

Karhu kiertää – viimeaikaisia geologian alan väitöksiä

16.10.2015, Elina Sahlstedt, Helsingin yliopisto

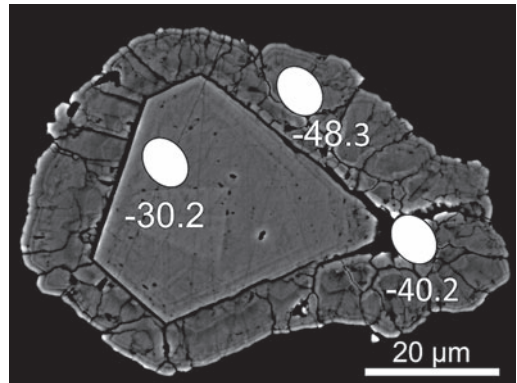
Mineraalien stabiili-isotooppikoostumus rapakohjavesien kehityksen arkitona Eurajoen Olkiluodossa (Stable isotope composition of mineral proxies as a record of fluid evolution in fractured bedrock, the Olkiluoto site, Finland)

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää muinaisten pohjavesien evoluutiota Eurajoen Olkiluodossa, jonne ollaan rakentamassa ydinjätteiden loppusijoitustiloja. Tutkimuksessa käytettiin hyväksi rapakopille kieteyntyneitä sekundäärisiä mineraaleja, keskittyen erityisesti myöhäisimpään rakomineraaligeneraatioon. Tutkimuksessa rekonstruoiitiin fluidien alkuperää ja geokemiallisessa ympäristössä tapahtuneita muutoksia käyttäen hyväksi erityisesti rakokalsiittien ja pyriittien stabiilien happi-, hiili- ja rikki-isotooppien koostumuksia. Erityisen mielenkiintoisia tuloksia saatiin hyödyntämällä sekundääri-ionimassaspektrometriä (SIMS), jonka avulla isotooppikoostumusten vaihteluita voitiin tarkastella mikrometrimittakaavalla rakomineraalifaaseista (kuva 1).

Tutkimuksessa havaittiin, että suurin osa rapakopintojen sekundäärisistä mineraaleista edusti varhaista hydrotermista fluidien kier-



toa kallioperässä, joka todennäköisesti liittyy mesoproterotsoosiin rapakivi- ja diabaasi-intuusioihin alueella. Tätä varhaista hydrotermistä kiertoa seurasi voimakassuolaisten fluidien kierto, josta on havaittu viitteitä myös muilta kohteilta Suomesta ja Ruotsista. Myö-



Kuva 1. Takaisinsirontaelektronikuva pyriittirakeesta, josta on määritetty rikki-isotooppikoostumus SIMS-menetelmällä. Sisempi, omamuotoinen pyriittikide ja sen päälle kieteytynyt pyriittikide ovat vyöhykkeisiä ja eroavat rikki-isotooppikoostumukseltaan selkeästi toisistaan. Kuvassa rikki-isotooppikoostumus on annettu $\delta^{34}\text{S}$ -arvoina (promilleina suhteessa VCDT-standardiin). Kuva: Elina Sahlstedt

häisintä, matalan lämpötilan rakomineraali-
muodostusta edustavat pienet, < 100 µm, kal-
siitti- ja pyriittikiteymät avoimilla rakopinnoil-
la. Näiden kiteymien $\delta^{13}\text{C}$ - ja $\delta^{34}\text{S}$ -arvot vaih-
televat voimakkaasti. Suuret vaihtelut $\delta^{13}\text{C}$ - ja
 $\delta^{34}\text{S}$ -arvoissa yhdistettiin biogeenisiin proses-
seihin kalliopohjavesissä. Kalsiitin $\delta^{13}\text{C}$ -arvois-
sa oli havaittavissa syvyyden mukaista vaihte-
lua: $\delta^{13}\text{C}$ -arvot viittasivat orgaanisen aineksen
hajoamiseen pohjavesissä lähellä maan pintaa
(0–30 m), paikalliseen metanotrofiaan n. 34–
54 m syvyydellä ja metanogeneettiseen toiminta-
an syvällä kalliopohjavesissä (54–400 m).
Pyriitin $\delta^{34}\text{S}$ -arvojen vaihtelut puolestaan viit-
tasivat biogeeniseen sulfaatin pelkistykseen
ja monimutkaiseen, sykliseen



SO_4 -kiertoon rakosysteemeissä. Tämä myöhäisin rakomineraali-
generaatio on kiteytynyt todennäköisesti pidemmän ajan kulu-
essa, eivätkä mineraalit pääsääntöisesti edusta niitä pohjavesiä,
joita nyt tavataan rakosysteemeissä.

Tutkimuksessa saatiin näin arvokasta uutta tietoa pohjave-
sien geokemiallisesta evoluutiosta Olkiluodossa, jota voidaan tu-
lvaisuudessa hyödyntää määrittäessä reunaehtoja pohjavesi-
olosuhteissa tapahtuville muu-
toksille.

Tarkemmin Elina Sahlsted-
tin tutkimuksesta Geologiassa 2/
2016 (Sahlstedt, E., 2016. Ki-
veen hakattu kertomus pohjave-
sistä: rakomineraalit paleopohja-
vesien viiteaineistona. Geologi
68:56–62).

