UNIVERSITY OF HELSINKI

https://helda.helsinki.fi

Helsingin seismisen asemaverkon kuulumisia

Veikkolainen, Toni; Oinonen, Kati; Vuorinen, Tommi; Kortström, Jari; Mäntyniemi, Päivi ...

Holappa, Lauri; Veikkolainen, Toni; Tuomi, Laura; Saari, Timo; Särkkä, Jani ...

2024

http://hdl.handle.net/10138/577663

Veikkolainen, T, Oinonen, K, Vuorinen, T, Kortström, J, Mäntyniemi, P, Seipäjärvi, P J, Hällsten, J M A & Heinonen, S 2024, Helsingin seismisen asemaverkon kuulumisia. julkaisussa L Holappa, T Veikkolainen, L Tuomi, T Saari, J Särkkä, K Moisio & E-R Kokko (toim), XXXI GEOFYSIIKAN PÄIVÄT. Geofysiikan päivät, Geofysiikan seura, Helsinki, Sivut 89-90, XXXI Geofysiikan päivät, Oulu, Suomi, 30/05/2024.

Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository. https://helda.helsinki.fi
This is an electronic reprint of the original article.
This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.
Please cite the original version.



GEOFYSIIKAN SEURA
GEOFYSISKA SÄLLSKAPET
GEOPHYSICAL SOCIETY OF FINLAND

XXXI GEOFYSIIKAN PÄIVÄT

Oulussa 30.-31.5.2024

Toimittaneet

Lauri Holappa, Toni Veikkolainen, Laura Tuomi, Timo Saari,
Jani Särkkä, Kari Moisio ja Emma-Riikka Kokko

HELSINKI 2024

ISSN 1798-2200

Julkaisu vapaasti saatavilla Geofysiikan seuran sivustolta https://www.geofysiikanseura.fi

Alkusanat

XXXI Geofysiikan Päivät järjestetään toukokuun 30.-31. päivä 2024 Oulun yliopistolla. Päiville on ilmoittautunut 39 osallistujaa. Päivien aikana kuullaan 25 suullista esitystä ja niiden lisäksi esitellään 7 posteria. Esitysten aihepiirit kattavat laajalti eri geofysiikan aloja liittyen mm. ionosfääri- ja avaruusfysiikan tutkimukseen, geodesiaan, seismologiaan, hydrologiaan sekä oseanografiaan.

Päivät järjestetään joka toinen vuosi, joko pääkaupunkiseudulla tai Pohjois-Suomessa. XXXI Geofysiikan Päivien järjestelytoimikuntaan kuuluvat Lauri Holappa (pj), Kari Moisio ja Emma-Riikka Kokko (Oulun yliopisto) Timo Saari (Maanmittauslaitoksen paikkatietokeskus), Toni Veikkolainen (Helsingin yliopisto) sekä Jani Särkkä ja Laura Tuomi (Ilmatieteen laitos).

Lämmin kiitos XXXI Geofysiikan Päivien osallistujille, esitelmien pitäjille ja istuntojen puheenjohtajille, sekä kaikille muille tahoille, jotka ovat omalla työpanoksellaan mahdollistaneet XXXI Geofysiikan Päivien toteutumisen.

Jūrmalassa, 16.5.2024
Laura Tuomi
Geofysiikan seuran puheenjohtaja

Sisältö

Alkusanat *3*

XXX Geofysiikan päivien ohjelma *7*

N. Afonin *11*
Passive seismic coda wave interferometry as a tool to study inner structure of ore deposits.

M. Aranha *15*
Unlocking the Geophysical Signatures: Targeting Critical Raw Material Deposits in Northern Finland through Computer-Based Prospectivity Analysis

R.-M. Canales *16*
Digitalisation of applied geophysics in the Mine.io project

G. Geethakumari *20*
A case study of ionospheric electron density variations during an HSS/SIR induced geomagnetic storm

R. Hynönen *21*
Looking for causes of ground-based ultra-low frequency waves in solar wind

J. Jokinen *22*
Tavoitteena tehostaa alueellisia painovoimamittauksia

V. Juntunen *26*
Energeettisen elektronipresipitaation yhteys talviajan tuulivoimatuotantoon Euroopassa

R. Järvinen
Comparative planetary space weather *31*

M. Kellinsalmi *35*
Why the September 2017 geomagnetic storm was stronger at certain locations than the famous Halloween event

E.-R. Kokko *39*
Applying HydroBlocks model to obtain soil conditions in Finland

I. Kostamo *40*
Transport, characteristics, and scattering effects of atmospheric Saharan dust

E. Kozlovskaya *42*
10 Years of Applied Geophysics at Oulu Mining School

A. Kozlovski *43*
Fifteen years of the meteor radar observations in Sodankylä

O. Kärhä *45*
Large regional variability in the x-component of the magnetic variation field

J. Laitinen *46*
Effect of the dawn-dusk component of the interplanetary magnetic field on auroral electron precipitation

S. Moges *47*
Statistics of Traveling Ionospheric Disturbances at High Latitudes Using a Rapid-Run Ionosonde

K. Moisio *51*
Pakkasjäristykset Pohjois-Suomessa

K. Mursula *55*
Solar activity parameters do no longer follow each other: What happens in the solar atmosphere?

H. Nevanlinna
Suomen ensimmäiset revontulikuvaukset Sodankylän geofysiikan observatoriossa 1927–1929 *57*

H. Nevanlinna
Eyvind Sucksdorffin (1899–1955) syntymästä 125 vuotta *61*

L. J. Pesonen
Supercontinents in Deep Time *65*

M. Pirttijärvi *69*
Lennokeilla käytettävä sähkömagneettinen maa- ja kallioperän tutkimusmenetelmä

S. Rasmus *73*
Inarijärven muuttuvat sää- ja jääolot kaupallisten kalastajien kuvaamina

T. Saari *77*
Suomen uusi geoidimalli FIN2023N2000

T. Saari *78*
The Finnish zero-order absolute gravity network

J. Salminen *79*
Ulkoilman pölyn magneettiset ominaisuudet: lähteen tunnistaminen ja vaikutus terveyteen

R. Sherstyukov *83*

Deep learning for scaling ionogram parameters in the polar region ionosphere

S. Silvennoinen *84*
Kansainvälinen geodeettis-geofysikaalinen unioni (IUGG)

J. Särkkä *86*
Extreme sea level studies on the Baltic Sea coast

L. Tuomi *88*
Tilastotietoa Itämeren yksittäisistä kovan aallokon tilanteista

T. Veikkolainen *89*
Helsingin seismisen asemaverkon kuulumisia

XXXI Geofysiikan Päivät Oulun yliopistolla 30.-31.5.2024

XXXI Geophysics Days at the University of Oulu, May 30-31, 2024

Ohjelma torstaina 30.5.2024 / Programme on Thursday, May 30, 2024

9.00-9.40 Ilmoittautuminen, postereiden kiinnitys / Registration, setup of posters

9.40-9.50 Päivien avaus / Opening of Geophysics Days (Laura Tuomi, Lauri Holappa)

Istunto 1 / Session 1 Puheenjohtaja / Chair: Lauri Holappa

9.50-10.10 *Johanna Salminen*

Ulkoilman pölyn magneettiset ominaisuudet: lähteen tunnistaminen ja vaikutus terveyteen

10.10-10.30 *Jarkko Jokinen*

Tavoitteena tehostaa alueellisia painovoimamittauksia

10.30-10.50 *Veera Juntunen*

Energeettisen elektronipresipitaation yhteys talviajan tuulivoimatuotantoon Euroopassa

10.50-11.10 **Kahvitauko / Coffee break**

Istunto 2/ Session 2, Puheenjohtaja / Chair: Laura Tuomi

11.10-11.30 *Lauri J. Pesonen*

Supercontinents in Deep Time

11.30-11.50 *Kari Moisio*

Pakkasjäristykset Pohjois-Suomessa

11.50-12.10 *Alexandre Kozlovski*

Fifteen years of the meteor radar observations in Sodankylä

12.10-12.30 *Kalevi Mursula*

Solar activity parameters do no longer follow each other: What happens in the solar atmosphere?

12.30-13.30 **Lounas / Lunch**

Session 3 Puheenjohtaja / Chair: Toni Veikkolainen

13.30-13.50 *Riku Järvinen*

Comparative planetary space weather

13.50-14.10 *Elena Kozlovskaya*

10 Years of Applied Geophysics at Oulu Mining School

14.10-14.30 *Otto Kärhä*

Large regional variability in the x-component of the magnetic variation field

14.30-14.50 *Laura Tuomi*

Tilastotietoa Itämeren yksittäisistä kovan aallokon tilanteista

14.50-15.10 *Raul Mollehuara Canales*

Digitalisation of applied geophysics in the Mine.io project

15.10-15.30 Johdatus postereihin

15.30-17.00 **Kahvitauko ja posterisessio** / **Coffee break and poster session**

Posteriesitykset / Poster presentations

Sonja Silvennoinen: Kansainvälinen geodeettis-geofysikaalinen unioni (IUGG)

Emma-Riikka Kokko: Applying HydroBlocks model to obtain soil conditions in Finland

Iida Kostamo: Transport, characteristics, and scattering effects of atmospheric Saharan dust

Reko Hynönen: Looking for causes of ground-based ultra-low frequency waves in solar wind

Sirpa Rasmus: Inarijärven muuttuvat sää- ja jääolot kaupallisten kalastajien kuvaamina

Timo Saari: The Finnish zero-order absolute gravity network

19.00–24.00 **Kokousillallinen / Conference dinner** (Ravintola/Hotelli Lasaretti, Merikoskisali, Kasarmintie 13B)

Ohjelma perjantaina 31.5.2024 / Programme on Friday, May 31, 2024

Istunto / Session 4, Puheenjohtaja Kari Moisio

8.30-8.50 *Mirjam Kellinsalmi*

Why the September 2017 geomagnetic storm was stronger at certain locations than the famous Halloween event

8.50-9.10 *Ruslan Sherstyukov*

Deep learning for scaling ionogram parameters in the polar region ionosphere

9.10-9.30 *Heikki Poikela*

Kemijoki Oy:n, Hydrologia ja vesistön seuranta

9.30-9.50 *Malcolm Aranha*

Unlocking the Geophysical Signatures: Targeting Critical Raw Material Deposits in Northern Finland through Computer-Based Prospectivity Analysis

9.50-10.10 Kahvitauko / Coffee break

Istunto / Session 5, Puheenjohtaja Jani Särkkä

10.10-10.30 *Timo Saari*

Suomen uusi geoidimalli FIN2023N2000

10.30-10.50 *Nikita Afonin*

Passive seismic coda wave interferometry as a tool to study inner structure of ore deposits.

10.50-11.10 *Gopika Prasannakumara Pillai Geethakumari*

A case study of ionospheric electron density variations during an HSS/SIR induced geomagnetic storm

11.10-11.30 *Toni Veikkolainen*

Helsingin seismisen asemaverkon kuulumisia

11.30-11.50 *Samson Moges*

Statistics of traveling ionospheric disturbances at high latitudes using a rapid-run Ionosonde

11.50-12.50 Lounas

Istunto / Session 6, Puheenjohtaja Timo Saari

12.50-13.10 *Markku Pirttijärvi*

Lennokeilla käytettävä sähkömagneettinen maa- ja kallioperän tutkimusmenetelmä

13.10-13.30 *Jussi Laitinen*

Effect of the dawn-dusk component of the interplanetary magnetic field on auroral electron precipitation

13.30-13.50 *Jani Särkkä*

Extreme sea level studies on the Baltic Sea coast

13.50-13.55 Nuoren tutkijan palkinnon jakaminen (palkintotoimikunnan puheenjohtaja)

13.55-14.00 Kokouksen päättäminen (Geofysiikan seuran puheenjohtaja)

14.00-14.20 Kahvitauko / Coffee break

Passive seismic coda wave interferometry as a tool to study inner structure of ore deposits.

N. Afonin[1], E. Kozlovskaya[1], K. Moisio[1], J. Puputti[2]

1 Oulu Mining School, University of Oulu nikita.afonin@oulu.fi
2 Kerttu Saalasti Institute, University of Oulu julia.puputti@oulu.fi

Abstract

In this article, we describe a way to study the inner structure of ore deposits using a coda of regional and local seismic events (earthquakes and production blasts). We employed data processing and interpretation schemes from conventional passive seismic interferometry and teleseismic receiver function (RF) methods. In the suggested technique, we propose to use correlation of P-wave coda to evaluate body wave part of empirical Green's tensor, (e.g. response of the medium to impulsive source) and partially RF method to interpret this tensor. Numerical simulation of plane wave interaction with orebody shaped as inclined intrusion, as well as theoretical background of passive seismic interferometry, allowed us to find converted arrivals on non-diagonal components of empirical Green's tensor. Assuming that P-wave coda of regional and local seismic events, recorded above such intrusion should include these converted arrivals, we conducted passive seismic experiment on Akanvaara Cr-V-PGE deposit, which presented as set of inclined heterogeneities placed in ultramafic igneous rocks. We applied correlation procedure to P-wave coda of these seismic events with further stacking to obtain all 9 components of body wave part of empirical Green's tensor. Interpretation of non-diagonal components of this tensor using background of RF method allowed us to detect converted arrivals, originated on inclined boundary, that corresponds to vanadium zone of the deposit. Further development of the proposed technique can result in an effective tool for greenfield exploration of ore deposits.

1. INTRODUCTION

Currently, the exploration industry uses drilling and controlled source seismic methods together with other geophysical, geochemical and geological methods to explore and study the inner structure of ore deposits (e.g. Decrée and Robb, 2019). Nevertheless, ore deposits are often presented as a near-vertical intrusion which makes it difficult or impossible to delineate their boundaries by ground surface controlled-source seismic methods because of the absence of reflected waves on seismograms from such boundaries. One of the ways to investigate them by seismic methods is using vertical seismic profiling (VSP) (e.g. Greenhalgh et. al., 2003). Nevertheless, this is quite an expensive and not environmentally friendly method as its implementation requires drilling and using seismic sources (usually blasts).

These problems would be partially solved by the development and application of passive seismic methods, which are based on the recording and processing either ambient seismic noise (e.g. Afonin, 2022) or coda of seismic events (e.g. Wang et. al., 2020). Recently ambient noise seismic methods have caught the attention of researchers from different fields of Earth's and engineering sciences as an alternative to controlled source seismic (CSS) methods, while coda wave interferoemrty usually been using for deep Earth's interior studies and still poorly developed to solve applied tasks.

To find a way to use coda wave passive seismic methods for orebody exploration tasks, in the current study we conducted numerical simulation of plane wave scattering in heterogeneous medium and involved theoretical background and principles of receiver function method (Vinnik, 1977) and coda wave interferometry (Shuster, 2009) to study possibilities to obtain information about inner structure of ore deposits from P-wave coda of regional seismic events. Our results show that converted arrivals are presented on both: synthetic seismograms and empirical Green's tenors evaluated from P-wave coda by seismic interferometry in our field tests.

2. INTERACTION OF UPGOING PLANE WAVES WITH INCLINED BOIUNDARY AND INTERFEROEMRTRIC DATA TRANSFORMATION

Let us consider an upgoing plane wave and its interaction with inclined heterogeneity of mechanical properties (Fig. 1). According to Aki and Richards (2002), such interaction results in reflected, transmitted, and converted arrivals. According to interferometric redatuming principles (Shuster, 2009), is possible to transform seismic records using correlation such that co-called virtual source will be placed either on ground surface or on the boundary, where incidence wave been converted.

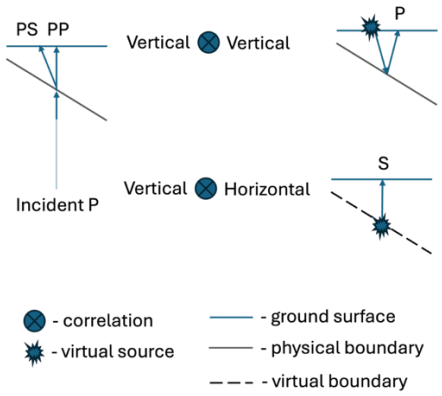


Figure 1: Interaction of plane wave with inclined boundary and interferometric redatuming (Shuster, 2009)

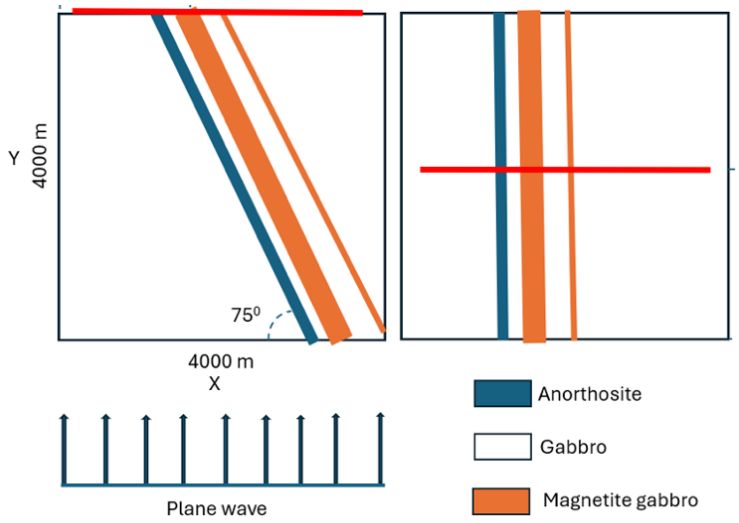
Therefore, one can obtain body wave part of an empirical Green's tensor by correlating P-wave coda for all possible pairs of seismograms channels (vertical, radial, and transverse). Diagonal components of the tensor will include mainly reflected arrivals and their interpretation is not complicated. In case of non-diagonal tensors component, one should consider co-called "virtual boundary". To calculate depth to true boundary is possible with an equation:

$$H = \frac{V_p - V_s}{\tau}, \quad (1)$$

where τ is the time lag between PP and PS arrivals, which is equal to the time lag on correlation function, calculated between vertical and horizontal components of P-wave coda.

We conducted numerical simulation of a plane wave scattering (P-wave frequency of 10 Hz) in heterogeneous medium (Fig. 2) using SOFI3D software. The model of the medium is based on the geological information from the Akanvaara Cr-V-PGE deposit in Northern Finland.

Figure 2: The model of the medium, used in numerical simulation.



Results of the numerical simulation and recorded data after processing are presented on Fig. 3.

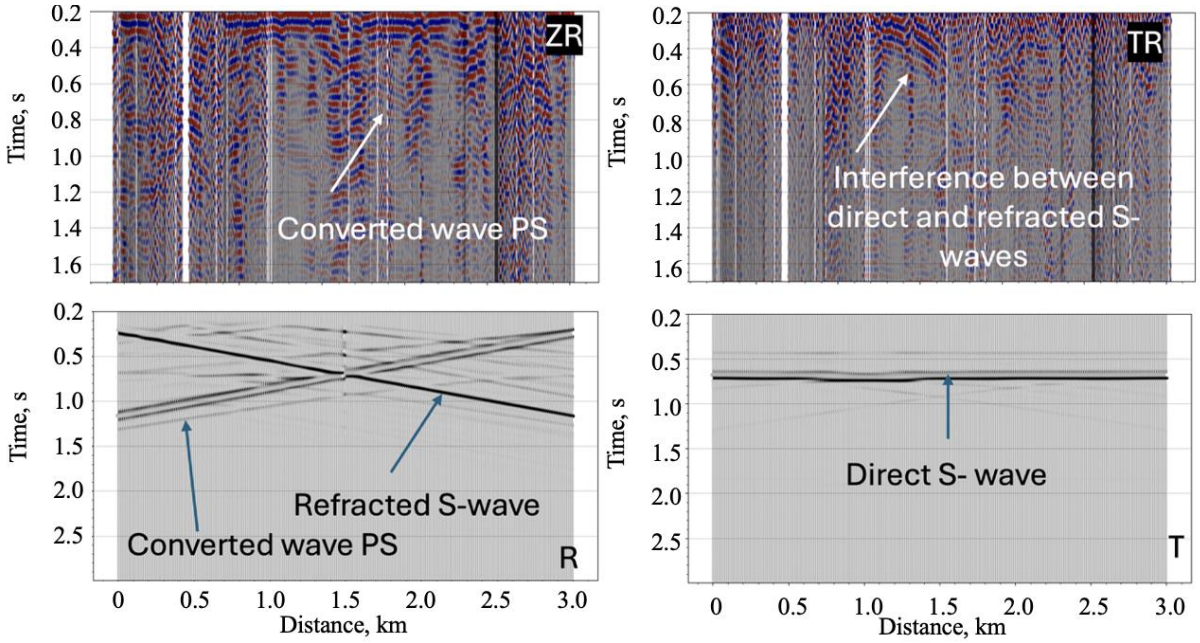


Figure 3: Non-diagonal components of Empirical Green's tensor, obtained from field experiment (top) and correspondent components of synthetic seismograms (bottom).

CONCLUSIONS

In this study we present the first results of using passive seismic coda wave interferometry to study inner structure of ore deposit. We show that empirical Green's tensor, gives a useful information about converted and refracted arrivals, originated on inclined boundary when P-wave coda scattering. Further development of the proposed technique can result in an effective tool for greenfield exploration of ore deposits.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study is part of SEMACRET project ("Sustainable exploration for orthomagmatic (critical) raw materials in the EU: Charting the road to the green energy transition"). The authors wish to acknowledge the CSC–IT Center for Science, Finland, for computational resources.

REFERENCES

Afonin, N., 2022. Development of passive seismic interferometry to study shallow subsurface structure. PhD Thesis.

Aki, K., and Richards, P.G., 2002. Quantitative Seismology. 2nd Edition, CA: Univ. Sci. Books, Sausalito, **700.**

Decrée, S., Robb, L. (Eds.), 2019. Ore Deposits: Origin, Exploration, and Exploitation, **242**, John Wiley & Sons.

Greenhalgh, S. A., Zhou, B., and Cao, S., 2003. A crosswell seismic experiment for nickel sulphide mineralization: Journal of Applied Geophysics, **53**, 77–89.

Shuster, G.T., 2009. Seismic interferometry: Cambridge University press.

Vinnik, L. P., 1977. Detection of waves converted from P to SV in the mantle. *Physics of the Earth and planetary interiors,* **15 (1),** 39-45.

Wang, C., Tauzin, B., Pham, T.-S., and Tkalčić, H., 2020. On the efficiency of P-wave coda autocorrelation in recovering crustal structure: Examples from dense arrays in the eastern United States. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **125**, e2020JB020270. https://doi.org/10.1029/2020JB020270

Unlocking the Geophysical Signatures: Targeting Critical Raw Material Deposits in Northern Finland through Computer-Based Prospectivity Analysis

M. Aranha

[1] University of Oulu, malcolm.aranha@oulu.fi

Abstract

Orthomagmatic mafic and ultramafic intrusions are valuable sources of critical raw materials (CRMs) such as nickel (Ni), cobalt (Co), platinum group metals (PGMs), vanadium (V), and copper (Cu) which are in high demand for modern industries and considered strategically important by the European Union. Northern Finland is recognised for hosting such CRMs in conduit-type deposits, rich in sulphides of Ni-Cu-(PGM)-(Co). These deposit types exhibit characteristic signatures in geophysical data that can be used to target them. This study employs features extracted from geophysical datasets, such as seismic, gravity and magnetics, together with other geodata, in a computer-based prospectivity analysis utilising Fuzzy Inference Systems (FIS), a knowledge-based artificial intelligence technique.

The FIS model relies on a generalised mineral systems model to identify targeting criteria. The mineral system model includes (1) Primitive, mantle-derived, magnesium-rich rocks (ultramafic and mafic rocks), serving as metal sources; (2) trans-lithospheric faults and chonoliths acting as magma pathways, locally enhanced by varying compressional/extensional tectonic regimes; and (3) dilatational zones of high, fracture-related permeability and localised structures that physically trap the mineralising fluids; along with abundant sulphur-rich crustal rocks serving as chemical traps, providing external sulphur required to form immiscible sulphide melts. Spatial proxies representing the critical processes of the mineral system were mapped from various geoscientific datasets in the form of GIS predictor maps. Features representing deep magma reservoirs extracted from seismic data are used to represent the source component. Meanwhile, features such as lineaments and signatures characteristic of these intrusions from potential field data have been utilised in the pathways and traps components. Sulphide-bearding black shales interpreted from electromagnetic data have also been used to represent the crustal contamination in the traps component.

All predictor maps representing proxies of crucial mineralisation processes were incorporated into the FIS model to generate the prospectivity map. The results show good agreement with the occurrences of known deposits and highlight promising regions for further exploration, demonstrating the approach's utility in targeting CRM-rich areas.

Digitalisation of applied geophysics in the Mine.io project

R. Mollehuara-Canales[1], N. Afonin[1], K. Moisio[1], E. Kozlovskaya[1]

[1] Oulu Mining School, University of Oulu, Finland, Raul.MollehuaraCanales@oulu.fi

Abstract

This paper follows the application of geophysical methods such as electrical resistivity imaging (ERI) and Seismics imaging (SIm) in mining tailings facilities. ERI and SIm have proved to provide high resolution subsurface imaging of tailings structures based on constructed data representing geophysical signatures such as the distribution of electrical resistivity and seismic waves in the subsurface. To progress the adoption by the industry of these methods there is a need for translating the geophysical dataset into actionable information (e.g., structural or hydrogeological condition) so the end-user can utilise in their routine activities and decision-making. We also describe the digitalisation strategy that will enable flexible and scalable geophysical-based characterisation that are compatible with the existing mining IT&OT infrastructure, in order to advance the deployment in a use case.

1. INTRODUCTION

The development of this project is in the context of the Horizon Europe Mine.io project (Mine.io, 2023) that aims to provide solutions to enable a mining digital ecosystem and a systemic structure for the implementation of Industry 4.0 in the mining industry. As such, solutions in Mine.io embrace the whole mining value chain from resource exploration, extraction, and processing to waste management and post mining activities.

The objective in this project is to pilot a digitalised geophysical approach for monitoring the subsurface condition of tailings embankments. Currently, point-source measurements are used to monitor tailing embankments; however, because tailing embankments are enormous structures, this method is time and resource intensive, and therefore, not very efficient. Throughout the life of mine and even after it is closed, structural components of tailings facilities—as well as other waste facilities, for that matter—must undergo routine inspections and management (ICMM et al., 2020).

For this purpose, electrical resistivity imaging (ERI) and active and passive seismic imaging (SIm) is being utilised to map the subsurface structure of the tailings embankment and to interpret the geophysical signature (electrical resistivity and seismic waves) in terms of hydrogeological and elastic parameters. The outcome will be the progression of a digitalised geophysical approach for monitoring the subsurface condition of tailings embankments.

Pilot demonstrations will be conducted at the Pyhäsalmi mine in Finland. The underground mining that produced copper, zinc and pyrite concentrates since 1962, ended operations in 2022 but is still reprocessing tailing material until 2025-2026. The site has four tailing ponds (A, B, C and D) all in different stages of use, totalling an area of 150 ha. The southern section of tailings pond D has been selected for the trials (currently ongoing, May 2024).



Figure 1. The tailings storage facilities at Pyhäsalmi mine site. Depicted by yellow line is the section of the embankment at pond D for the geophysical survey.

2. GEOPHYSICAL METHODOLOGY

The geophysical methods include ERI and active- and passive-source Sim (Figure 1). With the ERI system, an array of electrodes placed at the surface in the target area will retrieve electrical resistivity imaging sections (the output). For seismic imaging, both active and passive seismic sources will enable mapping of the subsurface structures in terms of seismic velocities (P- and S-waves) via an array of geophones around the target area. The P-wave travel times and S-wave dispersion curves will be processed as distribution maps of the subsurface in terms of seismic velocities (the output). To give useful information for industrial planning and decision-making, the geophysical dataset will also be assessed and jointly interpreted in terms of the hydrogeological and elastic characteristics of the embankment subsurface. Following interpretation, thematic maps and datasets with the phreatic line, water flow, water saturation, and the elastic characteristics of the structure will be produced (Mollehuara-Canales et al., 2020; Mollehuara-Canales, Afonin, et al., 2021; Mollehuara-Canales, Kozlovskaya, et al., 2021).

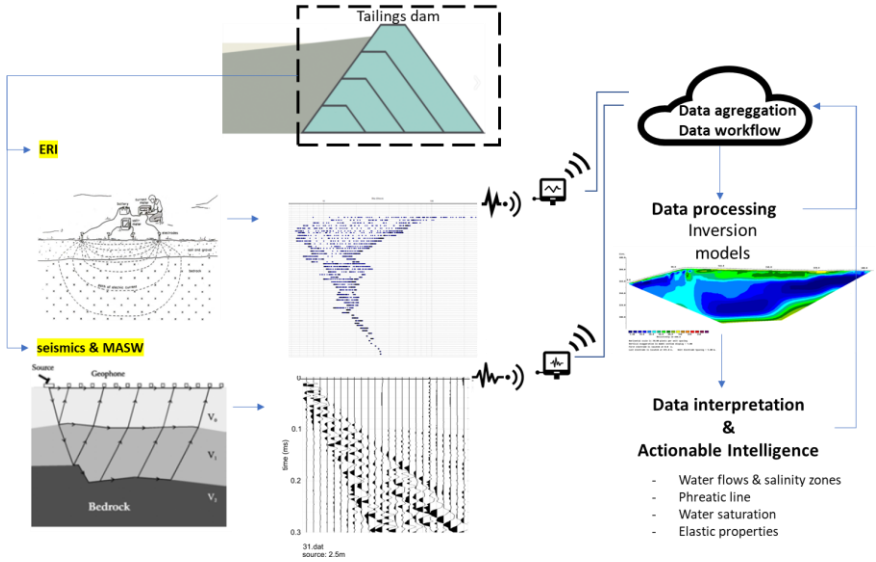


Figure 2. Deployment of geophysical imaging techniques in tailings facilities

3. THE DIGITALISATION OF GEOPHYSICAL DATA

Standards and guidelines that are accessible have been used to understand the context for the digitalisation of mining processes and models (ISO, 2021; European Commission, 2023; Industry IoT Consortium, 2023; United Nations, 2023). Digitalisation in the mining industry integrates requirements for the interoperability of mining technology and information management systems. *Interoperability* is crucial for different systems and technologies (incl. software) used in mining operations to communicate and consistently exchange data and information. Effective *data management* is critical for leveraging the vast amount of data generated in mining (from sensors, equipment, geophysical surveys, etc.) in digital transformation efforts covering data acquisition, storage, processing, and sharing. Digitalisation in mining also involves *integrating diverse technologies* (e.g., sensors, automation systems, AI, analytics, and more) to ensure that these technologies can communicate and work cohesively to improve operational efficiency, safety, and decision-making. *Standardisation* is also encouraged to adopt common protocols, interfaces, and formats for data exchange so it can facilitate compatibility and reduce complexities when implementing digital solutions from different vendors or sources. In the digitalisation context, *adaptable and scalable solutions* can

gain flexibility to evolve with technological advancements. With new innovations expected to emerge, scalable systems can accommodate growth and changes in mining operations.
For the mining industry in its capacity as a technology integrator and user, digitalisation is essential to allow critical considerations. Digitalisation can enhance *safety* measures and operational *efficiency* by streamlining processes and enabling better access to data, e.g., real-time monitoring, predictive maintenance, and quicker responses to potential risks or emergencies. Being the mining industry globally connected, it facilitates a common understanding of digitalisation principles in the mining sector, fostering *collaboration, cooperation and best practice sharing* among different stakeholders, companies, and regions. New risks, such *cybersecurity threats*, or the possibility of *system failures*, emerge with the introduction of new IoT sensors and the digital transformation of companies. Principles of digitalisation demand management considerations for successfully identifying, evaluating, and mitigating these risks.
Following the rationale above, in Figure 2 we show the data standardisation methodology and the data architecture as a first stage in the digitalisation of the geophysical dataset. Geophysical datasets created during data acquisition, pre-processing, processing, interpretation, and visualisation are stored in a variety of file formats. The standardisation of these can enable interoperability, transferability and storability of the data for which we adopt a geophysical standard convention developed by James et al. (2022) on the basis of the NetCDF file format (Eaton et al., 2020). Therefore, the data architecture is represented in a three-domain arrangement comprising the file format, data flow/policy and the corresponding geophysical techniques. In addition, information technology (IT) and operational technology (OT) are bridged for the data infrastructure and systematic digitalisation in a way that conforms to the standards of adaptability and scalability as well as standard communication protocols compatible with those used by the mining industry.

