GEOFYSIIKAN PÄIVÄT

26.-27.5.2015

TOIMITTANEET

K. MOISIO JA T. KORJA

OULU

Alkusanat

Vuosi 2015 on Geofysiikan Seuralle juhlavuosi kahdestakin syystä. Tänä vuonna Geofysiikan seura aloitti 90. toimintavuotensa ja Geofysiikan Päivät täyttävät 50 vuotta. Dosentti Heikki Nevanlinnan Geofysiikan seuralle toimittama yhteenveto toteaa, että ensimmäiset Geofysiikan Päivät pidettiin Oulussa 21.-22.6.1965. Näiden ensimmäisten päivien "isänä" voidaan pitää Oulun yliopiston fysiikan professoria Pentti Tuomikoskea (1912–2002). Päivät pidettiin toisen kerran Oulussa v. 1966 ja sitten vielä 1968. Vuodesta 1969 lähtien Geofysiikan päivät järjestettiin vuorotellen Helsingissä ja Oulussa. Ensimmäisten Geofysiikan päivien moniste on 200 - sivuinen kirja, jossa esiintyvät monet suomalaisen geofysiikan tärkeät vaikuttajat kuten esimerkiksi Vilho Väisälä ja Jaakko Keränen. Esitelmänpitäjien joukossa olivat mm. Eero Kataja, Pekka Tanskanen, Juhani Oksman, Erkki Palosuo, Heikki Korhonen, T.J. Kukkamäki jne. Ulkomaisena vieraana Geofysiikan Päivillä esiintyi alan 50-luvun johtava geomagneetikko Potsdamista Gerhard Fanselau (1904-1982), joka oli Sodankylän geofysiikan observatorion kutsumana vieraan Suomessa.

XXVII Geofysiikan päivät järjestetään toukokuun 26.-27. päivä 2015 Oulun yliopistolla. Kokouksen järjestävät Geofysiikan Seura ry:n puolesta Kaivannaisalan tiedekunta (OMS - Oulu Mining School) ja Sodankylän Geofysiikan Observatorion Oulun toimintayksikkö (SGO-OTY). Vuoden 2015 Geofysiikan Päivien järjestelytoimikuntaan kuuluvat Kari Moisio (pj; OMS), Uula Autio (OMS), Toivo Korja (OMS), Elena Kozlovskaya (SGO-OTY), Maxim Smirnov (OMS) ja Toni Veikkolainen (HYFL).

XXVII Geofysiikan Päiville lähetettiin yhteensä 32 abstraktia, joista pidetään 26 suullista esitystä ja 7 posteriesitystä. Esitelmien aihepiirit tarjoavat katsauksen tämän hetkisestä geofysiikan alan tutkimuksesta Suomessa. Esitelmätiivistelmien aiheet liittyvät mm. ionosfäärin- ja avaruusfysiikan tutkimukseen, geodesiaan, seismologiaan ja laattatektoniikkaan Suomen geofysiikan historiaa unohtamatta.

Lämmin kiitos esitelmien pitäjille, istuntojen puheenjohtajille ja kaikille, jotka omalla panoksellaan varmistivat sen, että Geofysiikan Päivät toteutuvat myös vuonna 2015.

12.5.2015 Münchenissa

Johanna Salminen

Geofysiikan Seuran puheenjohtaja

Sisältö

Alkusanat 2

Ohjelma 6

U. Autio, M. Smirnov, A. Savvaidis, P. Soupios and M. Bastani

Combined inversion of magnetotelluric and time-domain electromagnetic data - a simple approach.....10

M. Bilker-Koivula, J. Mäkinen, H. Ruotsalainen, J. Näränen, L. Timmen, O. Gitlein, F. Klopping, and R. Falk

Post-glacial rebound studies using absolute gravimetry in Finland 11

M. Gritsevich, J. Peltoniemi, T. Hakala, N. Zubko, and M. Poutanen

FIGIFIGO – an advanced portable system for spectropolarimetry.....13

H. Kaaretkoski

TEM-menetelmän käyttö Suomessa viime vuosina - tarkasteltuna malminetsintäyrityksen näkökulmasta ..14

R. Kiuru, E. Heikkinen, N. Koittola ja P. Kantia

Sähköiset mittaukset louhintavaurion karakterisointitutkimuksissa 15

R. Klein, J. Salminen and S. Mertanen

Paleomagnetic study of late Neoproterozoic Hailuoto sediments, Western Finland, with implications for Baltica 19

T. Korja, K. Vaittinen, M. Abdel Zaher, A. Korja, M. Pirttijärvi, M. Smirnov,and I. Lahti

Crustal conductivity around the Bothnian Bay - Implications on the crustal evolution of the complex accretionary Svecofennian orogen in Fennoscandia.....23

M. Kuusisto, N. Koittola, A. Joutsen, E. Heikkinen ja T. Ahokas

Latauspotentiaalimittaukset kallioperän tutkimuksissa Olkiluodossa.....24

U. K. Laine

Revontulien akustiikkaa.....28

R. Leussu, I Usoskin, R. Arlt, and K. Mursula

Solar cycles in the 19th century using sunspot drawings by Schwabe 30

H. S. Mohmaed, M. Abdel Zaher and M. M. Senosy

Contribution of geophysics to geothermal exploration at northern Western Desert of Egypt 32

V. Maliniemi, T. Asikainen and K. Mursula

Solar wind and western winds: How solar variability can affect North-European winters 36

K. Mursula

Something new under the Sun: Science program of ReSoLVE Centre of Excellence 37

J. Nevalainen ja E. Kozlovskaya

Pyhäsalmen mikroseismisen aineiston tomografia-analyysi 38

H. Nevanlinna

Jaakko Keränen - Sodankylän geofysiikan observatorion ensimmäinen johtaja 1913–1917 42

J. Näränen, M. Poutanen, A. Raja-Halli, H. Virtanen, J. Mäkinen, H. Koivula, M. Bilker-Koivula, J. Virtanen, and the Department of Geodesy and Geodynamics at FGI

Renewal of the Metsähovi Fundamental Geodetic Research Station 46

J. Okkonen ja K. Moisio

Seismic reflection surveys in glaciofluvial deposits in Finland 49

J. Okkonen ja R. Neupauer

Uusi vedenottamoiden suojavyöhykkeiden arviointimenetelmä - esimerkkinä lämmönsiirtoaineiden kulkeutuminen pohjavedessä.....50

L. J. Pesonen, T. Goepfert and H. Arkimaa

Reflectance spectra of meteorites - a novel database with applications 52

L. J. Pesonen

"Physical properties of rocks shocked in the 0-35 GPa range" 56

A. Raja-Halli and J. Näränen

Progress report on the new satellite laser ranging system of Metsähovi Geodetic Research Station.....60

Ruotsalainen H, Bán D, Papp G, Leonhardt R , Poutanen M, Szűcs E, Benedek J

High precision geodynamic tilt measurements by iWT in the Conrad observatory, Austria.....63

J. Salminen, S. Mertanen, L.J. Pesonen, R. Klein

Proterozoic Supercontinent Nuna.....68

H. Silvennoinen, E. Kozlovskaya ja E. Kissling

Teleseismiseen tomografiaan perustuva ylävaipan rakenteiden seisminen malli pohjoisen Fennoskandian kilven alueella.....69

H. Vanhamäki, A. Aikio, M. Voiculescu, R. Kuula, L. Juusola, and T. Nygrén

Electrodynamic structure of the morning high-latitude trough region.....73

T. Veikkolainen, L.J. Pesonen, N. Jarboe and D.A.D. Evans

Interfacing and accessing paleomagnetic and geochronologic data in the upgraded PALEOMAGIA database 77

T. Veikkolainen, A. Biggin, L.J. Pesonen, E. Piispa

Prekambriajan paleointensiteetistä, havaintojen laadunarvioinnista ja magneettikentän keskeisdipolihypoteesin pätevyydestä 81

I.I. Virtanen, A. Kero ,R. Fallows, D. McKay-Bukowski and J. Vierinen

Kilpisjärvi Atmospheric Imaging Receiver Array and its applications in geophysics 85

J. Virtanen, M. Gritsevich, J. Näränen, A. Raja-Halli, M. Granvik, K. Muinonen, and J. Peltoniemi

Exploring the near-earth environment: dynamical and physical characterization of space objects 89

N. Zubko, U. Kallio, K. Lehtinen, D. Meschini, V. Saaranen, J. Näränen M. Poutanen

Geodetic VLBI 91

XXVII Geofysiikan Päivät
Oulussa 26.-27.05.2015

Paikka: Oulun yliopisto, Linnanmaa, luentosali KTK112

Kotisivu: https://wiki.oulu.fi/display/GFP2015

Maksu: 75 euroa (15 euroa eläkeläiset, 10 euroa perustutkinto-opiskelijat ja apurahalla työskentelevät jatko-opiskelijat), sisältää kahvi/teetarjoilun sekä posterisession tarjoilun

Esitelmät: tiivistelmien pdf-versiot kokouksen kotisivulla kohdassa ”Kokousohjelma”

OHJELMA TIISTAINA 26.05.2015

09:00 - 10:00 Ilmoittautuminen, postereiden pystytys
10:00 - 10:15 Päivien avaus, Geofysiikan Seura
10:15 - 10:20 Järjestelytoimikunnan puheenjohtaja

Istunto I *Pj: Hannu Ruotsalainen*

10:20 - 10:40 Lauri J. Pesonen
"Physical properties of rocks shocked in the 0-35 GPa range"

10:40 - 11:00 Kalevi Mursula
Something new under the Sun: Science program of ReSoLVE Centre of Excellence

11:00 - 11:20 Raisa Leussu, Ilya Usoskin, R. Arlt, and Kalevi Mursula
Solar cycles in the 19th century using sunspot drawings by Schwabe

11:20 - 11:40 J. Okkonen ja R. Neupauer
Uusi vedenottamoiden suojavyöhykkeiden arviointimenetelmä - esimerkkinä lämmönsiirtoaineiden kulkeutuminen pohjavedessä

11:40 - 12:00 H. Vanhamäki, A. Aikio, M. Voiculescu, R. Kuula, L. Juusola, and T. Nygrén
Electrodynamic structure of the morning high-latitude trough region

12:00 - 13:00 *LOUNASTAUKO (LUNCH)*

Istunto II *Pj: Jarkko Okkonen*

13:00 - 13:20 H. S. Mohmaed, M. Abdel Zaher and M. M. Senosy
Contribution of geophysics to geothermal exploration at northern Western Desert of Egypt

13:20 - 13:40 Ville Maliniemi, Timo Asikainen and Kalevi Mursula
Solar wind and western winds: How solar variability can affect North-European winters

13:40 - 14:00 Unto K. Laine
Revontulien akustiikkaa

14:00 - 14:30 KAHVI- / TEETAUKO (COFFEE/TEA)

Istunto III Pj: Jyri Näränen

14:30 - 14:50 T. Veikkolainen, A. Biggin, L.J. Pesonen, E. Piispa
Prekambriajan paleointensiteetistä, havaintojen laadunarvioinnista ja magneettikentän keskeisdipolihypoteesin pätevyydestä

14:50 - 15:10 Uula Autio, Maxim Smirnov, A. Savvaidis, P. Soupios and M. Bastani
Combined inversion of magnetotelluric and time-domain electromagnetic data - a simple approach

15:10 - 15:30 Jarkko Okkonen ja Kari Moisio
Seismic reflection surveys in glaciofluvial deposits in Finland

15:30 - 15:50 Risto Kiuru, Eero Heikkinen, Noora Koittola ja Pekka Kantia
Sähköiset mittaukset louhintavaurion karakterisointitutkimuksissa

15:50 - 16:10 Hannu Ruotsalainen Videot

Istunto IV Pj: Hanna Silvennoinen

16:10 - 16:20 Johdatukset POSTEREIHIN (noin 2 min / yksi kuva / posteri; luettelo postereista ohjelman lopussa)

16:20 - 19:00 *POSTERIEN TARKASTELU ja VERKOSTOITUMINEN POSTERIBUFFEEN ÄÄRELLÄ*

OHJELMA KESKIVIIKKONA 27.05.2015

Istunto V *Pj: Lauri Pesonen*

.

09:00 - 09:20 Ruotsalainen H, Bán D, Papp G, Leonhardt R , Poutanen M, Szűcs E, Benedek J
High precision geodynamic tilt measurements by iWT in the Conrad observatory, Austria

09:20 - 09:40 Mirjam Bilker-Koivula, Jaakko Mäkinen, Hannu Ruotsalainen, Jyri Näränen, L. Timmen, O. Gitlein, F. Klopping, and R. Falk
Post-glacial rebound studies using absolute gravimetry in Finland

09:40 – 10:00 Robert Klein, Johanna Salminen and Satu Mertanen
Paleomagnetic study of late Neoproterozoic Hailuoto sediments, Western Finland, with implications for Baltica

10:00 - 10:30 KAHVI- / TEETAUKO (COFFEE/TEA)

Istunto VI *Pj: Johanna Salminen*

10:30 - 10:50 I.I. Virtanen, A. Kero ,R. Fallows, D. McKay-Bukowski and J. Vierinen
Kilpisjärvi Atmospheric Imaging Receiver Array and its applications in geophysics

10:50 - 11:10 J. Näränen, M. Poutanen, A. Raja-Halli, H. Virtanen, J. Mäkinen, H. Koivula, M. Bilker-Koivula, J. Virtanen, and the Department of Geodesy and Geodynamics at FGI
Renewal of the Metsähovi Fundamental Geodetic Research Station

11:10 - 11:30 H. Silvennoinen, E. Kozlovskaya ja E. Kissling
Teleseismiseen tomografiaan perustuva ylävaipan rakenteiden seisminen malli pohjoisen Fennoskandian kilven alueella

11:30 - 11:50 Jouni Nevalainen ja Elena Kozlovskaya
Pyhäsalmen mikroseismisen aineiston tomografia-analyysi

11:50 - 13:00 LOUNASTAUKO (LUNCH)

Istunto VII *Pj: Minna Kuusisto*

13:00 - 13:20 Hannu Kaaretkoski
TEM-menetelmän käyttö Suomessa viime vuosina - tarkasteltuna malminetsintäyrityksen näkökulmasta

13:20 - 13:40 Lauri J. Pesonen, Thomas Goepfert and Hilkka Arkimaa
Reflectance spectra of meteorites - a novel database with applications

13:40 - 14:00 J. Salminen, S. Mertanen, L.J. Pesonen, R. Klein
Proterozoic Supercontinent Nuna

14:00 - 14:20 Elena Kozlovskaya
Seismic studies at the Sodankylä Geophysical Observatory in 21th century: a review

14:20 - 14:30 Nuoren tutkijan palkinnon jakaminen / Award of the Young Scientist
Kokouksen päättäminen

POSTERI-esitykset

1. Maria Gritsevich, Jouni Peltoniemi, Teemu Hakala, Nataliya Zubko, and Markku Poutanen: FIGIFIGO – an advanced portable system for spectropolarimetry
2. T. Korja, K. Vaittinen, M. Abdel Zaher, A. Korja, M. Pirttijärvi, M. Smirnov,and I. Lahti : Crustal conductivity around the Bothnian Bay - Implications on the crustal evolution of the complex accretionary Svecofennian orogen in Fennoscandia
3. M. Kuusisto, N. Koittola, A. Joutsen, E. Heikkinen ja T. Ahokas: Latauspotentiaalimittaukset kallioperän tutkimuksissa Olkiluodossa
4. A. Raja-Halli and J. Näränen: Progress report on the new satellite laser ranging system of Metsähovi Geodetic Research Station
5. T. Veikkolainen, L.J. Pesonen, N. Jarboe and D.A.D. Evans: Interfacing and accessing paleomagnetic and geochronologic data in the upgraded PALEOMAGIA database
6. J. Virtanen, M. Gritsevich, J. Näränen, A. Raja-Halli, M. Granvik, K. Muinonen, and J. Peltoniemi: Exploring the near-earth environment: dynamical and physical characterization of space objects
7. N. Zubko, U. Kallio, K. Lehtinen, D. Meschini, V. Saaranen, J. Näränen M. Poutanen: Geodetic VLBI

Combined inversion of magnetotelluric and time-domain electromagnetic data – a simple approach

U. Autio[1], M. Smirnov[1], A. Savvaidis[2], P. Soupios[3] and M. Bastani[4]

[1] Kaivannaisalan tiedekunta, Oulun yliopisto, uula.autio@oulu.fi
[2] Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering, Thessaloniki
[3] Technological Educational Institute of Crete
[4] Geological Survey of Sweden

Abstract

Using multiple methods in the study of the subsurface electrical resistivity can be beneficial in many ways. By combining the data, results are more reliable and by suitable choice of methods the depth of investigation can be extended. In quantitative geophysical interpretation, a subsurface resistivity model which agrees with each of the different data is sought. We present a new way of using combined data from the magnetotelluric (MT) and the time-domain electromagnetic (TEM) methods. The TEM data is transformed and used in a two-dimensional (2-D) MT inversion scheme together with the MT data. The controlled-source TEM increases the nearsurface (0–200 m) resolution compared to the magnetotellurics which employs natural electromagnetic fields to penetrate down to great depths (100 m–several km and more). In addition to extended period range, combining these methods is useful because TEM can help in recognising and correcting the so called static shift distortion from MT. The transform is accomplished through a layered-earth (1-D) inversion of the TEM response and subsequent forward computation to MT response i.e. to apparent resistivity and phase. The 1-D nature of the transform poses limitations in the use of the approach in geologically complex areas. We demonstratethe applicability of the approach in the Mygdonian basin, Greece, i.e. in a sedimentary basin -environment. The reasonable outcome of the TEM transform is confirmed with comparison to radiomagnetotelluric data (which has similar depth of investigation compared to TEM) measured at the same location. The approach will be further applied to data to be measured on Svalbard during May 2015.

Post-glacial rebound studies using absolute gravimetry in Finland

M. Bilker-Koivula[1], J. Mäkinen[1], H. Ruotsalainen[1], J. Näränen[1], L. Timmen[2], O. Gitlein[3], F. Klopping[3], R. Falk[4]

[1] Finnish Geospatial Research Institute (FGI), National Land Survey of Finland (NLS), mirjam.bilker-koivula@nls.fi
[2] Institute für Erdmessung (IfE), Hanover, Germany
[3] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA. Currently at Micro-g LaCoste, USA
[4] Bundesamt für Kartographie und Geodesie (BKG), Frankfurt am Main, Germany

Abstract

The Fennoscandian crust has been rising ever since the last ice age. In the centre of the area uplift rates of 1 cm/yr are observed. Here we present the post-glacial rebound signal in Finland determined with repeated absolute gravimeter measurements between 1976 and 2012. Time series are available for seven sites. The absolute gravity time series clearly show the postglacial rebound signal. Estimated trends vary between -2.0 and +0.2 µGal /yr.

1. INTRODUCTION

Postglacial rebound (PGR) has been ongoing in Fennoscandia since the last ice age. Uplift rates have been observed with a variety of techniques, such as levelling, tide gauges and GPS. In the centre of the uplift area observed vertical velocities are 1 cm/year. Here, we show the result of repeated absolute gravity measurements in Finland.

Absolute gravity measurements have been performed in Finland since 1976 by several groups with different instruments, with the purpose of determining the gravity change rate in the Fennoscandian area. First results of repeated absolute gravity measurements in Finland were published in Bilker-Koivula et al. (2008) after five years of observations with the FG5-221 absolute gravimeter of the FGI. Now, we will present the latest results based on all observations between 1976 and 2012.

2. DATA

As part of the Nordic Absolute Gravity Project, absolute gravity has been observed at seven sites in Finland for at least 3 times between 2003 and 2012. The measurements were carried out with the FG5-221 gravimeter of the FGI and the FG5-220 gravimeter of the IfE.

Here, we also utilize older measurements performed before this period. This includes early measurements made with the IMGC gravimeter of the Instituto di Metrologia "G. Colonnetti" (IMGC) in 1976 (Cannizzo et al., 1978) and with the GABL gravimeter of the Soviet Academy of Sciences (ANSSSR) in 1980 (Arnautov et al., 2982). Measurements were also made with the FG5-111 and FG5-102 gravimeters of NOAA in 1993 and 1995 and with the FG5-101 gravimeter of BKG in 2000. Between 1988 and 2002 the FGI performed repeated measurements with the JILAg-5 gravimeter.

3. RESULTS

We estimate trends trough the gravity time series and compare these with trends obtained from other sources, such as GIA models and observations of vertical motion.

The absolute gravity time series clearly show the postglacial rebound signal. Trends estimated from the time-series vary between -2.0 and +0.2 µGal /yr. At most stations the found rates agree well with rates predicted from observations of PGR vertical motion and/or GIA models. However, at some sites there are discrepancies. These may be due to e.g. seasonal and inter-annual non-PGR variation in gravity, possible offsets between instrument types, and an insufficient amount of data.

A first estimate of the ratio between gravity change and height change resulted in -0.18 ± 0.02 µGal/mm.

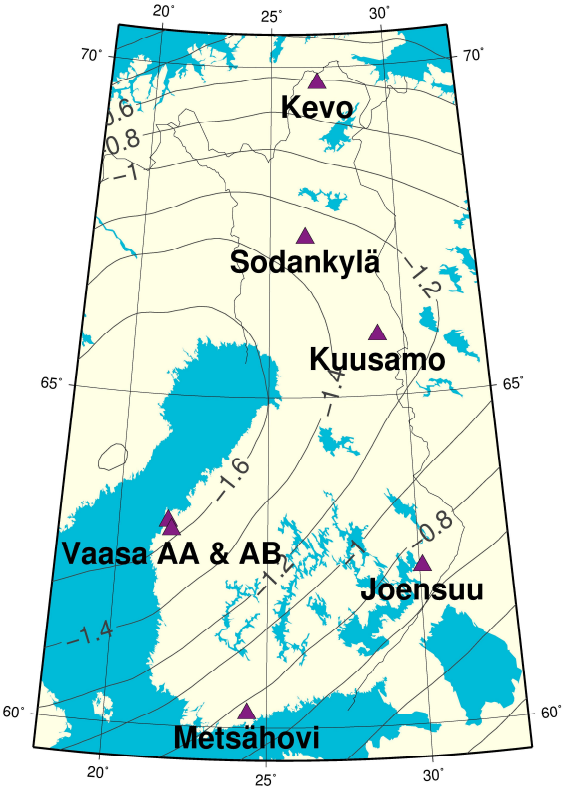


Figure 1. Absolute gravity stations in Finland with repeated observations and expected gravity change calculated from the NKG land uplift model.

REFERENCES

Arnautov, G.P., Ye.N. Kalish, A. Kiviniemi, Yu.F. Stus, V.G. Tarasiuk, S.N. Scheglov, 1982. Determination of absolute gravity values in Finland using laser ballistic gravimeter. *Publications of the Finnish Geodetic Institute*, **97**, Helsinki, 1982, 18 pp.

Bilker-Koivula, M., J. Mäkinen, L. Timmen, O. Gitlein, F. Klopping, R. Falk, 2008. Repeated Absolute Gravity Measurements in Finland. In Peshekhonov (Ed.): International Symposium on Terrestrial Gravimetry: Static and Mobile Measurements - Proceedings, TG-SMM2007, 20-23 August 2007, Saint Petersburg, Russia, State Research Center of Russia Elektropribor, 2008, 147-151.

Cannizzo, L., G. Cerutti, I. Marson, 1978. Absolute-Gravity measurements in Europe. *Il Nuovo Cimento*, Vol **1C**, Nr. **1**, 39-85.

FIGIFIGO – AN ADVANCED PORTABLE SYSTEM FOR SPECTROPOLAR-IMETRY

Maria Gritsevich[1] , Jouni Peltoniemi[1,2], Teemu Hakala[1], Nataliya Zubko[1], and Markku Poutanen[1]

[1] Finnish Geospatial Research Institute (FGI), email: maria.gritsevich@nls.fi
[2] University of Helsinki, Department of Physics, email: jouni.peltoniemi@helsinki.fi

We present an overview of the Finnish Geodetic Institute's field goniospectrometer, FIGIFIGO, and highlight its capabilities for spectropolarimetric measurements of vari-ous targets under actual field conditions [1, 2]. The design concept of this custom made instrument has proven to have a number of advantages, such as a well designed, user friendly interface, a high level of automation, and an excellent adaptability to a wide range of weather conditions during field measurements [3]. The instrument communi-cates via a control computer which has a simple user-friendly interface. This allows users to quickly and easily set up optional parameters prior to the collection of a measurement series. The setup and operation of the instrument is fast and efficient, both in the laboratory and under actual field conditions. It is battery powered and very portable, making it feasible to transport it by plane, car, boat, or sledge. The system includes a sky camera to detect the orientation of the goniometer and a pyranometer to monitor the synchronous illumination conditions. The instrument's mirror can be finely adjusted to apply small spatial corrections to the optical chain. Recent refinements in the calibration of the system has significantly improved the accuracy of the measurements and corre-spondingly, improved the acquired data's reliability. Experience gained from using the instrument has provided the operators with useful and practical information on how to operate the instrument in more efficient and accurate manner. FIGIFIGO has been used to measure the reflectance properties of hundreds of different targets, such as snow, var-ious types of vegetation, meteorites, planetary analogues, sand, gravel, as well as many man-made targets. The potential use of the results from these measurements are diverse; including their use as ground truth references for remote sensing studies, testing and val-idation of theoretical scattering models, estimating climate change over time, measuring other ecological effects caused by changes in land cover, and more generally, to aid in the identification and analysis of both seasonal, and nonseasonal variations of targets of interest.

[1] Peltoniemi J.I., Hakala T., Suomalainen J., Honkavaara E., Markelin L., Gritsevich M., Eskelinen J., Jaanson P., Ikonen E. (2014): Technical notes: A detailed study for the provision of measurement uncertainty and traceability for goniospectrometers. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 146, 376-390.
[2] Peltoniemi J.I., Gritsevich M., Puttonen E. (2015): Reflectance and polarization characteristics of various vegetation types. Springer Praxis Books, Light Scattering Re-views 9, pp. 257-294.
[3] Hakala T., Riihelä A., Lahtinen P., Peltoniemi J.I (2014): Hemispherical-directional reflectance factor measurements of snow on the Greenland Ice Sheet during the Radia-tion, Snow Characteristics and Albedo at Summit (RASCALS) campaign. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 146, 280–289.

TEM-menetelmän käyttö Suomessa viime vuosina - tarkasteltuna malminetsintäyrityksen näkökulmasta

H. Kaaretkoski

Ageos Oy, hannu.kaaretkoski@ageos.fi

Abstract

Time domain electromagnetic method (TEM method) is one of the most used geophysical method in ore exploration in Finland nowadays. Especially TEM method has been used for exploration of the massive sulfides and also with a succes. Nowadays TEM method is used more versatile than a couple years ago, mainly because knowledge of this method in Finland is increased and partly because of the equipment development. Mining companies, which are using TEM method, demand from the exploration companies more sophisticated equipments because needed equipments depend on more and more of the target. Anyway the general trend is that nowadays higher transmitter currents are used and more sensitive receiver or double receivers (magnetometer and induction coil) are used at the same time. Part of the TEM measurement (moving loop especially) is faster to carry out in winter time because moving is faster with snowmobiles than by walking or ATV. For that reason TEM measurements are mainly carried out in winter time in Finland and this gives own challenges for the exploration companies.

Aika-alueen sähkömagneettinen menetelmä (TEM-menetelmä) on tällä hetkellä yksi käytetyimmistä geofysikaalisista malminetsintämenetelmistä Suomessa. Erityisesti TEM-menetelmää on käytetty massiivisten sulfidimalmien etsimiseen ja myös hyvällä menestyksellä. Suomessa TEM-menetelmää käytetään tänä päivänä monipuolisemmin kuin vielä muutama vuosi sitten, mikä johtunee erityisesti tietotaidon lisääntymisestä ja osin laitekehityksestä. Tämä kehitys on näkynyt myös kaivosyhtiöiden asettamissa laitevaatimuksissa malminetsintäyrityksille. Nykyään laitteisto valitaan enemmän ja enemmän kohteen mukaan. Yleinen trendi on kuitenkin se, että TEM-mittauksissa käytetään suurempia lähetinvirtoja kuin muutama vuosi sitten, mutta lisäksi vastaanottimilta vaaditaan enemmän kuin aikaisemmin. Usein käytetään samanaikaisesti kahta vastaanotinta (magnetometri ja induktiokela), jolloin molempien vastaanottimien hyvät puolet saadaan käyttöön. TEM-menetelmän monipuolinen soveltaminen korostuu etenkin mittausten suunnitteluvaiheessa, jolloin valitaan käytettävä käytettävä kalusto, mittauskonfiguraatio sekä vastaanottimet. Mittausasetukset valitaan usein puolestaan vasta mittausalueella ja tämän mahdollistaa ajan hermolla pysyneet ammattitaitoiset mittaajat. Osa TEM-mittauksista on tehokkainta suorittaa talvella, jolloin liikkuminen on nopeaa moottorikelkkojen ansiosta. Tästä johtuen TEM-mittaukset suoritetaan pääosin talvella, mikä asettaa omat haasteensa malminetsintäyrityksille.

Sähköiset mittaukset louhintavaurion karakterisointitutkimuksissa

R. Kiuru[1], E. Heikkinen[1], N. Koittola[2] ja P. Kantia[3]

[1] Pöyry Finland Oy, risto.kiuru@poyry.com
[2] Posiva Oy
[3] Geofcon

Abstract

Posiva Oy is responsible for implementing the final disposal programme for spent nuclear fuel of its owners Teollisuuden Voima Oy and Fortum Power & Heat Oy. The final disposal is based on the multiple barriers principle, where the bedrock surrounding the disposal capsule, is considered as one of the barriers preventing the transportation of radionuclides. Excavation of the disposal tunnels will cause excavation damaged zone (EDZ), which can cause potential paths for ground water. Among other geophysical and hydrological measurements, electrical resistivity tomography, and mise-à-la-masse measurements have been performed in the EDZ survey area to characterise the thickness and variations of the EDZ layer, and to map continuity of electrically conducting structures in the rock mass.

1. JOHDANTO

Posiva Oy vastaa omistajiensa Teollisuuden Voima Oy:n ja Fortum Power & Heat Oy:n käytetyn ydinjätteen loppusijoituksesta. Loppusijoituskapselia ympäröivä kallioperä on yksi moniesteperiaatteen mukaisista kulkeutumisesteistä, ja radionuklidien mahdollinen kulkeutuminen rikkonaisessa kalliossa veden mukana on yksi keskeisimmistä riskeistä pitkäaikaisturvallisuuden kannalta. Loppusijoitustunneleiden louhinta aiheuttaa ympäröivään kalliomassaan louhintavauriota, ja tämän louhinnan vauriovyöhykkeen (excavation damaged zone, EDZ) karakterisointi on olennaista mahdollisen kulkeutumisen ymmärtämiseksi.

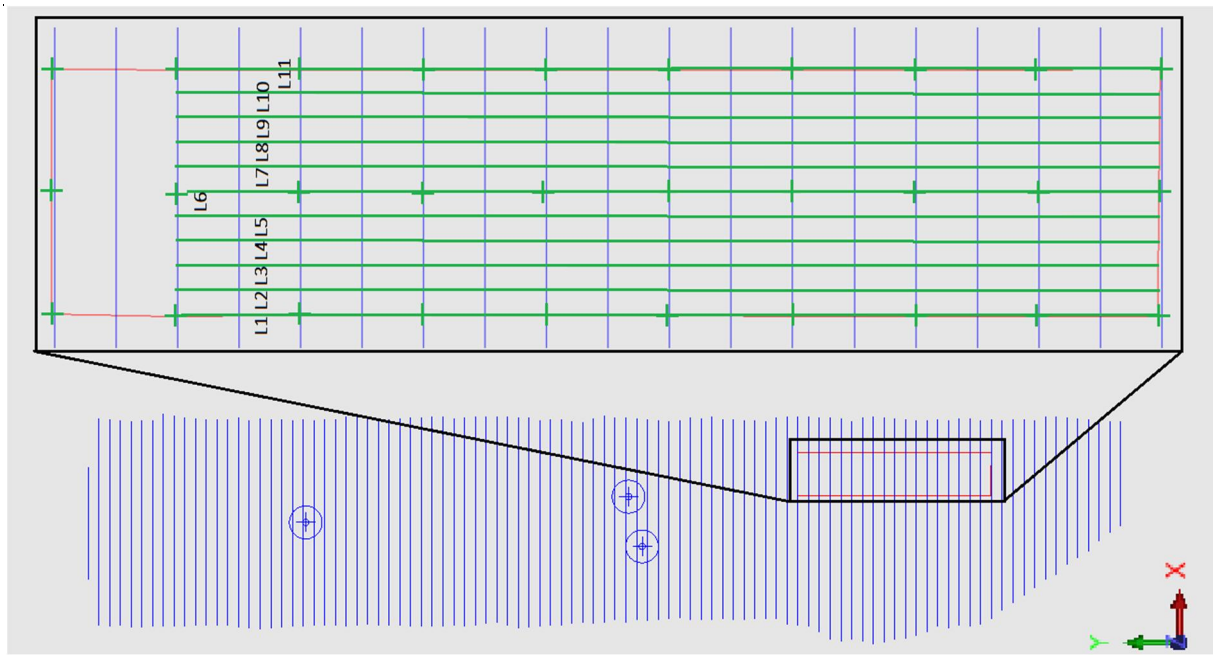
2. TAUSTAA

Poraus-räjäytys menetelmällä tapahtuva louhinta, sekä uusien kalliotilojen aiheuttamat ympäröivän kalliomassan jännitystilojen muutokset aiheuttavat louhintavaurioksi kutsuttua rakoilua (Siren et al. 2015), joka saattaa mahdollistaa pohjaveden virtauksia kalliomassassa lähellä tunnelin pintaa. Tämän rakoilun selvittämiseksi on ONKALO:n Tutkimustila 3:n EDZ tutkimusalueella tehty hydrologisia ja geofysikaalisia mittauksia, sekä geologista kartoitusta. Geofysikaalisista menetelmistä käytössä ovat olleet maatutkaluotaus, sähköinen tomografia, optinen ja akustinen reikäkuvaus, latauspotentiaalimittaus, seisminen tomografiamittaus, sekä petrofysiikan näyteanalyysit. Näistä tässä keskitytään sähköisiin menetelmiin.