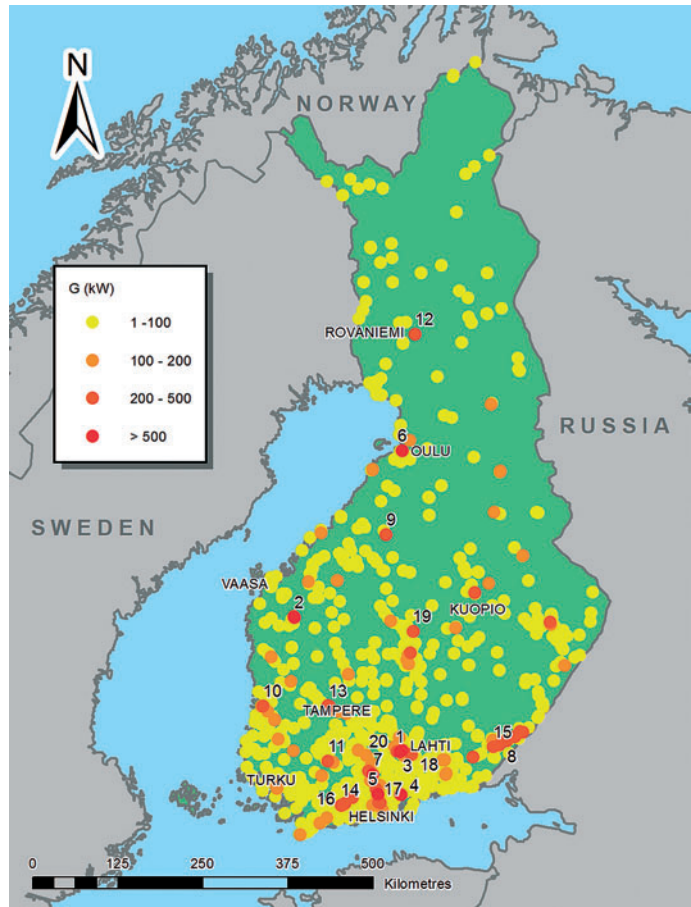
Väitöskirja verkossa:

<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/156586>

18.12.2015, Teppo Arola,
Helsingin yliopisto

Pohjavesi energiavarastona Suomessa (Groundwater as an energy resource in Finland)

Ilmastolliset muutokset, perinteisten
energiavarastojen rajallisuus ja energia-
poliittiset tekijät ovat pakottaneet valtiot lisää-
mään uusiutuvien energialähteiden käyttöä.
Pohjaveden hyödyntäminen on Suomessa lä-
hes kokonaan liitetty juomavesikäyttöön ja si-
ten pohjavettä ei yleisesti käytetä tai tunnista-
ta energialähteenä. Tämä tutkimus antaa poh-



Kuva 2: Potentiaaliset pohjavesienergia-alueet Suomessa. Kuva:
Teppo Arola

Karhu kiertää

javesigeologiseen, termogeologiseen ja rakennusten energiankulutustietoihin perustuvaa tietoa pohjavesienergian hyödyntämisestä.

Työn tarkoituksena oli kartoittaa ja tutkia pohjaveden energiakäytön mahdollisuutta Suomessa. Tutkimus tehtiin kolmessa osassa; ensin kartoitettiin koko maan kattava asuin- ja/tai teollisuuskäytössä olevien luokiteltujen pohjavesialueiden lämmitysenergiapotentiaali. Sen jälkeen tutkittiin miten kaupungistuminen on vaikuttanut pohjaveden lämpötilaan ja siten pohjaveden lämmitys- ja jäähdytysenergiapotentiaaliin Turun, Lohjan ja Lahden alueilla. Viimeisessä osiossa tutkittiin pohjaveden pitkäaikaista energiapotentiaalia 20 kerrostalon, 3 rivitalon ja kauppakeskuksen energiatarpeisiin alueella, jossa pohjaveden luonnontilainen lämpötila on 4,9 °C.

Pohjavedestä laskettua lämmitys- ja jäähdytystehoa ja -energiaa verrattiin erityyppisten rakennusten teho- ja energiatarpeisiin. Vertauksen tuloksena voitiin määrittää konkreettinen pohjaveden energiapotentiaali.

Asuin- ja teollisuuskäyttöön kaavoitetuilta pohjavesialueilta voitaisiin pohjavedestä tuottaa lämpöpumpulla noin 55–60 MW lämmitystehoa. Tällä teholla voitaisiin lämmittää noin 20–40 prosenttia Suomessa vuosittain rakennettavista asuinrakennuksista. Pohjaveden keskimääräisen lämpötilan todettiin olevan kaupunkien keskustojen alueella 3–4 °C korkeampi kuin luonnontilaisilla alueilla. Tämä lämpiäminen nostaa pohjavedestä hyödynnettävää lämmitystehoa 50–60 prosenttia. Pohjavesi säilytti lämmitys- ja jäähdytyspotentiaalin 50 vuoden mallinnuksessa omakoti- ja rivitalojen sekä kauppakeskuksen energiatarpeisiin nähden. Pitkän ajan pohjaveden energian hyödyntäminen alensi sen luonnontilaisesta lämpötilaa 1–2,5 °C 300 metrin etäisyydellä kohteesta.

Tutkimus osoitti, että pohjavettä voidaan tehokkaasti hyödyntää Suomen olosuhteissa

minimissään 4 °C lämpötilaan asti.

Pohjavesi voi muodostaa merkittävän paikallisen uusiutuvan energialähteen Suomessa. Pohjavesienergian onnistunut hyödyntäminen edellyttää laaja-alaista pohjavesi- ja termogeologista sekä rakennusten energiatekniikan osaamista ja näiden alojen yhteistyötä.