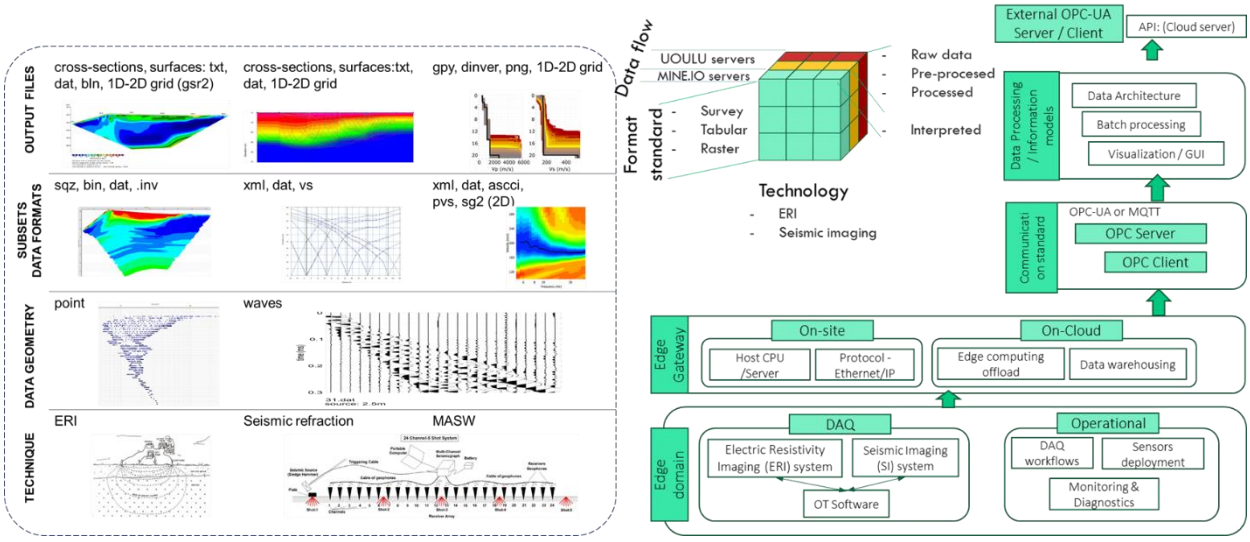


Figure 2. Data standardisation and architecture requirements for digitalisation.

4. CONCLUSIONS

The hydrogeophysical approach leverages geophysical knowledge that can be used for data acquisition and non/invasive mapping of near-surface environments. Geophysical imaging can provide denser datasets and better spatial resolution than conventional characterisation methods. Non-invasive geophysics can map the subsurface of industrial infrastructure incl. waste deposits to infer physical and hydrogeological conditions.

The use of electric resistivity imaging and seismic imaging techniques for monitoring the tailings embankments is a step towards more sustainable and environmentally friendly mining practices. By implementing these technologies in the context of digitalisation of mining it will be possible to gather data on the hydrogeological and elastic parameters of the tailings embankments, enabling a better understanding about the performance of tailings facilities and the potential impacts on the surrounding environment. This will allow for more effective planning and decision-making in the management of tailings facilities in the mining industry, with a focus on minimising environmental risks and promoting sustainable practices. In tailings areas the application is straightforward. Still some challenges exist if we want to expand the application to other domains in mining environments.

ACKNOWLEDGMENTS

In the context of the Mine.io project, the project is both a technology application and a use case. Mine.io has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101091885. The research and development are conducted by the research team at University of Oulu / Oulu Mining School. Pilot testing activities at the Pyhäsalmi mine site owned by the Pyhäsalmi Mine Ltd company is facilitated and coordinated by the University of Oulu (Kerttu Saalasti Institute).

REFERENCES

Eaton, B., Gregory, J., Drach, B., Taylor, K., Hankin, S., Blower, J., & Al., E. (2020). *NetCDF Climate and Forecast (CF) Metadata Conventions*. CFconventions.Org. https://cfconventions.org/Data/cf-conventions/cf-conventions-1.8/cf-conventions.html

European Commission. (2023). *Europe's Digital Decade*. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/europes-digital-decade

ICMM, UNEP, & PRI. (2020). *Global Industry Standard on Tailings Management* (Issue August). https://www.icmm.com/en-gb/our-principles/tailings/global-industry-standard-on-tailings-management

Industry IoT Consortium. (2023). *Best Practices Publications - Industry IoT Consortium*. https://www.iiconsortium.org/best-practices-publications-2/

ISO. (2021). *ISO 23247-1:2021 - Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles*. https://www.iso.org/standard/75066.html

James, S. R., Foks, N. L., & Minsley, B. J. (2022). GSPy: A new toolbox and data standard for Geophysical Datasets. *Frontiers in Earth Science*, *10*, 907614. https://doi.org/10.3389/FEART.2022.907614/BIBTEX

Mine.io. (2023). *Mine.io - A Holistic Digital mine 4.0 Ecosystem*. https://mineio-horizon.eu/

Mollehuara-Canales, R., Afonin, N., Kozlovskaya, E., Lunkka, J., & Pedretti, D. (2021). Leveraging active-source seismic data in mining tailings: Refraction and MASW analysis, elastic parameters, and hydrogeological conditions. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, *93*(2), 104–127. https://doi.org/10.17741/bgsf/93.2.002

Mollehuara-Canales, R., Kozlovskaya, E., Lunkka, J. P., Guan, H., Banks, E., & Moisio, K. (2020). Geoelectric interpretation of petrophysical and hydrogeological parameters in reclaimed mine tailings areas. *Journal of Applied Geophysics*, *181*, 104139. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104139

Mollehuara-Canales, R., Kozlovskaya, E., Lunkka, J. P., Moisio, K., & Pedretti, D. (2021). Non-invasive geophysical imaging and facies analysis in mining tailings. *Journal of Applied Geophysics*, *192*, 104402. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2021.104402

United Nations. (2023). *Digitalization for Sustainability*. https://www.unep.org/topics/digital-transformations/digitalization-sustainability

A case study of ionospheric electron density variations during an HSS/SIR induced geomagnetic storm

G. Prasannakumara Pillai Geethakumari

[1] University of Oulu, gopika.prasannakumara@oulu.fi

Abstract

During the declining phase of the solar cycle, geomagnetic storms driven by high-speed solar wind streams (HSSs) and associated stream interaction regions (SIRs) become prominent. One of the major effects of these storms are the F region electron density (Ne) perturbations, usually referred to as positive (increase in Ne) or negative (decrease in Ne) ionospheric storm phases This study investigates the spatio-temporal evolution of the electron density during a moderate (SYM-H minimum -69 nT) long-duration storm driven by HSS/SIR event during 14-21 March 2016. The storm started with a strong storm sudden commencement (SSC) and had a prolonged main phase that lasted for several days with multiple minima in the SYM-H index.

For a global perspective of the Ne variations, global navigation satellite system (GNSS) derived total electron content (TEC) data from Madrigal database has been used along with data from SuperDARN radars (electric potential), AMPERE satellite project (field aligned currents) and GUVI (O/N2). The study predominantly focuses on the changes of TEC at high and middle latitudes.

During the onset of the main phase, a 6-h long strong positive ionospheric storm phase (TEC increase up to 10 TECU) at the mid-latitudes was observed in the day and dusk sectors, whereas a depletion in TEC prevailed at the high latitudes. The local Ne data from the Millstone Hill incoherent scatter radar also showed an enhancement throughout the local evening magnetic local time (MLTs). Moreover, an uplift of the F-layer together with an increase in upward ion velocity followed by an increase in Ne is observed simultaneously with the arrival of the large-scale traveling ionospheric disturbances (LSTIDs) propagating from the north-east direction. Our data shows evidence that LSTID waves are launched from the pre-midnight auroral oval because of increased Joule heating during the storm main phase. When the plasma is uplifted to greater altitudes in the F region, the recombination rate becomes slower and Ne may be enhanced.

Later during the storm, a strong TEC depletion (up to 50% decrease) at high and middle latitudes was observed in the day and evening sectors that persisted for several days. A simultaneous decrease in O/N2 ratio was observed in GUVI measurements. The long-duration Joule heating during the storm main and recovery phase is the plausible reason for the decrease in TEC because of increase in ion and neutral temperatures and the associated decrease in O/N2.

Looking for causes of ground-based ultra-low frequency waves in solar wind

R. Hynönen

[1] University of Oulu, reko.hynonen@oulu.fi

Abstract

Geomagnetic pulsations are ultra-low-frequency (ULF) waves or fluctuations detected on the ground or within the magnetosphere with frequencies lower than 1 Hz, with periods as long as several minutes. Their possible generation mechanisms include field-line resonances and cavity modes, produced by solar wind buffeting of the magnetosphere, Kelvin-Helmholtz instability induced in the magnetosheath, as well as substorm processes in the magnetotail.

Solar wind speed is the primary quantity when studying the ULF wave generation in solar wind-magnetosphere-ground system but it is being modulated by other quantities such as interplanetary magnetic field and dynamic pressure. Additionally, the modulation for a given ground magnetometer depends on the time of day and season, and specific frequency ranges are affected differently. We show preliminary results of our statistical analysis comparing data from solar wind quantities with ULF power as identified in ground-based magnetometers in IMAGE chain and Sodankylä Geophysical Observatory.

Tavoitteena tehostaa alueellisia painovoimamittauksia

J. Jokinen[1]

[1] Geologian tutkimuskeskus, jarkko.jokinen@gtk.fi

Abstract

The Geological Survey of Finland (GTK) has been conducting regional gravity studies since the 1950s. Currently, the data includes more than 320,000 observations, which cover about 30% of Finland's surface area. Because regional gravity mapping is progressing slowly, there is a desire to improve the efficiency of the work. One idea is to focus measurements primarily on roads and routes. The method has been tested in Kuusamo and Posio area. The measured gravity stations are unevenly distributed and there are large gaps between roads and routes. Complementary off-road measurements are needed to improve the quality of the regional gravity data. To facilitate off-road measurements, the replacement of a precision positioning device with a lightweight GNSS antenna has been tested. The elevations of gravity stations are retrieved from the digital elevation model provided by the Finnish Geospatial Research Institute (FGI).

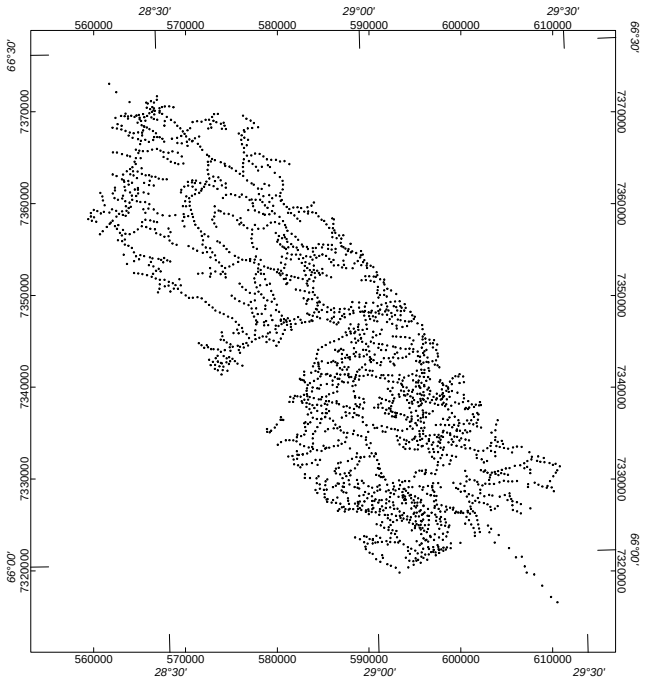
1. JOHDANTO

Geologian tutkimuskeskus (GTK) on tehnyt alueellisia painovoimamittauksia 1950-luvulta alkaen. Tällä hetkellä alueelliset painovoimamittaukset kattavat Suomen pinta-alasta noin 30% sisältäen yli 320.000 havaintopistettä. Painovoiman kartoitusta ovat tehneet myös muut toimijat mm. Geodeettinen laitos, Outokumpu Oy ja Oulun yliopisto. Mittaukset tuottavat tietoa ensisijaisesti kallioperän tiheysvaihtelusta. Laajan hajapisteaineiston lisäksi on tehty lukuisia yksityiskohtaisia profiilimittauksia tyypillisesti pohjavesialueille maa- ja kallioperän rakennetutkimuksia varten. Painovoiman vaihtelua on kartoitettu myös lentokoneesta gradienttimittauksina kohdistuen valittujen alueiden malmipotentiaalitutkimukseen.

Tällä hetkellä GTK:ssa selvitetään, kuinka alueellisia painovoimamittauksia voitaisiin tehdä aikaisempaa paremmin ja tehokkaammin. Yksi tehostamiskeino on korvata tasaisesti maastoon hajautetut pisteet pääosin teiden varrelle sijoitetuilla pisteillä. Tieverkko on Suomessa varsin kattava yhä tiheämmäksi rakennetun metsäautotieverkon ansiosta. Talvisin tieverkkoa täydentää moottorikelkkareitit. Suurimmat teiden ja moottorikelkkareittien väliin jäävät alueet ovat järviä, joilla liikkuminen ja mittaaminen onnistuu talvella jään päältä. Kyllin tasaisesti jakautuvan alueellisen painovoima-aineiston tuottaminen edellyttää lisäksi täydentäviä maastomittauksia, jolloin liikutaan enimmäkseen hiihtäen tai kävellen. Nämä mittaukset ovat hitaita ja raskaita toteuttaa. Työn helpottamiseksi on testattu kevyttä GNSS-satelliittipaikannusantennia ja siihen yhdistettävää matkapuhelinta.

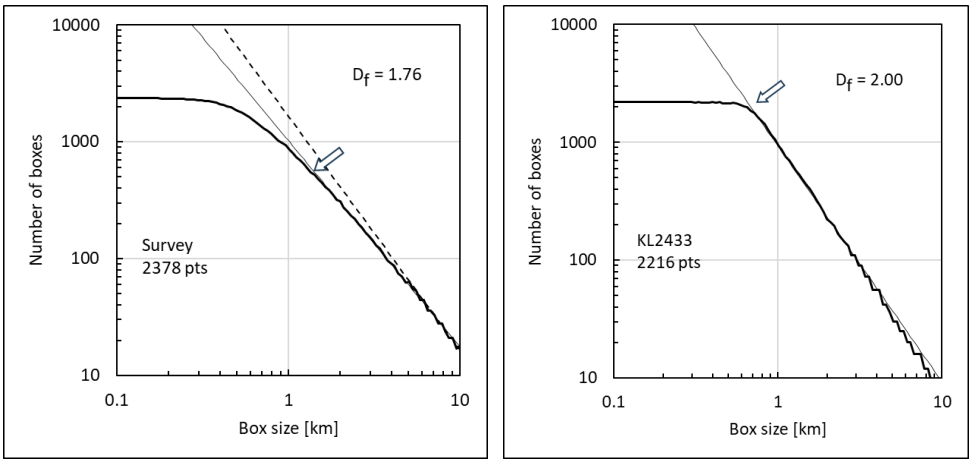
2. MITTAUSPISTEIDEN JAKAUTUMINEN

Teiden ja reittien käyttöä alueelliseen painovoimamittaukseen testattiin Kuusamon ja Posion tutkimusalueella vuosien 2021 ja 2022 aikana. Kaikille teille ei päästy suljettujen puomien tai huonojen keliolosuhteiden takia. Järvialueille suunnitellut mittaukset toteutuivat vain osittain huonojen jääolosuhteiden takia. Mitatut pisteet ovat jakautuneet varsin epätasaisesti kuten kuvasta 1 nähdään.



Kuva 1: Kuusamon ja Posion painovoimamittauspaikkojen sijainnit. Mittaukset toteutettiin lähinnä teiden varsilla, mutta pieni osa myös moottorikelkkareiteillä ja järvien jäällä. Havaintopisteitä 20 km x 60 km kokoisella tutkimusalueella on kaikkiaan 2400 kpl. Mittaukset tehtiin Business Finlandin rahoituksella BATCircle2.0 projektissa (Aalto yliopisto, 2024).

Mittauspisteiden jakautumisen tasaisuutta tarkasteltiin laskemalla aineistolle fraktaalidimensio seuraten Keatingin (1993) antamaa esimerkkiä. Vertailun vuoksi laskut suoritettiin myös Haapajärven (KL3433) ja Kittilän (KL2732) karttalehdillä mitatuille alueellisen painovoiman aineistoille. Fraktaalidimensiolaskujen tuloksia on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2: Fraktaalidimensiolaskujen tulokset Kuusamon ja Posion alueelta (vasemmalla) sekä Haapajärven alueelta (oikealla). Fraktaalidimensio (-D_f) kuvaa laskevan käyrän kaltevuutta, joka on riippuvainen havaintopisteiden jakautuman tasaisuudesta ollen parhaimmillaan 2.0. Käyrän irtoaminen sovitussuorasta on merkitty nuolella. Se osoittaa ideaalisen interpolointivälin aineistolle.

2. MITTAUSPISTEIDEN PAIKANTAMINEN

Alueelliset painovoimamittaukset tehdään gravimetrillä, joka asetetaan mittauksen ajaksi jalustalle. Mittaus yhdellä mittauspaikalla kestää noin 5 minuuttia, jonka jälkeen gravimetri laitetaan kantolaukkuun ja suunnistetaan seuraavalle pisteelle. Viime vuosina jokaisen mittauspaikan sijainti, erityisesti korkeus, on mitattu tarkasti siihen tarkoitetulla GNSS-tarkkuuspaikannuslaitteistolla. Laitteistoon kuuluu antenni, tanko sekä tiedonkeruulaite ja sen kiinnitysosa. Esimerkki mittaustilanteesta on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2: Ryhmäpäällikkö Reijo Sormunen mittaa gravimetrin jalustan korkeutta. Taustalla tanko, jossa Trimble R12i-tarkkuuspaikannuslaitteisto. Scintrex CG-5-gravimetrin sinisen kantolaukun päällä on kevyt GNSS-antenni Trimble DA2. (Kuva: Jarkko Jokinen)

Maastossa tehtävien mittausten paikantamiseen on testattu kevyttä GNSS-antennia, joka hyödyntää samanaikaisesti useita satelliittipaikannusjärjestelmiä. Paikkatieto tallennetaan karttasovelluksella matkapuhelimen muistiin sekunnin välein. Myöhemmin mittauspaikkojen toteutuneet sijainnit voidaan hakea tiedostosta painovoimamittausten tallennusaikojen perusteella. Ratkaisu keventää työtaakkaa muutamin eri tavoin. Kohtalaisen painavan tarkkuuspaikannuslaitteiston sijaan mittaajan tarvitsee kuljettaa mukanaan vain kevyttä antennia. Mittaajan ei tarvitse myöskään hakeutua tarkasti suunnitellulle mittauspaikalle, vaan sopivan tasainen mittauspaikka valitaan jostain suunnitellun paikan lähistöltä avoimelta kohtaa, jossa on toimiva satelliitti- ja puhelinverkkoyhteys. Mittaustarkkuutta parannetaan käyttämällä Geotrim Oy:n VRS (Virtual Reference Station) tukiasemaverkkoa ja RTK (Real Time Kinematic) korjausmenetelmää jatkuvalla 4G puhelinverkkoyhteydellä.

3. POHDISKELUA

Ensimmäisten testien perusteella alueellisia painovoimamittauksia on mahdollista tehostaa hyödyntämällä teitä ja talvireittejä. Teitä pitkin mittaaminen on huomattavasti nopeampaa ja laitteen kannalta turvallisempaa kuin maastossa mittaaminen. Kuusamon ja Posion alueella tehtyyn testimittaukseen jäi aukkoja huonon jäätilanteen, mutta paikoin myös harvan tieverkon takia. Alueelle joudutaan tekemään täydentäviä maastomittauksia. Tulevissa mittauksissa tavoiteltava mittauspisteiden keskitiheys ja jakautuman tasaisuus ratkaisevat lopulta sen, kuinka paljon täydennysmittauksia tarvitaan. Jos tyydytään harvempaan pistetiheyteen, voi tieverkon ulkopuolisten pisteiden tarve olla joillakin tutkimusalueilla hyvinkin vähäinen.

Alustavat tulokset kevyen GNSS-antennin käytöstä yhdessä digitaalisen korkeusmallin kanssa ovat rohkaisevia. Testikäyttöön valittu antennin paikannustarkkuus 10 cm soveltui hyvin painovoimamittauksiin, mutta myös muihin testattuihin geofysiikan maastomittauksiin. Aluksi paikannustietoja tallennettiin ruutukaappauksin, sitten tallentamalla mittauspisteiden sijainteja pysäytyspaikoilta karttaohjelmaan ja lopulta käyttäen jatkuvaa tallennusta ja purkamalla lopuksi kaikki yhteen tiedostoon. Käytön sujuvuutta lisää se, että sijainnin seuraamiseen ja tallennukseen voi testien perusteella käyttää mitä tahansa matkapuhelimesta löytyvää karttasovellusta.

KIITOKSET

Kiitokset Seppo Elolle painovoimamenetelmään liittyvästä asiantuntevasta avusta.

LÄHTEET

Aalto yliopisto, 2024. Home page of BATCircle2.0 project. https://batcircle.aalto.fi/en

Keating, P., 1993. The fractal dimension of gravity data sets and its implication for gridding. *Geophysical Prospecting*, **41**, 983-993.

Energeettisen elektronipresipitaation yhteys talviajan tuulivoimatuotantoon Euroopassa

V.Juntunen[1], T. Asikainen[1] ja A. Salminen[1]

[1] Avaruusfysiikan ja tähtitieteen tutkimusyksikkö, Oulun yliopisto, veera.j.juntunen@oulu.fi

Abstract

Recent studies have shown that energetic electron precipitation (EEP) from space can influence the wintertime surface level weather patterns through the polar vortex, the westerly wind system circulating in polar stratosphere. Increased geomagnetic activity leading to higher EEP intensifies the polar vortex leading to mild and more windy (dry and less windy) winter weather in Northern (Southern) Europe. This EEP effect on the vortex is however significant only when equatorial stratospheric zonal winds, called quasi-biennial oscillation (QBO), are easterly. Since the EEP effect can be seen in temperatures and surface level winds during wintertime and wind power generation depends directly on wind speed, we now study how electricity production by wind power would be influenced by energetic electron precipitation. We find that during easterly QBO the geomagnetic aa index (proxy for EEP) correlates with wintertime wind speed and wind power generation in Finland, Sweden and the United Kingdom and anticorrelates in Spain.

1. JOHDANTO

Tuulivoimantuotanto riippuu pääosin vallitsevista tuuliolosuhteista, ja yleisesti vaaditaan vähintään tuulennopeus 3 metriä sekunnissa, jotta tuulivoimala pystyy tuottamaan sähköä. Talviajan tuulisuuteen ja lämpötiloihin Euroopassa vaikuttaa merkittävästi napa-alueella stratosfäärissä kiertävä polaaripyörre (Baldwin & Dunkerton (1999)). Voimakas polaaripyörre sulkee kylmän arktisen ilman napa-alueelle aiheuttaen leudon ja tuulisen talven Pohjois-Eurooppaan ja kuivan ja heikkotuulisemman talven Etelä-Eurooppaan (Hurrell (1996)). Päinvastoin heikko polaaripyörre päästää arktisen ilman valumaan pois navalta aiheuttaen kylmän ja tuulettoman talven Pohjois-Eurooppaan ja sateisemman ja tuulisemman talven Etelä-Eurooppaan.

Energeettiset ilmakehään satavat elektronit (energeettinen elektronipresipitaatio, EEP) vaikuttavat napa-alueella kiertävään polaaripyörteeseen muuttamalla yläilmakehän otsonitasapainoa. EEP:n seurauksena yläilmakehässä muodostuu pitkäikäisiä typpioksidiyhdisteitä (NOx), jotka tuhoavat otsonia laskeutuessaan stratosfäärin korkeudelle (Crutzen (1975), Randall (2007)). Otsonituhon seurauksena lämpötila nousee stratosfäärin yläosissa ja mesosfäärissä ja laskee stratosfäärin alaosissa, mikä johtaa polaaripyörteen

voimistumiseen (Baumgaertner et al. (2011)). EEP-ilmiön vaikutus polaaripyörteeseen riippuu kuitenkin suuresti päiväntasaajan stratosfäärissä kiertävistä vyöhyketuulista eli niin kutsutuista QBO-tuulista, jotka vaikuttavat planetaaristen aaltojen kulkuun. Kun QBO-tuulet puhaltavat idästä (QBO-E vaihe), enemmän planetaarisia aaltoja pääsee kulkeutumaan keskileveysasteilta napa-alueelle, mikä heikentää polaaripyörrettä ja tekee sen herkemmäksi EEP:n vaikutuksille (Holton & Tan (1980), Palamara & Bryant (2004)). Täten EEP:n vaikutus polaaripyörteeseen ja sitä kautta maanpinnan talviajan lämpötiloihin ja tuulisuuteen havaitaan vain itäisessä QBO-vaiheessa.

Yhteenvetona osoitamme siis, että energeettinen elektronipresipitaatio vaikuttaa talviajan tuuliolosuhteisiin maanpinnalla ja sitä kautta tuulivoimatuotantoon Euroopassa. Osoitamme, että itäisen QBO-vaiheen aikana suurentunut geomagneettista aktiivisuutta kuvaava aa-indeksi, joka on suoraan kytköksissä energeettiseen elektronipresipitaatioon, johtaa suurempaan tuulennopeuteen ja lisäntyneeseen tuulivoimatuotantoon Suomessa, Ruotsissa ja Isossa-Britanniassa ja pienempään tuulennopeuteen ja vähentyneeseen tuulivoimatuotantoon Espanjassa.

2. DATA JA METODIT

Tutkimuksessa hyödynnetään ERA5-reanalyysiaineistoa horisontaali- ja vertikaalituulien (10 metrin korkeudelta), stratosfäärin vyöhyketuulen (QBO) ja geopotentiaalikorkeuden datan hankkimiseksi. Tuulivoimatuotantodata on hankittu Suomen osalta Energiateollisuuden sivuilta, Ruotsin tapauksessa Statistikdatabasen-palvelusta, Ison-Britannian osalta hallituksen datapalvelusta (UK Government) ja Espanjan tapauksessa Red Electrica -sähköverkkoyhtiön datapalvelusta.

Koska tuulivoimatuotannon määrä on kasvanut lähes eksponentiaalisesti viimeisten 10-20 vuoden aikana ympäri Eurooppaa, normalisoimme tuulivoimatuotannon vuoden 2021 tasolle tutkittavien maiden osalta. Normalisointi suoritetaan seuraavan yhtälön perusteella:

$$E' = a_{2021} + b_{2021} \cdot W_t + (E - a_i - b_i \cdot W_t) \cdot \frac{\sigma_{2021}}{\sigma_i}$$

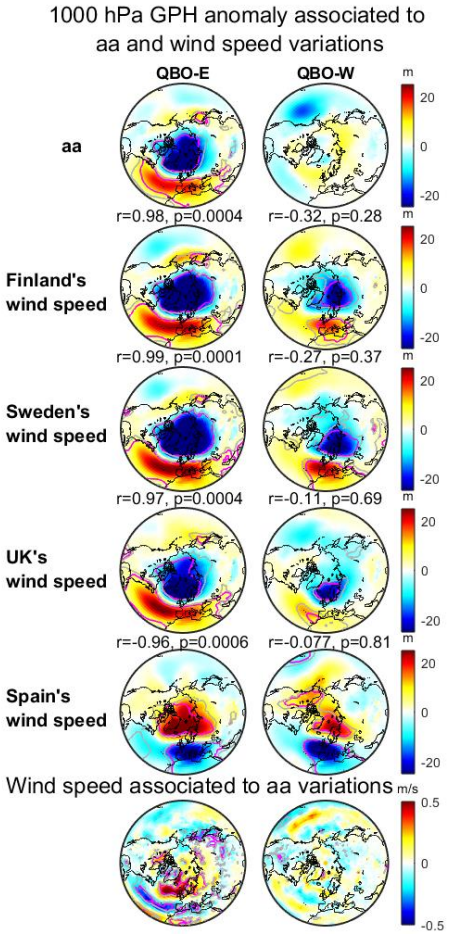
missä E’ on tietyn kalenterikuukauden tuulisähköntuotanto tutkittavassa maassa normalisoituna 30-päiväisen kuukauden mukaan, W_t on horisontaali- ja vertikaalikomponenteista laskettu keskiarvotuulennopeus, a_{2021} ja b_{2021} lineaarisovitteiden vakiotermi ja kulmakerroin vuodelle 2021, a_i ja b_i vakiotermi ja kulmakerroin vaihtuvalle vuodelle i (i = 1950,1951,…,2021) ja σ_{2021} ja σ_i lineaarisovitteiden residuaalien keskihajonnat vuosille 2021 ja i.

