

Sokli-aapa tarjoaa mahdollisuuden geologiseen ja paleobotaniseen aikamatkaan yli 100 000 vuoden taakse

MINNA VÄLIRANTA JA KARIN HELMENS

Jäänjakaja-alueella sijaitsevan Savukosken Soklin (kuva 1) karbonaattiisessa kallioperässä on rotkoomainen eroosiopainanne, joka on tarjonnut topografisen suojapaikan mannerjäätikön kulutusta vastaan sinne edellisen interglasiaalin aikana ja sen jälkeen kertyneille sedimenteille. Soklin sedimenttikerrokset löytyivät jo 1970-luvulla alueella tehtyjen malmietsintöjen yhteydessä. Maaperätutkimuksissa mukana ollut geologi Erkki Ilvonen teki sedimenttisarjoista mikrofossiilianalysejä ja muutamia ajoituksia. Sekä ajoitustulokset että piilevä- ja siitepölyanalyysien tulokset viittasivat siihen, että Soklin sedimenttisarjat olivat alkaneet kerrostua jo edellisen interglasiaalikauden, Eemin, aikana. Alustavat tulokset julkaistiin aikoinaan juuri Geologilehdessä. Tutkimukset Soklissa käynnistyivät uudelleen 1990-luvulla. Tuolloin Lars Forsström julkaisi Eem-vaiheen kattavan siitepölystratigrafian. Vuonna 2002 alueella alkoivat systemaattiset sedimenttikairaukset, joista vastasi Geologian tutkimuskeskus. Grönlannin mannerjäätiköltä sekä Pohjois-Atlantin pohjasta kairatut pitkät jää- ja sedimenttisarjat ovat todistaneet, että Veiksel-vaiheen aikana tapahtui ilmastossa dramaattisia muutoksia. Tutkimusten uudelleenkäynnistämisen lähtökohtana on ollut tuottaa kvantitatiivista, moniin eri lähestymistapoihin perustuvaa paleoekologista ja -ilmastollista tietoa ajanjaksolta, josta hyvin säilyneitä, tarkasti ajoitettuja, terrestrisiä sedimenttisarjoja on niukasti käytettävissä. Nämä Soklissa lähes häiriintymättöminä säilyneet sedimenttisarjat antavat kansainväliselle tutkijaryhmällemme erinomaisen mahdollisuuden jääkausiin liittyvien ilmastonvaihteluiden ja niihin kytköksissä olevien ekologisten muutosten tutkimiseen. Osa Sokli-projektissa työskentelevistä tutkijoista on mukana myös ”RESOLUTION” nimisessä tutkimushankkeessa, jota rahoittaa Euroopan tiedesäätiö. Tämän hankkeen tarkoituksena on tutkia ilmastossa ja ympäristössä tapahtuneita muutoksia mariini-isotooppivaiheiden (MIS) 2 ja 3 aikana eli kattaen ajanjakson n. 17 000–58 000 vuotta sitten. Lisäksi tuloksia hyödynnetään yhteiskunnallisesti tärkeissä tulevaisuutta koskevissa ratkaisuisissa. Käynnissä olevia tutkimuksia nimittäin rahoittavat suomalainen Posiva sekä ruotsalainen SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB), eli tahot, joiden tehtävänkuvaaan kuuluvat ydinvoimaloiden aktiivisten jätteiden loppusijoitusta koskevat kysymykset. Näiden yhtiöiden intresseissä on selvittää,

miten jääkausisykli voi tulevaisuudessa vaikuttaa maidemme maa- ja kallioperään.

Kairausten jälkeen tutkimukset ovat edenneet vaiheittain. Ensimmäisessä vaiheessa sedimenttisarjoista tehtiin tarkat litostratigrafiset kuvaukset ja useita näytteitä ajoitettiin sekä radiohiili- että luminesenssimenetelmiä käyttäen Helsingin Yliopiston Ajoituslaboratoriossa. Litologia vaihtelee sedimenttisarjoissa huomattavasti: diamiktonista ja karkeasta sorasta limnisiin kerrostumiin ja hyvin orgaanisiin kerrostumiin (kuva 2). Tämä osoittaa, että kerrostumisympäristö on ollut dynaaminen vaihdellen voimakasvirtaisesta (glasio)fluviaalisysteemistä stabiilimpaan järvioltaaseen ja limnotelmaattiseen sedimentaatioympäristöön. Nykyisin kairauspistettä peittää usean metrin turvekerros, joka on kertynyt holoseenin aikana. Sedimenttiä aikoinaan kuljettanut vuolas Sokli-joki taas on kutistunut pieneksi suon läpi virtaavaksi puroksi (kuva 3).