Sähköisten mittausten tavoitteena oli kartoittaa EDZ tutkimusalueen ominaisvastusjakauma erityisesti maatutkaluotausten tulkinnan sekä geologisen EDZ-kartoituksen ja mallinnuksen tueksi mutta myös GPR EDZ louhinnan laadunvarmennusmenetelmän vasteen raja-arvojen kiinnittämiseksi. Louhintavaurio ilmenee uusien rakojen syntymisenä, sekä luonnon rakopintojen, ja mineraalirakeiden rajapintojen avautumisena, mitkä yhdessä lisäävät kiven kokonaishuokoisuutta. Tämä vaikuttaa osaltaan kallion ominaisvastukseen, ja sitä kautta maatutka-aallon vaimenemiseen. Latauspotentiaalimittauksella pyrittiin lisäksi kartoittamaan EDZ tutkimusalueella sijaitsevien kairanreikien väliset sähköisesti johtavat yhteydet.

3. KOHDE

EDZ tutkimusalue on kooltaan 9 x 2 metriä, ja sijaitsee ONKALO:n tutkimustilassa 3, ONK-TKU-3620. Tutkimusalueella on 30 kpl noin 1.2 m syviä pystysuoria halkaisijaltaan 76 mm kairareikiä, joista kukin on metrin etäisyydellä toisistaan kolmella 1 m päässä toisistaan sijaitsevalla linjalla (Kuva 1).



Kuva 1. Mittauslinjojen ja kairanreikien sijainnit Tutkimustila 3:ssa (ONK-TKU3620).

ONKALO:ssa tavataan pääasiassa eriasteisesti migmatiittiutuneita korkean metamorfoosiasteen kiviä (Aaltonen et al. 2010). Tutkimusalue koostuu pääasiassa juonigneissistä (veined gneiss/VGN) ja pegmatiittigraniitista (pegmatite granite/PGR) (Koittola 2014). Tutkimusalueen kalliomassa on varsin ehjää, rakoilu on vähäistä ja ehyen kiven tyypilliset huokoisuusarvot ovat matalia, 0.1 ja 0.5 % välillä. Ominaisvastus ehyessä, suolaisella vedellä kyllästyneessä Olkiluodon kalliossa vaihtelee 10^4–10^5 Ωm välillä. (Aaltonen et al. 2009; Heikkinen et al. 2004)

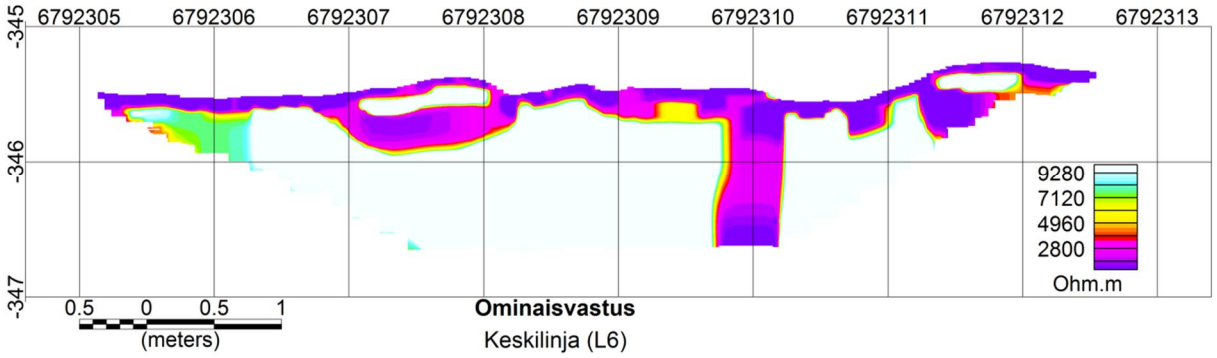
4. SÄHKÖINEN TOMOGRAFIAMITTAUS

Geologian tutkimuskeskus mittasi 2 x 9 metrin alueella 11 linjaa 0.2 m linjavälillä (Kuva 1). Alueelle porattuihin reikiin oli asennettu ruostumatonta terästä olevat ankkuripultit elektrodeiksi, ja aluetta oli kasteltu viikon ajan suolaisella in situ –vedellä ($\sigma \sim 1$ S/m). Mittauksissa käytettiin 81 elektrodin ABEM SAS 4000 & Lund Imaging System monielektrodivastusluotauslaitteistoa ja monigradientti-elektrodijärjestelmää (Dahlin & Zhou 2006). Reunimmaisilla sekä keskimmäisellä linjalla mitattiin 81 elektrodia 0.1 m pistevälillä, ja vastusluotauksen lisäksi mitattiin indusoitu polarisaatio (IP, varautuvuus). Muilla linjoilla mitattiin 61 elektrodia, linjojen keskellä 0.1 m pistevälillä, ja linjojen päädyissä 0.2 m pistevälillä. Mittauksen syvyysulottuvuus oli keskellä linjaa noin 1 m, sekä vertikaalinen ja horisontaalinen erotuskyky mallissa noin 0.05 m.

Pinnan topografia määritettiin fotogrammetrian avulla. Näennäisen ominaisvastuksen ja varautuvuuden vertikaalileikkausten laskenta 2D vertikaalileikkauksiksi tehtiin Res2DInv –ohjelmassa. Laskennassa suoritettiin yleensä seitsemän tai kahdeksan iteraatiota, ja ominaisvastuksen neliöllinen keskivirhe oli 4–5 %. Kolmen linjan IP-mittausten tulos mallinnettiin

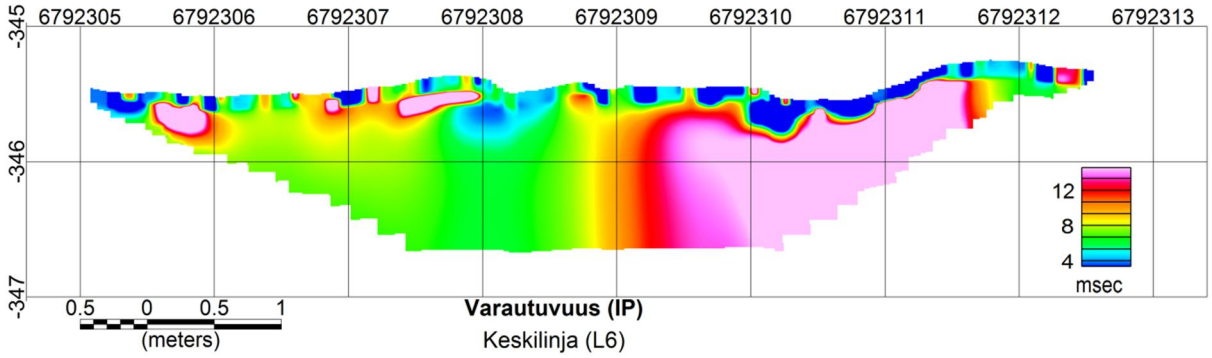
erillisen laskennan avulla yhdessä ominaisvastuksen kanssa siten, että havaintoarvoista oli ensin poistettu kaikki negatiiviset varautuvuusarvot ja samoja sijainteja vastaavat ominaisvastukset. IP:n neliöllinen keskivirhe oli n. 1 %. Tuloksista luotiin ominaisvastuksen ja varautuvuuden vertikaalileikkaukset (Loke & Barker 1996), jotka käsiteltiin kuviksi ja 3D malliksi Geosoft Oasis Montaj ja Geovia Surpac – ohjelmistoissa.

Tyypilliset ominaisvastusarvot ovat vertikaalileikkausten pohjaosissa (yli 0.5 m syvyydessä) alueen taustan tasoa vastaten 10^4–10^5 Ωm. Vastusluotauksen tuloksista nähdään pinnassa 0.05–0.3 m paksuinen alentuneen ominaisvastuksen kerros 10^2–10^3 Ωm, jonka oletetaan liittyvän louhintavaurioon (Kuva 2). Muuta ominaisvastusvaihtelua esiintyy vain vähän.



Kuva 2. Ominaisvastuksen vertikaalileikkaus mittauslinjalla L6.

Varautuvuus on yleensä noin 3–5% ja siinä havaitaan kivilajivaihtelusta aiheutuvia eroja paikan mukaan (Kuva 3). Kohonnut > 15 % varautuvuus on luultavasti seurausta vaihteluista gneissin mineralogiassa, esimerkiksi kiillegneissin tai mafisen gneissin sulkeumina, koska kohonneen varautuvuuden kohdat liittyvät yleisimmin korkean ominaisvastuksen sijaintikohtiin. Aivan kallion pintaan näyttää liittyvän matalan varautuvuuden kerros.



Kuva 3. Varautuvuuden vertikaalileikkaus (IP) mittauslinjalla L6.

5. LATAUSPOTENTIAALIMITTAUS

Pöyry suoritti latauspotentiaalimittaukset EDZ tutkimusalueessa sijaitsevien 30 kairareiän välillä. Virran ja jännitteen kiinteät kaukomaadoitukset olivat noin 30 m päässä tutkimuskohteesta. Aktiiviset maadoituskohdat valittiin yhteistyössä etukäteen kairannäytteiden kartoituksen ja reikäkuvausten perusteella määritettyjen rakojen kohdalle. Koska sähköisiä reikämittauksia ei ollut tehty, mahdollisiin muihin johderakenteisiin ei sijoitettu maadoituksia. Aktiivisia maadoituksia oli yhteensä noin 90 kappaletta. Reiät pidettiin tutkimuksen ajan vesitäytteisinä. Mittauksissa käytettiin ABEM Terrameter SAS 1000 laitteistoa, erikseen valmistettuja Pöyryn suunnittelemia reikävedestä virtausohjaimin eristettyjä reikäelektrodeja, ja Posiva Flow Log –ohjelmistoa (Ahokas et al. 2011). Reikäelektrodien pituus ja mittauspisteväli reiässä oli 0.1 m. Jokaisen reikämaadoituksen

synnyttämä potentiaali mitattiin kaikissa viereisissä kairanrei'issä. Maadoituksen siirron jälkeen mittaus toistettiin, minkä jälkeen maadoitus siirrettiin seuraavaan kairanreikään ja mittaukset toistettiin. Potentiaalin minimikohdat osoittavat sähköä johtavien reikävälien sijaintia, potentiaalin maksimikohdat verrattuna teoreettiseen potentiaalikäyrään osoittavat reikien välillä sijaitsevia sähköisiä yhteyksiä joko suoraan pitkin rakopintoja tai muita johderakenteita, tai epäsuorasti usean rakenteen muodostaman reitin kautta.

6. YHTEENVETO

Sähköisiä menetelmiä on käytetty ONKALO:n tutkimustila 3:n EDZ tutkimusalueella louhintavaurion karakterisointitutkimuksissa ominaisvastusjakauman ja sähköisten rakoyhteyksien kartoittamiseen, sekä maatutkaluotausten tulkinnan ja menetelmäkehityksen tukena. Vastusluotauksen tuloksista nähdään pintaosissa 0.05 – 0.3 m paksuinen alentuneen ominaisvastuksen kerros. Latauspotentiaalituloksista voidaan kartoittaa rakojatkuvuuksia.

LÄHTEET

Aaltonen, I., E. Heikkinen, S. Paulamäki, H. Säävuori, S. Vuoriainen ja I. Öhman, 2009. Summary of petrophysical analysis of Olkiluoto core samples 1990 – 2008, *Posiva Working Report* 2009-11.

Aaltonen, I., M. Lahti, J. Engström, J. Mattila, M. Paananen, S. Paulamäki, S. Gehör, A. Kärki, T. Ahokas, T. Torvela ja K. Front, 2010. Geological Model of the Olkiluoto Site, Version 2.0, *Posiva Working Report* 2010-70.

Ahokas, T., E. Heikkinen ja E. Hurmerinta, 2011. Mise-à-la-masse survey in the HYDCO niche 2011, *Posiva Working Report* 2011-89.

Dahlin, T. ja B. Zhou, 2006. Multiple-gradient array measurements for multichannel 2D resistivity imaging. *Near Surface Geophysics*, **4**, 113-123.

Heikkinen, E., P. Hellä, P. Saksa, J. Palmén ja T. Vaittinen, 2004. Unification of electrical resistivity logging data, *Posiva Working Report* 2004-60.

Koittola N., 2014. Geological 3D Model of the Investigation Niche in ONKALO, Olkiluoto, southwestern Finland. *Posiva Working Report* 2014-35.

Loke, M.H. ja R.D. Barker, 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, **44**, 499-523.

Siren, T., P. Kantia ja M. Rinne, 2015. Considerations and observations of stress-induced and construction-induced excavation damage zone in crystalline rock, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, **73**, 165-174.

Paleomagnetic study of late Neoproterozoic Hailuoto sediments, Western Finland, with implications for Baltica

R. Klein[1], J. Salminen[1] and S. Mertanen[2]

[1] Department of Physics, University of Helsinki, FI-00014, Helsinki, Finland,
[2] Geological Survey of Finland, FI-02151, Espoo, Finland
robert.klein@helsinki.fi

Abstract

We present a new Late Neoproterozoic paleomagnetic pole for Baltica from an inclined 272 m deep oriented sedimentary drill core in Hailuoto, Western Finland. The characteristic remanent magnetization (ChRM) was isolated with thermal and alternating field (AF) demagnetization treatments, from 26 samples. It has a magnetic declination of 334.4° and magnetic inclination of 57.7° with α_{95} = 5.8° and results in a paleomagnetic pole of Plat = 60.5°N, Plon = 247.9°E with A95 = 7.6°. We interpret it as a primary magnetization, as it is a dual-polarity ChRM carried by both magnetite and hematite, with no resemblance to younger events. A paleolatitude for Hailuoto of 38.3° was calculated from the ChRM. The Hailuoto pole indicates large distances between other late Neoproterozoic and early Cambrian paleomagnetic poles. We present paleogeographic reconstructions in which Baltica moves from high latitudes (615 Ma), over the polar region to low latitudes (550 Ma). A low to mid latitude position of Baltica determined by the Hailuoto pole, and the lack of glaciogenic sediments determined in an earlier study indicate a warm deposition environment.

1. INTRODUCTION

Ediacaran paleomagnetic data is complex since contradictory paleomagnetic results from coeval rocks have been obtained from both Baltica and Laurentia. Explanations for the two almost coeval magnetization components (high and low latitude), include fast continental motions (Meert and Tamrat, 2004), rapid true polar wander (TPW) (Mitchell *et al.*, 2011), or a non-actualistic geodynamo where the geomagnetic field alternated between axial and equatorial configurations during the Ediacaran (Abrajevitch and Van der Voo, 2010). Abrajevitch and Van der Voo (2010) argued that high plate velocities and true polar wander are implausible explanations for such rapid changes in the positions of continents, as both TPW and plate tectonics are speed-limited phenomena. However, as Meert (2014) pointed out, the analysis of Abrajevitch and Van der Voo (2010) analysis relied on problematic poles for Baltica, implying apparent polar wander (APW) rates exceeding 70 cm/yr (Meert, 2007). By taking into account reliable poles only, rapid plate motions can explain individual segments of the apparent polar wander path (APWP).
The aim of this study is: 1) to obtain a new paleomagnetic pole for Baltica; 2) to test the Late Neoproterozoic paleogeographic positions of Baltica; and 3) to better understand the environmental conditions during that time. With a new Late Neoproterozoic pole, we further aim to explore if the large sways in the Ediacaran APWP can be explained by high plate velocities alone.

2. METHODS

Oriented samples of sedimentary rock were prepared from the 272 m deep Hailuoto drill core M52-HAIL-04-005. The drill core mainly consists of conglomeratic sandstone and sandy conglomerates with smaller layers of mudstone, and sandstone (Solismaa, 2008). The conglomeratic sediments are poorly sorted, and the granule and small pebble sized clasts are sparsely dispersed in a finer grained matrix.

Paleomagnetic measurements with progressive alternating field (AF) and thermal demagnetizations were performed. Natural remanent magnetization (NRM) components were visually identified using stereographic and orthogonal projections (Zijderveld, 1967) and the directions were calculated by a least squares method (Leino, 1991). Mean remanence directions for the different components were calculated according to Fisher (1953). APWP and paleogeographic reconstructions were plotted with the GMAP programme (Torsvik and Smethurst, 1999). The magnetic carriers were identified by thermomagnetic analysis, measuring the bulk susceptibility (k) of selected samples while heating the samples from room temperature to 700 °C and cooling back to room temperature (in Argon gas).

3. RESULTS AND DISCUSSION

A dual polarity ChRM component was obtained from 26 samples. The normal polarity component shows an intermediate downward NNW direction (7 samples) and the reversed polarity component shows an intermediate upward SSE direction (19 samples). Based on thermal demagnetization curves, the magnetic carriers of the ChRM are magnetite and hematite. The presence of both magnetite and hematite is supported by the thermomagnetic curves (susceptibility vs. temperature). The normal (D = 323.5°; I= 40.7°; α_{95}=14.5°; k=18.8, n = 7) and reversed (D = 158.5°; I = -45.5°; α_{95} = 8.5°; k = 16.5, n = 19) observed ChRM directions pass the McFadden and McElhinny (1990) reversal test with classification C (observed angle, γ = 11.93° and, critical angle, γ_c = 18.17°).

It is important to make inclination corrections for paleomagnetic results obtained from sedimentary rocks, since inclination shallowing can be as much as 20° at mid-latitudes (Kodama, 2012). An inclination correction equation by King (1955) was used:

$\tan(I_o) = f \tan(I_f)$

where I_o is the observed inclination, I_f is the field inclination and f is an empirically derived 'flattening factor'. We followed the suggestion made by Torsvik *et al.* (2012) and used a flattening estimate of f = 0.6. The normal (D = 323.1°; I= 54.2°; α_{95}=12.0°; k=26.3, n = 7) and reversed (D = 158.5°; I = -58.7°; α_{95} = 6.7°; k = 26.1, n = 19) inclination corrected ChRM directions also pass the reversal test with classification C (observed angle, γ = 9.84° and, critical angle, γ_c = 16.46°). The inclination corrected direction of D = 334.4°; I = 57.7°; α_{95} = 5.8°; k = 25.2 yields a paleomagnetic pole of Plat = 60.5°N and Plon = 247.9°E with A95 = 7.6°, and places Hailuoto at a paleolatitute of 38.3°. As it is a dual-polarity ChRM carried by both magnetite and hematite, with no resemblance to younger events, we interpret it as a primary component.

Although the exact deposition age of the Hailuoto sediments in unkown, for the purpose of this discussion we assume an age range proposed by Tynni and Donner (1980) of 600 - 570 Ma, which places the age of the Hailuoto pole between the Egersund (616 Ma) (Walderhaug *et al.*, 2007) and the Verkhotina (Popov *et al.* 2005) and Zolotitca (Iglesia Llanos *et al.* 2005) poles (ca. 550 Ma) (Fig.1). We propose a loop in the aparent polar wander path (APWP) that starts at the Egersund pole (616 Ma), jumps to the Hailuoto pole, and follows the poles of Krivaya, Kurgahlya and Bakeevo formations (570 – 560 Ma) (Lubnina *et al.* 2014), continues to the 550 Ma Verkhotina and Zolotitca poles, and ends at the St. Petersburg limestone pole (Smethurst *et al.* 1998) close to the Egersund pole (Fig. 1). The angle of the segment between the Egersund dyke pole (616 Ma) and the Hailuoto pole is 86° which infers a plate motion of *ca.* 21 cm/yr with the lower Hailuoto age limit of 570 Ma. This is consistent with the upper speed limit for plate tectonics (between 20 and 25 cm/yr) reported by e.g. Meert *et al.*, (1993). However considering an older age for Hailuoto sediments, a non-actualistic geomagnetic field cannot be completely dismissed as a contributing factor in the large distances between Ediacaran poles. The segment between the 550 Ma mean pole and the St Peterburg (478 Ma) (Smethurst *et al.* 1998) pole (Fig. 1) yields an 87° angle which results in a velocity of *ca.* 16 cm/yr.

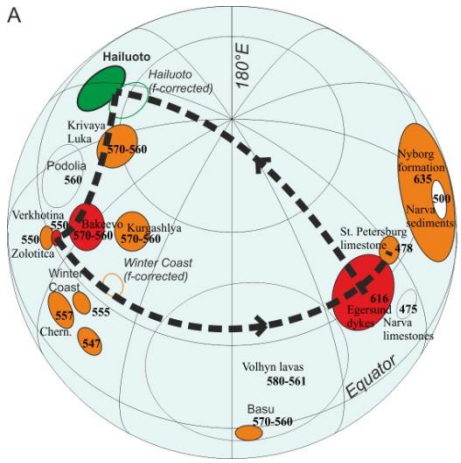


Fig. 1. Apparent polar wander path (APWP) of Baltica between 615 Ma and 475 Ma

The reconstructions (Fig. 2) show a possible scenario for Baltica and Laurentia between 615 Ma and 550 Ma. Baltica moves from a high latitude position at 615 Ma to low and mid latitudes after 615 Ma. The orientation of Baltica is very similar between 600 Ma and 550 Ma with the west coast of Norway directed towards the pole. In the 615 Ma reconstruction however, the west coast of Norway points away from the pole, implying that Baltica moved across the polar region between 615 Ma and 600 Ma without significant rotation. This motion of Baltica coincides with the final break-up of Baltica and Laurentia from the Rodinia configuration and the opening of the Iapetus Ocean, which is supported by the fact the Long Range (Laurentia) and Egersund (Baltica) dykes are rift-related (Bingen *et al.* 1998, Puffer 2002). The low latitude of Baltica presented in this study and warm deposition environment of Hailuoto sediments (Tynni and Donner, 1980), suggest that no global scale glaciation event, as presented in the snowball (Kirschvink, 1992) model, took place during the time of the Hailuoto deposition.

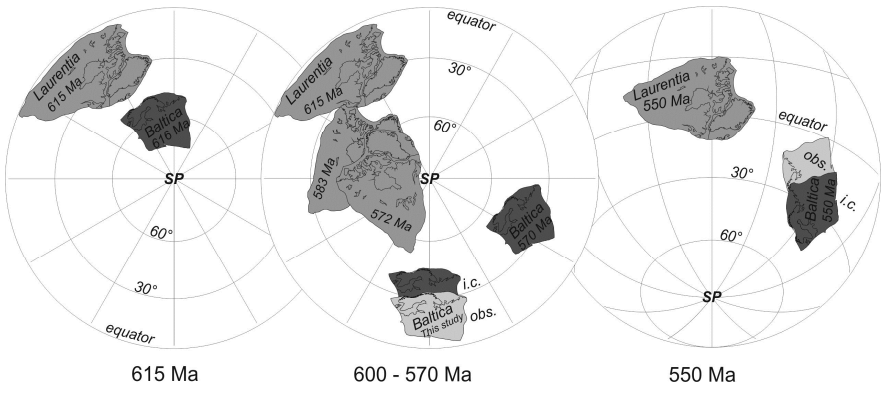


Fig. 2. Reconstructions of Baltica and Laurentia between 615 -550 Ma. Baltica shown observed (obs.) and inclination corrected (i.c.) positions in 550 Ma reconstruction.

ACKNOWLEDGEMENTS

Support for this work was provided by the Finnish Graduate School in Geology, the Vilho, Yrjö and Kalle Väisälä Foundation, and the Alfred Kordelin Foundation. We would like to acknowledge Juhani Ojala and Olli Breilin from the Geological Survey of Finland for initiating the Hailuoto project, and Ilmo Kukkonen and Passi Heikkilä for their suggestions and help.

REFERENCES

Abrajevitch & Van der Voo, 2010. Earth and Planetary Science Letters 293, 164-170.
Bingen et al., 1998. Journal of Geology 106, 565-574.
Fisher, 1953. Proceedings of the Royal Society A 217, 293-305.
Iglesia Llanos et al., 2005. Earth and Planetary Science Letter 240, 732 – 747.
King, 1955. Monthly Notices Royal Astronomical Society Geophysical Supplements 7, 115-134
Kirschvink, 1992. In: Schofp & Klein (eds) The Proterozoic Biosphere. Cambridge University Press, Cambridge, 51–52.
Kodama, K.P., 2012. Paleomagnetism of Sedimentary Rocks: process and interpretation. Wiley-Blackwell.
Leino, 1991. Geological Survey of Finland Report Q29.1/91/2 (in Finnish).
Lubnina et al., 2014. International Journal of Earth Sciences 103, 1317-1334.
Meert, 2014. Gondwana Research 25, 159-169.
Meert & Tamrat, 2004. In : Eriksson *et al.* (eds), The Precambrian Earth: Tempos and Events. Developments in Precambrian Geology, 12. Elsevier, Amsterdam, pp.255-266.
Meert et al., 1993. Nature 363, 216-217.
Meert et al., 2007. Precambrian Research 154, 159 - 174.
Mitchell et al., 2011. American Journal of Science 311, 651-663
Popov et al., 2005. Russian Journal of Earth Sciences 7, 1-29.
Puffer 2002. American Journal of Science, v. 302, p. 1–27
Smethurst et al., 1998. Geophysical Journal International 133, 44 – 56.
Solismaa, 2008. Hailuodon ja Muhoksen muodostumien sedimentologiasta ja strigrafiasta. M.Sc Thesis. University of Turku, p 106. (in Finnish).
Torsvik & Smethurst, 1999. Computers & Geosciences 25, 395-402.
Torsvik et al., 2012. Earth-Science Reviews 114, 325-368.
Tynni & Donner, 1980. Geological Survey of Finland, Bulletin 311.
Walderhaug et al., 2007. Geophysical Journal International 168, 935 – 948.
Zijderveld 1967. In: Collinson et al. (eds), Methods in Palaeomagnetism. Elsevier, New York.

Crustal conductivity around the Bothnian Bay - Implications on the crustal evolution of the complex accretionary Svecofennian orogen in Fennoscandia

T. Korja[1], K. Vaittinen[2], M. Abdel Zaher[3], A. Korja[4], M. Pirttijärvi[1], M. Smirnov[1],and I. Lahti[5]

[1]University of Oulu, Finland, toivo.korja@oulu.fi / maxim.smirnov@oulu.fi / markku.pirttijarvi@oulu.fi
[2]Boliden Mineral AB, SE-93681 Sweden, katri.vaittinen@boliden.com
[3]National Research Institute of Astronomy and Geophysics, Egypt, moh_zaher@yahoo.com
[4]University of Helsinki, Finland, annakaisa.korja@helsinki.fi
[5]Geological Survey of Finland, Rovaniemi, ilkka.lahti@gtk.fi

Abstract

We have studied conductivity structures within the Svecofennian orogen, a complex accretionary orogen in the Fennoscandian Shield. The accreting units comprise a subducting plate carrying passive margin sequences and two island arc complexes with possible forearc, backarc and accretionary prism sequences. Conductors are interpreted as representing different types of closed basins and thus mark the boundaries between the accreting units. We have compiled old and new data from seven broad-band MT-profiles transecting palaeo-basins: the Kiiminki, Bothnian, Savo, and Kainuu belts in the central part of the orogen.

The data comprise c. 240 BMT soundings. Older data from 1980's were inverted for the first time. The new inversions of the old and new data revealed the sets of conductors with opposing dips. Conductors associated with the passive margin dip W/SW-wards whereas arc-affiliated conductors dip E/SE-ward. The Botnian belt represents a palaeo-accretionary prism within which a large dome structure with a granitic core (Vaasa dome) has developed. The eastern part of the dome is characterized by deep conductors dipping E and below the neighbouring tectonic unit. On the surface, the prism sequences are dipping W-wards at low angles. Sub-horizontal conductors mark the bottom of the granitic core of the dome. A comparison of the conductivity models with airborne electromagnetic and seismic data and lithological maps suggest that upper to middle crustal conductors are composed of graphite- and/or sulphide-bearing metasedimentary rocks and lower crustal conductor under the Central Finland Granitoid Complex probably of oxides

Keywords: magnetotellurics, airborne electromagnetics, crustal conductivity, accretionary orogen, Svecofennian orogeny

(received 22.5. 10:54)

Latauspotentiaalimittaukset kallioperän tutkimuksissa Olkiluodossa

M. Kuusisto[1], N. Koittola[1], A. Joutsen[1], E. Heikkinen[2] ja T. Ahokas[3]

[1] Posiva Oy, minna.kuusisto@posiva.fi
[1] Posiva Oy, noora.koittola@posiva.fi
[1] Posiva Oy, antti.joutsen@posiva.fi
[2] Pöyry Finland Oy, eero.heikkinen@poyry.com
[3] Astrock Oy, turo.ahokas@astrock.com

Abstract

Mise-à-la-masse (MAM) technique is an electrical resistivity method for delineating electrically conductive subsurface ore bodies or other conductive geological units. Several surveys have been carried out in Olkiluoto since 1995. The results of surveys have been used in geological and hydrological modelling. The method is proven to be useable also in tunnel conditions and it is planned to use also in future. In this work some of the Mise-à-la-masse surveys and results in Olkiluoto are presented.

1. JOHDANTO

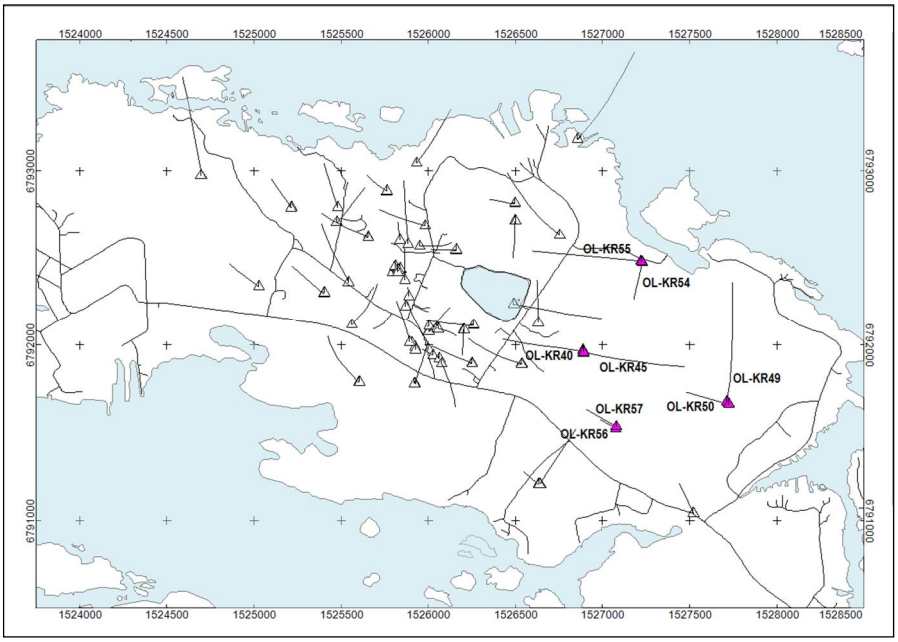
Latauspotentiaalimenetelmä (Mise-à-la-masse) on sähköinen tutkimusmenetelmä, jossa syötetään virtaa tutkittavaan kallioperän rakenteeseen ja kartoitetaan syntynyt potentiaalikenttä maanpinta- ja/tai reikämittauksin (Eloranta 1984). Menetelmää on käytetty sekä malmi- että kallioteknisissä tutkimuksissa ja tulosten perusteella voidaan määrittää sähköisiä yhteyksiä eri kohteiden välillä. Kallioteknisissä tutkimuksissa raot ja ruhjevyöhykkeet ovat vesipitoisuutensa takia hyviä johteita. Lisäksi savipitoiset rakotäytteet johtavat hyvin sähköä. Isäntäkivessä esiintyvät johdemineraalit kuten sulfidit ja grafiitti voivat myös muodostaa sähköä hyvin johtavia kohteita kalliossa. Ehyt kallio taas toimii eristeen tavoin. Tutkimusten tulokset antavat lisätietoa kallioperän mallinnukseen.

Posiva Oy on teettänyt latauspotentiaalimittauksia (MAM) useissa eri kohteissa Olkiluodossa ja tutkimustila ONKALO:ssa (mm. Ahokas ja Paananen, 2010; Ahokas, 2010b; Heikkinen et al. 2015a). Tavoitteena on ollut selvittää sähköisten johteiden jatkuvuutta kairanreiästä kairanreikään, kairanreiästä maanpinnalle sekä myös ONKALO:n ajotunnelin ja kairanreikien tai maanpinnan välillä. Tässä esitelmässä kuvataan joitakin viimeaikaisimpia mittauskohteita sekä mittauksista saatuja tuloksia.

Posiva Oy on myös kehittänyt omaa laitteistoa latauspotentiaalimittauksiin liittyen esim. Kristiansson and Heikkinen, 2009; Ahokas, 2010a; Heikkinen et al., 2015b. Laitteisto sisältää mm. rei'issä liikuteltavia elektrodeja, seinälle tai lattiaan kiinnitettäviä elektrodeja sekä relekortin, jonka avulla eri virtamaadoituksia voidaan vaihtaa ja tuloksia tallentaa tietokoneelle automaattisesti. Liikuteltavan reikäanturin elektrodit sijaitsevat virtausmittarin kumikiekkojen välissä, mikä estää virran karkaamisen kairanreiän sähköä johtavaan veteen reiän suunnassa, ja virta pystytään kohdistamaan paremmin suoraan tutkittavaan rakoon tai rakenteeseen. Nämä laitteet ovat osa Posivan PLF-tuoteperhettä (Posiva Flow Log), ja toimivat yhdessä ko. laitteistoon kuuluvan kaapelin, vinssin ja rekisteröintijärjestelmän kanssa.