Tuulivoimatuotanto rekonstruoidaan alkamaan vuodesta 1950 oikean datan alkuun hyödyntämällä havaintoa, että tuulennopeus on vahvasti riippuvainen tuulivoimatuotannosta. Tuulennopeudesta, tuulivoimatuotannosta ja geomagneettista aktiivisuutta kuvaavasta aa-indeksistä poistetaan lineaarinen trendi ennen data-analyysiä. Tilastollisen merkittävyyden arvioinnissa (p-arvojen laskenta) hyödynnetään Monte Carlo -toistokokeita.

3. TULOKSET

Kuva 1 näyttää MCA-menetelmällä (Maximum Covariance Analysis) lasketut talviajan (tammi-maaliskuu, JFM) maanpinnan geopotentiaalikuviot (rivit 1-5), jotka tuottavat maksimaalisen kovarianssin aa-indeksin ja eri maiden tuulennopeuksien kanssa. Kuvasta nähdään, että itäisessä QBO-vaiheessa (QBO-E) aa-indeksin tuottama kuvio korreloi hyvin Suomen, Ruotsin ja Ison-Britannian tuulennopeuteen liittyen kuvioiden kanssa, ja kuviot muistuttavat niin kutsuttua NAO-kuviota, joka vaikuttaa voimakkaasti Euroopan talvi-ilmastoon. Espanjan tuulennopeuteen liittyvä geopotentiaalikuvio puolestaan antikorreloi aa-indeksin tuottaman kuvion kanssa indikoiden sitä, että aa:n vaikutus Espanjan tuulennopeuteen on käänteinen Pohjois-Euroopan maihin verrattuna.

Kuvan 1 viimeinen rivi näyttää tuulennopeuden MCA-kuvion, joka on kytköksissä aa-indeksin vaihteluihin. Kuviosta nähdään, miten voimakkain positiivinen vaste saavutetaan Pohjois-Atlantilla ja Skandinaviassa, ja negatiivinen Etelä-Euroopassa ja eteläisellä Atlantilla.

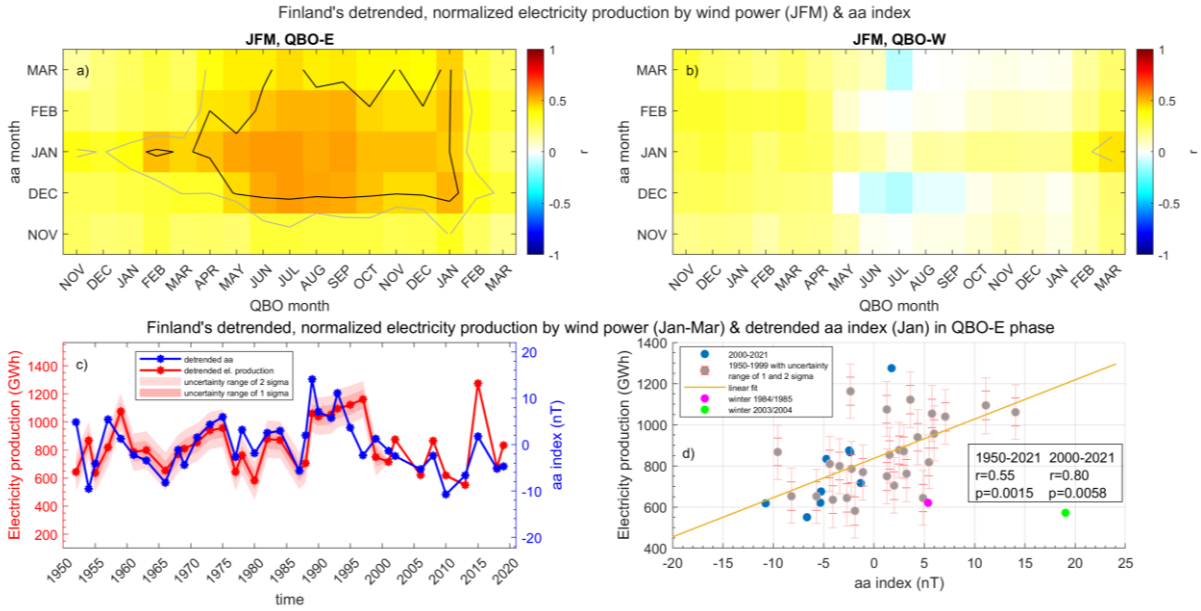


Kuva 1: MCA-kuviot itäisessä (QBO-E) ja läntisessä (QBO-W) QBO-vaiheessa esitettynä tammi-maaliskuiden keskiarvona. Kuvioiden data ajoittuu vuosille 1950-2021, poislukien talvet 1985 ja 2004. Harmaat (pinkit) rajaukset merkitsevät 95% (99%) merkittävyysrajat.

Kuvan 2 paneelit a ja b esittävät Suomen talviajan (tammi-maaliskuu) tuulivoimatuotannon ja aa-indeksin välisen korrelaation eri QBO-vaiheissa, kun QBO ja aa otetaan vaihdellen eri kuukausilta. Kuvasta huomataan, miten voimakkain korrelaatio saavutetaan itäisessä QBO-

vaiheessa (paneeli a), kun aa-indeksi otetaan tammikuulta ja QBO edellisen vuoden heinäkuulta. Paneelit c ja d esittävät aikasarjan ja pistekaavion näillä QBO:n ja aa:n valinnoilla.

Suomen tuulivoimatuotanto on rekonstruoitu aikavälillä 1950-1999 ja rekonstruktion virherajat on esitetty paneeleissa c ja d punaisella värillä. Talvet 1985 ja 2004 on jätetty huomioitta, sillä molempina talvina tapahtui voimakas stratosfäärin yhtäkkinen lämpeneminen (SSW), mikä merkittävästi heikensi EEP:n vaikutusta maanpinnan sääolosuhteisiin polaaripyörteen välityksellä.



Kuva 2: Talviajan (tammi-maaliskuu, JFM) tuulisähköntuotannon keskiarvo Suomessa korreloi geomagneettisen aktiivisuuden (aa-indeksi) kanssa vuosina 1950-2021. Tuulivoimantuotanto on rekonstruoitu aikavälillä 1950-1999.

LÄHTEET

Baumgaertner, A. J. G., Seppälä, A., Jöckel, P., & Clilverd, M. A. , 2011. Geomagnetic activity related NOx enhancements and polar surface air tem perature variability in a chemistry climate model: modulation of the NAM index. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **11** (9), 4521–4531.

Baldwin, M. P., & Dunkerton, T. J., 1999. Propagation of the Arctic Oscillation from the stratosphere to the troposphere. *Journal of Geophysical Research*, **104** (D24), 30,937-30,946.

Crutzen, P. J., Isaksen, I. S. A., & Reid, G. C., 1975. Solar proton events: Strato-spheric sources of nitric oxide. *Science*, **189** (4201), 457-459.

Hurrell, J. W., 1996. Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on northern hemisphere temperature. *Geophysical Research Letters*, **23** (6), 665-668.

Holton, J. R., & Tan, H.-C., 1980. The influence of the equatorial quasi-biennial oscillation on the global circulation at 50 mb. *Journal of Atmospheric Sciences*, **37** (10), 2200 - 2208.

Palamara, D. R., & Bryant, E. A., 2004. Geomagnetic activity forcing of the northern annular mode via the stratosphere. *Annales Geophysicae*, **22** (3), 725–731.

Randall, C. E., Harvey, V. L., Singleton, C. S., Bailey, S. M., Bernath, P. F., Codrescu, M., …, Russell III, J. M., 2007. Energetic particle precipitation effects on the southern hemisphere stratosphere in 1992–2005. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **112** (D8).

Comparative planetary space weather

R. Jarvinen[1], E. Kallio[2] and I. Honkonen[1]

[1] Finnish Meteorological Institute (FMI), riku.jarvinen@fmi.fi
[2] Department of Electronics and Nanotechnology, Aalto University

We study the interaction of Sun's magnetized solar wind with solar system bodies, or planetary space weather, using high-performance space plasma simulations. Main factors that affect how the solar wind influences a planetary environment and what kind of space weather processes occur are: a planetary intrinsic magnetic field, an atmosphere and an ionosphere, or the lack of these, as well as the distance of the object from the Sun. Here we present a comparative numerical model approach to analyze space weather at solar system's four terrestrial planets: Mercury, Venus, Earth and Mars (Fig. 1) [1, 2, 3, 4, 5, 6]. We use a global 3D ion-kinetic particle plasma simulation `RHybrid` *to resolve collisionless, non-thermal, non-isotropic ion and plasma processes, which are self-consistently coupled with electromagnetism including the formation of solar wind foreshock, the excitation of plasma waves, the structure and dynamics of magnetospheres and induced magnetospheres and the solar wind driven atmospheric volatile erosion to space. We use these simulations to interpret in situ spacecraft observations on major international solar system exploration missions such as ongoing two-orbiter BepiColombo Mercury mission, Jupiter Icy Moons Explorer (Juice) and Mars Express, which all include contributions by the FMI and Finland in their instrumentation.* `RHybrid` *is also applied for exoplanetary environments where space weather is driven by planetary stellar wind interactions and questions such as retention of habitable atmospheres are investigated [7].*

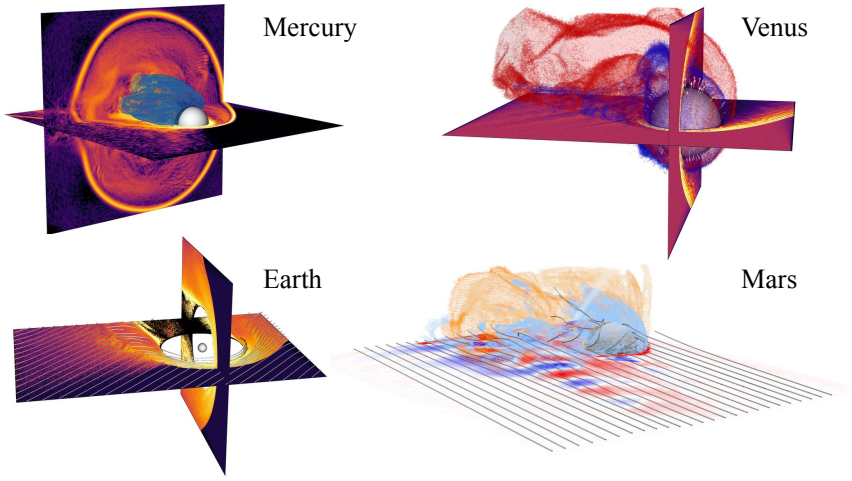


Figure 1: Global 3D hybrid simulations of terrestrial planets with `RHybrid` (not in same scale).

1. INTRODUCTION

The continuous, variable, supermagnetosonic flow of solar wind plasma from the Sun consists mainly of protons, alphas and electrons. The solar wind carries the Sun's magnetic field, which forms the interplanetary magnetic field (IMF). When this magnetized plasma flow encounters planetary environments in the heliosphere, many kinds of plasma interactions occur. Fig. 2 shows examples of plasma turbulence formed in the solar wind foreshock modulating space weather processes in the magnetospheres of intrinsically magnetized Mercury and Earth [1, 2] and the induced magnetospheres of globally unmagnetized Venus and Mars [3, 6, 4].

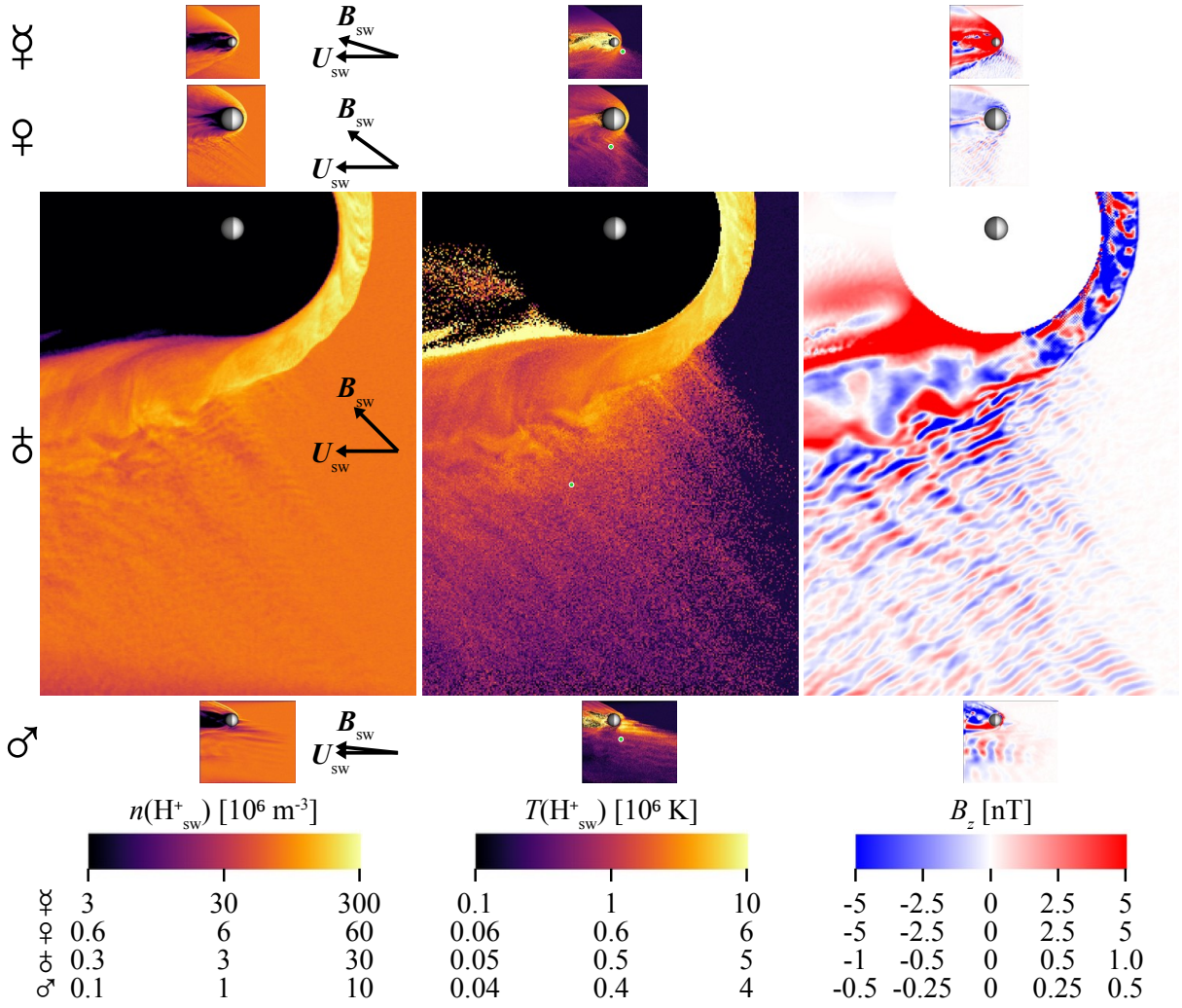


Figure 2: Space weather environments of terrestrial planets in the equatorial plane in the `RHybrid` model. Columns from left: solar wind proton density (n), temperature (T) and perpendicular component of magnetic field to plane (B_z). Rows from top: Mercury (☿), Venus (♀), Earth (♁) and Mars (♂). All planets and simulation runs are shown in the same physical length scale. $\mathbf{U}_{\mathrm{SW}}$ and $\mathbf{B}_{\mathrm{SW}}$ give the orientation of upstream solar wind velocity and IMF in the simulation runs. Green dost in the middle column mark the locations where time series in Fig. 3 were generated.

2. MODEL

RHybrid is a highly parallelized high-performance computing C++ code platform for particle-based space plasma simulations developed at the FMI since 2012 and nowadays in collaboration with the Aalto University [8]. The code evolved from the widely used global hybrid model HYB developed at the FMI in the turn of the millennium [9]. In these models, ions are treated as macroscopic particle clouds (macroparticles) moving under the full Lorentz force and electrons are a charge neutralizing fluid. Ion dynamics are self-consistently coupled with electromagnetism via Maxwell's equations in a non-radiative limit. Such approach allows resolving ion-kinetic processes with high spatial and velocity distribution resolution while leaving out computationally expensive electron scales. RHybrid has a comprehensive suite of analysis tools to interpret spacecraft observations. Fig. 3 shows an example of data products from virtual spacecraft in the model revealing collisionless, suprathermal ion dynamics and plasma waves in the solar wind foreshocks of terrestrial planets. The wave and suptrathermal ion properties scale as a function of the solar wind and IMF properties (distance from the Sun) as predicted theoretically and observed by spacecraft.

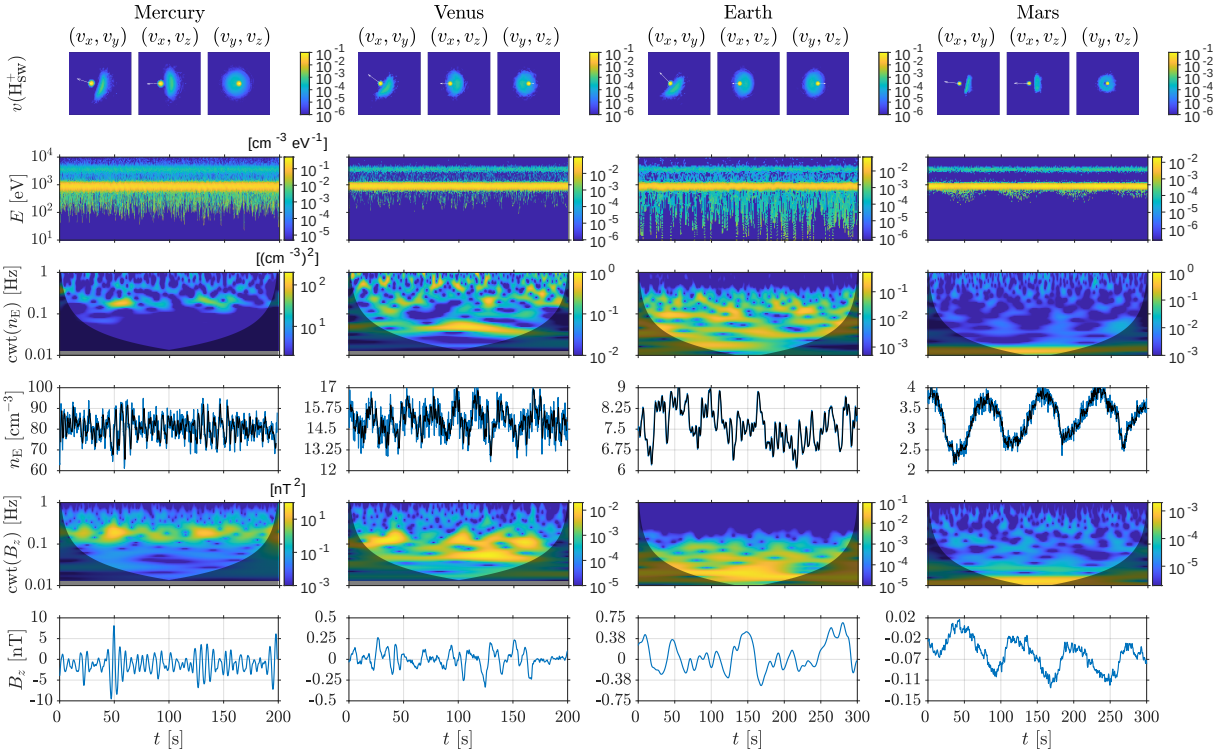


Figure 3: Virtual spacecraft observations of planetary solar wind foreshocks in the RHybrid model in the locations shown in Fig. 2. Top row shows temporal average of 3D solar wind proton velocity distributions, where all inserts have horizontal and vertical axes from -1500 km/s to 1500 km/s, coloring gives probability density and white arrows are average magnetic field vector. Time series from the second row are: ion energy spectra, wavelet transformation of electron density, electron density, wavelet transformation of magnetic field B_z component and magnetic field B_z component.

Summarizing, global 3D hybrid particle simulations are powerful tools to analyze planetary solar and stellar wind relations and interpret *in situ* spacecraft observations. Future development can include also kinetic electron effects in global particle models for planetary space weather.

ACKNOWLEDGMENTS

The work was supported by the Research Council of Finland (Decisions No. 257831, 310444) and the European Research Council (ERC-2023-CoG). We acknowledge computational resources provided by CSC – IT Center for Science, Finland and the Aalto Science-IT project. Simulations were performed using the `RHybrid` model platform, which is available under an open-source license by the Finnish Meteorological Institute (`github.com/fmihpc/rhybrid`).

REFERENCES

1. Jarvinen, R., Alho, M., Kallio, E., and Pulkkinen, T.I., 2020a. Ultra-low frequency waves in the ion foreshock of Mercury: A global hybrid modeling study *Mon. Notices Royal Astron. Soc.*, **491**, 3, 4147-4161, doi:10.1093/mnras/stz3257
2. Kallio, E., Jarvinen, R., Massetti, S., Alberti, T., Milillo, A., Orsini, S., De Angelis, E., Laky, G., Slavin, J., Raines, J.M., and Pulkkinen, T.I., 2022. Ultra-Low Frequency Waves in the Hermean Magnetosphere: On the Role of the Morphology of the Magnetic Field and the Foreshock *Geophys. Res. Lett.*, **49**, 24, doi:10.1029/2022GL101850
3. Jarvinen, R., Alho, M., Kallio, E., and Pulkkinen, T.I., 2020b. Oxygen Ion Escape From Venus Is Modulated by Ultra-Low Frequency Waves *Geophys. Res. Lett.*, **47**, 11, doi:10.1029/2020GL087462
4. Stergiopoulou, K., Jarvinen, R., Andrews, D.J., Edberg, N.J.T., Dimmock, A.P., Kallio, E., Persson, M., and Khotyaintsev, Y.V., 2023. Solar Orbiter Data-Model Comparison in Venus' Induced Magnetotail *J. Geophys. Res.*, **128**, 2, doi:10.1029/2022JA031023
5. Yang, Z.W., Jarvinen, R., Guo, X.C., Sun, T.R., Koutroumpa, D., Parks, G.K., Huang, C., Tang, B.B., Lu, Q.M., and Wang, C., 2024. Deformations at Earth's dayside magnetopause during quasi-radial IMF conditions: Global kinetic simulations and Soft X-ray Imaging *Earth Planet. Phys.*, **8**, 1, 1-11, doi:10.26464/epp2023059
6. Jarvinen, R., Kallio, E., and Pulkkinen, T.I., 2022. Ultra-low Frequency Foreshock Waves and Ion Dynamics at Mars *J. Geophys. Res.*, **127**, 5, doi:10.1029/2021JA030078
7. Egan, H., Jarvinen, R., Ma, Y., and Brain, D.A., 2019. Planetary magnetic field control of ion escape from weakly magnetized planets *Astron. Astrophys.*, **630**, A45, doi:10.1051/0004-6361/201834863
8. Jarvinen, R., Brain, D.A., Modolo, R., Fedorov, A., and Holmström, M., 2018. Oxygen ion energization at Mars: Comparison of MAVEN and Mars express observations to global hybrid simulation *J. Geophys. Res.*, **123**, 1678-1689, doi:10.1002/2017JA024884
9. Kallio, E., and Janhunen, P., 2003. Modelling the solar wind interaction with Mercury by a quasi-neutral hybrid model, *Ann. Geophys.*, **21**, doi:10.5194/angeo-21-2133-2003

Why the September 2017 geomagnetic storm was stronger at certain locations than the famous Halloween event

M. Kellinsalmi[1,2], E. Marshalko[1], L. Juusola[1] and A. Viljanen[1]

[1] Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland,
contact: mirjam.kellinsalmi@fmi.fi
[2] University of Helsinki, Helsinki, Finland

Abstract

In this study we compare two strong geomagnetic storms of the 21st century: the well-known Halloween event of 2003 and a slightly weaker storm of September 2017. We try to understand why certain geographic locations experienced stronger geomagnetic field variations during the 2017 storm, despite it being a generally less severe event. To do this, we use physical models to study the flow of electrical currents in the upper atmosphere (ionosphere) and the resulting currents induced in the conducting ground, particularly in the Fennoscandian region. Our findings reveal particular geographic locations that are at heightened risk of experiencing strong electric fields due to sharp changes in the ground conductivity. This study improves knowledge in space weather preparedness by identifying location-specific risks for intense ground electric fields, which can create severe issues in the high-voltage power grids.

1. INTRODUCTION

Coronal mass ejections (CMEs) are the primary drivers of intense magnetic storms, significantly amplifying both the speed of the solar wind and the strength of the geomagnetic field. These sudden changes in the solar wind rattle the Earth's magnetic field amplifying currents flowing in the magnetosphere and upper atmosphere. These currents, in combination with conducting properties of Earth's crust, create a geoelectric field. The strength of the field is strongly related to the ground conductivity. Conductivity tells how easily charges can move through a material. In highly conductive materials (like salty sea water or graphite), charges can move more freely. This means that when an electric field is induced in the ground, the charges can redistribute more easily, which weakens the strength of the induced electric field. In regions with sharp contrasts in conductivity, charges can accumulate which enhances the geoelectric field. The geoelectric field drives geomagnetically induced currents (GIC) in ground-based conducting systems, like the high-voltage power grid and pipelines.

Direct measurements of the geoelectric field are usually not available. They are done irregularly and are frequently affected by significant noise. Because of this, the time derivative of the

geomagnetic field (d**B**/dt and especially its horizontal part d**H**/dt) is often used as a proxy. It is directly related to the electric field according to Faraday's law of induction. Magnetic field recordings are widely available for past events and in near real time, so it is handy to use them as GIC indicators. However, it is not possible to calculate GIC directly using the magnetic field or its time derivative. GIC can be calculated once the geoelectric field and parameters of a technological conductor are known. The geoelectric field can be modeled by combining ground conductivity models with the measured magnetic field. In recent years, there has been a lot of progress in applying empirical magnetotelluric (MT) impedances and using first-principle solutions with complex 3D conductivity models (e.g., [1] and references therein). When the geoelectric field is known, calculation of GIC in power grids is straightforward.

In this study, we compare two major geomagnetic storms caused by strong coronal mass ejections: the Halloween event on 29-31 Oct 2003 (Kp index 9) and the event on 7-8 September 2017 (Kp index 8). The Kp index, ranging from 0 to 9, is a global measure for the strength of a geomagnetic storm. Record-large GIC (57 A), was measured in the Finnish natural gas pipeline in Mäntsälä during the Halloween storm. Also, very high GIC values (30.1 A) was measured in Mäntsälä during the 2017 event. These events are good candidates for the comparison study due to the good availability of different space weather measurements.

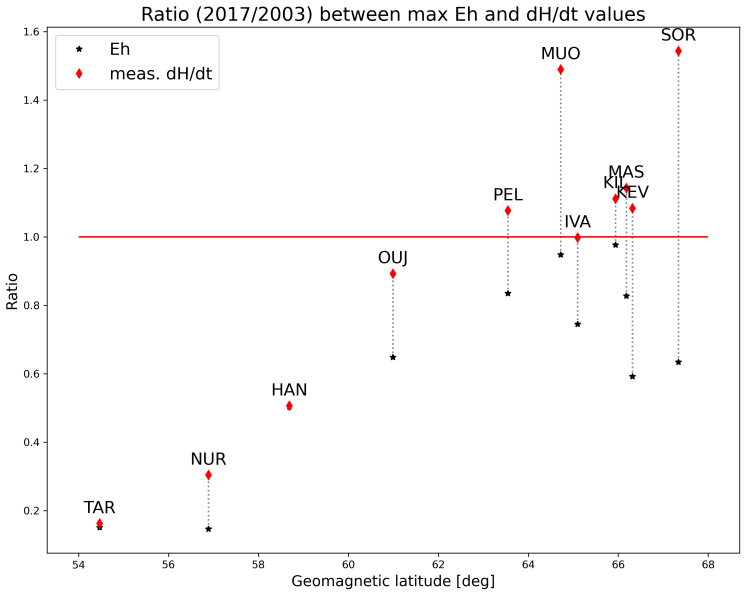
2. DATA AND RESULTS

For the comparison we focus on the following 4-hr periods. For the Halloween event the chosen period is: 2003-10-30 19:00 to 23:00 UT, and for the September 2017 event: 2017-09-07 22:00 UT to 2017-09-08 02:00 UT. We chose these specific periods because they include especially strong variations in the measured geomagnetic field.

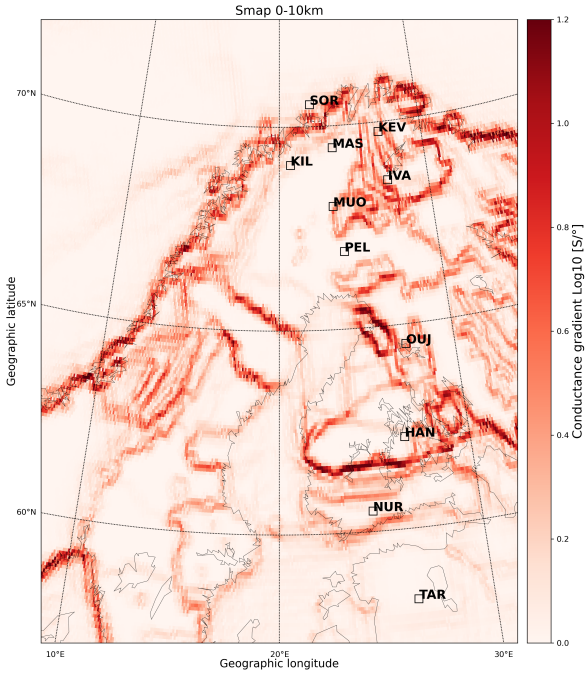
We utilize solar wind measurements, ground-based magnetometer data, and results of 3D geoelectric field modeling [1]. We focus on Fennoscandia, where an extensive coverage of ground-based magnetometer data of both events and detailed ground conductivity models are available [2]. We use 10-s International Monitor for Auroral Geomagnetic Effects (IMAGE) magnetometer data, which is available via the IMAGE website (space.fmi.fi/image).

Figure 1 shows the comparison of the largest values of the measured d**H**/dt and the modeled horizontal geoelectric field between the two events. We see that for higher latitudes both ratios ($\mathbf{E}_h$ and d**H**/dt) tend to be larger. The ascending trend is clear for d**H**/dt, but a bit less obvious for $\mathbf{E}_h$. Generally ratios of d**H**/dt are larger than those of $\mathbf{E}_h$, and the stations Muonio (MUO) and Sørøya (SOR) clearly stand out with highest ratios of d**H**/dt. Also, MUO station had the largest magnitude for modeled $\mathbf{E}_h$ during both events, 7.1 V/km in 2003 and 6.8 V/km in 2017. For more information, see [3].

