

Veiksel-jäätiköitymisen malleista Suomessa ja niiden erojen syistä

LARS FORSSTRÖM

Vielä 1960-luvun alussa viimeisen eli Veiksel-jäätiköitymisen otaksuttiin olleen Fennoskandiassa yksivaiheinen, eli sen aikana ei esiintynyt merkittäviä jäätikön sulamisvaiheita. Moreenikerrosten alta tai välistä löytyneet orgaaniset horisontit tulkittiin viimeisen interglasiaalin, Eemin, alku- tai loppuvaiheita edustaviksi (G. Lundqvist 1964).

Korpela (1969) tulkitsi Pohjois-Suomesta moreenikerrosten välistä löytyneet orgaaniset kerrostumat interstadiaaliksi niiden kylmää ilmastoja kuvastavan fossiilisisällön vuoksi ja nimesi vaiheen Peräpohjolan interstadiaaliksi. Korpelan aineisto vastasi J. Lundqvistin (1967) Ruotsista saamia tutkimustuloksia, joiden mukaan interstadiaalivaihe näytti jakavan Veiksel-jäätiköitymisen kahteen osaan. Laajat moreenistratigrafiset tutkimukset Suomen Lapissa tukivat Korpelan tulkintaa kaksiosaisesta Veikselin jäätiköitymisestä siten, että näitä osia edustivat niille luonteeltaan moreenipatjat ja niiden välistä löydettiin muutamista paikoista interstadiaaliseksi tulkittua materiaalia (Hirvas *et al.* 1977, Hirvas 1991).

Aario ja Forsströmin (1979) tutkimusalue Pohjois-Suomessa kattoi osittain Korpelan (1969) tutkiman alueen. Toisin kuin Korpela (1969) ja Hirvas *et al.* (1977) he tulkitsivat Varhais-Veikselin moreenikerroksien kuuluvan

ainakin osittain Veiksel-jäätiköitymisen lopun sulamisvaiheisiin. Kirjoittaja (Forsström 1982) korreloi Pohjois- ja Keski-Euroopasta tunnetut interstadiaalivaiheet syvänmeren happi-isotooppivaiheisiin ja otaksui, että Korpelan (1969) nimeämä Peräpohjolan interstadiaali voisi vastata jompaakumpaa Varhais-Veikselin pääinterstadiaaleista, Brørupia tai Odde-*radea*. Myöhemmin kirjoittaja päätteli Suomen interstadiaaliksi tulkittujen kerrostumien edustavan jäätikön liikuttamaa, viimeisen interglasiaalin ainesta, ja Fennoskandian jäätikön peittäneen suurimman osan Suomea myös Varhais-Veikselin interstadiaalien aikana (Forsström 1989).

Suomesta löytyneiden mammutinluiden radiohiiliajoitukset ovat antaneet useita lopullisia iäkiä välillä 32 000–16 000 vuotta sitten. Niiden perusteella Fennoskandian jäätikön otaksuttiin olleen suhteellisen pieni aikavälillä 32 000–22 500 vuotta sitten, ja se rajoittui ehkä Norjan ja Ruotsin tunturialueille (Ukonen *et al.* 1999). Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös Suomen Itä-Lapin Soklin kerrostumista (Helmens *et al.* 2000, 2007, Helmens 2014).

Kirjoittajan tutkima paksu interglasiaalikerrostuma Etelä-Pohjanmaalla vahvisti kirjoittajan käsitystä, että Fennoskandian jäätikön täytyi olla laaja jo Veikselin varhaisessa

vaiheessa, eikä jäätikkö hävinnyt Etelä-Pohjanmaalta ennen sen lopullista sulamista (Forsström 2007). Tulkinta poikkeaa radikaalisti mammutinluiden, Soklin ja muiden kerrostumien ajoituksiin perustuvasta Veikselin kehitysmallista. Jäätiköitysmallien erojen syiden ymmärtämiseksi on tarpeen tarkastella muutamia tutkimusaiheita ja yksittäisiä kohteita, joilla on ollut perustavaa laatua oleva merkitys mallien luomisessa.

Sokli

Itä-Lapin Soklin kerrostumista on julkaistu lukuisia tutkimuksia vuodesta 2000 alkaen (Helmens *et al.* 2000), joissa sedimenttien on tulkittu edustavan lähes katkeamatonta, valitsevasti jäätömien kausien sarjaa viimeisestä interglasiaalista syvän meren isotooppivaiheeseen 3 saakka (Helmens 2014 ja siinä mainitut viitteet). Sedimenttien jatkuvan kerrostumisen ja säilymisen syyksi esitetään niiden sijaintia Soklin karbonaattimassivien syvänteessä lähellä Fennoskandian jäätikön keskusta, jossa jäätikön kulutuksen voi olettaa olevan vähäistä (Helmens 2014). Sedimenttipainanne on noin 600 m pitkä ja 30 m syvä (Ilvonen 1973), joten se ei kirjoittajan mielestä edusta Suomessa mitenkään poikkeuksellisen syvää allasta. Oudolta vaikuttaa myös tulkinta, että allas olisi vaihteittain täyttynyt sedimenteillä eikä kulutusta olisi tapahtunut juuri missään vaiheessa. Kaiken lisäksi sedimenttien fossiilisäältä viittaa siihen, että Soklin alueen ilmasto olisi ajoittain ollut Veikselin aikaan jopa lämpimämpi kuin nykyään (Helmens 2014). Näitä ongelmia ei synny, jos olettaa Soklin fossiiliaineiston edustavan jäätikön uudelleen kerrostamaa interglasiaalimateriaalia. Tämä selittäisi myös sen, miksi Soklista kairatut, interglasiaalisiksi tulkitut kerrokset edustavat hyvin vajavaisia ja luultavasti häiriintyneitä osia koko interglasiaalia edustavasta aineksestä (ks. Ilvonen 1973, Forsström 1990, Helmens *et al.*

