

Tiedonanto eräiden myöhäis-pleistoseenikerrostumien avainkohteiden ajoittamisesta Suomessa

Myöhäis-pleistoseenikerrostumien ajoittaminen on edistynyt viime vuosina huomattavasti ja ajoituslaboratorioiden tarkkuus on parantunut (Murray ja Olley 2002, Kolstrup *et al.* 2007).

Geologian tutkimuskeskus (GTK) on viime vuosikymmeninä löytänyt lukuisia kvartaarikauden stratigrafian tutkimuksen kannalta mielenkiintoisia kerrossarjoja eri puolilta Suomea. Kesällä 2006 GTK:ssa järjestettiin kampanja eräiden valittujen kohteiden ajoittamisesta uusimmilla käytettävissä olevilla tekniikoilla. Tutkijat valitsivat aineistostaan muutamia tieteellistä keskustelua herättäneitä avainkerrossarjoja, joihin OSL-ajoitusmenetelmän otaksuttiin soveltuvan (kuva 1). Uusilla ajoitustuloksilla toivottiin lisäselvyyttä kohteiden ikäkysymyksiin.

Laboratorioksi valittiin Pohjoismaiden luminesenssijoiutuslaboratorio Risössä, Tanskassa (*The Nordic Laboratory for Luminescence Dating*), jota johtaa Dr. Andrew Murray Århusin yliopiston geotieteiden laitoksesta. Laboratorio on osa Pohjoismaista globaalimuutostutkimuksen huippututkimusohjelmaa (*Nordic Centres of Excellence in Global Change Research*), jota hallinnoi Suomen Akatemia Pohjoismaisten akatemioiden luonnontieteellisten toimikuntien toimeksiannosta.

Aikaisempia termoluminesenssijoiutuksia kerrostumista on tehty Helsingin ja Tallinnan yliopistojen ajoituslaboratorioissa sekä radiohiiliajoitusta GTK:ssa. Radiohiiliajoitusten käyttökelpoisuus Veiksel-jääkauden tapahtumien ajoittamiseen oli havaittu mahdolliseksi tai hyvin kyseenalaiseksi jo 1990-luvulla ilmestyneissä töissä (vrt. Nenonen 1995, 2007). Myös varhaisempien termoluminesenssijoiutusten tarkkuutta ja paikkansapitävyyttä on epäilty yleisesti. Avainkohteiden iän selvittämisen lisäksi haluttiin referenssituloksia ulkomaisesta huippulaboratoriosta. Niinpä uudenaikaisilla laitteilla tehtäviin tutkimuksiin päätettiin lähettää 28 hyvälaatuaista valikoitua näytettä. Näytteitä kerättiin Kolarin Rautuvaaran kaivoksen avolouhoksen tunnetusta referenssileikkauksesta (Hirvas 1991), Tervolan Kauvonkankaan monilta ekskursionilta tutusta reunamuodostumaleikkauksesta (Mäkinen 1979, 1985, 2006), Karijoen Susiluolan kerrostumista (Schultz *et al.* 2002), Merenkurkun maailmanperintöalueen avainkerrostumasta Björköstä (Auri ja Räsänen 2006, Auri *et al.* 2006), Peräpohjolas-ta Sihtuuna-moreenimuodostumien kerrostumista

(Sarala 2005, 2006) sekä Keski-Lapin moreenipeitteisistä harjuista (Johansson 1995, 2007).

Näytteenotto ja ajoittaminen

Näytteet kerättiin likimain pystysuorista koneella kaivetuista maaleikkauksista. Leikkaukset puhdistettiin lapiolla ja seinämät viimeisteltiin lastalla.



Kuva 1. Näytteenottoaikojen sijainti.
Figure 1. Locations of the sampling sites.



Kuva 2. OSL-näytteenottoa maaleikkauksesta.

Kuva: Pertti Sarala.

Figure 2. Field sampling for OSL-dating.

Photo: Pertti Sarala.

Näytteenottokohdaksi valittiin sedimenttiyksikkö, joka kerrostuessaan on saanut todennäköisesti riittävästi auringonvaloa. Olosuhteista riippuen jo useiden minuuttien auringonpaiste tai vähintään muutaman tunnin valaisu riittää nollaamaan kvartsi- ja maasälpärakeisiin varastoituneen säteilyenergian. Esimerkiksi hiekkainen tai hietainen rantakerrostuma, jokikerrostuma tai tuulikerrostuma ovat OSL-ajoitukseen sopivia sedimenttejä. Valituista stratigrafisista yksiköistä otettiin näytteet läpimitaltaan kuusisenttiseen ja noin 30 cm pitkään muovi- tai teräsputkeen. Putki lyötiin lekalla vaakasuoraan mahdollisimman pitkälle puhdistettuun seinämään ja kaivettiin irti seinämästä sekä pakattiin monikerroksiseen mustaan muoviin (kuva 2). Tämän jälkeen näytettä varastoitiin pimeässä ja viileässä paikassa.