Figure 2 depicts the horizontal conductance gradient in the upper layer of the SMAP model. Along with the strong gradient at the Norwegian coastline, it shows that the Fennoscandian region crustal conductivity is also very heterogeneous. Many inland stations, like KEV, MUO and OUJ are located near areas of abrupt changes in conductivity.



Kuva 1: Ratio of the maximum values of the modeled horizontal geoelectric field, $\mathbf{E}_h$ (black stars), and measured d**H**/dt (red diamonds) during the studied periods of the Halloween and September 2017 events. Ratios are shown as functions of the geomagnetic latitude (CGM for year 2001). The red line emphasises ratio equal to unity, i.e. the same magnitude for both events. For visual clarity, black stars and red diamonds corresponding to a specific station are connected by a dotted line. Credit: [3].



Kuva 2: Horizontal gradient of the ground conductance based on SMAP 0-10 km data [2]. Sharp gradients are visible along the Norwegian coastline but also inland. Several Finnish stations, e.g. SOD, MUO and KEV, are located on top of strong horizontal conductance gradients. Credit: [3].

3. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The geoelectric field is enhanced or weakened depending on the orientation of the ground conductivity gradients in relation to the ionospheric currents. The stations SOR and MUO, which stood out in the Figure 1, are located near areas of high conductivity or quite sharp conductivity gradients. The orientation of the gradients along with the orientation of the ionospheric currents, may have been optimal for producing strong $\mathbf{E}_h$ and d$\mathbf{H}$/dt during the 2017 event. This can help to explain why the 2017 event had such strong effects in the northern Fennoscandian region. For more detailed discussion, see [3].

Our study compares two major geomagnetic storms caused by strong Earth-directed CMEs. This study reveals station-specific differences in the intensity of the magnetic field and geoelectric field variations. The differences between the effects of these two storms at high latitudes are mostly explained by the ionospheric response to the CME arrival. For example, the location of the auroral oval and the abrupt changes in the ionospheric currents can explain some of the local enhancements. Also the ground conductivity structure has a major impact on the local geomagnetic response, especially in the very heterogeneous crustal structure in Finland. These findings help in explaining the localized peaks in d$\mathbf{H}$/dt and $\mathbf{E}_h$. Our results give an estimate of other similar storm impacts on the geoelectric field and ultimately help to understand the very localized nature of GIC which also improves knowledge in space weather preparedness.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the Academy of Finland (grant no. 339329) for supporting this project.

REFERENCES

Marshalko, E., Kruglyakov, M., Kuvshinov, A., and Viljanen, A. (2023). Three-Dimensional Modeling of the Ground Electric Field in Fennoscandia During the Halloween Geomagnetic Storm. *Space Weather*, **21**(9), e2022SW003370. doi: 10.1029/2022SW003370

Korja, T., Engels, M., Zhamaletdinov, A. A., Kovtun, A. A., Palshin, N. A., Smirnov, M. Y., Tokarev, A. D., Asming, V. E., Vanyan, L. L., Vardaniants, I. L., and BEAR Working Group. (2002). Crustal conductivity in Fennoscandia—a compilation of a database on crustal conductance in the Fennoscandian Shield. *Earth, Planets and Space*, **54**(5), 535–558. doi: 10.1186/BF03353044

Mirjam Kellinsalmi, Elena Marshalko, Liisa Juusola, and Ari Viljanen. Why the September 2017 geomagnetic storm was stronger at certain locations than the famous Halloween event. *ESS Open Archive*, April 22, 2024. doi: 10.22541/essoar.171378795.51699377/v1.

Applying HydroBlocks model to obtain soil conditions in Finland

E. Kokko

[1] University of Oulu, emma-riikka.kokko@oulu.fi

Abstract

The main objective of my PhD research is to investigate the influence of rapidly changing Arctic climate in the uppermost layer of the Earth. Arctic urban environments and especially their infrastructure, are at an increased risk of damage as they are in close interaction with this layer, where an increased frequency of frost quakes has been detected recently (Battaglia & Changnon, 2016, Okkonen et al., 2020). Main focus is to study the mechanical stability of this layer under the influence of various weather conditions and to distinguish places in Finland, where the accumulated thermal stress may be released in the form of frost quakes. A method for calculating thermal stress in soil under different weather conditions was demonstrated in previous research (Okkonen et al., 2020). One objective of my research is to develop this method so that it could be applied on a larger scale for multiple different soil types across Finland. To calculate the thermal stress, one needs to know the soil temperature, the soil moisture and the soil ice content. However, in situ measurements of these parameters are rarely available, especially with high spatial coverage.

At Duke University (North Carolina, USA) a hydrological land surface model, called HydroBlocks, has been developed together with the researchers from Princeton University (Chaneyn et al., 2016). HydroBlocks can be used to simulate soil properties, such as soil temperature and soil water and ice content, at a given time and spatial location. One of the advantages is its computational efficiency, which enables modelling spatially and temporally (hourly) on a large scale while maintaining relatively high resolution.

Previously, HydroBlocks had been applied over the continental United States. The objective of this study was to configure the model for Finland and to model the snow accumulation and melt and soil freezing in different land covers and soil types over the period of 2010-2023 in 90 m spatial resolution with 1 hour time step. Modelling results are compared with observed snow water equivalents, soil temperature and soil water content across Finland. In the future, the results from HydroBlocks can be used to calculate the thermal stresses in soil over Finland and locate frost quake prone areas.

Transport, characteristics, and scattering effects of atmospheric Saharan dust

Iida Kostamo[1], Johanna Salminen[1], Anu Kaakinen[1], Outi Meinander[2], Antti Penttilä[3] and Karri Muinonen[3]

[1] Department of Geosciences and Geography, P.O. box 64, 00014 University of Helsinki, Finland
[2] Finnish Meteorological Institute, P.O. box 503, 00101 Helsinki, Finland
[3]Department of Physics, P.O. box 64, 00014 University of Helsinki, Finland

Magnetic minerals and giant particles in atmospheric dust are strong absorbers of solar energy. Recent studies have shown that the giant particles can travel long distances, from Sahara to Iceland (Varga et al. 2021). The absorption effects of magnetic (nano)particles can be comparable to black carbon (Moteki et al. 2017), they promote ice nucleation and play a role in cloud formation, therefore contributing to global warming (e.g. Maher, 2011). However, the properties and sources of both the magnetic nanoparticles and the giant particles remain often poorly described (e.g. Moteki et al. 2017; Adebiyi & Kok, 2020). Our project aims to investigate the influence of giant particles and magnetic minerals on the atmosphere and on climate, by characterising their properties. The research material consists of Saharan dust that was deposited in Finland in 2021 and collected by citizens.

The citizen science initiative resulted with samples from 525 locations, including one or more samples from each location. The first results regarding some of the dust samples were published by Meinander et al. (2023). The multidisciplinary study showed that the Saharan dust deposited in Finland originated from the Sahel desert (south of Sahara), based on the magnetic properties of the particles, and the SILAM model. These results are an encouraging starting point for a more detailed analysis of the remaining >500 samples.

This study begins by using mineralogical, geochemical, and magnetic methods to identify and characterise the particles in the Saharan dust samples, similar to Meinander et al. (2023). This information enables geological classification of the material, as well as prediction of the transport mechanisms and deposition modes of the dust.

The research then focuses on the scattering and absorption of light by these particles, both experimentally and theoretically. The scattering matrix measurements will be conducted to analyse the physical and chemical characteristics, such as shape and composition, of the particles. The experimentally obtained information will then be used for developing the theoretical modelling of the particles, using numerical methods. This is the first time when the scattering studies will culminate in an analysis of radiative effects of both the giant and magnetic particles in the Earth's atmosphere.

Our project combines experimental and theoretical approaches to enhance our understanding of giant and magnetic particles in atmospheric dust, utilising methods from both geosciences and physics. Ultimately, our work aims to contribute to characterising the particles and their source areas, long-range transport, and scattering effects, to be utilised in emission, transport, and deposition modelling, and in climate models.

REFERENCES

Adebiyi, A.A. & Kok, J.F., 2020. Climate models miss most of the coarse dust in the atmosphere. *Science Advances*, **6(15)**.

Maher, B. A., 2011. The magnetic properties of Quaternary aeolian dusts and sediments, and their palaeoclimatic significance. *Aeolian Research*, **3(2)**, 87-144.

Meinander, O., Kouznetsov, R., Uppstu, A. et al., 2023. African dust transport and deposition modelling verified through a citizen science campaign in Finland. *Scientific Reports*, **13**, 21379.

Moteki N. et al., 2017. Anthropogenic iron oxide aerosols enhance atmospheric heating. *Nature Communications*, **8**, 15329.

Varga, G., Dagsson-Waldhauserová, P., Gresina, F. & Helgadottir, A., 2021. Saharan dust and giant quartz particle transport towards Iceland. *Scientific Reports*, **11**, 11891.

10 Years of Applied Geophysics at Oulu Mining School

E. Kozlovskaya

[1] University of Oulu, elena.kozlovskaya@oulu.fi

Abstract

In response to needs of rapidly growing mining industry in Finland, a new faculty, Oulu Mining School (OMS), was organized at the University of Oulu in 2014. In 2018, the OMS, as a separate research unit, was merged with the Faculty of Technology. The OMS aims to integrate scientific disciplines along the mining value chain, from exploration to mining and mineral processing. The graduate and post-graduate students of OMS can specialise in Geosciences, Mining Engineering and Mineral Processing and also in Applied Geophysics. The post-graduate research in applied geophysics is organised within OMS Doctoral degree program in Geosciences and Mining Engineering and Mineral processing.

In the global context, the future opportunities for applied geophysics research are related to highest-priority challenges facing humanity, as many of these challenges can be understood and treated using geophysics. These include sustainable energy and minerals supply, sustainability of agriculture and forestry methods, optimisation of water management environment and climate change mitigation. Climate change, whether manmade or natural, will increasingly impact the global resources and infrastructure. This impact is complex, due to mutual interaction between atmospheric processes, bedrock and sediments, surface and ground water systems. Hence applied geophysics has huge opportunities to participate in the assessment, hardening and mitigation of resource and infrastructure systems against the impacts of global climate change and extreme weather.

The applied geophysics at OMS is focusing on sustainable development and exploitation of a modern mine. The former task aims to minimise environmental and societal impact and to re-use the land after mine closure. It is compared with the five stages in the life of a mine: 1) prospecting 2) exploration 3) development 4) exploitation and 5) reclamation. The life cycle of mines in the Arctic is similar to elsewhere, but the fragile Arctic socio-ecological systems and harsh climate have to be taken into account at all stages of mining operation. In our presentation we illustrate this by examples of applied geophysics research at OMS during 10 years.

Fifteen years of the meteor radar observations in Sodankylä

A. Kozlovsky

Sodankylä Geophysical Observatory, alexander.kozlovsky@oulu.fi

Abstract

In the Sodankylä Geophysical Observatory (67° 22' N, 26° 38' E) the all-sky interferometric meteor radar (SKiYMET) is continuously operating since December 2008. The radar is designed for detecting ionized meteor trails at heights 80 -100 km. For the detected trails, their position, Doppler velocity of the scatter from these trails, and the decay time of the scatter from the trails are determined. Then, the Doppler velocity is used to estimate the atmospheric winds at these heights, while the height distribution of decay time is used to estimate the mesospheric temperature. Although the SKiYMET radar was primarily designed for atmospheric (mesospheric) research, several interesting phenomena related to meteor streams (showers) and specific properties of meteoroids were revealed in the meteor radar data. It was found that meteoroids of some showers produce ionization trails at altitudes noticeably exceeding those of sporadic meteors. Namely, the main northern hemisphere meteor showers (such as the Quadrantids, Lyrids, Eta Aquariids, Arietids, Perseids, Orionids, Leonids, and Geminids) are identified in the height distributions of meteor trails. This may be due to higher speed and/or lighter or less dense meteoroids belonging to the showers. Alternatively, it may be due to the fragmentation of large meteoroids, which occurs at higher altitudes and results in non-specular long-lasting radar echoes. In particular, the mesospheric temperature derived from meteor decay times appears systematically underestimated by 20 – 50 K during the Geminids meteor shower which has peak on 13 December. These observations are for a specific height - decay time distribution of the Geminids meteor trails, which indicate a larger percentage of overdense trails compared to that for sporadic meteors and, hence unusual properties (mass or chemical composition) of the Geminids meteoroids. Peculiarities of the height distributions of decay time were found also for some other meteor showers (e.g., Quadrantids and Perseids) and sporadic sources. Additionally, our investigations have revealed several unexpected phenomena and effects which may affect meteor radar output data due to imperfect algorithms of the identification of meteor trails. Such effects are signatures of fast temporal/spatial variations of auroral precipitation, detection of ionospheric irregularities associated with enhanced electric field, effects of dust and aerosols, and the perturbations caused by a rocket explosion in the ionosphere. These effects are to be considered to diminish their influence on the meteor count, neutral wind, and temperature data, which is of particular importance at high (auroral) latitudes. On the other hand, this experience shows capability of the meteor radar for monitoring ionospheric irregularities, aerosol (dust) particles, and related phenomena like polar mesosphere summer echo (PMSE) and rocket launches.

REFERENCES

Kozlovsky, A., Shalimov, S., Lester, M., ans Belova, E., 2021. Polar mesosphere summer echoes and possible signatures of pulsating aurora detected by the meteor radar. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, **126**, e2020JA028855.

Kozlovsky, A., Shalimov, S., Oyama, S., Hosokawa, K., Lester, M., Ogawa, Y., and Hall, C. 2019. Ground echoes observed by the meteor radar and high-speed auroral observations in the substorm growth phase. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, **124**, 9278– 9292.

Kozlovsky, A., Shalimov, S., Kero, J., Raita, T., and Lester, M., 2018. Multi-instrumental observations of nonunderdense meteor trails. *J. Geophys. Res. Space Physics*, **123**, 5974–5989.

Kozlovsky, A., Lukianova, R., Shalimov, S., and Lester M., 2016. Mesospheric temperature estimation from meteor decay times during Geminids meteor shower, *J. Geophys. Res. Space Physics*, **121**, 1669–1679.

Lukianova, R., Kozlovsky, A., and Lester, M., 2020. Signatures of meteor showers and sporadics inferred from the height distribution of meteor echoes. *Planetary and Space Science*, **189**, 104981

Lukianova, R., Kozlovsky, A., and Lester, M., 2018. Climatology and inter-annual variability of the polar mesospheric winds inferred from meteor radar observations over Sodankylä (67N, 26E) during solar cycle 24, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, **171**, 241-249.

Lukianova, R., Kozlovsky, A., and Lester, M., 2018. Recognition of meteor showers from the heights of ionization trails, *J. Geophys. Res. Space Physics*, **123**, 7067–7076.

Stober, G., Liu, A., Kozlovsky, A., Qiao, Z., Krochin, W., Shi, G., Kero, J., et al. 2023. Identifying gravity waves launched by the Hunga Tonga-Hunga Ha‘apai volcanic eruption in mesosphere/lower thermosphere winds derived from CONDOR and the Nordic Meteor Radar Cluster, *Ann. Geophys*., **41**, 197–208.

Large regional variability in the x-component of the magnetic variation field

O. Kärhä

[1] Sodankylä Geophysical Observatory, University of Oulu, otto.karha@oulu.fi

Abstract

The Scandinavian Magnetometer Array (SMA) was established as part of the International Magnetospheric Study (IMS) from 1976 to 1979, consisting of thirty-six modified field magnetometers spaced at 120 km intervals. Despite its dense coverage, data from these stations has remained largely unstudied for decades due to the slow manual digitization process. Recently, the semi-automatic DigiMAG digitization method has facilitated the efficient digitization of large datasets.

In this study, we utilized the DigiMAG method to digitize data from 32 SMA stations during a magnetic storm in December 1977. Combining this historical data with modern digital magnetic data, we observed significant storm-time regional variations at high latitudes. Specifically, we found large regional differences in the x-component of the magnetic variation field, with station-to-station differences up to 2 nT/km during strong magnetic storms and 7 nT/km for major scale geomagnetic storm.

Additionally, our analysis suggest that the disturbance-storm-time (Dst) index can serve as a proxy for station-to-station peak differences in the x-component, particularly for stations located on the night side of the Earth.

Effect of the dawn-dusk component of the interplanetary magnetic field on auroral electron precipitation

J. Laitinen, L. Holappa and H. Vanhamäki

[1] University of Oulu, jussi.laitinen@oulu.fi

Abstract

Electron precipitation into the Earth's ionosphere creating the aurora borealis is driven by the interplanetary magnetic field (IMF) carried by the solar wind. Electron precipitation is known to respond strongly to the north-south IMF (Bz) component. The currently used models assume equally strong electron precipitation for eastward and westward IMF (By) components. However, in this study we show that the electron precipitation is not equally strong for duskward and dawnward IMF, and that this IMF By dependence varies with the season. We show that electron precipitation is stronger on the dawnside in both hemispheres during the northern hemisphere winter (negative dipole tilt angle) for duskward IMF (positive IMF By). In northern hemisphere summer (positive dipole tilt angle) the IMF By dependence reverses. We show that the IMF By modulates the ionospheric conductivity in a similar way. This IMF By effect is important for ionospheric currents and thus also for related geomagnetically induced currents.

Statistics of traveling ionospheric disturbances at high latitudes using a rapid-run Ionosonde

Samson Moges[1], Ruslan Sherstyukov[1], Alexander Kozlovsky[1], Thomas Ulich[2,1], and Mark Lester[3]

[1]Sodankylä Geophysical Observatory, University of Oulu, Sodankylä, Finland,
[2]EISCAT Scientific Association, Kiruna, Sweden,
[3]Department of Physics and Astronomy, University of Leicester, Leicester, UK

Abstract

We carried out the statistical occurrence rate of medium scale traveling ionospheric disturbances (MSTIDs) during the recent low solar activity period (2018-2020) using Sodankylä rapid-run ionosonde. Convolutional Neural Networks (CNN) were applied to ionogram images for extracting critical frequency of the F2 layer (foF2) with 1-minute time resolution. In most cases, it is observed that the winter, summer and equinox months are characterized by having better occurrence rate of daytime, nighttime and duskside MSTIDs, respectively. The winter daytime higher (lower) occurrence rate is well correlated with the lower (higher) altitude of the height of the F2-layer peak (hmF2), and the low occurrence rate of the summer daytime is well correlated with the mesosphere-lower-thermosphere wind shear and higher gradient of temperature.

INTRODUCTION

Following the initial postulate by Hines (1960), TIDs are the ionospheric manifestations of atmospheric gravity waves (AGWs) whose impact affects the extent to which energy is conveyed and distributed throughout the earth's atmosphere away from the source of excitation. Due to their effects on radio frequencies that we rely on, TIDs have been extensively studied using different infrastructures such as SuperDARN (Bristow et al., 1996), Incoherent Scatter Radar (ISR) (Kirchengast et al., 1997), GPS (e.g Kotake et al., 2007; Moges et al., 2022), and ionosondes (Kozlovsky et al., 2013; Moges et al., 2024). Depending on the spatial and temporal scales, TIDs are classified as large-scale, LSTIDs and medium-scale, MSTIDs having periods 15 - 60 min and 60 - 120 min, respectively (Hunsucker, 1982).

Until recently, particularly during the daytime, experimental studies with better temporal resolution and long-term analysis of TIDs were limited in high latitudes due to lack of appropriate and continuous observation. In this work, we used the rapid-run ionosonde that allows us to study MSTIDs at all local times. We focused on studying the daily and seasonal behavior of MSTIDs (periods 25–100 min) at a fixed location during the recent low solar activity period (2018–2020) using the 1-min F2-layer critical frequencies (foF2) from the rapid-run Sodankylä ionosonde with using artificial intelligence (AI). This ionosonde enabled us to measure amplitude, period, and occurrence rate distributions at the same location.

METHOD OF ANALYSIS

In this study, we used the Sodankylä ionosonde located at Northern Finland (67.4°N, 26.6°E) to the equatorside of the nightside auroral oval. The ionosonde is a frequency-modulated, continuous wave (FM CW) chirp sounder (0.5–16 MHz), which transmits signals vertically up using a 64-m rhombic antenna. The radio signal is reflected from the height where the plasma frequency equals transmitter frequency. Sodankylä ionosonde produces ionograms with 1-min time resolution since 2007, and careful parameter scaling takes time allowing for half-hourly ionogram interpretation (full analysis every hour, frequencies only at half-hours). This time resolution is insufficient to investigate medium scale traveling ionospheric disturbances (MSTIDs). A deep learning approach was implemented to recognize traces in ionograms and scale the minute-by-minute values of F2 critical frequencies. An InceptionV3 CNN architecture was used to recognize the traces of the critical frequencies in ionograms. Therefore, 86,500 ionograms collected between 2010-2020 were used for training with the corresponding manually scaled parameters. The accuracy of classification in the validation data set showed 93% of correct predictions and the accuracy of regression in the validation data set showed RMSE of 0.16 MHz. The details on the scaling of ionogram parameters can be found in Sherstyukov et al., (2023).

RESULTS AND DISCUSSIONS

Three separate MSTID occurrence patterns were revealed. These are when the peak occurrence rate is during the daytime, when the peak occurrence rate is during the nighttime and when there is a peak in occurrence rate near dusk corresponding to winter, summer and equinox seasons respectively.

During winter, the MSTID occurrence rate peaked at over 50% in the daytime and tends to cease in the post afternoon and morning hours. Interestingly the increase/decrease of the occurrence rate coincides with the decrease/increase of the hmF2 altitude. We have less confidence about MSTIDs occurrence rate for winter nighttime compared to other time periods, due to the low data availability.

During summer, an opposite trend of MSTID behavior to that from Winter is revealed. A high MSTID occurrence rate of more than 40% is observed in the nighttime between 21:00 and 01:00 UT. The MSTID occurrence rate is less than 30% between 01:00 and 15:00 UT. The time interval between 15:00 and 21:00 UT seems to be a transition period between day and night with an occurrence rate around 40%. Due to the wind shear and the temperature gradient at mesopause just observed in Figure 1b, a mechanism other than AGWs from lower atmosphere should play the main role in the generation of nighttime MSTIDs during summer.

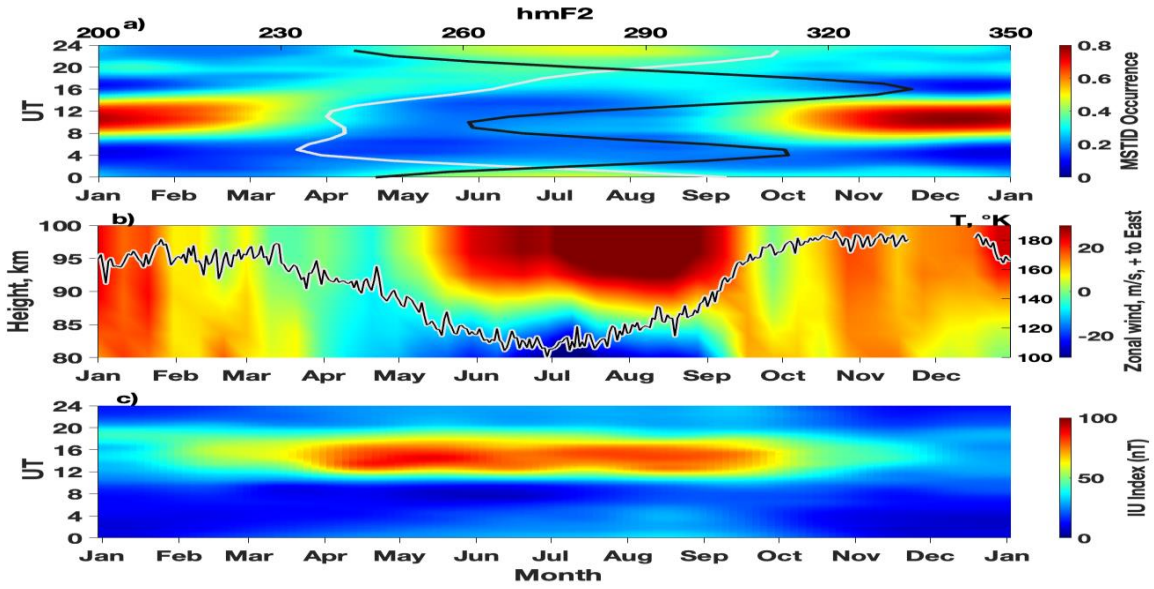


Figure 1) (a) The occurrence rate distribution of TID with IRI-2016 provided hmF2 (Top axis)) for Sodankylä during December (black dashed line) and July (white dashed line) are overlaid, (b) Wind-shear calculated from zonal wind velocity with the mesospheric temperature (Right axis) overlaid (black line) from Sodankylä meteor radar, and (c) IU-index (IMAGE electrojet index (eastward)) obtained from International Monitor for Auroral Geomagnetic Effects (IMAGE) magnetometer network.

In Figure 1a, during Spring the MSTID occurrence rate increases up to 40% at dusk and lasts for approximately 2 hr. The behavior is seen as band of increased MSTIDs occurrence rate which tends to change appearance time from 13:00 UT in mid-April to 19:00 UT in mid-June (6 min/day, the onset (or occurrence) of MSTIDs changes with time at a rate of 6 min per day). The opposite shift of the TID appearance time from 19 to 13:00 UT is observed in autumn September to mid-October (8 min/day). The duskside MSTIDs can be triggered by sharp energy changes as the solar terminator progresses eastward (Kotake et al., 2007)

CONCLUSION

- High MSTID occurrence rate of more than 50% prevails during daytime hours in winter months.
- Low MSTIDs occurrence rate of less than 30% is observed during daytime in summer. Such behaviors are related with a strong decrease of AGWs energy transfer to ionospheric heights, due to both wind shear effect and cold mesosphere temperature conditions in summer.
- High MSTIDs occurrence rate of more than 40% is observed during nighttime in summer.
- The dusk MSTIDs are observed during equinox with an occurrence rate up to 40%. The sunset terminator is considered as a potential source of these MSTIDs.

Acknowledgment

This research is conducted under the Ionospheric Situational and Awareness (ISAw) project funded by Kvantum Institute at the University of Oulu. We convey our special gratitude to Sirkku Välitalo for her dedication and careful scaling of ionograms at Sodankylä Geophysical Observatory.

References

Bristow, W., Greenwald, R., & Villain, J., 1996. On the seasonal dependence of medium-scale atmospheric gravity waves in the upper atmosphere at high latitudes. *Journal of Geophysical Research, 101*(A7), 15685–15699.

Kirchengast, G., 1997. Characteristics of high-latitude TIDs from different causative mechanisms deduced by theoretical modeling. *Journal of Geophysical Research, 102*(A3), 4597- 4612.

Hunsucker, R. D., 1982. Atmospheric gravity waves generated in the high-latitude ionosphere: A review. *Reviews of Geophysics, 20*(2), 293–315.

Kotake, N., Otsuka, Y., Ogawa, T., Tsugawa, T., & Saito, A., 2007. Statistical study of medium scale traveling ionospheric disturbances observed with the GPS networks in southern California. *Earth Planets and Space, 59*(2), 95–102.

Kozlovsky, A., Turunen, T., & Ulich, T., 2013. Rapid-run ionosonde observations of traveling ionospheric disturbances in the auroral ionosphere. Journal of Geophysical Research: Space Physics, **118**(8), 5265–5276.

Moges, S. T., Giday, N. M., Chekole, D. A., Ulich, T., & Sherstyukov, R., 2022. Storm-time observations of traveling ionospheric disturbances and ionospheric irregularities in East Africa. *Radio Science, 57*(8), e2022RS007426.

Moges, S.T., Sherstyukov, R.O.,Kozlovsky, A., Ulich, T., & Lester, M., 2024. Statistics of traveling ionospheric disturbances at high latitudes using a rapid-run ionosonde. Journal of Geophysical Research: SpacePhysics,129, e2023JA031694.

Sherstyukov, R., Kozlovsky, A., Ulich, T., & Moges, S. (2023). Deep learning for ionogram parameters scaling at polar region ionosphere. In 2023XXXVTH general assembly and scientific symposium of the international union of radio science (URSI GASS) (pp. 1–4)

Pakkasjäristykset Pohjois-Suomessa

Nikita Afonin[1], Elena Kozlovskaya[1], Kari Moisio[1], Jarkko Okkonen[2], Emma-Riikka Kokko[1]

[1]Oulu Mining School, Oulun yliopisto
[2]Geologian tutkimuskeskus

Abstract

We present results of seismic experiment in northern Finland during winter, 2022-2023, that studied seismic events, specifically frost quakes, their occurrence and locations. Two high-resolution seismic arrays with co-located soil temperature stations were installed at two sites in Finland, one in Oulu and one in Sodankylä. Both arrays recorded seismic data for six months and results show that cryoseismic events seem to occur quite intensively when the conditions for such events are favourable.

1. JOHDANTO

Pakkasjäristykset ovat seismisiä tapahtumia, jotka johtuvat maaperässä olevan veden nopeasta jäätymisestä. Näistä voidaan käyttää myös yleisempää nimitystä kryoseisminen tapahtuma, mikä käsittää kaikki jäätyneessä materiaalissa tapahtuvat seismiset ilmiöt (Battaglia ja Changnon, 2016). Pakkasjäristykset eroavat enemmän tunnetusta routimisilmiöstä niiden tapahtumanopeuden osalta. Pakkasjäristykset on ilmiönä tunnettu jo pitkään, ja joitain tutkimuksia aiheesta on aiemmin julkaistu (esim. Battaglia ja Changnon, 2016; Laccroix, 1980). Näiden perusteella on päätelty, että pakkasjäristykset ovat yleisimpiä talven ääriolosuhteissa, jolloin märkä, lumeton maanpinta jäätyy nopeasti. Oleellisia tekijöitä ovat siten mm. ilman lämpötilan nopea muutos, veden läsnäolo maaperässä ja lumipeitteen paksuus. Näiden olosuhteiden ollessa otolliset on todettu, että pakkasjäristykset ovat myös teoreettisesti mahdollisia (Okkonen et al., 2020) Havaintoja tällaisista tapahtumista on yleisesti aiemmin kerätty mm. sosiaalisen median avulla.
Pohjois-Suomessa tehtiin talvella 2022–23 tutkimus, missä ensimmäisiä kertoja pyrittiin instrumentaalisesti rekisteröimään erityisesti kyseisiä seismisiä tapahtumia. Tutkimusalueille Ouluun ja Sodankylään asennettiin kaksi seismistä asemaverkkoa, joiden avulla pyrittiin havaitsemaan ja myös paikantamaan pakkasjäristyksiä. Tutkimus liittyy Suomen akatemian rahoittamaan *'Urban environment and climate change in the arctic: data-driven intelligence approach to multihazard mitigation'* hankkeeseen.