2000, Helmens 2014). Jos materiaalin jatkuva kerrostuminen pitäisi paikkaansa, voisi olettaa, että ainakin interglasiaalikerrostumat edustaisivat interglasiaalia jokseenkin täydellisinä sarjoina. Näinhän on laita Keski-Euroopassa, missä jäätiköt eivät yltäneet kuluttamaan ja sekoittamaan kerrostuneita interglasiaali- ja interstadiaalisedimenttejä (Behre ja Lade 1986).

Jäätikön synty ja laajeneminen

Yleisesti ajatellaan, että Veiksel-jäätiköityminen sai alkunsa Norjan vuoristoalueelta, jossa nykyäänkin on pieniä jäätiköitä. Sieltä jäätiköt levisivät Ruotsin kautta Suomeen ja kerrostivat Veikselin ensimmäisen moreenipatjan (Korpela 1969, Hirvas 1991). Kirjoittaja sen sijaan otaksuu jäätikön kehityksen alkaneen ainakin Pohjois- ja Keski-Suomessa pysyvän lumipeitteen leviämisen ja sen muuttumisella jääksi vasta sen paksuuntuessa riittävästi (Forsström 1995). Pysyvän lumipeitteen hypoteesiin viittaa Suomen Lapista löytynyt lumikerros, joka säilyi sulamatta normaalia viileämmän kesän yli (Forsström ja Tuisku 1994). Suoria todisteita tälle selitykselle lienee mahdotonta saada, mutta muutamien tässä kirjoituksessa esiteltävien kerrostumien esiintyminen on kirjoittajan mielestä mahdollista selittää vain tämän hypoteesin perusteella.

Moreenipatjojen kerrostumisaika

Kuten edellä mainittiin, Korpela (1969) otaksui tutkimusalueensa moreenipatjojen kerrostuneen jäätikön laajenemisvaiheissa, samoin kuin Hirvas *et al.* (1977) ja Hirvas (1991). Aario ja Forsström (1979) sen sijaan liittivät tutkimansa moreenikerrokset vallitsevasti jäätikön sulamisvaiheisiin, jonka aikana tapahtuneet jäätikön virtaussuuntien muutokset synnyttivät useilla alueilla toisistaan selvästi

poikkeavia moreenikerroksia. Deglasiatiovaiheen merkitys sedimenttien kerrostumisessa on erityisen selvä Etelä- ja Keski-Suomessa, missä sulava jäätikkö virtasi valtavina kielekevirtoina (Punkari 1980, Forsström 1995, 2007). Pohjois-Suomessa kutistunut jäätikkö ei enää muodostanut suuria kielekkeitä, mutta kirjoittajan tulkinnan mukaan Veikselin moreenikerrokset voidaan pohjoisessakin liittää ainakin valtaosiltaan deglasiatiovaiheisiin (Forsström 1995).

Uudelleen kerrostunut materiaali

Korpela (1969) tulkitsi moreenikerrosten välistä löytyneen orgaanisen aineksen esiintyvän tutkimusalueellaan *in situ*, eli alkuperäisessä kerrostumispaikassaan. Samoin Hirvas (1991) katsoi Lapin ja Nenonen (1995) eteläisemmän Suomen interglasiaaliseksi tai interstadiaaliseksi tulkittun aineksen olevan pääsääntöisesti *in situ* asemassa. Myös Itä-Lapin Soklin kairauksista saadut näytteet on otaksuttu *in situ* materiaaliksi, vaikka kerrostumien rakenteesta voidaan kairausten perusteella saada vain ylimalkainen kuva (Helmens *et al.* 2000, 2007, Helmens 2014).

Kirjoittaja (Forsström 1982) tarkasteli useita tunnettuja interglasiaali- ja interstadiaalikerrostumia ja arveli useimpien niistä edustavan jäätikön kuljettamaa ja uudelleen kerrostamaa ainesta. Myöhemmin kirjoittaja esitti hypoteesin, että moreenikerrosten alta löytynyt orgaaninen aines on yleensä kerrostunut löytöpaikalleen sulavasta jäästä viimeisessä deglasiatiovaiheessa (Forsström 1995, 2007, ks. myös Punkari 1991, Punkari ja Forsström 1995).

Moreenipeitteiset harjut

Moreenipeitteisiä harjuja tavataan varsinkin Pohjois-Suomessa. Johansson ja Kujansuu (1995) kuvasivat Itä-Lapista kolme toisiaan leikkaavaa jäätikköjokisysteemiä, jotka on sijoitettu Veikselin eri vaiheisiin, niin että vain ilman moreenipeitettä olevat harjujaksot kuuluisivat lopullisen deglasiatiovaiheen muodostumiin.

