

Karhu kiertää...

Karhu kiertää -palstalla seurataan geologian alan uusia väitöksiä

25.11.2011 Niko Putkinen (OY)

Late Weichselian deglaciation chronology and palaeoenvironments in northern Karelia, NW Russia

Skandinavian mannerjäättikkö (SIS) oli yksi Euroasian mantereen suurimmista mannerjäättiköistä Veiksel-jääkaudella. Se levittyi laajoille alueille saavuttaen maksimilaajuutensa idässä 18 000–15 000 vuotta sitten peittäen alleen mm. koko Fennoskandian. Etenemistä seurannut deglasiaatio tapahtui Vienan Karjalassa 13 000–11 000 vuotta sitten.

Työn tarkoituksena oli selvittää jäätikkövirtausten dynamiikkaa, deglasiaatiokronologiaa sekä Vienanmeren kehitystä – siis paleoympäristön muutosta alueella, jossa esiintyy useita Nuorempaan Dryakseen rinnastettuja reunamuodostumia. Työn selkärangan muodosti alueen muinaisten jäätikkövirtausten tutkimus geomorfologisin perustein ja kartoitusmenetelmin satelliitti- ja ilmakuvilta. Jäätikkövirtaukset ovat mannerjäättiköiden valtimoita, jotka toimivat linkkinä ilmaston muutokseen ja mannerjäättikön vasteeseen jakaen suuret määrät jäätä, vettä ja sedimenttiä jään reunaan ja ympäröiviin vesialtaisiin ja lopulta meriin. Jäätikkövirtaukset ovat tyypillisesti kymmeniä kilometrejä leveitä ja useita satoja kilometrejä pitkiä viuhkan muotoisia mannerjäättiköstä selvästi erottuvia osia. Nykyisen glasiaaligeologisen tutkimuksen fokus onkin muinaisissa mannerjäättiköissä esiintyneiden jäätikkövirtausten geomorfologisin ja sedimentologisin perustein tehtävässä tutkimuksessa.

Tutkimusalueella jäätikön fysikaalisten perustekijöiden lisäksi deglasiaatiota ajoivat eteenpäin myös paikalliset tekijät, joista merkittävimpiä olivat Vienanmeren altaaseen padotun laajan jääjärven pinnan korkeuden vaihtelut. Työhön liitettiin kiinteästi em. jääjärven evoluution tutkiminen Nuoremman Dryaksen ja Holoseenin välillä. Tutkimuksen pohjaksi kerättiin laajalti rantapinta- ja rannansiirtymishavaintoja nykyisen Vienanmeren altaan läntisiltä alueilta. Näillä tutkimusmatkoilla alueen altaista kairattiin useita näytesarjoja AMS ¹⁴C- ja paleomagneet-



tiseen ajoitukseen sekä konventionaaliseen järvisedimenttitutkimukseen.

Tulokset osoittavat em. jääjärven pinnan korkeuden todellakin kontrolloineen mannerjäättikön monivaiheista deglasiaatiokehitystä alueella, jonka luonteen kannalta merkittävin yksittäinen tapahtuma oli hieman yli 12 000 vuotta sitten sattunut jääjärven purkaus Kuolan niemimaan itäpäässä Gorlo Straitin kautta Barentsinmereen. Tässä tapahtumassa ko. alueella sijainnut este petti ja laajan altaan pinta laski äkillisesti 50–60 metriä paljastaen laajat alueet veden alta. Näihin aikoihin jään reuna oli vetäytynyt 20–30 kilometrin päähän 12 500–12 300 vuotta sitten syntyneen Rukajärven reunamuodostuman itäiseltä kaarelta. Purkaus ei aiheuttanut varsinaista jäätikkökielekkeiden uudelleen järjestäytymistä, mutta laajojen alueiden nopea jääminen kuivaksi maaksi luonnollisesti muutti väliaikaisesti deglasiaatiokehitystä.