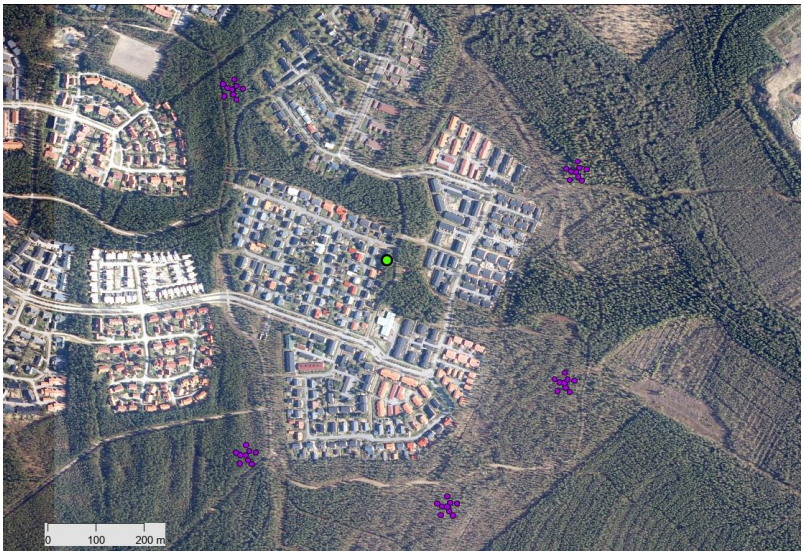
2. DATAN HANKINTA

Seismiset asemaverkot Oulussa ja Sodankylässä käsittivät yhteensä 90 seismistä kolmikomponenttista autonomista asemaa FLEX-EPOS seismisestä instrumenttikonsortiosta (Kuva 1).



Kuva 1. Tutkimuksessa käytettyä seismistä kalustoa, geofoneja sekä dataloggereita (Kuva K. Moisio)

Yksittäiset asemat asennettiin aina yhdeksän aseman verkoiksi, millä pyrittiin vahvistamaan seismistä signaalia yksittäisen verkon sisällä. Kaikkiaan näitä asemaverkko oli 10 kappaletta, jotka pyrittiin sijoittamaan tutkimusalueelle mahdollisimman kattavasti (Kuva 2 ja 3). Seisminen mittaus oli käynnissä marraskuusta 2022 aina huhtikuun 2023 loppuun asti. Lisäksi alueille oli asennettu maa-asemat eli maan lämpötilan ja kosteuden mittausasemat, joissa kyseisiä suureita mitattiin maaperän eri syvyyksillä (Kuva 4).



Kuva 2. Seisminen asemaverkko Oulussa, violetit pisteet osoittavat yksittäisten asemien paikat. Maa-aseman paikka vihreällä ympyrällä (sisältää Maanmittauslaitoksen ilmakuva-aineistoa 2023).



Kuva 3. Seisminen asemaverkko Oulussa, sinisetpisteet osoittavat yksittäisten asemien paikat. Maa-aseman paikka vihreällä ympyrällä (sisältää Maanmittauslaitoksen ilmakuva-aineistoa 2023).

.

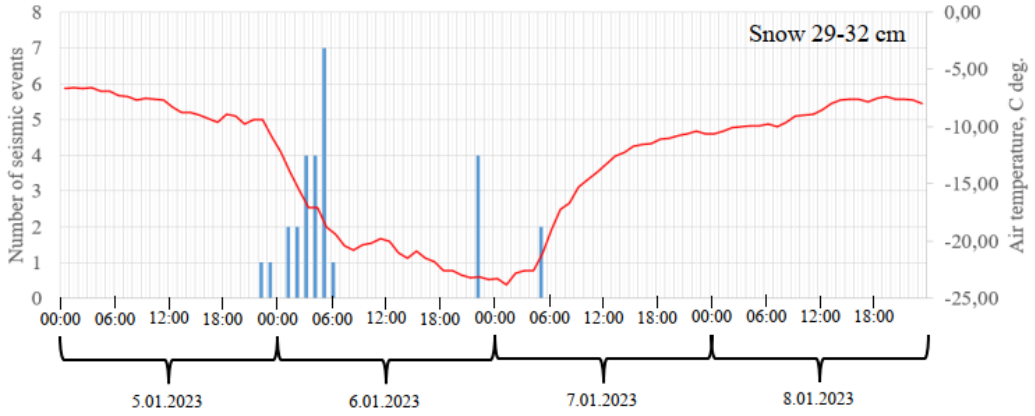


Kuva 4. Maa-aseman asennusta (Kuva K. Moisio).

3. TULOKSET

Havaintojakson aika havaittiin runsaasti seismisiä ilmiöitä molemmilla tutkimusalueilla, jotka identifioitiin kryoseismisiksi alkuperältään. Rekisteröintijakson aikana tehdyistä havainnoista pystyttiin erottamaan kahdentyppisiä ilmiöitä, pakkasjäristyksiä sekä pakkasvärinöitä. Pääasiallinen ero näillä on niiden esiintymistaajuudella (Afonin et al., 2023). Pakkasjäristykset

muistuttavat tyypillistä tektonista maanjäristystä aaltomuodoltaan ja näiden taajuudet olivat tyypillisesti 10–20 Hz:n välillä. Pakkasvärinät olivat aaltomuodoltaan epäsäännöllisempiä, hyvin korkeataajuisia (120–180 Hz) ja pitkäkestoisempia ilmiöitä. Pakkasvärinät ovat yleisempiä, voimakkuudeltaan myös tyypillisesti hyvin matalia. Niitä voi esiintyä lukuisia optimaalisten olosuhteiden aikana. Pakkasjäristykset taas ovat selvästi harvemmin esiintyviä ja voimakkuudeltaan isompia tapahtumia. Kuvassa 5 on esitetty muutaman päivän ajanjaksolla tammikuun 2023 alussa havaitut pakkasjäristykset Oulun tutkimusalueella. Näiden tapahtumien paikannetut sijainnit osoittivat, että näitä ilmiöitä tapahtuu alueellisesti myös hyvin erilaisissa ympäristöissä.



KIITOKSET

Kiitämme Suomen akatemiaa tutkimuksen rahoittamisesta, FLEX-EPOS konsortiota seismisistä laitteista ja datan hallinnasta sekä Sodankylän Geofysiikan observatoriota tutkimusyhteistyöstä.

VIITTEET

Afonin, N., Kozlovskaya, E., Moisio, K., Kokko, E. R., & Okkonen, J. (2024). Frost quakes in wetlands in northern Finland during extreme winter weather conditions and related hazard to urban infrastructure. *The Cryosphere*, *18*(5), 2223-2238.

Battaglia, S., & Changnon, D., 2016. Frost Quake Events and Changing Wintertime Air Mass Frequencies in Southeastern Canada.

Lacroix, A. W. 1980. A Short Note on Cryoseisms. Earthquake Notes 51: 15-20

Okkonen, J., Neupauer, R. M., Kozlovskaya, E., Afonin, N., Moisio, K., Taewook, K., & Muurinen, E. (2020). Frost quakes: Crack formation by thermal stress. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 125, e2020JF005616. https://doi.org/10.1029/2020JF005616

Solar activity parameters do no longer follow each other: What happens in the solar atmosphere?

K. Mursula[1]

[1] University of Oulu, Space physics and astronomy, Space Climate Group, Oulu, Finland, kalevi.mursula@oulu.fi

Abstract

The Sun experienced a period of unprecedented activity during solar cycle 19 in 1950s and 1960s, now called the Modern Maximum (MM). The decay of the MM has changed the Sun, the heliosphere and the planetary environments in many ways. Here we study if this decay has proceeded synchronously in all solar parameters. We find that the 10.7cm radio flux has increases relative to sunspot numbers from 1970s to 2010s. We also find that other solar parameters like solar UV irradiance also increased with respect to the sunspot number, indicating a difference in the long-term evolution in chromospheric and photospheric parameters. These results give evidence for important structural changes in solar magnetic fields and solar atmosphere during the decay of the MM when solar activity weakened considerably. We also discuss the implication of these changes to the long-term evolution of the Earth's ionosphere.

1. JOHDANTO

Auringon magneettinen aktiivisuus saavutti ennätystason syklin 19 aikana 1950-luvulla. Tätä 1900-luvun korkeiden syklien aikaa kutsutaan nykyään Auringon aktiivisuuden Moderniksi Maksimiksi (MM). Auringon aktiivisuus on laskenut Modernin Maksimin jälkeen siten, että syklien huippujen korkeus on pienentynyt syklin 19 maksimista edelliseen sykliin 24 nähden tekijällä 2,4. Tämä aktiivisuuden lasku on myös muuttanut Auringon hallitsemaa avaruutta eli heliosfääriä ja planeettojen avaruusympäristöjä monin tavoin.

Tässä esityksessä tutkimme sitä, onko Auringon aktiivisuuden heikkeneminen 1900-luvulta 2000-luvulle tapahtunut samassa tahdissa eli synkronisesti erilaisissa Auringon aktiivisuutta kuvaavissa parametreissa. Kukin aurinkoparametri kuvaa Auringon aktiivisuutta ja toimintaa tietyllä Auringon ilmakehän kerroksella ja/tai tuottomekanismilla. Tutkimalla useita Auringon aktiivisuutta kuvaavia parametreja saadaan monipuolinen kuva mahdollisista muutoksista.

Kaksi tärkeintä Auringon pitkäaikaista toimintaa kuvaavaa parametria ovat auringonpilkut, jotka näkyvät Auringon ilmakehän alimmassa kerroksessa eli fotosfäärissä sekä Auringon radiovuomittaus 10.7 senttimetrin alueella, ns. 10.7cm radiovuo, joka syntyy pääosin jarrutussäteilyllä Auringon kromosfäärissä. Auringonpilkkuja on mitattu jo 400 vuotta, mutta radiovuotakin jo vuodesta 1947, mikä mahdollistaa Modernin Maksimin laskuajan tutkimisen näiden parametrien avulla. Molempien parametrien on havaittu heikkenevän merkittävästi

Modernin Maksimin jälkeen. Aiemmat tutkimukset eivät ole kuitenkaan yhtenäisiä sen suhteen, säilyykö pilkkujen ja radiovuon synkronisuus tässä muutoksessa. Parissa aiemmassa julkaisussa (mm. Clette 2021) on havaittu, että radiovuo kasvaa suhteessa pilkkuihin tänä aikana, ja syyksi on esitetty radiovuon epähomogenisuus. Tämä olisi merkittävää isku sille, että Auringon pitkäaikaista toimintaa voitaisiin tutkia luotettavasti.

2. TULOKSIA

Tutkimuksessamme (Mursula et al. 2024) osoitamme, että 10.7 senttimetrin radiovuo todellakin kasvaa suhteessa auringonpilkkuihin vuosikymmenien 1960 ja 2010 välillä noin 20 prosentilla. Paitsi Kanadassa mitattua 10.7cm radiovuota, me käytämme tässä myös Japanissa tehtyjä radiovuon mittauksia, jotka alkavat jo 1950-luvulta, vähän ennen Modernin Maksimin huippua. Japanissa on mitattu neljää eri radiovuota, joista kaksi on pidempiaaltoista (15cm ja 30cm) ja kaksi lyhempiaaltoista (3.2cm ja 8cm) radiosäteilyä kuin 10.7cm. Kaikki neljä japanilaista radiovuota kasvavat nekin suhteessa auringonpilkkuihin samana aikana. Tämä osoittaa sen, että 10.7cm radiovuon mittaus on homogeeninen ja että Auringossa tapahtuu merkittävä muutos fotosfääriä ja kromosfääriä kuvaavien parametrien suhteessa.

Erityisen mielenkiintoinen oli se havaintomme, että myös radiovoitten keskinäinen suhde muuttui tuona aikana. Pidemmät aallot kasvoivat enemmän kuin lyhemmät ja näiden erot olivat tilastollisesti erittäin merkittäviä. Näin ollen ratkaisu ongelmaan ei ole se, että auringonpilkut olisivat epähomogeeninen aikasarja. Tämä tarkoittaa myös sitä, että Auringon spektrin radiovuoalueella tapahtuu merkittävä muutos kyseisenä aikana, jolloin Auringon aktiivisuus laskee huomattavasti. Me esitämme, että nämä muutokset voidaan ymmärtää Auringon kromosfäärissä ja koronassa tapahtuvilla muutoksilla, jossa ilmakehän plasman määrä vähenee ja korkeusjakauma muuttuu Auringon aktiivisuuden heiketessä.

Tutkimme myös muita kromosfäärin toimintaa ja rakennetta kuvaavia parametrejä, kuten UV-säteilyn määrää mittaavaa MgII-indeksiä ja kromosfäärin aktiivisten alueiden määrää. Nämäkin parametrit kasvoivat suhteessa auringonpilkkuihin nähden, joskin vähemmän kuin radiovuot. Tämä vahvistaa sen, että Auringon ilmakehän eri kerrokset muuttuvat suhteessa toisiinsa nähden 1960-luvun ja 2010-luvun välillä Auringon aktiivisuuden hiipuessa.

Tässä kontribuutiossa kerromme näistä tuloksista ja niiden merkityksestä Auringon ilmakehän ja magneettikentän rakenteen muutokselle. Esitämme myös tuloksia siitä, miten Maan ionosfääri, joka riippuu mm. Auringon EUV-säteilystä, reagoi näihin muutoksiin.

REFERENCES

Clette, F. 2021. Is the F10.7cm-sunspot number relation linear and stable? *J. Space Weather Space Clim.*, **11**, 2.

Mursula, K. et al., 2024. Transition to a weaker Sun: Changes in the solar atmosphere during the decay of the Modern maximum, *Astron. Astrophys.*, **685**, A170, https://doi.org/10.1051/0004-6361/202449231.

Suomen ensimmäiset revontulikuvaukset Sodankylän geofysiikan observatoriossa 1927–1929

Heikki Nevanlinna

Ilmatieteen laitos, heikki.nevanlinna@gmail.com

Abstract

Auroral photography started in 1927 at the Sodankylä Geophysical Observatory (SGO) by the initiative of famous Norwegian scientist Carl Störmer. In less than two years about 600 photographs of auroras were taken at Sodankylä. Some of the images were obtained simultaneously at auxiliary stations for parallactic determinations of the height of auroral arcs. Auroral photographs were taken by Dr. Eyvind Sucksdorff with his assistant Ms. Annikki Sucksdorff.
Most of the pictures of auroras were lost in the destruction of the SGO during the war in 1944. About 200 images were rescued in the archive of the Finnish Meteorological Institute where they have been recently found. These pictures of auroras are the first ones taken in Finland. These photographs are now digitized and archived in the SGO.
The main sources of information about the history of auroral images are hand-written notebooks of Eyvind Sucksdorff for 1927–1929. They contain relevant data for each photograph (date, exposure time, orientation of camera etc.).
In Finland, Eyvind Sucksdorff´s contribution to studies of auroras was a pioneering effort with minimal resources. Regular photographing of auroras started in Finland during the International Geophysical Year (IGY) 1957–1958.

1. JOHDANTO

1900-luvun alussa yläilmakehän tutkimuksen keskeisiä kohteita olivat revontulet ja erityisesti revontulien esiintymiskorkeuksien tarkat mittaukset. Revontulien korkeusmittauksissa läpimurto saavutettiin Norjassa, missä Oslon yliopiston matematiikan professori Carl Störmer (1874–1957) ja hänen työryhmänsä saivat valokuvauksien avulla tarkan selvyyden revontulivalojen korkeusjakaumasta. Valokuvaukset suoritettiin kahdella eri paikkakunnalla Norjassa samanaikaisesti puhelinyhteyden avulla, jolloin kolmiomittausperiaatteella revontulien korkeudet saatiin selville. Norjalaisten työ revontulien parissa alkoi vuonna 1909, ja vuoteen 1940 mennessä revontulivalokuvia oli kertynyt useita kymmeniä tuhansia. Niiden perusteella Störmerin työryhmä sai tulokseksi, että esimerkiksi revontulikaarien alareuna on tyypillisesti noin 100 kilometrin korkeudella, mutta voi olla tilapäisesti huomattavasti matalammallakin (Egeland and Burke, 2013).

2. REVONTULIKUVAUKSET ALKAVAT SODANKYLÄSSÄ

Norjalaisten revontulien korkeusmittausten kannalta oli tärkeää saada revontulikuvauksia myös maan rajojen ulkopuolelta napapiirin pohjoispuolelta. Tuolloin Sodankylän observatorio oli ainoa kysymykseen tuleva kuvauspaikka aivan revontulivyöhykkeen tuntumassa. Tämä siksi, että Sodankylässä oli kuvauksiin tarvittava osaava henkilökunta ja observatorion infrastruktuuri tuki mittauksien menestyksellistä suorittamista. Näissä merkeissä Carl Störmer vieraili Sodankylän observatoriossa syyskuussa 1927, kun observatorion uusi johtaja Eyvind Sucksdorff (1899–1955) oli juuri astunut virkaansa. Sucksdorffilla oli laaja kokemus valokuvauksesta ja hänen yliopisto-opintoihinsa kuului tähtitieteen arvosana, joten hänellä oli täydet valmiudet uuteen toimintaan revontulien parissa. Jo saman vuoden syksynä kuvausohjelma käynnistyi Sodankylässä ja sivuasemalla Kelujärvellä. Ensimmäiset kuvat otettiin marraskuussa 1927. Kuvaustyön tarkoituksena oli revontulien sijainnin ja esiintymiskorkeuden täsmällinen määrittäminen parallaktisten, siis kahdesta paikasta samanaikaisesti otettujen valokuvien perusteella. Kuvaukset tehtiin Krognessin ja Störmerin kehittämällä erikoiskameralla.

Vuosina 1927–1929 revontulikuvaukset Sodankylän observatoriossa tehtiin tuulihavainto-pallojen (pilotpallot) noin 15 metriä korkeasta lähetystornista. Vuonna 1930 observatorion päärakennuksen katolle rakennettiin havaintotorni revontulikuvauksia varten, josta oli esteetön näköala kaikkiin ilmansuuntiin. Samanaikaisia revontulikuvauksia varten perustettiin sivuasema Kelujärvelle, noin 20 kilometriä itäkoilliseen Sodankylän Tähtelän observatoriosta. Siellä paikallinen kansakoulunopettaja teki tarvittavat kuvaukset. Revontulikuvauksien vaatima valokuvauksien samanaikaisuus hoidettiin erillisellä suoralla puhelinlinjalla sivu-aseman ja observatorion välillä.

Eyvind Sucksdorff piti revontulikuvauksista yksityiskohtaista havaintopäiväkirjaa. Siihen on merkitty tiedot jokaisesta yksittäisestä revontulikuvasta. Niistä selviää valokuvan ottohetken aika ja valotuksen kesto sekä tieto siitä mihin tähdistöön tai yksittäiseen kirkkaaseen tähteen kamera oli suunnattu. Revontulikuvien valotusaika vaihteli 2 – 60 sekuntiin.

Sodankylän observatoriossa ei ollut kaksoiskuvien revontulimuotojen tarkkoihin mittauksiin tarvittavaa projektoria eikä observatoriossa ollut sähkövaloja lainkaan, joten revontulikuvien riittävän valovoimainen optinen tarkastelu oli mahdotonta suorittaa. Revontulikuvia lähetet-tiinkin Oslon yliopistoon professori Störmerin kuvalaboratorioon tarkempiin mittauksiin ja tutkimuksiin. Revontulipäiväkirjan mukaan vuosina 1927–1929 revontulikuvia postitettiin Osloon prof. Störmerin revontulilaboratorioon noin 150 kappaletta. Tiedossa ei ole miten paljon Sodankylän simultaanisia revontulikuvia käytettiin Oslossa revontulien paikka-analysoinneissa.

3. REVONTULIKUVIEN VAIHEET OBSERVATORION TUHON JÄLKEEN

Saksalaiset sotajoukot tuhosivat täydellisesti ja mitä perusteellisemmin kaikki Sodankylän observatorion rakennukset, kirjaston ja koko arkiston lokakuussa 1944 . Hävitetyksi joutuivat ilmeisesti myös revontulikuvauksien alkuperäiset lasinegatiivit. Ilmatieteen laitoksen arkistossa on ollut tallessa revontulikuvien paperiversioita ajalta 1927–1929 kaikkiaan yli 200 korkeatasoista valokuvaa, jotka muodostavat pääosan tässä kirjoituksessa käytetystä kuva-aineistosta. Näin kadoksissa on noin 400 valokuvaa, mutta nyt käytössä olevat kuvat

muodostavat kuitenkin noin kolmasosan kaikista valokuvista. Niiden perusteella on voitu tuottaa edustava kokoelma Sodankylässä tehdyistä revontulikuvista 1927–1929. Kuvat ovat kooltaan 4 x 4 cm. Kukin niistä on ollut osa kuuden valokuvan kokonaisuudesta, kun Störmer-kameralla valotettiin liikuteltavan objektiivin avulla 9 x 13 cm kokoista lasi-negatiivia. Nämä 226 valokuvaa ovat osa kaikkiaan yli 600 valokuvan kokoelmasta vuosilta 1927–1929, kun Sodankylän observatoriossa oli käynnissä revontulien kuvauskampanja. Revontulihavaintoja jatkettiin Sodankylässä 1930-luvun loppuun saakka, mutta pääasiassa vain visuaalisilla havainnoilla.

Vaikka suurin osa Sodankylän geofysiikan observatorion revontuliarkistosta tuhoutui Lapin sodassa 1944, niin noin kolmannes kaikista lähes 600 alkuperäisistä revontulikuvista on säilynyt kopioina Ilmatieteen laitoksen arkistossa, mutta vasta nyt ne ovat löytyneet päivän-valoon. Koko kuva-aineisto ja muu siihen liittyvä materiaali on nykyisin Sodankylän geofysiikan observatorion hallussa.

Sodankylän geofysiikan observatoriossa otetut revontulikuvat 1927–1929 ovat historiallisia, koska ne ovat ensimmäiset laatuaan Suomessa. Uudelleen revontulikuvaukset aloitettiin Suomessa Kansainvälisen geofysiikan vuoden (IGY) aikana 1957–1958. Sodankylän geofysiikan observatorio oli yksi kameroiden sijoituspaikoista. Revontulikuvaukset ovat tänään yksi keskeinen alue Ilmatieteen laitoksen ja Sodankylän geofysiikan observatorion ylläpitämissä avaruussään monitoroinnissa ja tutkimuksissa.



Rauhallinen revontulikaari kuvattuna Sodankylän Tähtelässä 13.3.1928 klo. 20:32 UT. Valotusaika on 39 sekuntia. Kuva on otettu kohti Härän tähtikuviota länteen. Vasemmassa yläkulmassa näkyy Seulasten (Plejadit) tähtijoukko. Alhaalla lumen peittämä Kitinen ja metsikköä. (Kuva: Eyvind Sucksdorf/SGO).

4. KIRJALLISUUS

Egeland, A. and Burke, W. J., 2013. Carl Störmer, Auroral Pioneer, Springer Astrophysics and Space Science Library, Vol. 393, 195 pp.

Keränen, J., 1940. Revontulet. Matemaattisten aineiden aikakauskirja, 1-2, 90–108.

Keränen, J., 1944. Katsaus Sodankylän observatorion toimintaan vuosina 1943–1944. Suomalainen Tiedeakatemia - esitelmät ja pöytäkirjat 1944, 75–85.

Nevanlinna, H. (Toim.), 2017. Sodankylän geofysiikan observatorio 1913–2013 - sata vuotta havaintoja ja tutkimusta. Oulun yliopisto, 257 s.

Nevanlinna, H., 2018. Geofyysikko Eyvind Sucksdorff - havaintojen taituri. Suomen Tiedeseura, Bidrag till kännedom av Finlands natur och folk, No. 205, 183 s.

Nevanlinna, H., 2023. Revontulihavainnot Sodankylässä 1882–1944. Sodankylä Geophysical Observatory - Publications, 116, 52 s.

Nevanlinna H., 2023. Suomen vanhimmat revontulikuvat löytyivät. Tähdet ja Avaruus, 8/2023, 36–40.

Nevanlinna, H., 2024. Sodankylän geofysiikan observatorion vaiheet. Tieteessä Tapahtuu, 1/2024, 17–22.

Nevanlinna, H. and Pulkkinen, T.I., 2001. Auroral observations in Finland - Results from all-sky-cameras 1973–1997. Journ. Geophys. Res., 106, 8109-8118.

Nevanlinna, H. and Tanskanen E.I., 2024. Early auroral phtography and observations at the Sodankylä Geophysical Observatory in Finland, 1927–1929. History of Geo- and Space Sciences (submitted).

Sucksdorff, E., 1929. Revontulten tutkimisesta. Nuori Voima, 1, 11–13.

Sucksdorff, E., 1932. Revontulten etuvartio - Sodankylän Tähtelä napaseutuvuonna 1932–1933. Nuori Voima, 4, 102–104.

Sucksdorff, E., 1952. The Geophysical Observatory Sodankylä. Geophysica, 5, 17–47.

Sucksdorff, E., 1953. Revontulten arvoitus. Tähtitiedettä harrastajille III - Ursa, 65–76.

Eyvind Sucksdorffin (1899–1955) syntymästä 125 vuotta

Heikki Nevanlinna

Ilmatieteen laitos, heikki.nevanlinna@gmail.com

Abstract

Eyvind Sucksdorff (1899–1955) 125 years. Sucksdorff was the director of the Sodankylä observatory 1927–1945. During the 1930s the Sodankylä observatory developed to high-level geophysical observatory with international standards. This progress was mainly due to efforts of E. Sucksdorff.

1. JOHDANTO

Sodankylän Geofysiikan Observatorion viidennen johtajan Eyvind Sucksdorffin syntymästä on tänä vuonna kulunut 125 vuotta. Sucksdorff syntyi Keski-Suomen Vesannolla 7.4.1899. Eyvindin isä oli Jean Sucksdorff (1866–1936) ja äiti Aina Maria Lönn (1876–1952). Perhe muutti Karjalan kannakselle Jääskeen vuonna 1903, missä proviisori Jean Sucksdorff toimi paikkakunnan apteekkarina.

Eyvind tuli ylioppilaaksi Viipurin lyseosta vuonna 1918. Samana keväänä hän osallistui yhdessä isänsä kanssa sisällissodan taisteluihin valkoisten puolella Karjalan rykmentissä.

Eyvind Sucksdorff aloitti opiskelut Helsingin teknillisessä korkeakoulussa syksyllä 1918. Hän oli innokas tähtitieteen harrastaja ja toimi vastaperustetun tähtitieteellisen seuran Ursan sihteerinä 1922–1924. Valokuvaus kuului myös hänen harrastuksiinsa. Eyvind oli mukana Nuori Voima -aikakauslehden valokuvauspalstan toimittajana.

Professori Yrjö Väisälän tähtitieteen ja fysiikan opetus houkutteli Eyvindin siirtymään Helsingistä Turun yliopistoon, missä hän aloitti opinnot vuonna 1924. Matematiikassa Eyvind seurasi prof. Kalle Väisälän luentoja. Filosofian maisteriksi Eyvind Sucksdorff valmistui Turun yliopistosta vuonna 1933.

2. SODANKYLÄN OBSERVATORION JOHTAJA

Syksyllä 1927 Eyvind Sucksdorff avioitui lääketieteen kandidaatti Annikki Santaholman (1904–1986) kanssa. Samaan aikaan Suomalainen Tiedeakatemia valitsi Yrjö Väisälän ehdottamana Eyvind Sucksdorffin Sodankylän observatorion johtajaksi ja pariskunta muutti Sodankylään. Annikki sai tehtäväkseen toimia observatorion havaintoassistenttina.

Alkuvuodesta 1928 pariskunnalle syntyi esikoispoika Christian (1928–2016) ja myöhemmin Esra (1929–) ja Liisa (1931–).

Vuonna 1913 perustettu Sodankylän observatorio oli koko nimeltään Suomalaisen Tiedeakatemian magneettinen observatorio, koska sen päätehtävä oli toimia Lapin alueella tehtävien magneettisten kartoitusmittausten tukiasemana. Mittauksista vastasi Ilmatieteen laitos.

Eyvind Sucksdorffin toimikauden alussa hänen tehtäviinsä kuuluivat säännölliset ilmatieteelliset havainnot osana Ilmatieteen laitoksen säähavainnointia. Sodankylä oli maailman uloin geofysikaalinen observatorio napapiirin pohjoispuolella ja Ilmatieteen laitoksen pohjoisin sääasema. Henkilökuntaa näihin tehtäviin oli Sucksdorffien lisäksi vahtimestari.

Sodankylän observatoriota hallinnoi Suomalainen Tiedeakatemia. Sen johto-organisaation (observatoriotoimikunta) puheenjohtajana toimi tuolloin observatorion perustaja Ilmatieteen laitoksen johtaja prof. Gustaf Melander (1861–1938).

3. OBSERVATORION TOIMINTA LAAJENEE

Tärkeä tapahtuma oli, kun kuuluisa norjalainen revontulitutkija Carl Störmer (1874–1957) tutkimusryhmineen vieraili observatoriossa syksyllä 1927. Norjalaisten ehdotuksesta Sodankylässä aloitettiin revontulien valokuvaukset kahdella paikkakunnalla (Tähtelä ja Kelujärvi). Revontulikamerat oli hankittu observatorioon jo vuonna 1919 Melanderin aloitteesta. Sucksdorff oli taitava valokuvaaja ja tähtitiedekin oli hyvin hallussa, joten hänellä oli kaikki valmiudet vaativiin revontulikuvauksiin. Ensimmäiset revontulikuvat saatiin jo marraskuussa 1927. Maaliskuuhun 1929 mennessä kuvia oli kertynyt jo noin 600. Revontulihavaintoja jatkettiin Sodankylässä Polaarivuonna 1932–1933 ja sen jälkeenkin aina 1930-luvun loppuun saakka.

Sodankylän observatorio valmistautui Kansainvälisen polaarivuoden 1932–1933 havainto-ohjelmaan lisäämällä observatorion havaintokohteita. Mukaan tulivat ilmasähköiset rekisteröinnit, magneettisten maavirtojen havainnot sekä geomagneettisen induktion kautta syntyvät sähkömagneettiset ilmiöt. Polaarivuoden havainto-ohjelmaan kuului myös runsaasti Ilmatieteen laitoksen erikoishavaintoja.

Observatorio oli havaintokohteiden laajuudessa verrattavissa Sodankylässä ensimmäisen kansainvälisen polaarivuoden aikana 1882–1884 toimineeseen observatorioon. Suomalainen Tiedeakatemia nimesikin observatorion Sodankylän Geofysiikan Observatorioksi vuonna 1933. Eyvind Sucksdorffin johtamasta pienestä magneettisesta observatoriosta oli kehittynyt alle kymmenessä vuodessa merkittävä kansainvälisesti orientoitunut tutkimusyksikkö.