Väitöskirja verkossa:

<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/158293>

8.1.2016, Niina Kuosmanen,
Helsingin yliopisto

Holoseenin havumetsäkasvillisuuteen vaikuttaneet tekijät alueellisella ja paikallisella tasolla (Drivers of regional and local boreal forest dynamics during the Holocene)



Kuva 3. Näytteiden kairausta pienestä metsän keskellä sijaitsevasta turvepainanteesta. Kuva: Niina Kuosmanen

Väitöstyössä tutkittiin taigametsien kehitystä viimeisten 10 000 vuoden aikana. Tutkimusalue sijaitsee Siperian lehtikuusen (*Larix sibirica*) läntisimmällä luontaisella esiintymisalueella Luoteis-Venäjällä. Kasvillisuuden kehitystä selvitettiin sedimenttikerroksissa säilyneistä fossiilisista siitepölyhiukkasista, ja alueen metsäpalohistoriaa tutkittiin sedimenttikerroksissa säilyneiden hiilipartikkelien avulla. Tutkimuksessa selvitettiin tilastollisten menetelmien (hajonnan ositus ja aika-sarja-analyysi) avulla ilmaston, metsäpalojen, paikallisten kosteusolosuhteiden ja ihmiskasvillisuudessa tapahtuneissa muutoksissa sekä paikallisella että alueellisella tasolla.

Tulokset osoittavat Siperian lehtikuusen ja kuusen (*Picea abies*) esiintyneen tutkimusalueella yhtäjaksoisesti viimeisten 10 000 vuoden ajan. Toinen merkittävä tulos on metsän rakenteessa tapahtunut selkeä muutos 8000–7000 vuotta sitten metsien muuttuessa suhteellisen avoimista, mäntyjen, koivujen ja lehtikuusten luonnehtimista, metsistä tiheimiksi kuusivaltaisiksi metsiksi. Kuusen huomattava yleistymisen tutkimusalueella tukee aiempia tuloksia, jotka osoittavat kuusen leviämisen idästä Fennoskandian alueelle alkaneen noin 7000–6500 vuotta sitten. Siitepölyaineiston osoittama kuusen vallitsevuus puulajistossa keskioholoseenin aikana ja lehtikuusen esiintyminen läpi holoseenin viittaavat siihen, että taigametsät ovat säilyneet tutkimusalueella koko holoseenin ajan.

Tutkituista ympäristömuuttujista ilmasto on selkeästi merkittävin tekijä pitkän aikavälin muutoksissa boreaalisessa kasvillisuudessa alueellisessa mittakaavassa. Paikallisella tasolla ilmaston merkitys jää vähäisemmäksi paikallisten tekijöiden, kuten metsäpalojen ja kasvupaikkaolosuhteiden, merkityksen kasvaessa. Metsäpaloilla on tärkeä rooli etenkin yksittäisten lajien lyhyen aikavälin (< 1000 vuot-

ta) muutoksissa. Ihmiskasvillisuuden suhteellinen merkitys pitkän ajan kasvillisuuden muutoksissa osoittautui yllättävän vähäiseksi. On kuitenkin mahdollista, että tulos on seurausta eroista ihmiskasvillisuuden kokoa kuvaavan aineiston ja kasvillisuutta kuvaavan siitepölyaineiston alueellisesta edustavuudesta.

Huolimatta siitä, että tutkimustulokset selkeästi osoittavat ilmaston olevan pääasiallinen tekijä boreaalisessa kasvillisuudessa pitkän ajan muutoksissa, synnyttävät paikalliset tekijät, kuten metsäpalot ja kasvupaikkaolosuhteet, alueellisia eroja boreaalisessa kasvillisuudessa tapahtuviin muutoksiin.

Tarkemmin Niina Kuosmasen tutkimuksesta *Geologi* 3/2016 (Kuosmanen, N., 2016). Sedimenttiarkistot paljastavat menneet muutokset kasvillisuudessa. *Geologi* 68:88–96).

Väitöskirja verkossa:

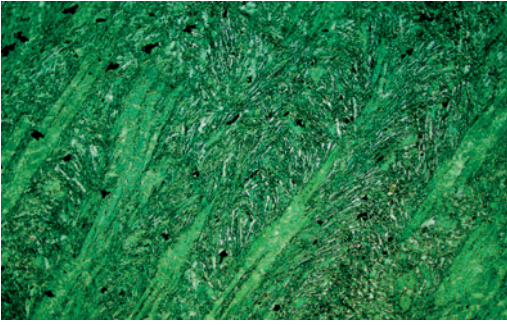
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/159208>

26.2.2016, Jukka Konnunaho,
Oulun yliopisto

Suomen komatiittiset Ni-Cu-PGE malmit ja niiden karakteristiikka, PGE sisältö ja synty.

Vuonna 2006 arvioitiin, että noin 20 prosenttia maailman nikkeli- ja kupari- varoista liittyy komatiittisiin Ni-Cu-PGE-sulfidiesiintymiin. Merkittävimmät esiintymät sijaitsevat Länsi-Australiassa ja Kanadassa. Suomessa komatiittisia Ni-Cu-PGE-malmeja on löydetty Itä- ja Pohjois-Suomen arkeisilta ja paleoproterotsooisilta vihreäkivivyöhykkeiltä. Väitöskirjassa tutkittiin Suomen komatiittisia kiviä ja niihin liittyviä Ni-Cu-PGE-sulfidiesiintymiä sekä vertailtiin niitä muihin samankaltaisiin esiintymiin maailmalla. Väitöskirjassa tarkas-

Karhu kiertää



Kuva 4. Spinifex-rakenteinen komatiittinen laava Kuhmo-Suomussalmi-vihreäkivivyöhykkeeltä.