Luminesenssimenetelmä perustuu sedimenttien kvartsi- ja maasälpärakeiden säteilyannoksien mittaamiseen. Maaperän kerrostumissa nämä mineraalirakeet voivat absorboida ja varastoida säteilyenergiaa, kun ne altistuvat kerrostumisympäristön radioaktiivisten aineiden alfa-, beta- ja gamma säteilylle. Kun mineraalirakeet altistuvat auringonvalolle, niihin varautunut energia vapautuu saaden aikaan sini-violetin signaalin, jota kutsutaan luminesenssiksi. Jos signaali vapautetaan lämmittämällä (500 °C), kutsutaan sitä TL:ksi; jos se vapautetaan valolla, OSL:ksi (Olsen *et al.* 1996). Kun rakeet kuljetus- tai kerrostumisvaiheen aikana altistuvat auringonvalolle, niistä vapautuu energiaa ja niihin sitoutunut signaali nollaantuu (tai piene-

nee lähelle nollaa). Kun nollautuneet mineraalit peittyvät syvemmälle kerrostumaan, ympäristön säteilylle altistuminen kasvattaa rakeisiin varastoitunutta energiaa. Jos säteilyn määrä pysyy aikojen kuluessa saman suuruisena, rakeisiin varautunut säteilyannos voidaan suhteuttaa nollaantumisen kuluneeseen aikaan (Olsen *et al.* 1996).

Näytteet on ajoitettu Pohjoismaisen luminesenssiajoituslaboratorion käsittelyprotokollan ja laatujärjestelmän mukaan. Laboratorion mittaus- ja ajoitustulokset on kuvattu taulukossa 1, josta käy ilmi näyte- ja kohdetiedot sekä näytteen kerrostumisaikanaan saama kokonaissäteilyannos (Dose, Gy), mitattujen kvartsirakeiden määrä (n), säteilyannoksen nopeus (Dose rate Gy ka⁻¹) sekä näytteen vesipitoisuus (w.c.%). Näytteen ikä saadaan jakamalla kvartsirakeiden kerrostumispaikassaan saama kokonaissäteilyannos mitatulla annosnopeudella (Dose, Gy Dose rate-1, Gy ka⁻¹). Ilmoitettu ikä (Age, ka) on kustakin näytteestä mitattujen kymmenien kvartsirakeiden ikien keskiarvo tuhansina vuosina.

Keskeiset virhelähteet OSL-ajoituksessa ovat näytteenotossa tai käsittelyssä tapahtuva altistuminen valokontaminaatiolle. Kvartsi- ja maasälpärakeiden epätäydellinen valottuminen kerrostumisen aikana (esim. pimeässä glasiluviaalisessa tai sameassa glasilakustrisessa kerrostumisympäristössä) aiheuttaa sen, että rakeisiin aikaisemmissa vaiheista tallentunut signaali nollautuu puutteellisesti ja ajoitustulokseksi saadaan todellista kerrostumisajankohtaa vanhempi ikä. Kerrostumisen jälkeinen sedimentin uudelleenmuokkautuminen esim. rantavoimien vaikutuksesta voi myös heikentää ajoitustuloksen tulkintaa, mikäli osa rakeista on uudelleen valottunut ja osassa on tallella vanha signaali (vrt. Walker 2005).

Björkö, Mustasaari

Björkön saarelta Merenkurkusta löydetystä moreenin alaisesta myöhäis-pleistoseenin järvisedimenttikerrossarjasta otettiin OSL-ajoitusnäytteet kahdesta eri kohdasta. Noin 6,4 metriä maanpinnan alapuolelta otetut näytteet olivat hiekkaisista materiaalia moreenin ja tutkitun kerrossarjan rajapinnalta. Noin 3,4 metriä maanpinnan alapuolelta otetut näytteet olivat hiekkaisista silttiä sukcession deformatiivisesta yläosasta. Ajoitustulokset ovat ristiriidassa sukcessiosta tulkittuun biostratigrafiseen suhteelliseen ajoitukseen, joka viittaa Varhais-Veiksel alavaiheeseen (115–74 ka; vrt. Auri ja Räsänen 2006, Auri *et*



Kuva 3. Kolarin Rautuvaaran avolouhoksen moreeni-ikäkaus 2006. Kuva: Pertti Sarala.

