



GEOFYSIIKAN SEURA  
GEOFYSISKA SÄLLSKAPET  
GEOPHYSICAL SOCIETY OF FINLAND

## **XXXII GEOFYSIIKAN PÄIVÄT**

Helsingissä 28.-29.5.2026

Toimittaneet

Jani Särkkä, Laura Tuomi, Timo Saari, Emma-Riikka Kokko,  
Madeleine Ekblom, Katriina Juva, Ari Laaksonen

HELSINKI 2026

ISSN 1798-2200

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

## Alkusanat

XXXII Geofysiikan Päivät järjestetään 28.-29. toukokuuta 2026 Ilmatieteen laitoksella Helsingissä.

Geofysiikan Päivät järjestetään kahden vuoden välein, vuorotellen pääkaupunkiseudulla ja Oulussa. Vuoden 2026 Geofysiikan Päivien järjestelytoimikuntaan kuuluvat Laura Tuomi (pj, IL), Jani Särkkä (IL), Madeleine Ekblom (IL), Ari Laaksonen (IL), Timo Saari (Maanmittauslaitos), Emma-Riikka Kokko (Oulun yliopisto) ja Katriina Juva (Suomen ympäristökeskus).

XXXII Geofysiikan Päiville on ilmoittautunut 55 osallistujaa. Päivien aikana kuullaan 26 suullista esitystä ja niiden lisäksi esitellään 15 posteria. Esitelmien aihepiirit kattavat laajalti eri geofysiikan aloja.

Päivien yhteydessä jaetaan myös järjestykseltään 15. Palmén-mitali. Palmén-mitali on Geofysiikan Seuran myöntämä tunnustus henkilölle, joka on ansiokkaasti edistänyt suomalaista tutkimusta Geofysiikan Seuran edustamilla tieteenaloilla. Vuonna 2026 Palmén- mitalin saa Professori Matti Leppäranta. Tunnustuksen myöntämisen yhteydessä Prof. Leppäranta luennoi aiheesta "Elämä kylmän geofysiikan parissa".

Geofysiikan Seuran puolesta kiitän kaikkia, jotka ovat omalla työpanoksellaan varmistaneet XXXII Geofysiikan Päivien toteutumisen.

Oulussa, 18.5.2026  
Emma-Riikka Kokko  
Geofysiikan Seuran puheenjohtaja

## Sisältö

<i>Alkusanat</i>	3
<i>XXXII Geofysiikan Päivien ohjelma</i>	7
<i>A. Ahmed</i> How supercontinent cycles modulate Earth’s magnetic field: Insights from polarity asymmetry and field intensity	12
<i>S. Avellan</i> Paleosecular variation during Mid-Holocene: A High-Resolution Record from Coastal Bothnian Sediments	14
<i>S. Avellan</i> Kansainvälinen geodeettis-geofysikaalinen unioni (IUGG)	16
<i>M. Bilker-Koivula</i> EQUIP-G - European QUantum Infrastructure Project for Gravimetry	18
<i>M. Ekblom</i> The role of icing in aggregated wind power in Finland in January 2026	19
<i>D. Gracheva</i> Geant4 Simulations of Muography Experiments for Volcanic Imaging	20
<i>V. Haapaniemi</i> Aallokosta riippuvan turbulentsen sekoittumisen vaikutukset vedenkorkeusennusteisiin	21
<i>A. Haivio-Reales</i> Electrical Conductivity of Graphite Distributions in 3D Printed Synthetic “Rocks”	22
<i>A. Harjulehto</i> Three-dimensional magnetotelluric modeling of the Fennoscandian Shield Conductivity Anomaly	26
<i>A. Harjunpää</i> Using rock magnetism to constrain the origin of remanent magnetisation in Paleoproterozoic Sør-Varanger dykes, Finnmark, Norway	30
<i>I. Honkonen</i> Adaptive timestep and mesh in a hybrid particle-in-cell model of Mercury's magnetosphere	32
<i>R. Hynönen</i> Ultra-low frequency wave spectra from Sodankylä magnetometer, with	33

comparisons to solar wind and magnetospheric measurements	
<i>E. Jager</i> Bridging the Model-Observation Gap for Basal Conditions of Antarctica and Greenland Ice Sheets	34
<i>J. Jokinen</i> New calibration line for relative gravimeters in central Finland	35
<i>A. Jutila</i> SNOWBALL: Synergy of models, observations, and remote sensing for Arctic snow and ice	38
<i>L. Juusola</i> Role of ionospheric and ground contributions in driving GIC: Northern Europe at the peak of the May 2024 superstorm	39
<i>R. Järvinen</i> Studying Mercury's dynamic magnetosphere with global hybrid modelling in the era of the BepiColombo mission	40
<i>H. Kanarik</i> Aallokon ennustaminen Itämeren rannikkoalueilla	41
<i>S. Kasi</i> Maaperän kosteuden mittaus neutronein	42
<i>E.-R. Kokko</i> Estimating frost quakes by calculating thermal stresses in soils in Finland	44
<i>I. Kostamo</i> Tracing North African dust to high latitudes - Magnetic characterization of dust deposited on snow in Finland	45
<i>J. Laakkonen</i> Preliminary paleomagnetic and geochronological data on Archean–Paleoproterozoic mafic dykes in the Kola craton of Finnmark in Norway	47
<i>Y. Li</i> A robust, explainable, and interactive sea ice type mapping model	49
<i>E. Marshalko</i> Modelling geoelectric field in Fennoscandia for a Carrington-class geomagnetic storm	50
<i>I. Merkouriadi</i> From Level Ice to Ridges: Modeling Snow Redistribution on Arctic Sea Ice	51

<i>E. Miettunen</i> Virtausmittauksia Suomenlahdelta vuosilta 2009–2015	52
<i>E. Nuttunen</i> The role of the Finnish Geospatial Research Institute in the European QUantum Infrastructure Project for Gravimetry (EQUIP-G)	53
<i>J. Paatero</i> Radioaktiivisuusluotauksista Jokioisten observatoriolla 1963–1980	54
<i>L. Pesonen</i> Continental drift history of Baltica	58
<i>S. Rasmus</i> Polaarialueen tutkijoiden ympäristötunteet ilmastokriisin aikakaudella	62
<i>M. Roivainen</i> Näyttemäärän vaikutus petrofysikaalisissa mittauksissa	66
<i>L. Rontu</i> Laatokan jääpeitteen kehitys viime talvina	70
<i>P. Räisänen</i> Pohjois-Euroopan lumiolojen muutokset CMIP6-ilmastomallien mukaan	71
<i>J. Salminen</i> Long-term magnetic monitoring reveals anthropogenic sources of iron-rich particulate matter in Helsinki	73
<i>J. Sarala</i> Modelling of airborne FTMG data acquired in Ransko massif (Czech Republic)	74
<i>J. Särkkä</i> Developing new services for electronical navigation in the Baltic Sea e-Nav project	75
<i>L. Tuomi</i> Ajelehtimismallinnus Suomenlahdella	76
<i>P. Uotila</i> Effects of extratropical cyclones on the Southern Ocean sea ice concentration	77
<i>S. Väkevä</i> AQUATIME: Pohjois- ja Länsi-Euroopan vesiekosysteemien fenologian tutkimus uudentyyppisillä satelliittihavainnoilla	78
<i>S. Ye</i> Synergistic Climate Modes Drive a Regime Shift in Physical-Biological Coupling	81

in the Northern Antarctic Peninsula Region

*C. Äijälä*

Coupled models and reanalyses in the Barents and Kara Seas

82

## **XXXII Geofysiikan Päivät Helsingissä Ilmatieteen laitoksella 28.-29.5.2026**

### **XXXII Geophysics Days in Helsinki, at the Finnish Meteorological Institute, May 28-29, 2026**

#### **Ohjelma torstaina 28.5.2026 / Programme on Thursday, May 29, 2026**

8.30-9.00 Ilmoittautuminen, postereiden kiinnitys / Registration, setup of posters

9.00-9.10 Päivien avaus / Opening of Geophysics Days (Emma-Riikka Kokko, Jani Särkkä)

#### **Istunto 1 / Session 1 Puheenjohtaja / Chair: Ilona Välisuo**

9.10-9.30 *Sirpa Rasmus*

Polaarialueen tutkijoiden ympäristötunteet ilmastokriisin aikakaudella

9.30-9.50 *Eliot Jager*

Bridging the Model-Observation Gap for Basal Conditions of Antarctica and Greenland Ice Sheets

9.50-10.10 *Madeleine Ekblom*

The role of icing in aggregated wind power in Finland in January 2026

10.10-10.30 *Servo Kasi*

Maaperän kosteuden mittaus neutronein

#### **10.30-11.00 Kahvitauko / Coffee break**

**Istunto 2/ Session 2, Puheenjohtaja / Chair: Madeleine Ekblom**

11.00-11.20 *Iida Kostamo*

Tracing North African dust to high latitudes - Magnetic characterization of dust deposited on snow in Finland

11.20-11.40 *Sakari Väkevä*

AQUATIME: Pohjois- ja Länsi-Euroopan vesiekosysteemien fenologian tutkimus uudentyypisillä satelliittihavainnoilla

11.40-12.00 *Yang Li*

A robust, explainable, and interactive sea ice type mapping model

12.00-12.20 *Petri Räisänen*

Pohjois-Euroopan lumiolojen muutokset CMIP6-ilmastomallien mukaan

**12.20-13.20 Lounastauko / Lunch break**

**Istunto 3 / Session 3 Puheenjohtaja / Chair: Petteri Uotila**

13.20-13.45 *Lauri J. Pesonen*

Continental drift history of Baltica in Deep Time

13.45-14.05 *Ana Haivio Reales*

Electrical Conductivity of Graphite Distributions in 3D Printed Synthetic "Rocks"

14.05-14.25 *Elena Marshalko*

Modelling geoelectric field in Fennoscandia for a Carrington-class geomagnetic storm

**14.20-14.45 Kahvitauko / Coffee break**

## **Istunto 4 / Session 4 Puheenjohtaja / Chair: Jani Särkkä**

14.45-15.05 *Laura Rontu*

Laatokan jääpeitteen kehitys viime talvina

15.05-15.25 *Laura Tuomi*

Ajelehtimismallinnus Suomenlahdella

15.25-15.45 Johdatukset postereihin (luettelo postereista päiväohjelman lopussa)

Introduction to posters (list of posters in the end of the daily programme)

### **15.45-16.00 Tauko / Break**

16.00-17.00 15. hopeisen Palmén-mitalin myöntäminen ja mitalistin Palmén-luento

Awarding the 15th Palmén medal and Palmén lecture of the medalist

17.00-19.00 Posterit ja posteribuffet / Posters and poster buffet

### **Posterisitykset / Poster presentations**

*P01. Sonja Avellan:* Kansainvälinen geodeettis-geofysikaalinen unioni (IUGG)

*P02. Daria Gracheva:* Geant4 Simulations of Muography Experiments for Volcanic Imaging

*P03. Arttu Harjunpää:* Using rock magnetism to constrain the origin of remanent magnetisation in Paleoproterozoic Sør-Varanger dykes, Finnmark, Norway

*P04. Ilja Honkonen:* Adaptive timestep and mesh in a hybrid particle-in-cell model of Mercury's magnetosphere

*P05. Liisa Juusola:* Role of ionospheric and ground contributions in driving GIC: Northern Europe at the peak of the May 2024 superstorm

*P06. Arttu Jutila:* SNOWBALL: Synergy of models, observations, and remote sensing for Arctic snow and ice

*P07. Hedi Kanarik:* Aallokon ennustaminen Itämeren rannikkoalueilla

*P08. Emma-Riikka Kokko:* Estimating frost quakes by calculating thermal stresses in soils in Finland

*P09. Eveliina Nuttunen:* The role of the Finnish Geospatial Research Institute in the European QUantum Infrastructure Project for Gravimetry (EQUIP-G)

*P10. Jussi Paatero:* Radioaktiivisuusluotauksista Jokioisten observatoriolla 1963–1980

*P11. Matti Roivainen:* Näytemäärän vaikutus petrofysikaalisissa mittauksissa

*P12. Jouni Sarala:* Modelling of airborne FTMG data acquired in Ransko massif (Czech Republic)

*P13. Petteri Uotila:* Effects of extratropical cyclones on the Southern Ocean sea ice concentration

*P14. Suwen Ye:* Synergistic Climate Modes Drive a Regime Shift in Physical-Biological Coupling in the Northern Antarctic Peninsula Region

*P15. Cecilia Äijälä:* Coupled models and reanalyses in the Barents and Kara Seas

## **Ohjelma perjantaina 29.5.2026 / Programme on Friday, May 29, 2026**

### **Istunto 5 / Session 5, Puheenjohtaja Emma-Riikka Kokko**

9.00.-9.20 *Jani Särkkä*

Enabling the Next Generation of Navigation in the Baltic Sea: products from the Baltic Sea e-nav project

9.20-9.40 *Juha Laakkonen*

Preliminary paleomagnetic and geochronological data on Archean–Paleoproterozoic mafic dykes in the Kola craton of Finnmark in Norway

9.40-10.00 *Mirjam Bilker-Koivula*

EQUIP-G - European QUantum Infrastructure Project for Gravimetry

10.00-10.20 *Elina Miettunen*

Virtausmittauksia Suomenlahdelta vuosilta 2009–2015

### **10.20-10.50 Kahvitauko / Coffee break**

### **Istunto 6 / Session 6, Puheenjohtaja Liisa Juusola**

10.50-11.10 *Ahmed Ahmed*

How supercontinent cycles modulate Earth's magnetic field: Insights from polarity asymmetry and field intensity

11.10-11.30 *Riku Järvinen*

Studying Mercury's dynamic magnetosphere with global hybrid modelling in the era of the BepiColombo mission

11.30-11.50 *Aleksanteri Harjulehto*

Three-dimensional magnetotelluric modeling of the Fennoscandian Shield Conductivity Anomaly

11.50-12.10 *Sonja Avellan*

Paleosecular variation during Mid-Holocene: A High-Resolution Record from Coastal Bothnian Sediments

12.10-12.30 *Veera Haapaniemi*

Aallokosta riippuvan turbulenttisen sekoittumisen vaikutukset vedenkorkeusennusteisiin

**12.30-13.20 Lounastauko / Lunch break**

**Istunto 7 / Session 7 , Puheenjohtaja Toni Luoto**

13.20-13.40 *Johanna Salminen*

Long-term magnetic monitoring reveals anthropogenic sources of iron-rich particulate matter in Helsinki

13.40-14.00 *Reko Hynönen*

Ultra-low frequency wave spectra from Sodankylä magnetometer, with comparisons to solar wind and magnetospheric measurements

14.00-14.20 *Ioanna Merkouriadi*

From Level Ice to Ridges: Modeling Snow Redistribution on Arctic Sea Ice

14.20-14.40 *Jarkko Jokinen*

New calibration line for relative gravimeters in central Finland

14.40-14.50 Nuoren tutkijan palkinnon jakaminen (palkintotoimikunnan puheenjohtaja)

14.50-15.00 Kokouksen päättäminen (Geofysiikan seuran puheenjohtaja)

# How supercontinent cycles modulate Earth's magnetic field: Insights from polarity asymmetry and field intensity

A. NM. Ahmed<sup>1</sup> and J. Salminen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki, Finland ,  
*ahmed.ahmed@helsinki.fi*

## *Abstract*

*Earth's magnetic field is generated by convection in the liquid outer core and exhibits long-term variability in both its intensity and polarity behaviour. Although geomagnetic reversals are well documented, the field does not spend equal time in normal and reversed states, resulting in a long-term imbalance between polarity states. The extent to which such asymmetry is modulated by large-scale tectonic processes, particularly during supercontinent cycles, remains poorly understood. In this study, we investigate how geomagnetic polarity asymmetry and field intensity have varied over long timescales associated with supercontinent assembly and breakup, focusing on Nuna/Columbia, Rodinia, and Pangea supercontinents. Nuna is considered here during its assembly and relatively stable phase (~1800–1380 Ma) and its breakup (~1380–1050 Ma; Li et al., 2023; Salminen et al., 2024), while Rodinia is explored over its assembly and stable phase (~940–750 Ma) and breakup (~750–600 Ma; Li et al., 2023).*

*We compile a global dataset of paleomagnetic directions and paleointensity estimates spanning ~2000 Ma to the present, selecting only data that meet strict age and quality criteria to ensure reliability (Van der Voo, 1990; Meert et al., 2020). From this dataset, we assess changes in geomagnetic polarity asymmetry using the ratio of normal to reversed polarity records through time, following established approaches (Driscoll and Evans (2016)).*

*Our results reveal differences in polarity behaviour between supercontinent tenure and breakup phases. Breakup intervals are generally associated with a stronger imbalance between normal and reversed polarity, most clearly expressed during the breakup of Nuna. In contrast, the Rodinia breakup interval shows a weaker signal, likely reflecting more limited and less evenly distributed data in the Neoproterozoic record. Comparison with the paleointensity record indicates that intervals of stronger polarity imbalance often coincide with relatively high geomagnetic field strength, particularly during the Mesoproterozoic (~1200–1000 Ma) and during Phanerozoic breakup phases. However, paleointensity constraints for the Rodinia interval remain sparse, limiting direct comparison. During relatively stable supercontinent*

*configurations, including Pangea tenure, the field tends to show lower variability in both intensity and polarity asymmetry, although this Rodinia cycle is the exception.*

*These observations suggest that supercontinent cycles modulate the long-term geodynamo behaviour, most likely through changes in heat flow patterns at the core–mantle boundary. However, the response of geomagnetic polarity is not linear or uniform, indicating that polarity asymmetry is controlled by a combination of mantle forcing and internal dynamo dynamics operating over geological timescales.*

## REFERENCES

- Driscoll, P. E., & Evans, D. A., 2016. Frequency of Proterozoic geomagnetic superchrons. *Earth and Planetary Science Letters*, 437, 9-14. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.12.035>.
- Li, Z. X., Liu, Y., & Ernst, R., 2023. A dynamic 2000—540 Ma Earth history: From cratonic amalgamation to the age of supercontinent cycle. *Earth-Science Reviews*, 238, 104336. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023>.
- Meert, J. G., Pivarunas, A. F., Evans, D. A. D., Pisarevsky, S. A., Pesonen, L. J., Li, Z.-X., Elming, S.-Å., Veikkolainen, T., Salminen, J., Trindade, R. I. F., & others., 2020). The magnificent seven: a proposal for revised criteria to assess the quality of paleomagnetic poles. *Geophysical Journal International*, 221(3), 2128–2140. <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa079>.
- Salminen, J., Evans, D. A., Trindade, R. I., Hanson, R., Söderlund, U., Ernst, R. E., ... & Fieldhouse, I., 2024. Congo-São Francisco craton in Paleoproterozoic-Mesoproterozoic supercontinent Nuna. *Precambrian Research*, 406, 107380. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2024.107380>.
- Van der Voo, R., 1990. The reliability of paleomagnetic data. *Tectonophysics*, 184(1), 1-9. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(90\)90116-P](https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90116-P).

# **Paleosecular variation during Mid-Holocene: A High-Resolution Record from Coastal Bothnian Sediments**

**S. Avellan\*, S. Kultti, J. Salminen**

Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki,  
\*sonja.avellan@helsinki.fi

Oxygenation dynamics in coastal sediments provide critical insights into Holocene environmental change, yet the timing of these events in northern Europe remains poorly constrained and are notoriously hard to date. Here, records of past paleosecular variation (PSV) of the Earth's magnetic field can provide valuable chronological reference points. We present a new PSV record of inclination and relative paleointensity (RPI) of the magnetic field spanning the mid-Holocene (ca. 10.6–4 ka cal BP), derived from a 34-meter sediment sequence from western Finland. The site with exceptionally high sedimentation rate captures the transition from a lacustrine to marine phase (Silvennoinen et al. 2025), and provides a unique opportunity to investigate geomagnetic field variability in the northern Baltic region.

Paleomagnetic measurements at 5 cm intervals produce a paleosecular variation (PSV) curve with decade-scale resolution. An age-depth model based on seven radiocarbon dates from macrofossils and bulk sediment provides further chronological control. The magnetic mineral assemblage, dominated by a mixture of authigenic single domain greigite and magnetite in marine unit and single domain magnetite in lacustrine unit, provides stable characteristic remanent magnetization throughout the record, although intervals with secondary components are also observed. Especially in the lacustrine unit the PSV-curve shows good alignment with regional curves (e.g. Ojala and Saarinen 2002, Haltia-Hovi et al. 2010, Mellström et al. 2015), Fennoscandian stack (FENNOSTACK; Snowball et al. 2007) and global models (Constable et al. 2016, Schanner et al. 2022).

We explore the potential for relative paleointensity reconstruction using different types of remanent magnetizations (Tauxe 1993). The presence of greigite introduces uncertainty, with experimental work suggesting that remanent magnetization associated with greigite can significantly overestimate magnetic field strength, making interpretation more complex (Roud and Gilder 2024). However, the general pattern of the Kurikka paleointensity record follows the Fennoscandian RPI stack (Snowball et al. 2007).

The continuous, high-accumulation record from Kurikka captures short-term Holocene geomagnetic field variations that may be smoothed or lost in lower-resolution archives. Our findings enhance the resolution of Holocene geomagnetic field reconstructions in Fennoscandia and support future modelling efforts of magnetic field behaviour. Furthermore, the PSV-based chronology provides a valuable framework for timing paleoenvironmental changes from the same sedimentary sequence.

## REFERENCES

- Constable, C., M. Korte, and S. Panovska, 2016. Persistent high paleosecular variation activity in southern hemisphere for at least 10 000 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 453, 78-86.
- Haltia-Hovi, E., N. Nowaczyk and T. Saarinen, 2010. Holocene palaeomagnetic secular variation recorded in multiple lake sediment cores from eastern Finland. *Geophysical Journal International* 180(2), 609-622.
- Mellström, A., A. Nilsson, T. Stanton, R. Muscheler, I. Snowball and N. Suttie, 2015. Post-depositional remanent magnetization lock-in depth in precisely dated varved sediments assessed by archaeomagnetic field models. *Earth and Planetary Science Letters* 410, 186-196.
- Ojala, A. E. K. and Saarinen, T., 2002. Palaeosecular variation of the Earth's magnetic field during the last 10000 years based on the annually laminated sediment of Lake Nautajarvi, central Finland. *The Holocene* 12(4), 391-400.
- Roud, S. C. and Gilder, S. A., 2024. Contrasting Recording Efficiency of Chemical Versus Depositional Remanent Magnetization in Sediments. *Geophysical Research Letters* 51(7), e2024GL108243.
- Schanner, M., M. Korte and M. Holschneider, 2022. ArchKalmag14k: A Kalman-filter based global geomagnetic model for the Holocene. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127(2), e2021JB023166.
- Silvennoinen, S., J. Salminen, S. Kultti and N. Putkinen, 2025. Environmental magnetism assessing coastal deoxygenation history in the northern Baltic Sea during Holocene thermal maximum from a high time resolution sedimentary sequence. *BOREAL ENVIRONMENT RESEARCH* 30, 55-76.
- Snowball, I. F., L. Zillén, A.E.K. Ojala, T. Saarinen and P. Sandgren, 2007. FENNOSTACK and FENNORPIS: Varve dated Holocene palaeomagnetic secular variation and relative palaeointensity stacks for Fennoscandia. *Earth and Planetary Science Letters* 255(1), 106-116.
- Tauxe, L., 1993. Sedimentary records of relative paleointensity of the geomagnetic field: theory and practice. *Reviews of geophysics*, 31(3), 319-354.

## Kansainvälinen geodeettis-geofysikaalinen unioni (IUGG)

**S. Avellan<sup>1</sup>, T. Luoto<sup>2</sup> ja Suomen geodeettis-geofysikaalinen kansalliskomitea<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup> Geotieteiden ja maantieteen osasto, Helsingin yliopisto, sonja.avellan@helsinki.fi

<sup>2</sup> Suomen geologinen tutkimuskeskus, Espoo

<sup>3</sup> Jyri Näränen (IAG), Heidi Pettersson (IAPSO), Aku Riihelä (IACS), Tapani Rämö (IAVCEI), Suvi Heinonen (IASPEI), Emma-Riikka Kokko (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/>

### 1. RAKENNE JA STRATEGIA

Vuonna 1919 perustettu kansainvälinen geodeettis-geofysikaalinen unioni (International Union of Geodesy and Geophysics, IUGG) on valtioista riippumaton tieteellinen yhteistyöjärjestö, joka edistää, tukee ja viestii tietoa maapallosta, sitä ympäröivästä avaruudesta ja niissä muutoksia aiheuttavista dynaamisista prosesseista. IUGG on yksi Kansainvälisen tiedeneuvoston (International Science Council, ISC) alaisista kansainvälisistä tieteellisistä unioneista ja toimii tieteellisenä yhdyssiteenä tutkijayhteisön, kansainvälisten tiedejärjestöjen ja päätöksenteon välillä.

IUGG edistää ja koordinoi Maan ja lähiavaruuden fysikaalista, kemiallista ja matemaattista tutkimusta sekä tukee kerätyn tiedon soveltamista yhteiskunnallisiin tarpeisiin, kuten luonnonvarojen kestävään käyttöön, luonnonuhkien hallintaan, ilmastonmuutoksen hillintään 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 75 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). Näiden lisäksi IUGG:n alaisuudessa toimii komissioita, jotka edistävät poikkitieteellisistä tutkimusta ja yhteistyötä keskeisillä alueilla: ilmasto- ja ympäristömuutos (CCEC), geofysikaaliset riskit ja kestävyys (GRC), matemaattinen geofysiikka (CMG), planetaariset tieteet (UCPS) sekä Maan syvien sisäosien tutkimus (SEDI). Assosiaatioiden ja

komissioiden 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. TOIMINTA JA PYRKIMYKSET

IUGG:n assosiaatiot ja komissiot järjestävät symposiumeja, työpajoja ja koulutustilaisuuksia. Näiden lisäksi IUGG:n yleiskokous järjestetään neljän vuoden välein: viimeisin pidettiin Berliinissä vuonna 2023 ja seuraava järjestetään Incheonissa, Etelä-Koreassa, vuonna 2027. Helsingissä yleiskokous pidettiin vuonna 1960. Yleiskokoukset kokoavat yhteen laajan kansainvälisen tutkijayhteisön ja linjaavat unionin yhteisiä tieteellisiä ja strategisia tavoitteita. IUGG on käynnistänyt tai ollut keskeinen tukija useissa menestyksellissä, kansainvälisissä ja monitieteisissä tutkimusohjelmissa. Näistä esimerkkejä ovat Kansainvälinen litosfääriohjelma (ILP – IUGG:n ja Kansainvälisen geologisten tieteiden unionin yhteishanke), Kansainvälinen geodeettinen havaintojärjestelmä (GGOS), Merenpinnan keskikorkeuspalvelu (PSMSL), Maailman ilmastotutkimusohjelma (WCRP), Integroitu katastrofiriskitutkimus (IRDR), Planeetta Maan matematiikka (MPE), Maailman datasysteemi (WDS) sekä YK:n tukema Kansainvälinen perus- ja perustieteiden vuosi kestävän kehityksen hyväksi (International Year of Basic Sciences for Sustainable Development, IYBSSD, 2021–). IUGG palkitsee ansioituneita tutkijoita ja harjoittaa myös julkaisutoimintaa: unionin oma Special Publication Series -julkaisusarja (Cambridge University Press) sekä assosiaatioiden tieteelliset lehdet kuten Journal of Geodesy (IAG), Hydrological Sciences Journal (IAHS) ja Bulletin of Volcanology (IAVCEI) ovat keskeisiä julkaisukanavia.