2. MITTAUSPROJEKTEJA

Viimeisin latauspotentiaalimittauskampanja maan pinnalla suoritettiin Olkiluodon alueella loppuvuodesta 2012 ja alkuvuodesta 2013 Drillcon Oy:n toimesta (Ahokas et. al, 2014). Mittausten tavoitteena oli selvittää kairanreikien lävistämien sähköisesti johtavien vyöhykkeiden jatkuvuuksia Olkiluodon saaren itäosassa (kuva 1). Mallinnetun aineiston perusteella monet sähköisesti johtavat vyöhykkeet yhtyvät viimeisimmässä geologisessa mallissa esitettyihin hauraisiin vyöhykkeisiin. Tulokset osoittivat myös mahdollisuuksia yhdistää joitakin hauraita rakenteita toisiinsa.



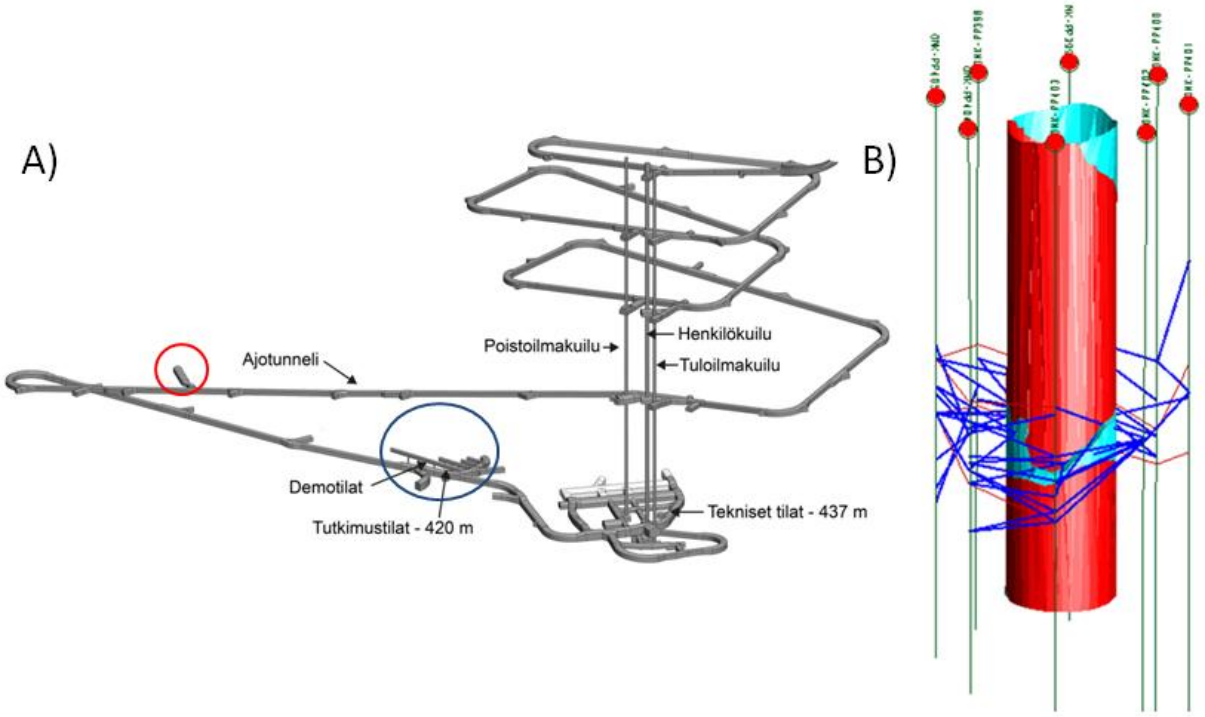
Kuva 1. Vuosien 2012 - 2013 latauspotentiaalimittauksissa mukana olleet kairanreiät on merkitty vaalean punaisella. (kuva: Ahokas et al., 2014)

ONKALO:ssa on tehty useita latauspotentiaalimittauksia, mutta esimerkkeinä tässä työssä toimivat demonstraatioalueen ja tutkimustila 3 latauspotentiaalimittauskampanjat. Tutkimukset on suorittanut Pöyry Finland Oy. Alueiden sijainnit on esitetty kuvassa 2A.

ONKALO:ssa Posivan demonstraatioalueella on tehty kaksikin eri latauspotentiaalimittausta. Ensimmäinen latauspotentiaalimittaus tehtiin vuonna 2010 kairanreikien ONK-PH16 ja ONK-PH17 välillä sekä reikien ja ajotunnelin seinän välillä ennen demostraatiotunnelien louhintaa (Ahokas, 2010a). Tarkoituksena oli selvittää alueella olevien rakojen ja rakovyöhykkeiden jatkuvuuksia. Lisäksi tavoitteena oli testata latauspotentiaalimenetelmän soveltuvuutta kallion soveltuvuusluokitukseen kuuluvana tutkimusmenetelmänä (Rock Suitability Classification, RSC). Tulosten mukaan latauspotentiaalimenetelmä on hyvin käyttökelpoinen tutkittaessa rakojen ja rakovyöhykkeiden jatkuvuuksia jopa vaativissa tunneliolosuhteissa.
Demonstraatioalueella tehtiin latauspotentiaalimittaus myös vuonna 2014 (Heikkinen et al. 2015a). Verrattuna edelliseen mittaukseen alueelle oli louhittu useita tunneleita sekä kairattu uusia pilottireikiä. Mittauksia tehtiin mm. pilottireikien ONK-PH21 - PH23 välillä sekä näiden kairanreikien ja useiden tunnelin seinän osuuksien välillä. Tuloksena löydettiin useita yhteyksiä reikien ja tunneleiden välillä, joiden avulla voitiin varmistaa mallinnettuja rakenteita.

Tutkimustilassa 3 mitattiin kairareikien ONK-PP389-405 välisiä sähköisiä yhteyksiä syksyllä 2013 (Heikkinen et al. 2015b). Kairanreiät ovat 8 m syvyisiä, ja sijaitsevat kehällä koeloppusijoitusreiän ONK-EH03 ympärillä metrin etäisyydellä sen seinämästä. Mittaukset olivat osa POSE-koesarjaa,

jossa selvitetään kallion hilseilylujuutta. Erityisesti mittaukset tehtiin tutkimustila 3:n geologista mallinnusta varten (Koittola, 2014). Mittaukset tehtiin yhteensä 84 eri maadoituksella. Maadoitukset kiinnitettiin sekä reiän ONK-EH03 seinämällä että kairanrei'issä erityisesti kiinnostuksen kohteena oleviin rakoihin, kiillepakkoihin sekä magneettikiisupitoisiin gneissivyöhykkeisiin. Mallinnuksen perusteella voimakkain yhteyksiä indikoinut alue (62 yksittäistä yhteyttä) sijaitsi noin 4.5-5 m syvyydessä, ja tämän alueen mallinnetut yhteydet näkyvät kuvassa 2B. Kuvassa jokainen yhteys on esitetty suorana viivana lähettimen ja vastaanottimen välillä, vaikka todellisuudessa sähkövirta saattaa kulkea huomattavasti monimutkaisemman reitin kalliossa. Geologisen mallinnuksen mukaan kyseisellä syvyydellä olevat yhteydet liittyvät kallion voimakkaaseen rakoiluun ja kaoliniittiutuneeseen gneissiin.



Kuva 2. Kuvassa 2A näkyvät tutkimustila 3 (punainen ympyrä) ja demonstraatioalueen (sininen ympyrä) sijainnit ONKALO:ssa. Kuvassa 2B esitetään tutkimustila 3:ssa suoritetun latauspotentiaalimittausten tulokset syvyydellä 4-5 m sijaitsevan rakenteen osalta. Kuvan keskellä on koeloppusijoitusreikä ONK-EH3:n litologinen malli (Koittola 2014).

3. JOHTOPÄÄTÖKSET

Olkiluodossa tehtyjen latauspotentiaalitutkimusten perusteella menetelmä on toiminut hyvin rikkonaisten rakenteiden tunnistamisessa sekä rakenteiden välisten yhteyksien määrityksessä. Mittaustekniikkaa on kehitetty automatisoinnin avulla tehokkaammaksi mittausaineiston tuoton kannalta, jolloin samassa ajassa voidaan tallentaa aiempaa enemmän tuloksia. Menetelmä on antanut lisätietoa sekä alueelliseen että pienen mittakaavan mallinnukseen. Esimerkiksi demonstraatioalueen geologisessa detalji-mallinnuksessa käytettyjen latauspotentiaalimittaustulosten perusteella havaittiin erään rakenteen olevan huomattavasti oletettua laajempi. Ennen latauspotentiaalimittauksia tämän rakenteen jatkuvuutta ei ollut havaittu muilla mittauksilla. Latauspotentiaalimenetelmää on tarkoitus käyttää tulevaisuudessakin Posivalla esimerkiksi osana RSC-menettelyä (Rock Suitability Classification), jonka perusteella arvioidaan kallion soveltuvuutta loppusijoitukseen.

LÄHTEET

Ahokas T., 2010a. Mise-à-la-masse survey in the ONKALO DEMO area 2010, Muistio, Pöyry Finland Oy, 24p. (julkaisematon)

Ahokas, T., 2010b. Preliminary Modelling of the 2010 MAM Survey Data, *Working Report 2010-75, Posiva Oy*, Olkiluoto, Finland, 72p.

Ahokas T. and Paananen M. 2010. Updated and Integrated Modelling of the 1995 – 2008 Mise-à-la-masse Survey Data in Olkiluoto, *Working Report 2010-8, Posiva Oy*, Olkiluoto, Finland, 266p.

Ahokas, T., Paananen, M., Paulamäki, S., Tiensuu, K. and Korhonen, K. 2014. Mise-à-la masse survey 2012-2013 in Olkiluoto and modelling of the data. *Working report 2014-29, Posiva Oy*, Eurajoki, 181p.

Eloranta, E., 1984. A method for calculating mise-à-la-masse anomalies in the case of high conductivity contrast by the integral equation technique. *Geoexploration 23*, pp. 471-481.

Heikkinen E., Heikkinen P., Hurmerinta, E. & Kiuru, R. 2015a. Mise-à-la-masse survey in the ONKALO DEMO area 2014, *Working Report 2015-XX, Posiva Oy* (tekeillä)

Heikkinen, E., Hurmerinta, E., Heikkinen, P. & Kiuru, R. 2015b. ONKALO POSE Experiment – Phase 3, Mise-à-la-masse and electrical tomography measurements, *Working Report 2013-40, Posiva Oy* (tekeillä)

Koittola N. 2014. Geological 3D Model of the Investigation Niche in ONKALO, Olkiluoto, southwestern Finland, *Working Report 2014-35, Posiva Oy*, Olkiluoto, Finland. 96p.

Kristiansson S., Heikkinen P. 2009. Mise-á-la-Masse Measurements in Drillholes OL-KR4, OL-KR30 and OL-KR14-OL-KR18 in Olkiluoto, *Working Report 2009-10, Posiva Oy*, Olkiluoto, Finland, 239p.

Revontulien akustiikkaa

U. K. Laine

Aalto-yliopisto, Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos, unto.laine(at)aalto.fi

Abstract

In January 2000 a project called Auroral Acoustics was started at Helsinki University of Technology (TKK, now a part of Aalto University) - the main aim was to study acoustic phenomena associated with aurora borealis. When the project began there were no recorded samples of these sounds available and the scientific community was divided into two opposite schools. One side favored that auroral sounds were not real but the observations must be caused by some unknown psychophysical process and the other supported the existence of auroral sounds. The first phase of the project (2000-2005) provided evidence of the physical nature of the sounds. During the second phase (2011-current) it was possible to define the location of the sound source by applying a new methodology. Based on these new results, we are now able to estimate the location of the sound source and also to associate the sounds with the preceding electromagnetic radiation.

1. TIIVISTELMÄ

Vuosituhannen vaihteesta lähtien Suomessa on tutkittu revontuliin liittyviä ääni-ilmiöitä. Tutkimustyön ensimmäiseen vaiheeseen (2000-2005) TKK:n Akustiikan laboratorion lisäksi, joka nykyään on osa Aalto-yliopistoa, osallistui tutkijoita myös Sodankylän geofysiikan observatoriosta (SGO) ja Ilmatieteen laitokselta (FMI). Hankkeen ensimmäiseksi tavoitteeksi asetettiin selvittää, ovatko revontulien aikana tehdyt äänihavainnot luonteeltaan subjektiivisia vai voidaanko havaitut äänet osoittaa jonkin todellisen fysikaalisen ilmiön tuottamiksi ja vieläpä sellaisen, joka on geomagneettisen myrskyn aikaansaamaa (Auroral Acoustics, 2000).

Hankkeen ensimmäinen vaihe päättyi Janne Hautsalon diplomityön valmistuttua (2005), jolloin kävi ilmeiseksi, ettei valitulla yksinkertaisella metodiikalla ollut mahdollista saada riittävästi ongelman ratkaisemiseen tarvittavaa tietoa. Yhden mikrofonin ja VLF antennin yhdistelmällä voitiin tutkia vain paikallista sähkökenttää ja sen mahdollisia yhteyksiä ääniin. Akustisten mittausten liittäminen FMI:n magneettikenttämittauksiin tuotti merkittävää uutta tietoa ja jopa näyttöä siitä, että äänillä on tilastollisesti merkittävä yhteys geomagneettiseen myrskyyn. Metodi ei kuitenkaan mahdollistanut yksittäisten äänitapahtumien tarkempaa tutkimista, vaan se rajoittui pitkähköjen audiosignaalien korrelointeihin samanaikaisesti tai hieman aiemmin mitattuihin magneettikentän vaihteluihin. Ja lisäksi yksi, hyvin merkittävä ongelma jäi tyystin valaisematta: *Missä äänilähde tai äänilähteet sijaitsevat*?

Vuosina 2005-2010 hanke ei käytännöllisesti katsoen edennyt lainkaan. Kaikki hankkeen rahoitusyritykset olivat kaatuneet. Myös aurinko tarjosi minimaalisesti uusia koronapurkauksia ja revontulia tutkittavaksi. Oltiin tienhaarassa, lopettaako koko hanke tähän vai satsatako siihen lisää siten, että metodisista ongelmista päästäisiin eroon. Muutaman yhteensattuman kautta aihepiiri

alkoikin saada uutta eloa keväällä 2011. Käynnistyi hankkeen toinen vaihe, jossa metodiikka uusittiin lähes kokonaan.

Yksinkertainen sähkökenttämittaus vertikaalin VLF antennin avulla muutettiin magneettikentän mittaamiseen VLF antennikelaa käyttäen ja yksikanavaisesta audiosta siirryttiin kolmikanavaiseen, missä yhdessä kanavassa käytettiin samaa pienikohinaista ja herkkää mikrofonia (B&K) paraboloidisen heijastimen polttopisteeseen asennettuna kuten aiemmin ja tämän rinnalle tuotiin kaksi laadukasta apumikrofonia (stereopari), joissa pallon muotoiset suuntakuviot. Kaksi lisämikrofonia mahdollistivat äänilähteen suunnan mittaamisen tilanteissa, joissa sen äänenpainetaso oli riittävä. Lisäksi suuntakuvioiden erilaisuus mahdollisti sivusuunnista tulevien ympäristöäänien paremman erottelun suoraan ylhäältä taivaalta tulevista äänistä.

Uusittu metodiikka on johtanut uusiin tuloksiin. Äänilähteen sijainnista on saatu tarkempaa tietoa. Lähde ei ainoastaan tuota ääntä, vaan myös sähkömagneettisia pulsseja. Samalla lähes kaikki akustiset ja psykoakustisetkin mysteeriot, joista aiempi kirjallisuus on spekuloinut ilmiöön liittyen, alkavat väistyä mittauksiin perustuvan uuden tiedon tieltä. Uudet tulokset ovat synnyttäneet joukon entistäkin kiinnostavampia jatkokysymyksiä.

KIITOKSET

Lausun parhaat kiitokset Sodankylän Geofysiikan Observatorion, Oulun yliopiston ja Ilmatieteen laitoksen tutkijoille erityisesti vuosien 2000-2005 aikana tehdystä yhteistyöstä. Keväällä 2015 Suomen Kulttuurirahasto myönsi hankkeelle apurahan.

LÄHTEET

Auroral Acoustics, projektisivut 2000-2015 (TKK Akustiikan laboratorio ja SPA/Aalto): http://research.spa.aalto.fi/projects/aurora/index.html

Hautsalo, J., 2005. Study of Aurora Related Sound and Electric Field Effects [pdf]. Diplomityö TKK.

Solar cycles in the 19th century using sunspot drawings by Schwabe

R. Leussu[1], I. Usoskin[1,2], R. Arlt[3], and K. Mursula[1]

[1]ReSoLVE Centre of Excellence, Astronomy and Space Physics, University of Oulu, Finland
[2]Sodankyla Geophysical Observatory (Oulu unit), University of Oulu, Finland
[3]Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam, Germany

Abstract

We study the sunspot data from years 1825-1867 obtained from observations of Samuel Heinrich Schwabe. We calculate the Gleissberg-filtered monthly mean of Wolf sunspot numbers (WSN- S) and group sunspot numbers (GSN-S) based solely on these observations and compare these to the official corresponding series. In addition we introduce a new method for separating the butterfly "wings" in the sunspot butterfly diagram.

1. INTRODUCTION

The Wolf sunspot number (WSN) is the most widely used proxy for solar activity. It is used in a wide range of different areas of research from solar physics to climate studies. Monthly values for the WSN are available since 1749, and the annual values from around 1700. It is calculated using sunspot observations of one primary observer at a time. The shift from one observer to another is made consistent by individual scaling factors assigned by Rudolf Wolf, who originally introduced the WSN series in 1861. Another often used series is the group sunspot numbers (GSN), calculated slightly differently from the WSN. It is available already since 1610.

Sunspot number is a benchmark series in many studies, but may still contain inhomogeneities and inconsistencies. In particular, an essential discrepancy exists between the two main sunspot number series, the WSN and GSN, before 1848. The source of this discrepancy has so far remained unresolved. However, the recently digitized series of solar observations in 1825–by Samuel Heinrich Schwabe, who was the primary observer of the WSN before 1848, makes such an assessment possible. A detailed description of the digitization process of Schwabe's observations was made by Arlt (2011), and Arlt et al. (2013).

Another way to asses the characteristics of a solar cycle is the butterfly diagram, where each sunspot is plotted as a singular point at the latitude and date of its appearance in a latitude-vs- time coordinate system. It was first introduced by Maunder (1904) who plotted the latitudinal evolution of sunspot emergence on the solar surface between 1874-1902, which resulted in a pattern similar to that of butterfly wings.

2. DATA AND METHODS

We constructed sunspot series, similar to WSN and GSN, but using only Schwabe's data. These series, called WSN-S and GSN-S, respectively, were compared with the original WSN and GSN series for the period 1835– to look for possible inhomogeneities.

In addition to the WSN series, we constructed a butterfly diagram from the sunspots in the Schwabe data to separate the solar cycles and hemispheres that form the so-called "wings" in the butterfly diagram. The division between the wings was made by finding long gaps between sunspot occurrence and using the middle points of these gaps to form a chain of line segments between the wings.

3. RESULTS

We show that the WSN series has a step-like jump of ≈ 20% around 1848 caused by the change of the primary observer from Schwabe to Wolf and an inappropriate individual correction factor used for Schwabe in the WSN. This implies a major inhomogeneity in the WSN, which needs to be corrected by reducing its values by 20% before 1848. (Leussu et al. 2013)

We show that the GSN series is homogeneous and consistent with the Schwabe data throughout the entire studied period and that the corrected WSN series is in good agreement with the GSN series. This study also supports the earlier conclusions that the GSN series is more consistent and homogeneous in the 19th century than the WSN series.

In addition, we give primary results of a new method for separating the "wings" in the sunspot butterfly diagram by performing this separation on the butterfly diagram constructed from the Schwabe data.

ACKNOWLEDGEMENTS: We acknowledge the financial support by the Academy of Finland to the ReSoLVE Centre of Excellence (project no. 272157). The original WSN series was obtai- ned from the Solar Influences Data Analysis Center (SIDC), and the original GSN series from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

LÄHTEET

Arlt, R., 2011. The sunspot observations by Samuel Heinrich Schwabe. *Astronomische Nachrichten*, 332, 805.

Arlt, R., R. Leussu ja N. Giese, K. Mursula, I.G. Usoskin, 2013. Sunspot positions and sizes for 1825-1867 from the observations by Samuel Heinrich Schwabe. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 433, 3165-3172.

Leussu, R., I.G. Usoskin, R. Arlt, and K. Mursula, 2013. Inconsistency of the Wolf sunspot number series around 1848. *Astronomy & Astrophysics* , 559.

Maunder, E.W., 1904. Note on the distribution of sun-spots in heliographic latitude, 1874-. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 64, 747-761.

Contribution of geophysics to geothermal exploration at Northern Western Desert of Egypt

H. S. Mohmaed[1], M. Abdel Zaher[2] and M. M. Senosy[1]

[1] Geology Department, Faculty of Science, Assiut Univ., Egypt, habysalaheldin@yahoo.com
[2]National Research Institute of Astronomy and Geophysics, Egypt.

Abstract

The Western Desert of Egypt covers two thirds of Egypt's land area. It includes a famous series of depressions such as Baharia, Farafra, Dakhla, and Kharga oases, which represent important geomorphologic features and are most probably structurally controlled. In most of these oases, a number of hot springs are flowing naturally from deep aquifers. The surface temperature range is relatively low suggesting low enthalpy geothermal system. Geothermal data in the form of Bottom-Hole temperature logs was correlated with geophysical data in the form of gravity and magnetic maps to explore the geothermal resource in the study area.

1. INTRODUCTION

The northern Western Desert represents the second most important oil-producing area. Numerous studies have been carried out on the geology, hydrogeology, and hydrocarbon potential of the Western Desert, whereas limited studies have focused on its geothermal potential. Thus, the present study aims to shed more light on the geothermal resources and to develop a new geothermal gradient map of the northern Western Desert using different types of data. The study area is located between latitude 27° to 31°N and longitude 26° to 31°E and characterized by a featureless plain cut by Qattara, Siwa, Farafera, Bahariya, Wadi Rayan, Birket Qarun and Wadi Natrun depressions (Fig. 1). Many authors have used Bouguer gravity anomaly maps of the northern Western Desert to determine the main tectonic trends in different parts of the region. Abdel Zaher et al. (2009) used an ANN to determine the thickness of the sedimentary cover in the southern Western Desert from gravity data.

2. GEOTHERMAL AND GEOPHYSICAL DATA

We have access to temperature data from 148 deep oil wells (2000 – 4500 m), based on measurements carried out by oil companies, including the Egyptian General Petroleum Company (EGPC), the Gulf of Suez Petroleum Company (GUPCO), and British Petroleum Company (BPC). Most of the wells are located in the north part of the study area. The temperature data are in the form of bottom-hole temperature (BHT), which is measured at the bottom of the well (highest temperature). Temperature logs are routinely measured during drilling or soon after circulation has ceased. Thus, these data are typically lower than the true temperature of the formation due to the cooling effect of the drill fluid circulation. So, the temperature logs were corrected on the basis of time from the end of mud circulation (TSC) using different methods.

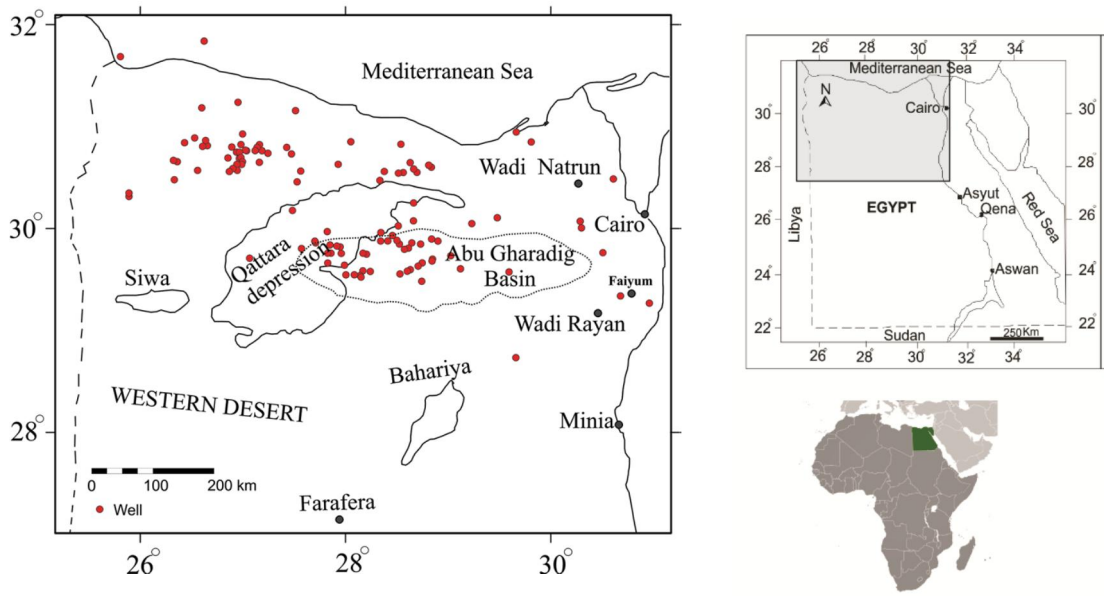


Figure 1. Location map of the study area in the northern Western Desert. The red dots indicate the location of oil wells that have bottom-hole temperature log data

Gravity data in the form of a Bouguer anomaly map with a contour interval of 5 mGal is considered to be one of the most important principal sources of information about the internal structure of the Earth's crust. The aerogravity data were obtained from Getech Group plc. The data cover a large land area in the northern region of Egypt as a 1 km grid of Bouguer gravity north of 27_N and west of 31_E, with a contour interval of 5 mGal (Fig. 2a). The airborne gravity data collection was performed 600 m above ground. Additionally, aeromagnetic map was combined with gravity data to elicit the sources of the geothermal resources in the study area (Fig. 2b)

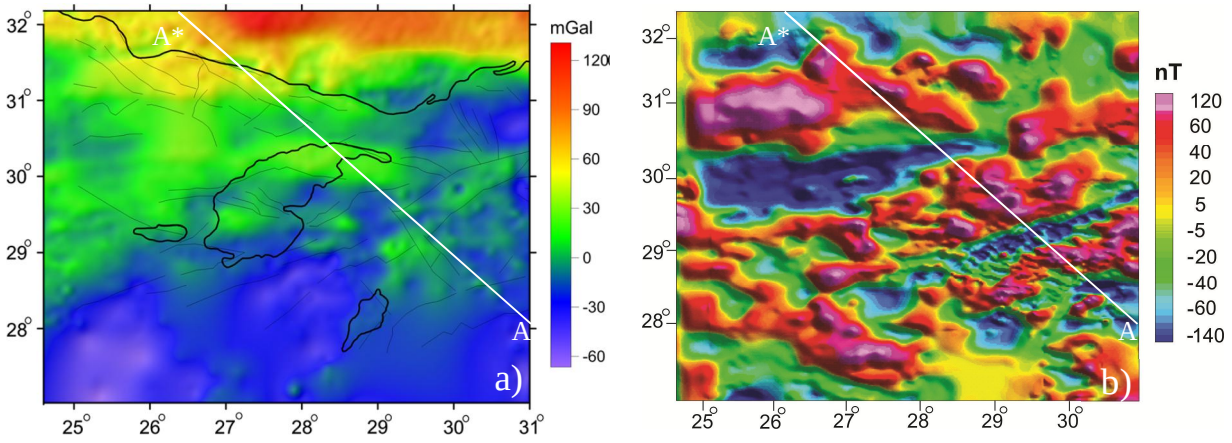


Figure 2. a) Bouguer anomaly map of the northern Western Desert (1 km grid) obtained from Getech Group plc. B) Aeromagnetic map of the northern western desert (1 km grid). Line AA* is using for forward meddling.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The BHT logs cover only the northern part of the study area and there are no geothermal data south of 27° N. Thus, geothermal gradient was integrated with corresponding gravity value at each well location using the Artificial Neural Network (ANN) method in order to predict the geothermal regime at localities where no boreholes exist. An ANN uses training and learning process to build a system of neurons and weight links that allow it to make new decisions, classifications, and predictions. In the present study, the ANN was used to build logical relationships between the geothermal gradient and the vertical gradient gravity values obtained from the first vertical gradient

gravity map. In total, 116 samples of data (temperature and gravity gradients) were used to train and test the network: 93 samples for training and 23 samples for testing. The ANN consists of the input layer (gradient gravity values) and the output layer (geothermal gradientsThe obtained correlation coefficient between the observed and predicted data was 0.7 in the training stage and 0.68 in the testing stage, which means that although the geothermal gradient values cover a wide range, the network was able to follow the trend.

Finally, the well-trained ANN was applied to the whole northern Western Desert gravity data set to obtain a geothermal gradient map (Fig. 3). The temperature gradients ranged from 0.02 to 0.04 ^{o}C/m, and the average geothermal gradient in the studied area was 0.03 ^{o}C/m (green color). Generally, there was a regional decrease in geothermal gradient values northward toward the Mediterranean Sea due to thinning of the radioactive isotope-rich continental crust. In contrast, the Moho discontinuity in the northern Western Desert varied between 34 km in the south to 22 km at the Mediterranean Sea (Hosney 2002).

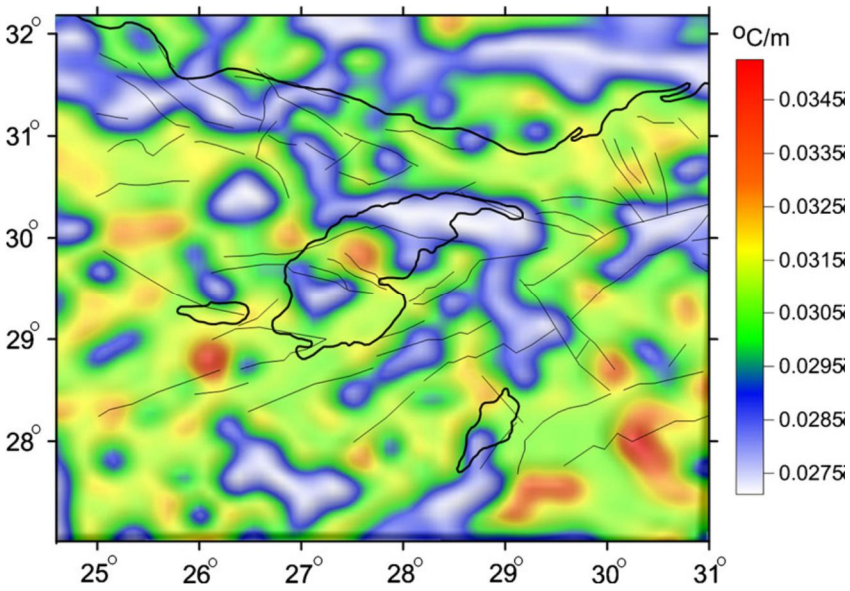
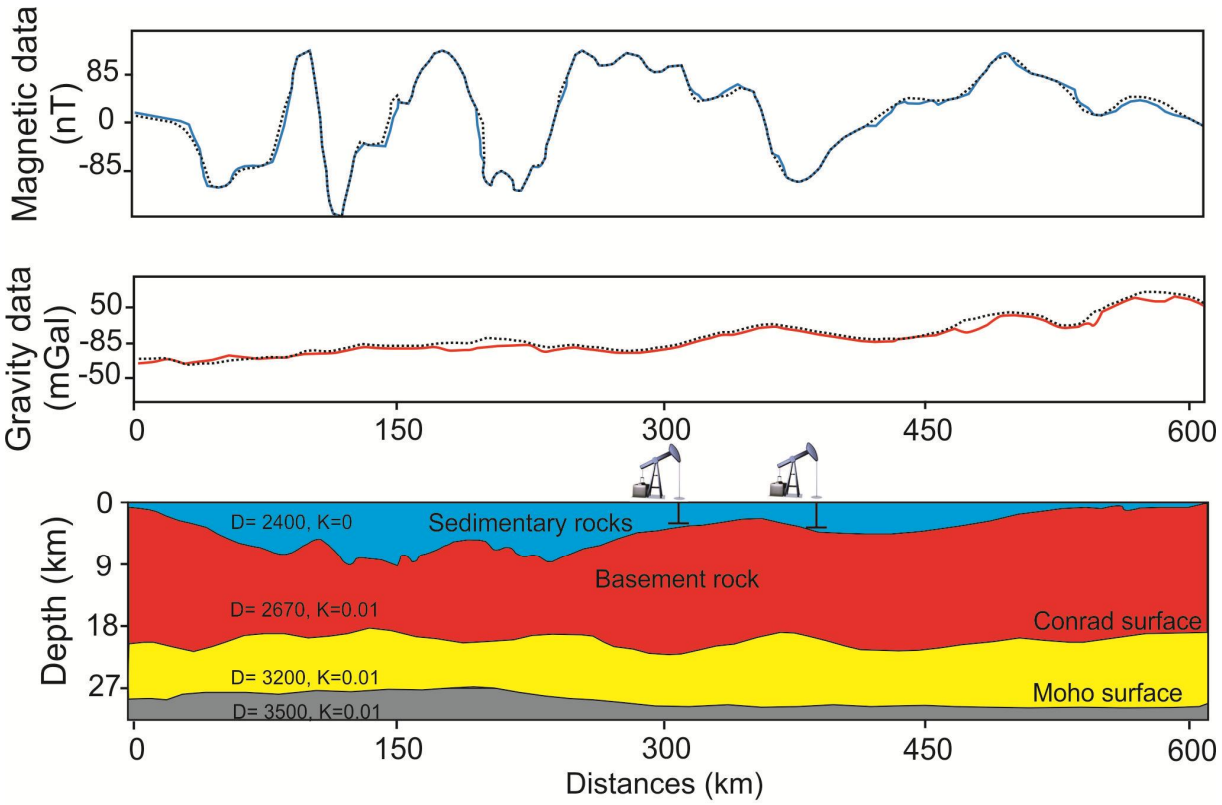


Figure 3. Low-pass filter of the predicted geothermal gradient map using median filtering. A square 3 x 3 window slides along the map, replacing each window with the median of neighboring entries. Black lines refer to the structure lines (El-Sisi et al. 2002).