Figure 3. The Open pit section of Rautuvaara mine in Kolari, summer 2006. Photo: Pertti Sarala.

al. 2006). Lisäksi syvemmältä (6,4 m) otetut näytteet saivat nuoremmat OSL-iat, mikä herättää kysymyksiä tulosten luotettavuudesta.

Susiluola, Karijoki

Karijoen Susiluolan stratigrafia ja geologinen historia on monipuolinen. Arkeologit ovat löytäneet Susiluolasta kivimateriaalia, työkaluiksi tulkittuja kivesineitä, iskemiä yms., mikä viittaa ihmisen varhaiseen läsnäoloon luolassa (vrt. Schultz *et al.* 2002). Mahdollisten asutuskerrosten ajoitus on kuitenkin herättänyt kysymyksiä: aikaisemmin julkaistut TL-ajoitukset (102–148 ka) (Schultz *et al.* 2002) viittaavat Eem-interglasiaaliin ja IRLS-ajoitukset (36–128 ka) puolestaan antavat laajemman, Veiksel-Eem-vaiheen ikähaarukan. Nyt saadut ajoitustulokset sijoittuvat välillä 14–36 ka ja lisäävät ikäkirjoa entuudestaan. Viimeisimmät ajoitustulokset viittaavat aineksen sekoittumiseen ja vanhan auringonvalosignaalin osittaiseen säilymiseen myöhemmin muokkautuneessa aineksessa. Ajoitustulokset eivät ratkaise Susiluolan ikää; luola on kuitenkin viimeistä jääkautta vanhempi. Tähän viittaa myös luolasta löydetyn hiiltyneen materiaalin radiohiili-ikä yli menetelmän määrittäysrajan (*op. cit.* Hirvas ja Jungner).

Kauvonkangas, Tervola

Kauvonkankaan leikkauksessa on kolme moreenikerrosta, joista kahden ylimmän välissä olevissa lajittuneissa kerrostumissa on myös interstadiaalista liejua ja turvetta. Näistä interstadiaalikerrostumista on aiemmin tehtyjen kolmen radiohiiliajoituksen ja seitsemän U/Th-ikämäärittäksen lisäksi tehty kolme TL- ja kaksi OSL-ajoitusta. Ajoitukset on tehty useita vuosia sitten, jolloin menetelmät olivat vielä kehityksensä alkuvaiheessa. Interstadiaalikerrostumista otettiin nyt kuusi näytettä, joilla oli tarkoitus tarkentaa kyseisten kerrostumien ikää. Turve- ja liejakerrostumien ylä- ja alapuolelta otettujen kolmen näytteen ajoitustulokset asettuivat ajanjaksolle 57–63 ka, joka on täysin yhdenmukainen aikaisemmin Tallinnassa tehtyjen OSL-ajoitusten kanssa (57–66 ka) (Mäkinen 2005). Yksi näytteistä otettiin keskimmäisen moreenin päällä olevasta hiekasta ja sen iäksi saatiin 178 ka. Näytteen korkea ikä selittyy sillä, että näyte on uudelleenkerrostunutta hiekkaa eikä ole altistunut auringonvalolle uudelleenkerrostumisen aikana. Kahden turve- ja liejakerrostumaan liittyvän ja periglasiialisten prosessien muokkaaman näytteen iäksi saadut 27 ja 33 ka ovat selvästi muita nuorempia, mutta nekin sijoittuvat Keski-Veiksel-vaiheeseen. Saadut ajoitustulokset vahvistavat käsitystä siitä, että Kauvonkankaan

interstadiaalikerrostumat ovat kerrostuneet Keski-Veikselin aikana (Mäkinen 2005).

