

EESTI GEOLOGIA SELTS

# BÜLLETÄÄN

## 10/24

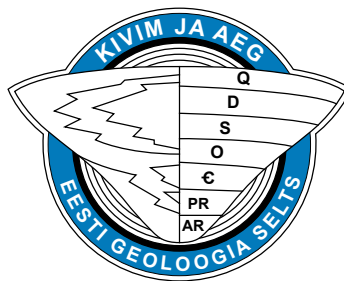


EESTI GEOLOOGIA SELTS

# BÜLLETÄÄN

## 10/24

Kliimast, geoloogiast,  
ringmajandusest ja ajaloost



TALLINN 2024

Eesti Geoloogia Seltsi Bülletään 10. Kliimast, geoloogiast, ringmajandusest ja ajaloost  
*Bulletin of the Geological Society of Estonia 10. On climate, geology, circular economy and history*

Toimetajad: Aasa Aaloe, Leeli Amon ja Olle Hints

Küljendus: Olle Hints ja Marlen Hunt

Soovituslik viitamine:

Aaloe, A., Amon, L., Hints, O. (toim) 2024. *Eesti Geoloogia Seltsi Bülletään 10. Kliimast, geoloogiast, ringmajandusest ja ajaloost*. Eesti Geoloogia Selts, Tallinn. 162 lk.

Soosalu, H. 2024. Eesti seismoloogia hiilgav minevik. *Rmt Aaloe jt (toim). Eesti Geoloogia Seltsi Bülletään 10. Kliimast, geoloogiast, ringmajandusest ja ajaloost*. Eesti Geoloogia Selts, Tallinn. lk 57–94

ISSN 1406-1511

ISBN 978-9949-9957-3-8

ISBN 978-9949-9957-4-5 (pdf)

© autorid ja MTÜ Eesti Geoloogia Selts 2024

Kasutustingimused vastavalt *Creative Commons Attribution 4.0 International* (CC BY 4.0) litsentsile.

Kaanefoto: “Must lammas”, autor Marian Külaviir. Foto pälvis III koha Eesti Geoloogia Seltsi 2016. aasta fotokonkursil.

# Sisukord

<i>Eessõna</i> .....	5
<b>Aprillikonverents 2024 Geoloogia: kliimast ringmajanduseni”. Programm ja ettekannete teesid</b> .....	<b>7</b>
<i>Konverentsi programm</i> .....	8
<b>Riina Aav:</b> <i>Maapõueressursid ringluses – kuidas läheb nende ringmajandamisega?..</i>	11
<b>Sophie Graul, Vincent Monchal, Lauri Joosu, Rutt Hints:</b> <i>Unconventional resources of REE: challenges for exploration and processing, with the example of Estonian phosphorite</i> .....	12
<b>Olle Hints:</b> <i>Vanaaegkonna kliima ja millest kõnelevad konodondid</i> .....	15
<b>Ene Jürjens:</b> <i>Kliima, maavarad ja ministeerium</i> .....	17
<b>Martin Liira:</b> <i>Fosfori ja raskmetallide geokeemia Eesti mereala põhjasetetes</i> .....	19
<b>Madis Osjamets:</b> <i>Põlevkivituhaga tagasitaitmise teostatavus ning mõju põhjaveele</i> ..	21
<b>Kärt Paiste:</b> <i>Kui usaldusväärsed on paleokeskkondade rekonstruktsioonid?</i> .....	25
<b>Erik Puura:</b> <i>Geoloogid ja kliima – maailmas ja Eestis</i> .....	26
<b>Alar Rosentau:</b> <i>Holotseeni meretaseme ja rannavööndi muutused Läänemere idaosas</i> .....	27
<b>Alla Shogenova, Kazbulat Shogenov:</b> <i>Role of CO<sub>2</sub> Geological Storage in Reaching Climate Targets in the Baltic Sea Region: Technological Prospects and Regulatory Challenges</i> .....	28
<b>Ivo Sibul:</b> <i>Uuendused Maa-ameti geoloogilistes avaandmetes ja kaarditeenustes</i> ...	32
<b>Alvar Soesoo:</b> <i>Rohe-amokk ja maavaramajandus: mis teeb meid õnnelikumaks? .....</i>	35
<b>Kalle Suuroja:</b> <i>Quo vadis, geoloogiline kaardistamine?</i> .....	37
<b>Annette Talpsep:</b> <i>Pärnumaa jõekallaste maalihkeohtlikkusest</i> .....	38
<b>Siim Veski:</b> <i>Kliima ja geoloogia</i> .....	40
<b>Rein Einasto:</b> <i>Säästva arengu seadusest mahekultuurse elulaadini</i> .....	41
<b>Bilal Gul, Tõnu Meidla, Leho Ainsaar:</b> <i>Paleokeskkonna ja temperatuuri muutused Baltika kontinendil Vara-Ordoviitsiumist hilise Silurini brahhiopoodikodade süsiniku- ja hapniku isotoopkoostise põhjal</i> .....	45
<b>Tony Hand:</b> <i>The AGEMERA Project: Building European capacities with innovative exploration technologies</i> .....	46
<b>Triinu Jairus, Alar Rosentau, Hannes Tõnisson jt:</b> <i>Kolga vanad rannamoodustised kajastamas Holotseeni meretaseme muutusi ja paleotormisust</i> .....	47
<b>Mall Orru:</b> <i>Eesti turbauuringute andmebaas ja ringmajandus</i> .....	49
<b>Daria Panasiuk, Oive Tinn:</b> <i>Diversity of non-calcified algae in Kalana Lagerstätte (Aeronian, Silurian)</i> .....	50
<b>Kairi Põldsaar:</b> <i>EGT-TWINN projekti esimene edukas aasta – Eesti Geoloogiateenistus liigub rohelise energia teel!</i> .....	51
<b>Kazbulat Shogenov, Alla Shogenova, Pavel Ivashchenko, Sergiy Azykovskyy:</b> <i>Satellite Exploration of Earth Resources Using Nuclear Magnetic Resonance Phenomenon: Application for Estonia</i> .....	52



<b>Geoloogiauringute ja eestikeelse terminoloogia ajaloost.....</b>	<b>55</b>
Heidi Soosalu: <i>Eesti seismoloogia hiilgav minevik .....</i>	57
Leo Vallner: <i>Eesti hüdroteoloogilised uurimised 1691–2021.....</i>	95
Aasa Aaloe: <i>Eestikeelsetest geoloogiaõpikutest ja geoloogilistest oskussõnadest..</i>	129
<b>Eesti Geoloogia Selts 2015–2023.....</b>	<b>145</b>
<i>Kroonika 2015–2023 .....</i>	146
<i>Geoloogia ja siduserialade lõpetajad Tartu Ülikoolis ja Tallinna Tehnikaülikoolis .....</i>	157

# Eessõna

Teie ees on Eesti Geoloogia Seltsi poolt välja antud arvult kümnes bülletään. Tõsi, eelmise bülletääni ilmumisest on kulunud tervelt 9 aastat. Selle perioodi jooksul on Eesti geoloogia-süsteemis toimunud tõeline renessanss, mille peamiseks elemendiks oli kahtlemata Eesti Geoloogiateenistuse loomine 2018. aasta alguses. Ülikiiirete muutuste perioodil pingutasid kõik geoloogiaasutused, et käia kaasas nii pidevalt muutuva riikliku valitsussüsteemiga kui kogu ühiskonna järjest kasvava huviga maapõueressursside, kliima, ringmajanduse, jäätmete kasutuse ja paljude teiste teemade suhtes.