Joint forward modeling was made on gravity and magnetic data using polygonal bodies. The position, shape, dimensions, magnetic susceptibility, and density contrast were adjusted to get the best fit between the observed and calculated data for both gravity and magnetic data (Fig. 4). These results were used to draw the map of the depth of the basement surface and the map of the depth of the Conrad surface, which separate the granite from the deep basaltic formations. Correlation of



geothermal results and gravity-magnetic modelling show that the geothermal gradients values decrease northward due to thinning of the radioactive isotope rich continental crust toward the Mediterranean Sea. The high temperature gradient is related either to decay of radioactive isotopes within the sedimentary section or to additional heat conducted from deep basement rock fractures. Certain areas exhibit high gradients and positive gravity anomalies that are related to the uplift of basement rocks in these areas. However, the highest gradients in certain depressions or oases may indicate that the source of heat is from radioactive decay in the sedimentary rocks.

Figure 4. Forward models of gravity and magnetic data along profile A-A* as shown in Fig. 2. The position, shape, dimensions, magnetic susceptibility, and density contrast of basement, Conrad and moho surfaces were adjusted to get the best fit between the observed and calculated data

4. REFERENCES

Abdel Zaher, M., Senosy, M.M., Youssef, M.M., and Ehara, S. 2009. Thickness variation of the sedimentary cover in the South Western Desert of Egypt as deduced from Bouguer gravity and drill-hole data using neural network method. Earth Planets Space 61, 659–674.

El-Ssis, Z., Hassouba, M., and Oldani, M.J. 2002. The Geology of Bahariya Oasis in the Western Desert of Egypt and its Archeological Heritaga. Field trip no. 8, Cairo 2002 International Conference and Exhibition, p66.

Hosney, H. 2001. An introduction to the geothermal regime and its tectonic implications of the Suez Rift System. Journal of Environmental Sciences, 22: 157–182.

Solar wind and western winds: How solar variability can affect North-European winters

Ville Maliniemi, Timo Asikainen and Kalevi Mursula

ReSoLVE Centre of Excellence, Space Physics Research Unit
University of Oulu
ville.maliniemi@oulu.fi

Abstract

North Atlantic oscillation (NAO) is the main large scale circulation type in the North Atlantic and Arctics. It especially controls the weather conditions in the North Europe during winter. It is partly driven by the polar vortex, the large scale wind phenomenon in the stratosphere. Recently we have shown that there is a connection between the declining phase of the solar 11-year cycle and the positive phase of the NAO. During the declining phase the solar wind speed is increased by the occurrence of high-speed streams at low heliographic latitudes, which accelerates magnetospheric particles that can precipitate to the atmosphere at high latitudes, in the vicinity of the auroral oval. In the atmosphere these particles cause chemical reactions, which can affect stratospheric ozone during winter when sunlight is absent in the polar night. Ozone destruction leads to changes in stratospheric circulation, which ultimately can descent down to the surface through polar vortex. We have shown that NAO was consistently positive for the last 130 years during the declining phase of the solar cycle. We have also confirmed the connection between tropospheric temperatures and particles for recent decades using satellite observations of precipitating particles. These results give additional evidence to the recent findings that not only solar electromagnetic radiation but also the solar wind can affect the climate. These results also can be used to make rough long-term weather predictions of winter conditions based on the evolution of solar coronal holes.

Something new under the Sun: Science program of ReSoLVE Centre of Excellence

Kalevi Mursula

ReSoLVE Centre of Excellence, Space Physics Research Unit
University of Oulu
kalevi.mursula@oulu.fi

Abstract

Pyhäsalmen mikroseismisen aineiston tomografia-analyysi

Nevalainen Jouni[1] ja Kozlovskaya Elena[2]

[1] Sodankylä Geophysical Observatory, Laboratory of Applied Seismology, University of Oulu, Finland.
jouni.nevalainen@oulu.fi
[2] Oulu Mining School, Oulu University, University of Oulu, Finland.

Abstract

The study presented here describes a seismic travel-time tomography applied to microseismic data from Pyhäsalmi mine, Pyhäjärvi, aiming to obtain seismic velocity structure within the mine area. The data about microseismic events in the mine is recorded since 2002 when the passive microseismic monitoring network was installed in Pyhäsalmi mine. Since that over one hundred thousand microseismic events within mine have been observed. The purpose of this study is to test how well the travel-time tomography will work with passive seismic data where the source-receiver geometry is based only on natural events in the mine. Our major conclusion is that a time-lapse travel-time tomography can be applied in order to track changes in seismic velocity within the mine.

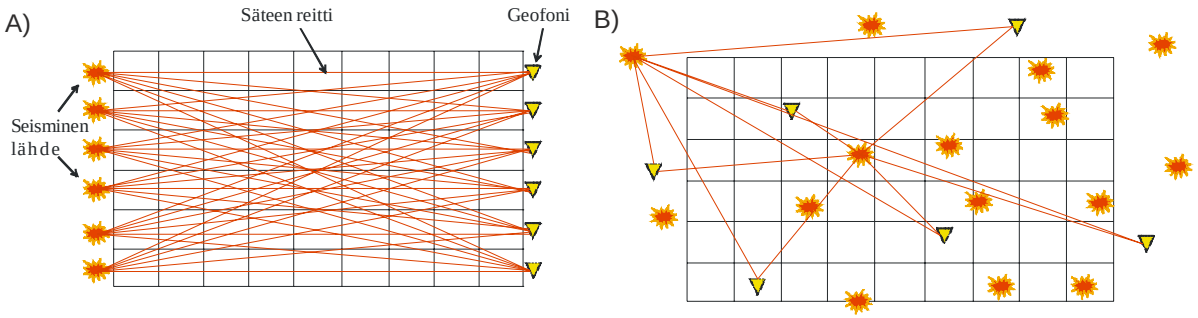
1. JOHDANTO

Tässä työssä esitämme Pyhäjärvellä sijaitsevan Pyhäsalmen kuparikaivoksen mikroseismiselle aineistolle tehdyn seismisen tomografian tuloksia. Työn tarkoituksena on tutkia passiivisella mikroseismisellä monitorointijärjestelmällä mitatun mikroseisminen aineiston soveltumista seismiseen tomografiaan kaivoksen seismisen nopeusrakennetta selvitettäessä. Tomografian tuloksia verrataan Pyhäsalmen kaivoksen syvämalmion tunnettuun rakenteeseen. Toisen tehtävänä on soveltaa seismistä tomografiaa ajallisesti peräkkäisille mikroseismisille aineistoille, jotta voidaan jäljittää Pyhäsalmen kaivoksen nopeusrakenteen ajallisia muutoksia.

Seisminen tomografia perustuu siihen, että maankamarassa kulkevien seismisten aaltojen etenemisnopeus vaihtelee suuresti eri materiaalien välillä. Tämä mahdollistaa maankamaran kartoittamisen luomalla malli, joka tuottaa vastaavat seismisten aaltojen kulkuajat (eli aika minkä seismisestä lähteestä lähtenyt aalto käyttää matkaan havaintoasemalle) kuin havaitut kulkuajat. Mutta edes saman materiaalin (esimerkiksi kivilajin) kohdalla seisminen nopeus ei ole vakio, vaan siihen vaikuttaa monet eri tekijät kuten ympäröivä paine ja materiaalin ehjyys (Reynolds, 2011). Kaivosympäristössä kaivostoiminnasta johtuva kivimassan painejakauman muuttuminen kaivoksen välittömässä läheisyydessä vaikuttaa suoraan ko. kiven seismiseen nopeuteen. Yleisesti ottaen kiveen kohdistuvan paineen kohoaminen kasvattaa myös kiven seismistä nopeutta. Paineen kasvaessa tietyn arvon yli kiviaines ei enää kestä vaan murtuu, mikä voi johtaa vaarallisiin onnettomuuksiin kaivoksessa (Brady, 2004). Tämän takia tarkkailemalla seismisen nopeusrakenteen ajallisia muutoksia voidaan arvioida kaivosta ympäröivän kivimassan paineen muutoksia mikä auttaa ennakoimaan vaara-alueita ja auttaa takaamaan kaivoksen turvallisen ja jatkuvan toiminnan.

2. SEISMINEN TOMOGRAFIA MENETELMÄ

Seismisen tomografian tehtävä on mallintaa tutkittavan alueen (esim. kaivosympäristö tai maaperä) seismistä nopeusrakennetta (Luxbacher, 2008). Perinteiseen seismiseen kulkuaika tomografiaan käytämme Lun ja Inderwiesen (1994) kuvaamaa iteratiivista tekniikkaa. Tässä tomografia perustuu seismisen nopeusrakenteen matemaattiseen ratkaisuun SIRT (Simultaneous iterative reconstruction technique) tekniikalla, mikä käyttää hyväkseen Kacmarzin metodia. Tämä tomografia menetelmä, kuten kaikki tomografia tekniikat, vaatii riittävän määrän sekä seismisiä lähteitä (seismiset tapaukset) että havaintoja (geofonit) kattavasti koko tutkimusalueen alalta. Seismisen aallon matkaa, joka kulkee seismisestä lähteestä ja havaintoasemalle lyhimmässä ajassa voidaan kuvata säteenä. Ideaali tapauksessa nämä säteet kattavat koko tutkimusalan, jolloin tomografialla voidaan nopeusrakenteelle löytää matemaattinen ratkaistu. Perinteisesti tomografiaa hyödyntävillä aloilla (esim. lääketiede ja seismologia) on lähteiden ja vastaanottimien geometria suunniteltu mahdollisimman suotuisaksi. Tässä tutkimuksessa sovellamme kuitenkin seismistä tomografiaa lähde-geofoni geometriaan, joka syntyy Pyhäsalmen mikroseismisen monitorointijärjestelmän ja luonnollisten mikroseismisten tapausten välillä ja näin ollen geometria ei ole ideaalinen tomografialle. Tällöin syntyy huonon sädetiheyden omaavia alueita, joille tomografia voi tuottaa matemaattisia artefakteja, jotka eivät kuvaa alueen todellista seismistä nopeusmallia. Kuva 1 esittää seismisen tomografian mittauskaavioita. Kuva 1A kuvaa perinteistä, ideaalista lähde-vastaanotin geometriaa, missä tutkimuskohde on hyvin katettu seismisillä säteillä. Kuvan 1B tilanteessa sekä tapaukset että vastaanottimet ovat jakautuneet epäsymmetrisesti tutkittavalle alueelle vastaten kaivosympäristön olosuhteita.



Kuva 1. A) Esimerkki hyvästä 2D tomografian mittauskaavioista. Seismiset lähteet ovat mallin vasemmassa reunassa ja vastaanottimet (geofonit) mallin oikeassa reunassa. B) Kaivosympäristön lähde-vastaanotin geometria.

3. PYHÄSALMEN MIKROSEISMINEN AINEISTO

Pyhäsalmen kaivoksen mikroseismistä aineistoa on mitattu vuodesta 2002 asti, jolloin mikroseisminen monitorointijärjestelmä asennettiin kaivokseen. Järjestelmän tärkein tehtävä on paikantaa kaivoksen ympäristössä usein tapahtuvia mikroseismisiä tapauksia ja näin monitoroida kaivoksen kivimassassa tapahtuvia muutoksia ja auttaa takaamaan kaivoksen turvallinen toiminta. Pyhäsalmen mikroseismisen järjestelmän toimittaja oli Intergrated Seismic System International (ISSI) ja ohjelmisto lisensioitiin Intitute of Mine Seismology:lta (IMS). Edellä mainittuun järjestelmään kuuluvat geofonit ovat pääasiassa yksi komponenttisia (havainnoivat maan vertikaalista liikettä), mutta muutamia kolmi-komponenttisia geofoneja asennettiin tuotannollisesti tärkeille paikoille. Geofonit asennettiin ympäröimään Pyhäsalmen kaivoksen syvämalmiota. Pyy (2007) on Pro gradu -tutkimuksessaan määrittänyt Pyhäsalmen kaivoksen mikroseismisen järjestelmä tapausten paikannustarkkuutta. Hänen mukaansa paras tarkkuus on syvämalmion tuotantoalueen ylä- ja keskiosassa ja on huonompi malmion alaosassa ja mikroseismisen verkoston ulkopuolella. Järjestelmän keskimääräiseksi tarkkuudeksi Pyy arvioi 30 metriä.

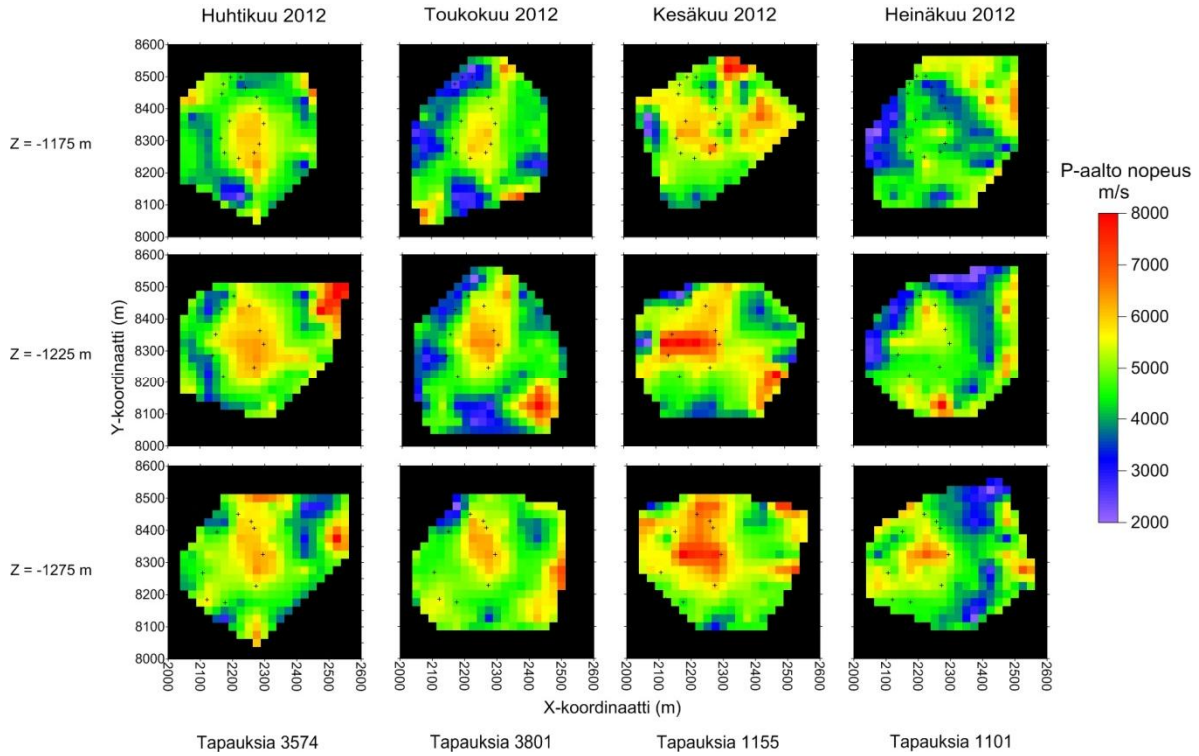
Pyhäsalmen mikroseisminen aineisto sisältää tapausten lasketut hyposentrumit ja eri seismisten tapausten runkoaaltojen (P- ja S-aallot) saapumisajat. Käyttämämme tomografia menetelmä vaatii tunnetun kokonaiskulkuajan jokaiselle tapaus-geofoni parille. Tämä laskettiin käyttäen monitorointijärjestelmällä määritettyä tapauksen sijainteja ja tunnettuja geofoni sijainteja ja käyttämällä Pyhäsalmen kaivoksen oletusarvoja seismiselle nopeudelle (P-aallolle 5500 m/s, S-aallolle 3500 m/s).

Tomografialle riittävän määrään tapaus-geofoni parien muodostumiseen tarvittava aika vaihtelee suuresti johtuen Pyhäsalmen mikroseisminen aineiston koostumisesta luonnollisesti syntyvistä mikroseismisistä tapauksista. Tarkastelumme pohjalta totesimme, että sopiva määrä Pyhäsalmen syvämalmion mallintamiseen saadaan 1-3 kuukauden ajalta. Kuitenkin tiettyinä ajanjaksoina mikroseisminen aktiivisuus oli hyvin voimakasta, jolloin sekä määrä että sijaintien hajonta oli riittävää jo yhden viikon aineistolla.

4. SEISMISEN TOMOGRAFIAN TULOKSET

Käytimme Pyhäsalmen kaivoksen seismisen nopeusmallin tomografian malliin säännöllistä laskentahilaa ja seismisten aaltojen etenemiseen edellä kuvattua säde teoriaa. Mallihilan koko ja laskentapisteiden välimatka määräytyy aineiston tapaus-geofoni välisten säteiden alueen katteesta. Mallintamisessa kokeiltiin useita erikokoisia ja laskentapisteiltään eri tiheyksisiä malleja.

Kuvassa 2 esitämme vuoden 2012 huhti- ja heinäkuun välisille kuukausittaisille mikroseismisille aineistoille tehtyjen seismisten tomografioiden tulokset. Kuvan 2 seismisen P-aalto nopeuden sama-arvo esitykset kuvaavat kaivoksen vertikaalisuunnan horisontaalileikkauksia ja tulokset on esitetty 25 metrin XY-suuntaisessa hilassa. Tomografia löytää ratkaisun nopeasti (1-2 iteraatiota), minkä jälkeen lisäiteraatiot ainoastaan vahvistavat matemaattisten artefaktien vaikutusta vähäisen sädetiheyden omaaville elementeille. Kuvasta 2 nähdään miten mustilla risteillä rajatun Pyhäsalmen syvämalmion alalle erottuu ympäristöään selvästi P-aalto nopeudeltaan suurempi alue. Erityisen hyvin malmio erottuu vuoden 2012 huhti- ja toukokuun aineistoista, mutta kesä- ja heinäkuun vähäisempi tapausten lukumäärä vaikuttaa heikentävästi tomografian tuloksiin. Seismisistä nopeusmalleista nähdään, että seisminen P-aalto nopeus malmion sisällä ei vastaa malmion tunnettua alaa aivan täysin vaan osa malmion alasta on selvästi pienemmän P-aalto nopeuden omaavaa. Tämä johtunee siitä, että malmion tietyt osat on vuosien saatossa louhittu pois ja korvattu täytekivimateriaalilla, joka on hyvin huokoista ja siksi sen seisminen nopeus on matala. Kaikkien mallien reuna-alueilla vähäinen sädetiheys vaikuttaa tomografian tuloksiin huonontavasti ja mallien välinen vaihtelu on todella suurta. Tämän takia reuna-alueita ei tulkita todellista seismistä nopeusrakennetta kuvaavaksi.



Kuva 2. Tomografian tulokset vuoden 2012 huhtikuusta heinäkuuhun kuukauden jaksoissa. Mustat ristit kuvaavat Pyhäsalmen syvämalmion XY-suuntaista muotoa.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Seismisen kulku-aika tomografian soveltaminen Pyhäsalmen passiiviseen mikroseismiseen aineistoon toimii hyvin. Saaduissa malleissa esiintyvistä matemaattisista artefakteista huolimatta saatu seisminen nopeusmalli on luotettava ja korreloi hyvin Pyhäsalmen syvämalmion tunnettuun alaan. Myös aineiston tuomat rajoitukset havaittiin, sillä vaihteleva seisminen aktiivisuus vaikuttaa suoraan ajalliseen resoluutioon, eli siihen miten lyhyeltä ajalta seisminen nopeusmalli voidaan ratkaista. Tulevaisuudessa verrataan tomografian tuloksia Pyhäsalmen kaivoksen tuotantoaineistoon tarkemmin menetelmän toimivuuden parantamiseksi.

LÄHTEET

Brady, B. H. G. & Brown, E. T., 2004. Rock mechanics for underground mining. Third edition. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 628 pp.

Lo, T. and Inderwiesen, P., 1994. Fundamentals of Seismic Tomography, Geophysical Monograph Series, Society of exploration geophysics, No 6.

Luxbacher, K. M., 2008. Time-Lapse Passive Seismic Velocity Tomography of Longwall Coal Mines: A Comparison of Methods, dissertation of Doctor of philosophy, faculty of Virginia Polytechnic Institute & State University.

Pyy, A., 2007. TUTKIMUS PYHÄSALMEN KAIVOKSEN MIKROSEISMISEN HAVAINTOVERKON PAIKANNUSTARKKUUDESTA (A study for localization accuracy of Microseismic networks at Pyhäsalmi mine). Master's thesis, Department of physics, University of Oulu.

Reynolds, J, 2011. An introduction to applied and enviromental geophysics, Second edition. Wiley-Blackwell imprint of John Wiley & sons Ltd, England, 796 pp.

Jaakko Keränen - Sodankylän geofysiikan observatorion ensimmäinen johtaja 1913–1917

H. Nevanlinna

Ilmatieteen laitos, heikki.nevanlinna@gmail.com

Abstract

This article concerns Jaakko Keränen (1883–1979), who was the first director of the Sodankylä geophysical observatory 1913–1917. Later he was the director of the Finnish Meteorological Institute 1931–1953.

1. JOHDANTO

Tässä artikkelissa tarkastellaan Sodankylän geofysiikan observatorion alkuvaiheita 1910-luvulla ja erityisesti sen ensimmäisen johtajan Jaakko Keräsen (1883–1979) osuutta observatorion havaintojen ja rekisteröintien käynnistämisessä. Kirjoitus perustuu kahteen uusimpaan Suomen geofysiikan tutkimusta käsittelevään historiakirjaan (Nevanlinna & Holmberg, 2013; Nevanlinna, 2014; http://hdl.handle.net/10138/144225).

Jaakko Keränen syntyi vuonna 1883 11-lapsiseen maanviljelijäperheeseen Kainuun Palta-mossa. Hän valmistui ylioppilaaksi Oulun lyseosta vuonna 1904 ja opiskeli sen jälkeen Helsingin yliopistossa fysiikka pääaineenaan. Filosofian maisterin tutkinnon Keränen sai valmiiksi vuonna 1910. Hänet kiinnitettiin Meteorologisen keskuslaitoksen (MKL) (nykyisin Ilmatieteen laitos) magneetikoksi vuonna 1911. Tehtäviin kuului osallistua koko Suomen kattavaan geomagneettiseen aluekartoitukseen osana laajaa kansainvälistä projektia. Samoihin tehtäviin oli palkattu muiden muassa veljekset Vilho ja Yrjö Väisälä (Lehto, 2004). Keräsen mittausalue oli koko Lappi Oulusta pohjoiseen. Ohjelmaan kuului noin 1000 mittapistettä 20–30 km välein. Hanke saatiin päätökseen vasta 1930-luvun alussa.

2. SODANKYLÄN OBSERVATORION PERUSTAMINEN

Ensimmäisen kansainvälisen polaarivuoden aikana (1882–1883) Sodankylässä toimi täysi-mittainen magneettinen ja meteorologinen observatorio. Havainto-ohjelmaan kuuluivat myös revontulet sekä ilma- ja maasähköiset ilmiöt. Polaarivuoden observatorion menot rahoitti Suomen Tiedeseura, joka myös isännöi Meteorologista keskuslaitosta. Polaariohjelman johtajana toimi Helsingin yliopiston fysiikan professori Selim Lemström (1838–1904) ja paikallisjohtajana Sodankylässä Ernst Biese (1856–1926), josta myöhemmin tuli MKL:n johtaja (1891–1908) (Simojoki, 1978; Nevanlinna & Holmberg, 2013).

Aivan 1900-luvussa alussa virisi kansainvälisessä tutkimusyhteisössä hanke, jonka tavoitteena oli saada selville maapallon magneettikentän jakautuminen kaikkialla eri maissa. Tiedeseura antoi kartoitustyön suunnittelun Suomen osalta MKL:n johtajalle Gustaf Melanderille (1860–1938). Mittausohjelmaan kuului myös tukiasema, magneettinen observatorio, jonka paikaksi ehdotettiin Polaarivuoden aikaista Sodankylää. Tiedeseura kyllä puolsi itse magneettisten mittausten

suorittamista Melanderin ohjelman mukaisesti, mutta vastusti pysyvän observatorion perustamista Lappiin. Syynä kielteiseen kantaan oli Polaarivuoden aikaisen Sodankylän observatorion kalliiksi nousseet kustannukset. Apuun tuli vuonna 1908 perustettu Suomalainen Tiedeakatemia, jonka keskeisiä vaikuttajahenkilöitä oli Melander. Tiedeakatemia sai observatoriohankkeelle yksityistä rahoitusta ja valtionapua sekä tarvittavan maa-alueen, joten observatorion perustaminen käynnistyi jo vuonna 1910. Keränen teki kesällä 1911 ja 1912 Sodankylän alueella mittauksia magneettikentältään sopivan tasaisen paikan löytämiseksi. Observatorion sijoituspaikaksi valikoitui mittausten perusteella Halssinkangas Kitisenjoen itäpuolella viitisen kilometriä lounaaseen Polaarivuoden observatoriosta (Keränen, 1973).

Suomalainen Tiedeakatemia valitsi keväällä 1913 Jaakko Keräsen observatorion johtajaksi ja hänen apulaisekseen FM Siiri Pajarin (vuodesta 1914 lähtien Keränen) (1887–1968). Henkilö-kuntaan kuului vielä vahtimestari. Observatoriorakennus ja magneettisiin havaintoihin tarvittavat apurakennukset valmistuivat kesällä 1913, ja observatorio vihittiin käyttöönsä 1.9.1913. Magneettisiin havaintoihin ja rekisteröinteihin tarvittavat mittalaitteet hankittiin Saksasta Potsdamin kuuluisasta magneettis-meteorologisesta observatoriosta. Keränen oli Potsdamissa 1912–1913 opiskelemassa magneettisten observatoriomittausten teoriaa ja käytäntöä sekä valvomassa laitteiden valmistumista ja niiden kuljetusta Suomeen. Sodankylässä observatoriorekisteröintien tarvitsemia alustavia mittauksia teki Vilho Väisälä, mutta Keräsen vastuulle jäi havaintolaitteiden lopullinen viritys mittauskuntoon. Jatkuvat magneettiset rekisteröinnit alkoivat 1.1.1914. Lapin sodan (1944–1945) aiheuttamaa katkosta lukuun ottamatta rekisteröinnit ovat jatkuneet tähän päivään asti. Rekisteröintien säännölliset laitekalibroinnit teki Keräsen ohella myös hänen assistenttinsa Siiri Pajari (Keränen). Magneettisten laitteiden mittastandardien tarkistusta varten Jaakko Keränen matkusti vuosittain Venäjälle Pietariin Pavlovskin magneettiseen observatorioon.

Sodankylän uusi observatorio kuului kahden eri organisaation alaisuuteen. Magneettiset rekisteröinnit ja niihin kuuluvat tukimittaukset olivat Suomalaisen Tiedeakatemian määrittelemiä ja kustantamia tehtäviä. Toisaalta observatorio oli Meteorologisen keskuslaitoksen tärkeä säähavaintoasema ja sen menot maksoi MKL. Keskuslaitoksen magneetikkona Keränen teki magneettisia aluemittauksia Lapissa MKL:n laskuun. Mittausperiodin aikana Siiri Keränen oli observatorion vastuullinen johtaja. Myös hänen palkkansa tuli kahdesta eri organisaatiosta. Tämä rahoituksellinen ja hallinnollinen kaksijakoisuus jatkui aina 1940-luvulle saakka, jolloin Ilmatieteen laitos perusti magneettisen observatorion viereen oman havaintoyksikkönsä ilmatieteellisiä havaintoja varten. Gustaf Melander oli MKL:n johtajan ominaisuudessa vastuussa ilmatieteellisistä havainnoista ja magneettisista kartoitustöistä. Toisaalta hän oli myös Suomalaisen Tiedeakatemian asettaman observatoriotoimikunnan puheenjohtaja (vuoteen 1938 saakka) ja siinä ominaisuudessa hänen alaisuuteen kuuluivat Sodankylän magneettisen observatorion rekisteröinnit. Voidaan siis sanoa oikeastaan, että Sodankylä oli Melanderin observatorio, sillä hän johti sen kaikkia toimintoja. Melanderin tavoitteena MKL:n johtajana oli saada keskuslaitos Suomen Tiedeseuran alaisuudesta valtion laitokseksi. Näin tapahtuikin vuonna 1919, jolloin maatalousministeriön alaisuuteen perustettiin Ilmatieteellinen keskuslaitos (Seppinen, 1988).

Melanderin toimintaa laitoksiensa hyväksi Helsingissä ja Sodankylässä pidettiin varsin häikäilemättöminä yhden miehen ohjelmana, vaikka hänen ansiostaan sekä MKL että Sodan-kylän observatorio saatiin Tiedeseurasta riippumattoman vakinaisen valtion rahoituksen piiriin. Melander saikin arvostelijoiltaan liikanimen "Suomen tieteen Napoleon".

3. OBSERVATORION ALKUTAIVAL 1913–1918

Sodankylän magneettisen observatorio ja sen tuottamien havaintoaineistojen tieteellinen merkitys huomattiin pian alan kansainvälisessä tiedeyhteisössä. Olihan laitos maapallolla ainoa napapiirin

pohjoispuolella jatkuvasti toimiva ja miehitetty geofysikaalinen observatorio. Jo vuonna 1915 valmistui observatorion ensimmäisten magneettisten havaintojen yhteenveto taulukoiden muodossa saksankielisenä vuosikirjana. Sen julkaiseminen sai kuitenkin odottaa 1920-luvun alkuun, koska käynnissä olevan ensimmäisen maailmansodan aikana ei Suomessa saanut julkaista vihollismaan kielellä mitään kirjallista materiaalia. Vuosikirjan vaatimat työläät taulukkolaskelmat oli tehnyt pääasiassa Siiri Keränen.

Vuonna 1915 Keränen aloitti Melanderin ohjauksessa väitöskirjaan tähtäävät mittaukset. Kyseessä oli maanpinnan ja lumipeitteen sisällä tehtävät lämpötilamittaukset eri syvyyksillä. Tutkimusaihe oli aikanaan erittäin ajankohtainen ja mittauslaitteisto termoelementeillä edusti alan huippua. Tutkimusten tavoitteena oli selvittää roudan etenemistä maaperässä eri meteorologisissa olosuhteissa. Keränen teki mittauksia vaimonsa Siirin avustamana yli kahden vuoden ajan. Lähes 200 sivua laaja tutkimus valmistui vuonna 1920. Se kuitenkin hylättiin Helsingin yliopistossa akateemisena opinnäytteenä. Syynä oli vastaväittäjän fysiikan professori Theodor Homénin (1858–1923) esittämä murskakritiikki työssä käytetyistä menetelmistä ja tulosten fysikaalisesta tulkinnasta. Homén oli tehnyt 1800-luvun lopulla vastaavanlaisia lämpötilamittauksia ja häntä pidettiin alan johtavana asiantuntijana. Aiheesta kehkeytyi arvovaltakiista, koska Keränen sai antaa kirjallisen vastineen Homénin kritiikille. Keränen sai saksalaisilta kollegoiltaan ylistävät puoltolauseet eikä hänen vastineessaan annettu sijaa Homénin esittämälle arvostelulle työtä kohtaan. Väitöskirja oli yli vuoden yliopiston tiedekunnan käsittelyssä ja äänestyksessä se lopulta hylättiin. Tapaus herätti akateemisessa maailmassa suurta polemiikkia ja Homén ei saanut juuri ymmärrystä arvostelulleen. Keräsen väitöskirja julkaistiin Saksassa Springer -Verlagin kuuluisassa "keltaisessa" tiedesarjassa (Keränen, 1929). Työ on Keräsen eniten viitatuin tieteellinen tutkimus. Uuden hyväksytyn väitöskirjan hän laati vuonna 1924 Lapissa tekemistään geomagneettisista mittauksista.

Jaakko ja Siiri Keräselle syntyi Sodankylän kaudella kaksi lasta: tytär Anna-Liisa (1915–2004) ja poika Olli (1917–1939). Myöhemmin perheeseen syntyi vielä kolme lasta lisää. Kaksi vanhinta poikaa kaatuivat Talvisodassa 1939–1940. Asuinolosuhteet Sodankylän observatoriossa olivat alkeelliset ja ahtaat nelihenkiselle perheelle. Samassa rakennuksessa asui myös observatorion vahtimestari perheineen. Sähkövaloa ei ollut vielä vuosikymmeniin. Liikkuminen asuinkeskuksiin hoitui talvella poroilla ja kesäisin hevoskyydillä tai joki-veneellä. Ensimmäisen maailmansodan aikainen inflaatio söi rahan arvosta yli 90 % vuoteen 1917 mennessä. Vuodeksi 1916 observatorio ei saanut valtionapua lainkaan vaikean taloudellisen tilanteen vuoksi. Suunnitteilla oli jo observatorion sulkeminen tai sen siirtäminen kokonaan MKL:n rahoitukseen, mutta Melander Suomalaisen Tiedeakatemian esimiehenä sai raha-asiat korjattua paremmiksi.

Ravintotilanne oli huono koko maassa ja elintarvikkeiden yleinen säännöstely käynnistyi Suomessa keväällä 1917. Sodankylän seudulla leivän sijasta syötiin yleisesti pettua. Keräsen perheelle asuminen ja olot Sodankylässä kävivät vaikeiksi ja perheen taloudellinen tilanne oli tiukka nopeasta inflaatiosta johtuen. Jaakko ja Siiri Keränen päättivät luopua observatorio-tehtävistään ja muuttaa Helsinkiin paremmin palkattuun toimeen. Kesällä 1917 observatorion uudeksi johtajaksi nimitettiin FM Heikki Lindfors (1894–1918). Hän harjaantui tehtäviinsä Keräsen johdolla pitkin syksyä 1917. Keräsen perhe muutti pois Sodankylästä.