Sihtuuna, Tervola

Tervolassa, Peräpohjan alueella sijaitsevan Sihtuunan maaperä koostuu jäätikön liikesuuntaan nähden poikittaisista moreeniharjanteista, jotka Aario *et al.* (1997) ovat nimenneet Sihtuuna-moreeneiksi ja jotka Sarala (2005) on myöhemmin luokitellut pienimuotoisiksi *ribbed*-moreeneiksi (vrt. Sarala 2003). Harjanteissa esiintyy yleisesti lajittuneita välikerroksia, joiden paksuus vaihtelee muutamasta kymmenestä senttimetristä useaan metriin. Vuonna 2006 tutkitussa leikkauksessa moreenien välisen hiekkaisen välikerroksen paksuus oli n. 50 cm. Kerroksessa havaittiin muun muassa virtakerroksellisuutta ja glasitektonisesti deformatiivisia kareita. Kerroksesta otettujen näytteiden OSL-ikäksi saatiin 149 ± 10 ka ja 201 ± 16 ka, eli hiekka olisi ollut valolle alttiina Saale-jääkauden loppuvaiheessa. Anosmäärät ovat Sihtuunan näytteissä koko aineiston suurimmat. Ikähaarukka on kuitenkin mahdollinen, sillä Sarala (2005) on todennut välikerroksien olevan uudelleenkerrostuneita. Muualta Sihtuuna-moreeneista aiemmin otetut näytteet ovat olleet Keski-Veikselin ikäisiä (Sarala ja Rossi 2006).

Rautuvaara, Kolari

Länsi-Lapissa sijaitsevaa Kolarin Rautuvaaraa on pidetty avainstratigrafiakohteena koko Fennoskandian jäätiköitymishistorialle (kuva 3). Rautuvaarassa on havaittavissa viisi moreenipatjaa samassa n. 23 metriä korkeassa vanhan avolouhoksen seinämässä (Hirvas 1991). Moreenien välissä on glasilakustrisiksi ja -fluviaalisiksi tulkittuja, paikoin voimakkaasti deformatiivisia lajittuneita kerroksia. Välikerroksista otettiin näytteitä vedenpinnan yläpuolelta (13,5 m) aiemmin kuvatulla putkinäytteenotolla ja vedenpinnan alapuolelta (21–22 m) iskuporan läpivirtausterällä muoviputkeen (\varnothing 4 cm). OSL-ajoitukset antavat hyvin mielenkiintoisia tuloksia, sillä kaikki iät viittaavat kerrostumiseen Eem-interglasiaalin ja Varhais-Veikselin aikana (171–70 ka). Ongelmallisia ovat etenkin syvemmillä stratigrafiasta saadut nuorimmat iät, jotka viittaavat jopa Varhais-Veikselin loppuun (76 ± 8 ka). Tulokset herättävätkin kysymyksen menetelmän toimivuudesta vanhoille näytteille (Dose rate > 200 ka), ja ikä voidaan pitää enemmän suuntaa-antavana kuin eksakteina. Rautuvaaran stratigrafian poikkeavuuden ja välikerrosten määrän huomioiden lisänäytteenotto ja menetelmäkehitys ovat tarpeen ajoitustulosten tilastollisen luotettavuuden ja tarkkuuden parantamiseksi.

Värriöjoki, Savukoski

Savukosken Värriöjoella esiintyy kolme eri-ikäistä toisiaan leikkaavaa jäätikköjokisysteemiä. Niiden keskinäinen ikäjärjestys on voitu selvittää moreeni- ja glasifluviaalisista kerroksista tehdyin stratigrafisin tutkimuksin (Johansson 1995). Myös harjuselänteiden ja jäätikköjokisysteemeihin liittyvien eroosiomuotojen morfologiasta ja muotojen kuluneisuudesta tehdyt havainnot tukevat saatua ikäjärjestystä. Iältään keskimmäiseen, pohjois-eteläsuuntaiseen jäätikköjokisysteemiin liittyy Kii-maselän moreenipeitteinen harju. Noin puoli metriä paksun pohjamoreenipeitteen alla on vuorotellen virtakerroksellista hiekkaa ja kivistä soraa, jota jatkuu ainakin 3,5 metrin syvyydelle. Edellä mainitun lajittuneen kerrostuman yläosa on aallonmerkkirakenteista hienoa hiekkaa ja karkeaa hietaa, joka lienee kerrostunut glasilakustrisessa ympäristössä matalaan veteen. Aineksesta otettiin kaksi OSL-näytettä. Niistä saadut iät, 117 ± 15 ka ja 127 ± 13 ka, sijoittuvat varsin selvästi Veiksel-kauden alkuun, happi-isotooppikronologian vaiheeseen 5e. Ajoitustulokset ovat kuitenkin ristiriidassa stratigrafisten tulosten kanssa, sillä lajittuneiden kerrostumien tulisi olla nuorempia, interstadiaalisia ja edustaa isotooppivaihetta 4 tai mahdollisesti jopa vaihetta 3. Vastaavasta kerroksesta aiemmissa ajoituksissa saatu OSL-ikä oli 65 ± 13 . Saadut korkeat iät voivat johtua aineksen uudelleenkerrostumisesta.