Vastatakseen muuttuvan maailman ympäristöllisiin ja yhteiskunnallisiin haasteisiin IUGG painottaa erityisesti tutkijanuransa alkuvaiheessa olevien tutkijoiden (ECR) kansainväliseen tiedetoimintaan osallistamista mm. matka-apurahojen kautta; avoimen datan ja tiedon vapaan vaihdon periaatteita; alueellisten ja globaalien yhteistyöhankkeiden tukemista; koulutustoimintaa sekä eri maiden ja tutkijaryhmien välisten eriarvoisuuksien ja osallistumisen esteiden purkamista. Suomen geodeettis-geofysikaalisella kansalliskomitealla on edustaja jokaisessa IUGG:n assosiaatiossa ja Suomi on ollut vuodesta 1927 alkaen aktiivisesti mukana IUGG:n toiminnassa.

# EQUIP-G - European QUantum Infrastructure Project for Gravimetry

**M. Bilker-Koivula<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Finnish Geospatial Research Institute, The National Land Survey of Finland, Espoo,  
mirjam.bilker-koivula@maanmittauslaitos.fi

## *Abstract*

*As quantum technology advances, quantum gravimeters provide increasingly precise measurements of mass variations at different altitudes, enhancing our understanding of Earth's internal dynamics and supporting strategic decisions in energy and environmental management. The EU-funded EQUIP-G project brings together 20 partners from 11 European countries to test, develop, and implement a European quantum gravimeter network. The goal of the project is to strengthen the EU's autonomy and competitiveness while improving the availability of quantum gravimetry instruments and community building across Europe. In the 4-year project, a set of quantum gravimeters, dual quantum gravi-gradiometers and an onboard quantum gravimeter will be deployed in a variety of field settings around Europe to demonstrate the potential of the quantum gravity network to contribute to EU priorities, such as Green Deal, energy management and risk mitigation. The instruments will be comprehensively tested, and comparisons of quantum gravimeters will be organized to ensure traceability of the gravity measurements to the SI units. Data will be handled following the FAIR principles and efforts are made towards a long-term goal to establish a TCS for gravimetry within the European Plate Observing System EPOS. EQUIP-G aims at involving the whole European gravimetry community in the development of the long-term Instrumental Park initiative that will extend beyond the end of the project, democratizing the use of quantum gravity devices produced in Europe. To test the operation of this anticipated future park the project organizes a first open call for the loan of a quantum gravimeter in the summer of 2026.*

# The role of icing in aggregated wind power in Finland in January 2026

M. Ekblom

Finnish Meteorological Institute, Helsinki, madeleine.ekblom@fmi.fi

## *Abstract*

*Wind power production is an essential part of the Finnish energy system. By the end of 2025, the total installed capacity of wind power reached 9,433 MW according to Finnish Renewables. Preliminary statistics from Finnish Energy show that about 26% of the electricity in 2025 was produced using wind power. As wind power is highly weather-dependent, wind power forecast models aim at estimating the amount of production using data from weather forecasts. The wind power forecasting model at the Finnish Meteorological Institute (FMI) is based on weather forecasting data from the MetCoOp ensemble prediction system (MEPS). MEPS is based on the limited area model Harmonie-AROME and covers Northern Europe with a horizontal resolution of 2.5 km. The forecast data is then combined with an algorithm that converts weather data to production data using information on installed wind turbines to get a forecast for aggregated wind power production for Finland. Wind power production has both seasonal and diurnal variation due to variations in weather conditions. During the cold season, ice formation can occur. Ice forms when supercooled cloud and rain droplets freeze when hitting the cold wind turbine blades. Icing has a negative impact on wind power production. Icing does not only affect wind production directly (active icing), but also after the icing event as accumulated ice can still be on the blades (passive icing). Wind power production returns to normal, when the icing event is completely over, i.e., when the ice has melted or in other ways been removed from the turbine blades. In this case study, we look at the role of icing on aggregated wind power in Finland using data from January 2026. We use wind power forecasts from FMI and Fingrid (Finland's transmission system operator) as well as wind power production data from Fingrid. In addition, we use icing classification data from FMI's ceilometers to estimate icing. Ceilometers can be used to detect clouds and their heights, and combined with a temperature profile, it is possible to get icing classification data. We compare icing classification data with forecast errors to understand the role of icing on wind power forecasts. This study shows how long and widespread icing events affect wind power production with a delay. Future research will extend this case study to get a better understanding of the link between icing, wind power production, and forecasts.*

# Geant4 Simulations of Muography Experiments for Volcanic Imaging

D. Gracheva

Oulu Mining School, University of Oulu, [daria.gracheva@fmi.fi](mailto:daria.gracheva@fmi.fi)

## *Abstract*

*Muography is an emerging geophysical imaging technique that utilizes atmospheric cosmic-ray muons to investigate the internal structure of large and dense geological objects. Because high-energy muons can penetrate hundreds to thousands of meters of rock, muography provides a non-invasive method for studying volcanic conduits, magma reservoirs, and crater structures. However, practical applications are often limited by the long exposure times required to achieve statistically significant density reconstructions. Observation campaigns frequently extend over several months or even years, creating logistical and operational challenges in harsh volcanic environments. In this work, we present a numerical simulation framework for optimizing muography experiments using the Geant4 Monte Carlo toolkit. A realistic three-dimensional voxel-based model of the Iwodake volcano was constructed from Shuttle Radar Topography Mission data and implemented in Geant4 to simulate atmospheric muon propagation and attenuation within the volcanic edifice. The model incorporates spatially varying density regions corresponding to solid volcanic rock, fragmented crater material, and magma within the conduit system. Atmospheric muon propagation through the volcanic structure was simulated for several internal density configurations representing different volcanic states. Synthetic muographic datasets were then used to evaluate reconstruction quality for realistic detector placements and exposure times. The results demonstrate that reconstruction accuracy strongly depends on both exposure time and density contrast. Short observation periods are dominated by statistical fluctuations, while longer exposures significantly improve signal-to-noise ratios and reveal stable density structures. Large density contrasts become detectable after several months of observation, whereas smaller variations remain difficult to resolve even after one year. Simulations further show that combining observations from multiple detector locations substantially improves statistical significance and reduces the observation time required for reliable imaging. The proposed simulation framework provides an effective tool for planning and optimizing volcanic muography experiments prior to field deployment. The methodology can support more efficient monitoring of dynamic volcanic systems and is also applicable to other large-scale structures requiring non-invasive subsurface imaging.*

# Aallokosta riippuvan turbulenttisen sekoittumisen vaikutukset vedenkorkeusennusteisiin

V. Haapaniemi<sup>1</sup>, L. Tuomi<sup>1</sup>, H. Kanarik<sup>1</sup> A. Twelves<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ilmatieteen laitos, [veera.haapaniemi@fmi.fi](mailto:veera.haapaniemi@fmi.fi)

## Abstrakti

*Tuulen kehittämä aallokko muovaa merenpinnan rosoisuutta, jota puolestaan käytetään fysikaalisissa merimalleissa turbulenttisen sekoittumisen pituuskaalan määrittämiseen. Oleellisesti turbulenttinen sekoittuminen merimalleissa pohjautuu merkitsevän aallonkorkeuden arviointiin hetkelliseen tuulen nopeuteen perustuen. Tätä kuvaavat yhtälöt on tyypillisesti kalibroitu valtamerten aallokkohavaintoihin perustuen, mikä rajoittaa niiden soveltuvuutta rannikkomerten olosuhteisiin kuten pyyhkäisymatkan rajoittaman aallokon kasvun ja siihen liittyvän sekoittumisen kuvaamiseen (Haapaniemi ja muut, 2026).*

*Harppauskerroksen syveneminen on mahdollista huomioida aiempaa tarkemmin, kun huomioidaan alueelliset piirteet aalto-olosuhteissa. Aiemmassa tutkimuksessamme alueellisen kalibroinnin merkitys korostui pintakerroksen lämpötilojen mallintamisessa erityisesti kesäkauden korkeiden lämpötila-arvojen osalta. Alkuperäiset määritelmät johtivat herkästi pintakerrosta viilentävään ylisekoittumiseen, kun taas alueelliset kuvaukset korjasivat tätä vinoumaa. Tässä esitelmässä tarkastelemme alueellisten, Itämeren ja Pohjanmeren aalto-olosuhteisiin kalibroitujen kuvausten vaikutuksia vedenkorkeusennusteisiin.*

*Tulostemme mukaan turbulenttisen sekoittumisen merkitys vedenkorkeusennusteissa korostuu pyyhkäisymatkan rajoittamissa aalto-olosuhteissa. Tällöin pelkästään tuuleen perustuvat kuvaukset, jotka eivät ota huomioon pyyhkäisymatkan rajoittavaa vaikutusta aallokon kasvulle, siirtävät kineettistä energiaa liian syvälle vesipatsaaseen ja heikentävät rannikon suuntaisia virtauksia pintakerroksessa. Sen sijaan alueellisen aallokon kasvun ja murtumisen huomiointi, sekä eksplisiittisesti että implisiittisesti, parantaa äärivedenkorkeuden ennustettavuutta tilanteissa, joissa tuulen nopeuteen perustuvat arviot johtaisivat vedenkorkeuden aliarviointiin.*

Haapaniemi, V., L. Tuomi, J.-V. Björkqvist, A. Twelves, J. Murawski, H. Kanarik, S. Falahat, A. Westerlund ja A. Nummelin, 2026. Surface wave impacts on turbulent roughness length parameterization, *Ocean Modelling* **202**, 102742, <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2026.102742>

# Electrical Conductivity of Graphite Distributions in 3D Printed Synthetic “Rocks”

A. Haivio Reales<sup>1</sup>, I. Corfe<sup>2</sup>, T. Luoto<sup>3</sup> and J. Salminen<sup>1</sup>

ana-belen.haivio\_reales@helsinki.fi

<sup>1</sup>Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki, Helsinki

<sup>2</sup>Circular Economy Solutions, Geological Survey of Finland, Espoo

<sup>3</sup>Geophysical Solutions, Geological Survey of Finland, Espoo

## *Abstract*

*The transition away from fossil fuels towards a sustainable society has increased the demand for critical minerals, such as graphite, and consequently the development of novel methods in mineral research and exploration. In this study, for the first time, a graphite-rich filament with large particles (100–125 µm) was developed, 3D printed into synthetic rock samples analogous to natural graphite-bearing rocks and the electrical conductivity measured with petrophysical characterisation methods. The synthetic 3D printed samples follow conductivity trends of natural graphite-bearing rocks.*

## 1. INTRODUCTION

The transition towards low-carbon energy systems has increased demand for critical minerals, such as graphite, which is widely used in batteries, and electronic applications (Reich and Simon 2024). Natural graphite is characterised by low density and high electrical conductivity (Kukkonen 1983) and is commonly associated with intense geophysical anomalies (e.g., Al-Ani et al. 2024). However, graphite is not the only source of such anomalies, as for example associated iron sulphides have a significant influence on the conductivity (Loukola-Ruskeeniemi et al. 2023), complicating the interpretation of geophysical anomalies.

To better understand these systems and support mineral exploration, there is a need to improve both experimental approaches and the petrophysical characterization of graphite-bearing rocks. This study explores the use of 3D printing technology, a method that is still emerging in geoscience applications (e.g., Ishutov et al. 2018), to produce synthetic rock analogues for petrophysical research.

## 2. METHODS

A novel graphite-polymer-rich filament was developed using, for the first time, relatively large graphite flakes (100–125 µm) while still achieving high graphite concentrations (40 wt. %) (Haivio Reales 2025). Flake graphite was combined with polymer powders and extruded into a 3D printable filament through the melting of the polymers. 3D printed samples were printed as synthetic analogues to natural graphite-bearing rocks, with varying graphite concentrations and distributions surrounded by a pure polymer matrix (Figure 1).

The electrical properties of the 3D printed samples were measured at the Geophysical Laboratory of the Geological Survey of Finland (GTK) in Espoo, using two instruments: the frequency-domain GTK-built MAFRIP (Puranen et al. 1983) and the Sample Core Induced Polarisation (SCIP) tester.

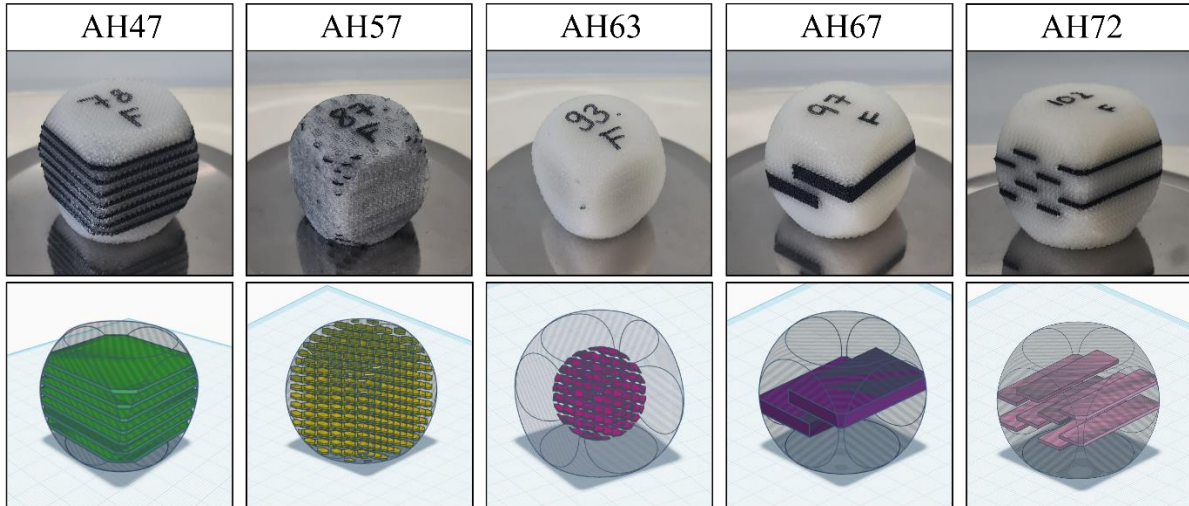


Figure 1: Example of produced synthetic 3D printed samples with (top) different distributions of 40 wt. % graphite-rich filament (black) in pure polymer matrix (white) and (bottom) respective 3D models.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The relationship between graphite concentration and electrical conductivity was investigated through petrophysical measurements. The results show a positive correlation between the two parameters, with electrical conductivity increasing as graphite concentration increased (Figure 2). The orientation and anisotropy of the graphite flakes can be inferred from the differences in conductivity along the samples' three axis: the flakes align parallel to the printed layers (Sanchez et al. 2023) resulting in a conductive pathway along the X and Y axes (Figure 2b, c), but forming a relatively resistive barrier along the Z axis (Figure 2a).

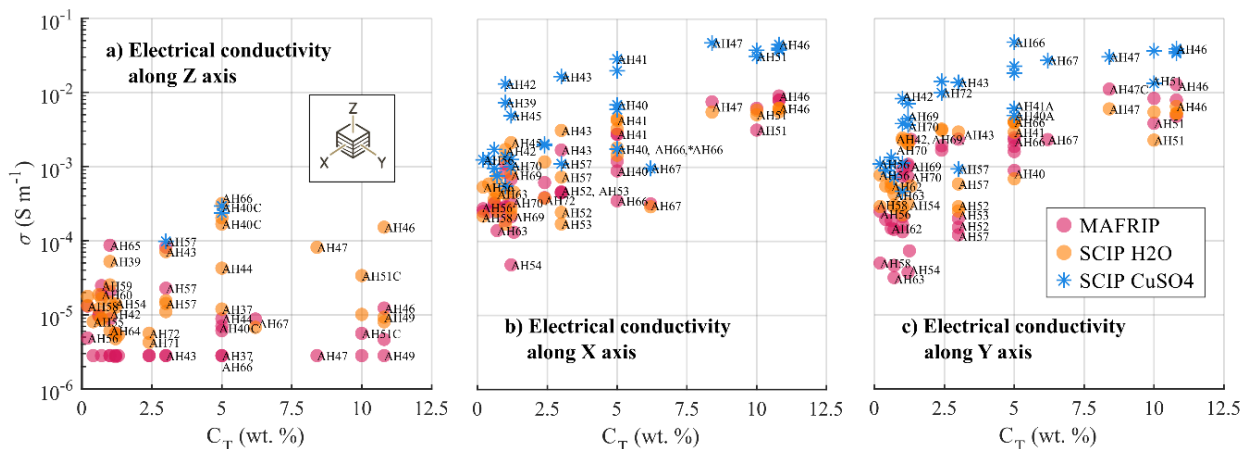


Figure 2: Electrical conductivity ( $\sigma$ ) over bulk graphite concentration ( $C_T$ ) of synthetic 3D printed samples, measured along the samples' (a) Z, (b) X and (c) Y axes.

The conductivity of the printed samples falls within the lower range of natural graphite-bearing rocks (Figure 3). One possible explanation for the lower values may be the lack of sulphides in the synthetic samples, which are proposed to enhance the bulk electrical properties of sulphide-bearing graphitic rocks (e.g., Loukola-Ruskeeniemi et al. 2023). Another factor may be reduced connectivity between the graphite flakes and pore structures in the printed samples.

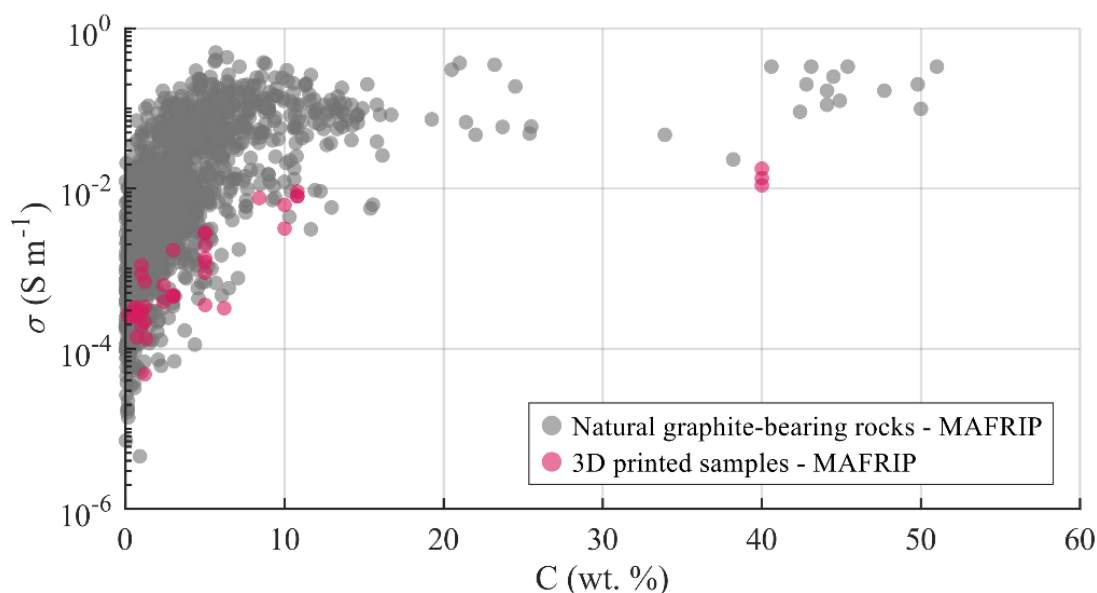


Figure 3: Comparison of natural graphite-bearing rock electrical/graphite concentration data (GTK) and 3D printed samples (Haivio Reales 2025).

#### 4. CONCLUSION

Overall, the study demonstrates the potential of 3D printing for producing controlled geological analogues for petrophysical experiments and highlights the complexity of interpreting geophysical signals in graphite- and sulphide-bearing systems. Future work will focus on incorporating sulphide minerals such as pyrrhotite alongside flake graphite to further investigate their combined electrical properties using the developed 3D printing approach.

#### REFERENCES

- Al-Ani, T., Ahtola, T., Kuusela, J., Leinonen, S. and Leväniemi, H. 2024. Geological and Mineralogical Investigations of High-quality Flake Graphite Occurrences in Finland. *Geological Survey of Finland, Open File Research Report 13/2024*, 39 p.
- Haivio Reales, A. B. 2025. Electrical conductivity of 3D printed synthetic rocks with variable graphite concentration and distribution. MSc thesis, *HELDA University of Helsinki*, 61 p.
- Ishutov, S., Jobe, T.D., Zhang, S., Gonzalez, M., Agar, S.M., Hasiuk, F.J., Watson, F., Geiger, S., Mackay, E. and Chalaturnyk, R., 2018. Three-dimensional printing for geoscience: Fundamental research, education, and applications for the petroleum industry. *AAPG Bulletin*, 102, 26 p.
- Kukkonen, I. 1984. Grafiittipitoisten kivilajien petrofysikaaliset ominaisuudet. *Geological Survey of Finland archives, report M*, 50 p.

- Loukola-Ruskeeniemi, K., Hyvönen, E., Airo, M.L., Lerssi, J. and Arkimaa, H., 2023. Country-wide exploration for graphite-and sulphide-rich black shales with airborne geophysics and petrophysical and geochemical studies. *Journal of Geochemical Exploration*, 244, 25 p.
- Puranen, R., Sulkanen, K. and Jäppinen, T. 1983. Kivinäytteiden (ominais)vastuumääritykset MAFRIP-mittarilla. *Geological Survey of Finland archives, Q15/28.2/83/1*, 6 p.
- Reich, M. and Simon, A.C., 2024. Critical minerals. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 53, 141-168.
- Sanchez, O.U., Besharatloo, H., Yus, J., Sanchez-Herencia, A.J. and Ferrari, B. 2023. Material Thermal Extrusion of Conductive 3D Electrodes Using Highly Loaded Graphene and Graphite Colloidal Feedstock. *Additive Manufacturing*, 72, 14 p.

# Three-dimensional magnetotelluric modeling of the Fennoscandian Shield Conductivity Anomaly

A. Harjulehto<sup>1</sup>, C. Patzer<sup>2</sup> J. Kamm<sup>2</sup> ja J. Salminen<sup>1</sup>

aleksanteri.harjulehto@helsinki.fi

<sup>1</sup> Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki

<sup>2</sup> Geophysical Solutions, Geological Survey of Finland

## *Abstract*

*The Fennoscandian Shield Conductivity Anomaly is an elongated crustal conductivity structure spanning from the Caledonides to Lake Ladoga. The existence of the anomaly has been known since the 1980s, but its precise path and inner structure remains poorly constrained. New studies in the Bothnian region and southeastern Finland utilize modern three-dimensional inversion of magnetotelluric data to resolve the internal structure and local geometry of the conductor.*

## 1. INTRODUCTION

The Fennoscandian Shield exhibits a large electrical conductivity anomaly that spans from the mountains of Norway to Lake Ladoga. Within the anomalous region, the uppermost 60 kilometres are more electrically conductive than the surrounding generally resistive bedrock. The western end of the so-called Fennoscandian Shield Conductivity Anomaly (FENCA) lies beneath the Norwegian Caledonides in the Trøndelag-Nordland region. From Norway, the conductor extends eastward crossing Sweden beneath the Västerbotten County and is interpreted to cross the Bothnian Bay in the Kokkola region. In Finland, the conductor makes a large turn avoiding the Central Finland Granitoid Complex, and connects to a larger areal anomaly beneath Lake Ladoga (Figure 1).

The FENCA has been studied primarily using passive electromagnetic geophysical methods. The anomalous characteristics of the Fennoscandian Shield were first recognized using a magnetovariational array study in the 1980s [Pajunpää 1987]. In the late 1980s and the early 1990s, the coverage of electromagnetic data improved significantly and a compilation of data was used to create a map of the main anomalies in the Fennoscandian Shield [Korja 1993]. Nine years later, further developments in the coverage of electromagnetic data and modeling allowed Korja et al [2002] to publish a complete layered model of the crustal conductivity in Fennoscandia (Figure 1). The model remains the best Fennoscandian crustal conductivity map available and clearly shows the path of the FENCA.

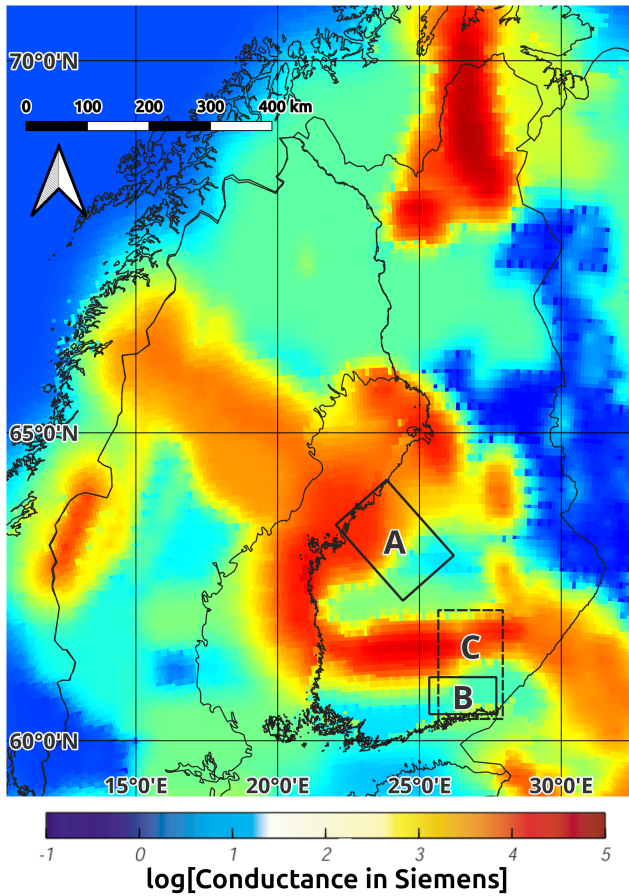


Figure 1: The combined conductivity from 10 to 30 kilometres [Korja et al. 2002] reveals the FENCA as a conductive anomaly spanning from Norway to Lake Ladoga. **A** is the Bothnian region research area [Harjulehto 2025, Harjulehto et al. 2026]. **B** is the Geoenergianloikka research area [Patzer et al. 2026]. **C** is the planned research area for the upcoming 2026 measurement campaign.