Aario ja Forsström (1979) tulkitsivat tutkimusalueellaan yleisten moreenipeitteisten harjujen syntyneen jäätikön lopullisen sulamisen aikana jäätikön virtaussuuntien muutos-



Kuva 1. Kienaskankaan moreenipeitteisen harjun leikkaus Pudasjärvellä, Pohjois-Suomessa. Kuva: Lars Forsström

Figure 1. A section of the Kienaskangas till-covered esker at Pudasjärvi, northern Finland. Photo: Lars Forsström

ten ja kuolleen jään muodostumisen seurauksena. Sutinen (1992) sijoitti kuitenkin alueen moreenipeitteiset harjut Varhais-Veikseliin. Yksi näistä harjuista on Pudasjärven Kienaskangas (Sutinen 1992, kuva 95). Tästä harjusta kaivetaan nykyäänkin soraa, joten harjun rakenteesta voi saada käsityksen (kuva 1). Valokuvan alaosan hiekka- ja sorakerrokset edustavat tyypillistä harjuainesta. Mittakaavana olevan lapion kohdalla nähdään 40–50 cm paksu moreenikerros. Sitä peittää vajaan metrin kerros hiekkaa, ja yllinä on noin metri löyhää, hiekkaista moreenia. Moreenikerrosten esiintymistapa viittaa selvästi niiden kerrostuneen samassa jään sulamisvaiheessa kuin harjuhiekankin. Toisena esimerkkinä moreenipeitteisestä harjusta esitetään leikkaus Etelä-Pohjanmaan Harrinkankaalta (kuva 2). Leikkauksessa näkyy lapion varren kohdalla lähes metrin paksuinen moreenikerros, joka jatkuu kerrosmyötäisesti harjuhiekkan sisässä ainakin 30 metrin matkalla. Harjua peittävä moreenikerros on paikalla kaivettu suurimmaksi osaksi pois, joten sitä näkyy vain ohut kerros kuvan vasemmassa laidassa. Alemman moreenikerroksen esiintymistapa osoittaa kuitenkin selvästi, että moreenikerrokset harjun sisällä tai päällä eivät automaattisesti viittaa erilliseen jäätiköitymistapahtumaan vaan ne voivat liittyä sulamisveden virtauksen tilapäiseen tai lopulliseen pysähtymiseen kyseisessä paikassa (Punkari ja Forsström 1995).

Gibbard *et al.* (1989) ja Räsänen *et al.* (2015) tulkitsivat Harrinkankaan moreenipeittei-

sen harjun Etelä-Pohjanmaalla vanhaksi, suureksi osaksi Saale-jäätiköitymiseen kuuluvaksi muodostumaksi. Punkari ja Forsström (1995) sen sijaan katsoivat sen syntyneen vasta Veiksel-jäätikön sulamisvaiheissa. He myös tulkitsivat harjun sisällä ja päällä esiintyneet moreenin tai orgaanisen aineksen kerrokset sulavasta jäästä irronneeksi aineeksi, jota voi kerrostua paikalleen juuri lainkaan huuhtoutumatta.

Tähän yhteyteen sopii ehkä pieni pätkinä purtavaksi. Jos oletetaan, että moreenipeitteiset harjut ovat viimeistä jään leviämistä vanhempia, miksi niissä useinkin varsin hyvin säi-



Kuva 2. Harjuleikkaus Harrinkankaalla, Etelä-Pohjanmaalla. Kuva: Lars Forsström

Figure 2. A esker section at Harrinkangas, southern Ostrobothnia. Photo: Lars Forsström

lyneet suppuakat eivät sisällä harjun synnyn jälkeisen, oletetun lämpövaiheen orgaanisia kerrostumia?

Ajoitustulokset

Soklin kerrostumista on tehty lukuisia ajoituksia. Näytesarjan keskiosille saadut OSL-iät, 94 ± 19 ka, 94 ± 16 ka, 80 ± 26 ka ja 74 ± 26 ka viittaavat sedimenttien Varhais-Veikselin ikään, mutta lähempää pintaa otettujen näytteiden OSL-ikä, 48 ± 16 ka ja AMS ^{14}C -ikä, $42\,450 \pm 3570$ vuotta, viittaavat Keski-Veikselin ikään (Helmens *et al.* 2007). Vaikka Soklin OSL-ajoituksissa on huomattavaa epätarkkuutta (± 26 ka), iät näyttävät nuorentuvan näytesarjassa ylöspäin mentäessä. Tätä on vaikea selittää, mutta on kuitenkin syytä ottaa huomioon Houmark-Nielsenin tutkimus (2008), joka osoitti OSL-ajoitusten olevan hyvin epäluotettavia, kun ajoituksia tehtiin iältään varmasti tunnetuista sedimenteistä.