Deglasiaation näkyvimmat merkit alueen maankamarassa syntyivät jääjärven purkautumisen jälkeen. Tässä kehityksessä alueelle syntyi kaikkiaan kolme suurta reunamuodostumakaarta, joiden deltojen pin-

nat edustavat luonnollisesti ns. matalan veden aikaa. Näitä tutkimalla sekä muodostumien viereisten altain pohjasedimenttejä ajoittamalla osoittautui, että Suomen Salpausselkiä vastaavien Kalevalan- ja Pääjärven reunamuodostumien synty ajoittuu varsinaisen jäätiköiden kasvukauden eli Nuoremman Dryaksen ilmaston viilenemisen jälkeiseen aikaan. Em. muodostumat syntyivät noin 100–500 vuotta aikaisemmin luultua myöhemmin: Kalevalan reunamuodostuma 11 400–11 300 vuotta sitten ja Pääjärven reunamuodostuma noin 11 000 vuotta sitten. Tämä osoittaa suurten jäätikkökielekkeiden toimineen alueella, vielä lämpimällä Holoseenikaudella. Edellä mainittuja muodostumakaaria vanhempi, myös Salpausselkiin rinnastettu Koitereen eteläpuolelta kulkeva Rukajärven reunamuodostuman läntinen kaari, näyttää syntyneen 11 700–11 600 vuotta sitten. Tutkimusten valossa Luoteis-Venäjän Nuoremman Dryaksen reunamuodostumat eivät näytä syntyneen tarkalleen Suomen Salpausselkien aikoihin. Tämä on luonnollista, sillä muodostumat ovat syntyneet eri jäätikkövirtausten eteen, joista kukin toimi oman dynamiikkansa sanelemana.

Tutkimustulokset tuovat hyvän tarkennuksen sekä alueen deglasiaatiokronologiaan että glasiaalgeomorfologiseen kuvaan. Lisäksi työssä esitetty jääjärven lasku luo hyvän pohjan spekulatiolle tapahtuman vaikutuksista Fennoskandian Nuoremman Dryaksen lopun ilmastokehitykseen ja edelleen jäätikkövirtausten toimintaan.

18.5.2012 Jorma Mäkelä (TY)

Drilled well yield and hydraulic properties in the Precambrian crystalline bedrock of Central Finland

Kallioporakaivojen tuottoa ja hydraulisia ominaisuuksia sekä niiden yhteyksiä erilaisiin ympäristötekijöihin tutkittiin Keski-Suomen peruskallioalueella. Tutkimusaineisto koostui 2 352 yksityiskaivosta ja 73 koekaivosta. Kaivojen rakennus- ja pumppaustietojen perusteella määritettiin tilastollisesti kaivojen hydrauliset muuttujat, joita olivat normalisoitu tuotto, ominaiskapasiteetti, kapasiteettindeksi, vedenjohtokyky ja vedenjohtavuus. Lähes 60

erilaista ympäristötekijää määritettiin. Ne jaettiin viiteen ryhmään: rakennustekniset, geologiset, topografiset, lineamentti- ja valuma-alue-tekijät. Lisäksi tuloksia tarkasteltiin seismotektoniikan näkökulmasta.

Keski-Suomeen on rakennettu noin 9 000 kallioporakaivoa. Kaivoja käytetään useimmiten yksittäisten kotitalouksien ja maatilojen vedenhankintaan. Noin kolmekymmentä kyläkuntaa ja taajamaa käyttää kallioperän pohjavettä yleiseen vedenhankintaan. Suurimmissa asutuskeskuksissa kallioporakaivot voivat toimia vedenottoaikkoina erilaisissa kriisitilanteissa. Vesipaineaukaisun avulla voidaan lisätä pieni- ja keskituottoisten porakaivojen tuottoa.

Tutkimusaineistossa porakaivojen mediaanisyyvyys on 73 metriä ja mediaanituotto 700 litraa tunnissa (Lhr^{-1}). Hydraulisten muuttujien mediaaniarvot ovat seuraavat: normalisoitu tuotto $12 \text{ Lhr}^{-1} \text{m}^{-1}$, ominaiskapasiteetti $50 \text{ Lhr}^{-1} \text{m}^{-1}$, kapasiteetti-indeksi $2,1 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$, vedenjohtokyky $7,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$ ja vedenjohtavuus $1,1 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$. Samansuuntaisia tuloksia on saatu muuallakin maailmassa kiteisen kallioperän oloissa huolimatta erilaisista kivilajeista, ilmastosta ja tektoniikasta. Tämän otaksutaan aiheutuvan kallioperän yhdenmukaisista rakoiluominaisuuksista. Normalisoitua tuottoa, ominaiskapasiteettia ja kapasiteetti-indeksiä voidaan käyttää vedenjohtokyvyn ja vedenjohtavuuden alueelliseen arviointiin, kunhan muuttujien keskinäiset riippuvuus-suhteet on ensin tilastollisesti määritetty.