Since the publication of the model by Korja et al. [2002] improvements in computational power, modeling and inversion techniques as well as instrumentation have established three-dimensional inversion of MT data as a standard tool. Despite this, no new map of Fennoscandian conductivity has been published. Instead, new studies aim to resolve the path and the structure of the FENCA in a more localized area in the Bothnian region and southeastern Finland.

## 2. MAGNETOTELLURIC METHOD

Arguably, the most important tool for studying the FENCA is the magnetotelluric (MT) method [Korja 1993, Korja et al. 2002]. The MT method goes back to the pioneering work of (e. g. [Cagniard 1953]), where it was shown that the correlation between the magnetic and electric fields measured at the Earth's surface is dependent on the conductivity of the subsurface. This relationship can be expressed as:  $\mathbf{E}_h = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{B}_h$ , where  $\mathbf{E}_h$  is the horizontal electric field,  $\mathbf{B}_h$  is the horizontal magnetic field and  $\mathbf{Z}$  is an impedance tensor. Additionally, the correlation between a horizontal and a vertical magnetic field contains information about conductivity contrasts in the bedrock:  $\mathbf{B}_z = \mathbf{T} \cdot \mathbf{B}_h$ , where  $\mathbf{B}_z$  is the vertical magnetic field and  $\mathbf{T}$  is known as a tipper. Studies that only utilize tipper data but not impedance tensor data are known as magnetovariational (MV) studies. Currently, most MT studies also use tipper information. The conductivity of the subsurface cannot be directly resolved from  $\mathbf{Z}$  and  $\mathbf{T}$ . Instead, a conductiv-

ity model must be created through inversion. The method has proven to be robust, but running a modern three-dimensional inversion requires a high-performance computing infrastructure.

### 3. RESULTS AND UPCOMING STUDIES

Recent FENCA studies include the modeling of bedrock conductivity in the Bothnian region (Figure 1) [Harjulehto et al. 2026, Harjulehto 2025]. The project is still ongoing, but the preliminary results include a conductor that seems to be part of the FENCA. The conductor is located near the coast and is poorly connected to other conductors in the area. The conductor has a complex internal structure with "finger-like" features rising to the upper crust. Estimating if the conductor is connected to the conductors in Sweden across the Bothnian Bay or to the conductors in southern Finland would require larger-scale studies, including marine MT in the Bothnian Bay.

As part of the Geological Survey of Finland Geoenergianloikka project, MT studies were conducted on the Wiborg Rapakivi Batholith [Patzer et al. 2026]. The estimated path of the FENCA follows the northern border of the Rapakivi Batholith [Patzer et al. 2026]. The Geoenergianloikka MT data indicate strong conductors outside the research area that are interpreted to be associated with the FENCA. However, further constraining these conductors is not possible due to the lack of data coverage. Thus, a summer 2026 deployment of 65 new MT sites is planned. The measurements will be distributed such that, when combined with the Geoenergianloikka studies, the new research area will be approximately cornered by the cities of Porvoo, Jyväskylä, Varkaus and Virojoki. A goal of this study is to resolve the exact location and geometry of the FENCA in the area. Especially the relation between the FENCA and the Wiborg Rapakivi Batholith is of interest in this study.

### 4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

When discussing the FENCA, besides the physical properties, also a geological context must be considered. In a stable and cold craton a conductivity anomaly can be caused by four different mechanisms [Selway 2014]. Salty groundwater in porous bedrock can cause anomalies in the upper crust. Even a small amount of sulfide or graphite can cause a significant conductivity anomaly if they form films between other mineral grains or otherwise have high connectivity. In Precambrian domains, sulfides and graphite are stable throughout the crust. The last possible cause of a conductivity anomaly is particle diffusion in silicate minerals. In Finland, the FENCA bends around the Central Finland Granitoid Complex and avoids the Wiborg Rapakivi Batholith. Instead, it follows a path along metasedimentary rocks from the Vaasa Complex to the Russian border. The metasedimentary rocks are characterized by conductivity anomalies caused by graphite and are typically associated with ancient collision and shear zones formed during the assembly of the Fennoscandian Shield [Lahtinen et al. 2014]. However, using only surface geology to explain deep structures does not yield satisfactory results.

FENCA studies are still ongoing. New local studies have found the conductor, but its shape remains uncertain and possibly more complex than previously assumed. Modeling the conductor continues, and modeling in the Bothnian area will provide valuable information about the internal structure of the FENCA. The measurements planned for summer 2026 will clarify the path of the FENCA in southeastern Finland and reveal the connection between the conductivity anomaly and the local geology.

## 5. ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank Toivo Korja for allowing access to legacy MT data, Veera Pajunen and Pankaj Mishra for assistance with fieldwork, the Renlund Foundation for funding Harjulehto's PhD project and CSC – IT Center for Science, Finland, for computational resources.

## REFERENCES

- Cagniard, L., 1953. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting. *Geophysics*, **18**, 605-635.
- Harjulehto, A., 2025. Three-dimensional magnetotelluric studies on ancient collision zone in Bothnian region. *Master's thesis*, University of Helsinki, Department of Geosciences and Geography, Master's programme in Geology and Geophysics.
- Harjulehto, A., J. Salminen and J. Kamm, 2026. Three-dimensional resistivity model of Bothnian region reveals geometry of large-scale geological units. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, **Special Volume 2**, Abstracts of the 37th Nordic Geological Winter Meeting, 262.
- Korja, T., 1993. Electrical conductivity distribution of the lithosphere in the central Fennoscandian Shield. *Precambrian Res*, **64**, 85-108.
- Korja, T., M. Engels, A. Zhamaletdinov, A. Kovtun, N. Palshin, M. Smirnov, A. Tokarev, V. Asming, L. Vanyan, I. Vardaniants and BEAR Working Group, 2002. Crustal conductivity in Fennoscandia - a compilation of a database on crustal conductance in the Fennoscandian Shield. *Earth Planets Space*, **54**, 535-558.
- Lahtinen, R., S. Johnston and M. Nironen, 2014. The Bothnian coupled oroclines of the Svecofennian Orogen: a Palaeoproterozoic terrane wreck. *Terra Nova*, **26**, 330-335.
- Pajunpää, K., 1987. Conductivity anomalies in the Baltic Shield in Finland. *Geophys J Roy Astr S*, **91**, 657-666.
- Patzer, C., M. Cyz, T. Luhta and J. Kamm, 2026. First insights from regional Magnetotelluric investigations of the Wiborg Rapakivi Batholith. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, **Special Volume 2**, Abstracts of the 37th Nordic Geological Winter Meeting, 249.
- Selway, K., 2014. On the Causes of Electrical Conductivity Anomalies in Tectonically Stable Lithosphere. *Surv Geophys*, **35**, 219-257.

## Using rock magnetism to constrain the origin of remanent magnetisation in Paleoproterozoic Sør-Varanger dykes, Finnmark, Norway

A. Harjunpää, J. Laakkonen, A. Ahmed, and J. Salminen

Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki,  
arttu.harjunpaa@helsinki.fi

Paleomagnetism is a key tool for reconstructing Precambrian continental configurations. Mafic dyke swarms are particularly valuable because they provide both geochronological and paleomagnetic constraints. When dated, these swarms form “barcodes” of magmatic events that can be correlated across cratons to test continental reconstructions (Ernst and Bleeker, 2010). Mafic dykes commonly contain fine-grained magnetic minerals such as magnetite, which can lock in the direction of Earth’s magnetic field at the time of emplacement as primary remanent magnetisation. Later geological processes may introduce secondary magnetisation components that partially or completely overprint the primary signal. Together, these components constitute the natural remanent magnetisation, which can be isolated through stepwise demagnetisation. Field tests, such as the baked contact test (Everitt and Clegg, 1962), are essential for assessing the primary origin of magnetisation component. In addition, rock magnetic methods provide critical constraints on the nature of the remanence by identifying magnetic carriers, including mineral type and grain size, and by assessing the stability of the recorded magnetisation.

In this study, rock magnetic methods are used to constrain the origin of remanent magnetisation in ~2.03 Ga Paleoproterozoic Sør-Varanger dykes, Finnmark, Norway. The dykes were sampled during a 2024 field campaign targeting three generations of mafic intrusions. The oldest (~2.7 Ga; Vogt, 2024) are deformed, whereas younger dyke generations are variably deformed to undeformed and cross-cut earlier structures. A newly identified ~2.03 Ga generation represents a previously unrecognised magmatic event in the region (Laakkonen et al., 2026), while a third generation (~1.77 Ga; U–Pb zircon, Vogt, 2024) is already earlier recognised. Two groups of natural remanent magnetisation were identified from the ~2.03 Ga dykes, each defined by four dykes, and showing similar northerly declinations but distinct inclinations (Groups 1 and 2). A third group is also recognised, but it is characterised by scattered directions and does not yield a stable characteristic remanent magnetisation. Both Groups 1 and 2 pass a positive baked contact test against 2.7 Ga dykes (Laakkonen et al., 2026), supporting a primary origin for the magnetisation. However, the magnetisation directions are close to the regional Svecofennian overprint commonly observed in intrusions from the Karelia and Kola cratons (e.g., Mertanen et al., 2006), complicating their interpretation (Laakkonen et al., 2026).

To further evaluate the origin of magnetisation of different groups, petrophysical and rock magnetic analyses were conducted at the Solid Earth laboratory of the University of Helsinki to constrain remanence carriers and stability of the magnetisation. Measurements include density, magnetic susceptibility, natural remanent magnetisation (NRM) intensity, Q-values, hysteresis parameters, and thermomagnetic properties.

From the measured parameters, hysteresis show slight differences and only magnetic susceptibility shows clear differences between the groups, whereas density, NRM intensity, Q-values, remain broadly similar. Hysteresis results show that samples from Groups 1 and 2 contain a mixture of magnetites with different grain sizes. A few samples from Group 3 plot away from this trend, suggesting more heterogeneous magnetic carriers. Groups 1 and 2 have higher susceptibility than Group 3 samples, indicating a greater abundance of magnetic minerals. Thermomagnetic results highlight clear differences in magnetic mineralogy and stability between the groups. Group 1 shows consistent behaviour with a sharp Curie temperature near 580°C, a clear Verwey transition, and largely reversible curves, indicating relatively unaltered magnetite. Group 2 exhibits broader Curie ranges (560–580 °C), variable presence of the Verwey transition, and irreversible behaviour during heating, suggesting more heterogeneous and partly altered magnetite. This variability implies reduced remanence stability compared to Group 1, making Group 2 more susceptible to partial remagnetisation or overprinting, potentially explaining its proximity to the Svecofennian overprint.

## REFERENCES

- Ernst, R.E. and Bleeker, W., 2010. Large igneous provinces (LIPs), giant dyke swarms, and mantle plumes: significance for breakup events within Canada and adjacent regions from 2.5 Ga to present. *Canadian Journal of Earth Sciences* **47**, 695–739.
- Everitt, C.W.F. and Clegg, J.A., 1962. A Field Test of Palaeomagnetic Stability. *Geophysical Journal International* **6**, 312-319.
- Laakkonen, J., A. Gumsley, A. Harjunpää, T. Slagstad, and J. Salminen, 2026. Preliminary paleomagnetic and chronological data on Archean-Paleoproterozoic mafic dykes in the Kola craton of Finnmark in Norway. XXXII Geophysics Days 2026, conference abstract
- Mertanen, S., O. Eklund, A. Shebanov, D. Frank-Kamenetsky, and T.I. Vasilieva, 2006. Palaeo- and Mesoproterozoic dyke swarms in the Lake Ladoga area, NW Russia—palaeomagnetic studies. In: Hanski, E., S. Mertanen, T. Rämö, J. Vuollo, (Eds.), *Dyke Swarms—Time markers of crustal evolution*. Taylor & Francis Group, 63-74
- Vogt, O.K., 2024. Zircon U-Pb/Hf and whole-rock Sm- Nd isotopes of Archean and Paleoproterozoic mafic dykes in Sør- Varanger, Kola Province. Master's thesis. Norwegian University of Science and Technology, Department of Geosciences and Petroleum, 170 p.

# Adaptive timestep and mesh in a hybrid particle-in-cell model of Mercury's magnetosphere

I. Honkonen, R. Jarvinen, D.N.H. Phillips

Finnish Meteorological Institute, Helsinki, ilja.honkonen@fmi.fi

## *Abstract*

*A hybrid particle-in-cell (hPIC) space plasma simulation models ions explicitly via the Lorentz force, thereby capturing self-consistently the kinetic effects of ions that cannot be resolved with a magnetohydrodynamic model of plasma, for example. Kinetic effects of ions play an important role in Mercury's space weather and plasma environment where e.g. the gyroradii of ions can be comparable in size to the entire magnetosphere. Magnetospheric phenomena also cover a wide range of spatial and temporal scales whose accurate modeling requires advanced numerical methods such as adaptive mesh refinement (AMR) and temporal substepping. AMR allows higher spatial resolution to be used in regions of interest, enabling either more accurate or larger simulations than would be possible otherwise. A temporal substepping scheme in which the length of the timestep can vary in different parts of the simulation can also increase modeling accuracy significantly by reducing numerical diffusion. We present the development to extend our hPIC model RHybrid, widely used in planetary plasma physics studies, with AMR and temporal substepping features, thereby enabling significantly longer and more accurate simulations of Mercury's solar wind-magnetosphere interaction. To implement this adaptivity we use AMReX, a software framework for block-structured AMR, as a new platform for RHybrid. AMReX is designed for heterogeneous high-performance computing architectures including both CPUs and GPUs, and it uses portable single codebase for different parallelization paradigms. We introduce the AMReX platform and present our current progress in code development.*

# Ultra-low frequency wave spectra from Sodankylä magnetometer, with comparisons to solar wind and magnetospheric measurements

R. Hynönen

University of Oulu, reko.hynonen@oulu.fi

## *Abstract*

*Geomagnetic pulsations are the ground-based manifestation of magnetospheric ultra-low frequency (ULF) waves. ULF waves are produced by magnetospheric processes, significantly influenced by the solar wind. Some waves directly penetrate the magnetopause or generate within magnetospheric boundary by instabilities of solar wind-magnetosphere coupling. Additionally, season influences the signature of the magnetic fluctuations on the ground. Sodankylä Geophysical Observatory (SGO) has observed the magnetic field in the northern Finland for over a hundred years. Since 1996, SGO has hosted a magnetometer capable of continuous measurement of 10-sec cadence, nominally enough to produce a spectrum up to 50 mHz, which fully encompasses the geomagnetic pulsations of classes Pc4-Pc5 and Pi2. With this in mind, we are in the process of rolling out continuously published standardized Pc5 quicklook plots. In the process, the spectra over the years 1996-2025 have been computed and are analyzed with regard to the observed solar wind quantities from OMNI database and, where applicable, compared to the magnetospheric ULF waves and processes as measured by selected satellites.*

# Bridging the Model-Observation Gap for Basal Conditions of Antarctica and Greenland Ice Sheets

E. Jager

Institute for Atmospheric and Earth System Research/Physics, University of Helsinki,  
eliot.jager@helsinki.fi

## *Abstract*

*Ice sheet models projecting Antarctica and Greenland contributions to sea level rise face a critical uncertainty: basal friction—the resistance to ice sliding over bedrock—remains poorly constrained. Direct bed observations are impossible under 3+ km of ice, forcing reliance on inverse methods that infer basal conditions from surface observations (satellite velocity, altimetry elevation). However, calibrated friction parameters may lack physical meaning when extrapolated to future climate states, as model errors get absorbed into friction fields. We present the first ice-sheet-scale friction datasets with quantified uncertainties for both ice sheets. Our ensemble approach samples uncertainties in ice properties and friction formulation, revealing robust spatial patterns versus genuine uncertainties. Three findings bridge laboratory experiments to ice-sheet observations. First, two-regime friction theory from small-scale experiments—combining velocity-dependent behavior (friction increases with sliding speed) and pressure-limited behavior (friction capped by subglacial water pressure)—successfully explains continent-scale patterns for both ice sheets. Second, in pressure-limited regions, water pressure variations (ice weight minus water pressure at bed) explain most observed friction variability. Antarctica and Greenland show fundamentally different controls: Antarctica depends on ice geometry and ocean proximity (minimal surface melting), while Greenland reflects surface meltwater reaching the bed. This produces distinct friction patterns despite identical physics. Third, in velocity-dependent regions, friction shows weaker velocity sensitivity than commonly assumed in models, with remaining variability likely reflecting unmapped bed properties—roughness (measurable via ice-penetrating radar) or sediment characteristics (requiring seismic surveys). These datasets enable a critical next step: testing whether measurable geological properties—bed roughness from radar surveys, sediment distributions from seismic data, geological provinces from mapping—can explain spatial variations in calibrated friction parameters. Establishing such relationships would provide physical robustness to sea level projections by grounding model parameters in observable bed characteristics rather than abstract calibrated values.*

# New calibration line for relative gravimeters in central Finland

J. Jokinen<sup>1</sup>, T. Saari<sup>2</sup>, J. Näränen<sup>2</sup>, M. Bilker-Koivula<sup>2</sup> and S. Elo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Geological Survey of Finland (GTK) jarkko.jokinen@gtk.fi

<sup>2</sup> Finnish Geospatial Research Institute (FGI), National Land Survey of Finland

<sup>3</sup> Retiree (GTK)

## *Abstract*

*A new calibration line for gravimeters has been established in Central Finland. This new line from Maaninka to Kivetty has been built in cooperation between the Finnish Geospatial Research Institute (FGI) and the Geological Survey of Finland (GTK). The gravitational difference between the endpoints is 60 mGal. The most important parameters of the calibration line are the absolute gravity values at the end points of the line. Vertical gradient functions are also defined for these stations. The new calibration line is a significant improvement, especially for GTK. The new calibration line will make quality monitoring and documentation of several gravimeters in continuous use easier and more efficient in the future.*

## 1. INTRODUCTION

The need for a new calibration line has gradually increased. So far, the calibration of the gravimeters has always been done in the Helsinki metropolitan area. But since the storage and maintenance of the geophysical instruments were centralized at GTK's regional office in Kuopio and the focus of field work has been in central and northern Finland, the calibration trips have taken several days and been expensive.

Setting up a calibration line requires precise absolute gravity values. In Finland, only FGI has the right equipment and professional expertise for the task, so this cooperation was a very natural solution for GTK. In addition to GTK, the calibration line is useful for FGI and a few companies that carry out gravity measurements in Finland.

## 2. LOCATION

The new calibration line is located between two permanent zero-order absolute gravity stations of FGI in Maaninka and Kivetty close enough to Kuopio. These stations are remeasured every three years as part of routine operations. The line is quite long (130 km), but still measurable in one day. Between the endpoints, four suitable rock outcrops were found for middle stations, which all can be reached by car. The middle station in Viitasaari is a station of the First Order Gravity Net (FOGN). All six stations are necessary for a successful high-quality calibration of relative gravimeters. The locations of the stations are marked on the map (Fig. 1).

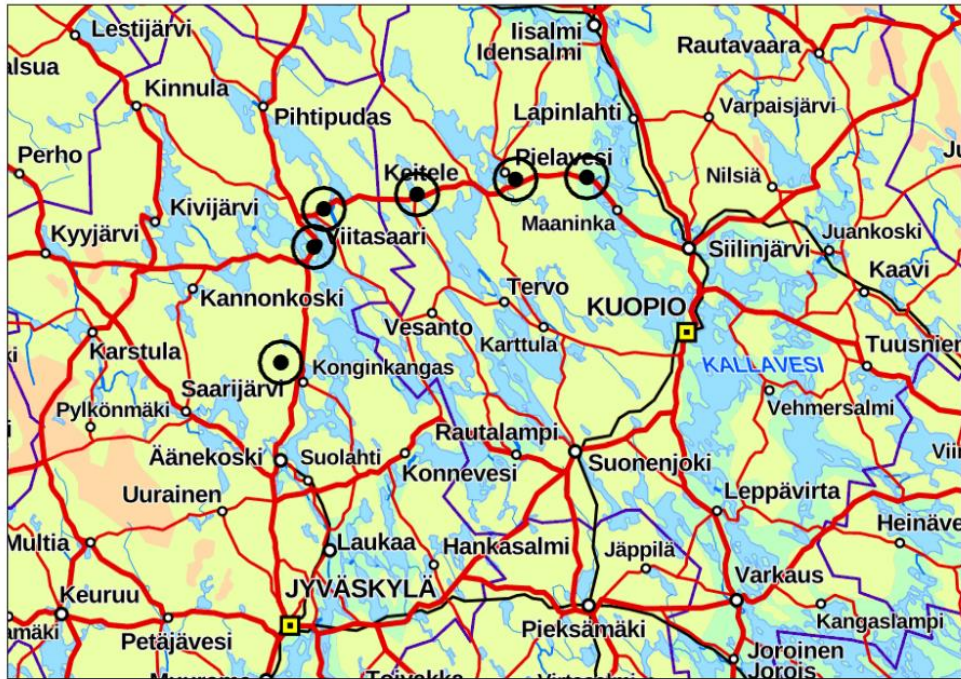


Figure 1: Presented gravity stations (Maaninka, Pielavesi, Keitele, Kallio, Viitasaari and Kivetty) in Central Finland form a new calibration line for relative gravimeters. Basemaps © National Land Survey of Finland.

### 3. RESULTS

Transfer functions (vertical gravity gradient) have been calculated for the absolute gravity values of the Maaninka and Kivetty (Bilker-Koivula et al. 2021) stations. Using the functions, the gravity reading obtained at the measurement height of the absolute gravimeter FG5X-221 (Fig. 2), has been transferred to ground level. The same transfer function is used when the gravity value is calculated at the height of the stand of the gravimeter to be calibrated. The parameters of the function are based on gravity measurements made at several different heights. The calculations also take into account the temporal change in gravity, caused by the uplift of the Earth's crust.

In connection with the search and marking of middle stations on the calibration line, a few sets of gravity measurements were carried out during 2024 and 2025. So far, only one Scintrex CG-6 gravimeter has been calibrated. The correct parameters of the calibration line and the gravimeter were solved by an inversion calculation. With the help of the calibration constant, the readings of the relative gravimeter are converted into real gravity values. Inversion calculation has been implemented with Excel Solver.



Figure 2: Two different gravimeters at the Kivetty station. On the back is an absolute gravimeter FG5X-221 (Micro-g LaCoste) and on the front is a CG-5 relative gravimeter (Scintrex).

The calibration line is in test use by GTK and FGI until the functionality of the calibration process has been confirmed with more extensive test material. The Maaninka and Kivetty stations are locked buildings, so there is currently no open access to the stations.