Sodankylän observatorion toimintaa tuli Polaariohjelmassa Ilmatieteen laitos ja erityisesti sen johtaja prof. Jaakko Keränen (1883–1979), joka oli toiminut Sodankylän observatorion ensimmäisenä johtajana 1913–1917. Hänen intressiinsä kuuluivat erityisesti observatorion magneettiset rekisteröintijärjestelmät ja alan muut mittaukset.

Suomen Polaarivuoden ohjelman laitehankintoja rahoitti merkittävästi Rockefeller-säätiö USA:sta. Toiminnallista tukea observatoriolle tuli Polaarikomission kautta, jonka presidentti oli Tanskan Ilmatieteellisen laitoksen johtaja Dan Barfod La Cour (1876–1942). Jaakko Keränen oli Polaarikomission Suomen edustaja. Polaarivuoden ohjelmaan osallistui 1932–1933 yli 40 valtiota, jotka ylläpitivät useita kymmeniä miehitettyjä geofysikaalisia ja meteorologisia havaintoasemia erityisesti pohjoisella napa-alueella.

Huomattava arvostuksen osoitus Sucksdorffin johtamalle observatoriolle oli, että se valittiin Polaarivuoden ohjelmaan kansainväliseksi koulutuspaikaksi arktisten alueiden tutkijoille.

Eyvind Sucksdorffin ja Dan La Courin yhteistyö magneettisten rekisteröintilaitteiden kanssa tuotti hyviä tuloksia. Sodankylän Geofysiikan Observatorioon asennettiin vuonna uudet pikarekisteröintilaitteet magneettikentän nopeiden muutosten havaitsemiseksi. Samanlainen laitteisto asennettiin samoihin aikoihin Norjan Tromssaan, minne oli vuonna 1931 perustettu erityinen revontuliobservatorio (Nordlysobservatoriet). Eyvind Sucksdorff ja Leiv Harang (1902–1970) Tromsassa havaitsivat magneettikentän rekisteröinneistä aivan uudenlaisia ilmiöitä. Kyseessä oli muutamien sekuntien kestoisia säännöllisiä vaihteluja. Sekä Harang että Sucksdorff julkaisivat nämä pioneeritutkimuksensa samaan aikaan tiedemaailman johtavassa aikakauslehdessä Journal of Geophysical Research vuonna 1936. Siitä alkoi magneettisten pulsaatioiden laaja tutkimusalue.

Eyvind Sucksdorff laati yliopistollisen väitöskirjan Sodankylän magneettisista rekisteröintituloksista vuosilta 1914–1934. Sekin sisälsi uusia tuloksia niin sanotusta magneettisesta aktiivisuudesta, jonka tutkimus on edelleen laaja kokonaisuus. Eyvind Sucksdorffin väitöskirja hyväksyttiin Helsingin yliopistossa vuonna 1943.

4. SODANKYLÄN OBSERVATORION TUHO JA NOUSU

Suomen sotavuodet 1939–1944 eivät juurikaan vaikuttaneet Sodankylän observatorion toimintoihin. Puolustusvoimien käyttöön tehtiin tehostetusti ilmatieteellisiä havaintoja. Tilanne muuttui ratkaisevaksi, kun Lapin sota saksalaisia sotajoukkoja vastaan käynnistyi syyskuussa 1944. Saksan perääntyessä Lapissa kohti pohjoista, ne tuhosivat kaiken käyttäen niin sanottua poltetun maan taktiikkaa terroritoimintana. Sodankylä jouduttiin evakuoimaan etenevien saksalaisjoukkojen tieltä, mutta lokakuussa Sodankylän observatoriota kohtasi täydellinen tuho. Saksalaiset pioneerijoukot polttivat ja räjäyttivät mitä perusteellisimmin observatorion kaikki yli kymmenen rakennusta. Hävitykseen joutui myös observatorion arkisto. Tärkeimmät rekisteröintiaineistot oli kuitenkin aikaisemmin evakuoitu Helsinkiin Ilmatieteen laitoksen arkistoon.

Sodankylän observatorion ilmatieteelliset havainnot saatiin uudelleen toimintaan jo joulukuussa 1944. Magneettiset rekisteröinnit käynnistettiin tammikuussa 1947. Suomalainen Tiedeakatemia ja Ilmatieteen laitos päättivät rakentaa observatorion uudelleen, mutta siten että kaikki ilmatieteelliset havainnot sijoitettiin Ilmatieteen laitoksen uuteen observatorioon ja ainoastaan magneettiset rekisteröinnit jäivät Tiedeakatemian vastuulle. Näin samalle Tähtelän alueelle nousi hävityksen tuhkasta kaksi observatoriota. Tiedeakatemian observatorion uusi ajanmukainen päärakennus valmistui vuonna 1950. Sen oli suunnitellut Eyvind Sucksdorffin täti, arkkitehti Wivi Lönn (1872–1966).

5. ILMATIETEEN LAITOKSEN PALVELUKSESSA

Eyvind Sucksdorff jätti Sodankylän Geofysiikan Observatorion vuonna 1945 ja hän siirtyi Helsinkiin Ilmatieteen laitokselle geofyysikon virkaan. Siinä hänen tehtäviinsä kuului käynnistää uudelleen koko Suomen alueen kattavat mittaukset magneettista kartoitusta varten. Mittaukset aloitettiin kesällä 1946.Toinen laaja tehtäväalue liittyi Nurmijärvelle perustettavaan magneettiseen ja geofysikaaliseen observatorioon. Observatorio aloitti säännöllisen rekisteröintitoimintansa vuonna 1953. Samalla käynnistyi uudelleen sodan jälkeen tiivis pohjoismainen ja kansainvälinen yhteistyö magnetismin alalla. Eyvind Sucksdorff oli kansainvälisen geomagnetismin ja aeronomian järjestön (IAGA) aktiivinen jäsen.

Eyvind Sucksdorffin tieteelliset työt jatkuivat 1940-luvun lopulla. Hän julkaisi useita tutkimuksia edustamiltaan tieteen aloilta alan kansainvälisissä julkaisusarjoissa. Sucksdorffin kirjallinen toiminta käsittää useita kymmeniä julkaisuja. Hänet valittiin Suomalaisen Tiedeakatemian jäseneksi vuonna 1951 ja geofysiikan dosentiksi Helsingin yliopistoon. Eyvind Sucksdorffin tähtitieteen harrastus aktivoitui, kun hänet valittiin tähtitieteellisen yhdistyksen Ursan puheenjohtajaksi vuonna 1947.

Lokakuussa 1955 Eyvind Sucksdorffin aktiivinen työura katkesi äkillisesti 56-vuoden iässä, kun hän sairastui kuolemaan johtaneeseen vakavaan tautiin.

6. KIRJALLISET LÄHTEET

Bösinger, T., 2021. The Geophysical Observatory in Sodankylä, Finland – Past and present. History of Geo- and Space Sciences, 12, 115–130.

Keränen, J., 1956. Gustav Eyvind Sucksdorff 1899–1955. Geophysica, 5, 58–62.

Nevanlinna, H. (Toim.), 2017. Sodankylän geofysiikan observatorio 1913–2013 - sata vuotta havaintoja ja tutkimusta. Oulun yliopisto, 257 s.

Nevanlinna, H., 2018. Geofyysikko Eyvind Sucksdorff - havaintojen taituri. Suomen Tiedeseura, Bidrag till kännedom av Finlands natur och folk 205, 183 s.

Nevanlinna, H., Kivinen, T., Paatero, J., T., Kellinsalmi, M., Laitinen, T., Kivinen, Y., Hongisto, T., Pajunpää, M. ja Pajunpää, P., 2023. Nurmijärven geofysiikan observatorio 70 vuotta 1952–2022. Ilmatieteen laitos - Raportteja, 2023/2, 115 s.

Raita, T. and Kultima, J., 2007. Discovery of the pearl waves by Eyvind Sucksdorff. Journ. Atm. Solar-Terr. Phys., 69, 1600–1603.

Supercontinents in Deep Time

Lauri J. Pesonen[1] and Pathamawan Sangchan[2]

[1]Department of Physics, University of Helsinki, Finland, lauri.pesonen@helsinki.fi
[2]Tanotorventie 47 A 1, Helsinki, Finland

Abstract

Considerable evidence exists that supercontinent cycle of ~ 0.5 Ga has operated since the Neoarchean revealing existence of two Precambrian supercontinents, Paleo-Mesoproterozoic Nuna (1.8-1.38 Ga) and Neoproterozoic Rodinia (1.0-0.68 Ga). Here we update the Precambrian paleogeography of Earth based on high quality paleomagnetic data. The results show that (i) during 3.0-0.8 Ga the plate velocity is enhanced in the assembly phase of a supercontinent cycle while reduced during the tenure, (ii) plate velocity appears to correlate with tectonism, zircon age, $\delta 18O_{zircon}$ and possibly with LIP-activity reflecting their connections to mantle processes and events. Paleolatitude curves show alternative "locks" and "spreads" emphasizing the assemblies and dispersions of supercontinents as predicted also by a new dynamic mantle model.

1. CONTINENTAL ASSEMBLIES THROUGH THE LAST 3 BILLION YEARS

Figure 1 shows six snapshots of the paleogeography of continents during 2.45-0.93 Ga. One model (Fig.1a) suggests the existence of four supercratons, Superia, Vaalbara, Zimgarn and Sclavia during 2.45-2.20 Ga. Another model (Pesonen and Sangchan, 2024) shows that continental nuclei´s drifted independently during this time span. The dispersion of supercratons and the subsequent amalgamation of continents into Laurentian-, Amazonian-, Australian- and Chinese families of continents (megacontinents) took place sometimes during 2.20-1.9 Ga. The attraction of continents into four megacontinents remain throughout the Proterozoic, and they appear in shallow/moderate latitudes all the way to the first true supercontinent Nuna, having its tenure at 1.5 Ga ago (Fig.1c). Nuna breakup took place at ~ 1.38 Ga and was followed by remarkable northward drifts of Laurentian-, Australian- and Chinese megacontinents through the 1.26-0.93 Ga period (Figs.1d-f). Most Amazonian clan of continents, on the other hand, suffered huge rotations during 1.1–0.93 Ga ending, together with Laurentian-, Australian- and Chinese continents to form the supercontinent Rodinia at 1.0-0.93 Ga (Fig.1f). Some geological markers, such as orogenic belts, mafic dyke swarms, rapakivi-and kimberlite corridors and orogenic Au-deposits are shown in the snapshots of Fig.1, and in Pesonen and Sangchan (2024).

2. PLATE VELOCITIES DURING THE PRECAMBRIAN

Using apparent polar wander (APW)-technique we have constructed plate velocity curves during Precambrian (Fig.2a). The velocity curve reveals wave-like pattern showing enhanced velocity during the assembly and reduced velocity during the tenure phases in case of both supercontinents (Fig.2a). The dynamic mantle model of Rolf and Pesonen (2021) (Fig.2e) yields similar wave-like velocity curve whereas some other coupled ocean-mantle-crust models suggest either monotonous increase of plate velocity during the last 3 billion years (Guo et al., 2022) or a curve, which shows first a mild decrease of velocity from 3.0 Ga to ~ 1.82 Ga followed by a monotonous increase to its present value (Korenaga 2006). Plate velocity appears to correlate with $\delta^{18}O_{zircon}$ (Fig.2b) as theoretically predicted by $\delta^{18}O$-behavior of the coupled ocean-mantle-crust model of Guo et al. (2022). However, we note that other phenomena, such as paleoclimate variations (notably temperature), metamorphisms and preservation degree may also influence the $\delta^{18}O_{zircon}$ -behavior (Pesonen et al., 2021). The velocity appears to correlate also with tectonism, e.g. subduction (Fig.2c) and metamorphism (Figs.2f), detrital zircon age (Fig.2d), and possibly with LIP-activity (Fig.2g), reflecting their connections to mantle processes and events. Plate velocity minimum occurs within the tenure of supercontinent Nuna at 1.6-1.4 Ga when the frequency of A-type granites is at maximum (Fig.2h; but see Condie et al., 2023 for a different view).

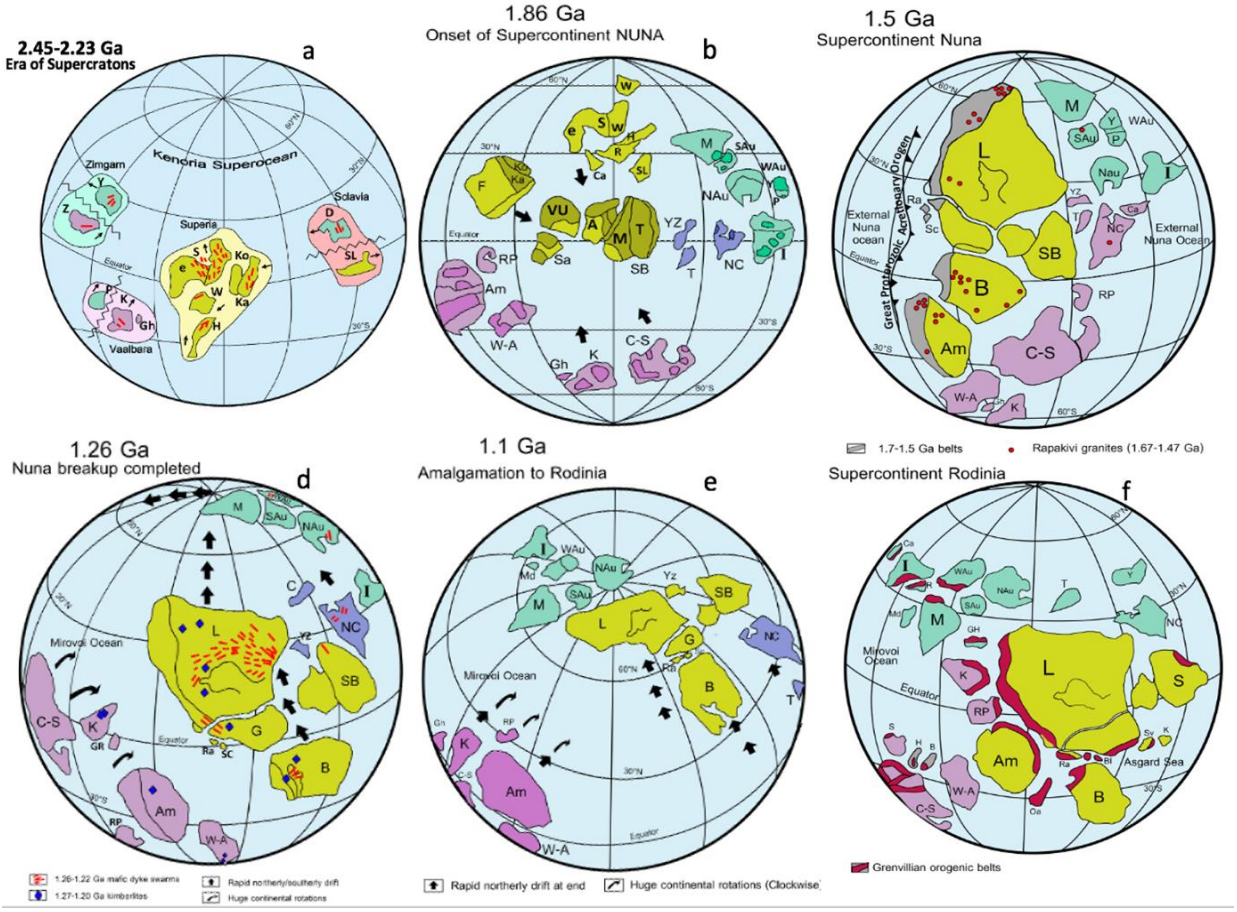


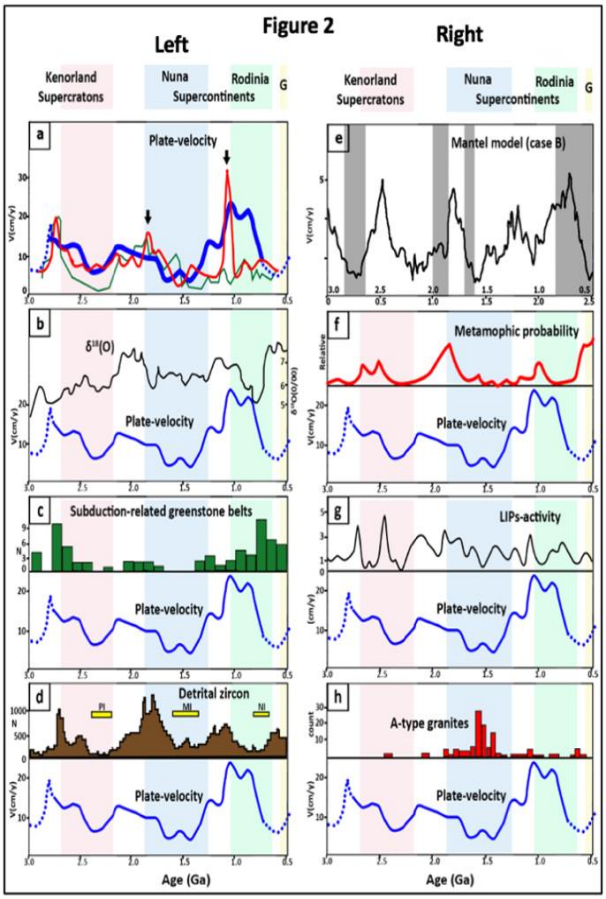
Figure 1. Six snapshots of supercontinent cycles. For more snapshots, see Pesonen&Sangchan (2024) and Pesonen et al. (2021). (a) 2.45 Ga. *Superia*: L Laurentia, W Wyoming, H Hearne, Ko Kola, Ka Karelia; *Vaalbara*: K&Gh Kaapvaal&Grunehogna, P Pilbara; *Zimgarn*: Z Zimbabwe, Y Yilgarn; the location of *Sclavia* supercraton here corresponds to somewhat younger age (~ 2.22 Ga); D Dharwar, SL Slave. Yellow denotes Laurentian, lila Amazonian, green Australian and blue China families of cratons in further figures; F Fennoscandia, VU

Volgo-Uralia, SB Siberia, NS North China, I India YZ Yangtze, Ca Cathaysia, M Mawson, Am Amazonia, C-S Congo- Sao Francisco, W-A West-Africa, RP Rio Plata.

3. PRECAMBRIAN PALEOLATITUDE

Figure 3a shows the average (absolute) paleolatitude of the continents during 3.0-0.5 Ga. Paleolatitude throughout the Mesoarchean-Proterozoic is less than 40° and below the present average continental latitude (40.2^{o}). Paleolatitude during Nuna supercycle is shallower than during Kenorland and Rodinia cycles. This is somewhat surprising since a look at Figures 1c and 1f might give an opposite view. However, Figure 1c of Nuna tenure at 1.5 Ga is only one snapshot of its long life span (1.8-1.38 Ga) when Nuna stayed at moderate latitudes. The late phase of the Kenorland supercratons, early Nuna and late Rodinia experienced multiple low-latitude glaciations signaling that Snowball Earth-events or eras occurred in several times during 2.4-0.6 Ga. Figs.3b-d summarize age-distributions of some paleoclimatically sensitive sedimentary indicators, which broadly confirm the shallow/moderate paleolatitudes throughout the Nuna supercycle and also during late Rodinia phase.

Figure 3e compares the observed paleolatitudes of continents during the Mesoarchean-Neoproterozoic. The data have been derived from the APWPs with two advantages: (i) the hemisphere ambiquity (i.e. for the Precambrian data we don´t know the absolute polarity) is minimized and (ii) the speed-limit criteria (≤ 25 cm/y) is taken into account. Paleolatitudes show distinct locks signaling supercontinents during 1.8-1.38 Ga (Nuna) and 1.0-0.85 Ga (early Rodinia; see also Li et al., 2023) and dispersions signaling the breakup periods of the supercontinents. It is also possible that paleolatitudes are close (locking) to each other during Kenorland era (2.8-2.2 Ga), but data here are too sparse. Figure 3f shows paleolatitude curves



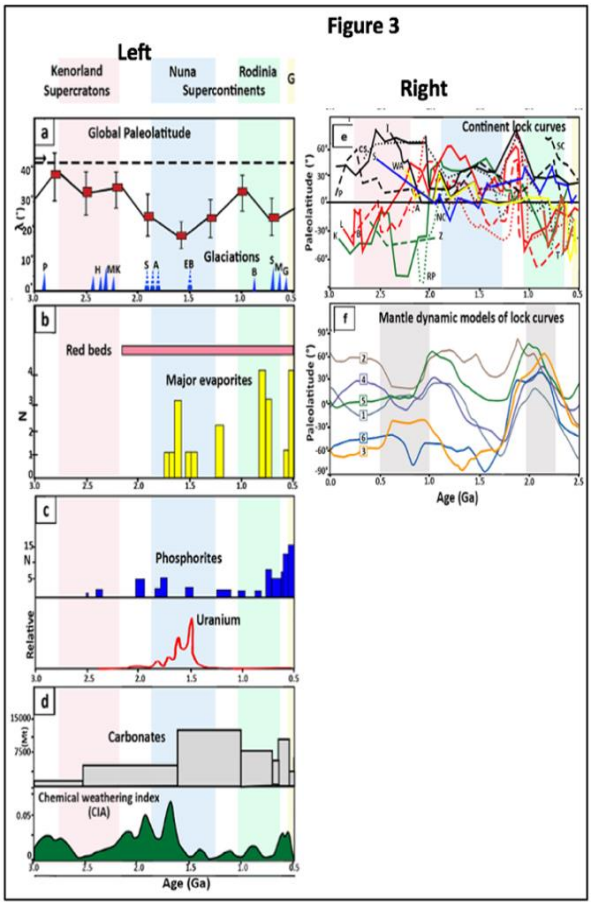


Figure 2. ***Left***: (a) Continental plate velocity curves from literature based on the APWs. Blue and green: Pesonen et al. (2021), red: O`Neill et al. (2023) – this curve has been rescaled due to scaling problems. Comparison of plate velocity with $\delta^{18}O_{zircon}$ (b), tectonism (c,f), zircon age (d) and magmatism (g,h). ***Right***: (e) Plate velocity of the mantle model of Rolf and Pesonen (2021), where x-axis is modeling time and grey belts denote eras of supercontinents.

Figure 3. ***Left***: (a) Average paleolatitude (absolute value) of continents during 3.0-0.5 Ga. Broken line denotes average latitude of present continents. Blue arrows are glaciations. Distribution of redbeds and evaporites (b), phosphorites and uranium deposits (c), black shales (d). ***Right***: (e) paleolatitudes of fourteen continents as derived from their APWPs, (f) paleolatitudes of six "model continents" of a dynamic mantle model of Rolf and Pesonen (2021) .

of the dynamic mantle model of Rolf and Pesonen (2021), in which "model-continents" approach to each other (locks) in two supercontinent times, 0.55-0.8 Ga and 1.75-2.4 Ga, respectively, keeping in mind that the x-axis here is "modeling time" and not radiometric age.

REFERENCES

Condie, K.C., S.A. Pisarevsky, S.J. Puetz, N.M.W. Roberts, N.M.W. and C.J. Spencer, 2023. A-type granites in space and time: Relationships to the supercontinent cycle and mantle events. EPSL, **610**, 118125. DOI: 10.1016/j.epsl2023.118125.

Guo, M., J.A.G. Wostbrok, N.J. Planavsky and J. Korenaga, 2022. Reconstructing seawater $\delta^{18}O$ and $\Delta'^{17}O$ values within solid Earth system evolution. EPSL, **592**,117637. DOI:10.1016/j.epsl.2022.117637.

Korenaga, J. 2006. Archean geodynamics and the thermal evolution of Earth. AGU Monographs, Ser. 164, 7-32.

Li, Z-X, Y. Liu and R. Ernst, 2023. A dynamic 2000-540 Ma Earth history: From cratonic amalgamation to the age of supercontinent cycle. ESR, **238**, 104336. DOI: 10.1016/j.earscirev.2023.104336.

O´Neill, C., M. Brown, B. Schaefer and J.A. Gazi, 2022. Earth´s anomalous middle-age magmatism driven by plate slowdown. Scientific reports 22:10460. DOI: 10.1038/s41598-022-13885-9.

Pesonen, L.J., J. Salminen, S.-Å. Elming, D.A.D. Evans and T. Veikkolainen, 2021. Ancient Supercontinents and the Paleogeography of Earth. Elsevier Inc., 646 pp.

Pesonen, L.J., P. Sangchan, 2024. Precambrian supercontinent cycles. Proceedings of the XXXI Annual Geophysis Days, Oulu University, Finland (in prep.).

Rolf, T. and L.J. Pesonen, 2021. A mantle dynamics perspective on the drift of cratons and supercontinent formation in Earth´s history. *In*: Pesonen, L.J. et al., (2021). Ancient supercontinents and the Paleogeography of Earth, Elsevier Inc., 646 pp.

Lennokeilla käytettävä sähkömagneettinen maa- ja kallioperän tutkimusmenetelmä

M. Pirttijärvi

Radai Oy, markku.pirttijarvi@radai.fi

Abstract

A novel drone-based geophysical electromagnetic (EM) survey system has been developed for geological mapping and mineral exploration, for example. The Louhi EM system comprises separate transmitter and receiver units. The EM transmitter is either a large loop laid on ground surface or a small loop attached to the bottom of a drone. The EM receiver is towed by a drone and it measures three orthogonal components of the magnetic flux density (B-field, pT) at three frequencies (2.3, 4.6, 9.2 kHz). The measured data are calibrated and synchronized with transmitter current to yield in-phase and quadrature components along main coordinate axes (NED). The data are interpreted using numerical modelling and inversion and the results are displayed as maps, cross-sections or 3D distributions of electrical resistivity.

1. JOHDANTO

Radai Oy on oululainen yksityinen yritys, joka on erikoistunut tekemään geofysikaalisia lentomittauksia malminetsintää harjoittaville yhtiöille käyttämällä miehittämättömiä ilma-aluksia eli lennokkeja eli drooneja. Radain päämenetelmä on maan magneettikentän vektorimittaus VTOL-tyyppisiin (vertical take-off and landing) drooneihin kiinteästi asennetuilla fluxgate-magnetometreillä. Vuodesta 2016 lähtien Radai on kehittänyt induktiivista sähkömagneettista (SM) mittausmenetelmää, joka soveltuisi maankamaran sähkönjohtavuuden kartoittamiseen lennokeilla. Tavoitteena on ollut luoda kevyt ja helppokäyttöinen mittalaite, joka sopii Suomen olosuhteita vastaavan, sähköä melko huonosti johtavan maa- ja kallioperän kartoittamiseen. Uudessa Louhi-nimisessä järjestelmässä käytetään taajuusalueen mittausta ja SM-vastaanotinta, joka prosessoi mitattavien taajuuksien aineistoa jo laitetasolla.

2. LOUHI SM-MITTAUSJÄRJESTELMÄ

Louhi-menetelmässä luodaan SM-primäärikenttä käyttämällä joko isoa (yli 10000 m^2) maanpinnalle levitettyä silmukkaa tai lennokin pohjaan kiinnitettyä pientä silmukkaa (alle 1 m^2), jossa kulkee harmonisesti värähtelevä (sinimäinen) sähkövirta (0.5-30 A). Ampéren lain mukaisesti vaihtuva lähetinvirta luo vaihtuvan primäärisen magneettikentän, joka Faradayn lain mukaan indusoi maassa oleviin sähköä johtaviin rakenteisiin virtoja, joiden synnyttämä

sekundäärinen magneettikenttä summautuu vastaanottimen mittaamaan totaalikenttään. Liikuttamalla vastaanotinta eri paikoissa maan päällä havaitaan vastaanotetun SM-signaalin amplitudissa ja vaiheessa muutoksia, jotka riippuvat paitsi etäisyydestä lähettimeen, vastaanottimen asennosta ja lentokorkeudesta maahan nähden, myös maassa olevien rakenteiden sijainnista, koosta, asennosta ja sähkönjohtavuudesta ympäristöönsä nähden. Käyttämällä eri taajuuksia saadaan tietoa eri syvyyksiltä, sillä SM-kentän vaimeneminen riippuu väliaineen – tässä tapauksessa maa- ja kallioperän – sähkönjohtavuudesta. Pientä lähetinkelaa käytettäessä syvyysulottuvuuteen voidaan vaikuttaa lähettimen ja vastaanottimen välistä etäisyyttä muuttamalla. Vastaanottimen paikkaa mitataan (GPS/Glonass/Beidou) satelliittipaikannuksella ja sen asentoa (IMU) inertiaaliantureilla. Louhi-järjestelmässä käytetään kolmea taajuutta (2.3, 4.6, 9.2 kHz), joita lähetetään ja mitataan samanaikaisesti.

Kuva 1 esittää 3-komponenttista Louhi SM-vastaanotinta. Vastaanotin on noin 150 cm pitkä, sen halkaisija on noin 70 cm ja massa noin 1.6 kg. SM-signaalin vastaanottamiseen tarkoitetut kelat on asennettu niin, että ne muodostavat hinattavan liidokin tukirakenteen. V-muotoisissa siivissä on (Pixhawk4) autopilotin ohjaamien servojen ja työntötankojen välityksellä toimivat siivekkeet, jotka pitävät liidokin aktiivisesti stabiilina hinauksen aikana.