Suomesta löydettyjen mammutinjäänteitten nuorimmaksi iäksi on saatu noin 16 000 vuotta (19 ka) (Donner *et al.* 1979, Ukkonen *et al.* 1999). Jäätikön hyvin tunnetun sulamishistorian mukaan Suomi oli kuitenkin tuohon aikaan varmasti jäätikön peittämä, eivätkä mammutit voineet laiduntaa alueella. Kirjoittaja on esittänyt mahdolliseksi selitykseksi, että ikä on saatu jäätikölle menehtyneestä mammutista, jos ajoitustulos on ylipäätään oikea (Forsström 1982). Ukkonen *et al.* (1999) sen sijaan otaksuvat tämän, samoin kuin toisen, huomattavasti pohjoisempaa löytyneen mammutinhampaan edustavan kaukaa kulkeutunutta, ehkä jäävuoren mukana liikkunutta ainesta. Kirjoittaja ei kuitenkaan ymmärrä, millä mekanismilla alkujaan jäätikön reunan ulkopuolelle kerrostuneet mammutinhampaat voisivat kulkeutua tuhansia vuosia myöhemmin sulavan jäätikön sisempien osien alueelle.

Paitsi Suomen, myös Ruotsin mammuttilöydöistä on tehty uusia ajoituksia. Useat

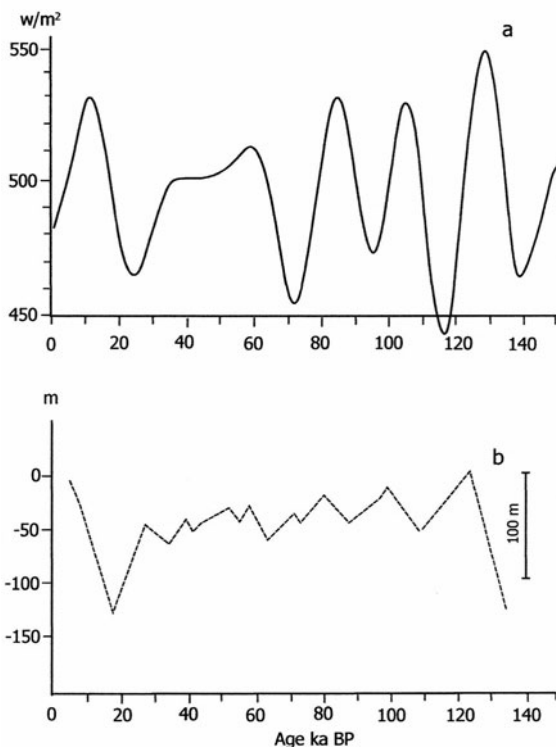
niistä antoivat lopullisia ikä, joiden perusteella on laadittu Ruotsin jäätiköitymishistoria Veikselin loppuvaiheille. Sen mukaan jäätikkö levisi Keski-Ruotsiin noin 30 000 vuotta sitten ja Etelä-Ruotsin Skåneen noin 25 000 vuotta sitten. Jäätikön on kuitenkin tulkittu ulottuneen Tanskaan jo 34 ± 3 ka sitten, Klintholmen etenemisen aikana, joten tuloksissa on ristiriita (Ukkonen *et al.* 2007). Ongelman ratkaisuksi Ukkonen *et al.* (2007) esittävät, että ajoitusten erot eivät ole niin suuria, että jatkotutkimukset eivät voisi antaa niille tyydyttävää selitystä. Kirjoittaja sen sijaan olettaa lopullisten radiohiili-ikäkiden olevan väärää ja Fennoskandian jäätikön olleen MIS 3:n aikaan huomattavasti laajempi kuin Ukkonen *et al.* (2007) otaksuvat. Asiaa valaisee lyhyt katsaus jäätiköiden kasvun ja sulamisen syihin ja niihin tarvittaviin aikoihin.

Milankovičín sykli ja jäätiköiden laajuus

Milankovičín teoria jääkausien astronomisista syistä on yleisesti hyväksytty erityisesti merialueilta kertyneen laajan aineiston perusteella (Hays *et al.* 1976, Denton ja Hughes 1983). Auringon säteilydata vastaa hyvin myös merenpohjan sedimenttien happi-isotooppivaihtelua samoin kuin mantereilta tunnettujen lämpimien ja kylmien vaiheiden vuorottelua (Broecker ja van Donk 1970, Forsström 1989, 2001).

Denton ja Hughes (1983) liittivät syvän meren happi-isotooppiaineistossa esiintyvät 23 000:n ja 41 000:n vuoden rytmilliset vaihtelut Milankovičín sykleihin ja otaksuivat niiden kuvastavan myös jäätiköiden volyyminvaihtelua, kuten Hays *et al.* (1976) esittivät. Nämä muutokset vastaavat Veikselin aikana melko hyvin merenpinnan tason vaihtelua (Chappel ja Shackleton 1986, Shackleton 1987, Lambek ja Chappel 2001), mikä kiistattomasti heijastaa jäätiköiden koon muutoksia. Milan-

koviin syklien yhteisvaikutusta kuvaa hyvin auringon kesäsäteilyn vaihtelu pohjoisella pallonpuoliskolla. Kesäsäteily on esitetty kuvassa 3 viimeisen 140 000:n vuoden ajalle leveysasteella 65°N (kuvaaja a; Berger ja Loutre 1991). Kuvassa nähdään myös merenpinnan vaihtelu samassa aikaskaalassa kuin auringon säteilydata (kuvaaja b; Shackleton 1987). Käyristä nähdään, että merenpinnan muutokset eli jäätiköiden volyymin vaihtelu seuraa säteilyn muutoksia muutaman tuhannen vuoden viiveellä. Tämä osoittaa, että pitkäjaksoiset astronomiset säteilysyklit ovat aivan keskeinen selitys jäätiköiden laajuuden vaihtelussa, eikä muiden tekijöiden vaikutus voine olla kovin suuri.



