

# Karhu kiertää...

**Karhu kiertää -palstalla seurataan geologian alan uusia väitöksiä. Seuraavassa lyhyt kuvaus syksyn 2006 väitöskirja-sadosta**

*Annukka Lipponen,  
Helsingin yliopisto, 29.09.2006*

## **Kallion rakoilu voi vaarantaa pohjaveden puhtauden**

Tutkimuksen päätavoite oli arvioida tiettyjä geofysikaalisia, rakenteellisia ja topografisia menetelmiä pohjavettä johtavien ruhjevyöhykkeiden ja rakojen paikantamisessa ja niiden ominaisuuksien määrittämisessä. Tutkimuksessa tarkasteltiin, miten näiden menetelmien avulla havaitut piirteet liittyvät pohjaveden virtaukseen. Tällainen tieto palvelee esimerkiksi pohjaveden etsintää vedenhankinnan tarpeisiin ja pohjavesivuotoriskien arviointia kaliorakentamisessa.

Tutkimusalueet olivat (1) Päijänne-tunneli, jossa tehdyillä havainnoilla oli mahdollista varmentaa alueellisesti tai paikallisesti tulkittuja rakenteita, (2) Oitti, jossa haitta-aineita oli todettu kulkeutuneen kallion rakoja pitkin ja jossa rakenteiden suuntauksia vertailtiin eri mittakaavoissa; ja (3) Leppävirta, jossa rakoilua ja pohjavesiympäristöä tutkittiin porakaivossa.

Tutkimus yhdisti geologista ja geoteknistä tietoa pohjaveden virtaukseen vaikuttavista tekijöistä ja rakoilun ilmenemisestä sekä ympäristötietoaineistoja paikkatietojärjestelmää hyväksi käyttäen.

Tutkimuksessa tarkasteltiin rakoilua eri mittakaavoissa: pinnanmuotojen perusteella tulkittuja kallion ruhjeita verrattiin geofysikaalisesta aineistosta tehtyyn tulkintaan ja Päijänne-tunnelissa mitattuihin rakenteisiin. Päijänne-tunnelin vyöhykkeessä rakojen suunnissa havaittiin yhtäläisyyksiä eri mittakaavoissa. Esimerkiksi alueelliset magneettiset suuntauksat korreloivat varsin hyvin pinnanmuotojen perusteella tulkittujen ruhjevyöhykkeiden kanssa. Myös tunnelissa havaittiin samoja rakenteellisia suuntauksia kuin suuremmissa rakenteissa paikallisessa tai alueellisessa mittakaavassa, vaikkakaan aina yhteyttä eri mittakaavojen välillä ei ollut mahdollista havaita.

Leppävirralla, missä kunnallinen vedenhankinta perustuu kalliopohjaveteen, vertailtiin geofysikaalisten



Kuva: Mikko Haaramo

listien mittauksien ja porakaivoveden ominaisuuksien antamaa välillistä tietoa rakoilusta ja muista kallion ominaisuuksista. Joidenkin geofysikaalisten reikämittausten tuloksiin vaikutti reiän suuri halkaisija tai sen epätasainen pinta. Koska rinnakkaiset menetelmät osoittivat kallion olevan rikkonaisempaa pinnasta kuin syvemmältä, voidaan todeta, että useampia menetelmiä on mahdollista käyttää rakoilun havainnointiin.

Havainnoitavan tilan (maa-alue, tunnelijakso tai porareikä) koko ja suuntaus, tutkimusmenetelmä ja sen herkkyys sekä tutkittavan kohteen ominaispiirteet vaikuttavat rakojakaudan tunnistamiseen. Näin ollen voidaan todeta, että ottamalla huomioon tilan/suunnan vaikutukset ja käyttämällä toisiaan täydentäviä menetelmiä voidaan rakoilun ja pohjaveden virtauksen monimutkaisia suhteita selvittää paremmin.

Oitissa todettiin yhteys matalan pohjaveden ja Päijänne-tunnelin välillä. Näin ollen myös haitta-aineiden kulkeutuminen tunneliin on mahdollista kallion rakojen kautta, mikä korostaa tunnelin suojelun tärkeyttä.



## Karhu kiertää...

Pohjaveden pinta laskee tilapäisesti tunnelin korjauksen aikaisen paineen alentumisen seurauksena. Yleisesti ottaen suurimmat pohjaveden pinnan alenemat havaittiin lähimpänä tunnelia ja/tai lähellä topografian perusteella tulkittuja ruuhkavyöhykkeitä. Näyttää siltä, että tunneliin vuotavan veden määrä korreloi jossain määrin tunnelin lujuituksen kanssa, koska molemmat liittyvät kallion rakoiluun.