Kuva 1. Sokli sijaitsee itäisessä Keski-Lapissa (67°48'N ja 29°18'E, 220 m mpy). Alue kuuluu pohjoisboreaaliseen havumetsävyöhykkeeseen. Ilmasto on viileän temperaattinen: heinäkuun keskilämpötila on 13°C ja helmikuun keskilämpötila puolestaan -14°C. Vuotuinen keskimääräinen sademäärä on n. 500 mm.

Figure 1. Sokli is located in eastern part of central Lapland (67°48'N and 29°18'E, 220 m asl). The region belongs to the northern boreal vegetation zone. The climate is cool temperate: July and February mean temperatures are 13°C and -14°C, respectively. The mean annual precipitation is ca. 500 mm.

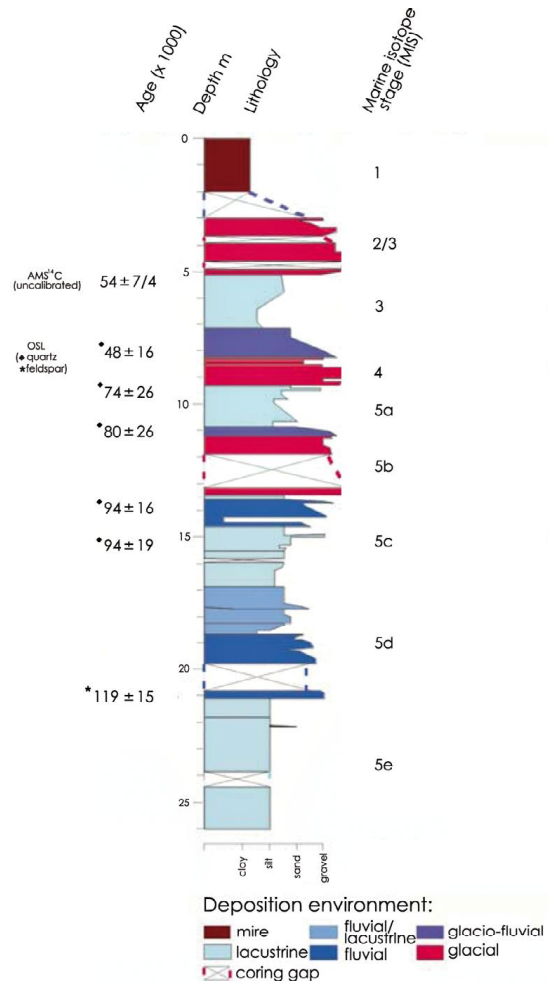
Litostratigrafisten tulosten ja kronologian perusteella Soklin sedimenttisarjat edustavat kokonaista interglasiaali-glasiaali-interglasiaali sykliä kattavaa aikajaksosta ainakin noin 130 000 vuotta pitkän aikajakson Eem-interglasiaalista holoseeniin. Sedimenttisarjat sisältävät Eem- ja holoseeni-interglasiaalisedimenttien lisäksi todistusaineistoa kolmesta interstadiaalista: varhais-Veikselin Brørup (MIS 5c) ja Odderade (MIS 5a) interstadiaaleja vastaavat vaiheet, joista jälkimmäistä vastaa Lapista aiemmin kuvattu Maa-selkä/Peräpohjola-interstadiaali, sekä kolmannelta keski-Veikseliin sijoittuvasta interstadiaalista, joka sittemmin nimettiin löytöpaikkansa mukaan Tulppio-interstadiaaliksi. Varhaisin, Brørup-interstadiaalia vastaava vaihe, nimettiin Sokli-interstadiaaliksi. Stratigrafian ja ajoitusten mukaan Fennoskandian mannerjäätikön reuna saavutti Soklin vasta varhais-Veikselin toisen kylmenemisvaiheen (MIS 5b) aikana eli noin 90 000 vuotta sitten. Tämän jälkeen jään reuna siis vetäytyi vielä kaksi kertaa, jolloin sedimentaatioprosessit lähtivät taas uudelleen käyntiin. Fossiilissa kasvuyhteisöissä jään reunan aseman muutokset näkyvät selvästi; koivua ja mäntyä kasvava metsäinen ympäristö muuttuu puuttomaksi tundraksi ja päinvastoin.