Kuva: Jukka Konnunaho

telttiin kahdeksaa merkittävintä esiintymää Itä- ja Pohjois-Suomessa. Erityisesti huomiota kiinnitettiin niiden platinaryhmän alkuainesiltoon sekä malmien syntyprosesseihin. Tutkimuksessa saatua tietoa voidaan soveltaa esimerkiksi tämän tyyppisten malmien etsinnässä Suomessa ja lähialueilla.

Komatiitit ovat ultraemäksisiä laavoja, jotka ovat geokemialliselta luonteeltaan MgO- ja Cr-rikkaita sekä SiO₂- ja TiO₂-köyhiä. Lisäksi nämä kivet ovat rikastuneet nikkelin, kuparin ja platinaryhmän alkuaineiden (PGE) suhteen verrattuna esimerkiksi basaltteihin. Komatiitteja esiintyy tyypillisesti vihreäkivivyöhykkeiksi kutsutuilla, vulkaanisia kiviä sisältävillä vyöhykkeillä kaikilla mantereilla. Komatiittiset sulat ovat syntyneet syvällä vaipassa sen pitkälle edenneen osittain sulamisen vuoksi ja nousseet maanpinnalle muodostaen esimerkiksi laavajokikomplekseja. Komatiittisen magmatismen huippukausi osui arkeaiselle (> 2500 miljoonaa vuotta sitten) ja paleoproterotsooiselle kaudelle (1900–2500 miljoonaa vuotta sitten), jolloin maapallon kuori oli vasta kehittymässä ja maapallon lämmöntuotanto oli paljon nykyistä voimakkaampaa.

Purkautuessaan maanpinnalle komatiitit ovat hyvin kuumia ja omaavat alhaisen viskositeetin. Komatiittisten magmojen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet tekevät niistä po-

tentiaalisia muodostamaan suotuisissa olosuhteissa Ni-Cu-PGE-malmeja. Väitöskirjatutkimuksissa tehdyt rikki-isotooppianalyysit osoittavat, että malminmuodostuksen avaintekijänä on rikkipitoisten sivukivien assimilaatio komatiittiseen magmaan, mikä johtaa rikin kylläisyyspisteen ylitykseen sulassa ja metallipitoisten sulfidien muodostumiseen sekä niiden kasautumiseen suotuisissa olosuhteissa hyödynnettäväksi esiintymäksi. Useat Suomen esiintymistä ovat merkittäviä, koska ne edustavat maailman laajuisesti harvinaisia PGE:n suhteen rikastuneita komatiittisia Ni-esiintymiä. Niiden korkeat PGE-pitoisuudet nikkelin ja kuparin lisäksi tuovat merkittävää lisäarvoa ajatellen esiintymien ekonomista merkitystä.

Väitöskirja verkossa:

http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej_092.pdf

17.6.2016, Elna Lehtonen,
Helsingin yliopisto

Varhaisen Fennoskandian vulkaaninen maisema – Meso- ja Neoarkeaisen Suomussalmi-Kuhmo-Tipasjärvi-vihreäkivivyöhykkeen geokronologia (Painting the volcanic landscape of early Fennoscandia – Geochronology of the Meso- and Nearchaeon Suomussalmi-Kuhmo-Tipasjärvi greenstone)

Arkeaiset vihreäkivivyöhykkeet ovat merkkejä kallioperämme vanhimmista tulivuoriperäisistä kivistä. Arkeaisia vihreäkivivyöhykkeitä löytyy lähes jokaisen manneralueen vakaista osista ja ne muodostavat tärkeän osan maapallon kehitystä nykyisenkaltaiseksi, elinkelpoiseksi planeetaksi. Nykyaikaisen laattatektoniikkaprosessin alkamisajan-

kohtaa ei kuitenkaan vielä tarkkaan tiedetä, vaikka monet geologisista todisteista viittaavat niiden alkaneen arkeisella ajalla. Näiden vanhimpien tulivuoriperäisten kivien kehityksen tutkimuksen kannalta on tärkeä tietää, milloin vihreäkivivyöhykkeitä muodostavat pintakivet kerrostuivat. Tähän tarvitaan absoluuttisia iänmäärytyksiä vyöhykkeiden kivistä.

Tässä väitöskirjatyössä käsitellään Suomussalmen, Kuhmon ja Tipasjärven alueille levittäytyvien arkeisten vihreäkivivyöhykkeiden tarkempaa kerrosjärjestystä ja ikäjakaumaa (kronostratigrafinen tutkimus). Suomussalmi-Kuhmo-Tipasjärvi vihreäkivivyöhykkeen alue on mielenkiintoinen tutkimuskohde, sillä siltä löytyvät Suomen vanhimmat, noin 2,94 miljardia vuotta vanhat, tulivuoriperäiset kivet. Yksityiskohtaisen kronostratigrafisen tutkimuksen kautta on ollut mahdollista tarkentaa vyöhykkeiden vulkaniittien ikäjakaumaa niin yksittäisten vyöhykkeiden sisällä kuin vyöhykkeiden kesken.