Seuraavat tekijät lisäsivät tunnelijaksojen herkkyyttä haitta-aineiden kulkeutumiselle erityisesti silloin, kun useampi näistä tekijöistä ilmeni samassa paikassa: (1) rakoillut kallio, erityisesti mikäli siihen liittyy pohjaveden virtausta; (2) ohut tai vettä hyvin läpäisevä maapeite kallion päällä; (3) vettäjohtava kerros pintamaan alla; ja (4) suhteellisen ohut kalliokatto tunnelin yläpuolella. Havaittu geologisen aineksen suuntautuneisuus ja pohjaveden virtauksen voimakas kanavoituminen tulisi ottaa huomioon tunnelijaksojen pilaantumisherkyyden arvioinnissa ja suojaavien toimenpiteiden kohdentamisessa.

*Annika Hagros, Helsingin yliopisto, 03.10.2006*

### Sijoituskallion luokittelu (HRC) ydinjätteen loppusijoituksessa

HRC-luokitus on uusi kallioluokitusjärjestelmä, joka on kehitetty kallion soveltuvuuden arviointiin korkea-aktiivisten ydinjätteiden loppusijoitusta varten. HRC on lyhenne sanoista Host Rock Classification (sijoituskallion luokittelu). HRC-luokitus huomioi sekä sen, kuinka turvallista loppusijoitus on pitkän ajan kuluessa, että sen, kuinka hyvin loppusijoitustilat pystytään rakentamaan luokiteltavaan kallioon. Luokitus soveltuu esimerkiksi Suomessa ja Ruotsissa suunnitteilla oleviin loppusijoitustiloihin, ja sitä voidaan käyttää muissakin maissa, joissa on samantyyppistä vanhaa (prekambrista), kovaa peruskalliota ja joissa loppusijoitustilat rakennetaan saman loppusijoituskonseptin (KBS-3V) mukaisesti. Luokitusta voidaan kuitenkin käyttää vain sellaisilla paikoilla, jotka on jo kokonaisuudessaan arvioitu soveltuviksi loppusijoitukseen. HRC-luokituksen avulla tällaisilla paikoilla voidaan tunnistaa loppusijoitukseen parhaiten soveltuvat kallioosueet eri mittakaavoissa (tilojen, tunnelin ja loppusijoituskapselin mittakaavassa).

HRC-luokitukseen sisältyvien luokitusparametrien valinta perustuu laajaan selvitykseen kallion ominaisuuksista sekä niiden erilaisista vaikutuksista loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuteen, kallion rakennettavuuteen sekä loppusijoitustilojen sijaintiin ja tilaratkaisuun. Luokitusparametreja ovat muun muassa kallion rikkonaisuusvyöhykkeet, vedenjohtavuus ja rakojen pituus.

Parametriarvojen perusteella kalliotilavuudet voidaan luokitella eri soveltuvuusluokkiin. HRC-luokitukseen kuuluu neljä soveltuvuusluokkaa tilojen ja tunnelin mittakaavassa ja kolme soveltuvuusluokkaa kapselin mittakaavassa. Luokituksen avulla varmistetaan, että ennen tilojen rakentamista ja sen aikana tehtävät päätökset ja toimenpiteet huomioivat mahdollisimman hyvin myös kallion laadun ja soveltuvuuden. HRC-luokitus on siten eräs mahdollinen työkalu tilojen sijoittamiseksi kalliotilavuuksiin, jotka ovat paremmin soveltuvia kuin muut ja joiden katsotaan täyttävän loppusijoituskalliolle asetetut vaatimukset.

Yleinen HRC-luokitus, joka on tämän työn pääasiallinen tulos, on myös sovitettu suomalaisen loppusijoituspaikan Olkiluodon paikkakohtaisiin ominaisuuksiin, ja Olkiluotoa koskevaa tutkimusaineistoa on käytetty luokituksen testaamiseen käytännössä.

*Joonas Virtasalo, Turun yliopisto, 27.10.2006*

### Saaristomeren vaiheikas kehitys jääkaudesta nykyaikaan

FM Joonas Virtasalon väitöskirja selvittää ensimmäistä kertaa Saaristomeren kehitystä viimeisimmästä jääkaudesta nykyaikaan. Tutkimus osoittaa yhtäläisyyksiä Hudsonin lahden kehitykseen Pohjois-Amerikassa. Lisäksi tutkimus antaa uutta tietoa merenpohjan happitilanteen ja pohjaeläimistön pitkän aikavälin vaihtelusta Saaristomerellä, sekä meriympäristöä rehevöittävän ravinteiden fosforin sitoutumisesta sedimenttiin nykyisellä merenpohjalla. Tutkimus perustuu merenpohjasta kairattuihin, kuusi metriä pitkiin sedimenttinäytesarjoihin, joihin on taltioitunut Saaristomeren kehitys mannerjäätikön peräytymisen jälkeen. Saaristomereitä tunnistettiin seuraavat jääkauden jälkeen kerrostuneet sedimenttiyksiköt (pohjalta kohti pintaa):