Observatoriotoimintojen kannalta tilanne muuttui sisällissodan puhjettua alkuvuodesta 1918, kun johtaja Lindfors ja observatorion vahtimestari päättivät lähteä Etelä-Suomeen sotimaan valkoisten puolelle punaisia vastaan. He keskeyttivät observatorion mittaukset. Ne käynnistettäisiin uudelleen vasta sodan päätyttyä. Heikki Lindfors sai surmansa Tampereen valloituksessa keväällä 1918, ja Sodankylän observatorio jäi ilman johtajaa. Kesän 1918 aikana Keränen joutui uudelleen ottamaan observatorion johtajan tehtävät vastuulleen, ja hän sai havainnot ja rekisteröinnit jälleen käyntiin. Observatorion uudeksi johtajaksi saatiin FM Elias Levanto (1890–1965), jolloin Keränen saattoi

luopua Sodankylän tehtävistään. Meteorologisesta keskuslaitoksesta ei löytynyt Keräselle korvaavia tehtäviä, mutta hän sai geodeetin viran vastaperustetusta (v. 1918) Geodeettisesta laitoksesta. Siellä Keränen työskenteli kolme vuotta. MKL:sta avautui sääosaston johtajan toimi vuonna 1921, johon Keränen valittiin. Gustaf Melander jäi eläkkeelle vuonna 1931, jolloin Keränen nimitettiin virkaatekeväksi johtajaksi. Johtajan viran täytöstä Jaakko Keränen ja Vilho Väisälä kävivät tiukan kamppailun, jonka Keränen voitti niukasti (Lehto, 2004). Tasavallan presidentti nimitti Keräsen Ilmatieteellisen keskuslaitoksen johtajaksi vuonna 1933 (Seppinen, 1988). Tässä virassa Keränen oli eläkkeelle siirtymiseensä saakka vuoteen 1953. Sodankylän observatorion hallinnossa Keränen vaikutti aina vuoteen 1960 saakka.

Jaakko Keräsen merkitys uudelle Sodankylän observatoriolle oli erittäin merkittävä. Hän käynnisti observatorion magneettiset ja meteorologiset havainnot ja sai pian observatorion havaintorutiinit vastaamaan hyvin alan tiedeyhteisön asettamia korkeita vaatimuksia. Jo vuoden havaintojen (1914) jälkeen observatorion havaintoaineistot oli muokattu tutkimuskäyttöön. Tässä työssä suurena apuna oli Siiri Keräsen asiantuntijatyö.

LÄHTEET

Keränen, J., 1929. Wärme- und Temperaturverhältnisse der obersten Bodenschichten. In: Nippoldt, A., Keränen, J. und Schweidler, E.: Einführung in die Geophysik II, 169–290. Springer Verlag, Berlin, 388 s.

Keränen, J., 1973. Über die Verteilung des erdmagnetischen Feldes in Sodankylä. *Veröffentlichungen des geophysikalischen Observatoriums der Finnischen Akademie der Wissenschaften*, 56, 5–22.

Lehto, O., 2004. Oman tien kulkijat - veljekset, Vilho, Yrjö ja Kalle Väisälä. Otava, 445 s.

Nevanlinna, H., 2014. Jaakko Keränen - Suomen Sääprofessori. Unigrafia, Helsinki, 292 s. (http://hdl.handle.net/10138/144225).

Nevanlinna, H. & Holmberg, P., 2013. Geomagnetismia, meteorologiaa ja revontulitutkimusta Suomessa 1700-luvulta 1900-luvun alkuun. Suomen Tiedeseura - *Bidrag till kännedom av Finlands natur och folk*, 191, 121 s.

Seppinen, I., 1988. Ilmatieteen laitos 1838–1988. Ilmatieteen laitos, Helsinki, 290 p.

Simojoki, H., 1978. The History of Geophysics in Finland 1828-1918. The History of Learning and Science in Finland 1828–1918 - *The Finnish Society of Sciences and Letters*, Helsinki, 157 p.

Esitykseni Jaakko Keräsestä Geofysiikan seuran kokouksessa 24.2. on ladattavissa täältä: http://space.fmi.fi/MAGN/HN/JK_GFS.pptx ja aiheeseen liittyvä Keräsen elämänkertakirja on saatavissa netistä näköispainoksena: https://helda.helsinki.fi/handle/10138/144225. Ehkä näillä tiedoilla ja kokouskirjan esityksellä Päivien osanottajat saavat kuitenkin käsityksen Jaakko Keräsen elämäntyöstä ja sen merkityksestä suomalaiselle geofysiikan tiedeyhteisölle.

Renewal of the Metsähovi Fundamental Geodetic Research Station

J. Näränen[1], M. Poutanen[1], A. Raja-Halli[1], H. Virtanen[1], J. Mäkinen[1], H. Koivula[1], M. Bilker-Koivula[1], J. Virtanen[1], and the Department of Geodesy and Geodynamics at FGI

[1] Finnish Geospatial Research Institute (FGI), National Land Survey of Finland (NLS), jyri.naranen@maamittauslaitos.fi

Abstract
The International Terrestrial Reference Frame (ITRF) and Earth Orientation Parameters (EOP) play a large role in the modern society. Fundamental geodetic research stations are required for calculation and improvement of ITRF and EOP's. Metsähovi geodetic research station (MGRS) in Kirkkonummi, Southern Finland, is one of the geodetic research sites where all the major geodetic techniques are co-located. Here the current status of MGRS, and in particular recent major renovations to the station instrumentation and infrastructure, are presented.

1. INTRODUCTION

The International Terrestrial Reference Frame (ITRF) and Earth Orientation Parameters (EOP) have a huge role as fundamental contributors for positioning and navigation, to support global, regional and national applications. Geodesy also plays an essential role in providing the metrological basis for monitoring changes in the Earth system through a global geodetic infrastructure.

Satellite laser ranging (SLR) and very long baseline interferometry (VLBI) have since 1970's contributed to, e.g., measurement of crustal motions. Global navigation satellite systems (GNSS) emerged as a geodetic technique in the late 1980's with GPS being the first technique therein to be used in geodetic applications. In the 1990's observation campaigns started to be replaced by observations at more permanent locations, i.e., research stations. First international geodetic service to emerge was the International GNSS Service (IGS), followed by International VLBI Service (IVS) in 1997, the International Laser Ranging Service (ILRS) in 1998 and the International DORIS Service (IDS) in 2003.

To address the challenges of global monitoring, coordination of the geodetic services and the rapid changes in geodetic science the International Association of Geodesy (IAG) established the Global Geodetic Observing System (GGOS). The aim of GGOS is to develop a global observing system that incorporates all types of geodetic observations. It aims to provide consistent observations of the spatial and temporal changes in the shape and gravitational field of the Earth, as well as the temporal variations of the Earth's rotation. Thus it delivers a global picture of the surface kinematics of our planet, including the ocean, ice cover and land surfaces as well mass anomalies, transport and exchange of mass within the Earth system. Moreover, GGOS aims to provide the observations that are needed to determine and maintain a terrestrial reference frame of high accuracy and long-term temporal stability. One critical tool for GGOS are GGOS Geodetic Core Sites that are equipped with all the fundamental space geodetic techniques together with superconducting and absolute gravimeters.

In Finland, Finnish Geospatial Research Institute (FGI) of the National Land Survey (NLS) (known before 1.1.2015 as the Finnish Geodetic Institute) has operated such a site in Metsähovi, Kirkkonummi, since 1975. In 2013 Metsähovi Fundamental Geodetic Research Station (MGRS) was selected as one of the GGOS Core Sites.

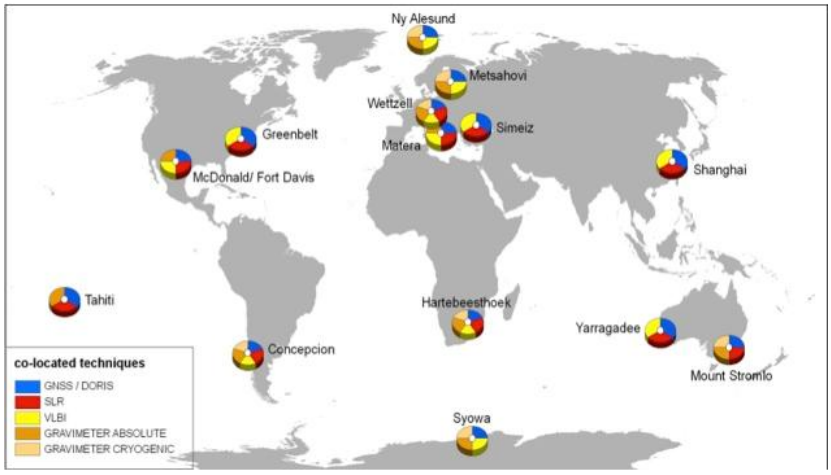


Figure 1. Geodetic core stations used in the creation of ITRF2008. Figure courtesy of GGOS (http://www.ggos-portal.org/lang_en/GGOS-Portal/EN/Home/homepageLink.html)

2. METSÄHOVI FUNDAMENTAL GEODETIC STATION

Metsähovi is located in Southern Finland, in the municipality of Kirkkonummi. FGI has been active at the site since 1975 with the SLR being the first geodetic system to be in operational use. Since then, Metsähovi has obtained a large variety of geodetic instrumentation (see listing below). Metsähovi is unique globally, both because of its long observation time series and its Northern location. FGI is also in a world-leading role in tying the different observation systems together locally through geodetic measurements. The aim is to meet the GGOS goal of 1 mm ties between the instrumentation of different geotetic measurement techniques.

Currently the Metsähovi geodetic research station comprises of the
following instrumentation and geodetic research infrastructure:

1. Satellite laser ranging (SLR), first observations in 1978
2. Geodetic VLBI since 2004 (in collaboration with Metsähovi radio astronomical observatory of Aalto University)
3. Geodetic GPS receiver, since 1992 (IGS)
4. Geodetic GLONASS receiver (IGS)
5. Superconducting gravimeter (GGP, ICET) since 1994
6. Absolute gravimeter and fundamental gravity point of Finland
7. A site for absolute gravimeter intercomparison
8. DORIS beacon owned by CNES, France (IDS)
9. REGINA GNSS receiver owned by IGN, France
10. Photogrammetric test field
11. GPS receiver owned by NASA/JPL, in a real-time NASA tracking network
12. Seismometer owned by the Seismological Institute, University of Helsinki
13. Fundamental point of the new Finnish height system N2000
14. Precise levelling test field

15. Pillar network for local ties and EDM (electronic distance measurement) tests
16. A soil moisture tracking network
17. Weather stations, new Vaisala AWS310 installed in 2015
18. A 60-m deep borehole, previously used for a borehole tiltmeter

	VLBI	GNSS	DORIS	SLR	AG/SG
Celestial Reference frame	X				
Nutation	X	(X)		(X)	
Polar variation	X	X	X	X	X
Earth rotation (UT1)	X				
Length of Day (LOD)	(X)	X	X	X	
Global reference frames	X	X	X	X	X
Earth Center of Mass		X	X	X	X
Earth Gravity Field		X	X	X	X
Geoid					X
Satellite orbits (GPS, Galileo,…)		X	X	X	
Orbits of environmental satellites		X	X	X	
Ionosphere and troposphere	X	X	X		
National reference frames		X			

Figure 2. Illustration of how different geodetic measurement systems available at Metsähovi relate to geodetic observables and end products.

However, since Metsähovi is already a 40 years old station, a lot of the instrumentation and infrastructure were starting to be quite old. In addition, new generation instruments will be taken in use in all geodetic techniques in the near future. Therefor, in 2012 the Ministry of Agriculture and Forestry granted a special funding for three years for upgrading the instrumentation and insfrastructure of MGRS and the national GNSS network FinnRef. Since 2012, FinnRef has been expanded and renovated, the absolute gravimeter at MGRS has been upgraded to FG5X, a new superconductin gravimeter has been purchased, a new satellite laser ranging observatory has been built and a new kHz -ranging capable satellite ranging system is being built (to be finished at the end of 2015), station infrastructure has been upgraded, and a number of auxiliary instrumentation such as a new weather station have been purchased. In addition, the DORIS system was upgraded by the CNES in 2013. New geodetic VLBI system is also currently planned for MGRS. In this presentation, the renewal of MGRS is described and future plans are laid out.

ACKNOWLEDGEMENTS

The renewal of Metsähovi station is made possible by special funding from the Ministry of Agriculture and Forestry, Finland.

Seismic reflection surveys in glaciofluvial deposits in Finland

J. Okkonen[1] ja K. Moisio[2]

[1]Geologian tutkimuskeskus, jarkko.okkonen@gtk.fi
[2] Kaivannaisalan tiedekunta, Oulun yliopisto, kari.moisio@oulu.fi

Abstract

Shallow seismic reflection surveys were conducted at five different locations in central Finland during the period 2008-2011 in order to test the applicability of this method and different seismic energy sources in providing accurate images of the underlying seismic structure and geology in unconfined and confined esker aquifers. The depth of the aquifers varied from 15 to 140 m. Reflections from the water table and the bedrock were generally detected. In the deepest aquifers several features of the inner structure were visible. In the shallowest aquifer (15 m thick), seismic detection of the stratigraphic units proved difficult. Analysis of the theoretical travel times and the shallow structure suggested that a higher-frequency seismic source might have been needed. In the deeper aquifers, reflections near the bedrock were detected, but information regarding their thicknesses could not be obtained. An unsaturated layer with a thickness of 25 m did not completely attenuate the seismic signal, and reflections from the water table and bedrock (~80 m) could still be obtained. For the amount of explosives and the type of vibrator used in this study, explosives generally produced clearer reflections due to the higher signal-to-noise ratio compared to the vibrator source. On the other hand, shot to shot fluctuations in signal-to-noise ratio and source irreproducibility were found to be greater for explosives than for the vibrators. Loose lake sediments above the aquifer inhibited seismic energy transmission to the bedrock. In such situations, the use of explosives is recommended in order to obtain clearer reflections from the subsurface soil boundaries.

Uusi vedenottamoiden suojavyöhykkeiden arviointimenetelmä - esimerkkinä lämmönsiirtoaineiden kulketuminen pohjavedessä

J. Okkonen[1] ja R. Neupauer[2]

[1]Geologian tutkimuskeskus, jarkko.okkonen@gtk.fi
[2] University of Colorado Boulder, Department of Civil, Environmental, and Architectural Engineering, roseanna.neupauer@Colorado.EDU

Abstrakti

Varastoinutta aurinkoenergiaa maaperään hyödynnetään rakennuksien lämmitystarpeeseen. Maalämmön edut ovat mm. vähentyneet CO_2 päästöt ilmakehään, edullisuus ja uusiutuvuus. Maalämmön käyttö pohjavesialueilla voi kuitenkin aiheuttaa riskin pohjaveden laadulle mm. putkien rikkoontumisen johdosta (Juvonen 2009). Vuodon sattuessa on ensisijaisen tärkeää arvioida haitta-aineen kulkeutuminen pohjavedessä ja arvioida riskit mm. vedenottamoille. Tämä on perinteisesti tehty ns. eteenpäin mallinnuksella, joko analyyttisillä (esim. Baetslé 1969) tai numeerisilla malleilla (esim. Zheng and Wang 1999). Eteenpäin mallinnusta käytetään perinteisesti silloin kun päästölähteen paikka ja päästön määrä on tarkasti tunnettu. Pohjavesialueella pyritään yleisesti ennaltaehkäisevään työhön, etenkin vedenottamoiden suhteen.Tämä tarkoittaa sitä, että vedenottamoille arvioidaan ns. sieppausalueita (suojavyöhykkeitä) jolloin saadaan tietoa siitä mistä vesi virtaa ottamolle ja missä ajassa. Näin voidaan kartoittaa ne alueet joista riski vedenlaadulle vedenottamolla ovat kaikkein suurimmat ja ne alueet joista kaikkein vähäisimmät. Arvioinneissa käytetää yleensä ajan suhteen taaksepäin laskentamenetelmiä, koska eteenpäin mallinuksella jouduttaisiin simuloimaan päästölähteen paikkoja pohjavesialueen jokaisesta pisteestä ja tämän on työlästä ja aikaa vievää. Taaksepäin mallinnuksella suojavyöhyke saadaan sen sijaan ratkaistua yhdellä simulointiajolla. Perinteisesti suojavyöhykkeitä on arvioitu esim. ns. sädemenetelmällä CFR - Calculated Fixed Radius, UFE - Uniform Flowfield Equation - menetelmällä tai partikkelien kulkeutumiseen perustuvilla menetelmillä (esim. MODPATH, Pollock 1994). Yksinkertaisimmissa menetelmissä (CFR, UFE) tarvitaan vähän lähtötietoja pohjavesialueesta mutta partikkelien kulkeutumiseen perustuvissa menetelmissä (MODPATH) lähtökohtana on pohjavesalueelle tehty pohjaveden virtausmallinnus.Perinteiset menetelmät perustuvat puhtaasti advektioon eli pohjaveden virtausnopeuteen. Advektioon perustuvissa, ajansuhteen taaksepäin laskentamenetelmissä simulointiaika ja aika-askel valitaan ennalta, ja tämän jälkeen lasketaan sieppausalueen etäisyys ottamolta. Puhtaasti advektioon perustuvat menetelmät eivät kuitenkaan huomioi olennaisia haitta-aineen kulkeutumiseen vaikuttavia tekijöitä kuten dispersiota ja diffuusiota. Dispersion vaikutus näkyy mm. siinä, että haitta-aineen rintama kulkee keskimääräistä veden virtausta nopeammin (advektio). Tämä johtaa myös ei-optimaaliseen ottamoiden suojavyöhykkeiden arviointiin. Tässä esitelmässä esitellään uusi menetelmä, ottamoiden suojavyöhykkeiden arviointiin ja ratkaistaan haitta-aineen kulkeuman yhtälön ns. "adjoint" malli (Neupauer and Wilson 1999, 2001, 2003, 2004). Uudessa menetelmässä käytetään maksimikonsentraatioita kulkuaikojen sijaan.

LÄHTEET

Baetslé, L.H., 1969. Migration of radionuclides in porous media. In A.M.F. Duhamel (ed.) Progress in nuclear energy series XII, Health physics, Pergamon Press, Elmsford, N.Y., p. 707-730.

Juvonen, J., 2009. Lämpökaivo - Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa (Energy well-ground-source heat in one family houses). Finnish Environmental Institute, Helsinki, Finland.

Neupauer, R.M. and J.L. Wilson, 1999. Adjoint method for obtaining backward-in-time location and travel time probabilities of a conservative groundwater contaminant. Water Resources Research 35(11), 3389-3398.

Neupauer, R.M. and J.L. Wilson, 2001. Adjoint -derived location and travel time probabilities for a multidimensional groundwater systems. Water Resources Research 37(6), 1657-1668.

Neupauer, R.M. and J.L. Wilson, 2003. Backward location and travel time probabilities for a decaying contaminant in an aquifer. Journal of contaminant hydrology 66, 39-58.

Neupauer, R.M. and J.L. Wilson, 2004. Forward and backward location probabilities for sorbing solutes in groundwater. Advances in water resources 27, 689-705.

Pollock, D.W. 1994. User's Guide for MODPATH/MODPATH-PLOT, Version 3: A Particle Tracking Post-processing Package for MODFLOW. The U.S. Geological Survey finite-difference ground-water flow model. Reston, Virginia.

Zheng, C. and P. Wang, 1999. MT3DMS A modular three-dimensional multispecies transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. U.S. Army Corps of Engineers.

Reflectance spectra of meteorites – a novel database with applications

Lauri J. Pesonen[1], Thomas Goepfert[1] and Hilkka Arkimaa[2]

[1]Geophysics Laboratory, University of Helsinki, Finland (lauri.pesonen@helsinki.fi)
[2]Geological Survey of Finland, 02151 Espoo, Finland

Abstract

Reflectance spectroscopy is a useful tool to characterize meteorites and to search links between meteorites and their parent asteroids. We present a novel database of meteorite reflectance spectra ("MetRefl") based on literature and new measurements. So far the database consists of 105 spectra representing most chondrite and achondrite classes and groups. The spectra have been parametrized into bandwidths, depths and areas. The database is coupled with other data such as finds and falls (to allow terrestrial weathering effect to be studied), petrophysical properties and "alteration" indices. The database can be used to identify asteroidal diagnostics in the spectra, to seek differences within and/or between meteorite classes, groups and metamorphic types and to identify effects of shock or weathering on the spectral parameters. These are used in interpreting the compositions, surface conditions and regoliths of the asteroids and also in tracing "alteration" histories of the meteorites and asteroids.

1. INTRODUCTION

The research of the asteroids can be done directly (by landers) and indirectly by optical methods or in the laboratory through the study of the geochemical, petrophysical or spectral properties of meteorites (Kohout et al. 2008). The reflectance spectroscopy is a useful tool in searching links between meteorites and asteroids (Paton et al. 2011). The spectra consists of absorption bands where the band depth, area and position can be measured and compared with petrophysical or alteration properties, such as the metamorphic grade, shock degree or weathering state. The mineral physics behind the absorption bands is well documented (e.g. Paton et al. 2011). Except for the enstatite (E) and most carbonaceous chondrites (CC´s), with more monotonic curves, the rest of the stones exhibit band-like spectra. Olivine and pyroxene dominate the absorptions in near infrared wavelenghts. In addition, the amount of metal and their oxidation state, sulphur and carbon, as well as various alteration processes, such as thermal metamorhpism, shock, and space or terrestrial weatherings may modify the curves. Paton et al. (2011) discovered some relationships between the reflectances and physical properties of meteorites, such as the density and magnetic susceptibility. On the other hand, Kohout et al. (2014) found that pieces of the Chelyabinsk meteorite show shock-darkening, which flattens the band-shaped spectra with no marked changes in physical properties. In order to interpret the features in the spectra and to provide type curves for meteorites, a database of meteorite reflectance spectra is needed. Comparable databases exists of meteorite petrophysical properties (Kohout et al. 2008) as well as of asteroid spectra (Pieters 2001).

Such a database helps to understand the correlations between reflectance features, alterations and physical properties. The aim of this study was to construct a tentative database of meteorite reflectance spectra. We also present a few examples of the use of the database in research of meteorites and asteroids.

2. DATABASE OF METEORITE REFLECTANCE SPECTRA

To make the database we compiled the available reflectance spectra from literature (Gaffey 2001, Paton et al. 2011, Pentikäinen et al. 2014) and our meteorite refectance measurements into an Excel Spreadsheet Database "MetRefl". The current version of MetRefl is composed of spectra of 105 meteorites. The spectra have been resampled to resolution of 5 nm, between 450 nm and 2250 nm wavelenghts. Since we are interested of the relative shapes of the bands, and to allow comparison among published spectra, the spectra are normalized so that the amplitude of the reflectance is 1 at 1000 nm (Fig. 1a). If a certain meteorite is present in several data sets its spectra have been averaged if they were seemingly similar. The following properties are measured from each spectra (Fig.1a): absorption band depths I&II, locations (I, II) on the wavelenght axis, band areas I&II and their ratios. The band areas are calculated using a trapezoidal numerical integration (Goepfert et al. 2015).

Petrophysical data of meteorites are adopted from the U of Helsinki meteorite petrophysics database (Kohout et al. 2008) added with new data from literature (e.g., Macke et al., 2001; Rochette et al. 2003; and references therein). The MetRefl contains the following properties: bulk density, magnetic susceptibility and porosity. The "alteration" parameters include the metamorphic type, shock degree (1 to 6) and weathering state (1 to 4). We note that this is a starting attempt to build up a meteorite reflectance database: in future a more sophisticated programmes and platforms, such as the PHP/MySQL, might be used.

3. RESULTS

Figure 1 shows the spectral parameter definitions and spectra of L4 chondrites as an example.

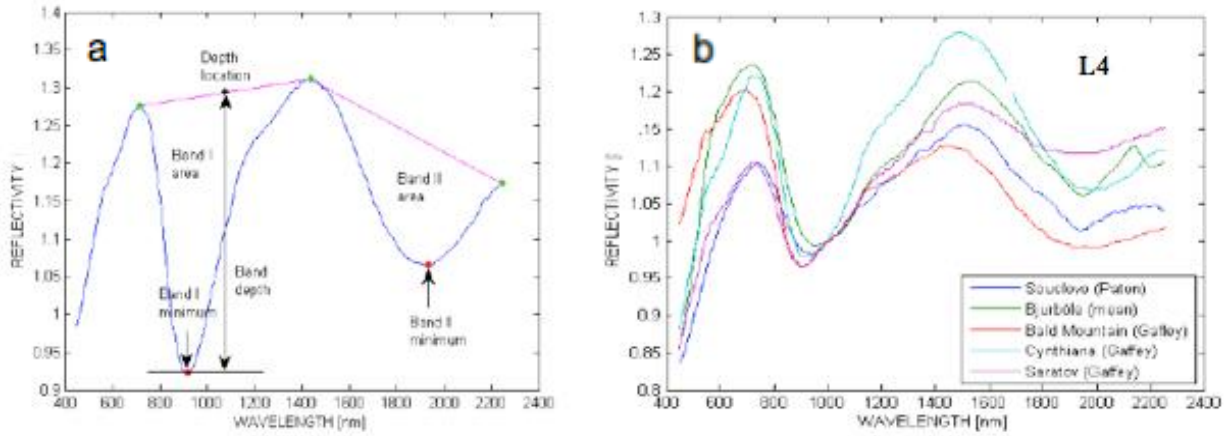


Figure 1. (a) Definitions of spectral parameters (Paton et al. 2011), (b) Example of spectra of L4 chondrites (Goepfert et al. 2015).

The majority of ordinary chondrite spectra look like in Fig. 1b with two bands centered at 1μm and 2μm. A problem for the calculation of the depths, areas and positions in the bands occurs when they are not deep enough like is often the case in some C-chondrites, or when the entire spectrum is monotonic like in some E-chondrites. We used mathematical tools to isolate spectral characteristics in such cases (Goepfert et al. 2015). The spectral parameters

show often correlations among meteorite classes, groups and types, and can be used alone (e.g. band I location) in classifying spectras, or in combinations (e.g., band II location combined with band II depth). For correlations of these parameters, see the PCA analysis of Paton et al. (2011) or the correlation analysis by Goepfert et al. (2015). It is understandable that the correlations must be used with warning since they do not necessarily imply any physical causality between variables (see Goepfert et al. 2015).

Figure 2a shows that shock due impacts is modifying the reflectance curves and the parameters. For example, in the case of enstatite chondrites the shock appears to increase the Band I depth as a well as band area ratios (BAR). With the exception of the E- and most C-chondrites, all other chondrites show somewhat similar double-band spectra (Fig. 1b). However, there are notable variations in these spectra as a function of metamorphic grade. Fig.2b shows that Band I area, for example, is increasing from H3 to H6, L3 to L6 and from LL3 to LL6, suggesting that thermal metamorphism modifies the shapes of the spectra. As found by Paton et al. (2009) we also found some relations between spectral parameters (e.g. Band I depth) and physical properties of meteorites, such as bulk density and susceptibility, but the meaning of these relationships remains obscure.

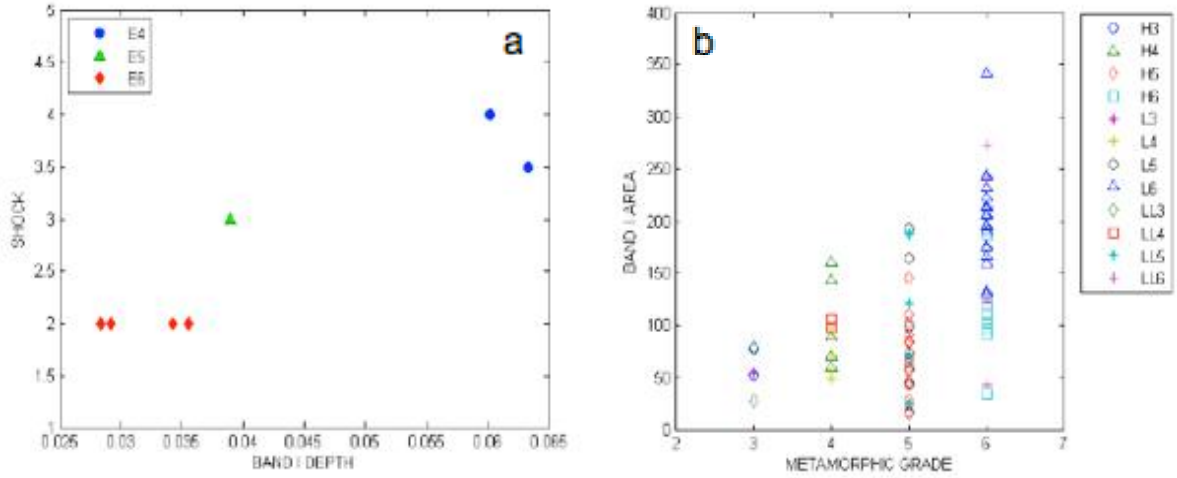


Figure 2. (a) Effect of shock on Band I Depth in E-chondrites, (b) Effect of metamorphic grade (petrologic type) on Band I Area in ordinary (H, L, LL) chondrites.

4. CONCLUSIONS

We have constructed a novel database of meteorite reflectance spectra for chondrites and achondrites which can be used in interpreting the types and histories of their parent bodies. The spectral features reveal several useful mutual correlations but also trends with physical properties of meteorites and with alteration indices such as shock, metamorphic grade and terrestrial or space weathering. The next step in improving the database is to add mineral contents of pyroxene, olivine and metals to the database. Also in order to understand the correlations, we aim to look the effect of various illumination techniques and geometries used in the spectral measurements. Another worthwile aspect might be to look how the surface condition (roughness, fracturing, amount of metal or melt veins, etc.) will affect to the spectral characteristics in case where other variables remain constant.

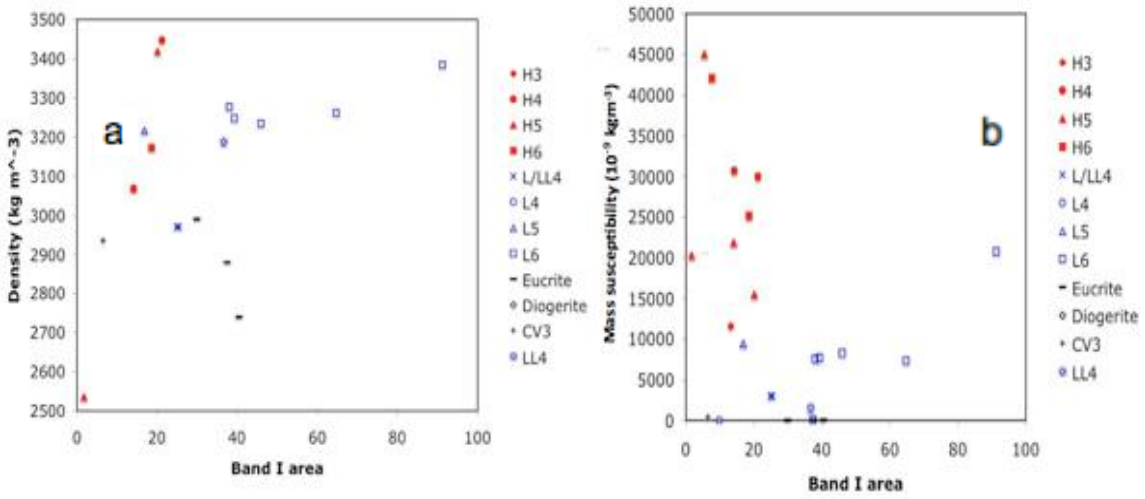


Figure 3. (a). Density and (b) mass susceptibility vs. Band I area for ordinary chondrites (H, L and LL) and their metamorphic types. (Paton et al. 2009).

REFERENCES

Gaffey, M., 2001. Meteorite Spectra. EAR-A-3-RDRMETEORITE- SPECTRA-V2.0. NASA Planetary Data System 2001.

Goepfert, T., Pesonen, L J. and Arkimaa, H., 2015. Correlation study between reflectance and petrophysical properties among a large set of meteorites (in prep.).

Kohout T, Kletetschka G, Elbra T, Adachi T, Mikula V, Pesonen LJ. 2008. Physical properties of meteorites - Applications in space missions to asteroids. MAPS, 43 (6), 1009-1020.

Kohout T, Gritsevich, M., Grokhovsky. V.I., Yakovlev, G, Haloda, J., Halodova, P., Michallik, R.M., Penttilä, A., Muinonen, K., 2014. Mineralogy, reflectance spectra, and physical properties of the Cherlyabinsk LL5 chondrite – Insight into shock-induced changes in asteroid regoliths. Icarus, 238, 78-85.

Macke, R.J., Britt, D.T., Consolmagno, G.J., 2011. Density, porosity, and magnetic susceptibility of achondritic meteorites. MAPS, 46, Nr 2, 311-326.

Paton, M. D., Pesonen, L. J., Muinonen, K., Kuosmanen, V., Kohout, T., Laitinen, J. and Lehtinen, M., 2009. Meteorite spectral features and their relation to physical properties. DPS, Puerto Rico, October 4-9, poster 68.16, p. 41.

Paton, M., Muinonen, K., Pesonen, L.J., Kuosmanen, V., Kohout, T., Laitinen, J., Lehtinen, M., 2011. A PCA study to determine how features in meteorite reflectance spectra vary with the samples' physical properties. J Quant. Spectr. Radiat .Transf. 112, 1803-1814.

Pentikäinen, H, Penttilä, A., Muinonen, K. and Peltoniemi, J., 2014. Spectroscopic investigations of meteorites. J. Quant. Spectr. Radiat. Transf. 146, 391-401.

