

Jääkausikäsitteen muutos – Kutistuvatko jäälliset jaksot luultua lyhyemmiksi?

KEIJO NENONEN, ESITELMÄ SUOMEN GEOLOGISEN SEURAN
VAALIKOKOUKSESSA 14.12. 2006.

Elämme jääkausiakaa

Professori Kalevi Virkkala aloitti aikoinaan luentonsa toteamalla oppilailleen, että elämme paraikaa jääkausiakaa ja olemme jääkausi-ilmastossa, koska Etelämanner ja Grönlanti ovat vankasti mannerjäätiköiden peitossa ja geologinen kehitys on kulkemassa kohti seuraavaa jääkautta. Kvar-tääri- ja glasiaaligeologian perusteet eivät ole juurikaan muuttuneet kuluneiden 30 vuoden aikana prof. Virkkalan luennoista.

Tutkimme Heikki Hirvaksen kanssa Eteläman-tereen jääkausia oloja Australian Antarktisen tut-kimusretkikunnan mukana vuonna 1989. Totesim- me mannerjäätikön voivan hyvin ja paksunevan il- maston lämpenemisen seurauksena lisääntyneiden lumisateiden kerrostuessa uudeksi lumijääksi (Hir- vas ja Nenonen 1990.a.). Aivan vastikään uusilla tutkasatelliiteilläkin on voitu todeta tämä Scottin paradoksina (kuva 1) tunnettu ilmiö jäätikön ak- kumulaatioalueilla (Davis *et al.* 2005, Johannes- sen *et al.* 2005).

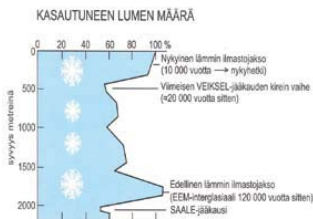
Etelä- ja Keski-Suomi sijaitsee lähellä Skan- dinavian mannerjäätikön keskusta. Suomi on tä- män vuoksi joutunut useita kertoja pleistoseenie-

pookin jäätiköitymisten kuluttavan ja kerrostavan toiminnan kohteeksi. Tämä luontainen tosiseik- ka on edistännyt kvartaarigeologista tutkimusta ja nostonan mm. maaperämme stratigrafisen ja paleo- maantieteellisen tutkimuksen korkealle kansain- väliselle tasolle. Tieteessä ja tutkimuksessa kan- nattaa hyödyntää tätä maamme keskeistä sijain- tia, sillä kaikki tunnistetut jäästä vapaat vaiheet, intergasiaalit ja interstadiaalit, ilmenevät varmasti myös jäätikön reuna-alueilla. Toisaalta man- nerjäätikön etenemiset, stadiaalit ja periglasialaiset vaiheet ovat vaikuttaneet mm. kasvi- ja eläinkun- nan kehitykseen.

Jäätiköiden toiminnan tuloksena Suomessa on keskimäärin ohut irtomaapeite pääasiassa kiteisen prekambrikautisen peruskallion verhona. Suomesta ei ole toistaiseksi löydetty kattavaa litostratigrafis- ta profiilia, joka edustaisi koko pleistoseeniepok- kia. Lähin sellainen on ilmeisesti Liettuassa (Jonas Satkunas *op.cit.*). Interglasiaali- ja interstadiaali- koina syntyneet orgaaniset kerrostumat ovat yleensä kuluneet pois seuraavan jäätiköitymisen aika- na. Sen sijaan jäätiköitymisten aikana kerrostuneet moreenit ja sulamisvaiheessa syntyneet sedimentit ovat olleet eroosiota paremmin kestäviä ja säily- neet suojassa myöhemmältä kulutukselta ja defor- maatiolta. Suomen pleistoseenistratigrafia on siis suurelta osin glasiaali- ja moreenistratigrafiaa, jota voitaisiin kuvata laajoina allostratigrafisina yksi- köinä. Kansalliskomitean stratigrafiajoisto pohtii paraikaa tätä asiaa. Koska Etelä- ja Keski-Suomi on ollut suurelta osin jäätiköityneenä vielä holo- seeniajan alussa, Suomen irtomaapeitteen strati- grafiaa ja syntyä selittäessä ja kuvattaessa käytetään yleisesti termiä kvartaaristratigrafia.