## Karhu kiertää...

1) jäätikön edustalla jääjärven pohjalle kerrostuneet vuosikerrokselliset silttisavet, 2) vedenalaisen maanvyöryjen kerrostamat, sekoittuneet silttisavet, jotka sisältävät lohkkareita alapuolisista vuosikerroksellisista kerrostumista, 3) rauhallisissa järviolosuhteissa kerrostuneet savet, 4) murtovesiympäristössä kerrostuneet, runsaasti eloperäistä ainesta sisältävät liejusavet. Murtovesivaiheen alku Saaristomerellä on seuraus Atlantin tulvimisestä Itämereen viimeisimmän jääkausiajan lopulla (7600 vuotta sitten).

### **Yhtäläisyyksiä Hudsonin lahteen**

Aiemmista Itämeren pohjakerrostumien tutkimuksista poiketen Saaristomerelle sen kehityksen eri vaiheissa kerrostuneiden sedimenttien luokitteluun on tässä työssä käytetty kansainvälisiä käytäntöjä (International Stratigraphic Guide). Käytettyjen kansainvälisten luokittelukäytäntöjen ansiosta havaittiin, että Saaristomerен sedimenttien rakenne ja esiintyminen muistuttavat merkittävästi Pohjois-Amerikan suurten jääjärviäitaiden kehitystä viimeisimmän jääkausiajan lopulla. Merkittäviä yhtäläisyyksiä havaittiin mm. Hudsonin lahden sekä muinaisten Iroquioksen ja Missoulän jääjärvien sedimenttikerrostumiin. Saaristomerен ja pohjoisen Itämerен jääkauden jälkeinen kehitys ei ilmeisesti olekaan niin ainutlaatuista maailmassa kuin aiemmin on väitetty, vaan kehityskulku muistuttaa suuresti muiden vastaavien alueiden kehitystä.

### **Vaihtelu tyypillistä merenpohjan happitilanteelle**

Tutkittaessa merenpohjan happitilanteen vuosituhantista kehitystä Paimionlahdella osoittautui, että lahden pohjoisosan merenpohja muuttui ensimmäisen kerran hapettomaksi 1250 vuotta sitten. Merenpohjan tila korjaantui hyväksi 450 vuotta sitten, mutta happitilanne heikkeni merenpohjalla jälleen 200 vuotta sitten. Muutokset merenpohjan happitilanteessa osuvat ajallisesti hyvin yksiin Pohjois-Euroopan ilmastovaihteluiden kanssa. Keskiajan lämpökaudella 1250–450 vuotta sitten voimistunut perustuotanto Saaristomeressä ilmeisesti johti happitilanteen heikkenemiseen Paimionlahden pohjoisosassa. Lämpökautta seuranneen kylmän ilmastojaksos ns. Pienen jääkauden aikana 450–200 vuotta sitten perustuotanto väheni ja happiolot merenpohjalla paranivat. Viimeisin happitilanteen heikkeneminen lienee seurausta ilmaston lämpenemisestä viimeksi kuluneiden

200 vuoden aikana. Myös ihmisen toiminnalla lienee vaikutusta Paimionlahden pohjoisosan nykyisin heikkoon happitilanteeseen.

On ilmeistä, että hapettomien merenpohjien kokonaispinta-ala Saaristomerellä voi pitkällä aikavälillä muuttua Pohjois-Euroopan ilmaston vaihdelta. Silmiinpistävää on myös Saaristomerен nykyisen merenpohjan happitilanteen huomattava alueellinen vaihtelu. Virtasalon tutkimuksessa selvitetiin Saaristomerен nykyistä happitilannetta yli sadalla tutkimuspaikalla. Merenpohjan tila voitiin luokitella kolmeen tyyppiin: vallitsevasti hapekkaaseen, vallitsevasti hapettomaan sekä vaihtelevaan happitilanteeseen. Tutkimuksessa ilmeni, että vaihtelevien happiolosuhteiden alueilla saattaa olla aiempaa luultua suurempi vaikutus meriympäristöä rehevöittävän ravinteiden fosforin sitoutumiseen sedimenttiin. Happiolosuhteiden vaihtelu merenpohjalla kiihdyttää eloperäisen aineksen mukana kerrostuvan fosforin muuttumista sedimenttiin sitoutuvaan epäorgaaniseen muotoon.