Kallioperän vedenjohtavuus ja porakaivojen tuotto pienenevät syvyyden funktiona. Kaivoalueen maa-lajityypillä ja maapeitteen paksuudella ei ole suurta vaikutusta kaivojen tuotto-ominaisuuksiin. Kivilajierot kaivoalueilla ovat merkityksettä kaivojen tuoton kannalta. Myöskään pintavesistöillä ei ole yhteyttä kaivojen tuotto-ominaisuuksiin. Jääkauden jälkeisen maankohoamisen nopeus tai Itämeren muinaisrantojen korkeustaso eivät ole yhteydessä porakaivojen tuotto-ominaisuuksiin. Sen sijaan kaivojen topografisella sijainnilla on vaikutusta kaivojen syvyyteen ja tuottoon: laaksokaivot ovat selvästi matalampia ja suurituottoisempia kuin kohoumille rakennetut kaivot. Myös kaivojen etäisyys lähimpään kalliokohoumaan ja valuma-alueen suhteelliset korkeuserot ovat yhteydessä kaivojen tuotto-ominaisuuksiin. Porakaivojen etäisyydellä lähimpään lineamenttiin (kallioruhjeeseen) ja lineamenttien suunnalla ja pituudella on merkittävä vaikutus kaivojen tuottoon ja hydraulisiin ominaisuuksiin. Sen sijaan etäisyys lineamenttien risteyskohtiin ja risteyskohtien lukumäärä valu-

ma-alueella eivät ole yhteydessä kaivojen tuotto-ominaisuuksiin.

Ruhjevyyhykkeiden tektonisilla liikunnoilla on erityisen merkittävä vaikutus porakaivojen tuotto-ominaisuuksiin. Pohjois-Fennoskandiaan viime jääkauden lopulla syntyneiden suurten kalliosiirosten tapaan myös Keski-Suomen lounais-koillis- ja kaakko-luodesuuntaiset kallioruhjeet mitä todennäköisimmin aktivoituivat suurissa maanjäristyksissä noin 10 000 vuotta sitten. Tämä selittää hyvin näiden ruhjeiden tavallista paremman kaivotuoton ja vedenjohtavuuden. Samaan tapaan on ruhjevyyhykkeiden vedenjohtavuus saattanut kasvaa laajemminkin Fennoskandiassa ja myös Pohjois-Amerikassa alueilla, jotka olivat aikoinaan mannerjäätikön peittämiä. Ydinjätteen loppusijoitustutkimusten yhteydessä on jääkauden lopun maanjäristyksiin kiinnitetty huomiota. Tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että kallioiperän pohjavesioloista ja kallioruhjeiden aktivoitumisesta jääkauden lopulla tulee hankkia lisätietoa.