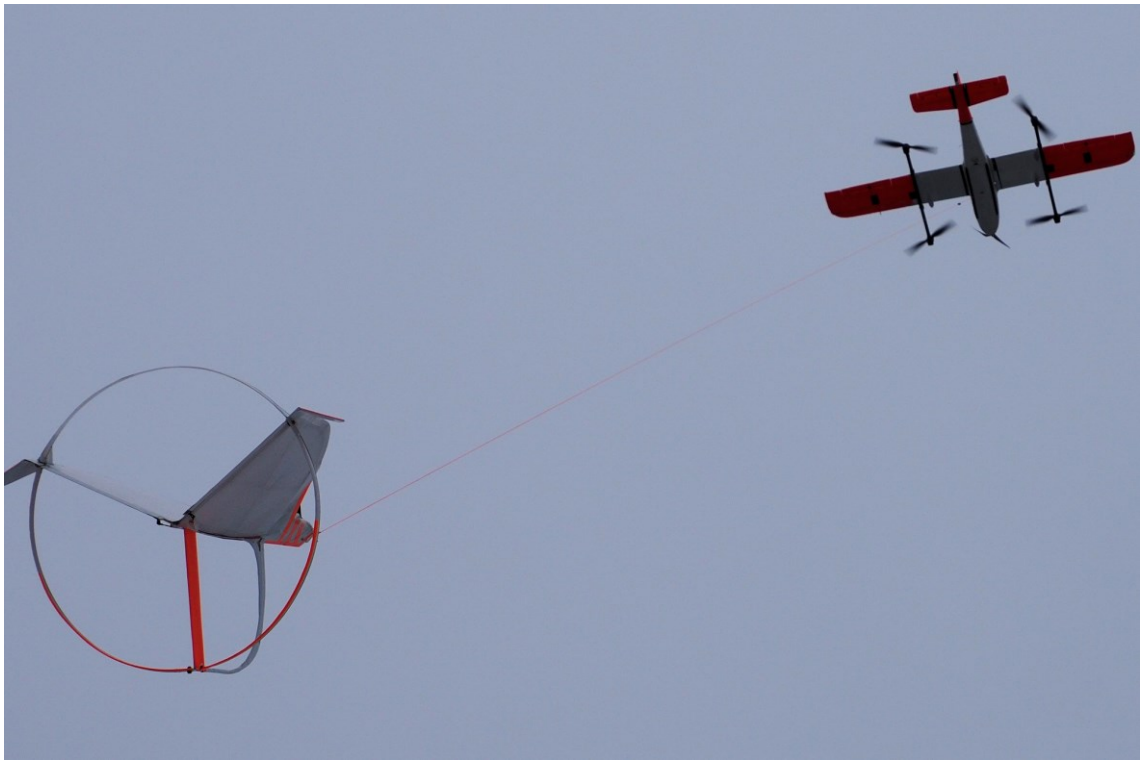
Kuva 1: Dronnair Oy:n Markus Kumpula viimeistelee VTOL-lennokilla hinattavaa Louhi SM-vastaanotinta mittauslennolle Kuusamossa maaliskuussa 2024.

Varsinainen SM-vastaanotin rakentuu 32-bittisen Arduino Due mikrokontrollerin ympärille. Vastaanotinkeloihin indusoitunutta jännitettä vahvistetaan, suodatetaan kapeakaistaisesti haluttujen taajuuksien ympärille, sekä keskiarvotetaan yhden sekunnin ajalta satunnaisen kohinan vähentämiseksi. Digitoidut tulokset talletetaan SD-kortille, josta ne siirretään kannettavalle PC-tietokoneelle USB-portin kautta. Erikseen määritettyjä kalibrointitietoja käyttäen mittausaineisto muunnetaan PC:n jälkikäsittelyssä kohtisuoriksi komponenteiksi mittalaitteen koordinaatistossa, muunnetaan magneettivuon tiheydeksi (B, pT) ja kierretään

IMU:n asentotietojen (roll, pitch, yaw) avulla NED-koordinaatistoon (alas-itä-pohjoinen). Lähettimen virta ja vastaanotettu SM-signaali synkronoidaan GPS-järjestelmän PPS-signaalin avulla. Vaihekalibroinnin tuloksena SM-vaste saadaan esitettyä reaali- ja imaginääri-komponentteina eli lähetinvirran kanssa samassa vaiheessa olevan komponentin ja sitä vastaan 90 asteen vaihesiirrossa olevan komponentin amplitudiarvoina.

Varsinaisissa mittauksissa vastaanotinta hinataan noin 20 m:n pituisen narun päässä VTOL-typpisellä lennokilla (Kuva 2), jonka massa akkujen kanssa on noin 12 kg ja siipien kärkiväli on 2.45 m. Toiminta-aika vastaanotinta hinattaessa on noin 1 tunti, mikä lentonopeudella 20 m/s vastaa enintään 70 km pituisia mittauslentoja. Yhden sekunnin näytevälin johdosta havaintopisteiden välimatka pitkin lentolinjaa on noin 20 m. Yhdessä päivässä ehditään yhdellä koneella tehdä 6-7 lentoa eli mitata noin 300-400 linja-km, kun huomioidaan käännöksiin hukkautuva matka. SM-mittauksissa lentolinjojen välimatka on 50-75 m, lennokin suunniteltu lentokorkeus on 50 m ja vastaanottimen korkeus 40 m maanpinnasta.

Maaluuppia (100 x 100 m, 1-4 A) käytettäessä mittaus rajoittuu noin 1.5-2 km:n etäisyydelle lähettimestä, sillä tätä kauempana primäärikenttä on vaimentunut liiaksi. Käytännössä kaikki lentolinjat lennetään useaan kertaan siirtämällä lähetin 2-3 paikkaan tutkittavan johderakenteen ympäristössä, jotta kohteen SM-vaikutuksesta saadaan tarpeeksi kattavaa tietoa tulkintaa varten. Tämä tarkoittaa sitä, että maalähetintä käytettäessä tutkittavasta kohteesta tarvitaan jonkinlaista ennakkotietoa. Yhden lennokin järjestelmässä, lähetin asennetaan kiinteästi hinaavan lennokin pohjaa, jolloin vältytään maalähettimen siirtämisen aiheuttamalta vaivalta ja pystytään kartoittamaan entuudestaan heikosti tunnettujen alueita tehokkaamman.



Kuva 2: Nokikana VTOL-lennokki nostamassa Louhi SM-vastaanotinta mittauslennolle Kuusamossa maaliskuussa 2024. Hinausnarun pituus on noin 20 m.

Hinaavaan lennokkiin voidaan asentaa fluxgate-magnetometri ja Radain oma tallennuslaite, jolloin SM-mittauksen ohessa saadaan selvitettyä tutkimusalueen staattinen magneettikenttä, ellei sitä ole aiemmin erikseen mitattu. Magneettinen mittausaineisto käsitellään Radain normaalia ekvivalenttimalliin perustuvaa prosessointimenetelmää käyttäen. Taajuusalueen mittauksissa tieto magneettisten anomalioiden voimakkuudesta on hyödyllinen, sillä rautaa sisältävien kivilajien (magnetiitti, magneettikiisu) magneettinen suskeptibiliteetti (permeabiliteetti) vaikuttaa SM-vasteen reaalikomponentin arvoon. Jos magneettisuutta ei huomioida, voi tulkinta tuottaa virheellisiä johtavuusarvoja. 1D-kerrosmallitulkinnassa kallioperän magneettisuus voidaan huomioida käyttämällä magneettisen ja SM-aineiston yhteistulkintaa (Pirttijärvi ja muut., 2015). 3D-tapauksessa magneettisten ominaisuuksien huomioiminen SM-vasteeseen on hieman haastavampaa. Radain kehittää parhaillaan SM-mallinnusohjelmaa (Lempo3D), joka perustuu vanhan approksimatiivisen levymalliohjelman (Pirttijärvi ja muut, 2003) 3D-laajennukseen.

3. YHTEENVETO

Radai Oy on luonut maa- ja kallioperän tutkimuksiin uuden sähkömagneettisen mittauslaitteiston (Louhi), jota voidaan operoida lennokkien avulla. Kiinteää maalähetintä käyttävien kenttätestien perusteella mittausjärjestelmä on toimiva ja sen kohinataso on alle 50-100 fT, mikä on vertailukelpoinen arvo muihin mittalaitteisiin nähden. Lentotoiminta hinattavalla vastaanotinliidokilla voidaan suorittaa turvallisesti ja tehokkaasti VTOL-tyyppisten lennokkien avulla. Aineiston laatua on mahdollista parantaa jälkiprosessointia mm. asentokorjausta ja/tai vaihesiirtoa parantamalla. Tällä hetkellä tärkein tehtävä on numeerisen tulkinnan kehittäminen niin, että mittausaineistosta saadaan luotua maankamaran sähkönjohtavuutta kuvaavia karttoja, pystyjä poikkileikkauksia ja/tai 3D-mallien ominaisvastusjakaumia, joiden avulla voidaan arvioida tutkimuskohteen geologista rakennetta. Vuoden 2024 aikana pyritään toteuttamaan ensimmäiset kenttätestit yhden lennokin ns. Slingram-järjestelmällä.

KIITOKSET

Louhi-laitteiston kehitystä ovat rahoittaneet Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö (2016-2018), Euroopan Unionin Horisontti 2020 -ohjelma (NEXT 2018-2021, GoldenEye 2020-2023, Agemera, 2022-2025) ja EIT Raw Materials (DroneSOM, 2022-2024).

LÄHTEET

Pirttijärvi, M., M. Abdel Zaher ja T. Korja, 2014. Combined inversion of airborne electromagnetic and static magnetic field data. *Geophysica,* **50**(2), 65-87.

Pirttijärvi, M., R. Pietilä, A. Hattula ja S.-E. Hjelt, 2002. Modelling and inversion of electromagnetic data using an approximate plate model. *Geoph. Prospecting*, **50**, 425-440.

Inarijärven muuttuvat sää- ja jääolot kaupallisten kalastajien kuvaamina

S. Rasmus[1], M. Turunen[1], M. Montonen[2], E. Salonen[3] ja I. Lehtonen[4]

1 Lapin yliopisto, Arktinen keskus, sirpa.rasmus@ulapland.fi;
2 Inari; 3 Luonnonvarakeskus; 4 Ilmatieteen laitos

Abstract

The operational environment of commercial fishing is rapidly changing in the North. Changing climate leads also to other environmental changes; socio-economic drivers impact the livelihood, as well. We studied the operational environment of commercial fishers in the Lake Inari region in northern Finland, emphasizing winter weather and ice conditions. We combined the practitioner knowledge of fishers with long-term meteorological and hydrological observations from the region. Experiences of fishers were in line with observational data. For example, ice cover forms later than few decades ago, and open water season begins earlier. Fishers have adopted various strategies to cope with the changes. Sustainable adaptation of commercial fishing – together with other northern nature-based livelihoods – need support from the governance and research. This means for example developing flexible co-management practices, and monitoring events and conditions critical for the livelihoods.

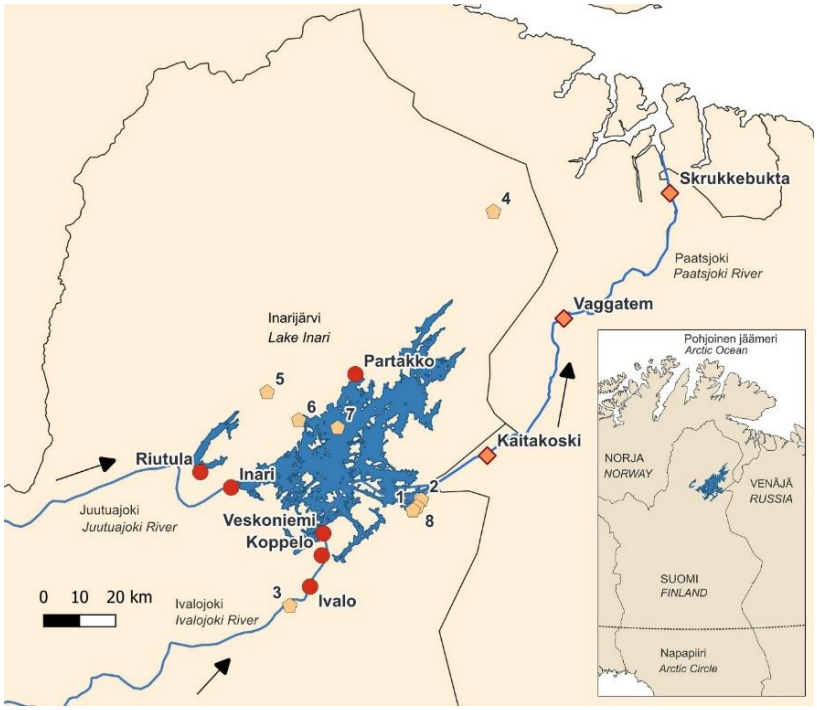
1. INTRODUCTION

Arktiset alueet ovat lämmenneet viime vuosikymmeninä voimakkaammin kuin muu maapallo keskimäärin (IPCC 2023). Pohjois-Suomen lämpenevässä ilmastossa muun muassa syksyn ensimmäiset pakkaset ja lumen tulo viivästyvät. Talvilämpötilat ovat kohonneet, ja lumipeiteaika on lyhentynyt (Rasmus ym. 2020). Muutokset vaikuttavat luontoon perustuviin elinkeinoihin, kuten kalastukseen ja poronhoitoon (Mustonen ym. 2022). Ilmastonmuutoksen vaikutuksia rannikkovesien kalastukseen ja kalastajien sopeutumisstrategioita on tutkittu eri puolilla maailmaa (esim. Galappaththi ym. 2019), mutta vastaavia tutkimuksia kylmän ilmaston sisävesistä on tehty vähän. Sopeutumisstrategialla tarkoitamme toimintaa, jolla voidaan minimoida toimintaympäristön epäedullisista muutoksista aiheutuvat haitat elinkeinolle, ja hyödyntää uusia mahdollisuuksia. Hyvä kalastuksen sopeutumisstrategia on ennakoiva ja suunnitelmallinen. Se ylläpitää elinkeinon monimuotoisuutta, panostaa sosiaalisiin suhteisiin ja verkostoihin, ja hyödyntää kalastajien kokemusperäistä tietoa. Työmme tavoitteena oli perehtyä Inarijärven kaupallisten kalastajien kokemusperäiseen tietoon toimintaympäristön muutoksista ja niiden vaikutuksista, ja tarkastella niitä yhdessä meteorologisten ja hydrologisten muuttujien (1960-2020) kanssa. Lisäksi tutkimme kalastajien sopeutumisstrategioita ja pohdimme niiden kestävyyttä (Turunen ym. 2023). Tässä keskitymme havaintoihin talvien sää- ja jääoloista

2. MATERIAALI JA MENETELMÄT

Inarijärvi (inarinsaameksi Aanaarjävri, pohjoissaameksi Anárjávri ja koltansaameksi Aanarjäu′rr; kuva 1) on Suomen toiseksi suurin järvi. Luonteenomaisia ovat kiviset ja jyrkät

rannat, mutta myös lahdet, hiekkarannat ja tuhannet saaret. Inarijärvi laskee Paatsjokea pitkin Barentsinmereen. Avovesikausi kestää touko-kesäkuusta loka-marraskuuhun. Suurimmat selät jäätyvät usein vasta joulukuussa. Järvi on syvä, niukkaravinteinen ja kirkas. Inarijärveä on säännöstelty voimatalouden tarpeisiin vuodesta 1941 lähtien.



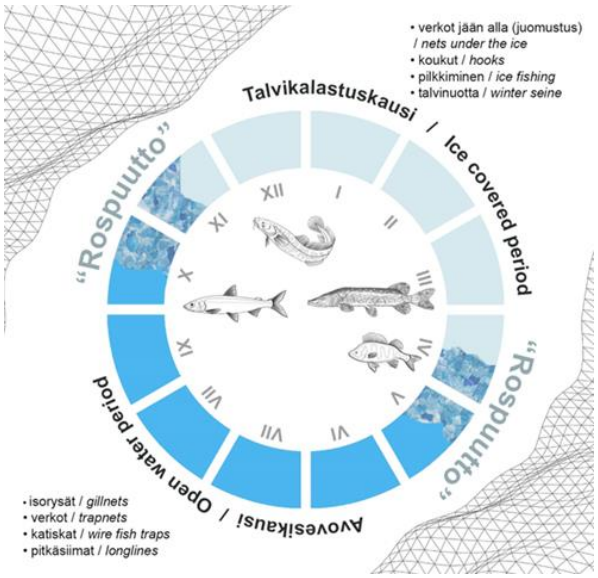
Kuva 1: Inarijärven sijainti. Punaiset pisteet: kyliä, joissa haastatellut kalastajat asuivat. Oranssit neliöt: Kaitakosken voimalaitos Venäjällä; Vaggatem ja Skrukkebukta, jotka ovat Paatsjoen järvilaajentumia ja sijaitsevat pääosin Norjassa. Keltaiset pisteet: hydrologiset havaintoasemat (SYKE): 1) Nellim ja 2) Paksuvuono; säähavaintosemat (IL): 3) Ivalon lentoasema, 4) Kirakkajärvi, 5) Kaamanen, 6) Väylä, 7) Seitalaassa ja 8) Nellim. Kartta: ©Arto Vitikka, Arktinen keskus, Lapin yliopisto 2023. Aineisto: ©Suomen ympäristökeskus 2023, ©Maanmittauslaitos 2023.

Työssä käytettäviä aineistoja ovat:

1. Kalastajien haastattelut. Haastattelimme yksitoista Inarijärven kaupallista kalastajaa (yli puolet luokkaan I kuuluvista kaupallisista kalastajista Inarin kunnassa). Kysymykset käsittelivät kalastuksen vuodenkiertoa, kalastusstrategioita, kalastusalueiden, kalakantojen ja elinkeinon mennyttä ja nykyistä tilaa; kaupallisen kalastuksen kannattavuutta, kestävyyttä ja asemaa; havaintoja säiden, ilmaston, ympäristön ja sosio-ekonomisten tekijöiden muutoksista ja niiden vaikutuksista; muutoksiin sopeutumista, sekä kaupallisen kalastuksen tulevaisuutta.
2. Meteorologinen ja hydrologinen seurantatieto: säähavaintoaineisto kuudelta Ilmatieteen laitoksen havaintoasemalta, erityisesti kuukausittaiset keskilämpötilat ajanjaksolta 1991-2020; hydrologinen aineisto Suomen ympäristökeskuksen havaintoasemilta (jäätyminen ja jäänlähtö, jään paksuus, pintaveden lämpötila). Vedenkorkeus- ja virtaama-aineistoja emme käsitelleet, sillä säännöstely vaikuttaa niihin suuresti.

3. TULOKSET

Avovesikausi Inarijärvellä alkaa yleensä touko-kesäkuussa, kun jäät lähtevät järvestä (kuva 2). Kalastusta jatketaan syksyn rospuuttoon asti. Rospuutto eli kelirikko on ajanjakso, jolloin jäätyminen on alkanut, mutta jääpeite ei ole vielä tarpeeksi vahva jäällä liikkumista ajatellen. Talvikalastus aloitetaan, kun jääpeite on saavuttanut vaadittavan kantokyvyn eli jäällä kalastus on turvallista; usein marras-joulukuulta alkaen. Kalastuspaikkaan ajetaan moottorikelkoilla, ja talviverkot uitetaan jään alle (“juomustus”). Talvinuottausta harjoittaa nykyään enää yksi nuottakunta. Talvikalastuskausi päättyy yleensä kevään rospuuttoon huhti-toukokuussa.



Kuva 2: Kaupallisen kalastuksen vuodenkierto Inarijärvellä. Kaavio: Philip Burges

Kalastajat ovat havainneet talvien sää- ja jääoloissa selviä muutoksia. Jääpeite muodostuu aiempaa myöhemmin. Rospuuttokausien koetaan pidentyneen. Aiemmin jäällä liikkumista pidettiin turvallisena marraskuussa, mutta nykyään usein vasta tammi-helmikuussa, kun talvikalastuskausi alkaa olla jo ohi. Monella ammatinharjoittajalla kalastaminen syksyllä on vaikeutunut myös aiempaa rajumpien ja yleisempien tuulten ja myrskyjen seurauksena. Jääolot ja jään päälle kertyvä lumipeite vaihtelevat suuresti; paksu ja märkä lumipeite vaikeuttaa talvikalastusta. Lämpenevät syksyt ja myöhään tuleva jääpeite ovat epäedullisia niille kalastajille, jotka ovat sijoittaneet talvikalastusvälineisiin ja saavat suuren osan tuloistaan talvikalastuksesta. Vuosien välinen vaihtelu on kalastajien kokemuksen mukaan ollut suurta kevään tulossa, mutta yleisesti ottaen sekä lumen sulamisen että jäiden lähdön ajankohta on aikaistunut. Myönteisenä nähtiin se, että viikkoja kestäneet pakkaset ovat harvinaistuneet. Myös Suomen ympäristökeskuksen aineistossa näkyy suuntaus kohti myöhäisempää jäätymistä. Jään ohentuminen näkyy etenkin alkutalven havainnoissa. Lopputalven jään paksuuteen vaikuttaa jään päälle kertyneen lumipeitteen ominaisuudet. Paksu lumipeite hidastaa jään paksuuskasvua. Kohvajään osuus saattaa kasvaa leutoina talvina.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Sekä kaupallisten kalastajien kokemukset että pitkäaikainen seurantatieto (mm. Puro-Tahvanainen ym. 2019) osoittavat, että Inarijärven avovesikausi on pidentynyt, kevään ja kesän

veden lämpötilat ovat kohonneet ja kasvukaudet pidentyneet. Muutokset huolestuttavat kalastajia. Onko jää tulevaisuudessa tarpeeksi vahvaa talvikalastukseen? Väheneekö kannattavuus? Tärkeä sopeutumiskeino kalastuksessa on elinkeinon monipuolistaminen. Liikkuvuus ja kyky hyödyntää joustavasti eri kalalajeja ja pyydyksiä kulloisenkin tilanteen mukaan lisää kalastajan sopeutumiskykyä. Kestävä sopeutuminen vaatii hallinnan tukea. Tämä tarkoittaa muun muassa perinteisen tieto-taidon ylläpidon tukemista, sopeutuvaa säännöstelyä (joka auttaa turvaamaan kalojen luontaisen lisääntymisen edellytyksiä), työturvallisuuden parantamista ja elinkeinonharjoittajien tiedon hyödyntämistä osana joustavaa kalastuksen yhteishallintaa. Ajantasaisemmat havainnot ja paremmat ennusteet sääoloista ja hydrologisista oloista olisivat kalastajille tärkeitä. Tiedon yhteistuotantoa tulisi kehittää erityisesti talvioloihin liittyen; paras tieto esimerkiksi jääpeitteen pienipiirteisestä vaihtelusta, ja lumipeitteestä jäällä on talvikalastajilla. Käyttämäämme tutkimusmallia, jossa yhdistetään elinkeinon harjoittajien kokemusperäistä tietoa ja tieteellistä seurantatietoa kokonaisvaltaisen näkemyksen saamiseksi, voidaan hyödyntää myös muualla, kun suunnitellaan elinkeinojen kestävää sopeutumista.

KIITOKSET

Kiitämme kaikkia haastatteluihin osallistuneita kalastajia. Tutkimus on saanut EU Horizon 2020 -rahoitusta (CHARTER; 86947). Kiitämme Arto Vitikkaa ja Philip Burgessia karttojen ja kaavioiden piirtämisestä ja Henri Wallenia avusta tilastollisten testien kanssa.

LÄHTEET

IPCC. 2023. Synthesis report 2 of the IPCC sixth assessment report (AR6), Summary for Policymakers. Cambridge University Press.

Galappaththi, E., J. Ford., E. Bennett ja F. Berkes. 2019. Climate change and community fisheries in the arctic, *Canada. J. of Env. Man*, 250, 109534.

Murray, G., B. Neis ja J. Johnsen. 2006. Lessons learned from reconstructing interactions between local ecological knowledge, fisheries science, and fisheries management in the commercial fisheries, Canada. *Hum. Ecol.,* 34(4), 549–571.

Mustonen, T., A. Scherer, B. Van Dam, S. Milkowski ja N. Huusari. 2022. Traditional knowledge in special fisheries: the case of Puruvesi vendace and seining. *Reviews in Fish Biology and Fisheries,* 33, 649–667.

Puro-Tahvanainen, A., J. Aroviita, T. Dubrovin, J. Kämäräinen, M. Marttunen, H. Mykrä, T. Niva, J. Riihimäki ja J. Ylikörkkö. 2019. Inarijärven tilan kehittyminen vuosina 1960-2017. Raportteja 25/2019. Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus.

Rasmus, S., M. Turunen, A. Luomaranta, S. Kivinen, K. Jylhä ja J. Räihä. 2020. Climate change and reindeer management in Finland: co-analysis of practitioner knowledge and meteorological data for better adaptation. *Sci. of the Tot. Env.,* 710, 136229.

Turunen, M., S. Rasmus, M. Montonen, E. Salonen ja I. Lehtonen. 2024. Kaupallinen kalastus Inarijärvellä - kestävää sopeutumista muuttuvaan toimintaympäristöön? *Terra*, 136(1), 3-23.

Suomen uusi geoidimalli FIN2023N2000

T. Saari

[1] Maanmittauslaitos, Paikkatietokeskus, timo.saari@maanmittauslaitos.fi

Abstract

Maanmittauslaitos julkaisi alkuvuodesta Suomen uuden kansallisen geoidimallin (korkeudenmuunnos pinta) FIN2023N2000, mikä korvaa vanhan FIN2005N00-mallin. Esitelmässä kerrotaan kuinka uusi malli on luotu ja kuinka se eroaa vanhasta mallista. Mikä on uuden mallin tarkkuus maalla sekä merellä. Ja, mistä uusi malli on ladattavissa dokumentointeineen.

The Finnish zero-order absolute gravity network

T. Saari

[1] Maanmittauslaitos, Paikkatietokeskus, timo.saari@maanmittauslaitos.fi

Abstract

In 2021, a milestone was reached in the absolute gravity research at the Finnish Geospatial Research Institute, when the expansion of the absolute gravity network in Finland was completed. The stations in the network are co-located with the FinnRef permanent GNSS network. This enables studying long-term gravity change, including the Fennoscandian Post-glacial rebound phenomenon, in parallel with deformation monitoring and monitoring of the 3D reference frame.

Ulkoilman pölyn magneettiset ominaisuudet: lähteen tunnistaminen ja vaikutus terveyteen

J. Salminen[1]

[1] Geotieteen ja maantieteen osasto, Helsingin yliopisto, johanna.m.salminen@helsinki.fi

Abstract

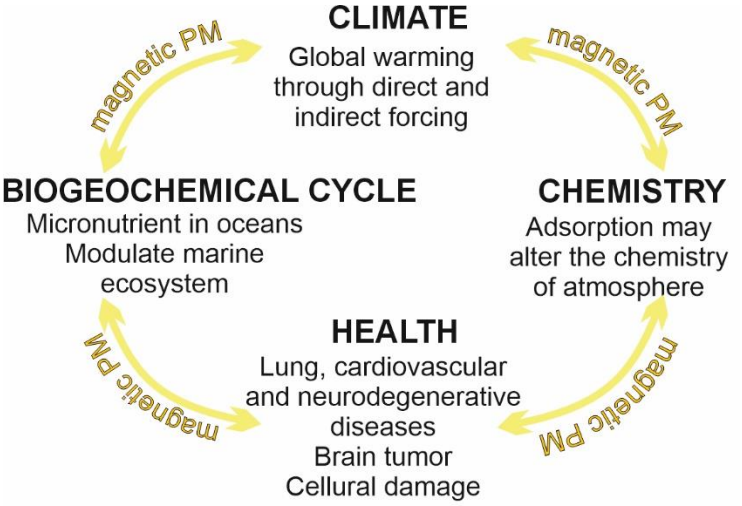
Magnetic particulate matter (PM) typically composes only a few weight percent of bulk atmospheric dust, but they are crucial in global processes as they affect the climate, atmosphere, biogeochemical cycle and have adverse effects on human health. Magnetic PM have natural sources (e.g., mineral dust from deserts) and anthropogenic sources (e.g., combustion and abrasion derived particles). Magnetic PMs from these sources are distinctly different with difference in grain size and shape, and composition. Therefore, magnetic properties can serve as unique markers for specific sources of PM. In collaboration with various research institutes, we have identified magnetic PM in African dust transport to Finland, varying amounts of aerosol dust from anthropogenic sources in Helsinki 1962—2005, and in the human body.

1. JOHDANTO

Ulkoilman hiukkaset ovat peräsin useista eri luonnollisista ja ihmistoiminnan aiheuttamista lähteistä. Luonnonpöly on usein peräisin pölytapahtumista, kuten hiekkamyrskyistä, ja se on pääosin kulkeutunut pitkän matkan ilmakehässä (e.g., Meinander et al., 2023). Tämä luonnonpöly sisältää magneettisia hiukkasia, joita voidaan käyttää mm. pölyn lähdealueen tunnistamiseen (Larrasoaña et al., 2021). Ihmistoiminta, kuten sähköntuotanto, liikenne ja kotien lämmitys, tuottaa ilmakehään pölyä, jolle on ominaista korkeat pitoisuudet raskasmetalleja (mukaan lukien Fe, Pb, Zn, Ba, Mn, Cd ja Cr). Tämä pölykomponentti sisältää siten lähes poikkeuksetta magneettisia hiukkasia (EEA, 2023). Tyypillisesti kaupunki-ilman pienhiukkasten kokonaisrautapitoisuus on ~5–15 %, ja magneettiset mineraalit muodostavat tästä 10–70 % (Dedik et al., 1992; Hansard et al., 2012).

Ilmakehän mineraalipöly, erityisesti sen magneettinen komponentti, on merkittävä koska ylimääräinen rauta ilmakehän magneettisten pienhiukkasten muodossa vaikuttaa maailmanlaajuisesti ilmastoon, ilmakehään, valtameriin, biogeokemialliseen kiertokulkuun ja sillä on vakavia haitallisia vaikutuksia ihmisten terveyteen (Kuva 1). Kaikista ilman epäpuhtauksista pienhiukkasilla (PM) on haitallisimmat terveysvaikutukset, ja haitallisia vaikutuksia havaitaan erittäin pieninä pitoisuuksina (WHO, 2005; Power et al., 2023). PM tunkeutuu hengityselinten herkille alueille (läpimitta alle 10 μm ja alle 2,5 μm, PM_{10}, $PM_{2.5}$) ja jopa verenkiertoon (läpimitta alle 0.1 μm $PM_{0.1}$) (Hofman et al., 2017). Ilmakehän pienhiukkaset (PM) aiheuttavat vuosittain globaalisti yli 3,7 miljoonaan ennenaikaista kuolemaa (Power et al., 2023) ja sille altistuminen lisää riskiä sairastua mm. sekä sydän- ja verisuonitauteihin että kroonisiin keuhkosairauksiin myös Suomessa. Erityisesti magneettiset pienhiukkaset on liitetty neurodegeneratiivisiin sairauksiin siten, että $PM_{0.1}$ hiukkasilla on

haitallisempi vaikutus suurempiin hiukkasiin verrattuna (e.g., Maher et al., 2016; Hofman et al., 2017; Murros et al., 2019; Maher et al., 2020).



Kuva 1. Magneettisten pienhiukkasten (*magnetic PM*) vaikutus globaaleihin prosesseihin.

Luonnollisista ja ihmisperäisistä lähteistä peräisin olevat magneettiset hiukkaset ovat erilaisia, ne eroavat magneettisilta ominaisuuksiltaan, raekooltaan ja muodoltaan. Globaalista merkityksestään huolimatta magneettiset pienhiukkaset ja niiden lähteet ovat edelleen puutteellisesti ymmärrettyjä (e.g., Maher et al., 2020) ja Suomesta niiden laajempi tutkimus on puuttunut kokonaan. Magneettiset menetelmät ovat avainasemassa näiden hiukkasten karakterisoinnissa, lähteen tunnistamisessa ja määrän määrittämisessä. Tässä työssä esittelen viime aikoina Helsingin yliopiston Kiinteän maan geofysiikan laboratoriossa tehtyä tutkimusta liittyen ilmakehän pölyn magneettisiin ominaisuuksiin ja niiden terveysvaikutuksiin. Tutkimus on tehty yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen, Helsingin yliopistollisen sairaalan ja Geologian tutkimuskeskuksen kanssa.