Tiede uudistuu vanhoja löytöjä revidoimalla

Ensimmäiset havainnot eri-ikäisistä jäätiköitymi- sistä ja niiden välisistä jäästä vapaista lämpimäm- mistä vaiheista tehtiin Suomessa jo 1800-luvun lo- pulla rautateiden ja kanavien rakentamisen yhtey- dessä. Berghell (1905) väittää Savonlinnan maa- lajikartan D 2 selityksessä mammutinhammaslöy- töjen ja Sulkavan seudun laajojen ja paksujen mo-



Kuva 1. Scottin paradoksi: Mannerjää korkeilla leveysasteilla paksunee lisääntyneen lumisademäärän vuoksi lämpimissä vaiheissa ja ohenee jääkausuilla. Aineisto muokattu Vostokin jääkairaustuloksista.

reeninalaisten savikerrostumien perusteella, että ”Suomessa interglaciajalla suuri osa maasta oli jäistä vapaa. Sillä itsestään ymmärrettävää on, että tuo tunnettu mahtava mammutti, joka oli nykyajan norsun jotenkin likeinen sukulainen, vaikkakin ruumiinmuodoltaan melkoista suurempi, ei voinut elää jääkaudena jään peittämässä Suomessa, vaan oleskellessaan meidän maassamme kuljeskeli ympäri niillä laajoilla ruohokentillä, joita interglaciajalla todenmukaisesti oli täällä”. Uudet ja vanhat mammutinluulöydöt ja niiden ajoittaminen ovat olleet kvartaaritutkijoiden kiinnostuksen kohteena viime päiviin saakka, ja niiden perusteella on vahvistunut käsitys verrattain nuoresta jäästä vapaasta vaiheesta Keski-Veikselin interstadiaalin aikaan (Ukkonen *et al.* 1999, Ukkonen 2004, Saarnisto ja Lunikka 2004, Lunikka *et al.* 2004).

Aurola (1949) kuvasi yhteenvedossaan moreeni-nalaisia interglasiaalisia ja –stadiaalisia sedimenttejä Itä-Karjalasta, Karjalan Kannakselta, Pietarin ympäristöstä Inkerinmaalta ja Suomesta. Aurola osoittaa litostratigrafian perusteella mannerjäätikön välillä sulaneen pois ja edenneen uudelleen mm. Etelä- ja Keski-Suomen alueella. Aurolan jälkeen Peruskoin ja Karjalan kannaksen stratigrafiaa ovat tutkineet mm. Ikonen ja Ekman (2001), Deminov *et al.* (2004) ja Saarnisto ja Lunikka (2004), ja ajatukset pitkästä jäästä vapaasta ajasta ennen jäätikön etenemistä maksimiasemaansa ovat saaneen vahvistusta.

Pohjois-Suomen löydökset ja niiden uudelleen tulkinnat

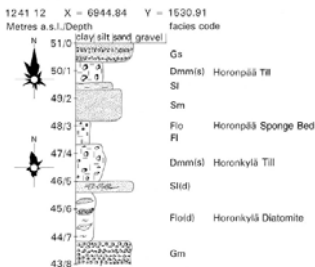
Vasta Korpela (1969) löydettyään moreenipeitteisiä orgaanista ainesta sisältäviä sedimenttejä pystyi osoittamaan uskottavasti, että usein tavattavat moreenipeitteiset lajittuneet kerrostumat Pohjois-Pohjanmaalla Peräpohjolan alueella olivat syntyneet interstadiaalisissa olosuhteissa. Korpelan alkuperäinen tulkinta sattui ihan nappiin, koska hän tulkitti kerrostuman syntyneen Keski-Veikselin interstadiaalin aikaan. Sittemmin peräpohjola interstadiaaliksi kuvattu vaihe on korreloitu Varhais-Veiksel-vaiheen interstadiaaleihin (mm. Hirvas 1991, Nenonen 1995).