2023. aastal taastas Eesti Geoloogia Selts aprillikonverentside traditsiooni, geoloogide ja ka geoloogia vastu huvi tundvate teiste erialaekspertide üliaktiivne osalus Tartus toimunud konverentsil kinnitas veendumust, et oleme õigel teel. Veelgi suurem registreerunute hulk selle aasta konverentsile ainult kinnitab arusaama, et Eestil on geolooge hädasti vaja nii mõistmaks minevikku ja loodust meie ümber kui aitamaks kaasa Eesti majandusarengule. Geoloogidel on teadmised ja võime näha suuremat ajalist pilti, tunnetada geoloogilist aega ning analüüsida selle põhjal seda meeletut kiirust, millega inimene on hakanud meie planeeti ümber kujundama. Geoloogidega on liitunud ettevõtjad ja teiste teaduserialade esindajad.

Käesoleva bülletääni esimene osa koosneb 2024. aasta konverentsi teesidest. Aasta põhiteemaks on kliima ja geoloogia seosed, teeme ülevaate viimase aasta peamistest arengutest Eesti geoloogiateaduse maastikul ning kolmas suurem plokk on pühendatud ringmajandusele ja mineraalsetele toormetele.

Väga suur heameel on selle üle, et bülletäänis on ka kolm pikemat kirjutist, mille koondamist alustas seltsi tegevuste eestvedaja ning auliige, 2020. a meie hulgast lahkunud Anne Põldvere. Heidi Soosalu käsitleb Eesti seismoloogia ajalugu, Leo Vallner Eesti hüdroteoloogilisi uurimusi läbi aastasadade ning Aasa Aaloe eestikeelsete geoloogiaõpikute ja oskussõnavara teemat. Nii viisi jäädvustame ja säilitame Eesti geoloogia ajalugu ja arengut kui põlvest põlve kanduvat pärandkultuuri.

Bülletääni viimases osas on Eesti Geoloogia Seltsi kroonika ajavahemikul 2015-2023, samuti sel perioodil ülikoolide geoloogiaerialade lõpetanute nimekirjad ning uued geoloogiadoktorid.

Aitäh Aasa Aaloele, Leeli Amonile ja Olle Hintsile bülletääni toimetamast ning kindlasti kohe ei tule järgmist bülletääni kaua oodata.

Soovin kõigile toredat Aprillikonverentsi, ning sammume üheskoos edasi veelgi tugevama ja koostõisema Eesti geoloogiasüsteemi suunas.

Erik Puura

Eesti Geoloogia Seltsi juhatuse esimees



# Aprillikonverents 2024

## “Geoloogia: kliimast ringmajanduseni”

Programm ja  
ettekannete teesid



# Konverentsi programm

05.04.2024

Tallinna Tehnikaülikool, Mektory maja ja Glehni loss

## 9.30 SAABUMINE JA TERVITUSKOHV

10.00	<i>Konverentsi avasõnad</i>	<b>Tiit Land</b> , TalTechi rektor <b>Erik Puura</b> , Eesti Geoloogia Seltsi president <b>Olle Hints</b> , TalTech geoloogia instituudi direktor
-------	-----------------------------	---

## 10.15-12.00 1. OSA: KLIIMA JA GEOLOOGIA, juhatab Olle Hints

10.15	<i>Kliima ja geoloogia</i>	<b>Siim Veski</b> , TalTech
10.40	<i>Kliima, maavarad ja ministeerium</i>	<b>Ene Jürjens</b> , Kliimaministeerium
11.00	<i>Kliima ja meretaseme muutused Holotseenis</i>	<b>Alar Rosentau</b> , Tartu Ülikool
11.20	<i>Kliima ja turvas</i>	<b>Erki Niitlaan</b> , MTÜ Eesti Turbaliit
11.40	<i>Geoloogid ja kliima – maailmas ja Eestis</i>	<b>Erik Puura</b> , Eesti Geoloogia Selts, TalTech
12.00-13.00	LÕUNAPAUS	

## 13.00-15.00 2. OSA: AASTA EESTI GEOLOOGIAS, juhatab Alar Rosentau

13.00	<i>Quo vadis, geoloogiline kaardistamine?</i>	<b>Kalle Suuroja</b> , Eesti Geoloogiateenistus
13.15	<i>Eesti teedehituse geotehnilised probleemid ja lahendused</i>	<b>Peeter Talviste</b> , IPT Projektijuhtimine OÜ
13.30	<i>Fosfori ja raskmetallide geokeemia Eesti mereala põhjasetetes</i>	<b>Martin Liira</b> , Eesti Geoloogiateenistus, Tartu Ülikool
13.45	<i>Eesti instrumentaalseismoloogia ajalugu</i>	<b>Heidi Soosalu</b> , Eesti Geoloogiateenistus, TalTech
14.00	<i>Vanaaegkonna kliima ja millest kõnelevad konodondid</i>	<b>Olle Hints</b> , TalTech
14.15	<i>Pärnumaa jõekallaste maalihkeotlikkusest</i>	<b>Annette Talpsep</b> , IPT Projektijuhtimine OÜ, Tartu Ülikool
14.30	<i>Kui usaldusväärsed on paleokeskkondade rekonstruktsioonid?</i>	<b>Kärt Paiste</b> , Tartu Ülikool
14.45	<i>Uuendused Maa-ameti geoloogilistes avaandmetes ja kaarditeenustes</i>	<b>Ivo Sibul</b> , Maa-amet

## 15.00-15.30 KOHVIPAUS

### 15.30-17.40 3. OSA: RINGMAJANDUS JA KESTLIKU(MA)D MINERAALTOORMED, juhatab Sirli Sipp Kulli

15.30	<i>Resource Efficiency – a Timeless Truth</i>	<b>Arnout Lugtmeijer</b> , Trisector OÜ
15.50	<i>REEs for the green transition: challenges in exploration and research, with the example of Estonian phosphorite</i>	<b>Sophie Graul</b> , TalTech
16.10	<i>Role of CO<sub>2</sub> Geological Storage in Reaching Climate Targets in the Baltic Sea Region: Technological Prospects and Regulatory Challenges</i>	<b>Alla Šogenova</b> , TalTech
16.30	<i>Põlevkivituhaga tagasitaitmise teostatavus ning mõju põhjaveele</i>	<b>Madis Osjamets</b> , Tartu Ülikool, Eesti Geoloogiateenistus
16.530	<i>Maapõueressursid ringluses – kuidas läheb nende ringmajandamisega?</i>	<b>Riina Aav</b> , TalTech
17.10	<i>Rohe-amokk ja maavaramajandus: mis teeb meid õnnelikumaks?</i>	<b>Alvar Soesoo</b> , Eesti Geoloogiateenistus, TalTech, Tartu Ülikool

### 17.30 KOKKUVÕTTED

### 18.00 ARUTELU JÄTKUB GLEHNI LOSSIS

## Posterettekanded

1	<i>Säästva arengu seadusest mahekultuurse elulaadini</i>	<b>Rein Einasto</b> , EGeoS
2	<i>Paleokeskkonna ja temperatuuri muutused Baltika kontinendil Vara-Ordoviitsiumist hilise Silurini brahhiopoodikodade süsiniku- ja hapniku isotoopkoostise põhjal</i>	<b>Bilal Gul</b> jt, Tartu Ülikool
3	<i>The AGEMERA Project: Building European capacities with innovative exploration technologies</i>	<b>Tony Hand</b> , TalTech
4	<i>Kolga vanad rannamoodustised kajastamas Holotseeni meretaseme muutusi ja paleotormisust</i>	<b>Triinu Jairus</b> jt, Tartu Ülikool
5	<i>Eesti turbauuringute andmebaas ja ringmajandus</i>	<b>Mall Orru</b> , TalTech
6	<i>Diversity of non-calcified algae in Kalana Lagerstätte (Aeronian, Silurian)</i>	<b>Daria Panasiuk</b> ja Oive Tinn, Tartu Ülikool
7	<i>EGT-TWINN projekti esimene edukas aasta – Eesti Geoloogiateenistus liigub rohelse energia teel!</i>	<b>Kairi Põldsaar</b> , Eesti Geoloogiateenistus
8	<i>Satellite Exploration of Earth Resources Using Nuclear Magnetic Resonance Phenomenon: Application for Estonia</i>	<b>Kazbulat Shogenov</b> jt, TalTech



