

# Subglasiaaliset vesialtaat ovat osoittautumassa merkittäviksi sedimentaatio- ja eroosioympäristöiksi

KEIJO NENONEN

**K**uvasin SGS:n marraskuun 2008 kuukausikokouksen esitelmässä polaaritutkimuksen viimeaikaisista löydöistä Etelämantereelta havaitut subglasiaaliset vesialtaat, mannerjäätikön peittämät järvet. Tunnetuin niistä on Itä-Antarktiksella sijaitseva Vostok-järvi, jota peittää 3,7 km paksu mannerjää. Aktualismin periaatteen mukaisesti voidaan päätellä muinoin jäätiköityneillä alueilla olleen vastaavia jäätikön alaisia järviä, joissa on ollut sedimentaatiota. Järvet ovat myös purkautuneet rajusti ja erodoineet alustaansa voimakkaasti.

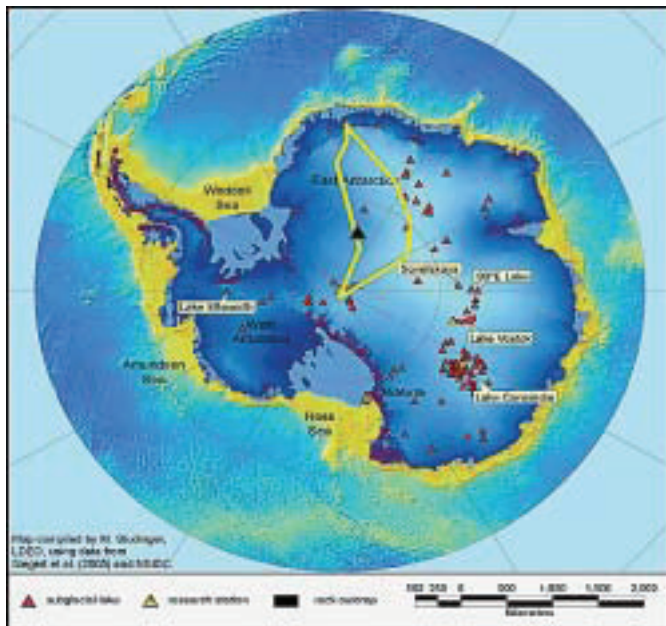
Vostok-järvi on 50 km leveä ja noin 250 km pitkä ja todennäköisesti enimmillään jopa 510 m syvä. Vostok-järven oletetaan syntyneen ainakin pari miljoonaa, kenties jopa 15 miljoonaa vuotta sitten. Järvessä on oletettavasti jäänteitä muinaisesta ilmakehästä ja biosfääristä, mutta tätä ei ole pystytty osoittamaan, koska järveä peittävää jääkantta ei ole vielä puhkaistu kairaamalla (Thoma et al. 2008). Järvi on muodostunut mannerjäätikön valtaavan massan aiheuttaneissa painesulavissa olosuhteissa, osittain alustan geotermisen lämmön myötäsaattamana. Veden lämpötila järvessä on noin  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vostok-järven tapaisia mannerjäätikön alaisia järviä tunnetaan Etelämantereelta jo yli 150 (kuva 1).

Etelämantereella Eteläisen Viktorian maan kuivissa laaksoissa subglasiaalisten vesien on

tulkittu kuluttaneen 250 m syvän, runsaan puoli kilometriä leveän ja yli 50 km pitkän kanjoniverkoston doleriittisillisiin. Eroosiomuodostumaa kutsutaan Labyrinthiksi. Kanjoneissa on jopa yli 34 m syviä hiidenkirnuja. Kanjonien on ajoitettu syntyneet mioseenikauden keskivaiheilla noin 12,4–14,4 miljoonaa vuotta sitten (Lewis et al. 2006).

## Subglasiaaliset järvet ovat dynaaminen ympäristö

Itäiseltä ja läntiseltä Etelämantereelta on kuvattu jäänalaisten järvien vesimassojen purkauksia (Wingaham et al. 2007, Fricker et al. 2007). Havainnot perustuvat mannerjäätikön pinnan äkillisiin korkeusmuutoksiin, joita on voitu seurata satelliittien laserkeilauksien avulla. Menetelmä on viime aikoina tullut yleiseen käyttöön, ja sen tarkimpia lentomittaussovelluksia käytetään myös Suomen maaperän tutkimuksissa. ICESat-laser korkeusmittauksen tarkkuus on mannerjäätiköllä noin 20 cm (Fricker et al. 2007). Englhard-järvestä läntisellä Etelämanterella purkautui ainakin  $2\text{ km}^3$  vettä, ja tarkkailujaksona 2003–2006 mannerjäätikön pinta aleni noin 9 m. Vastaavasti “alajuoksulla” jäänalaisen Conway-järven tilavuus kasvoi  $1,2\text{ km}^3$ . Analoginen havainto itäiseltä Etelämantereelta (Wingaham et al. 2007) osoittaa  $1,8\text{ km}^3$  vettä virranneen 16 kuukauden



Kuva 1. Subglasiaalisia järviä Etelämantereella (Norwegian-U.S. Scientific Traverse of East Antarctica).