Projektin ensimmäiseen vaiheeseen liittyen sedimenttisarjoista (Sokli A-sarja) tutkittiin alustavasti siitepölyt. Seuraavassa vaiheessa ja uuden sedimenttisarjan (Sokli B) kohdalla on tarkastelun kohteeksi valittu kaksi aikakokonaisuutta – Tulppio- ja Sokli-interstadiaalit, jotka ajoitusten ja litostratigrafian perusteella edustavat ilmastovaiheita MIS 3 (noin 50 000 vuotta sitten) ja MIS 5 d sekä 5 c (115 000 – 95 000 vuotta sitten). Näiden aikajaksojen kohdalla sovelletaan multi-proksi lähestymistapaa, jossa siitepölyjen lisäksi sedimentistä analysoidaan makroskooppiset kasvien jäänteet, surviaissääsken toukkien pääkapselit sekä piilevät. Analyysit toteutetaan suurella ajallisella tarkkuudella. Tuloksiin sovellettavat kvantitatiiviset menetelmät perustuvat muun muassa siitepölyjen ja surviaissääsken pääkapselien osalta laajoihin pinta-aineistoihin ja niin kutsuttuihin moderneihin analogioihin sekä siirtofunktio-analyysihin, joissa nykyistä lajisto-ilmasto-asetelmaa verrataan fossiiliseen lajiaineistoon. Makroskooppiset kasvinjäänteet taas voivat tuottaa tärkeää tietoa vallinneista kasvupaikkajakaumista ja ilmasto-olosuhteista erilaisten indikaattorilajien avulla. Kaikki saatu informaatio kerätään lopussa yhteen ja aineiston pohjalta pyritään luomaan alueellinen paleoilmastomalli.

Tulppio-vaiheen (n. 50 000 vuotta sitten) biostratigrafiset analyysit ovat jo valmiina ja osa aineistosta on jo kirjoitettu julkaisuiksi. Tulokset osoit-

tavat, että Sokli vapautui jääpeitteestä noin 53 000 vuotta sitten. Biostratigrafisiin tuloksiin sovellettu siirtofunktio sekä kerrostumisajankohdalle tuotettu ilmastomalli viittaavat siihen, että tämän interstadiaalin aikana alueella vallitsivat kahteen otteeseen, ainakin heinäkuun keskilämpötilojen osalta, nykyisen kaltaiset olosuhteet. Näitä jaksoja erottaa kylmempi vaihe. Lämpimät vaiheet olivat ilmeisesti liian lyhyitä, jotta metsäkasvillisuus olisi ehtinyt levitä paikalle. Siitepölykoostumus kuitenkin viittaa siihen, että lähimmät puut eivät sijainneet kovin kaukana.

Sokli-interstadiaalin (115 000 – 95 000 vuotta sitten) tutkimukset ovat vielä keskeneräiset, mutta on jo nyt selvää, että kasvimakrofossiilianalyysien tulokset ovat paleokasvimaantieteellisesti mie-



Kuva 2. Litostratigrafinen kuvaus Sokli B-sarjan sedimenttisarjasta. Tästä sarjasta multi-proksi tutkimuksiin on valittu MIS 3 ja MIS 5 d ja c vaiheita edustavat kohdat.

Figure 2. Lithostratigraphical description of Sokli B-series borehole. From this sequence time periods MIS 3 and MIS 5 d-c were chosen to be examined by multi-proxy methods.

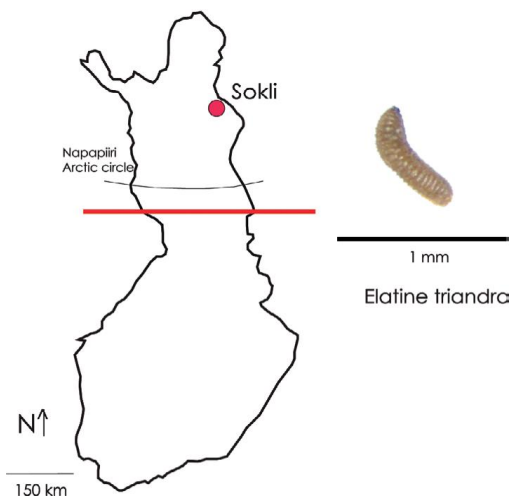


Kuva 3. Sokli "joki" nykyisessä muodossaan. *Figure 3. Current Sokli "River"*.

lenkiintoisia. Sedimenttisarjasta on löytynyt paljon tärkeitä ilmastoindikaattorilajeja (esim. havupuun jäänteitä), mutta myös useita muita mielenkiintoisia muun muassa ruohovartisia kasvilajeja, joiden nykyiset tunnetut kasvupaikat sijaitsevat huomattavasti etelämpänä tai lännempänä (kuva 4). Lämpötilan tai kasvukauden pituuden lisäksi tulokset saattavat antaa tärkeätä tietoa ilmaston mantereisuudesta tai mereisyydestä. Lisäksi joukossa on lajeja, joiden leviämishistorian katsotaan holoseenin aikana hyötynneen ihmistoiminnasta, joten fossiilinen lajisto tarjoaa mahdollisuuden ymmärtää jääkausien aikaista ja jälkeistä kasvisukcessiodynamiikkaa.