#### REFERENCES

Bilker-Koivula, M., Mäkinen, J., Ruotsalainen, H. et al. Forty-three years of absolute gravity observations of the Fennoscandian postglacial rebound in Finland. *J Geod* 95, 24 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01470-9>

# SNOWBALL: Synergy of models, observations, and remote sensing for Arctic snow and ice

A. Jutila

Finnish Meteorological Institute, Helsinki, arttu.jutila@fmi.fi

## *Abstract*

*Warming climate is causing rapid changes in the Arctic cryosphere, with profound implications for regional and global climate systems. Snow-covered lake and sea ice regulate energy exchanges between the surface and atmosphere, yet their changing properties under amplified Arctic warming remain poorly understood. SNOWBALL, a new four-year project funded by the Research Council of Finland, addresses this challenge by embracing the synergy of three complementary approaches: numerical modelling, in situ observations, and microwave remote sensing. At its core, the project couples two advanced models: the spatially distributed physics-based snow-evolution system SnowModel and the Snow Microwave Radiative Transfer (SMRT) model, which characterizes microwave interactions with snow and ice. Together, these tools provide a powerful framework to improve the interpretation of radar altimetry signals, particularly in the Ku and Ka bands, which are central to current and upcoming satellite missions such as CryoSat-2, Sentinel-3, and CRISTAL. The research builds on diverse datasets, including field measurements in Finland and Svalbard as well as international airborne sea-ice campaigns in the high Arctic with coordinated satellite underflights. Case studies of Arctic lake ice and sea ice will evaluate the consistency of model results against in situ data and study the influence of snow layering on radar signals. These insights will then be extended to seasonal and long-term analyses, enhancing our ability to detect and interpret climate-driven changes in the Arctic cryosphere. Expected outcomes include improved algorithms for retrieving snow and ice thickness from satellite observations, validated modelling frameworks with wide applicability, and new understanding of how warming-induced changes in snow and ice affect satellite monitoring.*

# Role of ionospheric and ground contributions in driving GIC: Northern Europe at the peak of the May 2024 superstorm

L. Juusola

Finnish Meteorological Institute, Helsinki, liisa.juusola@fmi.fi

## *Abstract*

*The geoelectric field at the Earth's surface drives potentially hazardous geomagnetically induced currents (GIC) in grounded technological conductor networks, such as electric power transmission grids. We examine the geoelectric field and GIC in Northern Europe during the May 2024 superstorm using a recently developed method: The divergence-free component of the geoelectric field (EDF), associated with rapid magnetic field variations, is estimated from ground-based magnetic field observations using spherical elementary current systems. The other, curl-free, component of the geoelectric field (ECF), associated with charge accumulation, is estimated from EDF using coefficients that depend on ground conductivity and linearly relate ECF to EDF in the time domain. We apply the method to both regional 10 s International Monitor for Auroral Geomagnetic Effects (IMAGE) magnetometer observations and global 1 min SuperMAG observations. We compare the resulting GIC in the Finnish benchmark power grid and conclude that, in the absence of ground conductivity information and higher cadence data, EDF estimated from 1 min magnetic field observations alone can provide a reasonable proxy for GIC activity in a power grid compared to 10 s geoelectric field. However, polarization of the geoelectric field due to lateral variations in ground conductivity can produce intense GIC at substations connected to transmission lines traversing regions of enhanced geoelectric field. GIC at such substations may be poorly described by EDF alone. The method used to estimate the geoelectric field also produces ionospheric equivalent currents, thus providing information on the external geospace drivers of intense geoelectric field and GIC peaks.*

# Studying Mercury's dynamic magnetosphere with global hybrid modelling in the era of the BepiColombo mission

R. Jarvinen<sup>1</sup>, S. Grant<sup>1</sup>, D.N.H Phillips<sup>1</sup>, I. Honkonen<sup>1</sup>, M. Borg<sup>1</sup>, E. Kallio<sup>2</sup> and S. Dubyagin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Finnish Meteorological Institute, [riku.jarvinen@fmi.fi](mailto:riku.jarvinen@fmi.fi) (<https://planets.fmi.fi/>)

<sup>2</sup> Department of Electronics and Nanoengineering, School of Electrical Engineering, Aalto University

## *Abstract*

*As the European–Japanese BepiColombo mission approaches Mercury orbit insertion, increasing attention is being directed toward what the highly dynamic magnetosphere of our innermost and least explored rocky planet can reveal about the physics of space weather. Mercury experiences the strongest solar wind, solar storm, and electromagnetic radiation forcing of all the planets. It is an airless body surrounded by a collisionless exosphere generated by surface processes that eject minerals into space. Mercury, the solar system's smallest planet, nevertheless hosts a global dynamo-generated magnetic field produced within its large iron-rich core, which occupies more than half of the planet's volume. Taken together, Mercury's plasma environment forms a strongly coupled system connecting the upstream solar wind, the magnetosphere, multispecies plasma populations composed of both heavy exospheric and solar wind ions, surface precipitation and exosphere generation, and induction effects within the planetary interior. Furthermore, plasma circulation in the Hermean magnetosphere occurs on timescales of only minutes, compared with hours at Earth. Altogether, Mercury represents a unique environment and an extreme case within the broad parameter space of planetary solar wind interactions.*

*Here we present our modelling of the solar wind influence on Mercury's plasma environment during BepiColombo's six completed Mercury flybys, using the RHybrid (paRallel Hybrid) global hybrid-particle simulation code. We also describe ongoing code development to incorporate adaptive spatial and temporal scales, as well as kinetic electron physics, into our model. BepiColombo includes two scientific orbiters: the Mercury Planetary Orbiter (MPO) and the Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO, also known as Mio). Both spacecraft carry comprehensive space plasma instrumentation among their payloads, with significant hardware and scientific contributions from Finland. For the first time at Mercury, the mission will provide simultaneous two-point measurements of the plasma and electromagnetic environment. This work prepares us for investigations during BepiColombo's science phase in Mercury orbit, beginning next year.*

## Aallokon ennustaminen Itämeren rannikkoalueilla

H. Kanarik<sup>1</sup>, L. Tuomi<sup>1</sup> ja A. Kangasmaa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ilmatieteen laitos, hedi.kanarik@fmi.fi

### *Abstrakti*

*Aallokon ennustaminen rannikkoalueilla edellyttää tiheän erottelukyvyn aaltomallisovelluksia, jotka pystyvät huomioimaan rikkonaisen saariston ja matalikoiden vaikutukset aalto-olosuhteisiin. Ilmatieteen laitoksella on aaltomallinnuksen osalta lukuisia eri kehityskohteita Suomen rannikkoalueilla. Keskeisessä roolissa aaltoennusteiden kehityksessä ovat luotsauksen tarpeisiin räätälöidyt korkean resoluution ennusteet alueilla, joista ei ole saatavilla riittävästi mittauksia. Aaltomallin tulosten arvioimiseksi olemme tehneet myös pidempiä aaltomalliajoja alueilla, joista on saatavilla mittauksia rannikon läheltä. Näiden tulosten analyysit osoittavat resoluution tarkentamisen parantavan mallin kykyä kuvata merenpohjan syvyyden vaihtelun vaikutuksia aaltokenttään paljon tarkemmin kuin mihin esimerkiksi karkeamman resoluution mallit pystyvät. Toisaalta avomerialueilla mallin resoluution tarkentaminen on todettu vähemmän tarpeelliseksi, sillä aallokon vuorovaikutukset pystytään kuvaamaan jo hyvällä tarkkuudella. Korkean resoluution ennusteet auttavat meitä ymmärtämään aallokon vaikutuksia rannikon ja avomeren infrastruktuuriin paremmin sekä tuottamaan tarkempaa olosuhdetietoa merellisille toimijoille.*

# Maaperän kosteuden mittaus neutronein

S. Kasi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Aalto yliopisto

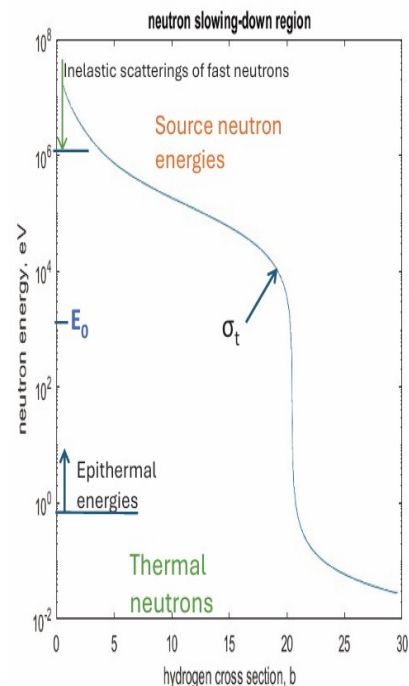
## Abstract

Neutron radiation can be used to measure moisture in mineral matter. The author has worked with neutron moisture gauge. This meter has source of fast (MeV) neutrons. The gauge detects thermal or epithermal down-slowed neutrons. For calibration a Monte Carlo (MC) calculation has been done. The process has 2 MC-paths. One from the source down, and the other from detector up. Then spherical symmetry assumption is applied. It seems that cylinder assumptions should be used.

## 1. JOHDANTO

Heti neutronin löytymisen jälkeen 1930-luvulla kiinnostuttiin neutronien käytöstä geofysikaalisissa tutkimuksissa ([Bruno Pontecorvon patentti](#) [1,2]). Maaperän putkesta mitattiin alkuaineiden pitoisuuksia. Käytettiin pistemäisiksi approksimoitavia säteilylähteitä. Muuten tällä vuosituhannella huomattiin avaruussäteilyn neutronit käyttökelpoisiksi (Markus Köhli: [Soil moisture measurements by Cosmic-Ray neutron sensing: A critical review](#) [3]) lähteiksi. Sopivasti sijoitettu ilmaisimien esimerkiksi rekisteröi peltoalueelta tulevia sironneita neutroneja. Maaperässä olevista putkista ym. tapahtuva mittaus kiinnostaa edelleen. Käytetään 1 MeV lähde-energian neutroneja, jotka hidastuvat mittaustilanteessa joko termiseksi, tai ne mitataan epitermisinä Cd-peitteellisellä ilmaisimella. Cd-peite absorboi energiaa 0.6 eV hitaammat neutronit. Jatkuvatoimisten amerikum-241 ym. alfa-aktiivisten berylliumista tai litiumista neutroneja säteilevien sondien ohessa on käytössä 14 MeV ja 2.5 MeV n-generaattorit, jotka toimivat kytkettäessä. Jälkimmäinen on vähemmän herkkä kosteudenmittauksessa.

Kuva 1. Neutronien hidastumisalue.  $\sigma_t$  on vedyllä tapahtuvan sironnan vaikutusala.  $\sigma_t = \sigma_s + \sigma_a$ , mutta  $\sigma_a \ll \sigma_s$  hidastumisalueessa. Vedyn vaikutusala  $\sigma_t$  on otettu [USA-tiedostosta](#) [4].



Neutronit mittaavat vetyttöisyyden. 1.-5.9.2024 säteilyfysiikan symposiumissa ISRP-16 minulla oli [posterisessio](#): Neutron measurement of moisture in mineral matter [5]. Mittarilla pitää olla kalibrointi  $C(\rho_v)$ .  $C$  on mittarin laskentataajuuksien ja  $\rho_v$  on vesipitoisuus veden tiheydenä ( $\text{g/cm}^3$ ). Vesipitoisuuden lisäksi on otettava huomioon parametrit:

- o Kuiva-aineen vetyttöisyys

- o Aineen tiheys
- o Aineen absorptiovaikutusala  $\sigma_a$  neutroneille erityisesti termisiä mitattaessa.

## 2. MITTAUKSEN MALLINTAMINEN

Mittarin kalibrointia varten on meillä tehtynä [diffuusiolaskumalli](#) [6]. Neutroneille aineessa saadaan tarkka mallinnus kuljetusteoriasta. Neutronien hidastumisen kuvaa hidastumistiheys  $q_E$ . Sitä, sironnan vaikutusala ja neutronivuota voidaan approksimoida palloharmonis-kehitemillä (Legendren polynootit  $P_n$ ). Kun näistä kehitelmistä otetaan 2 ensimmäistä termiä  $P_0$  ja  $P_1$ , päästään diffuusiomalliin. Ainakin sironnan vaikutusalan  $P_1$ -kehitelmä silloin on huono.

Jos  $n$  on isompi, laskut eivät suju. Monte Carlo -laskut (MC) ovat myös tarkkoja. Yritän niitä. Seuraan neutronin kulkua energiassa  $E$  lähteestä alaspäin ja toisaalta ilmaisimesta ylöspäin. Jälkimmäistä kutsutaan pseudoneutroniksi. Saadaan laskettua ilmaisutodennäköisyys  $\Phi_E^i$ . Energiaa alaspäin mentäessä saadaan laskettua  $q_E$ . Lasketaan monia neutroneja ja pseudoneutroneja. Tietyllä energialla  $E_0$   $q_E$  ja  $\Phi_E^i$  kerrotaan ja integroidaan

$$C = \int_V \int_{4\pi} \Phi_E^i(r, \Omega) q_E(r, \Omega) d\Omega dr,$$

jolloin saadaan tulokseksi laskentataajuus  $C$  (siis mittarin näyttö),  $r$  on tietty paikka ja  $\Omega$  tietty suunta avaruudessa ja  $V$  riittävän suuri alue mittarin läheisyydessä.

[MC-laskussa olen tullut virhemahdollisuuteen yksinkertaistaessani mittauksen geometriaa](#) [7]. [Posterissa](#) [5] ja [julkaisussa](#) [7] sen pohjalta, on ilmennyt, että oletus lähteen ja ilmaisimen samapisteisyydestä on huono. Olen sentään saanut tuloksen:  $E_0(\rho_v)$  ei tule olla vakio. Sen funktio-esitys tulisi löytää.

## LÄHTEET

- [1] Pontecorvo, B., 1950 (1942). [Bruno Pontecorvo's patent in geophysics starts with 4 figures and text follows.](#)
- [2] Kasi, S., 2025. [Alkuaine-analyysit maaperästä.](#) Julkaistu kotisivulla <https://skasi.fi/>
- [3] [Köhli, M., 2026. Soil moisture measurements by Cosmic-Ray neutron sensing: A critical review.](#) Geoderma 465 117626
- [4] [Evaluated Nuclear Data File \(ENDF\)](#)
- [5] Kasi, S. 2024. [Neutron measurement of moisture in mineral matter.](#) Poster symposiumissa ISRP-16 Lissabonissa. Julkaistu kotisivulla <https://skasi.fi/>
- [6] Kasi, S., Immonen, J. ja K. Saikku, 1983. Some considerations for soil moisture gauging with neutrons. [IAEA-SM-267/17](#), ISOTOPE AND RADIATION TECHNIQUES IN SOIL PHYSICS AND IRRIGATION STUDIES 1983.
- [7] Kasi, S. 2026. [Neutron Measurement of Moisture in Mineral Matter. Modelling of the Gauge.](#) Wor Jour of Appl Math and Sta, 2(1), 01-04.

# Estimating frost quakes by calculating thermal stresses in soils in Finland

E.-R. Kokko

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

## *Abstract*

*Rapid changes in the Arctic climate can have unexpected effects on the freezing and thawing dynamics of soil. An increasing number of small-magnitude, ice-induced earthquakes, called frost quakes, have been observed in Arctic regions potentially posing a risk of damage to urban environments and infrastructure (Battaglia & Changnon, 2016, Okkonen et al., 2020, Afonin et al. 2023). A method for estimating thermal stress in soil at a single location in Oulu under varying weather conditions was demonstrated in previous research (Okkonen et al., 2020). The goal of my PhD research is to extend this method over Finland to identify frost quake prone areas where accumulated thermal stress may be released in the form of frost quakes. The calculation of thermal stress requires information on soil temperature, the thickness of the frozen soil layer, and the elastic properties of different soil types. However, in situ measurements of soil temperature and soil ice content are rarely available, particularly with high spatial coverage.*

*Although, they can be estimated with land surface models, such as HydroBlocks (Chaneyn et al., 2016, 2019), which simulates soil processes, including surface and subsurface runoffs, infiltration, soil temperatures, and soil water and ice contents at different depths, based on meteorological and land surface data by resolving energy, water and carbon balances through physical processes. HydroBlocks has been configured for Finland and applied over the period of 2000-2023 producing outputs at 90 m spatial resolution and hourly time step. By combining these outputs with available literature sources of soil elastic properties, it is possible to calculate thermal stresses across Finland. Elevated thermal stresses were observed on dates corresponding to known frost quakes in Oulu (6th of January 2016 and 2023), suggesting that this approach can be used to assess the risk of frost quakes.*

# Tracing North African dust to high latitudes - Magnetic characterization of dust deposited on snow in Finland

I. Kostamo<sup>1</sup>, O. Meinander<sup>2</sup>, A. Kaakinen<sup>1</sup> and J. Salminen<sup>1</sup>

email: iida.kostamo@helsinki.fi

<sup>1</sup> Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki, Finland

<sup>2</sup> Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland

Atmospheric dust is an important component of the global climate system. In addition to the direct radiative effect caused by the absorption and scattering of solar radiation by the dust particles, dust affects cloud formation, biogeochemical cycles, and the albedo of the underlying surface (e.g., Kok et al., 2023). Environmental magnetic methods are powerful tools for characterizing magnetic minerals in dust, identifying source regions, and providing quantitative estimates of magnetic particle concentrations (e.g., Sagnotti et al., 2006; Lyons et al., 2012; Larrasoana et al., 2021). This study provides a detailed investigation of the magnetic characteristics of a well-documented North African dust event occurred in Finland on 21–23 February 2021 (Meinander et al., 2023).

Magnetic measurements, including bulk magnetic susceptibility with two frequencies, hysteresis properties, anhysteretic and isothermal remanence, and low-temperature remanence, have been carried out on 48 dust samples. Based on differences in magnetic behavior, the samples can be divided into two magnetically distinct groups. Group 1 is characterized by more oxidized magnetite, and a greater relative contribution of goethite, while Group 2 shows less oxidized magnetite and lower relative goethite content.

Obtained two groups are interpreted as reflecting variable mixing of dust derived from the Sahara and the Sahel regions. The more oxidized magnetite in Group 1 likely indicates partial oxidation during transport or prior weathering under more humid Sahelian conditions. This interpretation is consistent with stronger chemical weathering in the Sahel than in the more arid Sahara, in agreement with previous studies of North African dust source regions (e.g., Lyons et al., 2010; Lyons et al., 2012). Atmospheric transport modelling (SILAM) also shows that the air masses reaching Finland originated from a broad region spanning both the Sahara and Sahel (Meinander et al., 2023), supporting the interpretation that the observed two groups represent different proportions of these source endmembers rather than separate single-source events.

The results therefore indicate that long-range transported North African dust can retain a clear source-dependent magnetic signature even after transport to northern Europe. In particular, increased magnetite oxidation and relatively enhanced goethite contributions appear to be associated with stronger Sahelian input. Together with previous European studies (e.g.,

Sagnotti et al., 2006; Larrasoña et al., 2021; Szuszkiewicz et al., 2023), the present results support the suggestion that the mineral magnetic fingerprint of North African dust is broadly consistent across different depositional settings.

## REFERENCES

- Kok, J.F., Storelvmo, T., Karydis, V.A. et al., 2023. *Nat Rev Earth Environ*, **4**, 71–86.
- Larrasoña, J.C., Pey, J., Zhao, X. et al, 2021. *Atmospheric Environment*, **261**, 118568.
- Lyons, R., Oldfield, F. and Williams, E., 2012. *Earth Surf. Process. Landforms*, **37**, 594-606.
- Lyons, R., Oldfield, F. and Williams, E., 2010. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **11**, Q08023.
- Meinander, O., Kouznetsov, R., Uppstu, A. et al., 2023. *Sci.Rep.*, **13**, 21379.
- Sagnotti, L., Macrì, P., Egli, R. and Mondino, M., 2006. *J. Geophys. Res.*, **111**, B12S22.
- Szuszkiewicz, M., Łukasik, A., Petrovsky, E., Grison, H., Błońska, E., Lasota, J. and Szuszkiewicz, M., 2023. *Environmental Research*, **216**, 114605.

# **Preliminary paleomagnetic and geochronological data on Archean–Paleoproterozoic mafic dykes in the Kola craton of Finnmark in Norway**

**J. Laakkonen<sup>1</sup>, A. Gumsley<sup>2</sup>, A. Harjunpää<sup>1</sup>, T. Slagstad<sup>3</sup>, J. Salminen<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Department of Geosciences and Geography, Helsinki, University of Helsinki, Finland,  
juha.t.laakkonen@helsinki.fi

<sup>2</sup> University of Silesia in Katowice, Poland

<sup>3</sup> Geological Survey of Norway, Norway

Ancient continental configurations during the Archean and Paleoproterozoic are still debated, with some models suggesting the existence of a single long-lived supercontinent (e.g., Evans et al., 2026), while others propose multiple smaller craton assemblies (e.g., Salminen et al., 2021). These include proposed configurations such as Superia (2.7–2.0 Ga), which has been suggested to include the Karelia and Kola cratons of Baltica and several cratons of Laurentia based on similarities in crustal evolution, dyke swarms, and stratigraphic sequences (Bleeker and Ernst, 2006). However, these reconstructions remain uncertain due to the limited availability of reliable paleomagnetic data from this time period. As a result, the relative positions of major cratons such as Karelia, Kola, and Superior are still actively debated.

To improve constraints on these early continental configurations, we present new geochronological and paleomagnetic data from mafic dyke swarms in the Kola craton, in northern Norway. Three generations of mafic dykes were sampled, representing distinct magmatic events spanning the Archean to Paleoproterozoic. The oldest dykes (~ 2.71 Ga, Vogt, 2024) are deformed, while younger sets of dykes are undeformed and cut the older structures. A newly identified dyke generation yields an age of ~2.03 Ga, representing a previously unrecognized magmatic event in the region. Third generation of dykes are dated 1.77 Ga (Vogt, 2024).

Thermal and alternating field demagnetization, supported by rock magnetic analyses, indicate magnetite as the primary magnetic carrier of magnetization for all the dyke generations. Two groups of natural remanent magnetization were identified from the ~2.03 Ga dykes, each defined by four dykes, and showing similar northerly declinations but distinct inclinations (Groups 1 and 2). The high temperature component shows both normal and reversed polarity directions indicating the primary nature of the magnetization, which is further supported by a positive baked contact test for both groups against ca. 2.7 Ga dykes. However, the resulting pole is close to the known Svecofennian overprint commonly observed in intrusions within the Karelia and Kola cratons (e.g., Mertanen et al., 2006; Veselovskiy et al., 2024), which complicates interpretation of its primary origin. If the new 2.03 Ga pole is primary (see also Harjunpää et al., 2026), it supports a close spatial relationship between the Kola, Karelia and Superior cratons at low to intermediate latitudes in the Superia supercraton.

## REFERENCES

- Bleeker W. and Ernst R. E., 2006. In: Hanski E., S. Mertanen, T. Rämö and J. Vuollo (eds). *Dyke Swarms — Time Markers of Crustal Evolution*, 1-21.
- Evans D. A. D., K. R. Chamberlain, B. M. Eglington, R. E. Ernst, R. K. Srivastava, K. de Morée van Lierde, T. M. Killian, 2026. Advancing global-scale archean-paleoproterozoic reconstructions. 17th annual lips industry consortium 2026 abstract.
- Harjunpää, A., J. Laakkonen, A. Ahmed and J. Salminen, 2026. Using rock magnetism to constrain the origin of remanent magnetisation in Paleoproterozoic Sør-Varanger dykes, Finnmark, Norway. XXXII Geophysics Days 2026, conference abstract.
- Mertanen, S., J. I. Vuollo, H. Huhma, N. A. Arestova, and A. Kovalenko, 2006. Early Paleoproterozoic–Archean dykes and gneisses in Russian Karelia of the Fennoscandian Shield—New paleomagnetic, isotope age and geochemical investigations. *Precambrian Research* **144**.
- Salminen, J., S. Pehrsson, D. A. D. Evans and C. Wang, 2021. In: Pesonen et al (Eds.), *Ancient Supercontinents and the Paleogeography of Earth*. Elsevier, 465-498.
- Veselovskiy, R. V., A. V. Samsonov, A. V. Stepanova, Y. O. Larionova, A. A. Arzamastsev, A. V. Travin, S. V. Egorova, K. G. Erofeeva, A. A. Kosterov, V. V. Shcherbakova, V. P. Shcherbakov, G. V. Zhidkov and V. S. Zakharov, 2024. Paleomagnetism and Geochronology of 2.68 Ga Dyke from Murmansk Craton, NE Fennoscandia: New Data for Earth’s Magnetic Field Regime in the Neoproterozoic. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, **60**, 772-794.
- Vogt O. K., 2024. Zircon U-Pb/Hf and whole-rock Sm-Nd isotopes of Archean and Paleoproterozoic mafic dykes in Sør-Varanger, Kola Province. Masters thesis. Norwegian University of Science and Technology Dept. of Geosciences and Petroleum. 170 p.

# A robust, explainable, and interactive sea ice type mapping model

Yang Li<sup>1</sup> Chao Li<sup>2</sup> Chongtai Peng<sup>3</sup> Ce Hou<sup>4</sup> and Petteri Uotila<sup>1</sup>

1 Institute for Atmospheric and Earth System Research, Faculty of Science, University of Helsinki, [petteri.uotila@helsinki.fi](mailto:petteri.uotila@helsinki.fi)

2 College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University

3 China Telecom Corporation Limited Beihai Branch

4 Department of Civil and Environmental Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology

## Abstract

*Deep learning has shown considerable promise for sea-ice type mapping, yet its application remains constrained by scarce labeled data, limited explainability, and the lack of interactive mechanisms. In this study, we propose an Effective Sea Ice Classification Model, ESICM, which consists of three key components. First, a few-shot learning framework is adopted to make full use of scarce supervised information. Second, domain knowledge from commonly used inter-channel multiplication and division operations in remote-sensing retrieval is incorporated to improve model generalization under limited data conditions and to enhance intrinsic explainability. Third, inspired by the interactive mechanism of the Segment Anything Model (SAM), two interactive functions are introduced to improve its usability in hard-to-classify scenes. Using synthetic aperture radar (SAR) imagery together with auxiliary data, ESICM classifies four ice types in SAR scenes: open water, young ice (YI), first-year ice, and multi-year ice (MYI). The model was trained on 512 scenes from the AI4Arctic Sea Ice Challenge dataset and evaluated on 20 independent scenes. With only 190,000 parameters, ESICM achieved an overall accuracy (OA) of 91.73%, an F1 score of 91.29%, a Kappa coefficient of 85.61%, and a mean intersection over union (mIoU) of 71.52%. These values exceeded those of the compared deep learning models by at least 1.35%, 1.90%, 2.54%, and 2.53%, respectively. The improvement was particularly notable during the melting season, especially for MYI scenes, where the F1 score and IoU were 22.21% and 19.15% higher than those of the second-best model. ESICM also demonstrated strong cross-domain generalization, maintaining the highest accuracy even when trained with only one quarter of the local scenes. For hard-to-classify scenes, its interactive mechanism allows users to further improve classification accuracy through prompts. To examine the physical basis of the classification decisions, we conducted a Shapley additive explanation analysis. The results show that spatiotemporal prior information is essential for classification during the melting season and for MYI identification, while low-frequency passive microwave brightness temperatures at 6.9–10.7 GHz provide complementary information for identifying YI.*

# Modelling geoelectric field in Fennoscandia for a Carrington-class geomagnetic storm

E. Marshalko

Finnish Meteorological Institute, Helsinki, elena.marshalko@fmi.fi

## *Abstract*

*A geomagnetic storm comparable in magnitude to the 1859 Carrington event would pose a major threat to modern ground-based infrastructure, especially high-voltage power transmission systems. In earlier work, Blake et al. (2021, Space Weather, doi:10.1029/2020SW002585) reconstructed magnetic field variations recorded at Colaba, India, during the Carrington storm and produced global estimates of external magnetic field variations at the Earth's surface. Building on this foundation, we use a physics-based modelling approach to calculate the geoelectric fields induced across the Fennoscandian region. The method incorporates a high-resolution three-dimensional model of subsurface electrical conductivity, enabling realistic simulations of the Earth's response to extreme geomagnetic disturbances. To evaluate the severity of a potential Carrington-class storm, we compare the resulting geoelectric fields with those modelled for the October 2003 geomagnetic storm, commonly known as the Halloween geomagnetic storm of 2003. As one of the strongest space weather events of the last 100 years, the Halloween storm provides an excellent benchmark because of the extensive, high-quality magnetometer coverage available across Fennoscandia. Our results indicate that peak geoelectric fields during a Carrington-level storm in Fennoscandia could be roughly four to ten times stronger than those generated during the Halloween storm. These findings underscore the substantial geoelectric hazard associated with extreme geomagnetic activity and highlight the vulnerability of critical infrastructure in high-latitude regions.*

# From Level Ice to Ridges: Modeling Snow Redistribution on Arctic Sea Ice

I. Merkouriadi<sup>1</sup>, A. Jutila<sup>1</sup>, T. Koivusalo<sup>1</sup>,  
A. Prasad<sup>1</sup> and G. Liston<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Finnish Meteorological Institute, Helsinki, [ioanna.merkouriadi@fmi.fi](mailto:ioanna.merkouriadi@fmi.fi)