Keskustelua

GTK:n pleistoseenikerrostumien ajoituskampanja oli onnistunut. Tutkittujen kohteiden kerrostumisen syntyajoista saatiin merkittävää uutta tietoa. Käsitukset Keski-Veikseliin ajoittuvasta interstadiaalivaiheesta saivat lisää vahvistusta, kun monet ajoitustulokset sijoittuvat happi-isotooppikronologian vaiheeseen 4 tai jopa 3 (vrt. Mäkinen 2005, Nenonen 2007, Salonen *et al.* 2007, Ukkonen *et al.* 1999, 2007). Toisaalta paradoksaalisesti pelkkiin ajoitustuloksiin luottamalla voitaisiin epäillä Veiksel-jääkauden jäällisen vaiheen tai vaiheiden olleen varsin lyhyitä tai puuttuvan kokonaan. Näinhän asianlaita oli silloinkin, kun radiohiiliajoituksia ryhdyttiin laajemmin käyttämään. Tulokset osoittavat, että luminesenssimenetelmäkään ei ratkaise kaikkia ajoituksen liittyviä ongelmia ja että geologiset päätelmät tarvitsevat vielä uudistamista ja lisätutkimusta.

Pohjois-Suomessa, erityisesti Lapissa jäätiköitymishistoria poikkeaa eteläisemmästä Suomesta. Jäätikkö näyttää myllertäneen mm. Kolarin Rautuvaaran maaperää useita kertoja Veiksel-vaiheen aikana (kuten Hirvas 1991 on kuvannut), ja jäätiköitymisvaiheiden välillä alueella on kerrostunut

sedimenttejä, joita voidaan ajoittaa uusilla menetelmillä. Ajoituslaboratoriolle suurena haasteena ovat olleetkin vanhimmat sedimentit, joissa säteilyannokset ovat yli 200 Gy, sekä Susiluolan kerrostumat, joissa taustasäteily on voimakas ja kosmisen säteilyn osuus pieni. Käytetty optinen (OSL) luminesenssijaotus ei sekään anna kovin tarkkoja iäkiä, ja hyvissäkin olosuhteissa postglasiaalisedimenteissä on varauduttava käytännössä n. 10 % virhemarginaaliin (Kolstrup *et al.* 2007), joten lukijoiden on syytä pitää taulukon ikätuloksia suuntaantavina. Susiluolan tulokset antanevat korkeintaan minimi-ikä luolan sekoittuneelle stratigrafialle.

Ajoituskampanjan kohteena olleista kerrostumista ja niiden stratigrafiasta ollaan laatimassa laajempia artikkeleita eri tutkijakokoonpanoilla tieteellisiin julkaisusarjoihin. Tämän tiedonannon tarkoituksena on tuoda tieto uusista merkittävistä ajoitustuloksista nopeasti tiedeyhteisön tietoon, jotta keskustelu ja tutkimus Suomen viimeisimmän Veiksel-jäätyköitymisen olosuhteista jatkuisi vilkkaana. Suomi on Skandinavian mannerjäätikön keskusaluetta, ja tämän vuoksi keskeistä tutkimusaluetta jääkaustisten tapahtumien ajoittamiseen ja globaalimuutoksen tutkimiseen, ihan kansainvälisellä tasolla. Tässä on meille vielä runsaasti työtä ja pohdittavaa.

English summary: Dating of some Late Pleistocene sedimentary units in Finland

This paper is a short notice of the new dating results of large OSL campaign that was carried out by the Geological Survey of Finland (GTK) in 2006. The samples were taken from the Quaternary deposits that are stratigraphically interesting targets in the southwestern and northern Finland. The targets are Björkö, Susiluola, Kauvonkangas, Sihtuuna, Rautuvaara, and Värriöjoki. Most of the samples were stratified sand or silt samples from the inter-till deposits but also from the glaciofluvial or eolian deposits. OSL samples were analysed in the Nordic Laboratory for Luminescence Dating in the University of Århus in Denmark.

The campaign was successful and gave new interesting information and results of the age of deposits. An idea of quite long interstadial phase during the Middle Weichselian (oxygen isotope phase 3) is strengthened with these new results. Also, many results of the Eemian interglacial and Early Weichselian ages are in line with the stratigraphy. However, there are also some disagreements between the new OSL results and age indicated by stratigraphy or earlier datings. In some cases the results are not reliable because

of the methodological problems related to the oldest ages, of which Dose Rates were over 200 Gy. Also the dating results from Susiluola cave are confusing, when compared to the earlier reported old dates. These problems give challenges to the research and need for methodological development of the OSL method for reaching older ages and higher reliability.