Figure 1. Subglacial lakes in Antarctica (Norwegian-U.S. Scientific Traverse of East Antarctica).

aikana 300 km:n päässä oleviin kahteen muihunkin jäänalaiseen järveen.

Vedenpaine subglasiaalisissa järvissä on verrannollinen vettä peittävän mannerjäätikön massaan, koska jäätikkö lepää melko tasaisena laattana järven pinnalla. Mannerjäätikön jäämassa käyttäytyy viskoosisti ja täyttää kaikki maanpinnan epätasaisuudet järven ympärillä. Näin se sulkee altaat paineisiksi veden täyttämiksi onkaloiksi. Järveen kohdistuu ainakin 300–400 ilmakehän paine, kun jäätikön paksuus on 3–4 km. Jäätikön liikkuessa voi dynaaminen kuormitus hetkittäin kohota huomattavasti korkeammaksi, varsinkin lähellä purkujäätiköitä ja jäävirtoja. Alustan kallioperän tai maaperäkerrostumien sekä jäätikön pohjan leikkaus/murtolujuuden ylittyessä vesi syöksyy jäätikön alta kohti hydraulista paineminimiä ja lopulta kohti merta tai jääjärveä.

## Paineenalainen subglasiaalinen vesi kuluttaa ja kerrostaa

On vaikea mieltää, mitä saa aikaan usean sadan ilmakehän paineinen jääjärven vesi, joka sisältää runsaasti debristä. Arktisen painepesurin vesi ruiskuaa tavallisesti noin 100 ilmakehän paineella, mutta tämän “arktisen painepesurin” vedessä on lisäksi vaihteleva määrä moreeniainesta. Se voi olla koostumukseltaan lähes samanlaista kuin subglasiaalinen debris flow -tilli, jota Sutinen et al. (2008) kuvasivat Geologi-lehdessä 5/2008. Voitaisiin siis kuvitella vertauksenomaisesti olosuhteiden muistuttavan usean sadan ilmakehän paineella tehtävää “betoniruiskutusta” moreeniaineksella.

Glasiäligeologit ovat keskustelleet viime aikoina vilkkaasti subglasiaalisista megatulvista ja hydrologiasta. Shaw (2006) sekä Shaw ja Munro-Stasiuk (2006) todistelevat monien moreenimuotojen ja moreeniaineksen olevan subglasiaalisen veden aikaansaannosta, kun taas Benn ja Evans (2006) sekä Boulton (2006) ovat perinteisen moreenin geneettisen ja geomorfologisen luokituksen sekä lodgement- ja melt out -syntytyvän kannalla. Kanadassa Suuren Orjajärven alueelta on tunnistettu subglasiaaliseen järvialtaaseen kerrostuneita sedimenttejä 150 metrin paksuisissa sedimenttisarjassa, joka seismisten heijastusluotausten mukaa peittää yli 130 km<sup>2</sup> laajuisen alueen (Christoffersen et al. 2008). Tutkijoiden mukaan sedimentaatio jäätikön alla on ollut pitkäkestoista, ja he rinnastavat glasilakustriset olosuhteet Etelämantereen subglasiaaliseen Vostok-järveen.

Hirvas (1991) ja Nenonen (1995) havaitsivat lukuisissa moreenikerrostumissa lajittuneita kerroksia, kerrallisia hienosedimenttejä ja debris flow -rakenteisia moreeneja. Hieno-

sedimenteistä tehtiin useita siitepöly- ja pölyanalyyskejä, eikä juuri mikään viitannut normaaliin aerobiseen sedimentaatioon. Usein kerrostumat eivät edustaneet mitään jäästä vapaata vaihetta. Moreenimuodostumissa usein esiintyvät lajittuneet linssit ja kerrokset todistavat veden osallisuudesta kerrostumisolosuhteissa. Toisinaan lajittunut aines on alustan vanhemmista lajittuneista kerrostumista irronneita linssejä ja laattoja (vrt. Auri et al. 2008, Nenonen 1995).