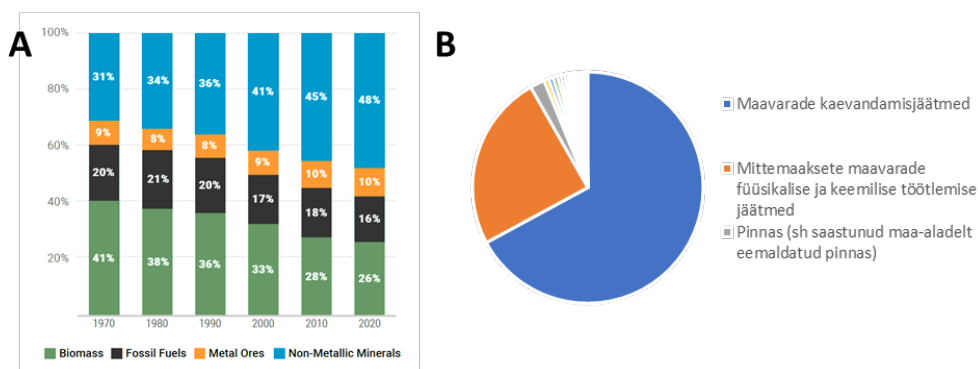


# Maapõueressursid ringluses – kuidas läheb nende ringmajandamisega?

Riina Aav

Tallinna Tehnikaülikool, keemia ja biotehnoloogia instituut; Strateegilise mineraalse ja süsinikupõhise ressursi ringmajandamise tippkeskus SOURCES

Üksikisiku elukvaliteet on tugevas seoses ühiskonna heoluga ning materiaalsed ressursid on üks olulisemaid komponente inimeste elukvaliteedi tagamisel. Ressursside kasutamise efektiivsusest sõltub inimtekkelise keskkonnamõju ulatus ning tootmise jätkusuutlikkus. Strateegilise mineraalse ja süsinikupõhise ressursi ringmajandamise tippkeskuse (SOURCES) eesmärkidest üks olulisemaid on maapõue ressurside olemasolu ja rakendatavuse potentsiaali uurimine. Mineraalsete toormete vajadus kasvab, mistõttu inimtekkeliste materjalide ja jäätmete ringmajandamine omandab üha suurema kaalu (UNEP 2024; joon. 1).



**Joonis 1.** A: Globaalne toormaterjalide kasutus (värvide kood: roheline - biomass, must - fossiilsed kütused, oranž - metallimaagid, sinine - mittemetalsed mineraalid; UNEP 2024); B: Eesti jäätmete jaotus 2022 aastal (Eesti statistikaamet 2022).

Ettekandes keskendun mineraalsetele ressurssidele, toon näite keemilises reaktsioonis kriitiliste metallide asendamisest (Nallaparaju jt 2024) alternatiivse toormega ja Eesti ringmajanduste tippkeskuse SOURCES arengusuundadest.

## Viited

Eesti statistikaamet, 2022. *Jäätmebilansi väljavõtte jäätmeliikide kaupa*, <https://andmed.stat.ee/et/stat> (vaadatud 28.03.2024).

Nallaparaju, J. V., Satsi, R., Merzhyevskiy, D., Jarg, T., Aav, R., Kananovich, D. G. 2024. Mechanochemical Birch Reduction with Low Reactive Alkaline Earth Metals. *Angewandte Chemie International Edition*, #e202319449. <https://doi.org/10.1002/anie.202319449>

UNEP, 2024. *Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes*. United Nations Environment Programme. International Resource Panel. Nairobi. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44901>

# Unconventional resources of REE: challenges for exploration and processing, with the example of Estonian phosphorite

Sophie Graul<sup>a</sup>, Vincent Monchal<sup>b</sup>, Lauri Joosu<sup>c</sup>, Rutt Hints<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Geology, Tallinn University of Technology

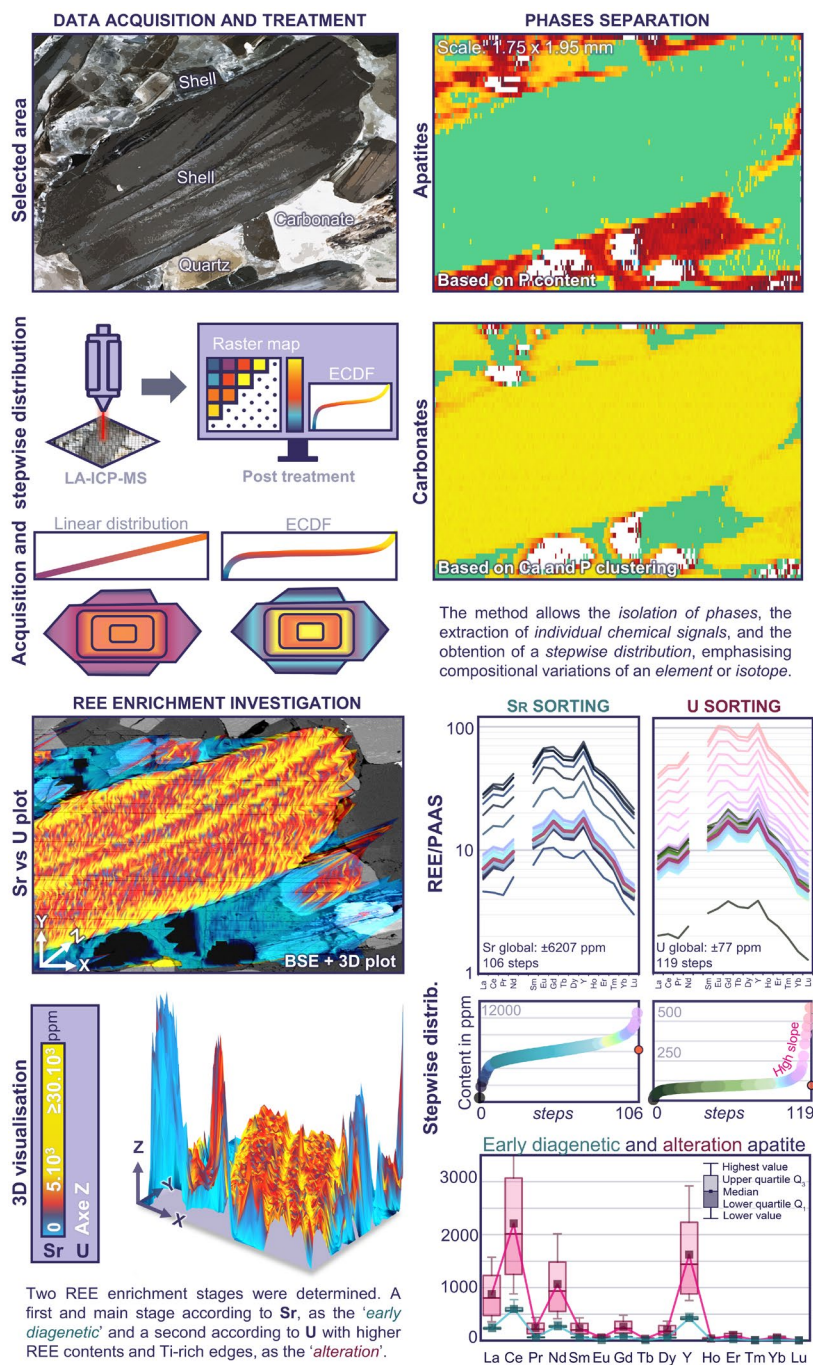
<sup>b</sup> Department of Geology, Trinity College Dublin