Soklin sedimenttisarjat tarjoavat Fennoskandian ja Pohjois-Atlantin aluetta yleisemminkin ajateltuna uutta ja ainutlaatuista tietoa Veiksel-vaiheen mannerjäätikön dynamiikasta sekä silloisista ilmasto-olosuhteista, jotka heijastuvat fossiilisissa eliöyhdyksissä. Tulokset tukevat viimeaikaisia tutkimuksia siinä, että mannerjäätikön koko on suuresti vaihdellut ja osia Suomen maankamarasta on jääkauden aikana ollut toistuvasti paljaana. Kansainvälinen tutkimusryhmämme jatkaa tutkimuksia Veiksel-vaiheen sedimenttisarjojen parissa. Seuraava luonteva vaihe olisi siirtyä ajassa taaksepäin eli edelliseen interglasiaaliin Eemiin. Aikaisemmissa kairauksissa Eem-sedimenteistä saatiin kairattua ainoastaan epäyhtenäisiä osia, joten uusia kairauksia tarvittaisiin täydellisen sarjan nostamiseen. Tämän tärkeän ja paleoekologisesti mielenkiintoisen

ilmastovaiheen sedimentit odottavat Soklissa tutkijoita häiriintymättöminä vielä muutaman vuoden. Tämän jälkeen alueella luultavasti alkaa paikalliseen fosfaattiesiintymään liittyvä kaivostoiminta. Soklin Eem-tarinan pelastamisella on siis kiire!



Kuva 4. Subfossiilinen kolmihedevesirikon (*Elatine triandra*) siemen. Tämä vesikasvi on esimerkki lajista, jonka nykyinen levinneisyysalue (punainen viiva) ei ulotu Soklin korkeudelle asti.

Figure 4. Subfossil seed of Elatine triandra. Currently this aquatic species has a more southerly distribution (indicated by a red line).

Sokliin liittyvää kirjallisuutta - Sokli-related literature

- 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.
- Helmens, K., Räsänen, M.E., Johansson, P.W., 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.F., Johansson, P.W., Räsänen, M.E., Alexanderson, H. ja Eskola, K.O. 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.
- Helmens, K.F., Bos, J.J.A., Engels, S., Meerbeeck van, C.J., Bohncke, S.J.P., Renssen, H., Heiri, O., Brooks, S., Seppä, H., Birks, H.J.B. ja Wohlfarth, B. Present-day temperatures in northern Scandinavia during the Last Glaciation. *Geology*, in press.
- Ilvonen, E. 1973. Eem-kerrostuma Savukosken Soklilla. *Geologi* 25:81-84.
- Vartiainen, H. 1980. The petrography, mineralogy and petrochemistry of the Sokli carbonatite massif, Northern Finland. *Geological Survey of Finland, Bulletin* 313:126 s.

English summary

Glacial, botanical and climatic history expanding beyond 100 000 years before present provided by sediments underlying the Sokli-aapa, northern Finland

An erosional depression carved into the carbonatite bedrock at Sokli, situated in Savukoski, northern Finland (figure 1), has provided a shelter against glacial abrasion for sediments that were deposited there since the last interglacial. Sokli sediments were discovered already in 1970's thanks to mine prospecting. The Finnish geologist Erkki Ilvonen carried out biostratigraphical (pollen and diatoms) and chronological analyses that suggested that the sediment sequence started to deposit already during the last, Eemian, interglacial. Research of Sokli sediments re-started in the 1990's when Lars Forsström provided a detailed pollen analysis for the Eemian sediments. In winter 2002 systematic coring performed by the Geological Survey of Finland resulted in a near complete sediment recovery from the central part of the depression. According to data derived from Greenland ice cores and North-Atlantic marine sediments, large and rapid climate changes occurred during the Weichselian. The aim of the current project is to provide quantitative multi-proxy data from this interesting time

period of which very few complete well-dated terrestrial sequences exist. The quantitative transfer function approach is applied to the proxy data for climate reconstruction. Correlation with marine and Greenland ice core data will hopefully allow us to understand the mechanisms underlying the climate changes. Sokli-project will also contribute to the 'RESOLuTION' project funded by European Science Foundation that aims to elucidate climatic and environmental shifts during the oxygen isotope stages 2 and 3, using terrestrial, marine and ice core archives. In addition, Sokli project includes social and economical aspects by providing important information for our financiers Finnish Posiva and Swedish SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB). These companies are responsible for disposing of nuclear waste in the near future and it is in their interest to understand the influence of past glacial dynamics on our bed rock and ground.