Yhteisvedenhankintaan soveltuvien suurituottoisten ($\geq 4\,000\text{ Lhr}^{-1}$) porakaivojen paikkojen määrittäminen tulee aloittaa ruhjekartoituksella. Olennaista on kyetä määrittämään ne ruhjevyyhykkeet, jotka ovat optimaalisesti suuntautuneet kulloisessakin kalliojännityskentässä ja/tai jotka ovat geologisesti hiljattain aktivoituneet. Niinpä työntösiirrosalueilla kannattaa etsiä ruhjevyyhykkeitä, jotka ovat suuntautuneet kohtisuoraan suurinta vaakasuuntaista kalliojännitystä (S_H) vastaan. Normaalsiirrosalueilla tuottoisimmat ruhjeet ovat horisontaalijännityksen suuntaisia. Sivuttaissiirroskentillä hyviä kaivonpaikkoja tarjoavat ruhjevyyhykkeet ovat joko likimain horisontaalijännityksen suuntaisia tai leikkaavat sitä tietyssä kulmassa ($< 45^\circ$). Ruhjevyyhykkeiden suunnan lisäksi niiden kaade ja pituus ovat tärkeitä aktivoitumiseen ja tätä kautta vedenjohtavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Keski-Suomessa lyhyet ($< 2\text{ km}$) kaakko-luodesuuntaiset ruhjeet ja keskipitkät-pitkät ($2\text{--}15\text{ km}$) lounais-koillis-suuntaiset ruhjeet sopivat parhaiten suurituottoisten porakaivojen rakentamiseen. Niiden keskiosissa (horisontaalinen etäisyys $\geq 100\text{ m}$) porakaivojen tuotto on parhaimmillaan. Suurituottoisia porakaivoja on eniten maastollisesti alavilla alueilla kaukana kallio-kohoumilta. Alueelliset kaivokartoitukset ovat suositeltavia maastotutkimusten yhteydessä.

Suurituottoisten kaivonpaikkojen määrittäksiä varten tutkimuksessa laadittiin Keski-Suomen kallio-perästä hydrotektoninen malli. Sen perustan muodostaa ruhjevyyhyke-jännityskenttäanalyysi. Lisäksi

mallissa esitetään seisminen nopeusalue ($3\,600\text{--}4\,200\text{ ms}^{-1}$), jossa kallioruhjeiden vedenantoisuus on koekaivohavaintojen mukaan suurimmillaan. Kyläkuntien ja taajamien vedenhankintaan tarkoitetuissa porakaivoissa tulee tehdä pitkäaikaiset koepumppaukset veden määrän ja laadun varmistamiseksi.

24.5. 2012 Sakari Salonen (HY)

Quantitative climate reconstructions based on fossil pollen: novel approaches to calibration, validation, and spatial data analysis

Väitöstudiumissa selvitettiin Pohjois-Euroopan ilmastosta viimeisten noin sadan tuhannen vuoden aikana. Tutkimus perustuu Euroopan puoleisen Pohjois-Venäjän tundra-alueelta ja Pohjois-Suomesta kerättyihin kasvifossiiliaineistoihin. Tutkimus edustaa paleoklimatologiaa eli tutkimusalaa, joka pyrkii selvittämään ilmastossa erittäin pitkällä aikavälillä, tuhansien ja miljoonien vuosien aikana tapahtuneita muutoksia.

Tutkimuksessa tehtiin niin sanottuja rekonstruktioita Pohjois-Euroopan ilmastosta ja kasvillisuudesta fossiiliaineistojen perusteella: tuhansien vuosien takaisen ilmastojen ja kasvillisuuden piirteitä arvioitiin tutkimalla eri-ikäisissä maaperän kerrostumissa säilyneitä fossiileita. Tässä tutkimuksessa erityishuomion kohteena olivat fossiiliset siitepölyhiukkaset. Fossiilisten siitepölyn lajisuhteiden perusteella arvioitiin muinaisten ilmastovaiheiden lämpötiloja käyttämällä erilaisia tilastollisia menetelmiä.

Yksi väitöstudiumin keskeisistä tuloksista koskee Euroopan puoleisen Pohjois-Venäjän tundra-alueen herkkyyttä ilmastosta lämpenemiselle. Tutkimuksessa selvitettiin kasvillisuuden ja lämpötilan muutoksia tällä alueella noin 5 000 vuotta sitten, nykyistä selvästi lämpimämmän ilmastovaiheen aikana. Tulosten perusteella lämpötila oli 5 000 vuotta sitten noin $2,5\text{ }^\circ\text{C}$ nykyistä korkeammalla. Samalla havumetsän pohjoisraja oli n. 150 km pohjoisempaa, kaukana nykyisellä tundra-alueella. Myös ikeroudan määrä alueella oli tuolloin huomattavasti nykyistä pienempi. Nämä suuret ympäristömuutokset osoit-

tavat Euraasian pohjoisen tundra-alueen olevan erittäin herkkä ilmaston muutoksille. Pohjoisen Euraasian on ennustettu lämpenevän tämän vuosisadan aikana useilla asteilla, mikä saattaa tämän tutkimuksen tulosten perusteella aiheuttaa suuria muutoksia alueen kasvillisuudessa ja ikiroudassa.