<sup>c</sup> Geological Survey of Estonia

The fifteen lanthanides, Sc and Y, are commonly grouped under the rare earth elements (REE) appellation. These elements are widely used in high-tech industries and are especially needed for low-carbon energy components such as wind turbines and permanent magnets. Contrary to their name, rare earths commonly occur in the earth's crust but rarely in minable quantities. The three main types of REE deposits are igneous carbonatite containing bastnaesite ((La,Ce,Y)CO<sub>3</sub>F) and monazite ((Ce,La,Nd,Th)PO<sub>4</sub>), monazite placer, and ion-adsorption clays ores from subtropical regions. The growing demand for green technology and the scarcity or availability of conventional resources have spurred interest in exploring unconventional deposits (Balaram 2023).

Unconventional REE resources include a wide range of low-grade, high-tonnage mineral bodies, such as polymetallic nodules, coals, black shales, and phosphorites (Balaram 2023). Most of these deposits are of sedimentary origin and result from multiple complex formation processes, leading to numerous types of mineralisation and high intrinsic chemical variability. Therefore, the exploration and extraction of valuable metals are challenges for the industry in terms of sustainable mining and mineral characterisation (Klyucharev et al. 2013). This issue applies particularly to REE, as they are commonly extracted as by-products (McNulty & Jowitt 2022) from ores in which concentrations can be below the detection limits of the conventional semiquantitative automated mineralogy techniques (Li & Li 2016; Schulz et al. 2020).

The REE in studied Estonian phosphorites are carried by fragments of brachiopod's shells in sandstone, mineralised in carbonate fluorapatite (CFA), an apatite with a highly diverse chemical composition [Ca<sub>10-a-b</sub>Na<sub>a</sub>Mg<sub>b</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4/6-x</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3/x-y-z</sub>(CO<sub>3</sub>F)<sub>x-y-z</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>z</sub>F<sub>2</sub>]. Shells themselves are complex objects, the apatite originating from the crystallisation of organic tissues and the precipitation of secondary phosphate during sediment burial. The partitioning and uptake of the individual REEs in them depend on many factors, including inputs from marine sources, oxygenation state of the sedimentary column and REE 'carriers phases' that may have differing affinities for each rare earth (Graul et al. 2023). Estonian phosphorites are similar to placer deposits, often investigated using automated mineralogy techniques such as QEMSCAN<sup>®</sup>, which are very well suited to heavy minerals. However, in the case of shelly phosphorite, this type of analysis is unsuitable since EDS analysis has a lower limit of 0.1 wt.% and the most abundant REEs in shells, such as Y, rarely exceed 0.08 wt.%. The study introduces an innovative LA-ICP-MS mapping method combined with an



**Fig. 1.** Overview of the LA-ICP-MS imaging method and application to shelly phosphorites for REE geochemistry and resources.

empirical distribution function (ECDF) as a powerful, accurate, and cost-effective tool to determine the distribution of REE between apatite varieties (Drost et al. 2018). It allows a good visualisation at different scales, representative measurements, and the identification and discrimination of mineral phases by integrating semiquantitative compositional data through the stepwise distribution of elements. Phosphorites from Toolse and Aseri deposits were selected, and two pathfinder elements were studied to investigate REE distribution and genesis: Sr and U.

Shelly apatites generally have homogenous REE-distribution patterns with positive Y and Ce anomalies, indicative of a progressive uptake, traceable by the Sr distribution (Fig. 1). The average REE content in the studied apatites is 2149 ppm. However, the extent of diagenetic overprint and enrichment varied from one locality to another. In Toolse, the shells show less severely recrystallised textures, with preservation of the Sr- and U-poor early-stage uptake signals. In Aseri, U-sorting reveals a second, diagenetic alteration-driven enrichment stage in which the shell edges present a  $\Sigma$ REE up to 7020 ppm. This alteration stage is less pronounced in Toolse, where the REE content reaches only 4150 ppm.

Based on these observations, the compositions of the apatite species could be modelled to determine phosphorite genesis. A combination of factors such as accumulation of P and nutrients, desorption of Fe-Mn phases and redox fluctuations drove REE enrichment. Developing euxinic conditions and lithogenic input endorsed a later alteration-driven enrichment stage, resulting in highly REE-enriched edges in some localities. Despite differences in enrichment level, the two deposits' REE distribution patterns are similar. Main REEs are Ce (33%), Y (21%), La (12%), Nd (16%) and Dy (3%), and are considered among the most critical elements. On average, U concentrations are 92 ppm in Aseri and 31 ppm in Toolse, and toxic elements (Cd, Zn, Th) are found in trace amounts. To determine ore prospectivity, the mineralisation prospectivity outlook coefficient ( $K_{outl}$ ) was calculated. It divides the ratio of critical REE (Ce, Ho, Tm, Yb, and Lu) (Seredin 2010). The percentage of critical elements in total REE ( $REE_{def}$ ) was plotted by dividing the sum of critical REE by the sum of REE. Based on this approach, both deposits fall in the range of 'promising for economic development' ( $33\% \leq REE_{def} \leq 50$ ;  $0.9 \leq K_{outl} \leq 3.1$ ). Therefore, the ratio of valuable REEs is relatively high in Toolse and Aseri deposits. These ores are potential REE resources as by-products with low toxic element contents and predictable REE and trace elements contents.

The LA-ICP-MS image-based method has provided a better overview of the factors controlling low-grade sedimentary ores' genesis, identified their potential value-adding pathways, and provided an initial approach to semiquantification.

## References

- Balaram, V. 2023. Potential Future Alternative Resources for Rare Earth Elements: Opportunities and Challenges. *Minerals*, **13**, 425.
- Drost, K. et al. 2018. An Image Mapping Approach to U-Pb LA-ICP-MS Carbonate Dating and Applications to Direct Dating of Carbonate Sedimentation. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **19**, 12, 4631–4648.
- Graul, S. et al. 2023. REE + Y distribution in Tremadocian shelly phosphorites (Toolse, Estonia): Multi-stages enrichment in shallow marine sediments during early diagenesis. *Journal of Geochemical Exploration*, **254**, 107311.
- Klyucharev, D. S., Volkova, N. M., Comyn, M. F. 2013. The problems associated with using non-conventional rare-earth minerals. *Journal of Geochemical Exploration*, **133**, 138–148.
- Li, X.-H., Li, Q.-L. 2016. Major advances in microbeam analytical techniques and their applications in Earth Science. *Science Bulletin*, **61**, 23, 1785–1787.
- McNulty, B. A., Jowitt, S.M. 2022. Byproduct critical metal supply and demand and implications for the energy transition: A case study of tellurium supply and CdTe PV demand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **168**, 112838.
- Schulz, B., Sandmann, D., Gilbricht, S. 2020. SEM-Based Automated Mineralogy and Its Application in Geo- and Material Sciences. *Minerals*, **10**, 11.
- Seredin, V. V. 2010. A new method for primary evaluation of the outlook for rare earth element ores. *Geology of Ore Deposits*, **52**, 5, 428–433.