Physical properties of rocks shocked in the 0-35 GPa range

Lauri J. Pesonen

Geophysics Laboratory, University of Helsinki, Finland (lauri.pesonen@helsinki.fi)

Abstract

Changes in physical properties of diabase shocked in 0-35 GPa range are presented. Results are compared with rhyolite, basalt, microdiorite and schist (Gattacceca et al. 2007). The following trends with shock are observed: increase of porosit,y decrease of density, slight decrease of susceptibility, distinct increase of magnetic anisotropy and Hopkinson peak and a remarkable increase of NRM and Q. These trends are probably related to the increase of shock-induced fractures, dislocations, defects or twinnings as seen by transmission electron microscopy. The last trends are related to difficulties in measuring NRM of very small pieces or due to decrease of effective grain size leading to enhanced NRM´s, weakened susceptibilities and "magnetic hardening", supported by hysteresis data.

1. INTRODUCTION

The research of physical properties of impact structures and meteorites form a branch of planetary geophysics yielding important aspects of the processes in our Solar System. The terrestrial impact structures are associated with geophysical anomalies related to impact rocks or shock-induced changes in physical properties of target rocks (Pesonen 2011). Shock plays also an important role in understanding the physical properties of meteorites and their parent bodies (Kohout et al. 2008). Previously, we investigated shock effects on coercivity of NRM of non-porous magnetite bearing diabase from Finland, shocked experimentally in the range of 0-35 GPa (Pesonen et al. 1997). In this paper we report further results of the study of shock effects on this diabase. We compare the results with those of basalt, rhyolite, diorite and schist from France shocked in the same range but containing also pyrrhotite in addition to titanomagnetite (Gattacceca et al. 2007).

2. METHODS

The shock experiments on diabase are described in Pesonen et al. (1997). Since the samples were shocked in magnetic steel-containers, the prevailing field was roughly five times higher than ambient. The estimated post-shock temperatures range from the ambient to ~1400K (35GPa). The physical property determinations of the shocked samples include density, porosity, susceptibility and its anisotropy, hysteresis properties and the AF-decay of the post-shock "NRM", Anhysteretic (ARM) and Saturation Isothermal Remanent Magnetizations (SIRM), respectively. The samples from France were shocked using an explosive set up (Gattacceca et al. 2007): calibrations were done using a shock-model where the distance of the sample from the shock point was a measure of shock intensity. The majority of the measurements on diabase were carried out at the Geological Survey of Finland: some hysteresis and porosity data were later measured at the U of Helsinki. Data of the samples from France are from Gattacceca et al. (2007) by interpolating the values from figures.

Density and porosity measurements of the samples from France were done at U of H laboratory using chips. The chips were very small (<1g) and therefore the masses and volumes were measured ten times using an ultrasensitive balance to calculate the mean densities and porosities.

3. PHYSICAL PROPERTIES OF THE ROCKS

Table 1 summarizes data of the diabase and Figure 1 shows the trends with shock. Porosity increases with shock leading to decrease of density consistent with observations of impacts on crystalline target rocks (Pesonen 2011).

	Pre shock parameters						Post shock parameters													
Sample	Shock (GPa)	δ_{bo} kgm^{-3}	k_o m^{3}kg^{-1}	p_o %	NRM_o mAm^{-1}	Q_o	δ_{bs} kgm^{-3}	p_s %	k_s m^{3}kg^{-1}	k_s	NRM_s mAm^{-1}	Q_s	MDF_{AF}	M_s	M_{sr}	H_c	Hcr	M_{rs}/M_s	H_{cr}/H_c	k_{HOPK} %
A	0	3014	13.81	~0.5	18386	11.6	3014	0.5	13.81	1.06	18386	11.6	26.0	1.68	0.35	20.4	34.5	0.208	1.69	20
B	4.5	2999	13.32	~0.5	17209	9.1	2840	5.3	12.85	1.07	54103	36.1	18.2	1.80	0.42	21.9	33.5	0.233	1.53	36
C	15	3010	15.85	~0.5	17861	10.2	2678	11.0	9.09	1.07	143229	147.8	32.2	1.44	0.44	29.3	43.5	0.305	1.48	27
D	25	3005	14.67	~0.5	18794	12.2	2807	6.6	12.72	1.21	452108	443.5	35.1	2.09	0.61	34.4	54.3	0.293	1.58	28
E	35	3000	12.89	~0.5	13425	11.8	2628	12.4	8.33	1.19	280258	321.7	49.1	3.88	1.34	38.2	57.6	0.345	1.51	44

Table 1. Pre-(symbol o) and post-shock (s) properties of diabase samples. δ_b bulk density, k mass susceptibility, p porosity, NRM natural remanent magnetization, Q Koenigsberger ratio, M_s saturation magnetization, M_{rs} saturation remanent magnetization, H_c coercivity, H_{cr} remanence coercivity, k_{HOPK} Hopkinson´s peak as %-rise of room temperature k.

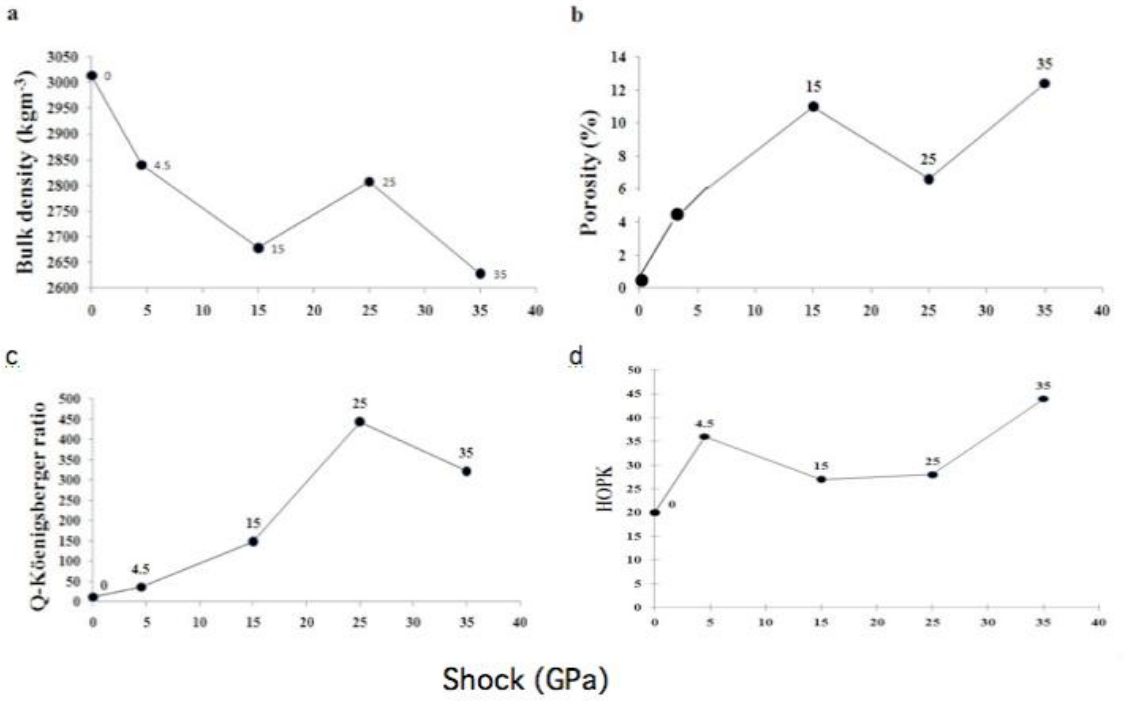


Figure 1. (a) Bulk density, (b) Porosity, (c) Q-ratio and (d) Hopkinson-peak of diabase samples in 0-35 GPa. Basalt from France showed the following densities with increasing shock (porosity in parenthesis): 0: 2880 kgm^{-3} (?), 6.2 GPa: 2500 kgm^{-3} (13%), 17 GPa: 2585 kgm^{-3} (10.4%) and 23.5 GPa: 2385 kgm^{-3} (17%).

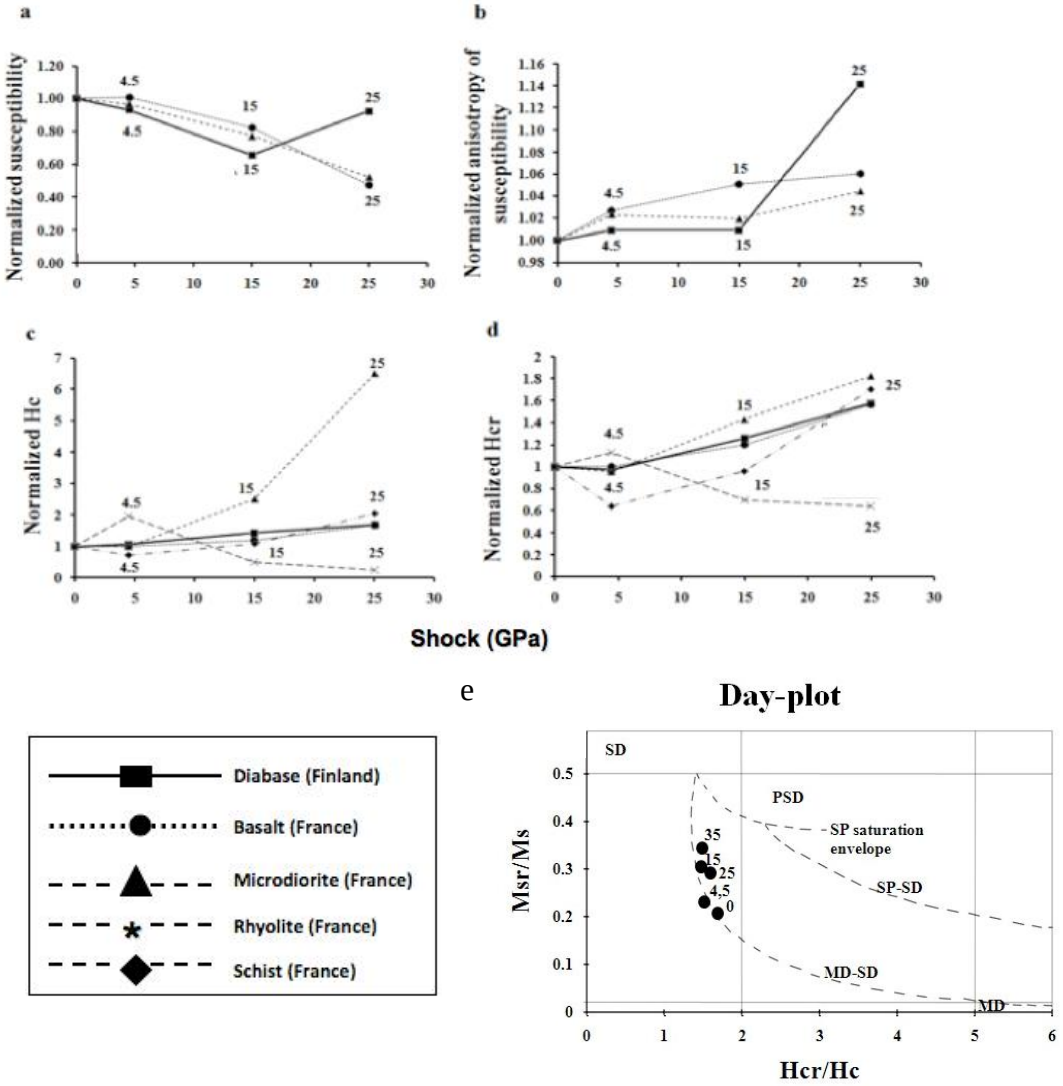


Figure. 2. (a) Susceptibility, (b) anisotropy, (c) coercive force (Hc), (d) coercivity (Hcr), (e) Day-plot of hysteresis data (only for diabase) of the studied rocks in range of 0-25/35 GPa.

The decrease of density with shock is almost totally due to porosity increase although minor changes in crystal properties (and in their densities) in some minerals cannot be ruled out (Langenhorst et al. 1999).

Susceptibility decreases in all rocks with increasing shock confirming previous observations of shock on susceptibility in non-porous crystalline rocks (Pesonen et al. 1997). Low T-susceptibility curves do not show any marked changes by shock. In contrast, the high-T susceptibility shows an increase in the irreversibility and a notable enhancement of the Hopkinson peak (Fig. 1d). A remarkable feature in NRM data is a five-fold increase with shock (Table 1; see Pesonen et al.1997). The normalized AF curves of the NRM show shock hardening: the median destructive field (MDF) increases with shock (Pesonen et al. 1997). The situation is different in the case of more porous target rocks (Kohout et al. 2012).

Hysteresis properties. Figure 2 shows changes in hysteresis properties of the rocks as a function of shock. In basalt, diabase, diorite and schist the coercive force (H_c) and the remanence coercivity (H_{cr}) grow with shock, but their ratio decreases. In contrast, M_s, M_{sr} and also their ratio (M_{sr}/M_s) increase with shock. This trend is consistent with shock hardening of MDF as well as in shift of hysteresis values in the Day-plot f towards the SD

area (Fig. 2e). The mechanism behind the shock hardening is probably related to changes in the domain sizes of magnetite and/or to production of fractures, defects or dislocations in minerals (Langenhorst et al. 1997).

4. CONCLUSIONS

In crystalline rocks the shock increases porosity and decreases density. Thus, the gravity minima of impact structures are partly explained by low densities of impactites and partly by shock generated fractures producing less dense target rocks. The magnetic shock hardening is in consert with previous shock experiments on crystalline rocks. Pesonen (2011) has demonstrated that low susceptibilities of the fractured targets explains the circular weak magnetic "haloes" over impact structures in crystalline targets although impact re- or demagnetizations may take place, too.

ACKNOWLEDGEMENTS

I thank J. Gattacceca for the samples from France, F. Langenhorst and A. Deutsch of the early work on the diabase samples and P. Sangchan for help in image processing.

REFERENCES

Gattacceca, J., Lamali, A., Rochette, P., Boustie, M., Berthe, L., 2007. The effect of explosive-driven shocks on the natural remanent magnetization and magnetic properties of rocks. PEPI, 162, 85-98.

Kohout, T., Kletetschka, G., Elbra, T., Adachi, T., Mikula, V., Pesonen, L.J., Schnabl, P., Schlechta, S., 2008. Physical properties of meteorites - applications in space missions to asteroids. MAPS, 43 (6), 1009-1020.

Kohout, T., Pesonen, L.J., Deutsch, A., Wünneman, K., Nowka, D., Hornemann, U., Heikinheimo, E., 2012. Shock experiments in range of 10-45 GPa with small MD magnetite in porous target. MAPS, 47 (10), 1671–1680

Langenhorst, F., Pesonen, L.J., Deutsch, A., Hornemann, U., 1999. Shock experiments on diabase: microstructural and magnetic properties. XXX LPSI Conference, Abstract No. 1241.

Pesonen, L.J. 2011. Petrophysical properties of impact rocks – the key to understanding geophysical anomalies of meteorite impact structures. AGU Fall Meeting, San Francisco, Abstract P34A-6.

Pesonen, L.J., Deutsch, A., Hornemann, U., Langenhorst, F., 1997. Magnetic properties of diabase samples shocked experimentally in the 4.5 to 35 GPa range. XXVIII LPSI Conference, Part 3, 1087-1088.

Progress report on the new satellite laser ranging system of Metsähovi Geodetic Research Station

A. Raja-Halli[1] and J. Näränen[1]

[1] Finnish Geospatial Research Institute (FGI), National Land Survey(NLS), arttu.raja-halli@nls.fi

Abstract

Metsähovi Geodetic Research Station (MGRS) of the Finnish Geospatial Research Institute (FGI) of National Land Survey of Finland (NLS) (before 1.1.2015 Finnish Geodetic Institute) is one of the Global Geodetic Observation System (GGOS) core sites and equipped with all the fundamental space geodetic techniques together with superconducting and absolute gravimeters. First satellite laser ranging (SLR) observations in Finland were made at the Metsähovi research station already in 1978. In 2012 the Ministry of Agriculture and Forestry granted a special fund for upgrading the instrumentation of MGRS and the national GNSS network FinnRef. With this funding it became possible to acquire a completely new modern kHz-capable SLR system. Here we present the current status of the upcoming new SLR system.

1. INTRODUCTION

Metsähovi Fundamental Geodetic Station (MGRS) of the FGI is one of the northernmost satellite laser ranging (SLR) stations of the International Laser Ranging Service (ILRS). Besides SLR, other geodetic instruments located in MGRS are e.g., absolute and superconducting gravimeters, GEO-VLBI (in a co-operation with the Aalto University), DORIS-beacon (CNES/IGN), GNSS receivers and as the latest one, a TerraSar-X reflector (DLR/UMunich). There are also several instruments for monitoring the environment, like the groundwater, soil moisture and weather.

Satellite laser ranging is a space geodetic technique where the flight time of short laser pulses to, e.g., Earth orbiting satellites is used to range the objects with an accuracy that is a couple of mm for low Earth orbit targets. SLR can be used, e.g., to calculate the orbits of satellites with few mm accuracy, to study the changes in the low harmonics of Earth's gravity fields, and to determine the movement of the Earth's center of mass. There are currently approximately 30 operational SLR-stations worldwide. First SLR observations in Finland were made at the FGI's Metsähovi research station already in 1978.

The SLR operations in Metsähovi have been offline since 2005 when the old system was shut down for renovation. The plans for renovation and upgrading were totally changed in 2012 when the Finnish government granted FGI an extra funding for upgrading the instrumentation of MGRS and the national GNSS network FinnRef. This allowed FGI to start building a completely new kHz-capable modern SLR system that can achieve state-of-art mm-level ranging accuracy.

2. NEW INSTRUMENTATION

Building a new SLR system is a challenging task as there are few off-the-shelf solutions available: most of the existing stations have developed their own strategies for software and hardware during several decades. Key items in the system are: A telescope, either with one or two optical channels for separating the transmitted and received laser pulses; a laser with a stable repetition rate (Hz-kHz), energy level and pulse length (few picoseconds); a time interval counter / event timer for timing the flight time; a detector for observing the echoed laser pulse, and a time reference. In 2007 FGI purchased a modern laser to Metsähovi, capable of 2kHz repetition rate with a 0.8W average power and a few picosecond pulse length. A new Single Photon Avalanche Diode –detector (C-SPAD) was purchased in 2008.

With the extra funding from the government in 2012, FGI could start procuring the biggest components of the system: the telescope, the software and a new observatory building. FGI published an international invitation to tender on March 2013 for procuring a new state-of-the-art SLR telescope system to Metsähovi. In September 2013 the contract was awarded to Cybioms Corp. (USA) who will supply FGI with a telescope system with a 0.5m receive telescope and a ~0.1m transmit telescope. The telescope will be installed in Metsähovi during 2015. The telescope will be capable of tracking objects with orbits between 200-25000km during night and day with few arcsecond accuracy. The C-SPAD detector will be installed into the Cassegrain focus of the telescope into an environmentally sealed detector box. The detector box will have space also for additional detectors or cameras.

The first SLR building in Metsähovi, erected in 1975 was torn down in August 2014 and a new modern observatory building was constructed to its place (Fig. 1.). The observatory building with a 5.3m dome by Baader Planetarium GmbH (Germany) was finalized in December 2014. In the middle of the building stands a ~3.5m high hollow rectangular concrete pillar which is anchored to bedrock and separated from the floor structures to minimize all vibrations and movements. The new telescope will stand on the pillar at the second floor and will be sheltered by the weather proof dome. On the ground floor the observatory has two rooms. All the SLR electronics as well as the HighQ 2kHz 532nm laser will be located in a room with an almost clean-room environment and temperature stability within one degree. Operator will control everything from the second room and entering the instrument room or the dome are necessary only during maintenance or when adjusting or installing something. In the instrument room the pillar has two large optical windows 90degrees apart to two separate optical tables from which two independent lasers can be guided up through to the telescope's Coudé path. This will allow in the future the possibility for using e.g., a more powerful laser for space debris observations.

3. NEW OPERATING SOFTWARE

The new master control software SCOPE is a software stack for SLR stations which covers all aspects of the SLR operation. It was initially designed and developed by SpaceTech GmbH (STI) for the SLR station in Potsdam and is now being adapted by DiGOS GmbH for the new kHz SLR system in Metsähovi. The SCOPE software stack consists of a daemon which commands and controls all station hardware components in real-time, an operator interface which allows the operator to monitor and perform all SLR operations and the SCOPE station simulation for software verification, troubleshooting and training. All these software components are running on a single Linux based workstation (with real-time kernel). In addition, FGI has built a system for monitoring airplane-traffic above Metsähovi. This is an important safety measure for avoiding laser exposure on airplanes. System uses a passive ADS-B receiver for monitoring the air traffic above Metsähovi. Air traffic information is then shown together with the satellite orbits on top of the all-sky image.

4. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

Much effort has been put to establishing a new SLR system to Metsähovi: new observatory, new telescope and the new control software, but a lot of engineering work is still needed before we can start tracking. All the major pieces of the system are expected to be ready by the end of 2015: the new telescope, the SCOPE and maintenance of the the HighQ 2kHz laser. The aim is to start testing the system during winter 2015-2016.

Figure 1. The new SLR building of the Metsähovi Geodetic Research Station.

High precision geodynamic tilt measurements by iWT in the Conrad observatory, Austria.

Ruotsalainen H[1], Bán D[2], Papp G[2], Leonhardt R[3] , Poutanen M[1], Szűcs E[2], Benedek J[2]

[1]Finnish Geospatial Research Institute (FGI), National Land Survey of Finland (NLS), Geodeetinrinne 2, FI-02430 Masala, Finland
[2]Geodetic and Geophysical Institute (GGI) of the Research Centre for Astronomy and Earth Sciences, Hungarian Academy of Sciences (MTA CSFK GGI), H-9400, Csatkai Endre u. 6-8., Sopron, Hungary
[3]Zentral Anstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Hohe Warte 38, A-1191 Vienna, Austria

Abstract

The Finnish Geodetic Institute built a modern 5.5m long Michelson-Gale-type water level tilt meter for the Geodetic and Geophysical Institute of the MTA CSFK. The instrument was installed in August 2014 in Conrad Geophysical Observatory of the Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, in Thal, Austria. We present the installation of it and the first observations of the instrument.

Keywords: interferometric water level tilt meter, geodynamic tilt, earth tides

1. INTERNATIONAL TILT GEODYNAMICS COOPERATION AT THE CONRAD OBSERVATORY, AUSTRIA

Conrad Observatory (COBS) is an exceptional national and international centre for geophysical research in Austria. Several international research groups have installed instrumentation there in the frame of cooperation. The Geodetic and Geophysical Institute (GGI), Hungary ordered an interferometrical water level tilt meter (iWT) from the Finnish Geodetic Institute (since 2015 the Finnish Geospatial Research Institute, FGI) in 2014. The 5.5m long prototype equipped with one interferometer unit was built and tested in early 2014 at the FGI lab Masala, Finland. The instrument follows the basic principles of the Michelson and Gale (MG) (1919) interferometric water level tilt meters developed 100 years ago at Yerkes Observatory, Wisconsin, USA. The setup principle and design has been developed at the FGI since 1965 (Kukkamäki, 1965, Kääriäinen, 1979). Geodynamic tilts has been continuously recorded with a 50.4 m long modernized MG type NS oriented iWT tilt meter system at the Lohja2 geodynamic station in Finland since 2008 (Ruotsalainen, 2001). Fig. 1 shows the location of the iWT installed on a pier in the seismological tunnel of COBS 150 meters away from the outside entrance to the laboratory. The temperature in laboratory tunnel is very stable, which is important for the performance of the instrument.

Fig.1 Western end of iWT tilt meter on the pier in observation tunnel at Conrad observatory. Adjustment of interference fringes is going on.

The instrument is suitable for recording of geodynamical tilts of caused by various interplanetary effects as well as global, regional and local tectonics. TSOFT program (Van Camp and Vauterin, 2005) has been used for the visualization and preprocessing of recorded data. A detailed earth tide analyze is carried out by using ETERNA3.4 program (Wenzel, 1996)
E_iWT means that the instrument has a single level interferometer equipped only on the eastern end of the exactly east-west oriented tube. The sensor unit - a Fizeau-type level interferometer - consists of only two electrical parts, a Basler A602f digital camera and necessary optical window heating wires in the vicinity of the tilt sensing system. All the other components are placed outside the tunnel 100 meters away towards the entrance of the laboratory. The HeNe-laser and the recording computer located at the tunnel entrance are shown in Fig. 2.

Fig. 2. HeNe-laser and recording computer on the table. GGI/Hungary experts adjusting laser and recording system

2. FIRST GEODYNAMIC TILT RECORDINGS AT COBS

After the adjustment of both the water level inside the tube and the interference fringes (Newton's rings), it takes several hours or some days while water level becomes stable in nanometer scale. Tilt recording shows that the instrument observes earth tides signal (global gravitational deformation of the Earth by Sun, Moon and planets) correctly. Its size is well estimated theoretically and therefore it can be used to check that instrumental parts function well. A long term ~200 nanoradian/day downward drift was indicated in the E_iWT recording during autumn. It was caused probably by uneven adjustment of foot screws, because such a drift does not exist anymore from January 2015, when the orientation of the instrument was reversed to west (W_iWT) on the same pier. Wedge shape aluminium supports were used to adjust the horizontal position of the tube carefully. In Fig. 3 this ~200 nanoradian drift has been removed and earth tide tilt deformation is clearly seen in upper (raw data) and in the middle (low-pass filtered data) plot. In east-west direction there are no longer tidal tilt periods than 1 day according tidal theory. So the long period residual signal (lower section in Fig. 3) may be caused by e.g. atmospheric loading. This signal is studied more carefully in the future. The signal in lowest plot shows non-tidal tilt residual after subtraction upper signals from each other. Preliminary tidal analyse have been carried out from autum time 18.8.2014 – 10.1.2015 tilt data.

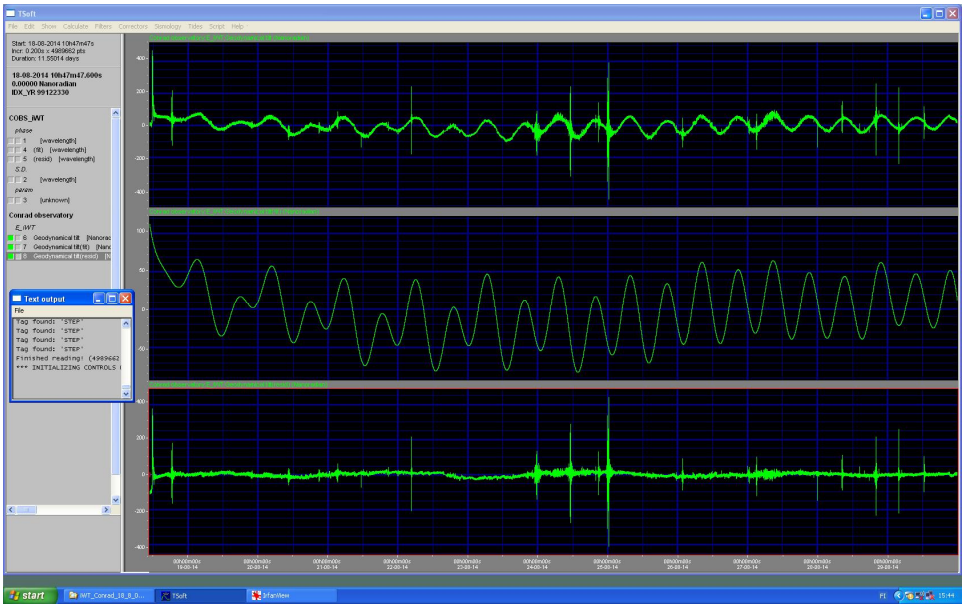


Fig. 3. The uppermost plot shows the raw tilt recording of the iWT corrected by the drift (200 nanorad/day) 18.8. – 28.8.2014. In the middle plot there is the low-pass filtered data. Lowest plot shows residual after subtraction of the two signals above.

Raw iWT data is delivered via internet to GGI, Hungary and FGI, Finland from Conrad observatory Austria. This feature opens possibility to build a network of iWT instruments with remote internet access and control.

3. CONCLUSION

Interferometric water level tilt meter with internet access opens new possibilities for geodynamics research. A prototype of it installed at Conrad Observatory, Austria has been working since August, 2014 with nanoradian resolution. During its time of operation it needed only minimal adjustment and supervising.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to colleagues in ZAMG,Vienna and GGI,Sopron on their supporting actions during installation and adjustment process of iWT at COBS. The iWT research at Conrad is supported by GEO-DIN Project of MTA, Hungary and Magnus Ehrnrooth Foundation, Finland.

REFERENCES

Bán D., Papp, G., Benedek J., Ruotsalainen H., Leonhardt R., Banfi F. and Molnár T.(2014). Interferometrikus hidrosztatikus dőlésmérő berendezés telepítése a Conrad Obszervatóriumban, Poster in IX. Geomatika Szeminárium, Sopron, Nov. 13-14. 2014. (in Hungarian).

Michelson A. A. and H. G.Gale (1919), *The rigidity of the Earth, Astrophys. J.* **50.**, 330-345.

Kukkamäki T. J., Recording of the secular land tilting with pipe level, *Proc. of 2nd Int. conf. on recent Crustal Movement, Acad. Sci. Fenn.* ***AII*****, No. 90.**

Kääriäinen J., Observing the Earth Tides with a long water tube tilt meter, *Publ. of the Finn. Geod. Inst.* **88**, Helsinki, (1979).

Ruotsalainen H.,(2001) Modernizing the Finnish Long Water-Tube Tilt meter, *Journal of Geod. Soc. of Japan*, Vol **47**, No 1, pp. 28-33 (2001).

Van Camp, M., and Vauterin, P.,(2005), Tsoft: graphical and interactive software for the analysis of time series and Earth Tides, *Computers & Geosciences***, 31(5),** 631-640.

Wenzel H.G (1996). The nanogal software: Earth Tide date processing package Eterna3.30, *Bull. Inf. Marées Terrestres*, Vol. **124**, pp. 9425 – 9439.

Proterozoic Supercontinent Nuna

J. Salminen[1], S. Mertanen[2], L.J. Pesonen[1], R. Klein[1]

[1] Physics Department, University of Helsinki, johanna.m.salminen@helsinki.fi
[2] Geological Survey of Finland

Abstract

To understand processes occurring from the planetary interior to the surface environment, a robust paleogeography of tectonic plates is important. Paleomagnetism coupled with geochronology is the only quantitative methods for providing ancient latitudes and azimuthal orientations of continents. The Earth's lithospheric crust is considered to have been assembled to form several supercontinents at different times. The existence of two youngest supercontinents Pangea (320Ma to ca.180-160 Ma); and Rodinia (900Ma to ≥750 Ma) is widely accepted. The concept of pre-Rodinia supercontinents becomes more controversial as the age of the geological formations increases, due to paucity of reliable paleomagnetic data. There is a general agreement that a tectonic "core" of the Paleo- to Mesoproterozoic Nuna supercontinent incorporates Laurentia, Baltica, Siberia, and proto-Australia (e.g. Pisarevsky et al., 2014 and Pehrsson et al., in press). Advances in Nuna reconstructions will require more high quality paleomagnetic data for other cratons. This has been addressed by several recent and ongoing studies and a paleogeography of Nuna has started to form. A more robust paleogeogrphy can be used for studying possible secular changes at the rates of global plate motions and true polar wander during the Proterozoic, for studying the cycles and styles of supercontinental transitions (Reddy and Evans, 2009). In this paper we will test the Nuna reconstructions with special focus on recent paleomagnetic data from Baltica.

ACKNOWLEDGEMENTS
JS was funded by Alfred Kordelin and Emil Aaltonen foundations.

REFERENCES

Pehrsson, S.J., Eglington, B.M., Evans, D.A.D., Huston, D. & Reddy, S.M., 2015. In: Li, Z. X, Evans, D.A.D. and Murphy, J.B. (eds.): Supercontinent Cycles Through Earth History. Geological Society, London, Special Publications, **424**,

Pisarevsky, S.A., Elming, S.Å., Pesonen, L.J. & Li, Z-X. 2014. Mesoproterozoic paleogeography: Supercontinent and beyond. Precambrian Research, **244**, 207–225.

Reddy, S.M., and Evans, D.A.D., 2009. Palaeoproterozoic supercontinents and global evolution: correlations from core to atmosphere. Geological Society, London, Special Publications, **323**, 1-26.

Teleseismiseen tomografiaan perustuva ylävaipan rakenteiden seisminen malli pohjoisen Fennoskandian kilven alueella

H Silvennoinen[1,2], E. Kozlovskaya[2,1] ja E. Kissling[3]

[1] Sodankylän geofysiikan observatorio, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
[2] Kaivannaisalan tiedekunta, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
[3] Institute of Geophysics, ETH Zürich, Sonneggstrasse 5, 8092 Zürich, Sveitsi

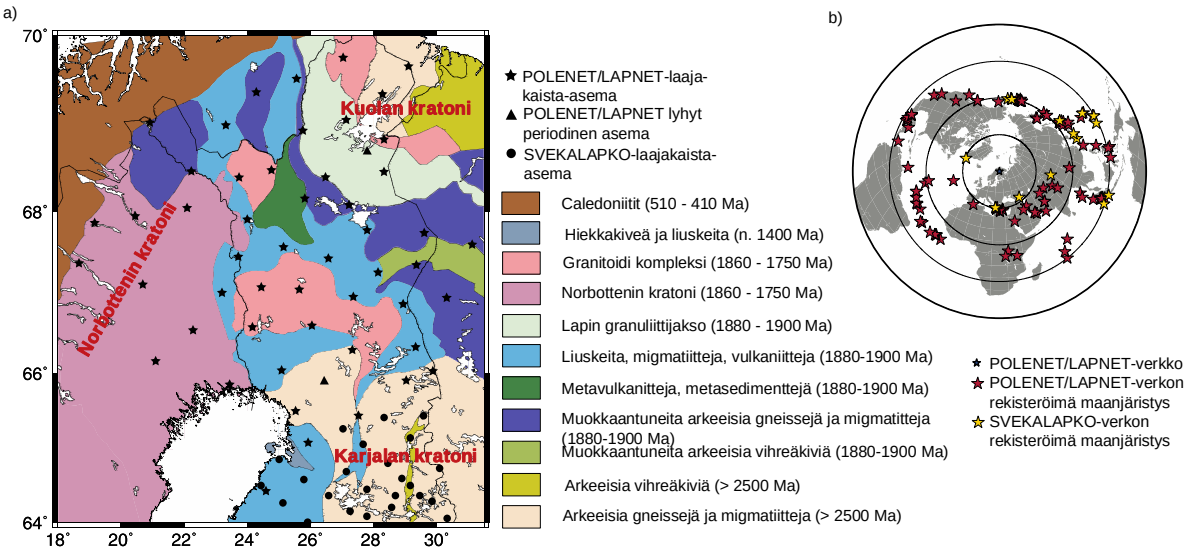
Abstract

The POLENET/LAPNET broadband seismic array (http://www.oulu.fi/sgo-oty/lapnet), consisting of roughly 60 seismic stations, was deployed in northern Fennoscandia (Finland, Sweden, Norway, and Russia) during the third International Polar Year 2007 – 2009. In our study we estimate the 3-D structures of the upper mantle beneath the northern Fennoscandian shield to the depth of approximately 350 km using high-resolution teleseismic P-wave tomography. Our study revealed highly heterogeneous lithospheric mantle beneath the northern Fennoscandian shield, without any large high P-wave velocity area that may indicate presence of thick depleted lithospheric "keel" found below southern Finland and Sweden. The most significant feature seen in the velocity model is a large and strong negative velocity anomaly in the central part of our study area that can be followed down to a depth of 160-200 km. The low-velocity area separates three high-velocity regions corresponding to the surrounding cratons.