Tutkimuksessa analysoitiin lisäksi erilaisia tilastollisia menetelmiä, joita käytetään paleoklimatologiassa ilmastoarvioiden tekemiseen fossiilien perusteella. Tulosten mukaan eri tilastolliset menetelmät näyttävät tuottavan jossain määrin erilaisia ilmastoarvioita. Muinaisten ilmastojen rekonstruktioit olivat kuitenkin pääpiirteiltään samanlaisia riippumatta siitä, mitä tilastollista menetelmää käytettiin. Tämä viittaa siihen, että ilmastojen keskeisimpiä piirteitä voidaan luotettavasti arvioida fossiiliaineistojen perusteella.

26.5.2012 Aku Heinonen (HY)

Isotopic evidence for the origin of Proterozoic massif-type anorthosites and their relation to rapakivi granites in southern Finland and northern Brazil

Tässä työssä tutkittiin Etelä-Suomesta tunnettujen n. 1600 miljoonaa vuotta vanhojen rapakivigraniittien ja anortosiittien geokemiallisia koostumuksia ja vertailtiin niitä Pohjois-Brasiliasta, syvältä Amazonin sademetsästä, löydettyjen samanlaisten kiven koostumuksiin. Molemmilla alueilla tutkittujen kiven koostumukset todettiin hyvin samankaltaisiksi ja seurueet miltei samanikäisiksi keskenään.

Suomalaiset rapakivigraniitit ja niihin kiinteästi liittyvät tummat, anortosiittiset, kivilajit ovat olleet petrologisten tutkimusten kohteena jo 1800-luvun lopulta lähtien. Nykyään rapakiviä tunnetaan kaikilta mantereilta ja niiden syntymekanismeja tutkitaan aktiivisesti ympäri maailman.

Uraani-lyijy-ikänmäärittämenetelmän perusteella rapakivigraniitit ja anortosiitit ovat saman ikäisiä keskenään molemmilla tutkimusalueilla, Mäntyharjulla sijaitsevassa Ahveniston rapakivikompleksissa ja Pohjois-Brasiliassa, Mucajain rapakivikompleksissa. Ahveniston kiven iäksi määritettiin n. 1640 ja Muca-

jain n. 1525 miljoonaa vuotta. Nuorimmat Lounais-Suomesta tunnetut rapakiviesiintymät ovat saman ikäisiä kuin Mucajai-kompleksi.

Aiemmin kokokivinäytteistä tehtyjen neodyymi- ja strontium-isotooppimittausten perusteella on saatu viitteitä siitä, että Etelä-Suomen anortosiittiset kivilajit olisivat peräisin maapallon vaipasta ja että samaan aikaan syntyneet rapakivigraniitit edustaisivat maapallon kuorikerroksen osittaisia kivisulua. Tässä tutkimuksessa vertailtujen Ahveniston ja Mucajain kivilajien neodyymi-isotooppikoostumusten havaittiin paitsi tukevan tätä olettamusta myös olevan keskenään hyvin samankaltaiset.

Lisäksi kivilajien tutkimukseen sovellettiin uutta menetelmää, joka hyödyntää yksittäisistä zirkonimineraalin kiteistä tehtyjä hafnium- ja happi-isotooppimittauksia. Näiden menetelmien avulla saatiin yksityiskohtaisempaa tietoa graniitit ja anortosiitit synnyttäneiden kivisulien kehityksestä ja voitiin vahvistaa kokokivinäytteistä mitatut tulokset.

Seurueiden samankaltaisuus tukee myös SAM-BA-supermannerteoriaa, jonka mukaan Fennoskandian ja Pohjois-Amazonian mannerlaatat olisivat keskiproterotsooisella ajalla, noin 1500 miljoonaa vuotta sitten, olleet lähellä toisiaan ja mahdollisesti muodostaneet yhtenäisen supermantereen osan.