# Vanaaegkonna kliima ja millest kõnelevad konodondid

## Olle Hints

Tallinna Tehnikaülikooli geoloogia instituut

2023. aastal algas TalTechi ja Tartu Ülikooli ühine teadusprojekt, mille eesmärgiks on Ordoviitsiumi ajastu (444-485 mln a tagasi) kliima- ja keskkonnamuutuste tuvastamine Baltika paleokontinendil ning seoste leidmine elurikkuse arenguga. Tänapäevaks on käes esimesed intrigeerivad tulemused, mis väärivad tutvustamist Eesti laiemale publikule.

Kauge geoloogilise mineviku kliimatingimusi – sh paleotemperatuuri – saab hinnata mitmesuguste geokeemiliste, mineraloogiliste, litoloogiliste ja paleontoloogiliste indikaatorite abil. Nende hulgas on lihtsasti mõistetavaid, nagu näiteks korallid, kes elutsevad tänapäeval eelistatult soojaveelises keskkonnas ja viitavad tõenäoliselt sarnastele tingimustele ka fossiilsena. Nii võib oletada, et Eesti vanimad põhikorallid ehk tabulaadid Vasalemma kihistu lubjakivides näitavad troopilist või vähemalt subtroopilist kliimat, mis valit- ses siin ligikaudu 453 mln a tagasi. Keerulisem on lugu geokeemiliste indikaatoritega, mis võivad olla mõjutatud hilisematest geoloogilistest protsessidest. Väheste andmete baasil on sageli keeruline tuvastada, kas indikaator näitab globaalset kliimamuutust, piirkonna keskkonnamuutusi või hoopis diageneesikeskkonnas liikunud lahuste omadusi. Sellele vaatamata on isotoop-geokeemilistel andmetel kande roll mineviku kliimamuutuste rekonstrueerimisel. Paleotemperatuuri hindamisel on enim kasutatud leidnud karbonaatsete ja fosfaatsete mineraalide hapniku isotoopkoostis (stabiilsete isotoopide  $^{18}\text{O}$  ja  $^{16}\text{O}$  suhtevahe- kord), mis sõltub tekkekeskkonna (nt ookeanivee) temperatuurist. Kesk- ja Uusaegkonnas kasutatakse selleks valdavalt kaltsiitse koostisega fossiile nagu brahhiopoodid, belmeniidid ja foraminifeerid, kuid Vanaaegkonnas on parimaks indikaatoriks osutunud konodondid (Scotese jt 2021).

Konodondid on apatiidist koosnevad mikroskoopilised (0,1–1 mm) hambad, mis kuulusid silmulaadsele mereloomale. Konodondid on arvukad kivistised ka Eesti Ordoviitsiumi ja Siluri kivimites näidates selle loomarühma laia levikut ja mitmekesisust ning pakkudes üht- lasi võimalust kihtide biostratigraafiliseks dateerimiseks ja kivimite mattumistemperatuuri hindamiseks nn CAI indeksi (conodont alteration index) abil. Ühtlasi on konodontide mineraalne aine unikaalseks arhiiviks mineviku keskkonnamuutuste rekonstrueerimisel.

Esimesed konodontidel baseeruvad Ordoviitsiumi kliima uuringud tehti Eestis Peep Männiku ja kaasautorite poolt (Männik jt 2021) kasutades GS-IRMS meetodikat (isotoop- suhete massispektromeetria), mis eeldab tuhandete konodontide kogumist ja pulbriks jahvatamist. Uut andmestikku hangime koostöös Potsdami geoteaduste keskuse labori- ga kasutades ioon-mikroanalüsaatorit (sekundaarioonide massispektromeetria, SIMS; Wu- darska jt 2023). See meetod võimaldab suure täpsusega analüüsida üksikuid konodonte ja nende erinevaid osasid. Esmased uuringutulemused baseeruvad ligi 2 tuh punktanalüüsil sadadest üksikutest konodontidest (Hints jt 2022) ja näitavad üldist ookeanivee jahene- mise trendi Balti paleobasseinis läbi Vara- ja Kesk-Ordoviitsiumi. See kinnitab seniseid uu- ringuid teistest regioonidest (Trotter jt 2008), kuid on vastuolus Baltika triiviga ekvaatori suunas ning settekivimite iseloomuga. Võimalik, et isotoopandmestiku interpreteerimisel



tuleb arvesse võtta ookeanivee keemilise koostise ja pH muutusi. Selle kontrollimiseks on võimalik kasutada täiendavaid geokeemilisi indikaatoreid, nt boori isotoope. Teise intrigeeriva aspektina tuvastasime suure taksonitevahelise isotoopkoostise erinevuse samades proovides, mis temperatuuriks ümberarvutatuna näitab vähemalt 6-kraadist erinevust. Tõenäoliselt asustasid erinevad konodondiliigid erinevat osa ürgmere veesambast – mõned eelistasid sooja pinnalähedast veekihti, teised elasid jahedamas põhjakihis. Kui see on tõesti nii, siis variatsioonide muutus ajas võib olla heaks indikaatoriks paleobasseini sügavuse muutuste ja fatsiaalse differentseerituse hindamiseks. Seda muidugi koos vastavate sedimentoloogiliste ja paleontoloogiliste uuringutega.

Paralleelselt konodontide analüüsimisega kogume andmeid ka üldkivimi ning kaltsiitsete fossiilide (brahiopoodide ja ostrakoodide) süsiniku ja hapniku isotoopkoostise kohta. Kombineerides paleotemperatuuri trende muutustega süsiniku aineringses ning paleoelurikkuse andmetega valitud fossiilirühmade (kitiinikud, konodondid, ostrakoodid, skolekodondid) kohta saame tuvastada kliima ja elustiku arengu vahelised seosed erinevates ökoloogilistes niššides. Senised tulemused näitavad, et Eesti aluspõhi ning meie mikrofossiilid on ainulaadseks arhiiviks Vanaaegkonna kliimauuringutes kaasaraäkimiseks nii regionaalsel kui globaalsel tasemel.

## Kasutatud kirjandus

- Hints, O., Männik, P., Wudarska, A., Wiedenbeck, M., Joachimski, M., Lepland, A. 2022. Oxygen isotope composition of Ordovician conodonts: a SIMS approach from the East Baltic. Rmt *Second Annual Meeting of IGCP 735. October 19–20, 2022. Rocks and the Rise of Ordovician Life. Abstract Book*. Hassan II Academy Press, Marrakech, 35–35.
- Männik, P., Lehnert, O., Nõlvak, J., Joachimski, M. M. 2021. Climate changes in the pre-Hirnantian Late Ordovician based on  $\delta^{18}\text{O}$  studies from Estonia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **569**, 110347. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110347>
- Scotese, C. R., Song, H., Mills, B. J., van der Meer, D. G. 2021. Phanerozoic paleotemperatures: The earth's changing climate during the last 540 million years. *Earth-Science Reviews*, **215**, 103503. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103503>
- Trotter, J. A., Williams, I. S., Barnes, C. R., Lecuyer, C., Nicoll, R. S. 2008. Did Cooling Oceans Trigger Ordovician Biodiversification? Evidence from Conodont Thermometry. *Science*, **321**, 550–554. <https://doi.org/10.1126/science.1155814>
- Wudarska, A., Wiedenbeck, M., Hints, O., Männik, P., Lepland, A., Joachimski, M. M. et al. 2023. Oxygen isotope compositions of conodonts – analytical challenges of in situ SIMS studies. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **72**, 166–166. <https://doi.org/10.3176/earth.2023.39>