Ilvonen (1973) kuvaa Savukosken Soklilta Rautaruukki Oy:n karbonaattiutkimusten yhteydessä löydettyä neljä kilometriä pitkää ja 300–600 metriä leveää hiekkaa ja moreenin verhoamaa interglasiaalista liejuista turve- ja piimaesiintymää. Ensimmäisenä Suomessa Ilvonen (1973) rinnasti vakuuttavasti löytämänsä interglasiaalikerros-

tuman siitepölyflooran Pohjois-Euroopan tunnetuihin Eem-interglasiaalikerrostumien pölystöön. Soklin stratigrafiasta on löytynyt todisteita myös Veiksel-vaiheen interstadiaaleista aina mahdolliseen Keski-Veikselin interstadiaaliin asti (Helmers *et al.* 2000).

Pohjois-Suomessa 1972 alkaneiden malmi-netsintää palvelevien moreenitutkimusten yhteydessä kehitettiin moreenistratigrafisia tutkimusmenetelmiä ja havaittiin pleistoseenistratigrafian olevan edustavimmillaan ja parhaiten säilyneenä Lapin jäänjakajavyöhykkeen alueella (Hirvas 1991). Suomen Lapista aloitettu glasiaalistratigrafinen työ laajeni yhteispohjoismaisessa Pohjoiskalottiprojektissa 1980–1986 kattamaan koko Pohjoiskalottialueen (Hirvas *et al.* 1988). Pohjois-Suomen stratigrafinen työ tuotti 39 uutta interglasiaaliseksi luokiteltua kerrostumalöytöä ja 10 uutta interstadiaalilöytöä. Moreenistratigrafissa Pohjois-Suomesta kuvattiin kuusi eri-ikäistä moreenipatjaa I–VI ja niihin liittyvät jäätikön virtausvaiheet (Hirvas 1991). Pohjois-Suomen moreenistratigrafiaa ei vielä tuolloin kuvattu syntyessä olevien glasiaaligeologisten litostratigrafisten periaatteiden ja fasisluokituksen mukaan vaan perinteisellä käytännössä hyväksi koetulla kuvailevalla tavalla. Käytettävissä olivat lähinnä vain biostratigrafiset ajoitusmenetelmät, koska radiohiilimenetelmä ei soveltunut vanhoihin kerrostumiin. Myös havaintoaineisto yli 400 moreenileikkauksesta ja kaivannosta ei suosinut moreenikerrostumien ja muodostumien nimittämistä paikallisilla nimillä. Täydelli-

HORONKYLÄ FORMATION



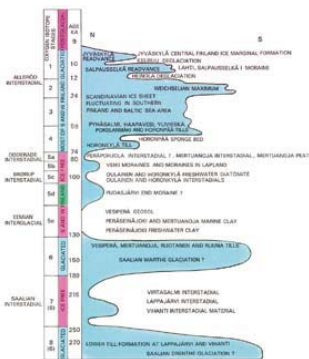
Kuva 2. Esimerkki Teuvan Horonkylän kohteen litostratigrafian sedimenttifasiesten kuvauksesta (Nenonen 1995).

simmillään Pohjois-Suomen moreenistratigrafia ilmenee hyvin säilyneenä Kolarin Rautuvaaran kaivoksen avolohoksen maaleikkauksessa, josta keuhalla 2006 haettiin näytteitä moreenien välisistä hiekka ja hietakerrostumista OSL-ajotuksiin.

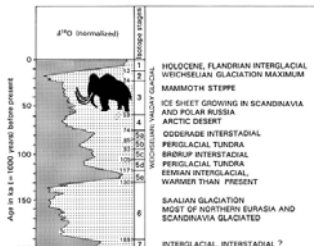
Jäätikkö ulottui eteläiseen Suomeen vasta Keski-Veiksel vaiheessa