### **Vaihtelua pohjaeläimistöissä**

Merenpohjan eläimistön monimuotoisuutta ja käyttäytymistä selvitetiin sedimenttinäytteistä otetuista röntgenkuvista, joissa erottui pohjaeläinten kaivamia onkaloita. Monet merenpohjan eläimet kuten monisukasmadot, makkaramadot ja simpukat kaivautuvat pohjamutaan ja rakentavat onkaloita merenpohjalle. Hylätyt onkalot peittyvät merenpohjalle kerrostuvan aineksen alle ja ajan kuluessa hautautuvat sedimenttiin. Tutkimuksen mukaan ensimmäiset pohjaeläimet saapuivat Saaristomerен syville pohja-alueille 7800 vuotta sitten, jolloin Saaristomerellä vallitsivat järviolosuhteet. Saaristomerен pohjien ensimmäiset asuttajat rakensivat pohjamutaan haarautuvia käytäviä, joiden seinämiä ne vahvistivat sortumisen estämiseksi. Itämerен murtovesivaiheen alku 7600 vuotta sitten mullisti Saaristomerен pohjaeläimistöä. Nopeasti lisääntyneen suolaisuuden ansiosta meren perustuotannon määrä kasvoi rajusti, minkä seurauksena merenpohjan happiolosuhteet heikkenivät ja pohjamudan rakenne muuttui löysemmäksi. Heikenneen happitilanteen ja löyhentyneen sedimentin seurauksena pohjaeläimet eivät enää rakentaneet pysyviä onkaloita, vaan ne siirtyivät onkaloiden rakentamisessa 'kertakäyttökulttuuriin'. Toisaalta lisääntynyt suolaisuus johti suurempaan monimuotoisuuteen pohjaeläimistöissä, minkä ansiosta merenpohjan lyhytikäisten onkaloiden rakenne muuttui entistä monipuolisemmaksi.



## Karhu kiertää...

*Timo Saarenketo, Oulun yliopisto, 11.11.2006*

### **Maatutkan avulla tietoa liikenneväylien rakenteiden ja materiaalien laadusta**

Väitöskirjassa on tutkittu toisaalta erilaisten tiemateriaalien ja pohjamaalajien sähköisiä ominaisuuksia sekä niiden vuodenaikaisvaihteluita ja toisaalta maatutkatekniikan käyttöä liikenneinfrastruktuurin tutkimuksissa. Tutkimuksen työhypoteesina on ollut testata miten maatutkadatasta analysoitavat materiaalien sähköiset ominaisuudet kuvaavat myös väylämateriaalien teknistä laatua. Tutkimuksen aineisto on kerätty Suomesta, Yhdysvalloista, Skotlannista ja Ruotsista ja se kattaa erilaisia väylärakenteita, mutta myös erilaisia ilmastollisia ja geologisia olosuhteita.

Väitöskirjassa esitetyt laboratoriotutkimukset keskittyvät selvittämään materiaalien dielektrisyden ja sähkönjohtokyvyn suhdetta materiaalin vesipitoisuuteen, mutta myös muihin kemiallisiin, mineralogisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin. Tulokset osoittivat, että rakentamisen kannalta ongelmalliset tiemateriaalit poikkeavat sähköisesti hyvinlaatuisista materiaaleista. Näin maatutkadatan taajuussisältöä analysoidulla voidaan teiden ongelmamateriaalit todeta myös kuivina kesäkuukausina vaikka niiden kantavuus tuolloin olisi hyvä.

Väitöskirjatyön yhteydessä kehitettiin teiden kantavan kerroksen materiaalien vedenherkkyyttä kuvaava laboratoriotutkimusmenetelmä Tube Suction Test (Imupainekoe), jota esimerkiksi Yhdysvalloissa suositellaan käytettäväksi materiaalien routivuustutkimuksissa. Maastossa tierakenteiden ja pohjamaan dielektrisyttä, sähkönjohtokykyä ja lämpötilaa mittaavalla Percoasematekniikalla tehdyt kenttätetit osoittivat myös, että vuodenaikaisvaihteluiden ja termodynamiikan tuntemus on tärkeää kun mallinnetaan rakenteiden mekaanista käyttäytymistä. Väitöskirjatutkimuksen yhteydessä kehitettyjä Percoasemia käytetäänkin nykyään kelirikon reaaliaikaiseen seurantaan Suomessa, Ruotsissa ja Skotlannissa. Asemien avulla voidaan myös tutkia kuinka kauan tierakenteella kestää palautua raskaan liikenteen sille aiheuttamasta kuormitusrasituksesta.

Väitöskirjatyössä esitellään myös maatutkatekniikan teoriaa, erilaisia mittauskalustoja ja hyviksi ja toimiviksi havaittuja prosessointi- ja tulkintatekniikoita. Lisäksi työssä kuvataan maatutkan sovellusmahdollisuuksia erilaisissa liikenneinfra-

struktuurin tutkimuksissa. Parhaat tulokset saavutetaan, kun maatutkaa käytetään ja analysoidaan integroidusti yhdessä muiden rakennetta rikkomatomiin tutkimusmenetelmien kanssa.