<sup>2</sup>Colorado State University

## *Abstract*

*The highly variable spatial distribution of snow on sea ice remains a major source of uncertainty in sea ice modelling and remote sensing applications. In this work, we examine how snow redistribution contributes to biases in simulated sea ice thermodynamics. Sensitivity experiments with one-dimensional thermodynamic sea ice models show that neglecting snow redistribution leads to systematic overestimation of snow depth on level ice and, consequently, underestimation of level ice thickness. Reducing the snow depth on level ice by approximately 40% brought the simulations into closer agreement with in situ and airborne observations. Airborne radar measurements further revealed a near-linear relationship between snow retention and sea-ice deformation at the end of winter. Building on these findings, we are now applying a high-resolution distributed snow-evolution modeling system over realistic sea ice topography, using so-called Floating Island simulations. The model is run along multiple first-year-ice and multi-year-ice trajectories across the Arctic Ocean to investigate the dominant drivers of meter-scale snow redistribution. This approach allows us to better quantify how ice topography and deformation control snow accumulation patterns, with implications for improving sea-ice model parameterizations and the interpretation of snow and ice thickness retrievals.*

## Virtausmittauksia Suomenlahdelta vuosilta 2009–2015

E. Miettunen, H. Kanarik, H. Berg, L. Tuomi, P. Alenius ja R. Hietala

Ilmatieteen laitos, elina.miettunen@fmi.fi

### Tiivistelmä

*Suomenlahden ja sen olosuhteiden tuntemisen merkitys on viime vuosina muuttuneen geopoliittisen tilanteen myötä kasvanut merkittävästi. Esimerkiksi varjolaivasto lisää vaarallisten aineiden mereen päättymisen riskiä. Tukeakseen alueen tutkimusta ja sitä kautta suojelua Ilmatieteen laitos julkaisee Suomenlahdella vuosina 2009–2015 kootun yhtenäisen havaintoaineiston virtausmittauksista (Alenius et al., 2026) osana datajulkaisua. Tämä laatutarkastettu havaintoaineisto sisältää samanaikaisia virtausmittauksia kolmelta eri sijainnilta keskiseltä Suomenlahdelta Suomen merialueelta. Vuosilta 2009–2012 havainnot on vain kesäkausilta, mutta huhtikuusta 2013 lähtien mittausaikasarjat ovat yhtenäisiä paikasta riippuen joulukuuhun 2014 tai toukokuuhun 2015 asti. Mittaukset on tehty pohjaan ankkuroiduilla akustisilla virtausprofiilimittareilla (acoustic Doppler current profiler, ADCP), ja ne kattavat vesipatsaan noin 4–5 m etäisyydeltä pohjasta noin 5–6 m etäisyydelle pinnasta 1 m syvyysresoluutiolla.*

*Esittelemme julkaistavan havaintoaineiston ja kuvailemme virtausten alueellista ja ajallista vaihtelua keskisellä Suomenlahdella havaintoaineiston perusteella. Rannikon lähellä virtaukset ovat enimmäkseen rannikon suuntaisia ja päävirtaussuunta vaihtelee idän ja lännen välillä, mutta kauempana rannasta pintakerroksen virtaussuunnissa on enemmän hajontaa. Pohjan lähellä virtaukset ovat voimakkaasti pohjanmuotojen ohjaamia myös avomerellä. Virtausmittaukset näyttävät myös alueen kerrostuneisuuden vaihtelua eri vuosien ja vuodenaikojen välillä. Lopuksi esittelemme muutamia havaintoaineistossa esiintyviä voimakkaan virtauksen tilanteita ja vertailemme, kuinka Ilmatieteen laitoksen Suomenlahden virtausmalli kuvaa näitä tilanteita.*

### LÄHTEET

Alenius, P., R. Hietala, H. Berg, H. Kanarik, H. Jalli, T. Purokoski, P. Kosloff, T. Roine, 2026. FMI Gulf of Finland ADCP datasets (2009–2015) [Data set]. Finnish Meteorological Institute. <https://doi.org/10.57707/fmi-b2share.n91q0-vms10>

# The role of the Finnish Geospatial Research Institute in the European Quantum Infrastructure Project for Gravimetry (EQUIP-G)

E. Nuttunen<sup>1</sup>, M. Bilker-Koivula<sup>1</sup>, and J. Näränen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Land Survey of Finland, Finnish Geospatial Research Institute,  
eveliina.nuttunen@maanmittauslaitos.fi

## *Abstract*

*The Finnish Geospatial Research Institute (FGI) is a partner in a large, 4-year-long, EU-funded consortium project of eleven countries called the European QUantum Infrastructure Project for Gravimetry (EQUIP-G). The objectives of the project include procuring and testing several quantum gravimeters and using them in different use cases addressing several European societal challenges through gravimetry as well as generating structures for handling and storing quantum gravimeter data, and building an EU-wide community in the field. As a final outcome of the project, by 2029 a roadmap and recommendations are submitted to the European Commission for a European entity managing a shared park of quantum gravimeters. The FGI is in the process of procuring an AQG-B quantum gravimeter by the company Exail with the delivery expected in Q3/2026.*

*FGI participates in the project as a metrological institute responsible for handling the absolute gravimeter comparison results of the project. The purpose of the comparisons is to ensure the traceability of the gravity measurements to SI-units and verify, e.g., the interoperability of the gravimeters. The first comparison of six absolute quantum gravimeters and three traditional absolute gravimeters, including FG5X-221 of the FGI, was organized in April 2026, and the processing of the comparison results is ongoing. A second comparison is to be organized for broader participation in 2028. Additionally, the FGI will lead one use case where the absolute quantum gravimeter of FGI will be deployed on a geothermal field in Iceland, first briefly in the autumn 2026 and later for continuous measurements of three months during the summers of 2027 and 2028. The geothermal area has been monitored for years by superconducting gravimeters (SGs) which need regular calibrations to control their drift and scale. The use case will demonstrate the suitability and advantages of using absolute quantum gravimeters to provide the necessary references for SGs in the field, and offer a possibility to compare the data of the different instruments. The FGI is also participating in another use case about climate change monitoring. The use case tracks the mass change of an ice sheet in Greenland via campaign-type absolute gravity measurements and the Earth deformation resulting from the changes. The first measurements by another project partner have been conducted already in 2025, and FGI will measure in the same location in 2028.*

# Radioaktiivisuusluotauksista Jokioisten observatoriolla 1963–1980

J.P. Paatero ja A.S. Paatero

Ilmatieteen laitos, Havaintopalvelut-yksikkö, jussi.paatero@fmi.fi

## *Abstract*

*Radioactivity soundings were performed at Jokioinen observatory from 1963 to 1980. The purpose was to detect artificial radioactivity in the upper atmosphere due to the atmospheric nuclear tests but data about cosmic rays was achieved as a byproduct. Artificial radioactivity was observed, for example, after the first Chinese nuclear test in October 1964. A variation of cosmic ray intensity was observed due to the 11-year Solar cycle. These unpublished data were found from the National Archives of Finland and the archive of the Finnish Meteorological Institute.*

## 1. JOHDANTO

1950-luvun loppupuolella sotilas- ja väestönsuojeluviranomaiset katsoivat, että suurvaltojen ydinasekokeiden takia Suomessakin pitäisi käynnistää valtakunnallinen säteilyvalvonta. Yläilmakehässä mahdollisesti esiintyvää keinotekoisista radioaktiivisuutta päätettiin seurata radioaktiivisuusluotauksilla, joissa säteilymittari nousee vetypallon kantamana stratosfääriin ja lähettää lennon aikana pulssitaajuuslukemat radioteitse maa-asemalle.

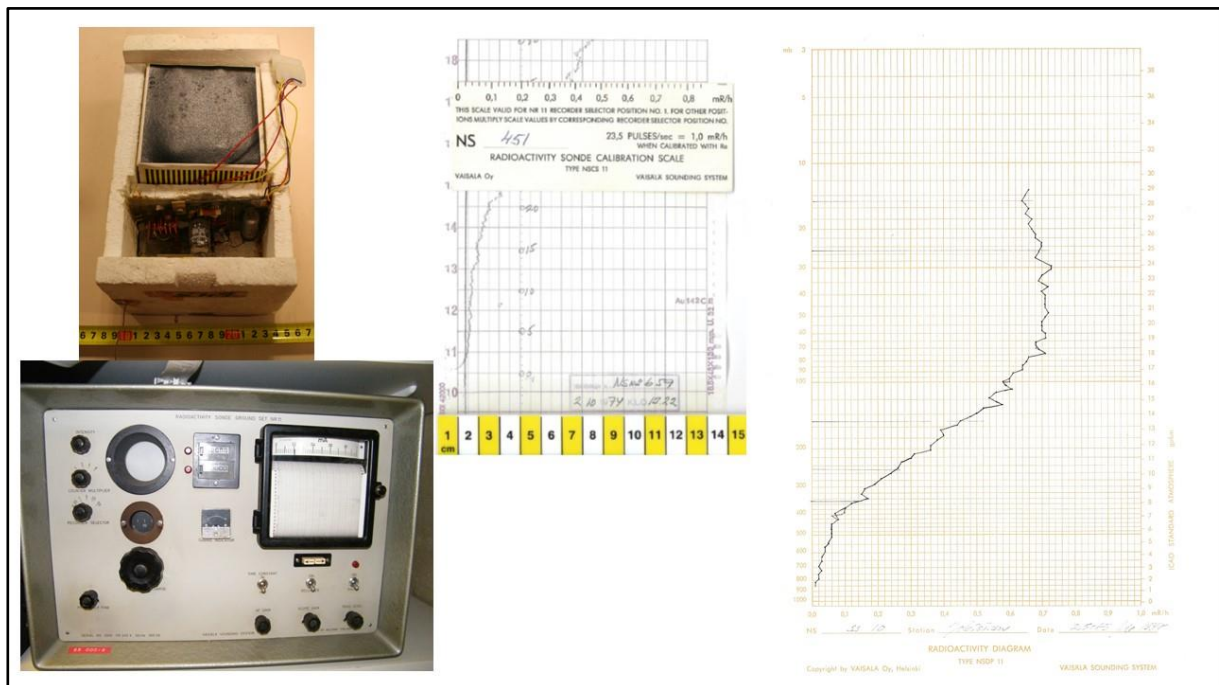
Puolustuslaitos (nyk. Puolustusvoimat) hankki silloisen Vaisala Oy:n (nyk. Vaisala Oyj) valmistaman radioaktiivisuusluotausjärjestelmän, ja sen operatiivinen käyttö aloitettiin vuoden 1963 alkupuolella. Kalusto sijoitettiin silloisen Ilmatieteellisen keskuslaitoksen Jokioisten meteorologiseen observatorioon. Luotaukset teki observatorion henkilökunta. Luotausdatat lähetettiin Pääesikuntaan, jossa ne leimattiin salaisiksi muiden operatiivisten säteilyvalvontatulosten tavoin. Tulokset jäivät kuitenkin myös Ilmatieteen laitoksen käyttöön, mutta ehkä ainakin osittain tuon Pääesikunnan salassapidon takia tuloksia käytettiin vain muutamassa julkaisussa (Rossi 1966, Rossi 1967, Huovila ja Kulmala 1968). Jokioisten observatorion vuosikertomusten mukaan radioaktiivisuusluotauksia tehtiin yhteensä 358 kappaletta vuosina 1963–1980. Vaisala News -lehden nro 20/1963 kansikuvassa on radioaktiivisuusluotain lähdössä lentoon Jokioisista. Tähän yhteenvetoon on koostettu tähän mennessä arkistoista löydettyjen 291 radioaktiivisuusluotauksen tulokset.

## 2. LAITETEKNIikka

Radioaktiivisuusluotausjärjestelmän maa-asema, tyyppimerkiltään NR11, painoi 60 kg, ja sen mitat olivat 55 cm × 57 cm × 38 cm (Kuva 1). Maa-asema otti vastaan radioaktiivisuusondin

telemetrian, prosessoi sen sekä rekisteröi tulokset piirturipaperille ja kahdelle pulssilaskurille, jotka toimivat vuorotellen minuutin jaksoissa. Tyyppimerkin NS11 saaneessa radioaktiivisuussondissa oli säteilyilmaisimena Geiger-Müller-putki. Sondin kuorena oli styrox-laatikko, jonka mitat olivat 10 cm × 15 cm × 22 cm. Lentokunnossa hyötykuorma (sondi, laskuvarjo ja ripustusnuora) painoi n. 900 g, josta suurin osa johtui sondin tehonlähteenä toimineesta Airam Oy Ab:n paristosta. Säteilyilmaisimen pulssitaajuussignaali taajuusmoduloitiin ja lähetettiin 151–154 MHz kanta-aallolla maa-asemalle 500 mW lähetysteholla. Sondin säteilytysnopeuden mitta-alue oli 0–200 mR/h, mikä vastaa likimain 0–2 mGy/h annosnopeusalueetta. Sondit oli yksilöllisesti tehdaskalibroitu radiumlähteen avulla (Jägermalm et al. 1963).

Tässä esitettävät tulokset ovat peräisin Ilmatieteen laitoksen arkistosta: Arkistoyksiköt "Atomisäteily, Diagrammit, Jokioinen 1963–1974" ja "Atomisäteily, Rekisteröinnit, Jokioinen 1965-", sekä Kansallisarkistosta: arkistoyksikkö "PE Slutsto D1 sal, Omat toimitteet, Lähteneet asiakirjat 1960-1967", arkistotunnus T-25979/2.

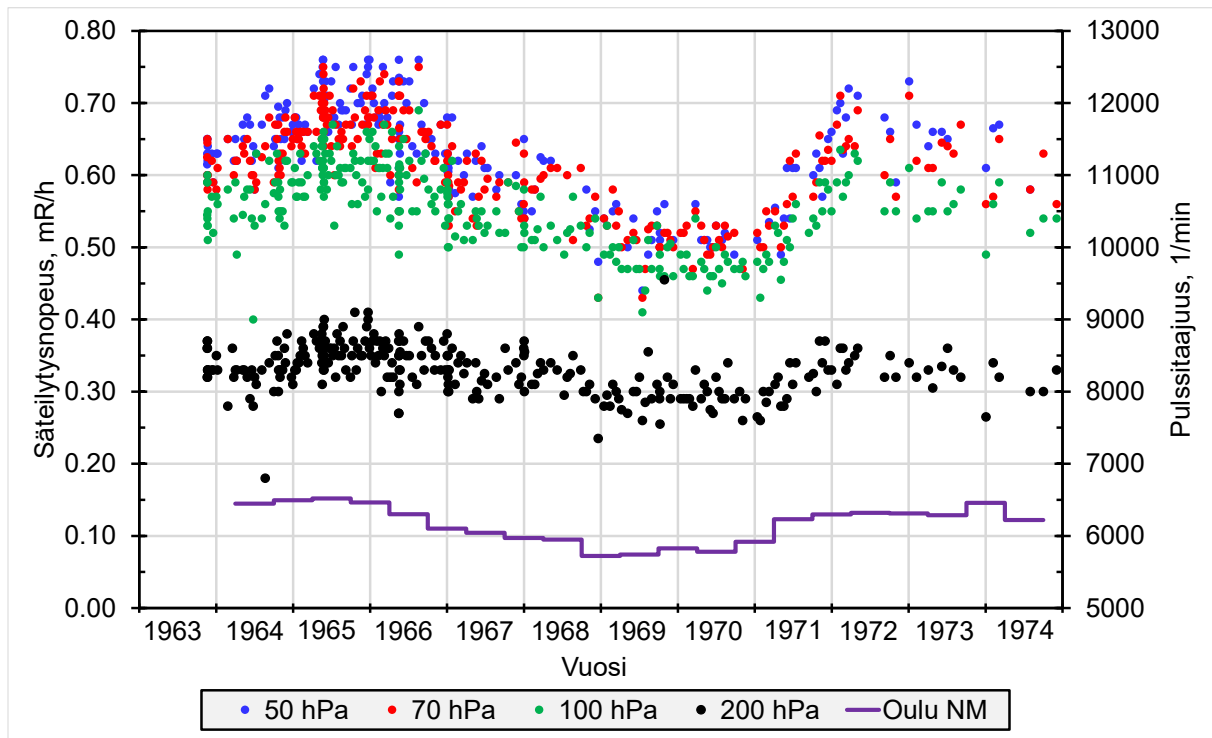


Kuva 1: Vasemmalla ylhäällä NS11-radioaktiivisuussondi, vasemmalla alhaalla NR11-maa-asema, ja keskellä maa-aseman piirturista saatu luotaukaskäyrä, jonka päällä on pahvinen skaala pulssitaajuuksien muuttamiseksi säteilytysnopeuksiksi (skaalan sarjanumero on eri kuin luotaukaskäyrän). Oikealla on 29 km korkeuden saavuttanut radioaktiivisuusluotaus 2.5.1965 piirrettynä luotausdiagrammiin, x-akseli: säteilytysnopeus (mR/h), vasen y-akseli: paine (mb = hPa), oikea y-akseli: korkeus (km). Luotaustiedot: Ilmatieteen laitoksen arkisto.

### 3. TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Jokioisten radioaktiivisuusluotauksilla mitatut säteilytysnopeudet neljällä painepinnalla 1963–1974 vaihtelevat auringon aktiivisuuden 11 vuoden syklin mukana (Kuva 2). Mittaustulokset toistavat Oulun yliopiston neutronimonitorilla tehdyt havainnot (<https://cosmicrays oulu.fi/>).

Merkillepantavaa on, kuinka ilmakehä tasoittaa auringon aktiivisuudesta johtuvaa vaihtelua. Merenpinnan tasolla neutronipulssitaajuus vaihtelee n. 15 %, mutta stratosfäärissä säteilytysnopeuden vaihtelu on 50 % luokkaa auringon aktiivisuuden maksimin ja minimin välillä.



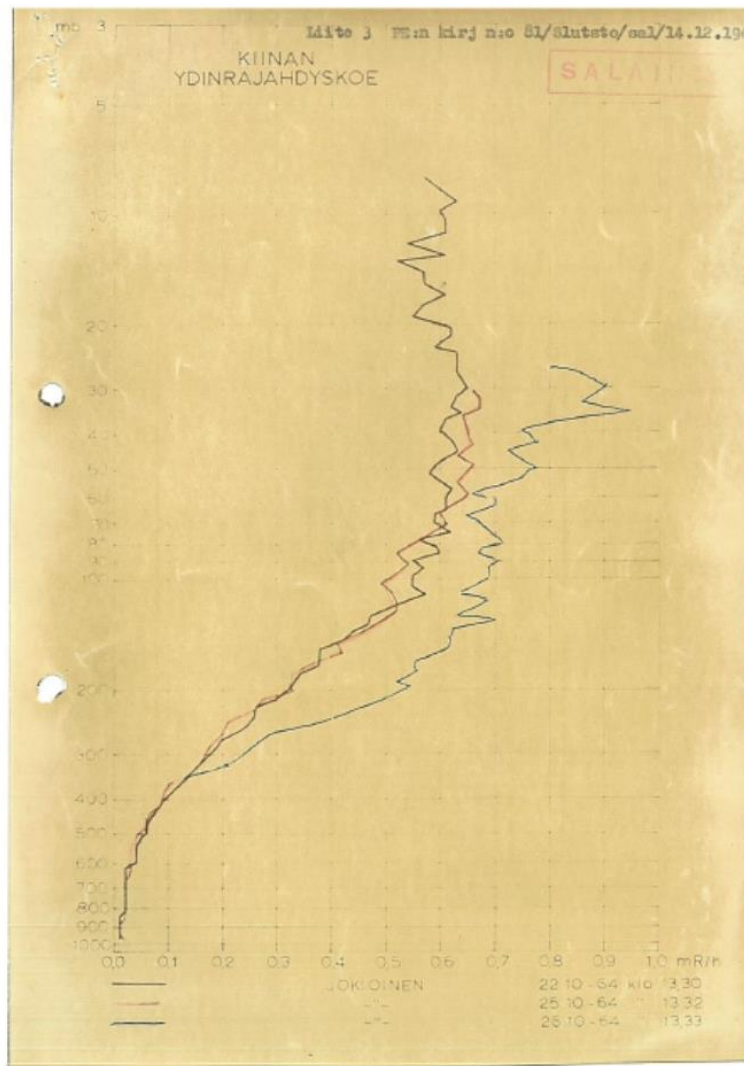
Kuva 2: Jokioisten radioaktiivisuusluotausten tulokset 1963–1974, säteilytysnopeudet (mR/h) neljällä painepinnalla. Vertailun vuoksi kuvassa on myös Oulun yliopiston neutronimonitorin pulssitaajuuden (1/min) puolivuotiskeskiaarvot (<https://cosmicrays oulu.fi/>).

Kiinan kansantasavalta teki ensimmäisen ydinkokeensa, 20 kt pintaräjätys, 16.10.1964 (UNSCEAR, 2000). Jokioisissa tehtyjen radioaktiivisuusluotausten perusteella räjäytyksen saastepilvi kulki Suomen yli 26.10.1964, toisin sanoen 10 vrk ydinkokeen jälkeen (Kuva 3). Saastepilven pohja oli 350 hPa painepinnalla. Maksimissaan 34 hPa painepinnalla ( $\approx 23$  km korkeudella) saastepilvi aiheutti n. 50 % lisäyksen normaaliin säteilytasoon. Saastepilvi nousi yllättävän korkealle ottaen huomioon räjäytyksen suhteellisen vaatimattoman tehon.

Radioaktiivisuusluotaukset ovat osoittautuneet kustannustehokkaaksi menetelmäksi yläilmakehän säteily-ympäristön seuraamiseksi. Edellä kuvattua työtä on tarkoitus jatkaa 1970-luvun puolivälin jälkeen tehtyjen radioaktiivisuusluotausten löytämiseksi. Radioaktiivisuusluotaukset aloitettiin uudestaan 1990-luvun puolivälissä toisen sukupolven sondeilla. Nykyisten, kolmannen sukupolven sondien elinkaaren odotetaan ulottuvan pitkälle 2040-luvulle, mikä tietäisi, että Jokioisissa olisi tehty radioaktiivisuusluotauksia kahdeksan vuosikymmenen ajan.

## KIITOKSET

Kiitämme Kansallisarkiston ja Ilmatieteen laitoksen arkiston henkilökuntaa radioaktiivisuusluotauksia koskevan arkistomateriaalin etsimisestä käyttöömme.



Kuva 2: Jokioisten radioaktiivisuusluotaukset lokakuussa 1964, x-akseli: säteilytysnopeudet (mR/h), y-akseli: paine (mb = hPa), Käyrät: musta 22.10, punainen 25.10. ja sininen 26.10. Dokumentin salassapitoaika on päättynyt (Lähde: Kansallisarkisto).

## LÄHTEET

- Huovila, S. ja A. Kulmala, 1968. *Radioaktiivisen laskeuman ennustamisesta*. Tutkimuslause No.2, Ilmatieteen laitos, Helsinki.
- Jägermalm, O., P. Peltonen ja M. Wilska, 1963. Equipment for radioactivity measurements in the upper-air, *Vaisala News*, **17**, 3–9.
- Rossi, V., 1966. Geiger-Müller-laskijaputkella varustetulla radioluotaimella suoritetujen havaintojen tuloksia maanpinnasta 30 km:n korkeudelle. In: *Geofysiikan Päivät 20.-21.6.1966*. Toim. P. Tuomimäki. Geofysiikan seura, Oulu, 140–148.
- Rossi, V., 1967. Soundings up to the height of 30 km with radioactivity radiosonde during the IQSY 1964-65 at the observatory of Jokioinen. *Vaisala News*, **36**, 3–6.
- UNSCEAR, 2000. *UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, Annex C – Exposures from man-made sources of radiation*. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York.

# Continental drift history of Baltica

L.J. Pesonen<sup>1</sup> and P. Sangchan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, University of Helsinki, Finland, lauri.pesonen@helsinki.fi

<sup>2</sup>Tanotorventie 47 A 1, Helsinki, Finland

## Abstract

To understand the present day tectonic, geological and geochronological features of Baltica in deep time, its paleogeographic history must be established. Here we present the evolution of Baltica and its constituting cratons, microcontinents, orogens and terranes during the last 3 billion years as based on paleomagnetic, geological, geophysical and geochronological data.

## 1. BALTICA IN THE PRECAMBRIAN SUPERCONTINENT CYCLES

We have previously shown that the cratons of Baltica, i.e., Kola, Karelia, Sarmatia and Volgo-Uralia were part of the supercraton Superia during late Archean-Early Proterozoic followed by their amalgamation into the Laurentian megacontinent, being one of the four huge continental blocks prevailing during ~ 2.3-1.9 Ga (Pesonen et al., 2024; 2026). At ~1.9 Ga this megacontinent, including Baltica, amalgamated to supercontinent Nuna with its tenure time 1.7-1.45 Ga and break-up time at about 1.37 Ga. Subsequently, after a short continent's dispersal time, Baltica amalgamated into another supercontinent Rodinia at ~ 1.0 Ga. Figure 1 shows three snapshots of the paleogeographies of Earth during 2.45-0.93 Ga focusing on eras of supercratons and supercontinents.

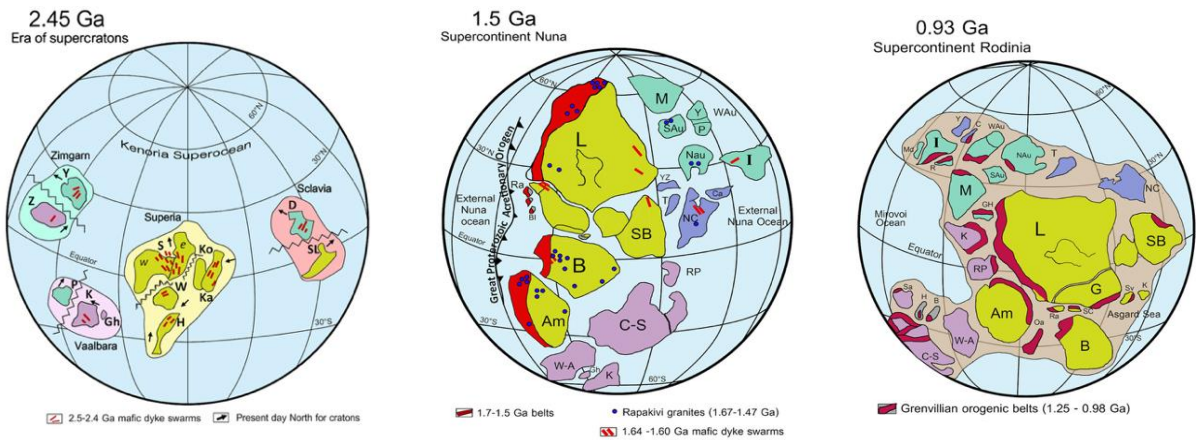


Figure 1. *Left:* The constituting cratons of Fennoscandia (Kola (Ko), Karelia (Ka), i.e., the northwestern part of the present Baltica continent, are shown in the supercraton Superia (yellow) located at equatorial paleolatitudes during 2.8-2.2 Ga surrounded by three other megacontinents. *Middle:* Baltica (B) has

been formed and is located in the core of the Paleo-Mesoproterozoic Nuna supercontinent (1.72-1.37 Ga) consisting of four megacontinents Laurentia (yellow), Amazonia (violet), Chinese (blue) and Australia (green). *Right*: Neoproterozoic supercontinent Rodinia in its tenure time 1.0-0.77 Ga. For the labels and colors of continents, blocks and tectonic or magmatic belts see Pesonen and Sangchan (2026).