Vuonna 1978 malminetsintää palvelevat maaperätutkimukset sekä moreenistratigrafian ja jäätikön virtausuuntien selvitykset ulottuivat Etelä-Suomeen (Nenonen 1995). Geologian tutkimuskeskuksen malminetsintää palvelevien maaperätutkimusten ja moreenistratigrafisten tutkimusten yhteydessä Etelä- ja Keski-Suomen alueelle tehtiin runsas 2500 tutkimuskaivantoa kaivinkoneella. Kaivannot ovat syvimmillään olleet noin 10 metriä. Maapiteen paksuus voi olla paikoin yli 100 m, mutta keskipaksuus on vain 8,5 m, ja kallioperä on yleensä alle kaivinkonesyvyydessä (< 4 m). Näin pääasiassa moreenialueille tehdyt kaivannot 1300 tapauksessa ovat läpäisseet irtomaapiteen ja päättyneet kalliioon. Kaivinkoneen 4,5

metrin ulottuvuus ei riittänyt 1200 tapauksessa moreenipeitteen läpäisemiseen. Kaivannoista on havainnointu maaperän kerrosjärjestys, eri litostratigrafisten yksiköiden fyysikaalisia ominaisuuksia ja rakenteita, ja näytteistä on analysoitu maaperän lajitekoostumusta ja geokemiaa (Hirvas ja Nenonen 1990b.). Eteläisen Suomen moreenistratigrafiaa kuvattaessa oli tarpeen valita laajasta aineistosta esimerkkileikkauksia, joiden avulla kerrosjärjestystä ja niiden vertailua voitaisiin tehdä jo yleisesti käyttöön tulleiden glasiaalistratigrafisten nimityksiperusteiden ja fasiesluokitusten mukaan (kuva 2). Kerrostumien ajoittaminen tuli myös mahdolliseksi kun ajoituksia voitiin tehdä moreenikerrostumien välisistä hiekkakerrostumista ja maannokkista mittaamalla kerrostumiin hautautuneen hiekan tai hiedan kvartsi- ja maasäpäraakeiden atomien elektroniparven viritystilaa termoluminesenssinmenetelmällä (TL) tai optisella luminesenssinmenetelmällä (OSL). Myös valtameren pohjakerrostumista tehdyt happi-isotooppiadiagrammit ja maanjäätiköistä tehtyjen jääkauden yksityiskohtaiset happi-isotooppiadiagrammit levisivät laajasti kvartaaritutkijoiden käyttöön ja löydettyjä kerrostumia yritettiin rinnastaa niihin (mm. Martinson *et al.* 1987, Daansgaard *et al.* 1993) (kuvat 3 ja 4). Isotooppi tutkimusten tuloksena Milankovitsin astronomien ilmastovaihteloteoria kvartaaristen jäätiköitymisen selittäjänä vahvistui saatuaan todisteet geologisista kerrostumista. Uusia tarkempia ja pidemmän ajalle ulottuvia isotooppisarjoja julkaistaan koko ajan lisää



Kuva 3. Jäätiköitymisen aika-matka kuvaaja Veiksel- ja Saale-jäätiköitymisvaiheille ja löydettyjen kerrostumien korrelaatio Etelä- ja Länsi-Suomessa Nenosen (1995) mukaan. Soklin korrelaatio lisäty Helmersen *et al.* mukaan (2000).



Kuva 4. Jääkausajan loppuvaiheen alajaotus ja keskeisimmät tapahtumat viimeisen 200 000 vuoden ajalta (Nenonen ja Saarnisto 1996). Happi-isotooppiikäryä Martinsson *et al.* (1987) mukaan.

(mm. EPICA community members 2004, Siegenthaler et al. 2005). Ilmastomallinnuksen ja glasiologiologisen matemaattisen mallinnuksen edistysessä on myös Skandinavian mannerjäätikkö saatu alustavasti mallinnettu ja jäätikön dynamiikka simuloitua viimeisen Veiksel-jäätiköitymisen aikana (Forsström P.-L. 2005).