Jo olemassa olevan ja tässä työssä julkaisutavan geokronologisen aineiston perusteella Suomussalmi-Kuhmo-Tipasjärvi vihreäkivivyöhykkeen happamat vulkaniitit voidaan jakaa neljään ikäryhmään. Vanhin ikäryhmä, joka muodostui noin 2,94 miljardia vuotta sitten, Suomussalmen vihreäkivivyöhykkeeltä. Nuorimmat vulkaniitit ovat syntyneet noin 2,80–2,79 miljardia vuotta sitten ja tämän ikäryhmän vulkaniitteja löytyy Kuhmon ja Tipasjärven vihreäkivivyöhykkeiltä. Noin 2,84 miljardia vuotta sitten muodostuneita vulkaniitteja löytyy uusien tutkimuksen perusteella jokaiselta erilliseltä vyöhykkeeltä. Ikäryhmä 2,82 Ga löytyy Suomussalmen ja Tipasjärven vihreäkivivyöhykkeiltä, ja osa Kuhmon vihreäkivivyöhykkeen pintakivistä sisältää zirkoniteitä, joiden ikä on noin 2,82 Ga.

Tässä väitöskirjatyössä esitetään, että saatavilla olevan geologisen tiedon perusteella Suomussalmelta löytyvät 2,94 Ga:n ikäiset ki-

vet ovat todennäköisesti osa vanhempaa manerta ja nuoremmat vulkaaniset kivet (2,84–2,79 Ga) syntyivät joko tämän vanhemman mantereen ja merellisen litosfäärilaatan vuorovaikutuksessa tai vanhemman mantereen repeämisessä.

Väitöskirja verkossa:

<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/163081>

23.9.2016, Kaisa Nikkilä,
Åbo Akademi

Maankuoren painovoimaisen virtauksen analoginen mallinnus ja vertaus Svekofennian poimuvuoriston kehitykseen Suomessa (Analog models of the lateral spreading of a thick three-layer crust – implications for the svecofennian orogen in Finland)

Vuoristojen muodostusta on tutkittu geologiassa jo kauan, mutta niiden hiljaista tuhoutumista eli ”romahdusta” on alettu tutkia aktiivisesti vasta viimeisten 10–15 vuoden aikana. Romahdus johtuu siitä, että vuoristojen synty paksumtaa maankuorta tehden siitä lopulta epästabliin. Tämä epästabli tilanne tuottaa maankuoren hitaan virtaamisen kohti ohuempia alueita aiheuttaen ekstensiota. Poimuvuoristojen romahdus voi tapahtua samanaikaisesti törmäyksen kanssa tai sen jälkeen. Tässä väitöstyössä on tutkittu paksuuntuneen maankuoren romahtamisrakenteita, jotka ovat syntyneet törmäyksen jälkeen. Romahdusta on tutkittu analogisten mallien avulla. Analogiset mallit ovat pienoismalleja, joilla jäljitellään geologiassa esimerkiksi tektonisia tapahtumia. Tässä tutkimuksessa mallit rakennettiin siten, että ne edustaisivat kolmikerroksellista paksua maankuorta, jossa keskimäinen kerros on lähes virtaavassa tilassa

sen sisältämän suuren osittaissulan vuoksi.

Analogiset mallinnukset tehtiin tektonisissa laboratorioissa Frankfurtin ja Uppsalan yliopistoissa. Koko maankuoren deformaatiota simuloivia analogisia malleja on tehty aikaisemmin vähän, sillä yleensä tektonisia kehitysmalleja tehdään tietokonemallinnuksilla. Tietokonemallinnuksilla on kuitenkin haastavaa ottaa huomioon kuorella olevia epäjatkuvuuspintoja kuten hiertovyöhykkeitä. Tässä työssä haluttiin nimenomaan mallintaa isojen kuoren mittakaavaisten hiertovyöhykkeiden vaikutus koko kuoren deformaatioon kuoren romahduksessa.

Mallinnustulokset osoittivat, että kuoren mittakaavaisten hiertovyöhykkeiden aktivoituminen edesauttaa kuoren deformaatiota. Hiertovyöhykkeiden läsnä ollessa muodonmuutosnopeus on suurempi ja osittain sulan kuorikerroksen ylös kohoaminen on suurempaa. Jälkimmäisestä johtuen maankuorella voi tapahtua kilometriskaalaisia vertikaaleja lohkoliikuntoja, jotka näkyvät esimerkiksi vanhoilla poimuvuoristoalueilla metamorfoosivaihteluina.

Mallinnustuloksia verrattiin Svekofennian poimuvuoriston keskiosien geologiaan ja geofysiikkaan. Vertailukohtana keskityttiin 1,89–1,86 Ga:n ikäisiin rakenteisiin ja kivilajeihin Keski-Suomen ja Savon alueella. Vertailussa todettiin, että monet suuret deformaattiorakenteet, sekä törmäysrakenteet että ekstensorakenteet, ja metamorfoosimuutokset voidaan selittää maankuoren romahduksella.

Tarkemmin Kaisa Nikkilän tutkimuksesta Geologiassa 1/2017 (Nikkilä, K., 2017. Maankuoren tutkimusta muovailuvahalla. *Geologi* 69:10–17).