## 2. METHODS AND DATA

The paleogeographic reconstructions during Precambrian were done using Euler-techniques (Pesonen et al., 2021; 2026). The following strategy was used: (1) Precambrian data with R-quality index of A&B (occasionally C), were accepted for analysis. See Evans et al. (2021) for data and R-gradings; (2) Reconstructions were done on spherical (stereographic) projections showing continents in their correct ancient latitudes and orientations as defined by their apparent polar wander paths (APWPs) or occasionally using observed (Chrm) inclinations/declinations; (3) To accept the position (latitude&hemisphere, orientation) of a continent, the shortest distance method along the APWP was used for two reasons: (i) this avoids the hemispherical ambiguity in the method due to axial symmetry of the Earth's magnetic dipole field (GAD), and (ii) this fulfils the speed-limit criteria ( $V_{\text{cont}} < 30\text{ms}^{-1}$ ); (4) We don't use polygon models to describe the continent shapes and their geological blocks but instead we use their present-day shapes and simplified intra-continental geotectonic-geochronological block models (Pesonen et al., 2021).

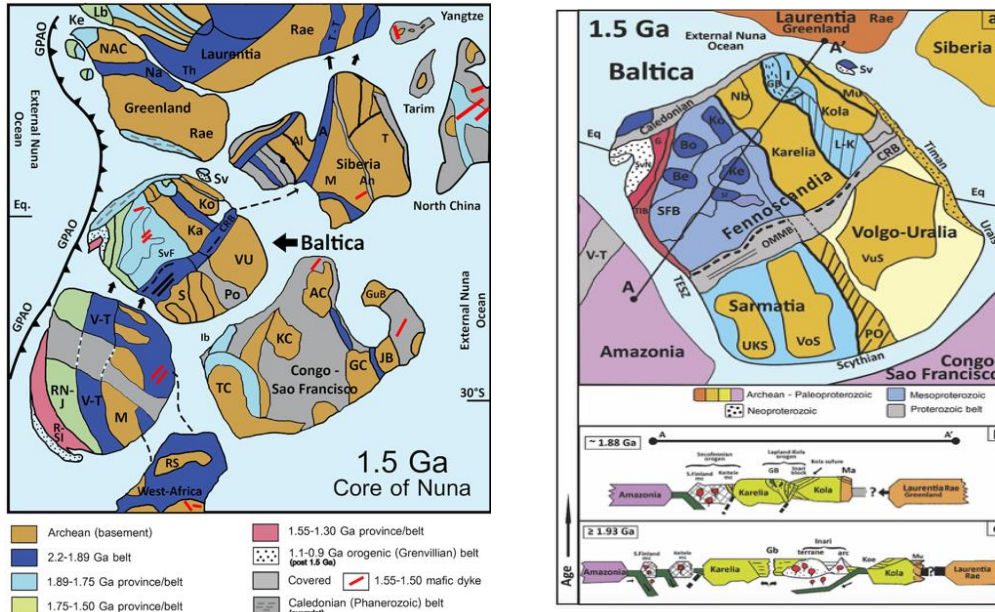
## 3. BALTICA IN THE CORE OF NUNA SUPERCONTINENT

Figure 2a outlines Baltica's position in the core of supercontinent Nuna in its tenure phase 1.5 Ga ago (e.g., Elming et al., 2021). Baltica is surrounded by Laurentia (Rae craton of Greenland) and Siberia in north and northeast, and by Congo-São Francisco, West Africa and Amazonia in south and southwest. This figure presents also some tectonic continuations (e.g. the 1.8-1.5 Ga belts) and coeval magmatic activities (mafic dykes and rapakivi granites) in this Nuna reconstruction.

Figure 2b (bottom) shows two successive cross-sections from Amazonia to Laurentia via Baltica, and plate tectonic models for the evolution of Baltica during 1.93-1.5 Ga as modified from Lahtinen and Huhma (2019). The forming of Baltica begins at  $\geq 1.93$  Ga (bottom cross-section) depicting the time when the cratons of Baltica were in their way to amalgamate together and to form first the coherent Kola-Karelia craton (including the small Murmansk inlier) and causing the Lapland-Kola orogeny to take place in North, including the births the Granulite Belt and the formation of the Inari terrane. Slightly later, (upper cross-section, 1.88 Ga) the collisions of Amazonia (from SW) and Laurentia (from North) with Baltica took place and formed the core of the Nuna supercontinent with associated accretional and collisional belts. In this model the Svecofennian terrane is a product of subduction of an oceanic plate between Amazonia and Baltica involving accretions of microcontinents, like Keitele and South Finland, onto Karelian craton in south-west. Later (not shown) Sarmatia and Volgo-Uralia cratons collided with already formed Fennoscandia to form the continent Baltica at 1.7 Ga.

Figure 2. *Left*: Baltica in the core of supercontinent Nuna (see also Fig.1 for global view) surrounded by its geological neighbours: the Rae craton (Greenland, Laurentia), Siberia, Congo-São Francisco, West Africa and Amazonia. Note a possible connective belt (blue) from West-Africa to Amazonia (V-T belt), to CRB belt in central part of Baltica, possibly including the Svecofennian terrane of Baltica (light blue), to the Akitkan belt of Siberia and to the Taltson-Thelon belt of the Rae craton of Laurentia. *Right*: A

possible model of the evolution of Baltica during 1.93-1.5 Ga. Bottom: A plate tectonic evolutionary model by Lahtinen and Huhma (2019; as modified), (c) time > 1.93 Ga when the cratons of Baltica were in their way to amalgamate together to form the coherent Kola-Karelia craton (including the Murmansk cratonic inlier); (b) Amazonia and Laurentia are colliding with Baltica to form the central part of the Nuna supercontinent (see, a) with associated accretional and collisional belts. Up: Baltica continent showing its cratons, microcontinental blocks (e.g., Keitele), orogenic belts. See the colors in the bottom to show the age distributions of terranes/belts.



#### 4. THE DRIFT HISTORY OF BALTICA IN DEEP TIME

The drift history of the cratons, microcontinents and blocks forming the Baltica continent is presented in Figure 3 as a paleolatitude vs. age-curve during 3.0-0.54 Ga (Pesonen & Sangchan, 2026) added with the Phanerozoic part (0.54 Ga to present) by Torsvik and Cocks (2017). During Mesoarchean-early Neoproterozoic time Kola and Karelia are shown as independently drifting cratons, or as part of the Superior supercraton, before they unite to form Kola-Karelia craton during ca. 2.6-1.93 Ga.

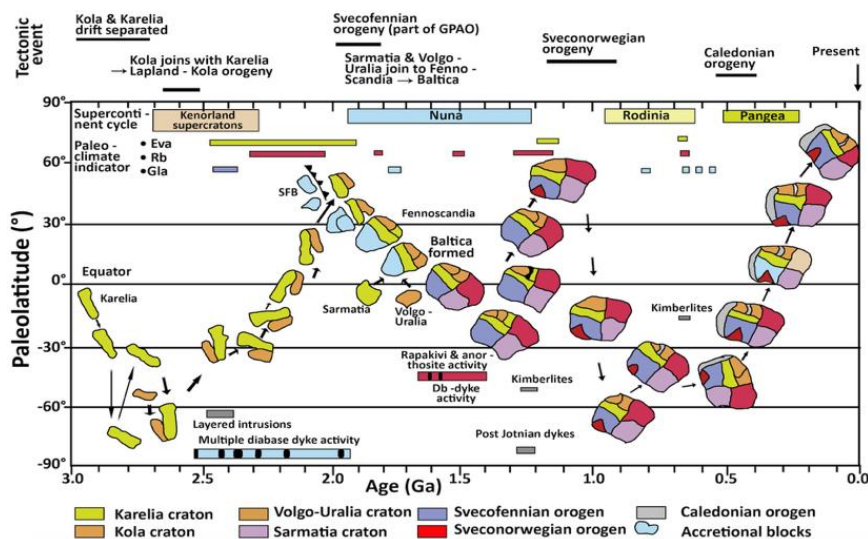


Figure 3. The drift history of the various cratons and blocks forming Baltica continent. Vertical (horizontal) axis: absolute paleolatitude (age 3.0 Ga-present). Major tectonic events include the formation of Fennoscandia followed by the formation of Baltica (see text). Bottom colors show the ages of the cratons, blocks/orogenic belts. Also shown are (i) paleoclimatic indicators (evaporites, glaciations redbeds), timespans of layered intrusions, mafic dyke swarms, kimberlite pulses and rapakivi&anorthosite magmatic activities.

Subsequently, Fennoscandia will be formed by accretional and collisional processes onto the Karelian part of the craton causing the Svecofennian orogen with associated microcontinent events during ~ 2.3-1.8 Ga. The Baltica is formed by collision of Fennoscandia with Sarmatia-Volgo-Uralia cratons at ca. 1.7 Ga. The described evolutionary history of the formation of Baltica is to be understood as part of global, plate tectonic model and it does not try to explain intra-cratonic block movements or rotations (see discussion in Pesonen and Sangchan, 2026). Subsequent accretional or collisional events during the late Neoproterozoic (TESZ-belt) and Phanerozoic (Caledonide, Timan and Ural belts; see Figure 2). Also shown in Baltica's drift curve are paleoclimatic indicators (such as evaporites, glaciations, redbeds), Siderian layered intrusions, several pulses of mafic dyke swarms, kimberlites and rapakivi&anorthosite magmatism.

## REFERENCES

- Elming, S.-Å., Salminen, J., Pesonen, L.J., 2021. Paleo-Mesoproterozoic Nuna supercycle. Chapter 16. In: Pesonen, L.J., J. Salminen, S.-Å. Elming, D.A.D. Evans and Veikkolainen, T., 2021 (Eds). *Ancient Supercontinents and the Paleogeography of Earth*. Elsevier Inc., 646 pp.
- Evans, D.A.D., Eglinton, B.M., Elming, S.-Å., Gong, Z., Li, Z.-X., McCausland, P.J., Meert, J.G., Mertanen, S., Pesonen, L.J., Pisarevsky, S.A., Pivarunas, A.F., Salminen, J.M., Swanson-Hysell, N., Torsvik, T.H., Trindade, R.I.F., Veikkolainen, T., Zhang, S., 2021. An expanding list of reliable paleomagnetic poles for Precambrian tectonic reconstructions. Chapter 19. In: Pesonen, L.J., J. Salminen, S.-Å. Elming, D.A.D. Evans and Veikkolainen, T., 2021 (Eds). *Ancient Supercontinents and the Paleogeography of Earth*. Elsevier Inc., 646 pp.
- Lahtinen, R and H. Huhma, 2019. A revised geodynamic model for the Lapland-Kola Orogen. *Precambrian Research*, 330, 1-19. doi.org/10.1016/j.precamres.2019.04.022
- 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. *In: Holappa et al., Proceedings of the XXXI Annual Geophysics Days, Oulu University, Finland*, 61-64.
- Pesonen, L.J., P. Sangchan, 2026. Precambrian supercontinent cycles with a Special Focus on Baltica (in prep.).
- Torsvik, T.H., and R.M. Cocks, 2017. *Earth's history and Paleogeography*, Cambridge University Press, 332 p.

# Polaarialueen tutkijoiden ympäristötunteet ilmastokriisin aikakaudella

Inkeri Markkula<sup>1</sup> ja Sirpa Rasmus<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Arktinen keskus, Lapin yliopisto, inkeri.markkula@ulapland.fi

<sup>2</sup> Arktinen keskus, Lapin yliopisto, sirpa.rasmus@ulapland.fi

## *Abstract*

Environmental emotions have gained increasing attention in research during the last decade. Emotions such as grief, anxiety, anger, and hope are increasingly relevant and often constructive responses to global and local environmental problems, and there is growing evidence that environmental emotions can impact mental health and wellbeing. Groups of people who experience environmental emotions heavily due to their lifestyles, occupation or identity have been identified in previous studies. Among them are scientists, who are in the front line witnessing climatic changes, wildlife losses and environmental destruction as part of their work. In this study, we investigated environmental emotions and coping strategies of scientists working in polar regions and in research topics including climate, snow, permafrost, sea ice and glaciers. The results show that many researchers working in polar regions experience continuous or intermittent mental burden due to their work. The fact that they witness the loss of biodiversity and habitats in their work, as well as threats and losses to local cultures, caused sadness in the respondents. Lack of policy action to mitigate climate warming, as well as the questioning of scientific research and the ignoring of the scientists' message, caused anxiety, anger, frustration and despair. Conducting fieldwork in the midst of natural beauty of the polar regions aroused joy, gratitude and empathy in respondents.

## 1. JOHDANTO

Ympäristötunteet ovat tunteita, joita koetaan luonnonympäristöön ja sen muutoksiin liittyen. Vaikeat ympäristötunteet, kuten suru, ahdistus, viha, syyllisyys ja turhautuminen voidaan nähdä ymmärrettävinä ja rakentavina reaktioina globaaleihin ja paikallisiin ympäristöongelmiin (Ojala ym. 2021). On yhä enemmän näyttöä siitä, että ympäristötunteet vaikuttavat mielenterveyteen ja hyvinvointiin, sekä liittyvät kestäviin elintapoihin ja aktiiviseen toimintaan luonnon ja ilmaston puolesta (esim. Hickman ym. 2021; Ågoston ym. 2022; Nieminen ym. 2025). Ilmastokriisin aikakaudella myös luonnontieteellisten alojen tutkijat kokevat vaikeita ympäristötunteita, mutta tutkimusta aiheesta on vasta vähän (Pihkala 2024). Esimerkiksi polaarialueilla ja merijään, jäätiköiden ja lumen parissa työskentelevät tutkijat dokumentoivat jatkuvasti elinympäristöissä ja eliöyhteisöissä tapahtuvia muutoksia ja menetyksiä. Tähän työhön liittyvien tunteiden tekeminen näkyväksi on tärkeää muun muassa tutkijoiden henkisen hyvinvoinnin tukemisen näkökulmasta. Ympäristötunteiden tutkimus auttaa myös ymmärtämään omia tunteita ja motiiveja, kun teemme tutkimustyötä nopeasti muuttuvassa luonnonympäristössä.

Tässä tutkimuksessa selvitimme polaarialueilla työskentelevien ja muun muassa ilmastoon, lumeen, ikiroutaan ja jäätiköihin liittyvää tutkimusta tekevien tutkijoiden ympäristötunteita. Erityisesti tutkimme surun ilmentymiä, työn aiheuttamaa henkistä taakkaa, tutkijoiden

henkilökohtaisia tunteiden käsittelyn keinoja sekä heidän näkemyksiään ja kokemuksiaan ympäristötunteiden jakamisesta ja käsittelystä työyhteisössään.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksen aineisto kerättiin joulukuussa 2025 laadullista tutkimuskyselyä käyttäen. Kyselyssä oli viisi avointa kysymystä koskien tutkijoiden työhön liittyviä ympäristötunteita ja niiden käsittelyä. Kyselyyn vastasi yhteensä 46 tutkijaa 16 maasta. Suurin osa vastaajista työskenteli geotieteiden (esimerkiksi glasiologia ja hydrologia) parissa. Vastaajista 57 % oli naisia. Suurin osa (53 %) vastaajista oli 30–49-vuotiaita, 31 % oli yli 50-vuotiaita ja 16 % alle 30-vuotiaita. Suurin osa vastauksista saatiin englannin kielellä, ja tässä tekstissä olevat lainaukset on jätetty alkukielelle.

## 3. TULOKSET

Vastaajista 78 % kertoi tuntevansa surua osana työtään ja 83 % raportoi muita vaikeita tunteita, kuten ahdistusta, vihaa, raivoa, toivottomuutta, voimattomuutta, masennusta, turhautumista, huolta, henkistä kipua ja pelkoa. Tunteiden kerrottiin usein olevan voimakkaita, jatkuvia ja monitahoisia.

“Working directly on climate change is all about feeling a million emotions at once and/or in quick succession.”

Surun aiheisiin ja kokemiseen liittyen aineistosta nousi esiin seitsemän teemaa. Surua aiheutti: 1. Elinympäristöjen ja lajien vähenemisen ja katoamisen todistaminen ja dokumentointi; 2. Paikallisiin kulttuureihin kohdistuvien uhkien ja kulttuuristen menetysten todistaminen ja dokumentointi; 3. Ilmastotoimien vähäisyys ja poliittisen tahdon puute ilmaston lämpenemisen hillitsemiseksi; 4. Tutkimusten tulosten aliarvostaminen ja tutkijoiden viestin huomiotta jättäminen; 5. Ihmisten välinpitämättömyys; 6. Kokemus siitä, että tieteellinen työ ei riitä ongelman ratkaisemiseen ja lisäksi 7. Suru on taustatunteena jatkuvasti mukana tutkimustyössä. Vastaajat kokivat surua jäätiköiden, ikiroudan, merijään, eläinlajien ja yleisemmin polaarialueiden luonnon muutoksesta ja katoamisesta.

” “I feel very sad about what is happening to the natural world due to our inaction. I have watched glaciers that have been around for thousands (if not longer!) of years disappear within a matter of months. These changes are irreversible and it’s simply devastating. What follows after such events or reading similar papers is a deep despair and grief. It is saturated with a feeling of powerlessness. That these things will be gone, the glaciers, the polar bears, the penguins, and we will live in the hollows of what once was a planet filled with rich biodiversity and landscapes. My only solace is to be grateful for my ability to see these changes first hand and savor what is left.”

Erityisesti ilmastotoimien vähäisyys ja poliittisen tahdon puute ilmaston lämpenemisen hillitsemiseksi aiheuttivat surun lisäksi ahdistusta, vihaa, voimattomuutta, toivottomuutta, turhautumista, raivoa ja epätoivoa vastaajissa. Moni koki työssään suurta henkistä taakkaa, joka

ilmeni seuraavin tavoin: 1) Oman tutkimuksensa merkityksen kyseenalaistamisena; 2) Pelkona tulevien sukupolvien ja omien lastensa puolesta; 3) Toivon menettämisenä; 4) Yksinäisyyden ja eristyneisyyden tunteina; 5) Vaikeutena nauttia luonnossa olemisesta. Toisaalta ilmaston lämpenemisen vaikutusten todistaminen myös vahvisti vastaajien työstään kokemaa merkityksellisyyden tunnetta, ja vahvisti halua jatkaa tutkimuksen tekemistä ja tutkimusten tuloksista viestimistä. Lohtua sekä ilon, kiittollisuuden ja empatian tunteita vastaajissa herättivät erityisesti polaarialueiden kaunis luonto, työyhteisö ja kollegat.

Ne vastaajat, jotka kokivat vaikeita ympäristötunteita, mainitsivat selviytymiskeinoinaan seuraavat asiat: ympäristöystävällinen toiminta; itsensä pitäminen kiireisenä työssä; tunteista keskusteleminen kollegoiden ja ystävien kanssa; tunteiden etäännyttäminen ja tukahduttaminen; musta huumori ja kyynisyys; luonnossa vietetty aika; taide; terapia sekä pitkät tauot työstä. Tutkijan työn itsessään katsottiin auttavan vaikeiden tunteiden työstämisessä ja samaan aikaan olevan niihin sidoksissa: työ on merkityksellistä ja vaikeat asiat kuuluvat osaksi tutkijan työtä.

Suuri osa vastaajista vältteli tunteista puhumista työyhteisössään. Tunteita käsiteltiin joko yksin tai muutamaan läheisen ystävän tai kollegan kanssa. Vastaajat välttelivät tunteista puhumista, koska pelkäsivät menettävänsä uskottavuutensa tutkijoina, ja koska yrittivät pitää yllä toivoa ja välttää luomasta ”maailmalopun tunnelmaa”. Osa vastaajista näki tunteiden esiin tuomisen haittaavaan tutkijan objektiivisuutta, kun taas osa näki ne tärkeänä toimintaa ajavana motivaattorina.

“Science is meant to embody objective inquiry. If people are feeling these emotions and conflating them with their research, then I think that they are doing bad science and should probably be working in a different profession.”

Vastauksista nousi esiin vahva tarve tunteiden jakamiselle ja niistä puhumiselle, sekä toive, että tutkijat voisivat jakaa kokemuksiaan ja tunteitaan työyhteisöissä ilman pelkoa huonoksi tutkijaksi leimautumisesta.

“One thing the scientific community could benefit from is to in the first place acknowledge that it is okay and human to allow emotions with regard to the research objects and does not diminish the quality of the research. This would also require some thinking about how we understand objectivity and what objectivity can actually be.”

“In the fields of cryospheric research and climate change, many researchers experience similar feelings of concern, frustration, or sadness when witnessing the rapid degradation of ecosystems and the limited social and political responses. The best way to process and share these emotions would be to promote open, safe, and non-hierarchical spaces where researchers can reflect on their experiences without fearing that they will be seen as less objective.”

#### 4. TULOSTEN POHDINTAA

Tulosten perusteella polaarialueilla työskentelevistä tutkijoista moni kokee jatkuvaa tai ajoittaista, voimakasta henkistä taakkaa työnsä vuoksi. Toisaalta juuri tutkimuksen tekeminen

ja kenttätyöt toivat myönteisiä tunteita ja toimivat selviytymisen keinona monelle vastaajalle. Aiempien tutkimusten mukaan ympäristötutkijana työskentely ja ekologisten menetysten todistaminen ovat yhteydessä pessimistiseen maailmankuvaan, johon liittyy voimakkaita toivottomuuden tunteita (Fraser ym. 2013; Head ja Harada 2017). Aiemmissä tutkimuksissa on myös havaittu, että yleinen selviytymiskeino ilmasto- ja ympäristötutkijoiden keskuudessa on työn aiheuttaminen tunteiden tukahduttaminen ja niiden erottaminen työstä (Head ja Harada 2017; Hoggett and Randall 2018). Myös tässä tutkimuksessa vastaajat toivat esille, että välttelevät tunteista puhumista työyhteisössään.

Ympäristösurua on eri yhteyksissä kutsuttu äänioikeudettomaksi suruksi. Äänioikeudeton suru tarkoittaa surua, jota ympäristö ei tunnusta tai ymmärrä. Äänioikeudeton suru on usein yhteydessä yksinäisyyden ja ulkopuolisuuden kokemiseen (Harris 2020), mikä tuli ilmi myös tämän tutkimuksen vastauksissa. Huomionarvoista on, että jotkut vastaajista raportoivat, etteivät pystyneet enää jatkamaan työssään henkisen kuormituksen vuoksi. Ympäristötunteiden käsitteleminen tutkijayhteisöissä onkin tärkeää yhteisöllisyyden ja tutkijoiden hyvinvoinnin tukemiseksi. Tunteiden kollektiivinen käsittely voi parhaimmillaan parantaa tutkijoiden resilienssiä sekä vahvistaa motivaatiota ja kykyä kohdata työn tuomia haasteita. Myös uudenlainen, avoin keskustelu tunteista ja tutkijan objektiivisuudesta olisi ilmastokriisin aikakaudella tarpeellista.

## VIITTEET

- Ágoston, C., Csaba, B., Nagy, B., Kováry, Z., Dúll, A., Rácz, J., Demetrovics, Z. 2022. Identifying Types of Eco-Anxiety, Eco-Guilt, Eco-Grief, and Eco-Coping in a Climate-Sensitive Population: A Qualitative Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, 2461.
- Fraser, J., Pantesco, V. Plemons, K., Gupta, R., Rank, S.J. 2013. "Sustaining the Conservationist." *Ecopsychology* 5, 70–79.
- Harris, Darcy L., 2020. (toim.) *Non-Death Loss and Grief: Context and Clinical Implications*. New York: Routledge.
- Head, L., Harada, T. 2017. Keeping the heart a long way from the brain: The emotional labour of climate scientists. *Emotions, Space and Society* 24, 34–41.
- Hickman, C., Marks, E., Pihkala, P., Clayton, S., Lewandowski, E. R., Mayall, E., ym. 2021. Climate anxiety in children and young people and their beliefs about government responses to climate change: a global survey. *Lancet Planetary Health* 5, e863–e873.
- Hoggett, P., Randall, R. 2018. "Engaging with Climate Change: Comparing the Cultures of Science and Activism." *Environmental Values* 27, 223–243.
- Nieminen, V., Partonen, T., Halonen, J.I., Hyvönen, K., Lanki T., Raza, A., Virtanen, M. 2025. Climate worry and mental health: the role of pro-environmental behavior and efficacy-based hope as coping strategies. *Journal of Environmental Psychology* 108, 102828.
- Ojala, M., Cunsolo, A., Ogunbode, C., Middleton, J. 2021. Anxiety, Worry, and Grief in a Time of Environmental and Climate Crisis: A Narrative Review. *Annual Review of Environment and Resources* 46, 35–58.
- Pihkala, P. 2024. The Cost of Bearing Witness to the Environmental Crisis: Vicarious Traumatization and Dealing with Secondary Traumatic Stress among Environmental Researchers. *Social Epistemology* 34, 86–100.