Kuva 3. Auringon heinäkuisen säteilyn vaihtelu leveysasteella 65°N (a) ja merenpinnan vaihtelu samassa aikaskaalassa (b).

Figure 3. July insolation at 65°N (a) and the sea-level record on the same time scale (b).

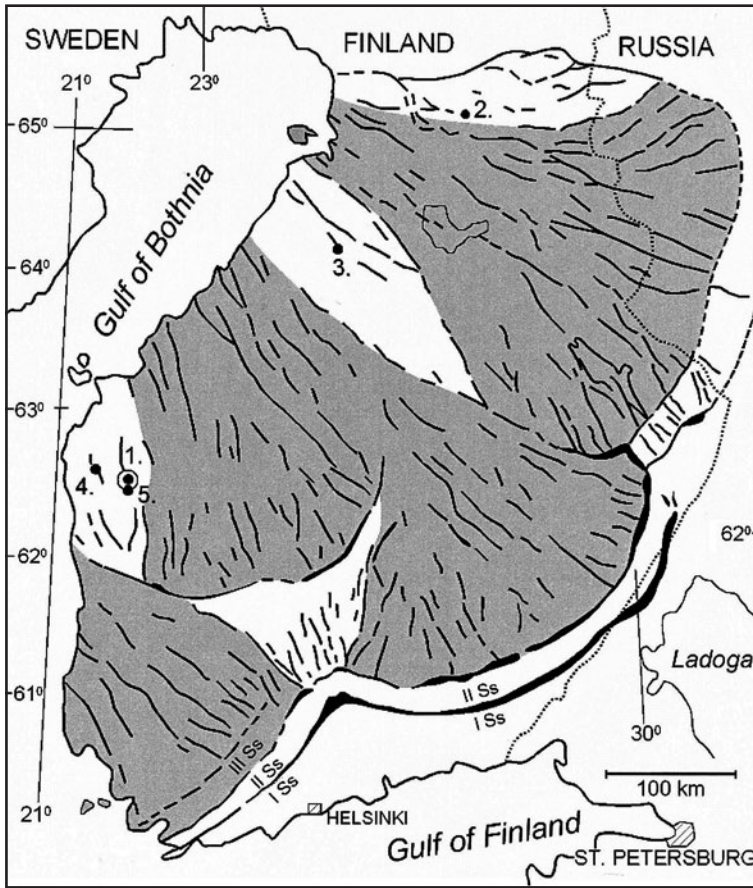
Dansgaard–Oeschger-tapahtumat ja niiden osuus jäätiköiden volyyminvaihtelussa

Grönlandin jäätikkökairaukset ovat paljastaneet ilmaston vaihdelleen viimeisen jäätiköitymisen aikana tuhatvuotisessa skaalassa niin, että lämpötilan muutokset saattoivat olla luokkaa 10°C (Dansgaard *et al.* 1993). Tätä dataa on käytetty selittämään radiohiili-ikäiä, jotka viittaavat siihen, että Fennoskandian jäätikkö saattoi olla hyvin pieni happi-isotooppivaiheen 3 (OIS-3) aikana (Arnold *et al.* 2002). Tulkintaan sopivat myös Ruotsin mammutinjään-teistä saadut ajoitukset, joiden mukaan Fennoskandian jäätikkö oli pieni välillä 44 000–26 000 vuotta sitten (Ukkonen *et al.* 2007).

Kuten edellä mainittiin, jäätiköiden volyymin vaihtelu liittyy auringon säteilysykleihin. Lisäksi merenpinta-aineisto osoittaa, että jäätiköillä oli kasvava trendi koko Veiksel-jäätiköitymisen ajan ja merenpinta oli OIS-3:n aikana korkeimmillaankin noin 30 m nykyisen merenpinnan alapuolella (kuva 3). Tähän pitkien syklien kuvaan ei sovi tulkinta, että Fennoskandian jäätikkö olisi sulanut OIS-3:n aikana lähes kokonaan ja sitten laajentunut maksimiinsa suhteellisen lyhyessä ajassa. Tällaiselle jäätikön nopealle kasvulle ei ole myöskään esitetty uskottavaa selitystä, vaikka sellainen pitäisi tietysti löytyä.

Orgaanisen aineksen esiintymistapa jäätikön sulamisvaiheen virtauskuvioissa – avain kerrostumishistoriaan?

Kuvassa 4 (Forsström 2007) nähdään Suomen eteläisen puoliskon deglasiatiovaiheen aikaiset jäätikkövirtakielekkeet ja niiden väliset ns. passiivisen jään alueet (Punkari 1980). Kuvassa on esitetty myös alueen harjujaksot. Ne näyttävät sopivan hyvin jäätikkökielekkeiden virtaussuuntiin, mutta kielekevirtausten välisillä



Kuva 4. Jäätikön kielekevirrat eteläisessä Suomessa ja Venäjän Karjalassa.