Väitöskirjatutkimus osoittaa, että maatutkalla voidaan seurata tiemateriaalien ja esimerkiksi sillan betonikansien mineraalipinnoissa tapahtuvia molekyyllitason muutoksia. Tämän vuoksi maatutkatekniikan avulla ei jatkossa tutkita pelkästään teiden, rautateiden, siltojen ja lentokenttien rakenteita, vaan maatutkan datasisältöä analysoidulla voidaan tehdä arvioita myös niiden teknisestä toimivuudesta ja kestoikästä. Jatkossa maatutkalta saavutettava suurin hyöty lienee siinä, että sen avulla voidaan todeta rakenteiden ongelmakohteet jo ennen kuin varsinaiset mekaaniset vauriot ovat syntyneet ja ennakoivalla kunnossapidolla voidaan itse vaurioiden muodostuminen estää tai ainakin merkittävästi hidastaa.

*Jari Holopainen, Helsingin yliopisto 24.11. 2006*

### **Ilmaston ennallistaminen yhdistämällä historiallisia ja luonnontieteellisiä arkistoja**

Paleoklimatologia tutkii ilmaston yleistä luonnetta maapallolla ja sen eri alueilla ajalta ennen nykyisenlaisia meteorologisia mittaushavaintoja. Suomessa pisin yhtenäinen ilmastomittausten sarja on Helsingistä vuodesta 1828 lähtien. Mikäli haluamme tietää maamme ilmaston vaihteluista tätä varhaisemmalta ajalta, on otettava käyttöön epäsuorat aineistot eli ns. proksiaaineistot. Niitä on mitä erilaisimpia, joita edustavat mm. varhaiset ilmastomittaukset, puiden kasvun vaihtelua kuvastavat lustokalenterit, järvisedimentit sekä muistiinpanot jokien jäänlähdeistä sekä koivun lehteentulosta. Tässä tutkimuksessa on keskitytty maamme ilmaston kehityksen ymmärtämiseen 1700-luvulta lähtien käyttäen apuna niin historian arkistoista kuin luonnonarkistoista koottuja proksiaaineistoja.

Ensimmäisessä osatutkimuksessa käsiteltiin varhaisia ilmastomittauksia, joita ryhdyttiin kirjaamaan Suomessa muistiin 1730-luvulta lähtien. Maamme pisin ja luotettavimmin dokumentoitu varhainen ilmastollinen havaintosarja on Turusta, missä Turun Akatemian professorit organisoivat suhteellisen säännöllisen havaintojenteon aina 1740-luvulta 1820-luvulle. Vaikka päiväkirjojen tiedot mittalaitteiden sijoittamisesta, täsmällisistä havaintopaikoista ja havaintoperusteista ovat



## Karhu kiertää...

usein puutteelliset, ne tarjoavat päivittäistä tietoa säästä ympäri vuoden, mihin muut proksiaineistot eivät yllä.

Varhaisten ilmastomittausten analyysia jatkettiin toisessa osatutkimuksessa Ylitornion ja Tornion varhaisten havaintosarjojen avulla. Näistä sarjoista koostettuja lämpötilasarjoja käytettiin puunlustojen paksuuskasvun vaihteluiden selvittämisessä viimeisten kolmen vuosisadan aikana. Havaittiin, että puunlustojen kasvu Pohjois-Suomessa oli riippuvainen keskikesän (heinäkuun) lämpötilasta. Tutkimuksessa todettiin myös, ettei Lapin puunlustojen paksuuskasvun ja heinäkuun lämpötilojen välisessä yhteydessä eli sensitiivisyydessä ole tapahtunut merkittävää vähenemistä kuluneen kolmen sadan vuoden aikana. Tulos on mielenkiintoinen, sillä aikaisemmin oli raportoitu sensitiivisyyden vähentyneen puunkasvun ja lämpötilan välillä pohjoisilla leveysasteilla viimeisen 50 vuoden aikana.

Kolmannessa osatutkimuksessa kehitettiin metodia hajanaisten fenologisten havaintosarjojen koostamiseksi yhtenäiseksi aikasarjaksi Lounais-Suomen osalta. 1750-luvun puolenvälin jälkeen muistiin kirjatulla fenologisilla havainnoilla on yksi suuri puute – tavallisesti sarjat ovat 2–10 vuoden pituisia kultakin paikkakunnalta. Sarjoista tutkittiin aluksi niiden sensitiivisyyttä lämpötilaa ja sateisuutta kohtaan ja havaittiin selvä positiivinen yhteys lämpötilan osalta. Tämän jälkeen erillisistä fenologisista havaintosarjoista koostettiin yhtenäinen kokonaisfenologia-indeksisarja. Aikasarjan avulla tutkittiin sarjan sensitiivisyyttä lämpötilaan ja havaittiin selvä positiivinen yhteys helmi-kesäkuun keskilämpötiloihin. Näin ollen kokonaisfenologiaindeksisarja soveltuu lämpötilarekonstruktioita varten. Tutkimuksessa oli mukana myös puunlustoaineistoja, joista havaittiin ajan suhteen muuttuva riippuvuus helmi-kesäkuun lämpötiloihin.