Väitöskirja verkossa:

<http://www.doria.fi/handle/10024/125123?locale=fi>

25.11.2016, Paula Niinikoski,
Helsingin yliopisto

Stabiilit isotoopit merkkiaineina ja liuenneen hiilen kiertokulku luonnonvesissä ja keinotekoisissa systeemeissä (Isotopic tracers and the fate of dissolved carbon in natural and artificial water systems)

Stabiilit isotoopit ovat luonnollisia merkkiaineita. Hapen ja vedyn isotooppikoostumusta voidaan käyttää veden viipymän ja kulkeutumisreittien selvittämisessä tutkimalla lämpötilan ja haihtumisen aiheuttamaa fraktioitumista. Liuenneen epäorgaanisen hiilen isotooppikoostumusta voidaan puolestaan hyödyntää hiilen lähteen selvittämiseen, mikä auttaa ymmärtämään hiiltä veteen tuotavia orgaanisia ja epäorgaanisia prosesseja.

Tässä tutkimuksessa stabiileja isotooppeja on käytetty yhdessä kemiallisten analyysimenetelmien ja mallinnuksen kanssa tavoitteena hydrosfäärissä tapahtuvien prosessien parempi ymmärtäminen. Tutkimuksen kaksi päätavoitetta olivat: 1) määrittellä reunaehdot tilanteille, joissa hapen ja vedyn isotooppikoostumusta voidaan käyttää onnistuneesti veden keskimääräisen viipymän selvittämiseen ja 2) tuottaa tietoa keinotekoisien ja luonnollisten vesijärjestelmien hiilitaseen ymmärtämiseksi auttamaan veden laadun parantamisessa ja valvonnassa. Pintavesien hiilitase vaikuttaa koko ilmakehän hiilitaseeseen ja tätä kautta ilmastomuutokseen joko sitä hidastavasti tai kiihdyttävästi, joten sen vaikutukset yltyvät paikallisista maailmanlaajuisiin. Lisäksi hiilen kiertokulku jokisysteemeissä antaa tietoa valuma-alueiden haavoittuvuudesta ja helpottaa juomaveden laadun seurantaa ja parantamista.

Tutkimuksen kohteina oli kaksi jokea, Vantaanjoki ja Kokemäenjoki, Etelä- ja Lou-

nais-Suomessa, sekä Virttaankankaan teko-pohjavesilaitos Lounais-Suomessa. Veden keskimääräinen viipymä määritettiin molemmista joista sekä tekopohjavesilaitoksen imeytysvedestä käyttäen hapen stabiileja isotooppeja. Tuloksista kävi ilmi, että menetelmä toimii yksinkertaisissa vesistöissä, joissa veden muodostavat komponentit tunnetaan hyvin. Tällainen tilanne on esimerkiksi Vantaanjoessa, jossa jokivesi muodostuu kahdesta komponentista: pohjavedestä sekä kevättulvan kuljettamasta pintavalunnasta. Virttaankankaan tapauksessa kaksi tunnettua komponenttia olivat luonnollinen pohjavesi ja imeytetty tekopohjavesi. Näistä jälkimmäisen keskimääräinen viipymä oli mahdollista selvittää isotooppimenetelmää käyttäen.

Vantaanjoen hiilitaseessa näkyivät sekä pohjavesivaikutus että hiilidoksidin purkautuminen ilmakehään. Ihmisvaikutus näkyi epäorgaanisessa hiilitaseessa ainoastaan erittäin paikallisesti. Myös Virttaankankaalla mikrobien aiheuttama orgaanisen aineksen hajoaminen näkyi liuenneen epäorgaanisen hiilen koostumuksessa. Tämän prosessin seuraamiseksi oli isotooppimenetelmä yhdistettävä geokemialliseen mallinnukseen.

Väitöskirja verkossa:

<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/168849>

9.12.2016, Samrit Luoma,
Helsingin yliopisto

Ilmastonmuutoksen vaikutus pohjaveden haavoittuvuuteen Etelä-Suomessa (Groundwater vulnerability of a shallow low-lying coastal aquifer in southern Finland under climate change)

■ Pohjaveteen kohdistuvat riskit ja uhat johtuvat eri tekijöistä kuten likaantu-



Kuva 5. Lähdepurkauma Hopearannassa, Hankoniemellä keväällä 2009. Kuva: Samrit Luoma

misesta sekä lämpötilan ja sadannan aiheuttamista muutoksista pohjaveden muodostumisessa. Monille rannikkoalueiden pohjavesiesiintymille, kuten tämän tutkimuksen kohteelle Hankoniemessä, merenpinnan nousu saattaa lisäksi aiheuttaa muutoksia, jotka vaikuttavat pohjaveden määrään ja laatuun. Tässä väitöskirjatyössä selvitettiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia pohjavesimuodostumiin nykytilanteessa (1971–2010) ja tulevaisuudessa (–2100) sekä pohjavesimuodostumien haavoittuvuutta tulevaisuudessa vuosien 2071–2100 välillä.

Väitöskirjatyössä käytettiin ennusteiden luomiseen tilastollisia menetelmiä ja kolmidimensionaalista rakenne- ja pohjaveden virtausmallinnusta. Virtausmalli rakennettiin UZF1-MODFLOW-ohjelmalla, ja huomioitiin lumen kertyminen, sulanta, sadanta, haihtuminen sekä imeytyminen maanpinnasta läpäisevien maakerrosten läpi pohjaveteen. Lisäksi veden stabiileja happi- ja vetyisotooppeja sekä hydrogeokemiaa käytettiin selvittämään pintavesien kuten järiveden sekä suolaisen meriveden vaikutuksia pohjaveden laatuun.