Acknowledgements

We thank the Nordic Laboratory for Luminescence Dating in the University of Århus. The laboratory is part of Nordic Centers of Excellence in Global Change Research. Personal thanks to Dr. Andrew Murray of the research-minded work with these difficult samples and of discussions what to do in the next step for them. Special thanks to our always helpful and skilled research assistants Pertti Hakala, Jorma Valkama, and the field staff in Björköby excavations.

Geological Survey of Finland financed the campaign thus giving a contribution to Quaternary science.

Kirjallisuus

- Aario, R., Peuraniemi, V. ja Sarala, P. 1997. The Sihtuuna moraine at Tervola, southern Lapland. *Sedimentary Geology* 111 (1–4), 135–145.
- Auri, J. ja Räsänen, M. 2006. Early Weichselian interstadial lake deposits at Björkö Island, Kvarken Archipelago, Finland. Teoksessa: Peltonen, P. ja Pasanen, A. (toim.). The 27th Nordic Geological Winter Meeting, January 9–12, 2006, Oulu, Finland, abstract volume. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, Special issue 1, 11.
- Auri, J., Räsänen, M., Klap, A., Huitti, J., Nenonen, K. ja Breilin, O. 2006. A continuous Early Weichselian lake record covering Brörup and Odderade interstadials at Björkö Island, Ostrobothnia coast, western Finland [Elektroninen julkaisu]. Teoksessa: Johansson, P., Lunkka, J.-P. ja Sarala, P. (toim.). Late Pleistocene glacial deposits in the central part of the Scandinavian ice sheet, the INQUA Peribaltic Group Field Symposium in Finland, September 11.–15.2006, abstracts. Rovaniemi, Geological Survey of Finland, 6. Saatavana: <http://arkisto.gsf.fi/ej/ej55.pdf>. (Viitattu 1.2.2008)
- Hirvas, H. 1991. Pleistocene stratigraphy of Finnish Lapland. Geological Survey of Finland, *Bulletin* 354, 123 s.
- Johansson, P. ja Kujansuu, R. 1995. Observations on three subglacial drainage systems of different age in Savukoski, northern Finland. Teoksessa: Klostermann, J. (toim.). International Union for Quaternary Research XIV International Congress, August 3–10, 1995, Freie Universität Berlin, abstracts. Terra no-