Mikäli lajittunut kerros on synnyltään subglasiaalinen, se ei ole altistunut kerrostuessaan valolle tai kosmiselle säteilylle, ja asiaa voidaan tutkia luminesenssijoihtuksien avulla tai käyttäen kosmogeenisia isotooppeja ( $^{10}\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ) paljastuma-ajoituksessa. Subglasiaalisesta harjuverkostostamme ja Lapin kuruista ja kanjoneista jotkin ovat voineet syntyä subglasiaalisten vesialtaiden purkauksien yhteydessä. Vesimassat ovat purkautuessaan voineet liikutella valtavia määriä moreeniainesta, louhia ja kuluttaa kallioperän heikkousvyöhykkeistä syviä ruhjelaaksoja ja muodostaa osan komeista harjuistamme.

## Käytännön merkityksiä

Sedimentaatio subglasiaalisissa järvioltaissa ja deglasiatian aikainen deformaatio, jonka jäätikön nopea virtaus on aiheuttanut, ovat voineet vaikuttaa suuresti kerrostumien litostratigrafiaan. Siksi moreenikerrostumien väliset lajittuneet kerrostumat voivat kuulua samaan sedimentaatioon kerrostuman moreeniyksikköjen kanssa ja ovat voineet syntyä niiden kanssa samassa paikassa. Voi olla, että aikaisemmat tulkintamme mannerjäätikön deglasiatioista moreenipeitteisine hienosedimentteineen ja uudelleenetenemisineen Salpausselkien ja Sisä-Suomen reunamuodostuman syntyessä joutuvat uuteen valoon (vrt. Nenonen 1995, Rainio 1996).

Tasaisten ja/tai paksujen moreenipeitteiden alueilla voi esiintyä yleisesti subglasiaalisissa olosuhteissa altaiisiin syntyneitä lajittuneita sedimenttejä, jolloin niillä on merkitystä mm. maa- ja vesirakentamisessa ja pohjavesihuollossa. Subglasiaalisesti syntyneet tunneliharjut ja niiden kivistä soraa sisältävä ydinmateriaali ovat tunnetusti parhaita akvifereja, mutta myös moreenin peittämät karkearakeiset kerrostumat ovat potentiaalisia pohjavesilähteitä.

Ydinjätteiden loppusijoituspaikka pitää toteuttaa 100 000 vuoden varastointiaikaa silmälläpitäen. Sinä aikana Suomen yli pyyhkäisee ainakin kaksi täysmittaista jäätiköitymistä, mikäli jääkausianalogiat pitävät paikkansa (vrt. Koivisto 2004). Jääkautisissa olosuhteissa pohjasulaminen, yllä kuvatut subglasiaaliset järvioltaat ja niiden voimakkaat paineiset purkaukset ovat täysin mahdollisia ja korkeat hydrostaattiset paineet myös todennäköisiä. Tämä on syytä ottaa huomioon ydinjätteiden loppusijoituspaikkojen mitoituksessa ja niiden jatkotutkimuksissa. Onkin ilahduttavaa, että ydinvoimateollisuus ryhtyy tutkimaan Grönlannissa mannerjäätikön alla vallitsevia hydrogeologisia ja hydrogeokemiallisia olosuhteita. Tämäkin kaukainen riski tulee otettua huomioon, vaikka jään peittämässä Suomessa muiden nisäkkäiden kuin Berghellin (1905) kuvaamien “mainioiden mammuttien elämä on tunnetusti mahdotonta”.

**Keijo Nenonen**

Geologian tutkimuskeskus  
PL 96  
02151 ESPOO  
keijo.nenonen@gtk.fi

## Kirjallisuus

Auri, J., Breilin, O., Hirvas, H., Huhta, P., Johansson, P., Mäkinen, K., Nenonen, K. ja Sarala, P. 2008. Tiedonanto eräiden myöhäis-pleistoseenikerrostumien avainkohteiden ajoittamisesta Suomessa.