1. JOHDANTO

Laajakaistaisista seismometreistä koostuvat tiheät mittausverkot ovat tehokas menetelmä tutkittaessa maankamaran rakenteita useiden satojen kilometrien syvyydelle ylävaippaan (Trampert and Van der Hilst, 2005). Eräs tällainen mittausverkko oli POLENET/LAPNET-verkko (http://www.oulu.fi/sgo-oty/lapnet, Kuva 1a), joka rekisteröi paikallisia ja teleseismisiä maanjäristyksiä Kansainvälisen Polaarivuoden 2007-2009 aikana Pohjois-Suomessa ja ympäröivillä alueilla Ruotsissa, Norjassa ja Venäjällä. Verkko koostui 37 projektia varten asennetusta asemasta sekä 21 pysyvästä seismisestä asemasta, joista kahta lukuun ottamatta kaikki olivat laajakaistaisia. Keskimääräinen etäisyys asemien välillä oli 70 km.

Eräs POLENET/LAPNET-projektin päätavoitteista oli koostaan kolmiulotteinen seisminen malli kuvaamaan ylävaipan rakenteita pohjoisen Fennoskandian kilven alueelle, erityisesti sen arkeeisissa osissa. Koska 1980-luvulla tutkimusalueen kaakkoisreunalta, läheltä Archangelskia Venäjällä, löydettiin kaksi suurta timanttiesiintymää, aluetta pidetään timattipotentiaalisena. Timanttien esiintymiselle on kolme empiirisesti löydettyä vaatimusta: arkeeinen peruskallio, matala lämpötilagradientti sekä paksu litosfääri (Clifford, 1966).



Kuva 1. Tutkimusalue (a), geologinen kartta on mukailtu 1:2000000 geologisesta kartasta (Koistinen et al., 2001) sekä tähän työhön valittujen maanjäristysten sijainnit (b).

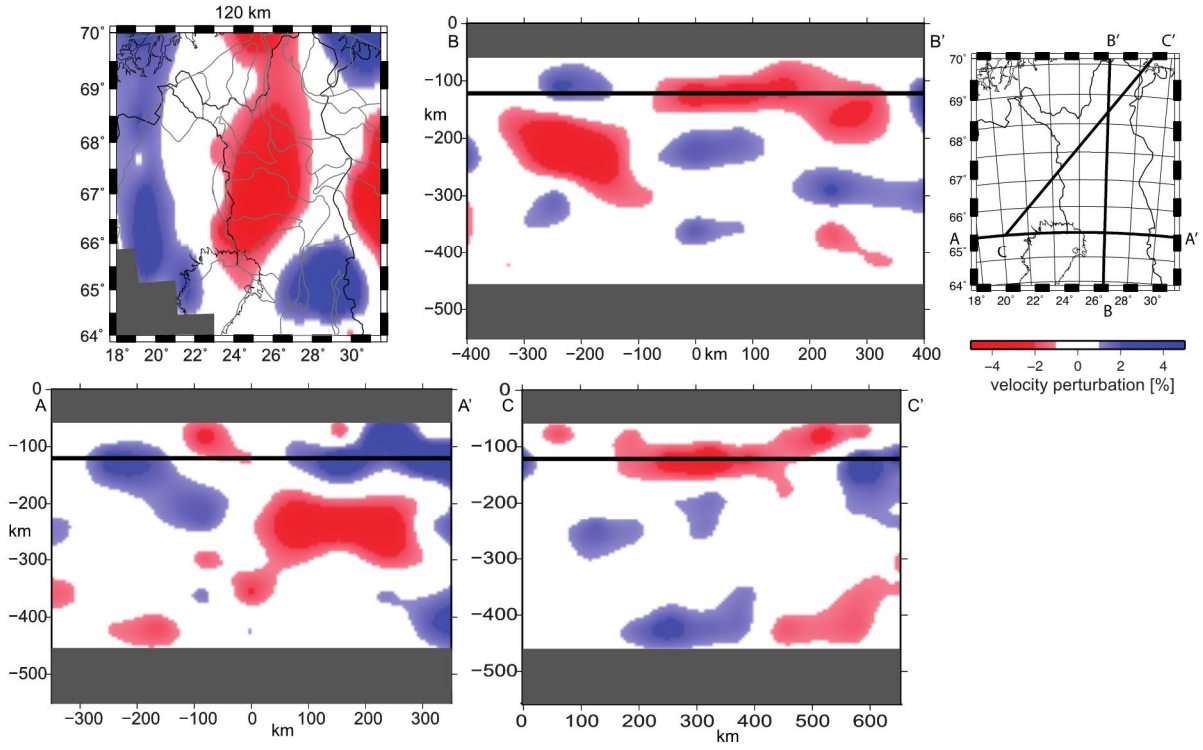
2. DATA JA MENETELMÄ

Tämän tutkimuksen pääasiallinen mittausaineisto on POLENET/LAPNET-verkon keräämä aineisto. Toukokuun 2007 ja syyskuun 2009 väliltä valittiin 96 teleseismistä maanjäristystä (Kuva 1b), jotka sijaitsivat episentrietäisyydellä 30° - 90° tutkimusalueesta ja jotka mahdollisimman suuri osa mittausverkkosta rekisteröi selkeästi. Tavoitteena oli löytää hyvin rekisteröityjä maanjäristyksiä kaikista ilmansuunnista. Valittujen maanjäristysten signaalin saapumisaika tapahtumapaikalta seismisille asemille poimittiin mittausaineistosta käsin. Saapumisaikoja poimittaessa arvioitiin samalla jokaiselle poimitulle ajalle epävarmuus rekisteröinnin laadun perusteella. Uuden POLENET/LAPNET-mittausaineiston lisäksi täydensimme käyttämäämme aineistoa aiemmalla, SVEKALAPKO-projektin (Hjelt et al., 2006) aikana rekisteröidyllä, mittausaineistolla. Saapumisaikojen ja maanjäristyksen tapahtuma-ajan perusteella laskettiin seismisen energian kulkuaika järistyksen tapahtumapaikalta seismiselle asemalle. Teleseismisessä tomografiassa käytettävä lähdeaineisto ovat seismisten kulkuaikojen residuaalit eli poikkeama seismisen energian havaitun kulkuajan ja teoreettisen, valittuun referenssimalliin perustuvan kulkuajan välillä. Tässä tutkimuksessa referenssimallina käytettiin IASP91-mallia (Kennett and Engdahl, 1991). Kokonaisuudessaan tässä tutkimuksessa käytetty aineisto koostui 111 maanjäristyksestä, 89 seismisestä mittausasemasta sekä 3526 kulkuaikaresiduaalista.

Myöskään tomografisessa inversiossa ei pyritä löytämään niinkään absoluuttisia nopeusarvoa tutkimusalueen kussakin solussa kuin prosentuaalista poikkeamaa referenssimallin nopeusarvosta. Mallin luotettavuutta arvioitaessa on tärkeää arvioida, missä osissa mallia erotuskyky ja luotettavuus on hyvä ja mitkä osat voivat sisältää menetelmästä ja aineiston vajavaisuuksista johtuvia artefakteja. Tässä työssä erotuskykyä arvioitiin resoluutiomatriisin diagonaalielementtien avulla sekä sarjalla synteettisiä testejä. Testeissä selvisi, että verkon erotuskyky on kohtuullinen noin 360 km syvyydelle saakka. Paras erotuskyky on verkon keskiosan alla ja parhaan erotuskyvyn alue liikkuu itää kohden syvemmälle mentäessä. Tämä selittyy sekä tutkimusalueen länsiosan vähäisemmällä rekisteröidyn aineiston määrällä että maanjäristysten suuremmalla määrällä tutkimusalueelta itään, jolloin tutkimusalueen länsiosasta saatiin itä- ja keskiosaa vähemmän tietoa.

3. TULOKSET

Tutkimuksessamme paljastui erittäin heterogeeninen ylävaippa vailla litosfääristä ”köliä”, jollainen on havaittu mm. Fennoskandian kilven eteläisemmissä osissa Ruotsissa (Shomali et al., 2006) sekä SVEKALAPKO-projektin tutkimusalueella Etelä- ja Keski-Suomessa (Sandoval et al., 2004). Havaitut seismiset nopeuden ovat kohtuullisen lähellä IASP91-referenssimallin arvoja, mitä tukevat myös tuoreen P- ja S-aaltojen vastaanotinfunktiotutkimuksen tulokset (Vinnik et al., submitted), joiden mukaan litosfäärisen vaipan seismiset nopeudet eteläisessä Suomessa ovat keskimäärin suuremmat kuin pohjoisessa Suomessa. Inversiotuloksistamme voidaan havaita useita korkeamman seismisen nopeuden anomalioita aivan vaipan yläosassa 120 – 200 km syvyydelle saakka. Näiden anomalioiden alapuolella seismiset nopeudet ovat lähellä referenssimallin arvoja. Nämä anomaliat korreloivat tutkimusalueemme kratonisten yksiköiden sijaintien kanssa ja me tulkitsemmekin ne edustamaan arkeeiselta ajalta muokkaantumattomana säilynyttä ylävaipan osaa Karjalan, Kuolan ja Norbottenin kratonien alla.



Kuva 2. Inversiotulokset. Vasemman yläkulman horisontaalinen leikkaus on 120 km syvyydeltä. Pystyleikkausten sijainnit on merkitty pieneen karttaan kuvan oikeassa reunassa.

Näiden kolmen korkean seismisen nopeuden anomalian lisäksi mallissamme voidaan havaita matalan nopeuden anomalia, joka mallin yläosassa sijaitsee kolmen korkeamman nopeuden anomalian välissä mallin keskiosassa ja syvemmällä ulottuu Karjalan kratonin alle. Tutkimusalueemme itäosassa tämä alue yhtenee timanttipotentiaalisen Kuolan alkaaliprovinssin kanssa. Toisaalta mallimme keskiosassa matalan nopeuden anomalia sijaitsee Pajalan siirrosvyöhykkeen kanssa, joka erottaa Karjalan ja Norbottenin kratonit toisistaan.

KIITOKSET

H. Silvennoinen kiittää Suomalaisen tiedeakatemian Vilho, Yrjö, ja Kalle Väisälän rahastoa tämän tutkimustyön rahoittamisesta. Tekijät haluavat myös kiittää sekä Sodankylän geofysiikan observatorion että ETH Zürichin henkilökuntaa avusta ohjelmistojen kanssa.

LÄHTEET

Clifford, T.N., 1966. Tectono-metallogenic units and metallogenic provinces of Africa. *Ea. and Pl. Sci. Let.*, **1**, 421 – 434.

Hjelt, S.-E., Korja, T., Kozlovskaya, E., Lahti, I., Yliniemi, J., BEAR, SVEKALAPKO Seismic Tomography Working Groups, 2006. Electrical conductivity and seismic velocity structures of the lithosphere beneath the Fennoscandian Shield. In: Gee, D.G., Stephenson, R.A. (Eds.), European Lithosphere Dynamics, 32. Mem. of the Geol. Soc. of London, pp. 541–559.

Kennett, B. L. N. and Engdahl, E. R., 1991. Traveltimes for global earth- quake location and phase identification. *Geophys. J. Int.*, **105**, 429–465.

Koistinen, T., Stephens, M.B., Bogatchev, V., Nordgulen, Ø., Wennerström, M., Korhonen, J., 2001. Geological map of Fennoscandian shield, scale 1:2 000 000. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden and the North-West Department of Natural Resources of Russia.

Sandoval, S., Kissling, E., Ansorge, J. & SVEKALAPKO STWG, 2004. High-resolution body wave tomography beneath the SVEKALAPKO array: II. Anomalous upper mantle structure beneath the central Baltic Shield. *Geophys. J. Int.*, **157**, 200– 214.

Shomali, Z.H., Roberts, R.G., Pedersen, L.B., and TOR Working Group, 2006. Lithospheric structure of the Tornquist Zone resolved by nonlinear P and S teleseismic tomography along the TOR array, *Tect.phys.*, **416**, 133-149.

Trampert, J., and Van der Hilst, R.D., 2005. Towards a quantitative interpretation of global seismic tomography, *Geophysical Monograph (American Geophysical Union, Washington, D.C.)*, **160**, 47-62.

Vinnik, L, Oreshin, S., Kozlovskaya, E., Kosarev, G., Piiponen, K., Silvennoinen, H., 2015. Lithosphere and asthenosphere under central Fennoscandia from P- and S-wave receiver functions. *E. and Pl. Sci.Let.* (submitted).

Electrodynamic structure of themorning high-latitude trough region

H.Vanhamäki[1,3], A.Aikio[1], M.Voiculescu[2], R.Kuula[1], L.Juusola[3], and T.Nygrén[1]

[1] Astronomy and Space Physiscs Unit, University of Oulu, Oulu, Finland,
heikki.vanhamaki@oulu.fi
[2] Department of Chemistry, Physics, and Environment, "Dunărea de Jos" University of Galati, Galati, Romania.
[3] Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland.

Abstract

We study electrodynamics of the summer-time morning trough region, observed as F-region electron density depletion with the EISCAT radar in northern Scandinavia around 22-02 UT on 24-25 June 2003. The UHF radar made meridian scans, giving 9 cross-sections of ionospheric electron density and ion temperature with ~30 minute cadence. Ionospheric equivalent currents are calculated from ground magnetometer data, and together with EISCAT-based conductance estimates they are used as input date in calculating the ionospheric electric field and real currents with the KRM method.

1. INTRODUCTION

Ionospheric troughs, or depressions of F-region plasma density, are a common phenomena observed around sub-auroral and auroral latitudes, and even inside the polar cap, see e.g. *Rodger et al. (1992), Benson and Grebowsky (2001), Hunsucker and Hargreaves (2003)*. In the trough area the plasma density at altitude range 200 - 500 km can be several tens of percent, even an order of magnitude lower than in the surroundings. Typical latitudinal extent of the trough is a few degrees, but the longitudinal extent can be much larger. Troughs tend to develop during extended periods of darkness, especially during winter nights, when recombination and/or transport processes can deplete the plasma. However, troughs have been observed also during summer and in the day-side. Thus a combination of photo-chemistry, plasma transport and electrodynamics is needed to understand the formation and evolution of the ionospheric troughs. On the practical side, troughs can have a large effect on HF radio propagation, and other radio signals crossing the ionosphere (*Hunsucker and Hargreaves, 2003*).

Arguable the most extensively studied type of trough is the mid-latitude trough, also called the main trough or sub-auroral trough, that takes place some degrees equatorward of the auroral oval on both evening and morning sides (*e.g. Rodger et al., 1992*).High-latitude troughs taking place within the auroral oval or polar cap have received somewhat less attention, but they are nevertheless quite commonly observed. The locations of mid- and high-latitude troughs are defined relative to the auroral oval, which seems to clearly separate them from each other. In addition to location, there are some distinct features such as electron temperature behavior separating these trough types, and also hinting at possible different mechanisms behind their origin (*e.g. Rodger et al., 1992*).

In addition to troughs, also several other types of F-region plasma depletions in the auroral/polar regions have been investigated. In the winter ionosphere, partial stagnation of the the postmidnight cross polar cap flow is know to result in very low plasma densities, known as the

polar hole. Additionally, smaller scale depletions (horizontal scale $< \sim$ 100 km) termed auroral cavities are observed poleward of the morning side auroral oval.

In this study we concentrate on a detailed analysis of a single high-latitude trough event that took place in northern Scandinavia around 22-02 UT (around 01:30 - 05:30 magnetic local time) on 24-25 June 2003 during quiet geomagnetic conditions (Kp 3 during 21-24 UT and Kp 2 during 00-03 UT). This trough even has been briefly discussed before by *Voiculescu and Nygrén* (2008), as an example of a high-latitude summer time trough. Simultaneous measurements made with the EISCAT incoherent scatter radar[1] and IMAGE magnetometer network[2] form an excellent basis for detailed analysis of the trough. Combining this dataset with local KRM analysis (*Vanhamäki and Amm, 2007*) allows us to form a comprehensive picture of the trough development, its plasma dynamics and coupling to the ionospheric current system.

2. EVENT OVERVIEW AND DATA

EISCAT was operating in tristatic CP3 mode, making repeated scans roughly along geomagnetic North-South direction. Each scan consists of 16 different beam directions, giving us one height-resolved latitude profile of ionospheric electron density, ion and electron temperatures, ion composition and beam aligned ion velocity every 30 minutes. As a result of tristatic operation, also 3-dimensional plasma flow and electric field could be estimated at a single altitude around 300 km for each beam direction.

The electron density derived from EISCAT data shows development of an F-region trough, coming into the radar field of view from the polar cap before midnight, reaching southernmost latitudes around 00:30 UT, then moving poleward and finally disappearing in the last scan taken after 02 UT. This quite steady development is interrupted around 22:45 UT, when some transient precipitation takes place, indicated by sudden increase of electron density in the ionospheric E- layer (100 - 150 km altitude). We use data from the IMAGE magnetometer network to calculate the ionospheric equivalent currents with the SECS method (*Amm and Viljanen, 1999*), giving us also an estimate of the location and strength of the electrojet currents.

The solar wind magnetic field is mostly northward ($B_Z > 0$) and dawnward ($B_Y < 0$) during the trough development, although some fluctuations are seen. The total electrojet currents calculated from the IMAGE magnetometer data are quite small and steady, even if the westward electrojet shows some intensifications correlated with solar wind speed. However, the overall temporal evolution is quite steady, and thus we may assume that most of the 30-minute CP3 scans give us reasonably accurate snapshots of the ionospheric condition.

3. DATA ANALYSIS

Aim of the present study is to combine the the EISCAT and magnetometer observations, and together with KRM analysis (*Vanhamäki and Amm, 2007*) to obtain the ionospheric electric field, horizontal current and FAC in a 2D area around the radar location. This gives us a unified view of the evolution of plasma parameters (from EISCAT) together with the ionospheric electric field and current system (from the KRM method). The local KRM method requires the equivalent current and conductance estimates as input data.

---

[1] https://www.eiscat.se/

[2] http://www.space.fmi.fi/image/

The latitude-altitude distribution of Hall and Pedersen conductivities is calculated using intepolated EISCAT electron density, with collision frequency formulas given by *Brekke and Hall* (1988). Neutral atmosphere is taken from NRLMSISE-00 model and magnetic field from IGRF11 model. Hall and Pedersen conductances are then calculated by height-integrating the conductivities in vertical direction between 80–250 km altitude.

The EISCAT latitude coverage at 80 km altitude is rather limited, so at the lower altitudes we extrapolate the electron density to the latitude range that is available at 150 km altitude. Extrapolation is done by assuming that 2° outside the electron density has decreased back to the mean value measured at the specific altitude. This is rather arbitrary, but seems to give reasonable conductance curves. Finally, as the KRM method requires 2D (latitude-longitude) distribution of the conductances as input, we extrapolate the data assuming zero gradients either in the geographical or geomagnetic longitudinal direction. This choice is based on visual inspection of the equivalent current pattern.

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Examining the EISCAT results, we note that the F-region density depletion is accompanied with increased ion temperature, especially after midnight, when the trough is well developed. This is a typical feature of the high-latitude trough (e.g. *Rodger et al., 1992; Hunsucker and Hargreaves, 2003*). On the other hand, the electron temperature does not show any clear correlation with the trough, which is a distinguishing feature between the main and high-latitude troughs. In the E-region we see a local enhancement in the electron density near the equatoward edge of the F-region depletion. The KRM-derived electric field agrees very well with the pointwise EISCAT estimates, showing an increased southward electric field (eastward plasma drift) in the trough area, especially after midnight.

Superposing the equivalent current pattern with the EISCAT-based electron density, we see that the trough is located inside the polar cap before local midnight, but moves southward on top of the westward electrojet, before returning to the polar cap in the early morning. However, the trough does not extend to the southern side of the electrojet, demonstrating how the auroral oval separated the high- and mid-latitude troughs.

Several different theories of high-latitude trough formation have been advanced (see e.g. *Rodger et al., 1992; Benson and Grebowsky, 2001*, and refrences therein), chiefly 1) very slow and winding ionospheric flow in the nightside ionosphere, which gives normal recombination processes enough time to decrease plasma density, 2) large electric field leading to collisional ion heating and thereof to larger recombination rates, and 3) plasma upflow due to increased heating and/or FAC system. Reason 1) seem unlikely during summer, when the whole polar cap and even the EISCAT radar site remain illuminated, albeit at large solar zenith angles. In the EISCAT results we see a clear increase of ion temperatures in the trough area, co-located with increased electric field strengths revealed by the KRM analysis. On the other hand, we do not see any clear plasma upflow in the EISCAT tristatic measurements, although these are limited to one altitude at the lower F-region.

Thus we conclude that in this particular trough event there is clear evidence supporting creation mechanism 2) mentioned above. However, there is some indication that the electron density was already somewhat lowered before the ion temperature started to increase after midnight, perhaps indicating that also other mechanism contribute at least to the initial trough formation.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank the institutes who maintain the IMAGE Magnetometer Array, NASA/GSFC's Space Physics Data Facility's OMNIWeb service, and the World Data Center for Geomagnetism, Kyoto, http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp. EISCAT is an international association supported by China (CRIRP), Finland (SA), Japan (STEL and NIPR), Germany (DFG), Norway (NFR), Sweden (VR) and United Kingdom (NERC).

References

Amm O., and A. Viljanen (1999), Ionospheric disturbance magnetic field continuation from the ground to the ionosphere using spherical elementary current systems, *Earth Planets Space*, *1*, 431–440.

Benson, R. F., and J. M. Grebowsky (2001), Extremely low ionospheric peak altitudes in the polar hole region, *Radio Sci.*, *36*, 277–285.

Brekke, A., and C. Hall (1988), Auroral ionospheric quiet summer time conductances, *Ann. Geophys.*, *6*(4), 361–375.

Hunsucker, R. D., and J. K. Hargreaves (2003), *The High-latitude Ionosphere and Its Effects on Radio Propagation*, Cambridge University Press, Campridge, ISBN 0-521-33083-1.

Rodger, A. S., R. J. Moffett, and S. Quegan (1992), The role of ion drif in the formation of ionisation troughs in the mid and high-latitude ionosphere – a review, *J. Atmosph. Terr. Phys.*, *54*, 1–30.

Vanhamäki, H., and O. Amm (2007), A new method to estimate ionospheric electric fields and currents using data from a local ground magnetometer network, *Ann. Geophys.*, *25*, 1141–1156.

Voiculescu, M., and T. Nygrén (2006), Radar observations of plasma depletions in the ionosphere, *Rom. Journ. Phys.*, *53*(1-2), 5–12.

Interfacing and accessing paleomagnetic and geochronologic data in the upgraded PALEOMAGIA database

T. Veikkolainen[1], L.J. Pesonen[1], N. Jarboe[2] and D.A.D. Evans[3]

[1] Department of Physics, University of Helsinki, toni.veikkolainen@helsinki.fi
[2] Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, USA
[3] Department of Geology and Geophysics, Yale University, New Haven, USA

Abstract

The advent of relational databases has been of paramount importance for the advancement of paleomagnetism and geological age information. These include the Global Paleomagnetic Database (GPMDB), the Magnetics Information Consortium Database (MagIC) and the more recent PALEOMAGIA database. Since its introduction in November 2013, PALEOMAGIA has faced several improvements, and currently provides a convenient, lightweight platform to access over 3900 entries of Precambrian paleomagnetic and geochronologic entries worldwide. The database runs MySQL technology and its user interface has been developed using HTML, Javascript and server-side PHP scripts. Since PALEOMAGIA is open-access and its data can be easily linked and exported, it provides an unforeseen resource for the Precambrian paleomagnetic community.

1. INTRODUCTION

Getting a synoptic view on the Precambrian geomagnetic field is essential for the derivation of paleogeographic reconstructions, core and mantle dynamics and geothermal evolution of our planet. This purpose necessitates a carefully maintained and up-to date compilation of paleomagnetic poles coupled with relevant geochronologic information. In order to fulfill this criterion, significant improvements have been recently made to the PHP/MySQL based open-access paleomagnetic database PALEOMAGIA (http://www.helsinki.fi/paleomagia), opened in November 2013 and maintained thereafter as a collaborative project of the University of Helsinki, Yale University, and University of California. Since the previous edition of PALEOMAGIA was thoroughly described by Veikkolainen et al. (2014a), this conference article focuses on describing the most recent improvements to the database, with particular focus on the acquisition, linking and export of its contents.

2. FUNCTIONS OF PALEOMAGIA

The most important function of PALEOMAGIA is to allow the retrieval of paleomagnetic data in a user friendly way and to provide links to original publications, if available. Therefore the website of the database incorporates a query form, which supports the selection or deselection of peer-reviewed data and other data as well as data from different rock types (igneous, sedimentary and crystalline rocks). The geographic filtering can be done at the same time using borders of present-day countries, and geologically as based on certain large, well defined Precambrian continents (e.g. Baltica, India) or smaller units such as cratons, orogens and inliers, for example Pilbara and Congo. It is also possible to restrict the query to a certain age range, and to filter only the most reliable data

according to the modified Van der Voo quality grading “MV” (Van der Voo, 1990; Veikkolainen et al. 2014b). Text queries with authors, age references, publications, rock units and result numbers are also possible.

Accurate and isotopic age information is of paramount importance whenever paleomagnetic data needs to be sorted based on geologic eras or other clearly defined time intervals. To facilitate the validation of ages of poles, the current edition of PALEOMAGIA comprises age references for all entries associated with adequate isotopic ages along with error limits as noted by authors. In addition, the administrators of PALEOMAGIA have suggested a range of the age of magnetization (lower magnetic age, LMA, and higher magnetic age HMA), which does not always represent the crystallization age of the rock, particularly if the rock is a slowly cooled igneous unit, metamorphic or sedimentary. Entries without reliable isotopic age information have been assigned estimates based on apparent polar wander paths (APWPs), correlation or stratigraphy. At the database website, the age reference information is provided in a table with a sorting functionality and links to the original geochronology publications if available online. The total count of age references in the current datum of the database (April 27, 2015) is 579, compared with the main paleomagnetic data table with 3399 entries altogether. Although the PALEOMAGIA team has put plenty of effort to ensure the quality and coherence of this information, the paleomagnetic community may contact the database administrators using the feedback form on the website, in case errors prevail.

To allow external online references to distinct database entries, the PALEOMAGIA website provides a specific pole list associated with the unique result numbers of entries. References to a certain pole follow the syntax http://www.helsinki.fi/paleomagia/polelist.php#row[x], where [x] is the result number of the pole in PALEOMAGIA. For example, in case of the combined pole of normal and reversed polarity 2.21 Ga Dharwar dykes (Belica et al., 2014), http://www.helsinki.fi/paleomagia/polelist.php#row10060. serves as the the appropriate anchor link. Result numbers from the latest version of Global Paleomagnetic Database (GPMDB) (http://www.ngu.no/geodynamics/gpmdb/), have been borrowed whenever possible, but if the PALEOMAGIA team has split the GPMDB entry into two polarity groups, new result numbers have been generated using the GPMDB number with an additional "1" or "2" in the end for normal and reversed polarities, respectively. For GPMDB numbers with three digits only, its respective N and R polarity entries have result numbers constructed using the GPMDB number and "01" or "02" in the end. Other result numbers originate from David A.D. Evans's unpublished paleomagnetic data catalogue, having "100" in the beginning, or have been created by the PALEOMAGIA team, having five digits starting from 10000.

The PALEOMAGIA search interface allows the selection of the output of data in various formats. In addition to a dynamically generated web page, text files following the Comma Separated Values (CSV) format are available, as well as Extensive Markup Language (XML) files which are particularly useful when working with Google Maps. The data may also be written to Virtual Geomagnetic Pole files (*.vgp) compatible with the GMAP paleogeographic reconstruction software (Torsvik and Smethurst, 1999; Torsvik, 2014). However, in these files only certain properties of database output are stored, these being the rock type (CLPOL CODE), declination (DEC), inclination (INC), α95 (a95), site latitude (GLAT) and longitude (GLON), pole latitude (PLAT) and longitude (PLON), dp (Dp (F)), dm (Dm) and age (AGE). Since the powerful use of GMAP necessitates the use of error parameters of paleomagnetic information, the PALEOMAGIA entries without information of dp (inclination error) and dm (declination error) are not included in GMAP vgp files.

The PALEOMAGIA website provides several useful features such as a concise and comprehensive documentation of the database and a Google map of sampling sites of all entries, with different

colors for most important continents and smaller units (Figure 1). Clicking markers of the map allows the user to see approximate sampling site latitude and longitude values associated with a reference to the study where the paleomagnetic result was obtained from. The user may also investigate statistical parameters, such as the age range, present-day continent, average quality and number of entries in all terranes. In certain time intervals some of these terranes have formed continents, but unlike in the first edition of PALEOMAGIA, data from a single continent no longer populates an individual table. On the contrary, their paleomagnetic data are stored in a single table to ease the maintenance of the database and to make the relational structure of the database more effective. Most importantly, the main database table and the age reference table are related by primary and foreign keys to maintain coherence between these tables.

3. PROSPECTS

The collaboration between PALEOMAGIA and Magnetics Information Consortium (MagIC) database (http://earthref.org/MagIC) teams aims to a situation where all PALEOMAGIA data are accessible via MagIC, and vice versa. The data integration and transfer process is currently unfinished, but several PALEOMAGIA database entries already have links to corresponding entries in the MagIC database, using Digital Object Identifiers (doi) of the respective publications. These two databases are not meant to replace but to supplement one another, particularly as regards to individual site-level data which are nonexistent in PALEOMAGIA. It may also be possible to provide geological maps on the PALEOMAGIA website in future.

ACKNOWLEDGEMENTS

Toni Veikkolainen acknowledges the financial support by the National Science Foundation of USA to allow his visit to the San Diego unit of University of California in November 2014 where PALEOMAGIA was substantially upgraded. Prior to this visit, numerous geoscientists, such as Satu Mertanen (Geological Survey of Finland), Sten-Åke Elming (Luleå University of Technology) and Sergei Pisarevsky (Curtin University) have contributed to the maintenance of the database.

REFERENCES

Torsvik, T. and M. Smethurst, 1999. Plate tectonic modelling: virtual reality with GMAP, *Computers & Geosciences*, **25**, 395-402.

Torsvik, T., 2014. Database interfacing in GMAP. In: 2014 Nordic Supercontinent Workshop, edited by M. Domeier, University of Oslo, p. 24.

Van der Voo, R., 1990. The reliability of paleomagnetic data, *Tectonophysics*, **184**, 1-9.

Veikkolainen, T., L.J. Pesonen ja D.A.D. Evans, 2014a. PALEOMAGIA: A PHP/MYSQL database of the Precambrian paleomagnetic data. Studia Geophysica et Geodaetica **58**, 425-441.

Veikkolainen, T., D.A.D. Evans, K. Korhonen ja L.J. Pesonen, 2014b. On the low-inclination bias of the Precambrian geomagnetic field, *Precambrian Research*, **244**, 23-32.