- stra. Schriften der Alfred-Wegener-Stiftung 2/95. Bonn, Alfred-Wegener-Stiftung, 125.
- Johansson, P. 1995. The deglaciation in the eastern part of the Weichselian ice divide in Finnish Lapland. Rovaniemi, Geological Survey of Finland. 113 p. + app. map.
- Johansson, P. 2007. Weichselian and Saalian esker systems in North Finland. Teoksessa: XVII INQUA Congress, The tropics, heat engine of the Quaternary, Cairns 2007. Quaternary International supplement 167–168, 195.
- Kolstrup, E., Murray, A. ja Possnert, G. 2007. Luminescence and radiocarbon ages from laminated Lateglacial aeolian sediments in western Jutland, Denmark. *Boreas* 36, 314–325.
- Murray, A. ja Olley, J.M. 2002. Precision and accuracy in the optically stimulated luminescence dating of sedimentary quartz. *Geochronometria* 21, 1–16.
- Mäkinen, K. 1979. Interstadiaalinen turvekerrostuma Tervolan Kauvonkankaalla. Summary: An interstadial peat layer at Kauvonkangas, Finnish Lapland. *Geologi* 31 (5), 82–87.
- Mäkinen, K. 1985. The Kauvonkangas interstadial peat deposit, Tervola. Teoksessa: Kujansuu, R. ja Saarnisto, M. (toim.). INQUA till symposium Finland 1985, excursion guide, field workshop August 20–29, 1985. Espoo, Geological Survey of Finland, 117–119.
- Mäkinen, K. 2005. Dating the Weichselian deposits of southwestern Finnish Lapland. Teoksessa: Ojala, A.E.K. (toim.). Quaternary studies in the northern and Arctic regions of Finland, proceedings of the workshop organized within the Finnish National Committee for Quaternary Research (INQUA), Kilpisjärvi Biological Station, Finland, January 13–14th 2005. Geological Survey of Finland, Special Paper 40, 67–78.
- Mäkinen, K. 2006. Stop 19. Interstadial peat deposit at Kauvonkangas, Tervola [Elektroninen julkaisu]. Teoksessa: Sarala, P., Johansson, P. ja Lunkka, J.-P. (toim.). Late Pleistocene glacial deposits in the central part of the Scandinavian ice sheet, the INQUA Peribaltic Group Field Symposium in Finland, September 11. –15.2006, excursion guide. Rovaniemi, Geological Survey of Finland, 56–58. Saatavana: <http://arkisto.gsf.fi/ej/ej56.pdf>. (Viitattu 1.2.2008)
- Nenonen, K. 1995. Pleistocene stratigraphy and reference sections in southern and western Finland. Kuopio: Geological Survey of Finland. 205 p.
- Nenonen, K. 2007. Jääkausikäsitteen muutos – kutistuvatko jäälliset jaksot luultua lyhyemmiksi? *Geologi* 59 (1), 9–14.
- Olsen, L., Mejdahl, V. ja Selvik, S. 1996. Middle and Late Pleistocene stratigraphy, chronology and glacial history in Finnmark, North Norway. *Norges geologiske undersökelse Bulletin* 429, 1–111.
- Salonen, V.-P., Kaakinen, A., Kultti, S., Miettinen, A., Eskola, K.O. ja Lunkka, J.P. 2008. Middle Weichselian glacial event in the central part of the Scandinavian Ice Sheet recorded in the Hitura pit, Ostrobothnia, Finland. *Boreas* 37 (1), 38–54.
- Sarala, P. 2003. Ribbed-moreenit – jäätikön liikesuunnan poikittaiset indikaattorit. Summary: Ribbed moraines – transverse indicators of the ice flow direction. *Geologi* 55 (9–10), 250–253.
- Sarala, P. 2005. Glacial morphology and dynamics with till geochemical exploration in the ribbed moraine area of Peräpohjola, Finnish Lapland. Espoo, Geological Survey of Finland. 17 s. + 6 alkuperäistä artikkelia.
- Sarala, P. 2006. Stop 17. Sihtuuna moraines at Sihtuuna, Tervola [Elektroninen julkaisu]. Teoksessa: Sarala, P., Johansson, P. ja Lunkka, J.-P. (toim.). Late Pleistocene glacial deposits in the central part of the Scandinavian ice sheet, the INQUA Peribaltic Group Field Symposium in Finland, September 11. –15.2006, excursion guide. Rovaniemi, Geological Survey of Finland, 51–54. Saatavana: <http://arkisto.gsf.fi/ej/ej56.pdf>. (Viitattu 19.2.2008)
- Sarala, P. ja Rossi, S. 2006. Rovaniemen–Tervolan alueen glasiaalimorfologiset ja -stratigrafiset tutkimukset ja niiden soveltaminen geokemialliseen malminetsintään. Summary: Glacial geological and stratigraphical studies with applied geochemical exploration in the area of Rovaniemi and Tervola, southern Finnish Lapland. *Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti* 161, 115 s.
- Schulz, H.-P., Eriksson, B., Hirvas, H., Huhta, P., Jungner, H., Purhonen, P., Ukkonen, P. ja Rankama, T. 2002. Excavations at Susiluola cave. Tiivistelmä: Susiluola. *Suomen Museo* 2002 109, 5–45.
- 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 (25–28), 3081–3098.
- Walker, M. 2005. Quaternary dating methods. John Wiley Sons Ltd. West Sussex, England, 286 p.

Jaakko Auri*, **Olli Breilin***,
Heikki Hirvas**, **Pekka Huhta****,
Peter Johansson***, **Kalevi Mäkinen *****,
Keijo Nenonen**, **Pertti Sarala *****

* Geologian tutkimuskeskus,
Länsi-Suomen yksikkö,
PL 97, 67101 Kokkola

** Geologian tutkimuskeskus,
PL 96, 02151 Espoo

*** Geologian tutkimuskeskus,
Pohjois-Suomen yksikkö,
PL77, 96101 Rovaniemi

Taulukko 1. Taulukkotiedot vasemmalta oikealle: Laboratorionumero, näytteen kenttänumero, paikka, näytteen syvyys, laboratorion ilmoittama ikä tuhansina vuosina hajontoineen, näytteen saama kokonaissäteilyannos (Dose, Gy), mitattujen kvartsirakeiden lukumäärä (n), mitattu säteilyannosnopeus tuhatta vuotta kohden (Dose rate, Gy ka⁻¹) ja näytteen kosteus (w.c.%).