# Kliima, maavarad ja ministeerium

## Ene Jürjens

Kliimaministeeriumi maavarade osakond

Maavarade ja ressursside valdkond on olnud alati ühiskonnas teravdatud tähelepanu all. Seda nii majandusarengut tagava tugisambana kui ka suure mõju pärast keskkonnale ja sotsiaalmajandusele laiemalt. Majanduse vajadustest ja eelissuundadest on sõltunud ainult see, millist ressursi teatud ajaperioodil on kõige olulisemaks peetud ja mis vormis on korraldatud nende ressursside uurimine ja kasutamine. Riiklikul tasemel on maavarade valdkonnas alates 2017. aastast toimunud tormiline areng. 2018. aastal moodustati riigi hallatava asutusena Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi haldusalas Eesti Geoloogiateenistus. 2020. aastal tehti muudatused Vabariigi Valitsemise seadusesse, kus muudeti Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi valitsemisala kirjeldust, kuhu lisati maapõueressursside valdkond ja nimetati ministeeriumi tegevustena ära geoloogiline kaardistamine ja riikliku geoloogilise kompetentsi tagamine.

Eesmärgiks oli maapõuevaldkonna koordineerimise struktuuri korrastamine ja vastutusvaldkondade täpsem määratlemine vastavalt kehtivale strateegilisele dokumendile. 6. juunil 2017. aasta Riigikogu otsusega kinnitatud strateegilise dokumendi „Maapõuepoliitika põhialused aastani 2050“ kohaselt oli tarvilik selles ette nähtud struktuursed muutused ellu viia ka seadusandlikul tasandil. Nimelt see arengudokument sisaldas ettepanekut maapõue kasutuse valdkonna senist korraldust muuta, tekitades Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumis maapõue uurimise ja kasutamise valdkonna juhtimiselase kompetentsi ning sellega seotud majandusliku ja sotsiaalmajandusliku arengu strateegilise planeerimise võimekuse.

Põhjus oli selles, et maapõue uuringud olid alates Eesti taasiseseisvumisest ehk ligi 30 aastat olnud pärsitud erinevatel põhjustel ja geoloogilistes teadmistes maavarade ning nende kasutamisevõimaluste kohta oli tekkinud lünk. Samal ajal olid maailmas ressursside kasutuses toimunud märkimisväärsed arengud ja kasutusele võetud toormed, milliseid pole Eestis varem uuritud ja mida paarkümmend aastat tagasi ei tundudki. See tekitas vajaduse mitmed olemasolevad maapõueressursid majanduslikust otstarbest johtuvalt ümber hinnata, analüüsida või siis uurida.

Maapõuevaldkonna ülesannete jaotus toonase Keskkonnaministeeriumi ning Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi vahel täpsustus sel moel, et Keskkonnaministeeriumi pädevusse jäid keskkonnakaitseliste aspektidega seotud ressurssidega otsused ja analüüsid nagu strateegiline planeerimine (ressursitõhusus, saastetasud, jäätmetekke vähendamine); erinevat laadi lubade nagu näiteks üldgeoloogilise uurimistöö, geoloogilise uuringu ja maavara kaevandamise lubade andmine; ning muude maapõue ja maavarade kasutamise ja kaitse alaste kooskõlastuste ja lubade andmine. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi valitsemisalasse jäi analüütika ja uurimistegevus nagu näiteks maavarade vajaduse prognoosimine; maavaradega seotud sotsiaal-majanduslike mõjude hindamine; riiklike maapõuealaste uuringute läbiviimine, koordineerimine ja rahastamine; geoloogilise info kogumine, tõlgendamine ja süstematiseerimine, geoloogilise kaardistamise kui maapõueuuringute esimese etapi läbiviimine ja rahastamine.

2021. aastal loodi Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumis maavarade osakond ja valdkonna riikliku taseme eest hakkas vastutama energeetika ja maavarade asekantsler. Järjekordsed suured muudatused teostusid 1. juulist 2023, mil Eesti Vabariigis Keskkonnaministeerium lakkas eksisteerimast ja selle baasil moodustati Kliimaministeerium. Mitmed majandusega tihedalt seotud osakonnad, sh ka kogu energeetika ja maavarade valdkond viidi üle alles loodud ministeeriumi koosseisu. Selle protsessi tulemusena liitusid osakonnaga alates 1. septembrist 2023 kolm inimest endisest Keskkonnaministeeriumist. Tuli juurde palju ülesandeid ja samal ajal muutusid prioriteedid ja rõhuasetused. Praeguseks on maavarade temaatika saanud üheks Kliimaministeeriumi poliitiliseks prioriteediks ja eesootab palju ambitsioonikaid väljakutseid.

# Fosfori ja raskmetallide geokeemia Eesti mereala põhjasetetes

Martin Liira

Eesti Geoloogiateenistus, Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut

Läänemeri mängib olulist rolli miljonite inimeste elus, olles oluline ressurss toidu, transpordi ja kaubanduse jaoks. Siiski on kasvanud mure selle ökosüsteemi tervise pärast, kuna suure saaste hulga tõttu on keskkonna taastumine olnud aeglane. Inimtegevus mõjutab oluliselt mere ökoloogilist tasakaalu, põhjustades saasteainete, sealhulgas raskmetallide ja toitainete nagu fosfori, kuhjumist setetes. Need võivad häirida mereelu ja ökosüsteemi dünaamikat.

Et paremini mõista merepõhja setetes kogunenud saasteainete mõju Läänemerele ning uurida Eesti mereala põhjasetete omadusi ja koostist, viidi aastatel 2020–2022 Eesti merealal läbi Keskkonnainvesteeringute Keskuse poolt kaasrahastatud Eesti Geoloogiateenistuse (EGT) projekt nr 17065 „Merepõhja setete keskkonnaseisundi hindamise metoodika arendamine ja rakendamine“. Selle projekti jätkuks teostab EGT aastatel 2022-2024 merepõhja sette uuringuid projekti „Eesti Läänemere avaosa põhjasetete keskkonnaseisundi hindamise metoodika rakendamine ja alusandmete kogumine“ raames, mida samuti kaasrahastab Keskkonnainvesteeringute Keskus (projekt RE.4.07.22-0016). Antud uuringud analüüsivad Eesti mereala põhjasetete raskmetallide sisaldusi, kuid pööravad erilist tähelepanu ka fosfori akumulatsioonile. Mõistes fosfori akumulatsioonide mustreid ja allikaid merepõhja setetes, saame välja töötada tõhusamad strateegiad Läänemere ökosüsteemile avalduva reostuse mõju juhtimiseks ja leevendamiseks.

Uuringud on näidanud, et hoolimata pingutustest toitainete sissevoolu vähendamiseks, on veekvaliteet endiselt halb. See on seotud varasemate aastakümnete jooksul kogunenud suurtest fosforikontsentratsioonidest setetes, mis läbi sisemise koormuse täiendavalt mõjutavad Läänemere eutrofeerumist. Selektiivse fraksioneerimise meetodite kasutuselevõttuga on võimalik eri fosforivormid tuvastada, mis annab aimu nende liikuvusest ja võimalikust mõju veekvaliteedile.

Lisaks on raskmetallide profiilide analüüsid setteproovides näidanud erinevaid kontsentratsioone eri Läänemere piirkondades. Kuigi mõned alad jäävad lubatud keskkonnainormide piiresse, ületavad teised soovitatud lüvendid, mis viitab jätkuvalle saastamisele. Selliste mustrite mõistmine on oluline tõhusate strateegiatega väljatöötamisel saaste vähendamiseks ja Läänemere ökosüsteemi säilitamiseks.