- Summary: Dating of some Late Pleistocene sedimentary units in Finland. *Geologi* 60, 68–74.
- Benn, D. ja Evans, D. 2006. Subglacial megafloods: outrageous hypothesis or just outrageous? Teoksessa: Peter G. Knight (toim.). *Glacier Science and Environmental Change*, Blackwell Publishing Ltd, 36–42.
- Berghell, H. 1905. Suomen geologinen yleiskartta 1: 400 000. Lehti D2. Savonlinna. Maalajikartan selitys. Commission Géologique de Finlande, 117 s.
- Boulton, G. 2006. Glaciers and their coupling with hydraulic and sedimentary processes. Teoksessa: Peter G. Knight (toim.). *Glacier Science and Environmental Change*, Blackwell Publishing Ltd, 3–22.
- Christoffersen, P., Tulaczyk, S., Wattrus, N.J., Peterson, J., Quintana-Krupinski, N., Clark, C.D. ja Sjuneskog, C. 2008. Large subglacial lake beneath the Laurentide Ice Sheet inferred from sedimentary sequences. *Geology* 36 (7), 563–566.
- Fricker H., Scambos, T., Bindshadler, R. ja Padman, L. 2007. An Active Subglacial Water System in West Antarctica Mapped from Space. *Science* 315, no. 5818, 1544–1548.
- Hirvas, H. 1991. Pleistocene stratigraphy of Finnish Lapland. *Geologian tutkimuskeskus, Bulletin* 354, 123 s.
- Koivisto, M. (toim.) 2004. Jääkaudet. WSOY, Helsinki, 233 s.
- Lewis, A.R., Marchant, D.R., Kowalewski, D.E., Suzanne L., Baldwin, S.R. ja Webb, L.E. 2006. The age and origin of the Labyrinth, western Dry Valleys, Antarctica: Evidence for extensive middle Miocene subglacial floods and freshwater discharge to the Southern Ocean. *Geology* 34 (7), 513–516.
- Nenonen, K. 1995. Pleistocene stratigraphy and reference sections in southern and western Finland. *Geologian tutkimuskeskus, Kuopio*, 205 s.
- Norwegian-U.S. Scientific Traverse of East Antarctica. Subglacial lakes. [WWW-dokumentti]. Sivulla viereiltä 4.1.2009. <<http://traverse.npolar.no/subglacial-environment/subglacial-lake-investigation>>
- Rainio, H. 1996. Late Weichselian end moraines and deglaciation in eastern and central Finland. *Geologian tutkimuskeskus, Espoo*, 178 s.
- Shaw, J. 2006. A glimpse at meltwater effects associated with continental ice sheets. Teoksessa: Knight, P.G. (toim.). *Glacier Science and Environmental Change*, Blackwell Publishing Ltd, 25–32.
- Shaw, J. and Munro-Stasiuk, M. 2006. Reply to Benn and Evans. Teoksessa: Knight, P.G. (toim.). *Glacier Science and Environmental Change*, Blackwell Publishing Ltd, 46–50.
- Sutinen, R., Jakonen, M., Haavikko, P., Närhi, P., Piekari, M. ja Middleton, M. 2008. Rogen-moreenin anisotropia. Summary: Morpho-sedimentary anisotropy of Rogen moraine. *Geologi* 60 (5), 150–156.
- Thoma, M., Mayer, C. ja Grosfeld, K. 2008. Sensitivity of subglacial Lake Vostok's flow regime on environmental parameters. *Earth and Planetary Science Letters* 269 (1–2), 242–247.
- Wingham, D., Siegert, M., Shepherd, A. ja Muir, A. 2006. Rapid discharge connects Antarctic subglacial lakes. *Nature* 440, 1033–1036.



## Geologiset kartat nyt koottuna geo.fi -karttaportalissa

**G**TK on ottanut käyttöön uusitun geo.fi -karttaportalin. Portalista on haettavissa maa- ja kallioperään liittyviä digitaalisia kartta-aineistoja sekä hakupalvelun kautta karttoihin liittyviä oppaita ja raportteja. Lisäksi geo.fi -portaliin on rakennettu useita räätälöityjä palveluita, joista käyttäjä voi hakea tietoa mm. kiviaineksen tilinpidosta, uraaniensiintymistä, turpeesta ja Suomen malmiesiintymistä.

Portaali on suunniteltu erityisesti ympäristöhallinnon ja kuntien viranomaisille ja asiantuntijoille, malminetsintäyhtiöille, maa-ainoslupien haltijoille ja

kansalaisille. Portaali on käyttäjille maksuton. Portalin aineistoja ja palveluita täydennetään jatkossa. Portalin kautta on myös mahdollista tilata GTK:n painotuotteita kuten julkaisuja ja karttoja.

Geo.fi -karttapalvelu löytyy osoitteesta <http://www.geo.fi>

### Lisätietoja:

- ◆ Hankepäällikkö Niina Ahtonen
- ◆ Geologi Jyrki Kokkonen
- ◆ Toimialapäällikkö Esa Kauniskangas