The lithology of the Sokli sedimentary sequence varies considerably: from glacial diamicton to fluvial gravels and sands, and to limnic sediment including organic-rich gyttja (figure 2). This indicates that the depositional environment has changed through time from high energy environments to more quiet lake conditions. The coring site is currently covered by a several meters thick peat layer and the ancient Sokli River has turned to a small rivulet (figure 3).

Since 2005 detailed multi-proxy studies have been carried out for the Weichselian interstadial deposits. According to lithological, palynological and chronological data, Sokli sediments represent the last interglacial (Eemian)-glacial (Weichselian) cycle and the Holocene, thus covering at least the last 130 000 years. In addition to Eemian and Holocene interglacial sediments, three interstadials are represented in the sedimentary sequence, correlated to the Early Weichselian Brørup (around 100 000 years BP) and Odderade Interstadials (80 000 years BP), and additionally one interstadial of Middle Weichselian age (50 000 yr BP). The oldest interstadial was named as Sokli Interstadial and the middle interstadial correlates to Maaselkä/Peräpohjola Interstadial defined earlier from Finnish Lapland. The youngest interstadial was named after a local village as Tulppio Interstadial. The ice margin of the Scandinavian Ice Sheet reached Sokli area not until ca. 90 000 years ago. After this, the ice margin retreated twice. These findings support recent studies suggesting that the size of the Scandinavian Ice Sheet varied considerably throughout the glacial time and that large areas of Finland were repeatedly free of ice.

Data from the Tulppio Interstadial are ready and some of the data has already been published. Results provide evidence of a period of rapid climate warming to surprisingly warm, present-day conditions next to the retreating margin of the Scandinavian Ice Sheet ca. 50 000 years ago. These results significantly challenge the present concept of climate conditions on the northern European continent during the Middle Weichselian.

Studies of the Sokli Interstadial deposit are in progress. Based on preliminary plant macrofossil results, it is however clear that also this data will provide interesting insights in vegetation dynamics and climate conditions for this Early Weichselian interstadial.

Sokli sediment sequence can provide unique information about natural climate variability in Scandinavia and Weichselian ice margin dynamics. The studies of the Weichselian sediments will still continue. The natural next step would be to move back in time – to the Eemian sediments. Unfortunately only fragmented cores are available at the moment. A new coring session concentrating on the Eemian sediments would be essential to complete studies at Sokli before mining activities start at the area within the next few years. There is, however, a severe threat that time is running out and a rare Finnish Eemian site will be missed.

Lista yhteistyökumppaneista, jotka ovat olleet tai ovat mukana Sokli-tutkimuksissa:

A list of scientists related to Sokli-studies:

Finland:

M. Väiliranta, H. Seppä, J. Weckström ja K.O. Eskola (University of Helsinki)

M.E. Räsänen (University of Turku)

P. Johansson (Geological Survey of Finland)

Sweden:

K.F. Helmens (SOKLI project leader), J. Risberg, P. Kaislahti-Tillman, A. Berntsson, B. Wohlfarth ja H. Alexanderson (Stockholm University)

Norway:

H.J.B. Birks (University of Bergen)

The Netherlands:

J.A.A. Bos, J.A.A., S. Engels ja S.J.P. Bohncke (Vrije Universteit Amsterdam)

O. Heiri (Utrecht University)

U.K.:

S.J. Brooks (The Natural History Museum, London)

Minna Väiliranta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos/ECRU
PL 65, 00014 Helsingin Yliopisto

sekä

Geologian laitos

PL 64, 00014 Helsingin Yliopisto

email: minna.valiranta@helsinki.fi

Karin Helmens

Institutionen för naturgeografi
och kvartärgeologi

10691 Stockholm, Sverige

email: karin.helmens@natgeo.su.se

MERKKIPÄIVIÄ

31.10.	Aimo Mikkola	90 v.	1.11.	Matti Saverikko	60 v.
3.11.	Risto Aario	70 v.	21.11	Antero Karvinen	60 v.
13.11.	Erkki Vornanen	70 v.			

Edellisessä lehdessä oli virheellinen tieto Aimo Mikkolan syntymäpäivästä. Toimitus pahoittelee virhettä.