Jälgelementide, nagu uraani ja molübdeeni, sisalduste mustrid setetes on aidanud rekonstrueerida mineviku keskkonnatingimusi. Kaasaegsete settekeskkondade uurimine aitab paremini mõista hapnikutaseme muutusi ajaloolistes setetes, parandades meie arusaamist pikaajalistest ökosüsteemide dünaamikatest.

Kokkuvõttes annavad uuringud Läänemere setete geokeemiast väärtuslikke teadmisi ökosüsteemi tervise ja jätkusuutlikkuse kohta. Saasteainete kuhjumise ja setete kvaliteeti mõjutavate tegurite mõistmine aitab suunata jõupingutusi puhtama ja tervislikuma tuleviku poole Läänemerele ja selle elanikele.

## Viited

- Ausmeel, M. 2022. *Fosfori esinemisvormid Läänemere põhjasetetes*. Magistritöö. Tartu Ülikool, Geoloogia osakond.
- HELCOM 2015. Updated Fifth Baltic Sea pollution load compilation (PLC-5.5). *Baltic Sea Environment Proceedings* **145**.
- Lahtvee, D. 2023. *Eesti mereala põhjasetete uraani ja molübdeeni sisaldused ning nende roll merepõhja redokstingimuste selgitamisel*. Bakalaureusetöö. Tartu Ülikool, Geoloogia osakond.
- Liira, M., Ausmeel, M., Suuroja, S., Veski, A., Tuuling, I. 2022. *Merepõhja setete keskkonnaseisundi hindamise meetodika arendamine ja rakendamine*. Eesti Geoloogiateenistus. <https://fond.egt.ee/fond/eqf/9598>.
- Suuroja, S., Heinsalu, A., Alliksaar, T., Tõnisson, H., Lips, U., Lepland, A., Kask, A., Petersell, V., Pajusaar, S., Liiv, M. jt 2016. *Hinnangu andmine merekeskkonna ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja ja setete näitel (SedGoF)*. Eesti Geoloogiakeskus.

# Põlevkivituhaga tagasitäitmise teostatavus ning mõju põhjaveele

Madis Osjamets

Eesti Geoloogiateenistus, Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut

Põlevkivi kaevandamise tagajärjel paikneb suur osa Kirde-Eesti territooriumist altkaevandatud alal. Mõnedel nendel aladel põhjustab toimunud kaevandustegevus endiselt ohtu maapinna ja seal asuvate rajatiste püsivusele. Piirkonna asustustihedus on sealjuures suurem just nendel aladel, kus kaevanduste pealse katendi paksus on väiksem ja oht maapinna püsivusele suurem. Endiste kaevandusalade stabiilsuse tagamiseks on mujal maailmas levinud praktika kaevanduste tagasitäitmine (Gray 2020; Watson jt 2019). Tagasitäitena on kasutatav segu, mis on keskkonnale piisavalt ohutu, odav ja tagab kaevandustühimikesse viiduna nende kohal asuva maapinna stabiilsuse (Shen jt 2017). Eestis on seni kaevandusala stabiliseerimiseks tagasitäitmist kasutatud vaid üksikutel juhtudel. Seniste uuringute alusel võiks tagasitäite materjaliks sobida põlevkivituhk (Puura jt 2009; Pastarus jt 2013; Siitam 2016). Põlevkivitööstus, mille toorme saamiseks on kaevandused rajatud, toodab ise heitmetena suures koguses põlevkivituhka, millele pole kaasajal mastaapset kasutust leitud. Tartu Ülikool koostöös Eesti Geoloogiateenistusega viis aastatel 2021 kuni 2023 läbi tagasitäite uuringu, mille eesmärgiks oli põlevkivituhast tagasitäite poolt põhjaveele avalduvate mõjude prognoosimine ja mõõtmine ning täitesegu maa alla pumpamise tehnoloogilise teostatavuse katsetamine (Osjamets jt 2023).

Töö käigus täideti Kohtla-Järve linnas asuv 10 meetri pikkune kaevanduskäigu lõik põlevkivielektrijaamast pärineva lendtuha ja vee seguga. Katsetati mujal maailmas levinud maapinnalt seguga tagasitäitmise meetodika sobivust põlevkivituhaga segust tagasitäitele. Tagasitäite pumpamiseks kaevanduskäiku puuriti 6 spetsiaalset puurauku, mille sisse paigaldati kaevanduse põhja ulatuv täitetoru. Kokku kasutati katses 74 m<sup>3</sup> põlevkivi lendtuha, mis kaevanduskäiku pumbatuna moodustas keskmiselt 1,6 meetri paksuse tuhkbetooni keha. Katses kasutatud lendtuhk pärines Eesti elektrijaama kuivsilost ja see transporditi katsealale kinnise autoga. Katsealal segati tuhk veega sama transporti teostanud auto kinnises süsteemis nii, et puudus vajadus tuha vaheladustamiseks (joon. 1). Kasutatud tuha käitlemine ja segamise viis oli mugav ja häiringuvaba, kuid täitmise jõudlus madal. Kokku kulus segu segamiseks ja pumpamiseks koos tuha transpordiga 13 päeva. Täitmise kiirust oleks võimalik tõsta mitme segurauto kasutamisega, mis vähendaksid tuha transpordi tõttu tekkinud seisakuid. Veelgi suurema jõudluse tagaks võimsamate segumasinate kasutamine ja tuha kohapealne hoiustamine.

Tänapäeval tööstuses tekkivat põlevkivituhka pole suuremas koguses tagasitäitmiseks kasutatud. Seega oli töö üheks eesmärgiks leida täitmiseks sobiv põlevkivituhahal põhineva segu retsept. Tagasitäite segule on üldiselt olulised kriteeriumid, et see oleks pumbatav, saavutaks tardudes piisava tugevuse maapinna stabiliseerimiseks, oleks odav ning ei halvendaks oluliselt ümbruskonna veekeskkonda. Mujal maailmas kasutatakse täitesegudes täiteainena enim kaevandamise kõrvalprodukte ja sideainena tsementi, kivisöetuhka, räbu, purustatud lubjakivi ja lupja (Behera jt 2021). Tagasitäitmise katse käigus mõõdeti olulisemate parameetrite selgitamiseks segu veesisaldust, voolavust, segu pinnale tekkiva „vaba vee“ hulka, mahumuutust tardumisel, mineraloogiat ja leostusomadusi ning tuhkbet-