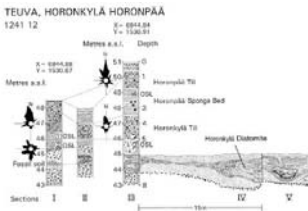
Isotooppivaiheessa 5e vallinneen Eem-interglaciaalin jälkeen Etelä- ja Keski-Suomessa glasiialisostaattinen maankohoaminen jatkui ja isotooppivaiheen 5d jäätiköityminen ei kerrostumalöytöjen mukaan ollut Pohjanmaalle (kuva 3). Tämä Varhais-Veikselin jäätiköityminen ulottui ilmeisesti Pudasjärvelle niin kuin Sutinen (1992) on esittänyt. Pohjanmaalla interglasialikerrostemien ja interglasiaalisten maannosprofiilien päälle kerrostui ilmeisesti eolisia peitehiekkjoja, joissa on merkkejä intensiivisestä roudan toiminnasta; jääkiiloista ja maannoskerroksia sekoittavasta ja poimuttavasta työstä. Pohjanmaalla 5d isotooppivaihe on todennäköisesti jäästä vapaa kryomeeri, jolloin alueella vallitsi arktisen tundran olosuhteet. Isotooppivaiheessa 5c Pohjanmaalla oli metsää kasvava interstadialivaihe, jossa valtaapuulajina olivat mänty ja koivu. Piimaakerostumia syntyi makeaan veteen Horonkylässä ja Oulaisissa. Ilmasto oli kylmempi kuin nykyisin ja kasvillisuuskehitys kuvastaa lyhyttä, vain muutamien kasvillisuussoonin koivun ja männyn kehitystä.

Interstadialia seurasi isotooppivaiheen 5b kylmä vaihe, jonka moreenikerrostumia ei Etelä- ja Keski-Suomesta ole toistaiseksi löydetty. Myös tässä vaiheessa on voinut kerrostua peitehiekkjoja ja routa on voinut sekoittaa kerrostumia. Jäätikön reuna on tuolloin voinut sijaita Norbottenin ja Ruotsin Lapin alueella, josta on kuvattu Varhais-Veikselin Brörup- ja Odderade-interstadiaalien korreloitua kerrostumia, joista on käytetty nimiä Peräpohjola- ja Tarendö-interstadiaalit. Lagerbäck (1988) on tulkinut Pohjois-Ruotsissa sijaitsevan Veiki-moreenivyöhykkeen Varhais-Veikselin jäätiköitymisen deglasiation aikaiseksi jäätikön reuna-asemaks. Myös Sutinen (1992) kuvaa moreenipeitteisiä reunamuodostumia Suomen Lapista Napapiirin pohjoispuolelta. Tulkinta jäätikön levinneisyydestä Varhais-Veikselin stadialien aikana Lapissa ja Pohjanmaalla on parhaimmillaan revidoinnin kohteena ja uudet OSL-ajotukset Lapin kerrostumista tuonevat niihin selvyyttä. Varhais-Veikselin 5d ja 5b stadialien jäätiköitymisten laajuudesta ovat esittäneet edellä kuvattua poikkeavia arvioita mm. Forsström L. (1995) ja Lundqvist (1992).

Isotooppivaiheen 5a interstadialia edustaa Pohjanmaalla ilmeisesti vain Nenosen (1995) kuvaama Ylivieskan Mertuanojan interstadialikerrostuma. Tuolloin metsät olivat lähes yksinomaan koivumetsiä. Interstadiaalissa on myös vaivaiskoivun ja varpukasvillisuuden vallitsema vaihe. Mertuanoja interstadialin kasvillisuuskuva muistuttaa Korpelan (1969) kuvaamaa Peräpohjola-interstadialia Kemijokivarresta ja Kainuusta sekä Mäkisen (1979) kuvaamaa interstadialikerrostumaa Tervolan Kauvonkankaalta, jota on myös aivan viimeaikoina tutkittu ja joka pyritään ajoittamaan tarkemmin. Mertuanojan interstadialikerrostuma sijaitsee kuitenkin 200 kilometriä Peräpohjolan interstadialikerrostumia etelämpänä. Kerrostumista tehtyjen OSL-ajoitusten perusteella ne saattavat kuitenkin olla kerrostuneet vasta isotooppivaiheessa 4 tai 3.