Pohjaveden haavoittuvuuden arvioimisessa käytettiin kolmea eri menetelmää: AVI, SINTACS ja GALDIT. Helppokäyttöisen AVI:n avulla voidaan arvioida sitä, kuinka haavoittuva pohjavesimuodostuma on pintavesi-

Karhu kiertää

en aiheuttamalle pilaantumiselle. Menetelmä ei kuitenkaan ota huomioon meriveden pinnan nousun aiheuttamaa riskiä toisin kuin paikallisiin olosuhteisiin muokattu SINTACS.

SINTACSin ja GALDITin -yhdistelmä vaikuttaa hyvältä apuvälineeltä arvioida ilmastomuutoksen vaikutuksia mataliin pohjavesimuodostumiin, jotka sijaitsevat lähellä rannikkoa harjumaisissa sekä Salpausselkä-muodostumien maakerroksissa. Suomessa on useita tällaisia vesihuollolle tärkeitä muodostumia. Meren läheisyydestä johtuen rannikon pohjavesimuodostumat ovat haavoittuvampia kuin sisämaassa olevat muodostumat. Ilmastomuutoksen aiheuttamat riskit tulisi arvioida, jotta uhkiin voidaan varautua ennalta ja suunnitella hyvissä ajoin vedenhankintaan ja maankäyttöön tarvittavat muutokset.

Väitöskirja verkossa:

http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej_095.pdf

10.12.2016, Leena Sukselainen,
Helsingin yliopisto

Pliopithecoidea-kädellisten paleoympäristöt – uutta aineistoa keskimioseenin Damiaosta, Kiinan Sisä-Mongoliasta (Palaeoenvironments of the Pliopithecoid primates – New evidence from the middle Miocene locality Damiao, Inner Mongolia, China)

Pliopithecoidea on sukupuuttoon kuollut monimuotoinen yläheimo primitiivisiä kapeanenäpinoita vailla tunnettuja jälkeläisiä. Pliopithecoidit asuttivat laajasti Euraasiaa n. 17–7 Ma ja olivat ensimmäisten löydettyjen ja kuvattujen kädellisten joukossa. Sukupuuton syynä pidetään yleistä ilmastokehitystä sekä vanhan maailman häntäapinoiden leviämistä Euraasiaan mioseenin lopulla.

Tutkimuksen päätavoitteena oli tuottaa uutta tietoa pliopithecoideista, niiden elinympäristöistä sekä Euraasian ympäristöoloista mioseenieopookissa yleisesti. Tutkimuksen painopiste on keskimioseenisessä Damiaon pliopithecoid-löytöpaikassa Kiinan Sisä-Mongoliassa.

Työssä tarkastellaan ensin pliopithecoid-löytöpaikkojen ja muiden samanikäisten löytöpaikkojen eroja keskittyen erityisesti pliopithecoidien ja hominoidien harvinaisiin yhteisesiintymisiin. Löytöpaikkojen eroavaisuuksia tutkitaan käyttämällä perinteistä ekologista diversiteettianalyysiä sekä suoraa ekometristä menetelmää, hypsodontiaa. Sisä-Mongolian pliopithecoid-löytöpaikan, Damiaon, paleoympäristöjä tutkitaan tarkemmin piennisäkkäiden tafonomian, nisäkäslajiston samankaltaisuuden, ekometrian sekä hapen ja hiilen pysyvien isotooppien avulla.

Tulokset osoittavat, että pliopithecoidit asuttivat kosteampia ympäristöjä kuin muut saman ajan kädellisryhmät, mikä viittaa niiden kyvyttömyyteen sopeutua muuttuviin ympäristöolosuhteisiin. Tämä puolestaan näyttäisi olleen rajoittava tekijä niiden ja ihmisapinoiden yhteisesiintymisille. Ne harvat löytöpaikat, joissa pliopithecoidit ja ihmisapinat esiintyvät yhdessä näyttäisivät olevan vielä kosteampia kuin pelkästään pliopithecoidien asuttamat alueet.

Tutkimuksessa selvisi myös, että suora ekometrinen analyysi erottelee paremmin ekologisia mieltymyksiä kuin taksonomiaan perustuva paleoekologinen monimuotoisuusanalyysi.

Sisä-Mongolian Damiaosta saadut tulokset tukevat aikaisempia päätelmiä, joiden mukaan Keski-Aasian jatkuvasti kuivuvassa ympäristössä oli paikallisesti kosteita alueita. Tutkimustulokset viittaavat siihen, että Sisä-Mongolian pliopithecoid-löytöpaikka on saattanut olla kosteampi, rehevämpi ja metsäisempi kuin

ympäröivät alueet, mutta kausiluontoisesti kuiva. Tämä viittaisi siihen, että vaikka ryhmänä pliopithecoidit olivat selvästi kosteista ympäristöistä riippuvaisia, ainakin joku tai jotkut lajit ovat pärjänneet kuivemmissä tai kausittain vaihtelevissa ympäristöissä. Dami-aon piennisäkäsakkumulaatiot ovat pääasias-sa petojen kasaamia ja kerrostuneet fluviaalissa ympäristössä.