2. KANSALAISTIEDEHANKE – PÖLYÄ POHJOIS-AFRIKASTA SUOMEEN

Osallistuimme Ilmatieteen laitoksen koordinoimaan kansalaistiedehankkeeseen, jossa selvitettiin Suomeen helmikuussa 2021 kulkeutuneen lumen värjäytymistä aiheuttaneen pölyn lähdealuetta (Meinander et al., 2023). Tässä hankkeessa toteutuivat kansallisen suosituksen mukaiset kansalaistieteen kolme vaatimusta: vapaaehtoiset kansalaiset olivat mukana pölynäytteiden keräämisessä, kansalaiset itse eivät olleet tutkimuskohteena ja tutkimusta johti koulutettu tutkija (dosentti Outi Meinander, Ilmatieteen laitos). Tämä kansalaistiedehanke mahdollisti nopean ja laajan pölyaineiston keruun, laajemman kuin missään aikaisemmin dokumentoidussa hankkeessa.

Hankkeessa mallinnettiin pölyn kulkeutumista ilmakehässä ja analysoitiin pölynäytteiden raekokokojakauma, mineralogia ja magneettisia ominaisuuksia. Yhdistämällä näin eri geotieteiden asiantuntemusta pölyn määritettiin olevan peräisin Pohjois-Afrikasta. Pölyn magneettisten ominaisuuksien mittaaminen ja ymmärtäminen oli avainasemassa, kun pölymyrskyn lähdealueeksi määritettiin Saharan lisäksi kosteampi Sahelin alue. Pölyn magneettiset ominaisuudet heijastavat eroja eri alueiden sääolosuhteiden välillä, erityisesti kosteuden. Suurempi sademäärä edistää rapautumista ja maannostumista ja synnyttää siten ultrahienoja (<30nm) magnetiittikiteitä (Lyons et al., 2012). Tutkitut pölynäytteet jaettiin

kahteen ryhmään magneettisten ominaisuuksien perusteella siten, että toisessa ryhmässä tulkittiin olevan enemmän, Sahelin alueelle tyypillisiä, ultrahienoja (<30 nm) magneettisia mineraaleja. Pöly siis kulkeutui ilmakehässä yli 5000 kilometrin matkan Pohjois-Afrikasta Suomeen.

3. SUBARKTISTEN AEROSOLIHIUKKASTEN MAGNEETTISET TUNNUSMERKIT

Määritimme yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen kanssa (dosentti Jussi Paatero) magneettisten hiukkasten pitoisuuden Helsingin Kaisaniemessä välillä 1962 ja 2005. Määritys on tehty Whatman 42 – paperisuodattimista, jotka alun perin kerättiin seuraamaan ilmakehän beeta-säteilyä (Paatero et al., 1994) ja myöhemmin niistä määritettiin hivenalkuainekoostumus (Ioannidou et al., 2023). Pro gradu - työssään Jasmin Maunula (Maunula et al., 2024) on karakterisoinut filttereiden magneettiset hiukkaset ja määrittänyt niiden lähteitä.

Magneettinen suskeptibiliteetti ilmaisee kaikkien magneettisten hiukkasten määrää filttereissä, mutta pääasiassa suskeptibiliteetti heijastelee muutoksia ferrimagneettisten magnetiitin ja maghemiitin määrässä. Mittasimme filttereiden suskeptibiliteetin ja havaitsimme, että magneettisten hiukkasten määrä kasvaa maksimiin 1962–1970, jonka jälkeen määrä laskee 1970–1983. Vuosina 1984 ja 1985 havaitaan jälleen suuri määrä hiukkasia ja tarkastelujakson minimi hiukkasten määrässä saavutetaan 1987. Vuoden 1987 jälkeen hiukkasten määrä kasvaa uudelleen maksimiinsa vuoteen 1997 mennessä, jonka jälkeen määrä laskee vuoteen 2005 asti, jolloin se saavuttaa vuoden 1983 tason.

Mittaamalla laboratoriossa tuotettuja eri remanentin magnetoituman tyyppejä havaitsimme, että suodattimissa (1969, 1987, 1996) oleva magneettinen materiaali koostuu eri määristä magnetiittia, maghemiittia ja hematiittia. Hematiittia havaittiin talvikuukausina enemmän kuin kesäkuukausina ja sen tulkitaan olevan peräisin hiekoitushiekasta. Tämän lisäksi vuoden 1996 filttereissä havaittiin merkittävä määrä ultrahienoa (<30 nm) magnetiittia. Magnetiitin ja maghemiitin tulkitaan olevan peräsin ihmisperäisistä (sähköntuotanto, liikenne) lähteistä. Tulkintaa tukevat pyyhkäisyelektronimikroskooppianalyysit, jotka osoittavat filttereiden sisältävän muodoltaan ja kemialliselta koostumukseltaan tyypillisiä ihmisperäisiä rautaoksidihiukkasia ($PM_{0.1}$–$PM_{2.5}$).

4. MAGNEETTISET HIUKKASET IHMISKEHOSSA

Yhteistyössä HUS:n kanssa määritimme magneettisten hiukkasten määrää ja tyyppiä Parkinson potilaiden ja terveiden kontrollihenkilöiden kehossa. Magneettiset analyysit yhdessä läpäisyelektronimikroskooppitutkimusten kanssa osoittivat, että sekä potilaiden että terveiden kontrollihenkilöiden kehossa on magneettisia hiukkasia, erityisesti ultrahienoja (<30 nm) magnetiittikiteitä (Murros et al., 2019). Näiden hiukkasten alkuperä voi olla ihmisperäinen (liikenne, sähköntuotanto jne.), luonnollinen tai kehossa syntyvä biogeeninen.

5. LOPUKSI

Magneettiset hiukkaset vaikuttavat ilmastoon, ilmakehään, biogeokemialliseen kiertokulkuun ja niillä on vakavia haitallisia vaikutuksia ihmisten terveyteen. Magneettiset mittausmenetelmät ovat avainasemassa ulkoilmassa ja ihmiskehossa olevien magneettisten hiukkasten tunnistamisessa, määrän määrittämisessä ja niiden lähteiden selvittämisessä. Näiden tässä esiteltyjen tutkimusten avulla pyrimme yhteistyössä eri tutkimuslaitosten kanssa mm. edistämään ymmärrystä ympäristöterveydestä, ilmanlaadusta ja ilmaston vuorovaikutuksista.

LÄHTEET

Dedik, A.N., Hoffmann, P., Ensling, J., 1992. Chemical characterization of iron in atmospheric aerosols. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics* 26, 2545-2548.

Hansard, R., Maher, B.A., Kinnersley, R.P., 2012. Rapid Magnetic Biomonitoring and Differentiation of Atmospheric Particulate Pollutants at the Roadside and around Two Major Industrial Sites in the U.K. *Environmental Science & Technology* 46, 4403-4410.

Hofman, J., Maher, B.A., Muxworthy, A.R., Wuyts, K., Castanheiro, A., Samson, R., 2017. Biomagnetic Monitoring of Atmospheric Pollution: A Review of Magnetic Signatures from Biological Sensors. *Environmental Science & Technology* 51, 6648-6664.

Ioannidou, E., Papagiannis, S., Manousakas, M.I., Betsou, C., Eleftheriadis, K., Paatero, J., Papadopoulou, L., Ioannidou, A., 2023. Trace Elements Concentrations in Urban Air in Helsinki, Finland during a 44-Year Period. *Atmosphere* 14.

Larrasoaña, J.C., Pey, J., Zhao, X., Heslop, D., Mochales, T., Mata, P., Beamud, E., Reyes, J., Cerro, J.C., Pérez, N., Castillo, S., 2021. Environmental magnetic fingerprinting of anthropogenic and natural atmospheric deposition over southwestern Europe. *Atmospheric Environment* 261, 118568.

Lyons, R., Oldfield, F., Williams, E., 2012. The possible role of magnetic measurements in the discrimination of Sahara/Sahel dust sources. *Earth Surface Processes and Landforms* 37, 594-606.

Maunula, J., Salminen, J., Wasiljeff, J., Kukkonen, I., Paatero, J., 2024. Characterising Magnetic Minerals in Urban Aerosol Dust in Helsinki. Proceedings of the Geological Society of Finland, Vol. 4, Abstracts of the 2nd GeoDays 12th-14th March, 2024, Turku, Finland, 67.

Maher, B.A., Ahmed, I.A., Karloukovski, V., MacLaren, D.A., Foulds, P.G., Allsop, D., Mann, D.M., Torres-Jardon, R., Calderon-Garciduenas, L., 2016. Magnetite pollution nanoparticles in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences* USA 113, 10797-10801.

Maher, B.A., González-Maciel, A., Reynoso-Robles, R., Torres-Jardón, R., Calderón-Garcidueñas, L., 2020. Iron-rich air pollution nanoparticles: An unrecognised environmental risk factor for myocardial mitochondrial dysfunction and cardiac oxidative stress. *Environmental Research* 188, 109816.

Meinander, O., Kouznetsov, R., Uppstu, A., Sofiev, M., Kaakinen, A., Salminen, J., Rontu, L., Welti, A., Francis, D., Piedehierro, A.A., Heikkilä, P., Heikkinen, E., Laaksonen, A., 2023. African dust transport and deposition modelling verified through a citizen science campaign in Finland. *Scientific Reports* 13, 21379

Murros, K., Wasiljeff, J., Macias-Sanchez, E., Faivre, D., Soinne, L., Valtonen, J., Pohja, M., Saari, P., Pesonen, L.J., Salminen, J.M., 2019. Magnetic Nanoparticles in Human Cervical Skin. *Frontiers in Medicine* 6, 123.

Paatero, J., Hatakka, J., Mattsson, R., Lehtinen, I., 1994. A Comprehensive Station for Monitoring Atmospheric Radioactivity. *Radiation Protection Dosimetry* 54, 33-39.

Power, A.L., Tennant, R.K., Stewart, A.G., Gosden, C., Worsley, A.T., Jones, R., Love, J., 2023. The evolution of atmospheric particulate matter in an urban landscape since the Industrial Revolution. *Scientific Reports* 13, 8964.

WHO, 2005. Particulate matter air pollution: how it harms health. Accessed at http://www.chaseireland.org/Documents/WHOParticulateMatter.pdf

Deep learning for scaling ionogram parameters in the polar region ionosphere

R. Sherstyukov

[1]Sodankylä Geophysical Observatory, University of Oulu,
Ruslan.Sherstyukov@oulu.fi

Abstract

Ionosondes are the most widely used instruments to obtain electron density profiles of the ionosphere. Typically, ionosondes operate with >15-minute time intervals, which is enough to obtain regular parameters of the ionosphere but insufficient to study small- and medium-scale traveling ionospheric disturbances and sporadic E layers. The key points for such studies are the increase of the ionosonde's time resolution, as well as automation of ionogram scaling routine. In this study, we present the results of the implementation of deep learning for ionogram parameter scaling. We trained and tested a convolutional neural network on data from the Sodankyla ionosonde in the high-latitude region. Our results show close-to-human ability to recognize the shapes of F1, F2, E layers, and six types of Es, as well as scaling of foF1, foF2, foE, and foEs parameters.

Kansainvälinen geodeettis-geofysikaalinen unioni (IUGG)

S. Silvennoinen[1], T. Luoto[2] ja Suomen geodeettis-geofysikaalinen kansalliskomitea[3]*
[1] Geotieteiden ja maantieteen osasto, Helsingin yliopisto, sonja.silvennoinen@helsinki.fi
[2]Suomen geologinen tutkimuskeskus, Espoo
[3]Jyri Näränen (IAG), Heidi Pettersson (IAPSO), Aku Riihelä (IACS), Tapani Rämö (IAVCEI), Timo Tiira (IASPEI), Laura Tuomi (Geofysiikan seura r.y.), Petteri Uotila (IAMAS), Jari Uusikivi (IAHS), Heikki Vanhamäki (IAGA)
*Suomen geodeettis-geofysikaalinen kansalliskomitea; yhteystiedot:
https://geofysiikanseura.yhdistysavain.fi/kansalliskomiteat/geodeettis-geofysikaalinen-kansa/
Twitter @IUGG_fin / linkedin.com/company/IUGG-fin/

1. RAKENNE JA STRATEGIA

Vuonna 1919 perustettu kansainvälinen geodeettis-geofysikaalinen unioni (IUGG) on valtioista riippumaton tieteellinen yhteistyöjärjestö, joka on sitoutunut edistämään, tukemaan ja viestimään tietoa maapallosta, sitä ympäröivästä avaruudesta ja niissä muutoksia aiheuttavista dynaamisista prosesseista. IUGG edistää ja koordinoi Maan ja lähiavaruuden fysikaalista, kemiallista ja matemaattista tutkimusta ja kannustaa kerätyn tiedon soveltamista yhteiskunnallisiin tarpeisiin, kuten mineraalivarojen käyttöön, luonnonuhkien hallintaan ja ympäristön suojeluun. IUGG keskittyy etenkin Maan sisä- ja pintaosien, hydrosfäärin, kryosfäärin ja ilmakehän fysiikkaan ja kemiaan sekä vastaavaan tutkimukseen muista planeetoista.
Tällä hetkellä IUGG:llä on 73 jäsenmaata Afrikassa, Aasiassa, Euroopassa, Pohjois- ja Keski-Amerikassa, Oseaniassa ja Etelä-Amerikassa, ja jäsenmaiden tutkijat osallistuvat IUGG:n toimintaan kansallisten komiteoiden kautta. IUGG koostuu kahdeksasta puoliautonomisesta alajärjestöstä: Kansainvälinen kryosfäärin ja glasiologian assosiaatio (IACS), kansainvälinen geodesian assosiaatio (IAG), kansainvälinen geomagnetismin ja aeronomian assosiaatio (IAGA), kansainvälinen hydrologisten tieteiden assosiaatio (IAHS), kansainvälinen meteorologian ja ilmakehätieteiden assosiaatio (IAMAS), kansainvälinen fysikaalisen meritieteen assosiaatio (IAPSO), kansainvälinen seismologian ja maapallon sisäosien fysiikan assosiaatio (IASPEI) ja kansainvälinen vulkanologian ja maan sisäosien kemian assosiaatio (IAVCEI). IUGG:n alaisuudessa toimii myös komissioita ja työryhmiä, jotka edistävät tutkimusta erityisissä poikkitieteellisissä kysymyksissä: ilmasto- ja ympäristömuutos (CCEC), data ja tieto (UCDI), geofysikaaliset riskit ja kestävyys (GRC), matemaattinen geofysiikka (CMC), planetaariset tieteet (UCPS), Maan syvien sisäosien tutkimus (SEDI) sekä historian työryhmä (WGH). Assosiaatioiden ja toimikuntien kautta IUGG tekee tutkimusta, kokoaa havaintoja, luo näkemyksiä, koordinoi toimintaa, pitää yhteyttä muihin tieteellisiin elimiin, toimii vaikuttajana, osallistuu koulutukseen ja pyrkii laajentamaan valmiuksia ja osallistumista maailmanlaajuisesti.

2. PYRKIMYKSIÄ

IUGG:n assosiaatiot ja komissiot järjestävät symposiumeja ja työpajoja ajankohtaisista aiheista edustamillaan tieteenaloilla, ja IUGG:n yleiskokous järjestetään joka neljäs vuosi. IUGG on käynnistänyt monia yhteistyöhankkeita, jotka ovat johtaneet menestyneisiin monitieteisiin tutkimusohjelmiin. Näistä esimerkkejä ovat Kansainvälinen litosfääriohjelma (ILP – IUGG:n ja Kansainvälisen geologisten tieteiden unionin yhteishanke), Kansainvälinen geodeettinen havaintojärjestelmä (GGOS), Merenpinnan keskikorkeuspalvelu (PSMSL), Äärimmäiset luonnonvaarat ja yhteiskunnalliset vaikutukset (ENHANS), Kansainvälinen suistojen vuosi (IYD), Planeetta Maan matematiikka (MPE), Maailman datasysteemi (WDS), Maailman ilmastotutkimusohjelma (WCRP) ja Kansainvälinen geosfääri-biosfääriohjelma (IGBP). IUGG harjoittaa myös julkaisutoimintaa: IUGG:n Special Publication Series -julkaisusarja (Cambridge University Press) sekä assosiaatioiden lehdet kuten Journal of Geodesy (IAG), Hydrological Sciences Journal (IAHS) ja Bulletin of Volcanology (IAVCEI).

Vastatakseen muuttuvan maailman ympäristöllisiin ja yhteiskunnallisiin haasteisiin parhaalla mahdollisella tavalla, IUGG kiinnittää erityistä huomiota tutkijanuran alkuvaiheessa olevien kansainväliseen tiedetoimintaan osallistamiseen esimerkiksi assosiaatioiden strategioiden ja matka-apurahojen kautta; osallistuvien maiden ja toimijoiden mahdollisuuksiin tarjota avoin pääsy tietoaineistoihin; alueellisten ja globaalien yhteistyöhankkeiden käynnistämiseen; ja tulevien geotieteilijäsukupolvien koulutukseen osallistumiseen ottaen huomioon haasteet ja eriarvoisuudet (sukupuolten välinen eriarvoisuus, erilaisista taustoista tuleville koulutuksen tarjoaminen, poikkitieteellisen tiedon tarve). Suomen geodeettis-geofysikaalisella kansalliskomitealla on edustajia jokaisessa IUGG:n assosiaatiossa ja Suomi on ollut alusta alkaen aktiivisesti mukana IUGG:n toiminnassa.

Extreme sea level studies on the Baltic Sea coast

J. Särkkä[1], **M. Rantanen**[1], **O. Räty**[1] **et al.**

[1] Finnish Meteorological Institute, Jani.Sarkka@fmi.fi

Abstract

MAWECLI (MArine and WEather events in the changing CLImate as potential external hazards to nuclear safety) project aims to increase preparedness towards single and compound marine and atmospheric extreme events that may pose external hazards at nuclear power plant level. The project strives to enhance methods on physical and statistical modelling, extreme value analysis and uncertainty quantification by joining expertise of scientists from various disciplines at the Finnish Meteorological Institute. MAWECLI is funded by SAFER2028 (National Nuclear Safety and Waste Management Research Programme 2023-2028). Projects funded by predecessors of SAFER2028 have been carried out at FMI since 2007.

Extreme sea levels studies on the Baltic Sea coast have been presented in several recent publications in the MAWECLI project. Rantanen et al. (2024) studied storm tracks and sea level observations in the Baltic Sea region and found that multiple consecutive storms within a week raise sea levels in the Baltic Sea more than when only one storm passes the same location. As a result, most of the high sea level events in the Baltic Sea are linked to periods when several storms pass the region. Räty et al. (2023) studied annual maximum sea levels in the Finnish coastal region, aiming to better quantify the uncertainty in them compared to previous studies. Using four statistical models, they found out that hierarchical models, which shared information on sea-level extremes across Finnish tide gauges, had lower uncertainty in their results in comparison with tide-gauge-specific fits. These models also suggested that the shape of the distribution for annual maximum sea levels is similar on the Finnish coast. Theoretical maximum sea levels on the Finnish coast were also studied. Särkkä et al. (2023) presented a method for numerical simulations of extreme sea levels using synthetic low-pressure systems as atmospheric forcing. They tested the method using three coastal sites: Oulu, St. Petersburg, and Riga and simulated synthetic cyclones with various tracks. They found high extremes at Oulu and at St. Petersburg, where the sea level extreme due to the synthetic cyclone reached up to 3.5 meters. If the mean water level of the Baltic Sea has a maximal value (1 meter) during the cyclone's passing, highest sea levels of 4.5 meters could be reached. These values can be compared with theoretical maximum sea levels of Räty et al. (2023).

REFERENCES

Rantanen, M. et al., 2024. The impact of serial cyclone clustering on extremely high sea levels in the Baltic Sea, *Geophysical Research Letters*, **51**, e2023GL107203.

Räty, O., M. Laine, U. Leijala, J. Särkkä, and M. M. Johansson, 2023. Bayesian hierarchical modelling of sea-level extremes in the Finnish coastal region, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **23**, 2403 - 2418.

Särkkä, J., J. Räihä, M. Rantanen, and M. Kämäräinen, 2023. Simulating sea level extremes from synthetic low-pressure systems (accepted for publication), *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, https://doi.org/10.5194/nhess-2023-102.

Tilastotietoa Itämeren yksittäisistä kovan aallokon tilanteista

L. Tuomi[1], J.-V. Björkqvist[1,2], H. Kanarik[1], L. Niskanen[3], M. Kankainen[3]

[1] Ilmatieteen laitos, laura.tuomi@fmi.fi
[2] Norwegian Meteorological Institute
[3] Luonnonvarakeskus

Tiivistelmä

Itämeren aalto-olosuhteet vaikuttava erilaisiin merellisiin toimintoihin, kuten meriliikenne, merituulivoima tai kalankasvatus. Tilastotietoa aalto-olosuhteista on saatavilla sekä havaintoihin että mallilaskelmiin perustuen. Näiden olemassa olevien tilastojen haasteena on, että niissä tyypilliseesti käytetyt keskiarvot tai persentiilit eivät anna riittävää tietoa toimintojen suunnittelun näkökulmasta. Usein toimijoille hyödyllisempi tieto on arvio siitä, kuinka usein ja kuinka pitkän aikaa aallonkorkeus ylittää tietyn kynnysarvon. Esittelemme uudenlaisen tavan tehdä aaltotilastoja (Björkqvist et al. 2024) . Tulokset sisältävät tiedon yksittäisten kynnysarvon ylittävien aallokkotilanteiden määrästä sekä niiden keskimääräisestä ja suurimmasta kestoajasta. Laskelmat perustuvat aaltomalliajoihin ajanjaksolta 1993-2021. Käytämme mallilaskelmat ovat Copernicus-meripalvelun Baltic Monitoring and Forecast Center (BAL MFC) tuottamia (BALTICSEA_REANALYSIS_WAV_003_015, EU Copernicus Marine Service Product, 2023). Tuote perutuu Itämerellä yleisesti käytetyyn WAM-malliin (versio 4.6.3) ja tuotteen alueellinen erottelukyky on 1 merimaili ja ajallinen 1 tunti.

Tilastojen laskemiseen käytimme erilaisia kynnysarvoja mukaan lukien Ilmatieteen laitoksen meriliikenteelle antamien varoitusten kynnysarvot; merkitsevä aallonkorkeus ylittää 2,5, 4 tai 7 metriä. Näistä 2.5 m on ainoastaan kesäaikaan käytettävä varoitusluokka. Joissain tilanteissa ja joidenkin toimintojen osalta myös alemmat aallonkorkeuden arvot voivat olla merkittäviä. Esimerkiksi kalankasvattamoilla tehtävät huoltotoimenpiteet voivat hankaloitua jo merkitsevän aallonkorkeuden ylittäessä metrin. Sijainninohjauksen osalta on tärkeää tunnistaa alueet, joilla aaltoilmasto on riittävän leuto, jotta ruokinta ja huollot kasvukauden aikana pystytään tekemään. Esimerkkinä tarkastelemme rannikkoaluetta Selkämerellä, jossa vertaillaan kahden eri alueen aalto-olosuhteita keskittyen matalien kynnysarvojen ylittymiseen.

VIITTEET

Björkqvist, J.-V., H. Kanarik, L. Tuomi, L. Niskanen and M. Kankainen, 2024. Event-based wave statistics for the Baltic Sea [preprint]. State of the Planet, ?-osr8. Accepted: 20 Mar 2024, final report publication: September 2024, 1–15. https://doi.org/10.5194/sp-2023-16

EU Copernicus Marine Service Product: Baltic Sea Wave Hindcast, Mercator Ocean International [data set], https://doi.org/10.48670/moi-00014, 2023.

Helsingin seismisen asemaverkon kuulumisia

T. Veikkolainen[1], K. Oinonen[1], T. Vuorinen[1], J. Kortström[1], P. Mäntyniemi[1], P. Seipäjärvi[1], J. Hällsten[1] ja S. Heinonen[1]

[1] Seismologian instituutti, Helsingin yliopisto, toni.veikkolainen@helsinki.fi

Abstract

The Institute of Seismology has maintained the HelsinkiNet seismic network in Helsinki since 2020. The network, owned by City of Helsinki, has since the beginning of this year included stations in Kuninkaantammi, Lauttasaari, Ruskeasuo, Seurasaari, and Vuosaari. Based on an agreement between the Institute and the city, the Institute produces an annual public report on the operation of the network and its observations within 30 km radius of the Central Railway Square of Helsinki. In 2023, the stations of the network detected 369 seismic events in this area, three of which were natural earthquakes. Most of the observations were blasts from known quarries and construction sites. Seismic monitoring in the Helsinki urban area will be meaningful also in future due to geothermal energy projects.

1. JOHDANTO

Helsingin yliopiston Seismologian instituutti on ylläpitänyt HelsinkiNet-nimistä seismistä havaintoverkkoa Helsingin alueella vuodesta 2019 alkaen (Veikkolainen et al., 2022). Verkko on kaupungin omistama. Se kattoi vuoden 2023 lopussa mittausasemat Kuninkaantammessa, Lauttasaaressa, Ruskeasuolla ja Vuosaaressa. Nykyisin mukana on myös aiemmin Otaniemen lämpövoimalahankkeen valvontaan käytetty asema Seurasaaressa. Instituutin ja kaupungin välisen sopimuksen nojalla instituutti tuottaa vuosittain julkisen raportin koskien verkon toimintaa ja havaintoja 30 km:n säteellä Helsingin Rautatientorista. Raportit ovat saatavilla Helsingin yliopiston Helda-julkaisuarkistossa. Niistä uusimpaan (Veikkolainen et al., 2023) pääsee osoitteesta https://hdl.handle.net/10138/574590.

2. VERKON TOIMINTA JA HAVAINNOT

HelsinkiNet toimii osana instituutin valtakunnallista havaintojärjestelmää (Kortström et al., 2016). Havainnot saapuvat tietoliikenneyhteyksien kautta ja käsitellään päivittäisanalyysin yhteydessä. Erityistä pääkaupunkiseudun havaintojärjestelmää ei ole vuoden 2021 jälkeen ylläpidetty Otaniemen alueen erillisen valvontatarpeen poistuttua.

Asemaverkon havaintojen määrä vuonna 2023 oli 369. Sitä edeltävänä vuonna havaintoja oli 440. Kumpanakin vuonna havaittiin kolme maanjäristystä, jotka tulkittiin sijaintien perusteella luonnollisiksi. Suurin osa seismisistä tapauksista liittyi tunnetuilla louhoksilla ja

rakennustyömailla tehtyihin räjäytyksiin. Spektrien ja aaltomuotojen perusteella maanjäristykset voidaan erottaa räjäytyksistä, vaikka Helsingin seudulla myös maanjäristykset ovat yleensä tapahtuneet lähellä maanpintaa ja niihin on liittynyt seisminen pinta-aalto.

3. NYKYISYYS JA TULEVAISUUS

Kuluvan vuoden aikana Helsingin asemaverkko on kyennyt havaitsemaan niin työmaaräjäytyksiä Helsingin kantakaupungin laidoilta kuin suuria maanjäristyksiä maailmalta (https://www.helsinki.fi/fi/seismologian-instituutti/ajankohtaista/voimakas-maanjaristys-342024-ja-jalkijaristyksia-taiwanissa). Geotermisten energiahankkeiden keskittyminen Etelä-Suomeen ja erityisesti pääkaupunkiseudulle (Arola et al., 2024) myös korostaa seismisen valvonnan merkitystä.

Erityisesti kaupunkialueella seisminen signaali näyttää usein peittyvän häiriöiden alle. HelsinkiNetin havaintokynnyksen tuntumassa olevien seismisten tapausten havaitsemiseen olemme alkaneet käyttää ristikorrelaattoria (Vuorinen et al., 2022) ja rohkaisevien tulosten myötä sen käyttö jatkuu.

KIITOKSET

Kiitämme Helsingin kaupunkiympäristön toimialaa ja sieltä erityisesti Ilkka Satolaa ja Risto Niinimäkeä yhteistyöstä.

VIITTEET

Arola, T., A. Martinkauppi, K. Piipponen, S. Vallin ja M. Wiberg, 2024. Keskisyvän ja syvän geotermisen energian hankkeet Suomessa. *Tutkimustyöraportti 20/2024, Geologian tutkimuskeskus.*

Kortström, J., M. Uski ja T. Tiira, 2016. Automatic classification of seismic events within a regional seismograph network. *Computers & Geosciences,* **87***, 22-30.*

Veikkolainen, T., K. Oinonen, T. Vuorinen, J. Kortström, P. Mäntyniemi, P. Seipäjärvi, J. Hällsten ja T. Tiira, 2023. Helsingin seisminen asemaverkko ja seismisyys 2023, *Raportti T-110, Seismologian instituutti, Helsingin yliopisto*.

Veikkolainen, T., K. Oinonen, T. Vuorinen, J. Kortström, P. Mäntyniemi, P. Lindblom, T. Luhta, J. Hällsten, P. Seipäjärvi, and T. Tiira, 2022. HelsinkiNet - a collaborative seismological research network of the Institute of Seismology, and the City of Helsinki. *XXX Geofysiikan Päivät, toim. T. Veikkolainen, L. Tuomi, T. Saari, P. Mäntyniemi, I. Suomi, S. Väkevä, A. Laaksonen ja L. Holappa, s. 65-68.*

Vuorinen, T., G. Hillers, T. Veikkolainen ja T. Heikkilä, 2022. Application of a dense network cross-correlation event detector to seismicity induced by hydraulic stimulations in Espoo/Helsinki, Finland. *EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-11652*.

Geofysiikan Seura r.y. (perustettu 1926) edistää geofysiikan tutkimusta ja on sitä harjoittavien henkilöiden yhdyssiteenä. Geofysiikan aihepiirejä ovat maa, vesi, ilma ja lähiavaruus. Seuran toimintaan kuuluvat kaikille avoimet esitelmätilaisuudet ja Geophysica-lehden julkaiseminen. Seura järjestää useimmiten joka toinen vuosi Geofysiikan Päivät -kokouksen.

The Geophysical Society of Finland (founded in 1926) advances geophysical research and serves as a link between those involved in it. Geophysics focuses on the solid earth, water, atmosphere and near space. The Society arranges public lectures on different geophysical topics and publishes the journal Geophysica. Usually every second year it arranges a meeting titled Geophysics Days.