Mertuanojan interstadialin jälkeen happi-isotooppivaiheessa 4, ilmeisesti Keski-Veikselin alussa, mannerjäätikkö levisi Pohjanmaan jäätä vapaassa vaiheessa syntyneiden kerrostumien päälle. Ilmeisesti ennen jäätikön leviämistä oli periglasiialinen vaihe polar desert, jonka aikaan kerrostui eolisia peittohiekkjoja ja myös veteen kerrostuneita sedimenttejä. Jäätikön leviäminen ei ollut yhtenäistä, vaan ajoittain jäätikkö oskilloi peittäen alueen mm. Horonkylän sponge bed -kerrostuman. Etelä-Pohjanmaalla havaitettu moreenistratigrafia saattaa kuvastaa jäätikön leviämisvaiheessa tapahtuneita oskillaatioita Varhais-Veikselin lopussa tai Keski-Veikselin alussa. Tapahtumien ajoitus on epävarma, koska eri ajoitusmenetelmät antavat ristiriitaisia tuloksia. Koko Etelä-Suomi jäi mannerjäätikön alle Keski-Veikselin aikana. Jäätikön laajamittaiset oskillaatiot isotooppivaiheessa 4 ja 3 ovat mahdollisia, mutta niistä ei ole varmoja todisteita. Kansainvälisen QUEEN-projektin tutkimusten tulkin- tojen mukaan (Thiede 2004) mm. Suomi oli ainakin osittain mannerjään peitossa isotooppivaiheessa 4 ja taas jäätä vapaa laajalti isotooppivaiheessa 3 (Ukkonen et al. 1999, Saarnisto ja Luncka 2004).

Pohjanmaan edustavin Keski-Veikselin tapahtumia kuvaava kerrossarja sijaitsee Teuvan Horonkylässä, jossa Varhais-Veiksel-vaiheen aikana kerrostuneen Horonkylä-diatomiitin päällä on kaksi moreenikerrostumaa ja niiden välissä sienieläimen fossiilisia jäänteitä ja arktista piilehvästöä sisältävä kerrallinen hiesu (kuvat 2 ja 5). Kerrostuman OSL-ajotukset sijoittavat isotooppivaiheiden 4 ja 3 aikarajaan.



Kuva 5. Horonkylä-formaation litostratigrafia ja OSL-menetelmällä ajoitettujen näytteiden sijainti. Proofiin I näytteet fossiilisen maannoksen päällä olevasta peittohieasta, OSL-ikä 46 ± 6 ka (Ho 1), 64 ± 5 ka (Ho 2). Horonkylä-diatomiittia peittävän hiekan OSL-ikä 54 ± 8 ka (Ho 3). Horonpää Spoge Bed:in päällä olevan peittohiekan OSL-ikä on 36 ± 4 ka (Ho 4). Korjattu Nenosen (1995) julkaisemasta.

Korrelaatiota ja keskustelua

Viro näyttäisi viimeaikaisten tutkimusten mukaan peittyneen etenevän mannerjäätikön alle vasta Myöhäis-Weiksel-vaiheessa kun jäätikkö eteni kohti laajinta levinneisyytensä LGM (Kalm 2006).

Virossa on uusilla tarkoilla OSL- ja AMSL-ajotuksilla voitu osoittaa Keski-Weikselin aikaisen interstadiaalin olleen melko leudon ja olosuhteiden lähinnä mammuttiaroa.

Karjalassa Keski-Weikselin aikaisen jäätiköitymisen ulottuvuus on epävarma ja jäätikön on päätelty ulottuneen tuolloin vain Laatokalle asti (Saarnisto ja Lunkka 2004), kun taas Arkangelin alueelta ei ole todisteita Varhais- tai Keski-Weikselin jäätiköitymisistä (Demindov *et al.* 2004).

Etelä-Ruotsista tiedetään Keski-Weikselin aikana syntyneiden interstadiaalikerrostumien peittyneen vasta isotooppivaiheessa 2 Myöhäis-Weikselin aikana kerrostuneella moreenilla (vrt. mm. Lundqvist 1992). Norjassa mannerjäätikön nopeat etenemiset Weiksel-vaiheen aikana ja etenemisten väliset lukuisat deglasiatiot/interglasiiaalit kuvastavat meren suuresti vaikuttaneen jäätikön käyttäytymiseen ja syntyneeseen kvartaaristatigrafiaan Skandien vuoriston länsipuolella (Olsen 1997).