Figure 4. Ice lobes in southern Finland and Russian Karelia.

passiivisen jään alueilla harjut ovat joko kokonaan tai osittain moreenin peittämiä. Tämä on johtanut tulkintaan, että näillä alueilla moreeni edustaa viimeistä jäätiköitymistä, mutta harjut ovat sitä vanhempia (Niemelä 1979, Niemelä ja Tynni 1979). Kirjoittajan tutkimusten perusteella harjut sen sijaan säännönmukaisesti ovat jään viimeiseen sulamiseen kuuluvia, ja niistä löydetty orgaaninen aines on jään liikuttamaa, uudelleen kerrostunutta tavaraa. Näissä selvityksissä tuli esiin myös yllättävä havainto, että harjujen orgaaninen aines ei edustanut jonkin lämpökauden alkupuolen kulutukselta säästyneitä osia, vaan lämpökauden loppua. Esimerkiksi Oulaisten kerrostuma (paikka 3 kuvassa 4) kuvastaa pitkää mäntyvaltaista metsävaihetta, johon toisena

puuna kuului koivu (Forsström 1982). Pudasjärven Ruottisenharjulta (paikka 2) löytyi runsaasti männyn jätettä ja variksenmarjan siemeniä, jotka hyvin sopivat edustamaan kuivan kankaan pintakasvillisuutta (Forsström 1988). Samoin Harrinkankaan (paikka 5) aivan raasta ruskosammaleesta muodostuneet kerrokset olivat ilmeisesti lähtöisin suon pintaosista (Punkari ja Forsström 1995).

Jos Oulaisten ja Pudasjärven orgaaninen materiaali on uudelleen kerrostunutta, sen täytyy edustaa viimeistä jäätiköitymistä edeltävää aikaa. Kirjoittaja on verrannut kerrostumia viimeisen interglasiaalin ja Veikselin Keski-Euroopasta hyvin tunnettuihin vaiheisiin ja korreloinut ne viimeiseen interglasiaaliin eli Eemiin. Veikselin interstadiaalit eivät tulleet kysymykseen, koska ne olivat yksinkertaisesti aivan liian kylmiä (Forsström 1989, 2007). Eemiin rinnastamista tukee vahvasti vielä se, että Etelä-Pohjanmaalta tutkittu Pukimäki koostuu 20 m paksulta interglasiaalisesta savisesta siltistä tai siltistä, mitä materiaalia löytyy Pukimäen lähettyviltiläkin metrien paksuisena (Forsström 2007). Tämän aineksen säilyminen viittaa siihen, että jäätikön kulutus oli passiivisen jään alueella

todella vähäistä ja samalla siihen, että viimeistä jäätiköitymistä edeltävä lämpövaihe Etelä-Pohjanmaalla oli Eem-interglasiaali.

Aivan lämpökauden loppua edustavan, uudelleen kerrostuneen aineksen esiintyminen harjujen sisällä tai päällä viittaa siihen, että jäätikkö levisi Fennoskandian keskusalueelle pysyvän lumipeitteen leviämisenä ja jäätikön kulutus tapahtui vasta jään sulaessa. Tähän prosessiin voidaan liittää myös harjujen moreenipeite passiivisen jään alueilla. Kirjoittaja on oletanut, että jäätikön liike ja kulutus alkaa korkeammilta maastokohdilta, mutta maaston painanteissa jää ei vielä liiku (Forsström 1995). Tästä seuraa, että jään sulaessa voi syntyvän harjun reunamilla ja sen päällä jäässä itsessään jo olla moreeniainesta, vaikka harjun liepeitten ulkopuolella jää esiintyy vielä liikkumattomana, maan pintaan jäätyneenä. Sulavesiuoman lajentuessa sen luoma tyhjä tila irroittaa ja vetää jäisiä maalaattoja myös alemmilta tasoilta, ja näin saadaan orgaanisia kerroksia harjun reunamille ja päällekin. Varsinkin rannikkoalueen syvässä vesissä jään ohetessa ja pyrkiessä jo kellumaan harjun päällä makaava jää sulaa lähes paikallaan, ja sen pohjassa oleva moreeniainesta kerrostuu harjun päälle. Tämä selittäisi myös sen, että harjujen päällä esiintyvän moreenin kiviaineksen suuntaus voi vaihdella huomattavasti läheisilläkin paikoilla, kuten esimerkiksi Oulaisten kautta kulkevassa harjussa (Forsström 1995, kuva 11).

LARS FORSSTRÖM

Kitimenpolku 22 C 37

90500 OULU

lars.forsstrom@outlook.com

Kirjoittaja on Oulun yliopistosta eläköitynyt maaperätutkija.