Väitöskirja verkossa:

<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/169324>

16.12.2016, Jaana Jarva,
Turun yliopisto

Geokemiallisten taustapitoisuuksien käyttö maaperän pilaantuneisuuden arvioinnissa Suomessa (Geochemical baselines in the assessment of soil contamination in Finland)

Kestävän maankäytön merkitys kaupunkialueilla on kasvanut kaupungistumisen myötä ja tarvitsee tuekseen myös erilaisia geokemiallisia tutkimuksia ja niiden sovelluksia. Tässä väitöskirjatutkimuksessa kehitettiin maaperän taustapitoisuusselvityksiin liittyviä geokemiallisia tutkimusmenetelmiä sekä tehtiin vertailua eri tutkimusmenetelmin määritettyjen pitoisuustietojen välillä. Tutkimuksessa tarkasteltiin Suomessa yleisesti käytettyjä geokemian tutkimus- ja analyysimenetelmiä ja niiden soveltamista taustapitoisuusselvityksiin sekä taajamien kaavoitusta tukeviin ja maaperän tilaa kuvaaviin geokemiallisiin ja ympäristögeologisiin tutkimuksiin. Vertailua tehtiin myös muualla maailmassa tehtyihin alan tutkimuksiin sekä käytäntöihin.

Maaperän taustapitoisuudet ylittivät Suomessa paikoin maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointia koskevassa valtioneuvoston asetuksessa (214/2007) säädetyt

kynnysarvot. Asetuksen mukaan alueilla, joilla taustapitoisuus on kynnysarvoa korkeampi, arviointikynnyksenä pidetään taustapitoisuutta. Taustapitoisuudella tarkoitetaan yleensä sekä geologiasta että tavanomaisesta hajakuormituksesta johtuvaa alkuaineen tai yhdisteen pitoisuustasoa pintamaassa.

Taustapitoisuuksissa on geologisista ominaisuuksista johtuvaa alueellista vaihtelua, joka pitää huomioida pilaantuneisuusarviointeja tehtäessä. Geokemiallisissa taustapitoisuuskartoituksissa tyypillisin näyttemateriaali on mineraalimaa ja näytteenottosyvyys vaihtelee aina muuttumattomasta pohjamaasta pintamaahan. Taajamaympäristössä näytteet otetaan tyypillisesti pintamaasta, koska sen odotetaan kuvastavan parhaiten luontaisten, geologista alkuperää olevien geokemiallisten pitoisuuksien lisäksi hajakuormitusta. Taustapitoisuuskartoituksissa epäorgaanisten haitta-aineiden analysointia varten maaperänäytteet uutetaan joko kuningasvedellä tai vahvalla typpihapolilla. Heikkouuttoja käytetään yleisesti silloin, kun pyritään määrittämään haitta-aineiden biosaatavuutta. Vahvaan happouuttoon ja heikkouuttoon perustuvien tulosten perusteella voidaan myös selvittää maaperässä esiintyvän alkuaineen alkuperää eli sitä, onko alkuaine luontaista vai ihmisen toiminnasta maaperään päätyntä. Sellaisilla alueilla, joissa on luontaisesti suuria pitoisuuksia, mutta mahdollisesti myös pilaantunutta maaperää, tätä tietoa tarvitaan riskinarvioinnin tukena, kun tehdään päätöksiä maaperän kunnostustarpeesta.

Maaperän pilaantuneisuuden arvioinnin lisäksi maaperän taustapitoisuustietoja voidaan hyödyntää alueiden käytön suunnittelussa ja kaavoituksessa mm. maankäytön muuttuessa, maarakentamiskohteissa maamassojen loppukäyttöä suunniteltaessa tai vesihuoltoratkaisujen taustatiedoksi etenkin suurten taustapitoisuuksien alueella.

Väitöskirja verkossa:

http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej_096.pdf

3.1.2017, Sonja Lavikko, Åbo Akademi

Geologiska och mineralogiska aspekter till mineral karbonering (Geological and mineralogical aspects on mineral carbonation)

De mineralogiska egenskaperna som är karakteristiska för enskilda mineral påverkar också de processer som mineralen används i. Detta gäller även mineral karboneringsmetoden "the ÅA route" som har utvecklats vid värme- och strömningsteknik vid Åbo Akademi. Mineral karbonering används för att kämpa mot den globala uppvärmningen. Avhandlingen koncentrerar sig på de geologiska och mineralogiska egenskaperna i stenmaterialet, som skall iakttas vid kommissioneringen av "the ÅA route"- karboneringsmetoden.

Avhandlingen fokuserar på gruvavfall men även annat stenmaterial samt rena mineral har studerats. "The ÅA route"-metoden utvecklades för att mineralisera koldioxidutsläpp. Metoden baserar sig på extrahering och utfällning av magnesium, vilken sedan förenas med

koldioxid (CO₂). Tack vare resultaten är det möjligt att definiera de egenskaper som är relevanta för att lyckas med tillämpningen av "the ÅA route"-metoden.

På basis av resultaten kan följande påstås: ett stenmaterial lämpligt för mineral karbonering med "the ÅA route" skall vara en ultramafisk fyllosilikat som härstammar från en fyllosilikat. Materialet skall innehålla minst 17 % magnesium och minst 10 % kristallvatten. Ifall en egenskap inte möter kraven men har värdet nära det optimala gränsvärdet, kan det kompenseras med andra positiva egenskaper.

Resultaten från denna avhandling kan även anpassas till andra liknande metoder. Karboneringsmetoder, såsom "the ÅA route", skapar trygga och hållbara förvaringsmöjligheter för mänskliga CO₂-utsläpp. Utnyttjande av avfallsmaterial som råvaror löser även andra problem som uppkommer med avfallshantering samt -avlagring. Från avfallsmaterial producerade varor kan utnyttjas istället för liknande varor som nu produceras syntetiskt. För att kunna utnyttja övrigt avfallsmineral, -stenar samt -gaser krävs att man känner till deras egenskaper.

Avhandlingen i nätet:

https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/130096/lavikko_sonja.pdf?sequence=2