# Näytemäärän vaikutus petrofysikaalisissa mittauksissa

M. Roivainen<sup>1</sup>, T. Luoto<sup>1</sup>, S. Vuoriainen<sup>1</sup> ja T. Luhta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Geologian tutkimuskeskus, ext.matti.roivainen@gtk.fi

## *Abstract*

*Reliable estimation of petrophysical properties (e.g., density, magnetic susceptibility and remanence) is critical for geophysical interpretation, yet optimal sample size at the lithological unit scale remains unclear. This study analyses a large dataset from Finland (306 samples, 5,833 subsamples) to evaluate how subsample number affects representativeness. Results show that density varies minimally within samples (~20 kg/m<sup>3</sup>), allowing robust estimates from small sample sets. Magnetic properties exhibit greater variability due to mineralogical heterogeneity, though within-sample variation remains moderate. Overall, increasing sample size has limited impact on key statistical descriptors in many cases. The results indicate that relatively small datasets are often sufficient, particularly when identifying bulk physical contrasts.*

## 1. JOHDANTO

Koska geofysikaalisten maastomittausten tulkinta perustuu petrofysikaalisiin parametreihin, niiden luotettava määrittäminen on keskeistä tulkinnan oikeellisuudelle. Tavanomaisesti petrofysikaalinen näytteenotto toteutetaan litologisten yksiköiden tasolla, jolloin keskeiseksi kysymykseksi nousee, kuinka monta näytettä tarvitaan tuottamaan kyseistä yksikköä edustava kuva ominaisuuksien jakaumasta. Optimaalinen näytemäärä muodostuu useasta tekijästä, joista keskeisimpiä ovat mittausten kustannukset, aineiston käyttötarkoitus sekä oletukset petrofysikaalisten ominaisuuksien vaihtelusta litologisen yksikön sisällä. Monissa kivilajeissa esimerkiksi tiheyden vaihtelu on vähäistä, kun taas magneettiset ominaisuudet voivat vaihdella voimakkaasti jo pienten magnetiitin tai magneettikiisun pitoisuusmuutosten seurauksena. Toisaalta esimerkiksi pirotteisissa sulfidiesiintymissä tiheys voi vaihdella merkittävästi, jos sulfidimineraalit ovat jakautuneet esiintymässä epätasaisesti.

Perinteisessä petrofysikaalisessa karakterisoinnissa on usein mitattu vain muutamia näytteitä, tyypillisesti 3–5 kappaletta litologista yksikköä kohden. Tämä lähestymistapa on monissa sovelluksissa tarkoituksenmukainen, erityisesti silloin kun petrofysikaalisten ominaisuuksien sisäinen vaihtelu oletetaan vähäiseksi tai kun tavoitteena on tuottaa yksinkertaistettuja parametreja esimerkiksi alueellista geofysikaalista tulkintaa varten. Tällaisissa tapauksissa laajempi näytemäärä ei välttämättä tuo olennaista lisäinformaatiota suhteessa sen vaatimiin lisäkustannuksiin. Toisaalta on esitetty (Dentith et al., 2020), että laajoissa ja laadukkaissa petrofysikaalisissa aineistoissa fysikaaliset ominaisuudet tulisi tarkastella populaatioina, jotka

voivat koostua useista osittain päällekkäisistä alipopulaatioista. Tällainen lähestymistapa mahdollistaa litologian ohella muiden fysikaalisiin ominaisuuksiin vaikuttavien tekijöiden tunnistamisen. Näihin tekijöihin kuuluvat esimerkiksi muuntumisprosessit ja mineralogiset vaihtelut. Näiden tekijöiden erottaminen edellyttää kuitenkin merkittävästi suurempaa näytemäärää sekä kytkentää muuhun geologiseen informaatioon, eikä se ole kaikissa sovelluksissa tarpeen tai perusteltua.

Tässä tutkimuksessa hyödynnetään Geologian tutkimuskeskuksen ikäkiviaineistoa, jota on kerätty ajoitustarkoituksiin eri puolilta Suomea. Yksittäinen kivinäyte edustaa tyypillistä yhtä litologista yksikköä. Näytteiden petrofysikaalisia ominaisuuksia (tiheys, magneettinen susceptibiliteetti, remanenssi) on mitattu GTK:n geofysikaalisessa laboratoriossa vuodesta 1987 alkaen. Tähän tutkimukseen aineistosta on valittu 306 kiviäytettä, jotka koostuvat 5 833 osanäytteestä. Aineisto tarjoaa suomalaisittain poikkeuksellisen mahdollisuuden tarkastella suurten kiviäytteen sisäistä petrofysikaalista vaihtelua sekä arvioida näytemäärän vaikutusta litologisen yksikön edustavuuteen.

## 2. MENETELMÄT

Tutkimuksen kiviäytteet edustavat useita tulkittuja kivilajeja, ja ne sisältävät kivilajitiedon lisäksi käsinäytteistä tulkittuja kuvauksia näytteiden muuntumisasteesta, mineraalipitoisuuksista sekä muista havaittavista ominaisuuksista. Petrofysikaalisten mittausten tarkastelua varten kiviäytteet luokiteltiin neljäntoista kategoriaan, jotka kuvaavat niiden koostumusta ja/tai muodostumismekanismeja. Näytteiden ryhmittäminen mahdollistaa mittaustulosten vaihtelun tarkastelun laajojen näytekokonaisuuksien välillä sekä helpottaa petrofysikaalisten ominaisuuksien yhdistämistä litologiaan.

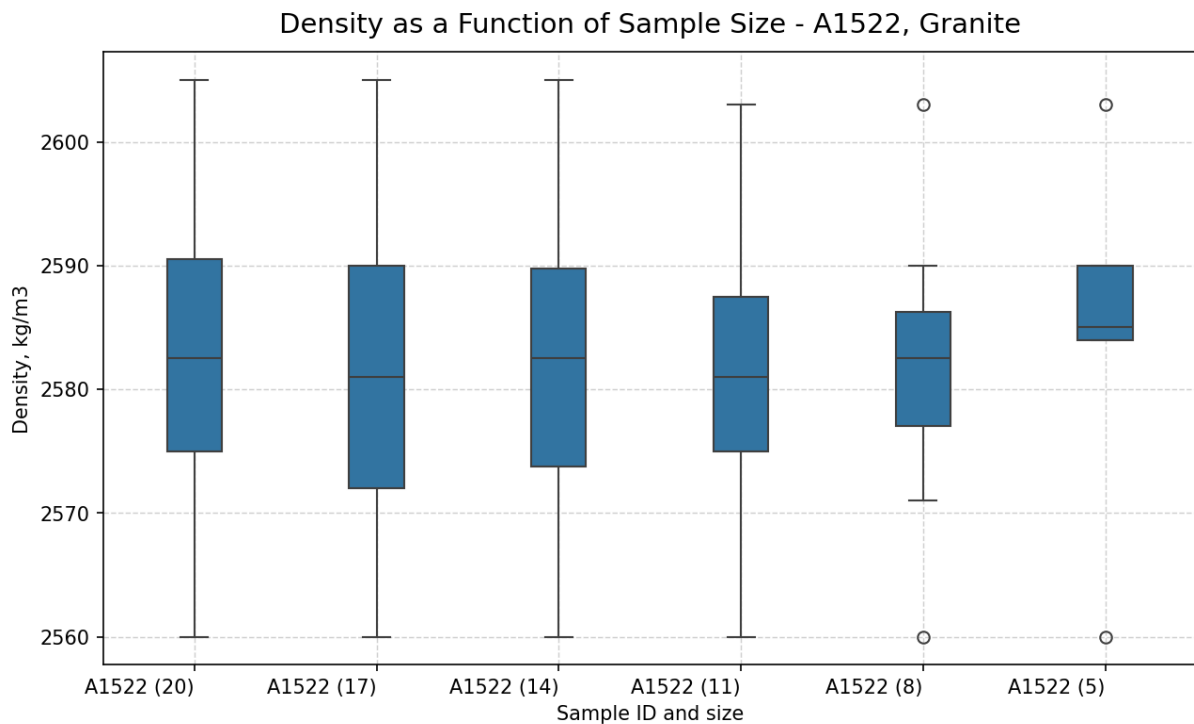
Näytemäärän vaikutusta mittaustulosten luotettavuuteen arvioitiin ruutu- ja janakaavioilla. Erikokoiset otannat poimittiin satunnaiseen järjestykseen sekoitetuista osanäytteistä otantavirheiden minimoimiseksi. Erikokoiset otannat valikoitiin satunnaistetusta listasta ylhäältä alas -menetelmällä, jolloin suurempi otanta sisältää pienemmän otannan osanäytteet. Suurin valittu näytemäärä sisältää kaikki osanäytteet ja vähimmäisnäytemääränä käytettiin ruutu- ja janakaavioihin vaadittua viittä osanäytettä. Lisäksi tehtiin alustavia havaintoja kivilajityypin vaikutuksesta luotettavaan osanäytemäärään seuraamalla mittaustulosten hajontaa. Hajonta kuvaa näytteen sisäisen vaihtelun suuruutta, joka ilmenee eri suuruusluokissa mitattavan ominaisuuden ja kivilajityypin välillä. Ominaisuuksiltaan vaihtelevien kivilajityyppien välinen vertailu mahdollistettiin käyttämällä mittaustulosten keskiarvoon normalisoitua hajontaa.

## 3. TULOKSET JA TULOSTEN KÄSITTELY

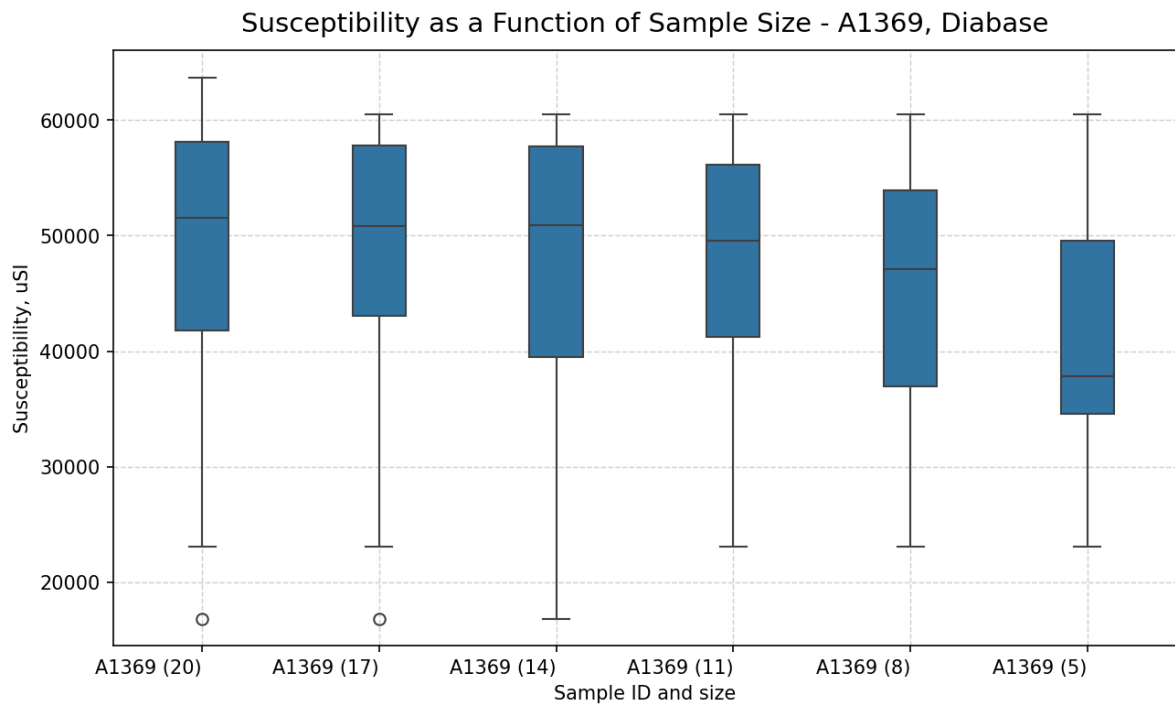
Ikäkiviaineisto on poikkeuksellisen laaja ja mahdollistaa tarkasteltujen fysikaalisten ominaisuuksien jakaumien ja sisäisen vaihtelun luotettavan arvioinnin useiden osanäytemäärien tasolla. Tiheyden osalta havaitaan hyvin vähäistä näytteen sisäistä hajontaa (Kuva 1), eikä osanäytemäärä olennaisesti muuta jakauman keskiluvun arviota; havaittu noin 20 kg/m<sup>3</sup> suuruusluokan vaihtelu on kokonaisuuden kannalta marginaalista. Tämä viittaa siihen, että tiheys on tässä aineistossa robusti ominaisuus, joka voidaan kuvata riittäväällä tarkkuudella jo verraten pienellä näytemäärällä. Magneettisissa ominaisuuksissa

(suskeptibiliteetti ja remanenssi) vaihtelu on odotetusti suurempaa ja heijastaa näytteiden välistä magneettisen mineralogian vaihtelua. On kuitenkin olennaista huomata, että yksittäisen näytteen sisäinen vaihtelu ei ole kertaluokkien suuruusluokkaa (Kuva 2), vaan pysyy suhteellisesti rajallisena, vaikka normalisoitu hajonta kivilajityyppien välillä on merkittävästi suurempaa kuin tiheydellä. Tämä korostaa magneettisten parametrien herkkyyttä koostumuksellisille ja rakenteellisille eroille mutta samalla niiden käyttökelpoisuutta kontrastien tunnistamisessa.

Aineiston tulkintaan liittyy rajoitteita. Näytesarja koostuu yhdestä kivinäytteestä, joten se ei kuvaa vaihtelua litologisen yksikön sisällä kuten tavanomainen näytteenotto. Lisäksi aineisto on alun perin kerätty ajoitustarkoituksiin, eikä siten välttämättä edusta petrofysikaalisiin analyyseihin optimoitua otantaa, eivätkä osanäytteiden satunnaiset orientaatiot mahdollista anisotropian vaikutusten huomioimista suskeptibiliteettimittauksissa. Näistä rajoitteista huolimatta tulokset tukevat johtopäätöstä, että jo rajallinen näytemäärä voi tarjota riittävän informaation ilman ristiriitaa aiempien tutkimusten (Dentith et al., 2020) kanssa. Näytemäärä vaikuttaa vaihteluvälin arviointiin, mutta vaikutus erityisesti mediaaniarvoihin on useissa sovelluksissa vähäinen. Geofysikaalisten tutkimusmenetelmien esiselvityksissä keskeistä on riittävien fysikaalisten kontrastien tunnistaminen, jolloin suhteellisen pienillä muutoksilla ei ole merkitystä.



Kuva 1: Osanäytemäärän vaikutus tiheyden määrittämisessä. Sulkuihin merkattu näytemäärä kasvaa oikealta vasemmalle ja poikkeavat arvot ovat  $1,5 \times$  interkvartiilivälin (IQR) ulkopuolella. Havaittu pieni vaihteluväli kuvaa tiheysmittauksien riippumattomuutta näytemäärästä.



Kuva 2: Osanäyttemäärän vaikutus magneettiseen susceptibiliteettiin. Sulkuihin merkattu näyttemäärä kasvaa oikealta vasemmalle ja poikkeavat arvot ovat  $1,5 \times$  interkvartiilivälin (IQR) ulkopuolella. Havaittu vaihteluväli ei ole kertaluokkien suuruutta mutta suurimman ja pienimmän näyttemäärän mediaaniarvoissa on noin 25 prosentin eroavaisuus.

## KIITOKSET

Tekijät kiittävät kaikkia näytteiden keruuseen, esikäsittelyyn ja mittaamiseen vuosien saatossa osallistuneita.

## LÄHTEET

Dentith, M., R. Enkin, W. Morris, C. Adams, ja B. Bourne, 2020. Petrophysics and mineral exploration: a workflow for data analysis and a new interpretation framework. *Geophysical Prospecting*, 68, 178-199.

# Laatokan jääpeitteen kehitys viime talvina

L. Rontu

Ilmatieteen laitos, Helsinki, laura.rontu@fmi.fi

## *Abstrakti*

*Suomen ja lähialueiden järvien jääolot vaihtelevat vuodesta toiseen varsinkin suurilla Laatokan, Äänisen, Vänernin ja Vätternin järvillä. Esityksessä katsellaan satelliittikuvia Laatokan viime talvien jäistä. Säämalli HARMONIE, jota käytetään ja kehitetään Ilmatieteen laitoksessa kansainvälisenä yhteistyönä, soveltuu sään ennustukseen, uusanalyysin ja ilmastomallinnukseen. HARMONIE-malliin kuuluu osana järvimalli FLake, jonka avulla malli pystyy käsittelemään järvijäiden ja niiden lumipeiton kehitystä. Esityksessä pohditaan miten säämallin avulla voidaan ymmärtää järvijäiden syntyä ja sulamista pohjolan nykyisissä, menneissä ja tulevissa ilmasto-oloissa.*

# Pohjois-Euroopan lumiolojen muutokset CMIP6-ilmastomallien mukaan

P. Räisänen<sup>1</sup>, A. Luomaranta<sup>1</sup> ja K. Jylhä<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ilmatieteen laitos, petri.raisanen@fmi.fi

## Abstract

*Changes in snow conditions in Northern Europe including Fennoscandia and the Baltic Sea region are evaluated based on data from the newest generation of global climate models (Coupled Model Intercomparison Project phase 6; CMIP6). The models project an overall shift towards less snowy conditions with progressing warming: reduced maximum snow water equivalent and shorter snow seasons that start later and end earlier. The projected changes are larger for emission scenarios with larger radiative forcing. Furthermore, larger changes are projected for southern than northern Fennoscandia. For example, for the moderate emission scenario SSP245, the continuous snow season around year 2090 is projected to be nearly 50 days shorter than in 1981–2010 in southern Finland but only 30 days shorter in Finnish Lapland. However, there is substantial quantitative uncertainty in the trends in snow conditions, even for a fixed emission scenario. For example, for SSP245, the one-sigma uncertainty due to natural variability alone is estimated to be at least 30-50% of the multi-model mean trends in 2023–2100 for all snow-season metrics considered.*

## 1. JOHDANTO

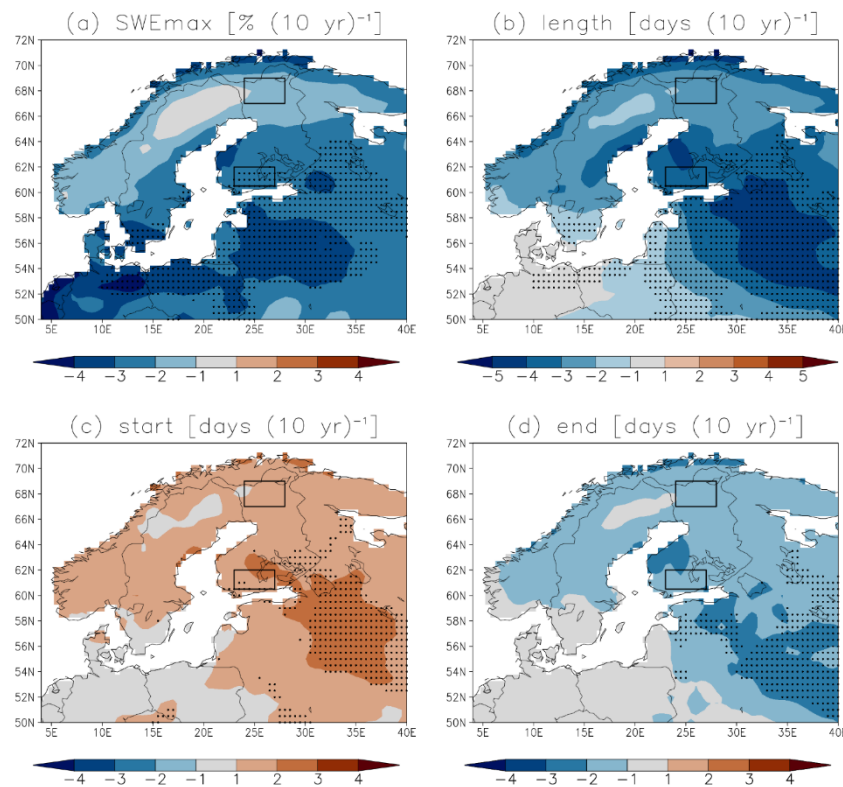
Työssä tarkasteltiin lumiolojen muutosta Pohjois-Euroopassa Shared Socioeconomic Pathways (SSP) skenaarioille kolmentoista CMIP6-ilmastomallin tulosten perusteella. Tarkasteluissa keskityttiin neljään suureeseen: (1) Talven suurin päiväkohtainen lumen vesiarvo (engl. Snow water equivalent (SWE); yksikkö  $\text{kg m}^{-2}$ ); (2) yhtenäisen lumikauden pituus eli peräkkäisten lumisten päivien ( $\text{SWE} > 1 \text{ kg m}^{-2}$ ) lukumäärä, (3) yhtenäisen lumikauden alku, ja (4) yhtenäisen lumikauden loppu. CMIP6-mallien tuloksia painotettiin niiden simuloiman ilmaston lämpenemisen realistisuuden perusteella (Räisänen et al. 2025).

## 2. TULOKSET

Kuva 1 esittää lumisuureiden trendejä 2023–2100 SSP245-skenaariolle, jossa maapallon keskilämpötila nousee v. 2100 mennessä n.  $2.7 \text{ }^\circ\text{C}$  esiteolliseen aikaan verrattuna. Ilmaston lämmitessä lumen suurin vesiarvo pienenee, eniten Itämeren alueen eteläosissa ja vähiten Kölivuoriston alueella. Samalla lumikauden pituus lyhenee, eniten Luoteis-Venäjällä ja Etelä-Suomessa, ja lumikauden alku siirtyy myöhäisemmäksi ja loppu aikaisemmaksi. Muutokset ovat suurempia skenaarioille, joissa kasvihuonekaasujen pitoisuus kasvaa enemmän. Esim. Etelä-Suomessa yhtenäisen lumikauden pituus lyhenee jaksosta 1981–2010 vuoteen 2090

mennessä CMIP6-malleissa keskimäärin n. 30 päivää SSP126-skeenaariolle, 50 päivää SSP245-skeenaariolle, ja peräti 90 päivää SSP585-skeenaariolle. Lapissa vastaavat muutokset ovat n. 20, 30 ja 60 päivää.

Tuloksissa on yllättävän paljon kvantitatiivista epävarmuutta. Yksinomaan ilmaston luonnolliseen vaihteluun liittyvä trendien keskihajonta on yleensä vähintään 30–50% CMIP6-mallien keskimääräisestä trendistä SSP245-skeenaariolle v. 2023–2100. Tämän päälle tulevat vielä ilmastomallien väliset erot. Niinpä jopa trendien etumerkki on suuressa osassa Pohjois-Eurooppaa hieman epävarma, ts. nollatrendi jää mallitulosten 5–95% epävarmuushaarukan sisään. Varmimpana muutoksena voidaan pitää lumisen jakson lyhentymistä.



Kuva 1: Trendit vuosille 2023–2100 SSP245-skenaariossa. (a) Talven suurin lumen vesiarvo (trendi normalisoitu v. 1981–2010 keskiarvolla), (b) lumikauden pituus, (c) lumikauden alku, ja (d) lumikauden loppu. Väritys esittää CMIP6-malleille lasketun trendin painotetun keskiarvon. Pisteytys näyttää alueet, joilla trendin etumerkki on lähes varma, ts. nollatrendi jää mallituloksiin sovitetun jakauman 5–95% vaihteluvälin ulkopuolelle.

## KIITOKSET

Työ sai rahoitusta Suomen Akatemian FINSCAPES-projektilta (rahoituspäätös n:o 342561).

## LÄHTEET

Räisänen, P., A. Luomaranta, ja K. Jylhä, 2025. Future snow scenarios for Northern Europe based on Coupled Model Intercomparison Project phase 6 data. *International Journal of Climatology*, **40**, e8795. DOI: 10.1002/joc.8795.

# Long-term magnetic monitoring reveals anthropogenic sources of iron-rich particulate matter in Helsinki

J. Maunula<sup>1</sup>, J. Wasiljeff<sup>2</sup>, J. Paatero<sup>3</sup>, A. Ioannidou<sup>4</sup>, E. Ioannidou<sup>4</sup>, I. Kentala<sup>1</sup>, M. Kemell<sup>5</sup>, J. Salminen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki, Helsinki, Finland, johanna.m.salminen@helsinki.fi

<sup>2</sup>Geological Survey of Finland (GTK), Espoo, Finland

<sup>3</sup>Finnish Meteorological Institute (FMI), Helsinki, Finland

<sup>4</sup>Department of Nuclear and Elementary Particle Physics, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece

<sup>5</sup>Department of Chemistry, University of Helsinki, Helsinki, Finland

Urban air pollution poses a major risk to human health, particularly due to fine and ultrafine particles that can penetrate deep into the lungs and bloodstream (Hofman et al., 2017). Iron-rich particulate matter from traffic, combustion, and road wear is of particular concern because of its potential to drive oxidative stress (Tacu et al., 2021). However, long-term monitoring of such particles remains challenging, as conventional mass-based methods often underestimate their abundance and impact. Magnetic analysis of airborne particles provides an alternative approach that can rapidly detect and quantify iron-rich pollution and help distinguish different sources.

This study presents a 44-year archive (1962–2005, FMI) of urban air filter samples from Helsinki. We use magnetic measurements, supported by chemical and microscopic analyses, to characterize particle composition and identify sources. The aim is to reconstruct long-term trends in iron-rich particulate pollution and assess their drivers.

The results show that iron-oxide particles derived mainly from traffic and combustion processes dominate the magnetic signal in Helsinki. Magnetic particle concentrations were highest in the 1960s and decreased by more than half by the late 1980s. This long-term decline is consistent with improvements such as cleaner fuels, expanded district heating systems, and stricter emission regulations. Seasonal peaks are also observed during winter, reflecting increased energy use and reduced atmospheric dispersion. These findings demonstrate that magnetic methods provide a sensitive tool for tracking long-term changes in iron-rich urban particulate pollution, apportioning sources, and detecting regulatory imprints.