Summary:

On the models of Weichselian glaciation in Finland and the causes of their differences

It was still believed in the early 1960s that the Weichselian glaciation took place in a single phase, in other words, that no significant phases of ice sheet melting occurred during it. Towards the end of the decade, the glaciation was divided into two parts in such a way that they were separated by an interstadial phase representing a cold climate. This interpretation was supported by extensive till stratigraphical explorations in Finnish Lapland. Radiocarbon dating of Finnish mammoth remains and radiocarbon and OSL dating of the Sokli sediments in eastern Lapland later suggested that the glaciation included several non-glacial phases that could also be relatively warm. Fundamental assumptions in this model include the sedimentation of till beds as prevalent as the ice sheet advanced, and the occurrence of organic and inorganic sediments interpreted as interglacial or interstadial deposits *in situ*, i.e. in their original site of deposition.

The author was initially in favour of the two-phase model of Weichselian glaciation, but later concluded that the one-phase model was correct after all. The dating results linked to the Weichselian phases are likely to be wrong, as they do not fit at all together with the Weichselian climate and vegetation history well known in Central Europe nor with the global data on variations in the volume of ice sheets. According to the author, the matter deposited by the ice sheet in Finland belongs predominantly to the last phase of deglaciation. The redeposited organic matter found in till-covered eskers usually seems to represent the end of the last interglacial. The occurrence of

these sediments that have come off the Earth's surface can be explained by assuming that the ice sheet spread through the expansion of a permanent cover of snow right after the last interglacial, and only disappeared when it finally melted. In this ice-melting process the sediments of the Earth's surface at the outskirts of the esker moved in slabs to become part of the matter in the eskers. When the ice melted, the till covering the eskers also deposited as dead-ice matter.

Kirjallisuus

- Aario, R. ja Forsström, L., 1979. Glacial stratigraphy of Koillismaa and North Kainuu, Finland. *Fennia* 157:1–49.
- Arnold, N.S., van Andel, T.H. ja Valen, V., 2002. Extent and dynamics of the Scandinavian ice sheet during oxygen isotope stage 3 (65,000–25,000 yr B.P.). *Quaternary Research* 57:38–48.
- Behre, K.-E. ja Lade, U., 1986. Eine Folge von Eem und 4 Weichsel-Interstadialen in Oerel/Niedersachsen und ihr Vegetationsablauf. *Eiszeitalter und Gegenwart* 36:11–36.
- Berger, A. ja Loutre, M.F., 1991. Insolation values for the climate of the last 10 million of years. *Quaternary Science Reviews* 10:297–317.
- Broecker, W.S. ja van Donk, J., 1970. Insolation changes, ice volumes and the O¹⁸ record in deep-sea cores. *Reviews of Geophysics and Space Physics* 8:169–198.
- Chappel, J. ja Shackleton, N.J., 1986. Oxygen isotopes and sea level. *Nature* 324:137–140.
- Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer, C.U., *et al.*, 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* 364:218–220.
- Denton, G.H. ja Hughes, T.J., 1983. Milankovitch theory of ice ages: Hypothesis of ice-sheet linkage between regional insolation and global climate. *Quaternary Research* 20:125–144.
- Donner, J.J., Jungner, H. ja Kurten, B., 1979. Radiocarbon dates of mammoth finds in Finland compared with radiocarbon dates of Weichselian and Eemian deposits. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 51:45–54.
- Forsström, L., 1982. The Oulainen Interglacial in Ostrobothnia, western Finland. *Acta Universitatis Ouluensis A* 136, 116 s.
- Forsström, L., 1988. The northern limit of pine forest in Finland during the Weichselian interstadials. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae A* 147, 24 s.
- Forsström, L., 1989. The Fennoscandian ice sheet in the last half a million years. *Nordia* 23:9–103.
- Forsström, L., 1990. Occurrence of larch (*Larix*) in Fennoscandia during the Eemian interglacial and the Brørup interstadial according to pollen analytical data. *Boreas* 19:241–248.
- Forsström, L., 1995. The last glacial cycle (Weichselian) at the centre of the Fennoscandian glaciated area, evidence from Finland. *Res Terrae A* 11, Publications of the Department of Geology, University of Oulu, 34 s.
- Forsström, L., 2001. Duration of interglacials: a controversial question. *Quaternary Science Reviews* 20:1577–1586.
- Forsström, L., 2007. Pukinmäki, a hill in Southern Ostrobothnia, Finland, composed mainly of interglacial silt – evidence for deglaciation of the area by disintegration of the ice and for only one Weichselian glaciation phase. *Res Terrae A* 25, Publications of the Department of Geology, University of Oulu, 36 s.
- Forsström, L. ja Tuisku, P., 1994. Pysyvää lunta Saariselällä – jäätikön alku? Summary: Permanent snow at Saariselkä – the beginnings of glaciation in Finnish Lapland? *Geologi* 46:19–23.
- Gibbard, P., Forman, S., Salomaa, R., Alhonen, P., Jungner, H., Peglar, S., *et al.*, 1989. Late Pleistocene stratigraphy at Harrinkangas, Kauhajoki, Western Finland. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae A III* 150, 36 s.
- Hays, J.D., Imbrie, J. ja Shackleton, N.J., 1976. Variations in the earth's orbit: Pacemaker of the ice ages. *Science* 194:1121–1132.
- Helmens, K., 2014. The last interglacial-glacial cycle (MIS 5–2) re-examined based on long proxy records from central and northern Europe. *Quaternary Science Reviews* 86:115–143.
- Helmens, K., Räsänen, M., Johansson, P., Jungner, H. ja Korjonen, K., 2000. The last interglacial-glacial cycle in NE Fennoscandia: a nearly continuous record from Sokli (Finnish Lapland). *Quaternary Science Reviews* 19:1605–1623.
- Helmens, K., Johansson, P., Räsänen, M., Alexanderson, H. ja Eskola, H., 2007. Ice-free intervals continuing into marine isotope stage 3 at Sokli in the central area of the Fennoscandian glaciations. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 79:17–39.
- Hirvas, H., 1991. Pleistocene stratigraphy of Finnish Lapland. *Geological Survey of Finland, Bulletin*

354, 123 s.