Näytteen ikä saadaan jakamalla kvartsirakeiden kerrostumispaikassaan saama kokonaissäteilyannos mitatulla annosnopeudella (Dose, Gy Dose rate⁻¹). Ilmoitettu ikä (Age, ka) on kustakin näytteestä mitattujen kymmenien kvartsirakeiden ikien keskiarvo ja poikkeama raja-arvot.

Table 1. Table information from left to right: Laboratory no., sample no., locality, sample depth, calculated age in thousands of years (Age, ka), radiation dose (Dose, Gy), number of measured quartz grains (n), radiation dose rate in thousands of years (Dose rate, Gy ka⁻¹) and the moisture of the sample (w.c %).

The age of the quartz grains is calculated by dividing radiation dose with dose rate (Dose Gy Dose rate⁻¹). The resulting age is the mean value of approximately 20 measured grains with deviation of measurements. Dating was performed by The Nordic Laboratory for Luminescence Dating, Dr. Andrew Murray, the University of Århus.

Risø Analyze No.	Sample No.	Site	Depth, cm	Age, ka	±	Dose, Gy	±	(n)	Dose rate, Gy ka ⁻¹	±	w.c. %
06 31 02	OSL/06/I	Björkö	640	48	± 4	124	± 9	28	2,58	± 0,10	29
06 31 03	OSL/06/II	Björkö	640	50	± 5	191	± 16	18	3,78	± 0,15	25
06 31 04	OSL/06/III	Björkö	340	64	± 5	153	± 9	19	2,40	± 0,09	33
06 31 05	OSL/06/IV	Björkö	340	67	± 5	170	± 11	20	2,55	± 0,10	28
06 31 24	1	Susiluola	275	19	± 2	80	± 5	19	4,14	± 0,16	20
06 31 25	2	Susiluola	275	14	± 2	60	± 8	29	4,30	± 0,17	27
06 31 26	3	Susiluola	275	36	± 3	123	± 8	23	3,43	± 0,13	22
06 31 27	5	Susiluola	275	22	± 2	86	± 5	20	3,87	± 0,28	23
06 31 28	6	Susiluola	275	20	± 2	71	± 3	22	3,48	± 0,27	22
06 31 06	1	Kauvonkangas	300	57	± 5	149	± 11	21	2,61	± 0,10	19
06 31 07	2	Kauvonkangas	200	60	± 6	155	± 12	19	2,57	± 0,10	16
06 31 08	3	Kauvonkangas	220	63	± 5	157	± 12	26	2,48	± 0,09	33
06 31 09	4	Kauvonkangas	220	27	± 2	66	± 3	18	2,43	± 0,10	19
06 31 10	5	Kauvonkangas	400	178	± 11	449	± 20	22	2,51	± 0,10	23
06 31 11	6	Kauvonkangas	220	33	± 4	88	± 9	15	2,64	± 0,10	38
06 31 22	Sihtu 1,1	Sihtuuna	400	149	± 10	378	± 18	21	2,54	± 0,10	20
06 31 23	Sihtu 2	Sihtuuna	450	201	± 16	514	± 34	22	2,56	± 0,11	20
06 31 14	Rautu 1,1	Rautuvaara	350	93	± 10	287	± 27	20	3,09	± 0,13	15
06 31 15	Rautu 1,4	Rautuvaara	850	99	± 11	266	± 26	21	2,68	± 0,11	19
06 31 16	Rautu 2,1	Rautuvaara	250	171	± 12	468	± 26	17	2,74	± 0,11	17
06 31 17	Rautu 2,2	Rautuvaara	300	70	± 5	226	± 11	21	3,24	± 0,14	14
06 31 18	Rautu 3,1	Rautuvaara	650	102	± 11	275	± 27	21	2,70	± 0,11	19
06 31 19	Rautu 3,2	Rautuvaara	700	107	± 13	316	± 36	20	2,95	± 0,13	13
06 31 01	Rautu R1.1	Rautuvaara	1360	76	± 8	208	± 19	33	2,74	± 0,11	28
06 31 20	Rautu R2.1	Rautuvaara	2160	92	± 11	272	± 31	29	2,95	± 0,12	30
06 31 21	Rautu R2.2	Rautuvaara	2180	108	± 13	262	± 29	22	2,43	± 0,09	38
06 31 12	PWJ 2006/1	Savukoski	70	117	± 15	194	± 23	15	1,67	± 0,06	25
06 31 13	PWJ 2006/2	Savukoski	80	127	± 13	217	± 20	13	1,71	± 0,07	25