Neljäs osatutkimus käsitteli kevään lämpötilojen kehitystä Lounais-Suomessa vuodesta 1750 lähtien. Kun viimeisten 150 vuoden aikana on tapahtunut maassamme vuosikeskilämpötilojen ja erityisesti keväiden keskilämpötilojen nousua, oli mielenkiintoista tietää, millaisia keväiden lämpöolot olivat tätä edeltävällä ajalla? Työssä rakennettiin malli, johon sisältyi niin historiallisia lähteitä, kuten Aurajoen jäänlähötietoja, tietoja Itämeren vuotuisen jääpeitealan vaihteluista, edellisen osatutkimuksen kokonaisfenologiaindeksisarja kuin järvisedimenttiaineisto sekä moderneja ilmastomittauksia, joita edusti Turun kuukausikeskilämpötila-aineisto. Kyseinen lämpötilare-

konstruktio selitti 66 % havaituista lämpötilanvaihteluista tarkasteltuna ajanjaksona.

Koostetun aikasarjan avulla tutkittiin keväiden keskilämpötiloja ja havaittiin, että viimeisen 250 vuoden aikana on ollut sekä kylmempiä että lämpimämpiä vaiheita. Kylmimmät vaiheet ajoittuvat 1850-luvun molemmin puolin, 1810-luvun seutuville sekä 1780-luvulle. Lämpimimmät kevät ovat esiintyneet vuodesta 1987 lähtien, 1930-luvulla sekä 1820-luvulla. Samoin tutkittiin vaihteluiden taustalla vaikuttavia tekijöitä ja niiden merkitystä kevätlämpötilojen vaihtelussa. Havaittiin, että kevätlämpötiloilla on positiivinen ja ajan suhteen suhteellisen vakaa yhteys Pohjois-Atlantin heilahduksen vaiheisiin.



*Jussi Hovikoski, Turun yliopisto, 9.12.2006*

### Geologinen historia Amazonian sademetsän lajirikkauden taustalla

Amazonian ainutlaatuinen lajirikkaus on kehittynyt vuosimiljoonien kuluessa geologisten prosessien muovaamana. Tärkein yksittäinen geologinen tekijä on ollut tektoniikka, joka säätelee Länsi-Amazonian altaan korkeutta merenpinnasta ja epäsuorasti metsän pohjan muodostavien kerrostumien koostumusta sekä nykyisin esim. jokidynamiikkaa.

Mioseenikauden alussa, noin 20 miljoonaa vuotta sitten alkanut Amazonian altaan nopea vajominen sai aikaan laajan murtovetisen sisämeren levittäytymisen alueelle. Tämä suurimmillaan yli 10 kertaa Suomen kokoinen, matala meren lahti ulottui Karibian mereltä 2500 kilometriä etelämpänä sijaitsevaan Boliviaan. Muinaisen merivaiheen vaikutus on yhä nähtävissä nykyisen Amazonian jokien kalalajistossa, sademetsän kasvi- ja eläinlajiston jakautumisessa, jopa intiaaniheimojen käyttäytymisessä.

FM Jussi Hovikosken väitöskirjassa kartoitettiin Perun, Brasilian ja Bolivian sademetsien metsänpohjaa muodostavia, 20–8 miljoonaa vuotta vanhoja geologisia muodostumia sekä selvitetiin kyseisten kerrostumien syntyolosuhteet. Työ pohjautui fysikaalisten kerrosrakenteiden (sedi-



## Karhu kiertää...

mentologia) sekä pohjaeläinten jättämien jälkifossiilien (iknologia) kuvaukseen. Kyseisillä metodeilla voidaan määrittää mm. kerrostumisen aikaisen veden kemia (happi- ja suolapitoisuus), sedimenttien kerrostumisnopeus, kerrostava prosessi (oskilloiva aalto- vs. virtausenergia), virtauksen suunta sekä sen voimakkuus. Lisäksi kerrostumissa ilmenevä rytminen paksuusvaihtelu analysoitiin tilastomenetelmin mahdollisten astronomisten syklien (vuorovesi, vuodenaikaisuus) tunnistamista varten.