- Hirvas, H., Alfthan, A., Pulkkinen, E., Puranen, R. ja Tynni, R., 1977. Raportti malminetsintää palvelevasta maaperätutkimuksesta Pohjois-Suomessa vuosina 1972–1976 ("A report of glacial drift investigations for ore prospecting purposes in northern Finland 1972–1976", in Finnish with an English summary). Geological Survey of Finland, Report of Investigation 19, 53 s.
- Houmark-Nielsen, M., 2008. Testing OSL failures against a regional Weichselian glaciation chronology from southern Scandinavia. *Boreas* 37:660–677.
- Iivonen, E., 1973. Eem-kerrostuma Savukosken Soklilla. Summary: An Eem-Interglacial deposit at Sokli in Savukoski, Finnish Lapland. *Geologi* 25:81–84.
- Johansson, P. ja Kujansuu, R., 1995. Observations of three subglacial drainage systems (eskers) of different ages in Savukoski, eastern Finnish Lapland. Geological Survey of Finland, Special Paper 20:83–93.
- Korpela, K., 1969. Die Weichsel-Eiszeit und ihr Interstadial in Peräpohjola (nördliches Nordfinland) im Licht von submoränen Srdimenten. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae A III* 99, 108 s.
- Lambeck, K. ja Chappell, J., 2001. Sea level change through the last glacial cycle. *Science* 292:679–686.
- Lundqvist, G., 1964. Interglaciala avlagringar i Sverige. *Sveriges Geologiska Undersökning C* 600, 60 s.
- Lundqvist, J., 1969. Sunmoräna sediment i Jämtland län. *Sveriges Geologiska Undersökning C* 618, 267 s.
- Nenonen, K., 1995. Pleistocene stratigraphy and reference sections in southern and western Finland. Geological Survey of Finland, Kuopio, 94 s.
- Niemelä, J. (toim.), 1979. Suomen sora- ja hiekkaesiintymät. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 42, 119 s.
- Niemelä, J. ja Tynni, R., 1979. Interglacial and interstadial sediments in the Pohjanmaa region, Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 302, 48 s.
- Punkari, M., 1980. The ice lobes of the Scandinavian ice sheet during the deglaciation in Finland. *Boreas* 9:307–310.
- Punkari, M., 1991. Old organic matter inside glacial deposits in Finland: sedimentation models. *Striae* 34:77–83.
- Punkari, M. ja Forsström, L., 1995. Organic remains in Finnish subglacial sediments. *Quaternary*

Research 43:414–425.

- Räsänen, M., Huitti, J., Bhattarai, S., Harvey, J. III ja Huttunen, S., 2015. The SE sector of the Middle Weichselian Eurasian ice sheet was much smaller than assumed. *Quaternary Science Reviews* 122: 131–141.
- Shackleton, N.J., 1987. Oxygen isotopes, ice volume and sea level. *Quaternary Science Reviews* 6:183–190.
- Sutinen, R., 1992. Glacial deposits, their electrical properties and surveying by image interpretation and ground penetrating radar. Geological Survey of Finland, Bulletin 359, 123 s.
- Ukkonen, P., Lunkka, J.-P., Jungner, H. ja Donner, J., 1999. New radiocarbon dates from Finnish mammoths indicating large ice-free areas in Fennoscandia during the Middle Weichselian. *Journal of Quaternary Science* 14:711–714.
- Ukkonen, P., Arppe, L., Houmark-Nielsen, M., Kjær, K.H. ja Karhu, J.A., 2007. MIS 3 mammoth remains from Sweden – implications for faunal history, palaeoclimate and glaciation chronology. *Quaternary Science Reviews* 26:3081–3098.

Geologian tutkimuskeskus (GTK) on mineraalivarjojen arvioinnin, tutkimuksen ja kestäväen käytön eurooppalainen huippuosaaja. Tehtävänäimme on tuottaa elinkeinoelämän ja yhteiskunnan tarvitsemää geologista tietoa, jolla edistetään maankamaran ja sen luonnonvarjojen hallittua ja kestäväää käyttöä.

Luomme uusia ratkaisuja, sovelluksia ja innovaatioita yhteiskunnan kestäväälle kehitykselle. Toimimme kansallisena geotietokeskuksena ja aktiivisena osaajana kansainvälisessä tutkimus- ja projektitoiminnassa. GTK on osa työ- ja elinkeinoministeriötä.

**Geologian tutkimuskeskus hakee
geotieteiden opiskelijoita**

KESÄTÖIHIN

Tarkemmat tehtäväkuvaukset ja hakutiedot:
www.gtk.fi/gtk/tyopaikat