## References

- 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. doi: 10.1021/acs.est.7b00832
- Tacu, I., Kokalari, I., Abollino, O., Albrecht, C., Malandrino, M., Ferretti, A.M., Schins, R.P.F., Fenoglio, I., 2021. Mechanistic Insights into the Role of Iron, Copper, and Carbonaceous Component on the Oxidative Potential of Ultrafine Particulate Matter. *Chemical Research in Toxicology* 34, 767-779. doi: 10.1021/acs.chemrestox.0c00399

## **Modelling of airborne FTMG data acquired in Ransko massif (Czech Republic)**

**J.Sarala<sup>1</sup>, E. Kozlovskaya<sup>1</sup>, J.Nevalainen<sup>1</sup>, M.Schneider<sup>2</sup>, and J.Kobow<sup>2</sup>**

1 Oulu Mining School, University of Oulu, Oulu, Finland, jouni.sarala@oulu.fi

2 SUPRACON AG, Jena, Germany

### *Abstract*

*Currently the standard product of magnetic surveys is total magnetic intensity (TMI), which provides the total magnetic intensity of the studied area. This is a useful method for locating magnetic anomalies; however, it has problems when remanent magnetization is present in the studied area. The problems can be mitigated by utilizing the Full Tensor Magnetic Gradient (FTMG) components of the magnetic field rather than the total magnetic intensity. During SEMACRET-project, airborne Full Tensor Magnetic Gradient data was acquired by SUPRACON AG in Ransko, Czech Republic with well-known mineral deposits. These known mineralization zones present an opportunity to demonstrate the possibilities of direct mapping of airborne FTMG measuring method. Areas of interest were chosen based on the known mineralization zones and modelled using MATLAB software. In the Ransko area, the known mineralizations occur as sub-vertical bodies hosted within mafic and ultramafic rocks, making them challenging to detect using TMI alone. A comparison of the TMI map and the FTMG map with the geological map shows that anomalies associated with outcrops of the mineralization zones are weak or absent in the TMI map but are clearly visible in the FTMG component maps. The MATLAB software for modelling the magnetic field of bodies of arbitrary shape and different distribution of vector magnetization inside the body was developed during SEMACRET project. The magnetized body is modelled as a volume filled with elementary dipole magnetic sources, and magnetic gradient tensor components are calculated using numerical integration of contributions of elementary dipoles. The software enables calculations of FTMG of bodies with different magnetic susceptibility, intensity, inclination and declination of geomagnetic field and remanent magnetization. The geometry to represent the ore bodies was chosen to be ellipsoidal due to the shapes well-established magnetization theory as well as to decrease the number of parameters for inversion. This study demonstrates that the FTMG mapping can be used to map mineralized zones inside mafic and ultramafic complexes.*

## **Developing new services for electronic navigation in the Baltic Sea e-Nav project**

**J. Särkkä**

Finnish Meteorological Institute, jani.sarkka@fmi.fi

### *Abstract*

*Developments in the electronic navigation have enabled using more maritime data for ship navigation. To enable sharing and integrating the data across systems and borders, S-100 standards have been developed by the International Hydrographic Organization. First operational S-100 products have been released in 2026, and they will be mandatory for new installations in 2029.*

*In the Baltic Sea region, standards for electronic navigational charts (S-101), bathymetric surfaces (S-102), sea levels (S-104), and sea surface currents (S-111) have been developed in Baltic Sea e-Nav project from 2023 to 2026. Nearly all hydrographic offices in the Baltic Sea have participated in S-101/102 production, Finnish Meteorological Institute has prepared prototypes for S-104/111 products. Maritime schools in Finland and Sweden have performed navigation simulations with active mariners to gather feedback for product development.*

*By the end of the project in Autumn 2026, the project will launch the Baltic Sea e-Nav base package, a collection of next-generation S-100 compliant navigational products. Baltic Sea e-Nav project aims to make the region a global model for safe, efficient, and environmentally conscious maritime navigation. In the presentation, development and content of these products will be reviewed. In the future, other navigational products can be introduced as the new standards for, e.g., sea ice and marine weather information have been completed.*

## Ajelehtimismallinnus Suomenlahdella

Laura Tuomi<sup>1</sup>, Veera Haapaniemi<sup>1</sup>, Elina Miettunen<sup>1</sup> and Antti Westerlund<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ilmatieteen laitos, laura.tuomi@fmi.fi

### Tiivistelmä

*Ympäristöonnettomuuksien riski Suomenlahdella on kasvanut muuttuneen geopoliittisen tilanteen vuoksi. Samalla on korostunut tarve kehittää menetelmiä ja työkaluja, jotka tukevat viranomaisten toimintaa mahdollisissa onnettomuustilanteissa sekä mahdollistavat ennakkoinnin ja nopean reagoinnin.*

*Strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittama Rannikkovedet paineen alla (CoWup) -hanke tuottaa tietoon pohjautuvia skenaarioita Suomenlahden ympäristöriskeistä ja syventää ymmärrystä niiden syy-seuraussuhteista. Hankkeessa kehitetään myös uusia menetelmiä ja mallinnusratkaisuja riskien toteutumisen ympäristövaikutusten arviointiin, huomioiden keskeiset epävarmuustekijät.*

*CoWup-hankkeessa kehitettävät merimallit käsittävät kolmiulotteisen meren fysiikan ja biogeokemian mallin (NEMO-ERGOM), ajelehtimismallin (OpenDrift) sekä rannikon kokonaiskuormitusmallin (FICOS). Yhdessä nämä mallit muodostavat kattavan järjestelmän, joka tarjoaa puitteet Suomenlahden fysikaalisten ja biogeokemiallisten prosessien yksityiskohtaiseen analysointiin sekä erilaisten haitallisten aineiden kulkeutumisen ja niiden meriekosysteemiin kohdistuvien vaikutusten arviointiin.*

*Esittelemme mallinnusjärjestelmän kehitystyötä painottaen ajelehtimismallia ja sen kykyä ennustaa kemikaalien ja radioaktiivisten aineiden kulkeutumista Suomenlahdella. Kuvaamme, miten Suomenlahden monimutkainen dynamiikka sekä aineiden erilaiset ominaisuudet vaikuttavat ajelehtimislaskelmiin. Lisäksi esittelemme tapausesimerkkejä kasviöljyn ja Cesium-137 isotoopin kulkeutumisesta meriympäristössä.*

# Effects of extratropical cyclones on the Southern Ocean sea ice concentration

I.S.O. Matero, E. Granados Escartín, P.Uotila

Institute for Atmospheric and Earth System Research/Physics, University of Helsinki,  
petteri.uotila@helsinki.fi

## *Abstract*

*The Southern Ocean is a region with sea-ice cover that exhibits high seasonal variability. This ice is essential in regulating the climate, as it determines the surface energy budget and affects atmospheric and oceanic circulation. We study the effects of cyclones on sea-ice concentration (SIC) in the Southern Ocean using mean sea level pressure (MSLP) and SIC data from the ERA5 reanalysis from 1979 to 2024, and cyclone tracks obtained from MSLP data using the University of Melbourne Cyclone Tracking Scheme. Our study consists of two parts: a cyclone climatology in the Southern Ocean and an analysis of SIC responses to cyclones. Our results show that cyclones tend to cause an initial decrease in SIC at their location, after which SIC either recovers or continues to decline, depending on initial SIC conditions, season and region. Increases are more common in locations with loose sea ice, especially during the cold season, whereas locations with more compact initial sea ice tend to experience net ice loss. During the cold season, cyclones tend to cause a sharp decline in SIC, whereas during the warm season, they cause a more gradual decrease and lack an immediate dip at the time of the cyclone. Still, the overall decrease is greater during the warm season. Our findings provide evidence of the role of cyclones in short-term sea-ice variability and the sensitivity of low SIC regions, such as the marginal ice zone, to cyclonic forcing. Furthermore, there seems to be a positive relationship between the warm season and the ice-decreasing effects of cyclones.*

## **AQUATIME: Pohjois- ja Länsi-Euroopan vesiekosysteemien fenologian tutkimus uudentyyppisillä satelliittihavainnoilla**

**Sakari Väkevä**<sup>1</sup>, Petra Philipson<sup>2</sup>, Krista Alikas<sup>3</sup>, Salla Ahonen<sup>1</sup>, Jenni Attila<sup>1</sup>, Stina Drakare<sup>4</sup>, Jürgen Fischer<sup>5</sup>, Kaisa Kraft<sup>1</sup>, Marcel König<sup>6</sup>, Heloïse Lavigne<sup>7</sup>, Dagmar Müller<sup>6</sup> ja AQUATIME-projektiryhmä\*

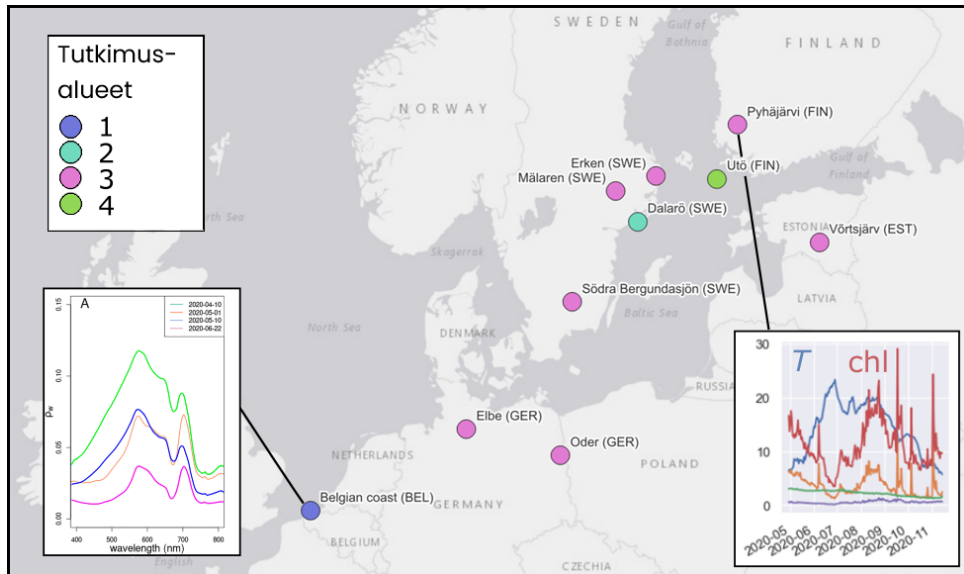
<sup>1</sup> Suomen ympäristökeskus (Syke), Helsinki, <sup>2</sup> Brockmann Geomatics Sweden AB, Tukholma, <sup>3</sup> Tarton yliopisto, Tartto, <sup>4</sup> Ruotsin maatalousyliopisto, Uppsala, <sup>5</sup> Spectral Earth GmbH, Berliini, <sup>6</sup> Brockmann Consult GmbH, Hampuri, <sup>7</sup> Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Bryssel

### *Abstract*

*The AQUATIME project, funded by ESA under the Sentinel Users Preparation initiative, develops methods for monitoring phytoplankton communities using simulated data from the upcoming Copernicus hyperspectral mission CHIME, combined with existing multispectral satellites. Four case studies across Belgium, Sweden, Finland, and Germany address harmful bloom detection, aquaculture impacts, freshwater ecosystem management, and climate-driven community shifts. The project leverages in situ hyperspectral measurements and bio-optical modelling to create new information products for phytoplankton identification, biomass estimation, and phenological analysis, and will be relevant to support environmental monitoring within existing European directives and environmental frameworks.*

### JOHDANTO

CHIME (Copernicus Hyperspectral Imaging Mission for the Environment) ja LSTM (Land Surface Temperature Monitoring) ovat uusia eurooppalaisia satelliittimissioita, joiden tarkoituksena on täydentää nykyistä Copernicus-ohjelmaa hyperspektrisensorien ( $\lambda = 400\text{--}2500\text{ nm}$ ) ja infrapunaradiometrien tuottamalla datalla (Nieke ym., 2023). Missioihin valmistaudutaan Euroopan avaruusjärjestön (ESAn) rahoittamalla hankekokonaisuudella, jonka puitteissa edistetään satelliittihavaintojen käyttötapauksia ja metodiikkaa, kehitetään sovelluksia ja parannetaan käyttäjä- ja sidosryhmäorganisaatioiden valmiutta ottaa vastaan uudentyyppistä dataa. AQUATIME (2025–2026) -hankkeen painopiste on kasviplanktonyhteisön rakenteen seurannassa järvi-, joki- ja rannikkovesialueilla. Koska ns. perinteisiä vedenlaatumuuttujia (klorofylli-a, kiintoaine, näkösyvyys, humus) seurataan jo rutiininomaisesti tavanomaisilla multispektrisensoreilla (Sentinel-2, Sentinel-3, Landsat-8/9), AQUATIME tutkii myös multi- ja hyperspektrisatelliittien yhteiskäyttöä, jotta niiden toisiaan täydentävistä ominaisuuksista voidaan hyötyä.



Kuva 1. AQUATIME-projektin tutkimusalueet.

AQUATIME rakentuu neljän soveltavan käyttötapauksen ympärille, jotka keskittyvät erilaisiin vesiekosysteemeihin, eliöihin tai ekosysteemien hoitoon (ks. kuva 1). Sovelluskohteemme ovat: (1) vaahtoa muodostavat häiritsevät kasviplanktonkukinnat (*Phaeocystis globosa*) Belgian rannikkovyöhykkeellä, (2) simpukkaviljelmiin vaikuttavat myrkylliset syanobakteerit ja rihmalevät Dalarössä, Ruotsissa, (3) kasviplanktonin koostumus, yhteisömuutokset ja ekosysteemien hoito Pohjois-Euroopan järvissä sekä kahdessa Saksan joessa, ja (4) ilmastonmuutoksen vaikutukset kasviplanktonyhteisöön Utön merentutkimusasemalla. Monilla näistä kohteista on automatisoituja kaukokartoituksen reflektanssin (Rrs) pintamittauksia, ja osassa tehdään jatkuvatoimisia vedenlaatumittauksia sekä kasviplanktonyhteisöin seuranta. Jos reflektanssin pintamittauksia ei ole, hankkeessamme simuloidaan satelliittihavaintoa vastaava informaatio MOMO-säteilyn-kuljetusmallilla (Hollstein and Fischer, 2012). Näistä aineistoista AQUATIME kehittää uusia kasviplanktonitietotuotteita kukinnan muodostavien lajien tunnistamiseksi ja niiden biomassan arvioimiseksi sekä fenologisen syklin tutkimiseksi.

Esityksessä esitellään AQUATIMEn keskeisiä tuloksia hankkeen ensimmäisen vuoden ajalta pääpainon ollessa suomalaisilla tutkimusalueilla. Utön lisäksi Suomen järvistä hankkeeseen on valikoitunut Säkylän Pyhäjärvi, jossa vedenlaatua on seurattu Luode Consulting Oy:n jatkuvatoimisella pojulla vuodesta 2019, ja sitä ennen automaattisella mittaustalalla.

Tämä tutkimus on toteutettu Euroopan avaruusjärjestön (ESA) rahoituksella osana FutureEO-1 Segment 2, Block 4 -hakua. Tutkimuksessa esitetyt näkemykset eivät edusta ESAn virallista kantaa.

\* AQUATIME-projektiryhmä: Petra Philipson, Salla Ahonen, Krista Alikas, Jenni Attila, Carsten Brockmann, Stina Drakare, Caroline Ek, Vivi Fleming, Jürgen Fischer, Mark Hansen, Kersti Kangro, Sampsa Koponen, Kaisa Kraft, Joel Kuusk, Marcel König, Heloïse Lavigne, Carole Lebreton, Joppe Massant, Dagmar Müller, Hannes Neuschmidt, Rene Preusker, Ian-Andreas Rahn, Alfred Sandström, Jorrit Scholze, Kerstin Stelzer, Susanne Thulin, Sakari Väkevä, Dimitry Van der Zande

## LÄHTEET

- Hollstein, A., J. Fischer, 2012: Radiative transfer solutions for coupled atmosphere ocean systems using the matrix operator technique. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, **113**(7), 536-548
- Nieke, J., Despoisse, L., Gabriele, A., Weber, H., Strese, H., Ghasemi, N., Gascon, F., Alonso, K., Boccia, V., Tsonevska, B., Choukroun, P., Ottavianelli, G., & Celesti, M. (2023). The copernicus hyperspectral imaging mission for the environment (CHIME): An overview of its mission, system and planning status. Teoksessa T. Kimura, S. R. Babu, & A. Hélière (toim.), *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XXVII* (p. 7). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2679977>

# Synergistic Climate Modes Drive a Regime Shift in Physical-Biological Coupling in the Northern Antarctic Peninsula Region

S. Ye

Institute for Atmospheric and Earth System Research, Faculty of Science, University of Helsinki, suwen.ye@helsinki.fi

## *Abstract*

*The marine ecosystem of the Northern Antarctic Peninsula (NAP) region is highly sensitive to climate forcing. However, recent changes in its physical-biological coupling remain unclear. Based on long-term satellite observations and ocean reanalysis data from 2001 to 2024, this study systematically investigates the regulatory mechanisms of spring atmospheric forcings on phytoplankton biomass during the growing season in the northern Antarctic Peninsula (NAP) region. Before 2015, the synergistic effect of a deepening spring Amundsen Sea Low (ASL) and a positive phase of the Southern Annular Mode (SAM) enhanced southeastward warm air advection. This process induced sea ice melt by increasing the sensible heat flux, which subsequently triggered a positive albedo feedback, significantly enhanced oceanic absorption of shortwave radiation, and ultimately drove the anomalous increase in surface net heat flux (NHF). Variance decomposition confirms that sensible heat flux and shortwave radiation were the core components driving the interannual variability of NHF. The increased NHF modulated the upper-ocean physical state through thermohaline processes, where the salinity decrease caused by sea ice meltwater played a dominant role in establishing spring density stratification ( $r=-0.98$ ,  $p<0.001$ ). This provided a stable stratified environment and favorable light conditions for phytoplankton growth. However, after 2015, a substantial decline in winter sea ice concentration led to a marked reduction in freshwater release during spring, rendering the sea ice preconditioning mechanism ineffective. During this period, the explanatory power of physical forcings on biological responses decreased considerably, indicating a potential shift in the limiting factors for phytoplankton biomass. The reduction in sea ice meltwater likely weakened the direct replenishment of surface nutrients, such as iron, making phytoplankton growth more dependent on the upwelling of deep nutrients. Overall, the NAP ecosystem has shifted from a predictable, sea-ice-controlled system to a dynamic system, fundamentally altering regional primary production.*

## Coupled models and reanalyses in the Barents and Kara Seas

C.Äijälä

Institute for Atmospheric and Earth System Research/Physics, University of Helsinki,  
cecilia.ajala@helsinki.fi

### *Abstract*

*According to satellite measurements, the Barents and Kara seas have experienced some of the most significant decline in sea ice concentration and an increase in sea surface temperature in the Arctic. Understanding the processes driving these changes is of uttermost importance to assess the implications of climate change in the Arctic and globally. Given the observational limitations in these high-latitude areas, coupled models and reanalyses products have a key role for this purpose. However, it is essential to better understand these products, including their strengths and limitations. Models are often evaluated on a whole Arctic scale, but results might differ when considering subregions. This study examines two regional coupled ocean-atmosphere models (HIRHAM-NAOSIM 2.2 and RASM), two CMIP6 models (CNRM-ESM2\_1, NorESM2-MM), two regional ocean reanalyses (RARE 1.15.2 and TOPAZ 4B), one global reanalysis (ORAS5) and observations over the period 1991-2020. We focus on spring and autumn sea ice area and concentration and the temperature of the mixed layer. Results show a significant decline in sea ice area in the reanalyses and satellite measurements. However, the coupled models do not show a consistent decreasing trend. Additionally, the regional reanalyses show a more pronounced warming of the mixed layer compared to the regional coupled models.*

**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.

# Maaperän kosteuden mittaus neutronein

S. Kasi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Aalto yliopisto

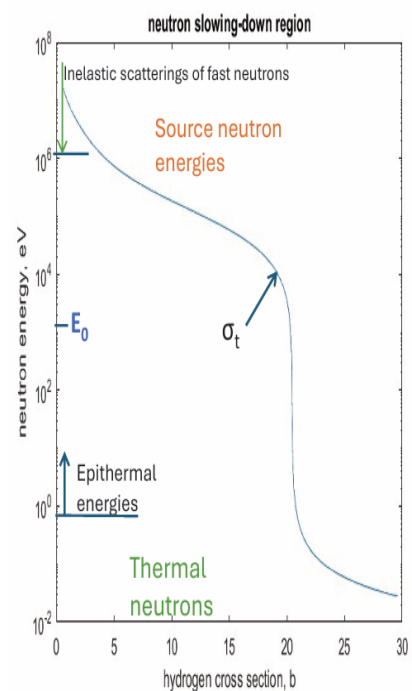
## Abstract

Neutron radiation can be used to measure moisture in mineral matter. The author has worked with neutron moisture gauge. This meter has source of fast (MeV) neutrons. The gauge detects thermal or epithermal down-slowed neutrons. For calibration a Monte Carlo (MC) calculation has been done. The process has 2 MC-paths. One from the source down, and the other from detector up. Then spherical symmetry assumption is applied. It seems that cylinder assumptions should be used.

## 1. JOHDANTO

Heti neutronin löytymisen jälkeen 1930-luvulla kiinnostuttiin neutronien käytöstä geofysikaalisissa tutkimuksissa ([Bruno Pontecorvon patentti](#) [1,2]). Maaperän putkesta mitattiin alkuaineiden pitoisuuksia. Käytettiin pistemäisiksi approksimoitavia säteilylähteitä. Muuten tällä vuosituhannella huomattiin avaruussäteilyn neutronit käyttökelpoisiksi (Markus Köhli: [Soil moisture measurements by Cosmic-Ray neutron sensing: A critical review](#) [3]) lähteiksi. Sopivasti sijoitettu ilmaisimien esimerkiksi rekisteröi peltoalueelta tulevia sironneita neutroneja. Maaperässä olevista putkista ym. tapahtuva mittaus kiinnostaa edelleen. Käytetään 1 MeV lähde-energian neutroneja, jotka hidastuvat mittaushetimitessä joko termisiksi, tai ne mitataan epitermisinä Cd-peitteellisellä ilmaisimella. Cd-peite absorboi energiaa 0.6 eV hitaammat neutronit. Jatkuvatoimisten amerikkium-241 ym. alfa-aktiivisten berylliumista tai litiumista neutroneja säteilevien sondien ohessa on käytössä 14 MeV ja 2.5 MeV n-generaattorit, jotka toimivat kytkettäessä. Jälkimmäinen on vähemmän herkkä kosteudenmittauksessa.

Kuva 1. Neutronien hidastumisalue.  $\sigma_t$  on vedyllä tapahtuvan sironnan vaikutusala.  $\sigma_t = \sigma_s + \sigma_a$ , mutta  $\sigma_a \ll \sigma_s$  hidastumisalueessa. Vedyn vaikutusala  $\sigma_t$  on otettu [USA-tiedostosta](#) [4].



Neutronit mittaavat vetypitoisuuden. 1.-5.9.2024 säteilyfysiikan symposiumissa ISRP-16 minulla oli [posterisityy](#): Neutron measurement of moisture in mineral matter [5]. Mittarilla pitää olla kalibrointi  $C(\rho_v)$ .  $C$  on mittarin laskentataajuus ja  $\rho_v$  on vesipitoisuus veden tiheytenä ( $\text{g/cm}^3$ ). Vesipitoisuuden lisäksi on otettava huomioon parametrit:

- o Kuiva-aineen vetypitoisuus
- o Aineen tiheys
- o Aineen absorptiovaikutusala  $\sigma_a$  neutroneille erityisesti termisiä mitattaessa.

## 2. MITTAUKSEN MALLINTAMINEN

Mittarin kalibrointia varten on meillä tehtynä [diffuusiolaskumalli](#) [6]. Neutroneille aineessa saadaan tarkka mallinnus kuljetusteoriasta. Neutronien hidastumisen kuvaa hidastumistiheys  $q_E$ . Sitä, sironnan vaikutusalaa ja neutronivuota voidaan approksimoida palloharmonis-kehitemillä (Legendren polynomit  $P_n$ ). Kun näistä kehitelmistä otetaan 2 ensimmäistä termiä  $P_0$  ja  $P_1$ , päästään diffuusiomalliin. Ainakin sironnan vaikutusalan  $P_1$ -kehitelmä silloin on huono.

Jos  $n$  on isompi, laskut eivät suju. Monte Carlo -laskut (MC) ovat myös tarkkoja. Yritän niitä. Seuraan neutronin kulkua energiassa  $E$  lähteestä alaspäin ja toisaalta ilmaisimesta ylöspäin. Jälkimmäistä kutsutaan pseudoneutroniksi. Saadaan laskettua ilmaisutodennäköisyys  $\Phi^*_E$ . Energiaa alaspäin mentäessä saadaan laskettua  $q_E$ . Lasketaan monia neutroneja ja pseudoneutroneja. Tietyllä energialla  $E_0$   $q_E$  ja  $\Phi^*_E$  kerrotaan ja integroidaan

$$C = \int_V \int_{4\pi} \Phi^*_E(\mathbf{r}, \boldsymbol{\Omega}) q_E(\mathbf{r}, \boldsymbol{\Omega}) d\boldsymbol{\Omega} d\mathbf{r},$$

jolloin saadaan tulokseksi laskentataajuus  $C$  (siis mittarin näyttö),  $\mathbf{r}$  on tietty paikka ja  $\boldsymbol{\Omega}$  tietty suunta avaruudessa ja  $V$  riittävän suuri alue mittarin läheisyydessä.

[MC-laskussa olen tullut virhemahdollisuuteen yksinkertaistaessani mittauksen geometriaa](#) [7]. [Posterissa](#) [5] ja [julkaisussa](#) [7] sen pohjalta, on ilmennyt, että oletus lähteen ja ilmaisimen samapisteytyksestä on huono. Olen sentään saanut tuloksen:  $E_0(\rho_v)$  ei tule olla vakio. Sen funktio-esitys tulisi löytää.

## LÄHTEET

- [1] Pontecorvo, B., 1950 (1942). [Bruno Pontecorvo's patent in geophysics starts with 4 figures and text follows.](#)
- [2] Kasi, S., 2025. [Alkuaine-analyysit maaperästä.](#) Julkaistu kotisivulla <https://skasi.fi/>
- [3] [Köhli, M., 2026. Soil moisture measurements by Cosmic-Ray neutron sensing: A critical review.](#) Geoderma 465 117626
- [4] [Evaluated Nuclear Data File \(ENDF\)](#)
- [5] Kasi, S. 2024. [Neutron measurement of moisture in mineral matter.](#) Poster symposiumissa ISRP-16 Lissabonissa. Julkaistu kotisivulla <https://skasi.fi/>
- [6] Kasi, S., Immonen, J. ja K. Saikku, 1983. Some considerations for soil moisture gauging with neutrons. [IAEA-SM-267/17](#), ISOTOPE AND RADIATION TECHNIQUES IN SOIL PHYSICS AND IRRIGATION STUDIES 1983.
- [7] Kasi, S. 2026. [Neutron Measurement of Moisture in Mineral Matter. Modelling of the Gauge.](#) Wor Jour of Appl Math and Sta, 2(1), 01-04.