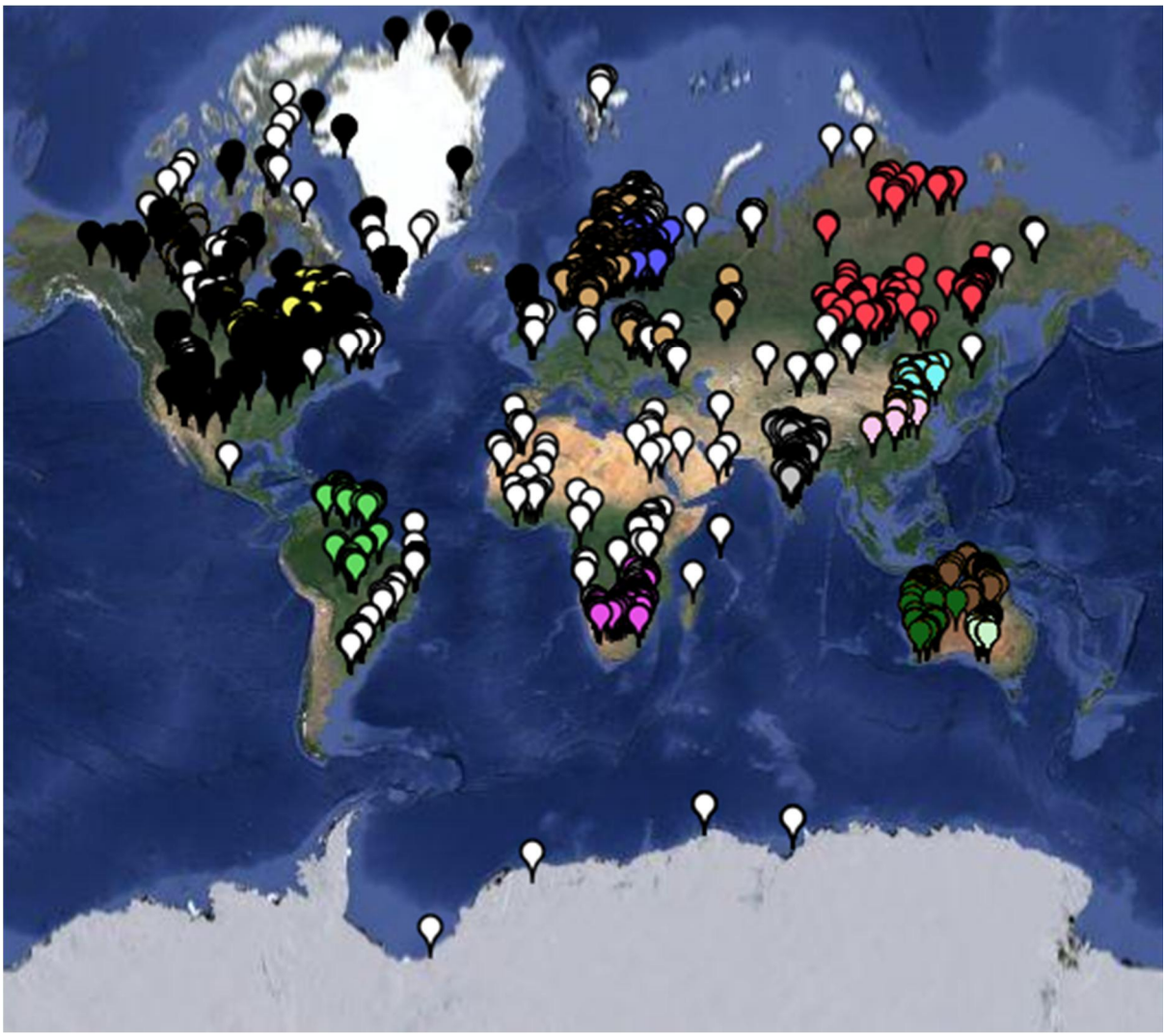


Figure 1. Sampling locations of PALEOMAGIA database globally. Cratonic color definitions are as follows: green for Amazonia-Guyana, light brown for Baltica and subregions, light gray for India and subregions, purple for Kalahari and Kaapvaal, blue for Karelia, black for Laurentia and subregions, dark brown for North Australia, cyan for North China, orange for Pilbara, red for Siberia and subregions, dark gray for Slave, light green for South Australia, pink for South China, yellow for Superior and subregions, dark green for West Australia and Yilgarn and white for all other units. Mercator projection. Map courtesy: Google Maps / NASA.

Prekambriajan paleointensiteetistä, havaintojen laadunarvioinnista ja magneettikentän keskeisdipolihypoteesin pätevyydestä

T. Veikkolainen[1], A. Biggin[2], L.J. Pesonen[1], E. Piispa[3]

[1] Fysiikan laitos, Helsingin yliopisto, toni.veikkolainen@helsinki.fi
[2] Department of Earth and Ocean Sciences, University of Liverpool
[3] Department of Geological and Mining Engineering and Sciences, Michigan Technological University

Abstract

The functionality of paleointensity in determining the geomagnetic field behaviour in the Precambrian has been reduced by the small amount of data and difficulties in the assessment of the quality of observations. Other methods, such as the inclination frequency analysis and reversal asymmetries, have nonetheless supported the hypothesis of a predominantly dipolar field. After assigning newly proposed quality ratings to all Precambrian observations of the global paleointensity database PINT, we have pointed out that the geomagnetic field intensity in the Precambrian has varied significantly in timescales related to paleosecular variation or changes in core-mantle interaction, while the general tendency of the field to follow the Geocentric Axial Dipole (GAD) model in geological timescales cannot be dismissed.

1. JOHDANTO

Maan prekambriajan magneettikentän koostumusta ja kehitystä on viime aikoina analysoitu useilla menetelmillä, kuten inklinaatiojakauman avulla, napaisuuskäännöksien epäsymmetriaa hyödyntämällä, tai paleosekulaarivaihtelua ja napaisuuskäännöstiheyttä tutkimalla. Paleointensiteetin käyttöä prekambriajan magneettikentän analysoinnissa ovat puolestaan pitkään rajoittaneet erityisesti havaintojen pieni määrä sekä vaikeudet niiden laadun arvioinnissa. Kentän suuntainformaation luotettavuutta on viime vuosina arvioitu pääasiassa Van der Voon (1990) 7-kohtaisella luokituksella, kun taas paleointensiteettihavainnoille Biggin ja Paterson (2014) kehittivät oman 8-portaisen Q_{PI}-menetelmänsä. Toistaiseksi Q_{PI}-menetelmää hyödyntäviä geomagneettisen kentän analyyseja ei ole prekambriajan osalta julkaistu, eikä havaintojen Q_{PI}-arvoja myöskään ole saatavilla julkisissa tietokannoissa.

2. ANALYYSIT

Norjan Hurdalissa 13.-19.10.2014 pidetyssä Nordic Supercontinent Workshopissa kaikille globaalin paleointensiteettitietokannan (PINT, http://earth.liv.ac.uk/pint/) yli 500 miljoonan vuoden ikäisistä näytteistä tehdyille havainnoille määritettiin Q_{PI}-laatuluokitukset. Samalla aiempaa 7-portaista luokitusta päivitettiin prekambriajalle paremmin soveltuvaan 8-portaiseen muotoon Taulukon 1 mukaiseksi. Vastaavasti aiemmin Van der Voon luokitus on päivitetty prekambriajan datalle sopivaan 6-portaiseen formaattiin (Veikkolainen et al. 2014a) ja sitä on sovellettu erityisesti PALEOMAGIA-tietokannassa (Veikkolainen et al., 2014b).

Prekambriajan kaikkiaan 363 paleointensiteettihavainnosta 308:n laatuluokitus oli vähintään 1/8 ja nämä havainnot olivat sellaisenaan käytettävissä jatkoanalyysia varten. Vaikka peräti 210 havaintoa täytti kriteerin $Q_{PI} > 2$, laadukkaimmankin datan Q_{PI}-arvot olivat enintään 6. Laatukriteerisuodatuksen tasosta riippumatta havaintodata osoittaa selkeästi paleointensiteetin kasvua paleolatitudin funktiona. Tästä voidaan päätellä, että kenttä oli prekambriaikana aksiaalisen keskeisdipolin hallitsema ja sen voimakkuus ekvaattorilla oli enintään 20 μT. Mahdollinen heikko GAD:n (geosentrinen aksiaalinen dipoli) kanssa samansuuntainen oktupolikenttä kuitenkin tuottaa havaintoihin paremmin sopivan mallin kuin pelkkä GAD (Kuva 1). Kyseisen dipoli-oktupolimallin mukainen GAD-mallin ennustamaa jyrkempi intensiteetin leveysastevaihtelu on linjassa inklinaatiojakaumaan perustuvassa analyysissa havaitun matalien inklinaatioiden pienen yliedustuksen kanssa (Veikkolainen et al. 2014a).

Paleointensiteetin jakauma ajan suhteen osoittaa merkittävää vajausta aikaväleillä 540-1000 Ma ja 2800-3500 Ma. Inklinaatiodatassa vastaavaa ilmiötä ei ole havaittavissa, vaan erityisesti neoproterotsooinen aika on havaintomäärän osalta hyvin edustettu. Jopa ajanjaksolla 1000-2800 Ma intensiteettihavainnot keskittyvät vain muutaman vuosimiljoonan pituisille ajanjaksoille, jotka korreloivat magmaprovinssien ikien kanssa. Vaikka yksittäiset havaintoarvot näillä lyhyillä ajanjaksolla vaihtelevat suuresti, kyseisen ilmiön aiheuttaa ensisijaisesti geomagneettisen kentän sekulaarivaihtelu ja vasta toissijaisesti mittausepävarmuus. Sama ilmiö on myös havaittu keskimäärin hyvin luotettavassa viimeisten 0-2 vuosimiljoonan datassa, jossa suurimmat intensiteettiarvot ovat jopa kymmenkertaisia pienimpiin nähden (Valet et al. 2005).

Vaikka havainnot osoittavat geomagneettisen kentän olleen prekambriaikana keskimäärin huomattavasti heikompi kuin nykyisin, ajalliset vaihtelut ovat merkittäviä. Suurimmat intensiteettiarvot ovat voimakkaasti keskittyneet aikaväleille 1000-1400 Ma ja 2400-2800 Ma, jolloin myös havaintojen hajonta oli merkittävintä ja näin ollen myös matalia intensiteettiarvoja esiintyi runsaasti. Smirnov ja Tarduno (2005) arvioivat, että käytetyt mittausmenetelmät aiheuttavat kautta linjan liian matalia arvioita paleointensiteetille, mutta tällainen systemaattinen virhe ei kykene selittämään havaintojen jakaumaa prekambrin sisällä.

3. TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Paleointensiteettidata on vasta hiljattain noussut varteenotettavaksi keinoksi Maan prekambrisen magneettikentän analysoinnissa. Toistaiseksi siihen perustuvat johtopäätökset ovat ristiriidattomia muilla tutkimusmenetelmillä saatujen tulosten kanssa, eivätkä anna aihetta suuresti poiketa GAD-hypoteesista. Osoitettu geomagneettisen kenttävoimakkuuden kasvu mesoproterotsooisen ajan lopulla ei myöskään pakota hylkäämään aiemmin esitettyä hypoteesia proterotsooisen ajan heikosta magneettikentästä (Proterozoic Dipole Low) (Biggin et al. 2009), mutta on todennäköistä, että magneettikenttä oli heikko vain noin vuosimiljardin ajan eikä mesoproterotsooisen ajan alusta kambrikaudelle saakka. Tämä havainto on myös sopusoinnussa sen kanssa, että paleosekulaarivaihtelun perusteella Maan magneettikenttä oli stabiilimpi aikavälillä 1500-2900 Ma, kuin aikavälillä 500-1500 Ma (Veikkolainen ja Pesonen, 2014). Analyyseissa havaitut paleointensiteetin muutokset säilyvät testattaessa erilaisten laatukriteerien vaikutusta, ja tämä osaltaan tukee Q_{PI}-kriteerien käyttöä intensiteettidatan laadun arvioinnissa.

	Koodi	Kriteeri
1	AGE	Kiven ikä on määritetty luotettavasti ja havaittu paleointensiteetti vastaa paleomagneettisten havaintojen (suuntahavaintojen perusteella) kiven ikää.
2	STAT	Jokaista kivilajiyksikköä edustaa vähintään 5 intensiteettihavaintoa, joiden keskihajonta on riittävän pieni, enintään 25 % keskiarvohavainnosta.
3	TRM	Näytteiden magnetoituma edustaa alkuperäistä termoremanenttia magnetoitumaa (TRM).
4	ALT	Näytteessä ei ole laboratorio-olosuhteissa tapahtunut merkittäviä fysikaalisia tai kemiallisia muutoksia.
5	MD	Näytteen multidomain-magnetoituminen laboratorio-olosuhteissa ei ole todennäköisesti vaikuttanut tulokseen.
6	ACN	Termoremanenssin epälineaarisuus, anisotropia tai näytteessä jäähtymisen aikana tapahtuvat muutokset eivät ole todennäköisesti vaikuttaneet tulokseen.
7	TECH	Paleointensiteetin määritykseen on käytetty useampaa kuin yhtä menetelmää.
8	LITH	Tuloksessa on mukana havaintoja useammasta kuin yhdestä kivityypistä (litologiasta) tai samasta litologiasta kuitenkin niin, että magnetoituman komponentteja on enemmän kuin yksi.

Taulukko 1. Q_{PI}-laatukriteerit (Biggin ja Paterson, 2014).

VIITTEET

Biggin, A.J. ja G.A. Paterson, 2014. A new set of qualitative reliability criteria to aid inferences on palaeomagnetic dipole moment variations through geological time. *Frontiers in Earth Science*, **2**, doi:10.3389/feart.2014.00024.

Biggin, A. J., Strik, G. ja C.G. Langereis, 2009. The intensity of the geomagnetic field in the late-Archaean: new measurements and an analysis of the updated IAGA palaeointensity database. *Earth Planets Space,* **61**, 9-22.

Smirnov, A.V. ja J.A. Tarduno, 2005. Thermochemical remanent magnetization in Precambrian rocks: Are we sure the geomagnetic field was weak? *Journal of Geophysical Research – Solid Earth,* **110**, doi:10.1029/2004JB003445.

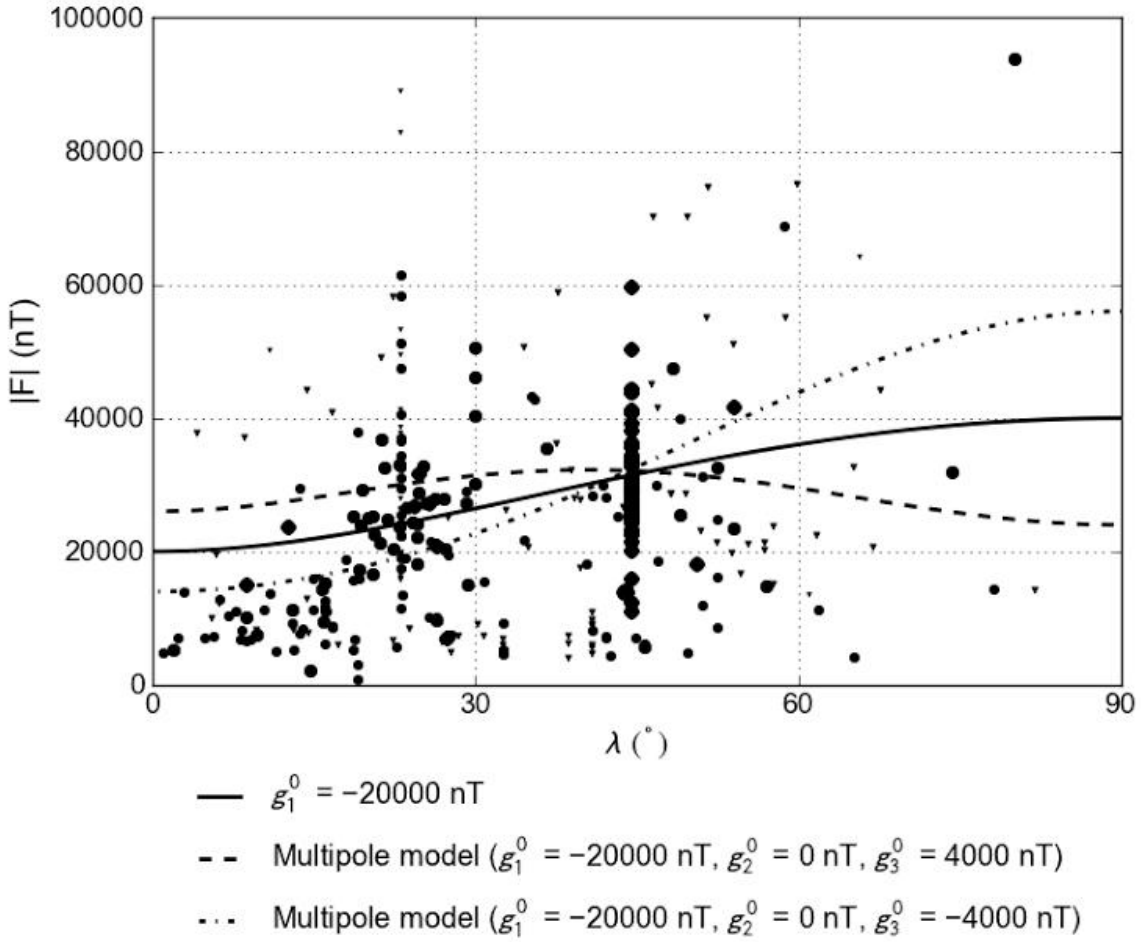
Valet, J. P., Meynadier, L. ja Y. Guyodo, 2005. Geomagnetic dipole strength and reversal rate over the past two million years, *Nature*, **435**, 802-805.

Van der Voo, R., 1990. The reliability of paleomagnetic data, *Tectonophysics*, **184**, 1-9.

Veikkolainen, T., Evans, D.A.D., Korhonen, K. ja L.J. Pesonen, 2014a. On the low-inclination bias of the Precambrian geomagnetic field. *Precambrian Research,* **244**, 23-32.

Veikkolainen, T., Pesonen, L.J. ja D.A.D. Evans, 2014b. PALEOMAGIA: A PHP/MYSQL database of the Precambrian paleomagnetic data. *Studia Geophysica et Geodaetica,* **58**, 425-441.

Veikkolainen, T., ja L.J. Pesonen, 2014. Palaeosecular variation, field reversals and the stability of the geodynamo in the Precambrian. *Geophysical Journal International*, **199**, 1515-1526.



Kuva 1. Absoluuttisen paleointensiteetin latitudiriippuvuus kolmelle eri zonaaliselle magneettikenttämallille sekä prekambriajan intensiteettihavainnot, joille $Q_{PI} > 0$ (N=308). Symbolin koko korreloi havainnon laadun kanssa.

Kilpisjärvi Atmospheric Imaging Receiver Array and its applications in geophysics

I.I.Virtanen[1], A.Kero[1],R.Fallows[2], D.McKay-Bukowski [1,3] and J.Vierinen [1,4]

[1] Sodankylä Geophysical Observatory, University of Oulu, Finland
[2] ASTRON, Dwingeloo, the Netherlands
[3] STFC Rutherford Appleton Laboratory, Harwell Science and Innovation Campus, Didcot, UK
[4] MIT Haystack Observatory, Westford, Massachusetts, USA.

Abstract

Kilpisjärvi Atmospheric Imaging Receiver Array, KAIRA, is a modern multi-beam, wide-band radio receiver located in Kilpisjärvi, Finland. The system makes use of the LOFAR radio telescope technology and is operated by the Sodankylä Geophysical Observatory. The large collecting area of KAIRA, its modern phased-array technology and its location below the auroral oval in vicinity of several radar transmitters allow a wide range of applications from radio astronomy to Solar and near-space observations. The last group contains multi-beam remote incoherent scatter reception, spectral riometry and wide-band observations of ionospheric radio scintillation. We give an overview of technical capabilities of KAIRA and show a collection of results from its geophysical applications.

1. INTRODUCTION

The Kilpisjärvi Atmospheric Imaging Receiver Array, KAIRA [1], is a multi-beam, wide-bandwidth radio telescope in Kilpisjärvi, northern Finland (69.1◦ N, 20.8◦ E). The system makes use of Low Frequency Array (LOFAR) technology – it is based on a LOFAR "remote" station with modified antenna array geometry. The modern phased-array technology allows the system to produce hundreds of simultaneous receiver beams to different directions and at different frequencies.

KAIRA was originally built to serve as a technology pathfinder and demonstration system for the EISCAT_3D radar system and as a multi-use research instrument in its own right. Up to date, the system has been used for various science projects and demonstrations, including EISCAT_3D signal processing demonstration, multi-beam incoherent scatter measurements, long-baseline interferometry of astronomical targets, Solar observations, measurements of ionospheric scintillation, spectral riometry, all-sky radio imaging, etc. Some of these applications are unique in the world or were demonstrated for the first time with KAIRA.

KAIRA consists of two antenna arrays, the high band array (HBA) and the low band array (LBA). The HBA consists of 48 "tiles", housing 16 antenna elements each. Each tile contains an analogue beam former and signals from the tiles are digitized and digitally combined in a beam former. The LBA consists of 48 individual antennas, whose signals are digitized and digitally combined. In its basic operational mode, the digital beam former can produce 244 simultaneous beams, each covering almost 200 kHz in frequency. The number of beams can be increased to 488 or 976 if the default 16-bit integer representation is replaced with 8 or 4 bits, correspondingly.

Figure 1: KAIRA site in August 2012. The high-band array, consisting of the black "tiles" installed on wooden frames, is on the left. The low-band array is on the right, with only the brownish ground-planes visible in the picture. The containers behind the high-band array are for electronics, office space and storage.

Near-space observations with KAIRA have, up to date, included multi-beam remote reception of incoherent scatter with transmission from the EISCAT Tromsø radar site, wide-band ionospheric radio scintillation observations, and spectral riometry.

2. INCOHERENT SCATTER

Incoherent scatter is weak radio wave scattering from thermal fluctuations in the ionospheric plasma. EISCAT scientific association operates high-power large-aperture "incoherent scatter radar" systems that are capable of observing the weak incoherent scatter signal. One of EISCAT transmitters, the EISCAT VHF system, is located only about 80 km away from KAIRA near Tromsø, Norway. With its multi-beam reception capability, KAIRA can cover the whole VHF transmitter beam with intersecting receiver beams, and act as a remote receiver site for the EISCAT VHF transmitter [3]. An example of plasma parameter estimates from such a measurement is shown on the left in figure (2).

3. SPECTRAL RIOMETRY

A Relative Ionospheric Opacity meter is a device which monitors radio signal absorption in the ionosphere. These devices operate typically on one narrow frequency band, but the large frequency coverage and large number of simultaneous beams in KAIRA allow spectral riometry, in which several frequency bands are monitored at once. The spectral riometry observations contain information of the ionospheric electron density profiles, which can be extracted from the data by means of a parameterized electron density profile and Monte Carlo inversion [4]. An example of electron density estimates from spectral riometry is shown on the right in figure (2).

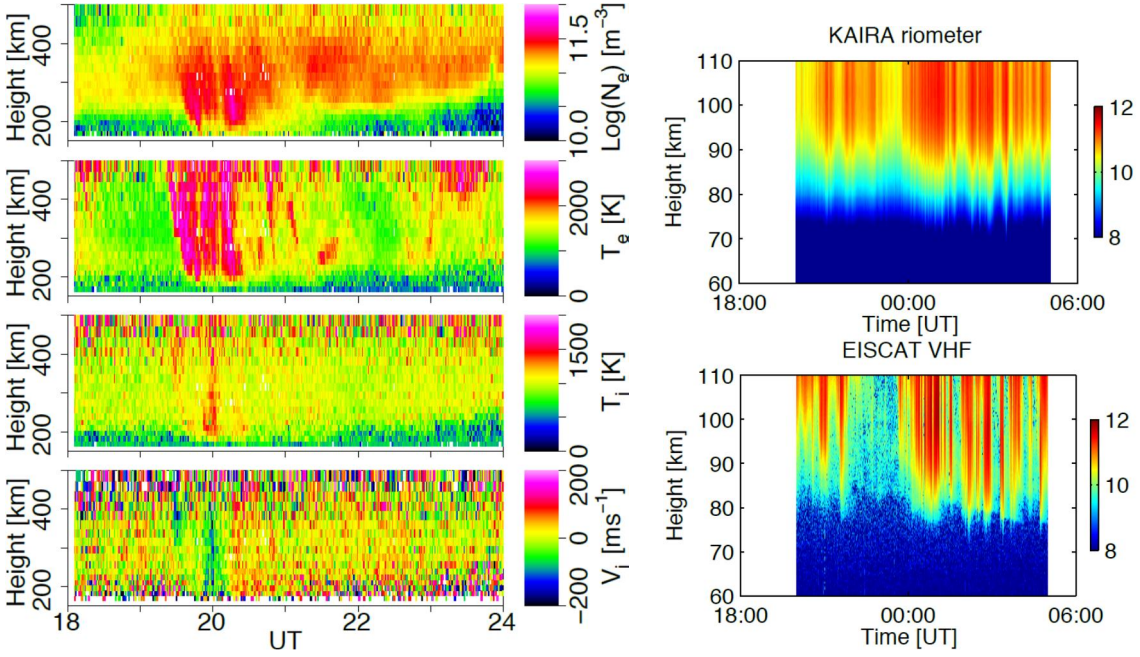


Figure 2: Left: Plasma parameter estimates from incoherent scatter experiment with EISCAT Tromsø VHF and KAIRA on 14 March, 2013. From top to bottom, the panels contain estimates of electron density, electron temperature, ion temperature, and line-of-sight plasma velocity [3]. Right: Electron density profiles inverted from a spectral riometer measurement (top), and a simultaneous EISCAT VHF measurement from Tromsø (bottom), on 13-14 November, 2012[4].

4. IONOSPHERIC SCINTILLATION

Ionospheric scintillation is rapid fluctuation in radio signal amplitude and/or phase, caused by small-scale irregularities in the signal path through the ionosphere. The scintillation can be studied with radio telescopes by means of tracking cosmic radio sources. Likewise in riometry, the wide frequency coverage and multiple beams of KAIRA have enabled measurements that are not being routinely run anywhere else. With clever use of the low- and high-band arrays, KAIRA has been successfully used for observing a more than 200 MHz bandwidth. From these measurements, it has been possible to detect so-called "scintillation arcs", which provide information of location and velocity of the scattering source [5]. An example of wide-band dynamic spectrum and a scintillation arc are shown in figure (3).

ACKNOWLEDGEMENTS

KAIRA was funded by the University of Oulu and the FP7 European Regional Development Fund and is operated by Sodankylä Geophysical Observatory. EISCAT is an international association supported by research organizations in China (CRIRP), Finland (SA), Japan (NIPR and STEL), Norway (NFR), Sweden (VR), and the United Kingdom (NERC). This work has been funded by the Academy of Finland (application number 250252, Measurement Techniques for Multi-Static Incoherent Scatter Radars and application number 250215, Finnish Programme for Centre of Excellence in Research 2012-2017).

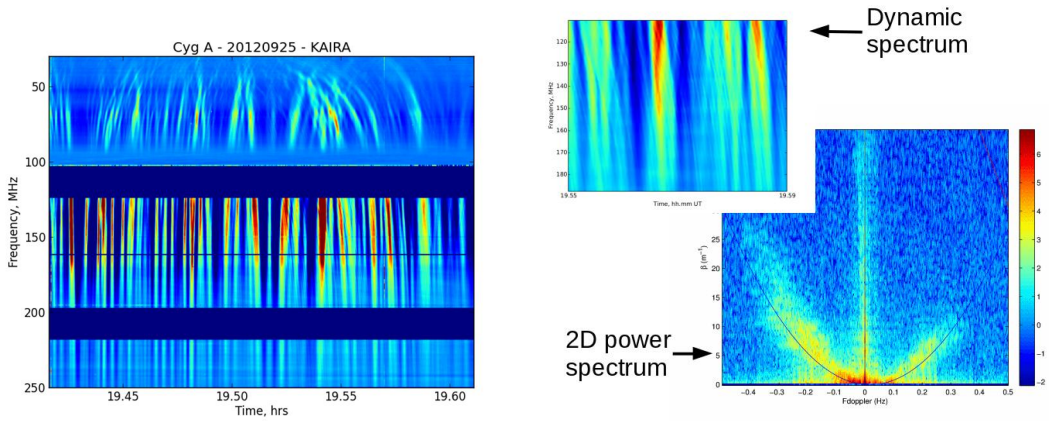


Figure 3: Left: Wide-band dynamic spectrum of the strong radio source Cygnus A, showing scintillation, from 25 September, 2012. Right: A 2-dimensional power spectrum of a dynamic spectrum, showing a phenomenon known as a "scintillation arc".

REFERENCES

McKay-Bukowski, D., et al., 2015. KAIRA: the Kilpisjärvi Atmospheric Imaging Receiver Array – system overview and first results, *IEEETrans.Geosci.RemoteSens.*, 53(3), 1440-1451.
van Haarlem, M. P., et al., 2013. LOFAR: The Low-Frequency Array, *A&A*, 556, A2.
Virtanen, I. I., McKay-Bukowski, D., Vierinen, J., Aikio, A., Fallows, R. and Roininen, L., 2014. Plasma parameter estimation from multistatic, multibeam incoherent scatter data, *JGR*, 119(12), 10528-10543.
Kero, A., Vierinen, J., McKay-Bukowski, D., Enell, C.-F., Sinor, M., Roininen, L. and Ogawa, Y., 2014. Ionospheric electron density profiles inverted from a spectral riometer measurement, *GRL*, 41(15), 5370-5375.
Fallows, R., et al., 2014. Broadband Meter-Wavelength Observations of Ionospheric Scintillation, *JGR*, 119, (12), 10544-10560.

EXPLORING THE NEAR-EARTH ENVIRONMENT: DYNAMICAL AND PHYSICAL CHARACTERIZATION OF SPACE OBJECTS

J. Virtanen[1], M. Gritsevich[1], J. Näränen[1], A. Raja-Halli[1], M. Granvik[1,2], K. Muinonen[1,2], and J. Peltoniemi[2]

[1] Finnish Geospatial Research Institute, jenni.virtanen@nls.fi
[2] University of Helsinki, Department of Physics

Abstract

We describe novel methods for the characterization of objects in near-Earth space using various space geodetic observing techniques. The Earth is surrounded by two main orbital populations: space debris left behind by our over 50-year long history in space activities, and near-Earth objects (NEOs), remnants from the solar-system history. The populations are highly interesting from several scientific and societal reasons, such as, understanding the origin and evolution of our Solar System, or evaluating the collision threat both in space and on ground.

We use both passive and active optical as well as radar observations for dynamical and physical studies of space objects. For optical wavelengths, we describe, first, an automated data processing and analysis pipeline for passive observations of moving objects (Virtanen et al. 2015), and, second, our preparations for active observations, namely satellite laser ranging (SLR), and the current status of the new SLR system at the Metsähovi Fundamental Geodetic Station. For objects entering the Earth's atmosphere, we use radar data to detect the dense ionized plasma by a meteor or fireball. In particular, we discuss the unique capabilities for near-Earth-space monitoring offered by observing systems operating in the polar regions.

Finally, we discuss some inverse problems for the characterization of space objects. We address the initial orbit computation problem using both angular and range measurements. Our statistical inversion approach based on the concept of Bayesian inference allows us to describe the orbital uncertainties robustly through the full a posteriori probability density function of the orbital parameters. We compare various versions of the statistical ranging method (Virtanen et al. 2001, Muinonen et al. 2001, Oszkiewicz et al. 2009, Muinonen et al. 2015) and demonstrate their capabilities for NEOs. For meteors, we can reconstruct the trajectory, which in turn, give us important complementary information about the entering object (e.g., Gritsevich 2009, Gritsevich et al. 2012). The parameters derived from our analysis can be used to describe the changes in height, mass, and velocity along the trajectory.

ACKNOWLEDGEMENTS

Our work has been supported by the European Space Agency, the Scientific Advisory Board For Defence (MATINE), and the Academy of Finland.

LÄHTEET

Gritsevich, M.I., 2009. Determination of Parameters of Meteor Bodies Based on Flight Observational Data. Advances in Space Research, 44(3), 323-334, http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2009.03.030

Gritsevich, M.I., Stulov V.P., Turchak L.I., 2012. Consequences for Collisions of Natural Cosmic Bodies with the Earth Atmosphere and Surface. Cosmic Research, 50(1), 56-64,
http://dx.doi.org/10.1134/S0010952512010017

Muinonen, K., Fedorets, G., Pentikainen, H., et al. 2015. Asteroid orbits from Gaia astrometry with random-walk statistical ranging. Planetary and Space Science, submitted. Oszkiewicz, D., Muinonen, K., Virtanen, J., Granvik, M., 2009. Asteroid orbital ranging using

Markov-chain Monte Carlo. Meteoritics and Planetary Science 44, 12, 1897-1904. Virtanen, J., Muinonen, K., Bowell, E., 2001. Statistical ranging of asteroid orbits. Icarus 154, 412-431.

Virtanen, J., J. Torppa, J. Näränen, K. Muinonen, M. Granvik, J. Poikonen, J. Lehti, T. Säntti, T. Komulainen 2015. Streak Detection and Analysis Pipeline for Space-debris Optical Images. Advances in Space Research, in revision.

Geodetic VLBI

N. Zubko, U. Kallio, K. Lehtinen, D. Meschini, V. Saaranen, J. Näränen M. Poutanen

Finnish Geospatial Research Institute, FGI, nataliya.zubko@nls.fi

Abstract

Metsähovi Fundamental Geodetic Station of FGI is a part of FinEPOS consortium and it belongs in several global geodetic infrastructures. Metsähovi hosts several space geodetic instruments, including GNSS receivers,Satellite Laser Ranging Facility and as a co-operation with Aalto University performs Very Long Baseline Interferometry (GeoVLBI).

We present our activity on GeoVLBI observations and research. GeoVLBI provides basic observations for Terrestrial and Celestial Reference Frames (CRF and TRF) and Earth orientation parameters (EOP). The GeoVLBI technique is based on simultaneous observations of distant extragalactic radio sources, mainly quasars, with several radio telescopes. The observed radio sources are uniformly distributed in the sky and, during a GeoVLBI session, the radio telescopes are switched synchronously from one source to another. The signal arrival time delay is the primary VLBI observable. With further analysis of GeoVLBI data various parameters can be estimated, such as coordinates of the observing stations, zenith atmospheric delay, Earth orientation parameters among others.

FGI together with Metsähovi Radio Observatory carry out about 5-7 GeoVLBI campaigns per year. These campaigns are coordinated by International VLBI Service and intended to determine stations coordinates and their evolutions in Geodetic VLBI network. We perform analysis of GeoVLBI data to estimate station coordinates, EOP, etc.

One of the major tasks is to have local ties on millimeter level between techniques to confirm consistency of observations. We have developed a technique to measure the tie from the VLBI radio telescope to the GNSS antenna simultaneously with VLBI session.

We also perform research on improvement of GeoVLBI accuracy technique; in particular, we study radio source instability and its influence on GeoVLBI estimated parameters.

As well we work on combination of GPS and VLBI techniques that involves expanding the DiFX software correlator, which is currently used for VLBI data correlation, to process also GPS signal. The final goal being to establish a direct connection between celestial (quasars) and terrestrial (navigation satellites) reference frames.