### Dynaaminen merenlahti

Kerrostumat syntyivät nopeasti vaihtelevaan, laajaan murtovetiseen lahteen, vuorovesikanaviin, sekä näitä ympäröiviin mantereisiin ympäristöihin. Useat indikaattorit osoittavat veden suolapitoisuuden olleen pääsääntöisesti matalaa sekä nopeasti vaihtelevaa. Vaihtelun uskotaan johtuneen vuodenaikaan liittyvästä sadannan vaihtelusta sekä voimakkaista vuorovesiprosesseista. Merellinen vaikutus on havaittavissa koko n. 10 miljoonaa vuotta kattavassa mioseenin kerrossarjassa. Tektoonisen vajoamisen tuloksena syntynyt matala-gradienttinen rantaviiva aiheutti merenlahden koon nopeaa oskillointia. Rantaviivan perääntyesä mantereiset ympäristöt – suot, metsät ja jokitasangot – etenivät rajoittaen merenlahden kokoa. Rantaviiva eteni uudelleen tektoonisen pulssin tai eustaattisen merenpinnan nousun tuloksena. Tällaisia säännöllisesti toistuneita merellisiä tulvimispintoja on mioseenikauden kerrossarjassa havaittavissa useita kymmeniä (30+). Yhden transgressio-regressio syklin iäksi on arvioitu "vain" noin 100 000 vuotta.

### Vuosia jatkunut debatti Amazonian geologisesta historiasta

Amazonian mioseenikautiset kerrostumat ovat olleet tieteellisen keskustelun aiheena yli 10 vuotta. Yhdeksänkymmentä luvun alussa Turun yliopiston tutkijoiden löytäessä ensimmäiset viitteet muinaisesta merenlahdesta, meriteoria kohtasi voimakasta vastustusta. Käsitys Amazonian pitkstä järvi- ja jokihistoriasta on elänyt sitkeästi nykypäivään asti. Nyt esitetty aineisto osoittaa kiistämättömästi muinaisen merenlahden olemassaolon sekä selittää eri tutkimusmetodeilla saatuja ristiriitaisia tuloksia.

Miljoonia vuosia kestänyt dynaaminen rantaympäristö tarjoaa loogisen selityksen alueen vesistöjen nykyiselle eläin- ja kalalajiston koostumukselle: miljoonia vuosia jatkuneet, nopeat suolaisuuden vaihtelut antoivat rannikkolajeille mahdollisuuden kilpailla makeavetisiä kilpailijoitaan vastaan ja lopulta sopeutua mantereisiin joki- ja järviympäristöihin sisämeren lopullisesti peräännyttyä noin 8 miljoonaa vuotta sitten. Nykyään, Amazonian vesistöissä on ainoa laatuinen määrä lajeja, joiden lähisukulaiset asuvat matalissa rannikkovesissä. Näitä ovat esim. delfiinit, rauskut, anjovikset, rumpukalat sekä kampelat.

Laaja sisämerenlahti on myös saattanut toimia maantieteellisenä esteenä topografisten kohoumien välillä, jotka ovat nykyään endemismikseksia monille mantereisille lajeille. Mioseenin merivaihe on näin siis saattanut osaltaan edesauttaa populaatioiden maantieteelliseen eristymiseen pohjautuvaa ns. allopatrista lajiutumista alueella.

Monimutkaisen kerrostumishistorian sekä mioseenikauden jälkeisen tektoonisen deformaation vuoksi alueen nykyinen metsänpohja koostuu monista eri geologisista muodostumista, joilla on usein tunnusomainen kemiallinen koostumus sekä hydrologiset ominaisuudet. Turun yliopiston Amazon-tutkimusryhmän tutkijat ovat osoittaneet, että eri muodostumilla on erilainen kasvillisuus ja eläimistö, jopa omat kotoperäiset lajinsa. Tämä ns. edafinen kontrolli näyttää ulottuvan kädellisten levinneisyyteen ja vaikuttavan jopa intiaaniheimojen käyttäytymiseen.

*Philipp Schmidt-Thomé,  
Helsingin yliopisto, 11.12. 2006*

### Aluesuunnittelu avuksi luonnonhasardien ja ilmastonmuutoksen vaikutuksia vastaan

Tässä väitöskirjassa analysoidaan ja tarkastellaan, kuinka yhteiskuntaa voitaisiin suojella aluesuunnittelun keinoin nykyistä paremmin luonnonhasardien ja ilmastonmuutoksen vaikutuksia vastaan. Useat Euroopan ja muun maailman valtiot kärsivät kasvavista luonnonhasardien vaikutuksista ja niiden aiheuttamista taloudellisista tappioista. Usein esitetään, joskaan sitä ei ole vielä tieteellisesti todistettu, että ilmastonmuutos saattaa vaikuttaa eräiden luonnonhasardien esiintymiseen ja voimakkuuteen. Vaikka Eurooppa näyttäisi olevan turvassa muuta maailmaa koettelevilta luonnonkatastrofeilta, myös Euroopassa kärsivät vahingot ovat selvästi lisääntyneet. Tämän vuoksi luonnonhasardit ja ilmastonmuutos ovat hiljattain nostet-



## Karhu kiertää...

tu keskeiseksi poliittiseksi prioriteetiksi myös Euroopan unionissa.