Mannerjäätikön verrattain nopeiden etenemisten ja sulamisten ongelmana on pidetty ajan riittävyyttä, mutta tähän on tuonut vastauksen modernit mallinnustyökalut. Mallien mukaan jäätikkö on

varsin sensitiivinen ja reagoi nopeasti jääkausi-ilmastoon muutoksiin (Forsström P.-L. 2005).

Kerrostumalöytöjen ja todistusaineiston mukaan Weiksel jäätiköitymisen jäällinen vaihe, varsinaisen jääkausi, on kutistumassa mannerjäätikön kenties vain muutamana kymmenen vuoden kestäväksi pyrähdykseksi Lähelle Moskovaa, Vilnaa, Varsovaa ja Hampuria. Muuna aikana meidän suomalaisgrilaiset esi-isämme ilmeisesti jahtasivat mammutteja oleskellessaan maassamme (Nenonen ja Saarnisto 1996) kun ”tämä mahtava mammutti kuljeskeli ympäri niillä laajoilla ruohokentillä, joita interglaciajalla todennukaisesti oli täällä”, kuten Berghäll (1905) asian ilmaisi.

Keijo Nenonen

Geologian tutkimuskeskus

PL 96

FI-02151 ESPOO

keijo.nenonen@gtk.fi

Kirjallisuus

- Aurola, E. 1949. Ber die Verbreitung submoräner Sediimente als Widerspiegelung der Bewegungen des Inlandeises. Bulletin de la Commission Géologique de Finlande 144:41–63.
- Berghell, H. 1905. Geologisk öfersiktscarta öfer Finland sektionen D 2 Nyslott. Beskrivning till jorartskartan. Suomen geologinen yleiskartta. Lehti D 2. Savonlinna. Maalajikartan selitys. (Résumé en français) Helsinki: Finlands Geologiske Undersökelse, Geologinen Komissioni 1–117 (1:400 000).
- Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer, C.U., Hvidberg, C.S., Steffensen, J.P., Sveinbjörnsdottir, A.E., Jouzel, J. ja Bond, G. 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. Nature 364:218–220.
- Davis, C.H., Li Y., McConnell, J.R., Frey M.M. ja Hanna, E. 2005. Snowfall-Driven Growth in East Antarctic Ice Sheet Mitigates Recent Sea-Level Rise. Science 308:1898–1901.
- Deminov, I., Houmark-Nielsen, M., Kjaer, K., Larsen, E., Lysä, A., Funder, S., Lunkka, J.-P. ja Saarnisto, M. 2004. Valdai glacial maxima in the Arkhagelsk district of northwestern Russia. Teoksessa: Ehlers, J. ja Gibbard, P.L. (toim.). Quaternary Glaciations – Extent and Chronology. Elsevier, 321–336.
- EPICA Community Members 2004. Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. Nature 429:623–628.
- Forsström, L. 1995. The last glacial cycle (Weichselian) at the centre of the Fennoscandian glaciated area, evidence from Finland. Res Terrae, Ser. A No. 11, 34 s. Publications of the Department of Geology, University of Oulu.

