators*, 5–41. Kluwer Academic Publish-ers, Dordrecht.
- Korhola, A., M. Tikkanen & J. Virkanen (2005). Quan-tification of Holocene lake-level changes in Finnish Lapland using a cladocera-lake depth transfer func-tion. *Journal of Paleolimnology* 34: 6, 175–190.
- Kremenetski, C.V. & N.G. Patyk-Kara (1997). Holocene vegetation dynamics of the southeast Kola Peninsu-la, Russia. *The Holocene* 7: 4, 473–479.
- Kultti, S. (2004). *Holocene changes in treelines and cli-mate from Ural mountains to Finnish Lapland*. 33 s. Helsinki University Printing House; Helsinki.
- Lehtola, T. (1997). *Lapinmaan vuosituhanet*. 318 s. Gummerus, Jyväskylä.
- Mäkelä, E. (1996). Size distinctions between *Betula* pol-len types – A review. *Grana* 35, 248–256.
- Osvald, H. (1923). Die Vegetation des Hochmoore Ko-mosse. *Svenska Växtsociologiska Sällskapets Hand-lingar* 1.
- Prentice, H.C. (1981). A late Weichselian and early Flan-drian pollen diagram from Østervatnet, Varanger Pen-insula, NE Norway. *Boreas* 10: 1, 53–70.
- Prentice, I.C. (1981). Quantitative birch (*Betula* L.) pollen separation by analysis of size frequency data. *New Phytologist* 89: 1, 145–157.
- Ruotsalo-Aario, R. (1986). The published works of Leo Aario. *Fennia* 164: 2, 147–155.
- Seppä, H. (1996) Post-glacial dynamics of vegetation and tree-lines in the far north of Fennoscandia. *Fen-nia* 174: 1, 1–96.
- Seppä, H. & H.J.B. Birks (2001). July mean temperature and annual precipitation trends during the Holocene in the Fennoscandian tree-line areas: pollen-based climate reconstructions. *The Holocene* 11: 5, 527–539.
- Seppä, H. & H.J.B. Birks (2002). Holocene climate re-constructions from the Fennoscandian tree-line area based on pollen data from Toskaljavri. *Quaternary Research* 57: 2, 191–199.

- Seppä, H., M. Nyman, A. Korhola & J. Weckström (2002). Changes of tree-lines and alpine vegetation in relation to post-glacial climate dynamics in northern Fennoscandia based on pollen and chironomid records. *Journal of Quaternary Science* 17: 4, 287–301.
- Snyder, J.A., G.M. MacDonald, S.L. Forman, G.Y. Tarasov & W.N. Mode (2000). Postglacial climate and vegetation history, north-central Kola Peninsula, Russia: pollen and diatom records from Lake Yarnyshnoe-3. *Boreas* 29: 4, 261–271.
- Stuiver, M., P.M. Grootes & T. Braziunas (1995). The GISP2 $\delta^{18}\text{O}$ Climate Record of the Past 16,500 Years and the Role of the Sun, Ocean, and Volcanoes. *Quaternary Research* 44: 3, 341–354.
- Tanner, V. (1930). Studier över kvartärsystemet i Fennoskandias nordliga delar. IV. *Fennia* 53: 1, 1–589.
- Tuhkanen, S. (1984). A circumboreal system of climatic-phytogeographical regions. *Acta Botanica Fennica* 127, 1–50.