Aluesuunnittelun avulla kyetään hallitsemaan paremmin luonnonhasardien ja mahdollisen ilmastomuutoksen vaikutuksia. Aluesuunnittelun mahdollisuudet olemassa olevan infrastruktuurin ja rakennuskannan suojelemiseksi ovat rajalliset, mutta sen avulla voidaan ohjata tulevaa maankäyttöä ja siten suojella paremmin tulevaisuuden rakennelmia.

Nykyisen käytännön mukaisesti aluesuunnittelussa arvioidaan usein kerrallaan vain yhtä hasardia, kuten tulvia. Väitöskirjan tekijän mukaan yksittäisten hasardien sijaan olisi tärkeää tarkastella laaja-alaisesti useampia vaaratekijöitä samanaikaisesti. Kun kyse on tulvista, pitäisi tutkia myrskyjen, myrskyvuoksien ja tulvien keskinäistä vaikutussuhdetta. Tämän lisäksi olisi arvioitava ilmastomuutoksen vaikutuksia näihin uhkiin eli tässä tapauksessa myrskyjen lukumäärän mahdollista kasvua ja merenpinnan nousua. Myös altistuminen olisi syytä ottaa paremmin huomioon esimerkiksi sen arvioimiseksi, millaisia vahinkoja luonnonhasardit voivat viime kädessä saada aikaan. Lisäksi olisi selvitettävä tällaisten vahinkojen alueelliset vaikutukset.

Työn teoriaosassa käsitellään termien luonnonhasardi, altistuminen ja riski määritelmiä sekä niiden sovellettavuutta aluesuunnitteluun. Tekijä esittää, että arvioinnit ja niitä seuraava kartoitus olisi pidettävä riittävän yksinkertaisina, jotta laaja yleisö voi ymmärtää niitä.

Väitöskirja perustuu kuuteen julkaistuun artikkeliin, joissa käsitellään tuloksia eurooppalaisista tutkimushankkeista. Näissä tutkimusprojekteissa on kehitetty menetelmiä luonnonhasardien ja ilmastomuutoksen identifioimiseen sekä arvioitu niiden laajuutta. Artikkeleissa kuvataan paikallisia, alueellisia (Itämeren alue) ja Euroopan laajuisia hankkeita sekä teoreettisesta että käytännöllisestä näkökulmasta.

Tekijä esittää päätelmänään, että luonnonhasardeilla ja ilmastomuutoksella olisi oltava nykyistä merkittävämpi rooli aluesuunnittelussa. Hasardien keskinäisiin vaikutussuhteisiin olisi syytä kiinnittää enemmän huomiota ja niiden aiheuttamien vahinkojen mahdollista laajuutta olisi arvioitava tarkemmin. Lisäksi olisi suositeltavaa ottaa huomioon asiantuntijoiden ja uhkista mahdollisesti kärsivien ihmisten mielipiteet, jotta vahingot voitaisiin minimoida ja tulevat investoinnit turvata.

## MERKKIPÄIVIÄ

1.9.	Veikko Okko	95 v.
16.7.	Erkki Viluksela	90 v.
9.6.	Esko Sipilä	80 v.
24.6.	Rudyard Frietsch	80 v.
24.7.	L. K. Kauranne	80 v.
19.8.	Kauko Korpela	80 v.
12.9.	Paavo Järvinmäki	80 v.
12.6.	Topi Pouttu	75 v.
21.6.	Veikko Lappalainen	75 v.
8.6.	Anto Leikola	70 v.
19.6.	Esko Kontas	70 v.
13.8.	Raimo Kujansuu	70 v.
18.8.	Osmo Inkinen	70 v.
22.8.	Pekka Mikkola	60 v.
27.8.	Vesa-Jussi Penttilä	60 v.
29.8.	Tapio Muurinen	60 v.
8.9.	Lumikki Osara	60 v.
18.9.	Jarmo Nikander	60 v.
22.7.	Daryl Hodges	50 v.
31.7.	Markus Ekberg	50 v.
13.8.	Tapio Leppänen	50 v.
19.8.	Hannu Salmi	50 v.
28.8.	Raimo Nevalainen	50 v.
28.8.	Juha Salmelainen	50 v.
22.9.	Kirsti Loukola-Ruskeeniemi	50 v.