- Forsström, P.-L. 2005. Through a glacial Cycle: simulation of the Eurasian ice sheet dynamics during the last glaciations. *Annalae Aceademia Scientiarum Fennicae A III Geologia – Geographica* 168, 94 s.
- Helmers, 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 Review* 19:1605–1623.
- Hirvas, H. 1991. Pleistocene stratigraphy of Finnish Lapland. *Geological Survey of Finland, Bulletin* 354, 123 s.
- Hirvas, H. ja Nenonen, K. 1990a. Jääkautta etsimässä. Helsinki, Tammi, 189 s.
- Hirvas, H. ja Nenonen, K. 1990b. Field methods for glacial indicator tracing. Teoksessa: Kujansuu, R. ja Saarnisto, M. (toim.). *Glacial indicator tracing*. Rotterdam, Balkema, 217–247.
- Hirvas, H., Lagerbäck, R., Mäkinen, K., Nenonen, K., Olsen, L., Rodhe, L. ja Thoresen, M. 1988. The Nordkalott Project: studies of Quaternary geology in northern Fennoscandia. *Boreas* 7:431–437.
- Iivonen, E. 1973. Eem-kerrostuma Savukosken Soklilla. Summary: An Eeminterglacial deposit at Sokli in Savukoski, Finnish Lapland. *Geologi* 25(8):81–84.
- Ikonen, L. ja Ekman, I. 2001. Biostratigraphy of the Mikulino interglacial sediments in NE Russia: The Pedrozavodsk site and a literature review: *Annalae Aceademia Scientiarum Fennicae A III Geologia – Geographica* 161, 88 s.
- Johannessen, O.M., Khvorostovsky, K.S., Miles, M. W. and Bobylev, L.P. 2005. Recent ice sheet growth in the interior of Greenland. *Science* 311:1719–1720.
- Kalm, V. 2006. Pleistocene chronostratigraphy in Estonia, southeastern sector of the Scandinavian glaciation. *Quaternary Science Review* 25:960–975.
- Korpela, K. 1969. Die Weichsel-Eiszeit und ihr Interglacial in Peräpohjola (nördliches Nordfinland) im Licht von Submoränen sedimenten. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae A III* 99, 108 s.
- Lagerbäck, R. 1988. The Veiki moraines in northern Sweden – widespread evidence of an Early Weichselian deglaciation. *Boreas* 17:469–486.
- Lundqvist, J. 1992. Glacial stratigraphy in Sweden. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 15:43–59.
- Lunkka, J.-P., Johansson, P., Saarnisto, M. ja Sallasmaa, O. 2004. Glaciation of Finland. Teoksessa: Ehlers, J. ja Gibbard P.L. (toim.) *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology*. Elsevier, 93–100.
- Martinson, D.G., Pisias, N.J., Hays, J.D., Imbrie, J., Moore, T.C. Jr. ja Shackleton, N.J. 1987. Age dating and the orbital theory of Ice Ages: Development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research* 27:1–29.
- Mäkinen, K. 1979. Interstadialinen turvekerrostuma Tervolan Kauvonkankaalla. Summary: An interstadial peat layer at Kauvonkangas, Finnish Lapland. *Geologi* 31(5):82–87.
- Nenonen, K. 1995. Pleistocene stratigraphy and reference sections in southern and western Finland. Kuopio: Geological Survey of Finland, 205 s.
- Nenonen, K. ja Saarnisto, M. 1996. The Ice Age environment of Northern Eurasia. *Historia Fennougrica* 1:1–2. Societas Hitoriae Fennougricae, Oulu Finland 1996, 127–140.
- Olsen, L. 1997. Rapid shifts in glacial extension characterize a new conceptual model for glacial variations during the Mid and Late Weichselian in Norway. *Norges geologiske undersøgelse* 433:54–55.
- Saarnisto, M. ja Lunkka, J.-P. 2004. Climate variability during the last interglacial-glacial cycle, in NW Eurasia. Teoksessa: Battarbee R.W. et al. (toim.). *In Past Climate Variability trough Europe and Africa*. Springer, Dordrecht, The Netherlands 443–463.
- Siegenthaler, U., Stocker, T., Monnin, E., Lüthi, D., Schwander, J., Stauffer, B., Raynaud, D., Barnola, J.-M., Fischer, H., Masson-Delmotte, V. ja Jouzel, J. 2005. Stable Carbon Cycle–Climate Relationship During the Late Pleistocene. *Science* 310:1313–1317.
- Sutinen, R. 1992. Glacial deposits, their electrical properties and surveying by image interpretation and ground penetrating radar. *Geological Survey of Finland, Bulletin* 359, 123.
- Thiede, J. (toim.) 2004. Special issue Quaternary Environments of Eurasian North (QUEEN). *Quaternary Science Review* 23:1225–1511.
- 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. 2004. Eläinkunnan paluu. Teoksessa: Koivisto, M. (toim.). *Jääkaudet*. WSOY, Porvoo, s. 204–210.