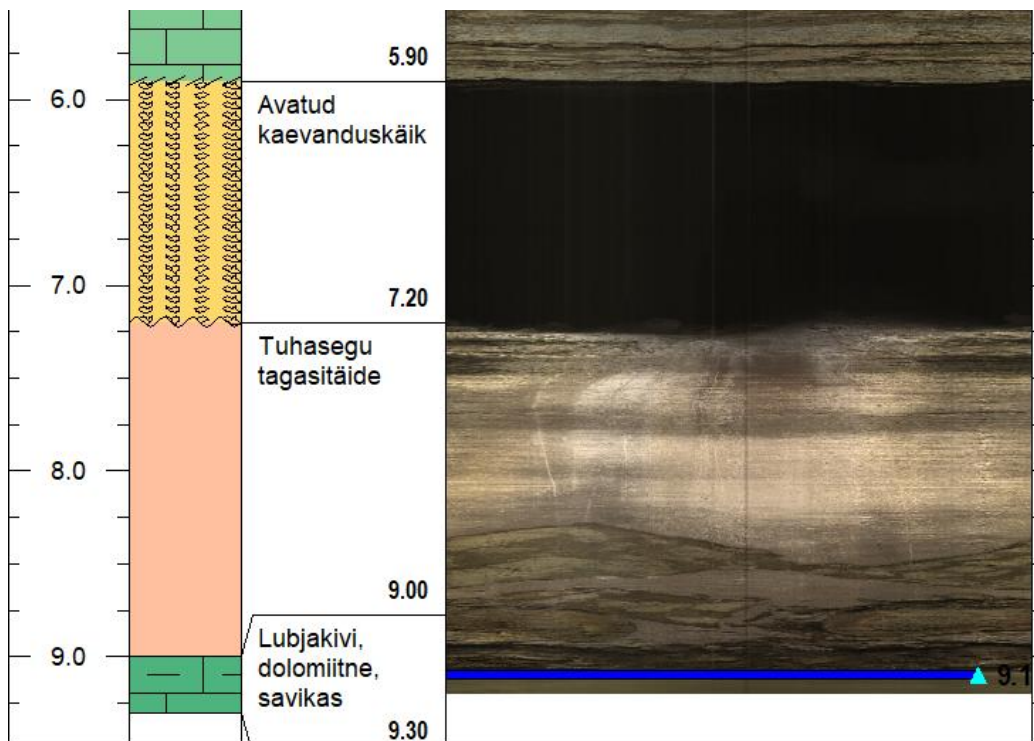


**Joonis 1.** Täitesegu segamine ja pumpamine kaevandusse läbi selleks puuritud tagasitäite puuraukude.

tooni survetugevusi. Kaevanduskäigus kivistunud tuhkbetooni uuriti südamikpuurimisel võetud proovidega ning puuraugus tehtud geofüüsikaliste vaatlustega. Käigus kivistunud põlevkivituhast tagasitäite moodustas ühtlase lõhedeta täitekeha (joon. 2). Proovimaterjali andmetel saavutab segu hüdratiseerudes ja kivistudes kiiresti maapinna stabiliseerimiseks piisava survetugevuse. Põlevkivi lendtuhk on tagasitäite segudes oma omadustelt sarnane mujal tagasitäite sideainena kasutatava kivisöe lendtuhale. Peamiseks põlevkivi lendtuha eeliseks täitesegu on stabiliseerimiseks piisavad isetsementeeruvad omadused. Levinuimad kivisöetuhad vajavad tsementeerumiseks tuhast suurusjärgu võrra kallima tsemendi lisamist. Põlevkivituha puuduseks võrreldes kivisöetuhaga on suurem veevajadus ja kuiva tuha käitlemise keerukus. Katsete tulemustel leiti, et täitmiseks sobiva voolavusega segu veesisaldus peaks jääma vahemikku 0,65–0,70. Selline segu on pumbatav, ei ummistanud täitmisvoolikuid ning segust ei eraldunud olulises koguses vaba vett.

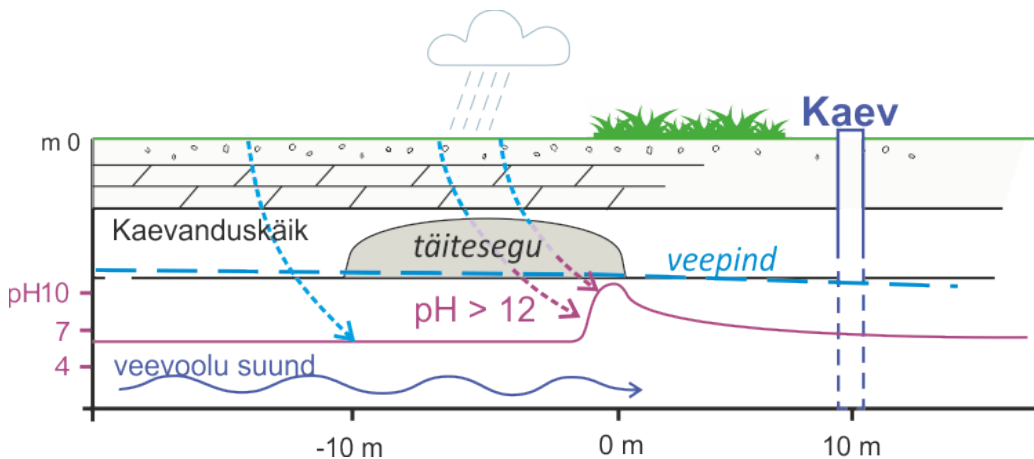
Katseala lähikümbruses jälgiti 1,5 aasta jooksul tagasitäitmise mõjusid põhjaveele ning hinnati nende prognoositavust hüdrokeemilise modelleerimisega. Ümber katseala rajati neli vaatluskaevu, milles tehti automaatanduritega pidevvaatlusi ning võeti regulaarselt veeproove. Katseala läbilõike ja tagasitäitmise mõju kontseptuaalne mudel põhjavee pH näitel on esitatud joonisel 3. Joonisel on näha, kuidas kivistunud tagasitäitega kokkupuutuv ülalt infiltreeruv vesi mõjutab tagasitäite lähipiirkonna põhjavett.

Põhjaveele avalduva mõju hindamiseks koostatud mudel prognoosis aluselise tuha-seguga kokkupuutuva ja kõrgenenud leeliselisusega vee mõju lähikümbruse põhjaveele. Seni on labori leostuskatsete põhjal teada, et tagasitäiteks kasutatud põlevkivi lendtuhk muudab vesilahuse tugevalt aluseliseks  $\text{pH} > 12$  (Irha jt 2014). Veeskeskkonda viies seguneb



**Joonis 2.** Kaevanduskäigus 28 päeva tardunud tagasitäide. Väljavõte puuraugu geotulbast ja 360° fotost.

tuhkbetooniga kokku puutuv vesi põhjaveega. Sellisel vee segunemisel avalduvaid protsesse imiteeriti uuringus hüdrogeokeemilise modelleerimisega, mille tulemused näitasid tuhavee kiiret puhverdamist põhjavees oleva  $\text{HCO}_3^-$  iooni poolt. Katsekeha vahetus läheduses prognoosis mudel tuhkbetooniga kokkupuutuv vee põhjavee pH tõusu 0,35 ühiku võrra; 10 meetri kaugusel katsekehast oli mõju taandunud. Muudest mudeldatud põhjavee keemiliste muutuste prognoosidest oli märkimisväärseim sulfaatiooni sisalduse tõus.



**Joonis 3.** Katseala skemaatiline läbilõige ja tagasitäitmise mõju kontseptuaalne mudel põhjavee pH-le.

Põhjavee vaatlused üldiselt kinnitasid geokeemilise mudeli prognoositud sisalduste muutuste dünaamikat. Tagasitäitekehast 10 meetri allavoolu jäävas vaatluskaevus tõusis täitmise ajal pH kuni 0,5 ühikut ning pärast täitmist langes pH kiiresti tagasi looduslikule tasemele. Katse tulemuste põhjal ei ole Eesti põlevkivikaevanduste alal kasutatud tuhaseguga tagasitäitmisel põhjavee pH kõrgenemine probleemiks. Sulfaadisisaldus põhjavees on aga ammendunud kaevanduste tõttu reeglina põlevkivi kaevanduste alal, kus tagasitäitmist rakendada, juba looduslikust tasemest kõrgem. Põlevkivituhaga tagasitäitmise mõjul tõuseb täiteala vahetus läheduses sulfaadisisaldus veelgi. Keskkonnakaitseliselt ongi see tagasitäitmise puhul kõige olulisem mõju. Seetõttu ei ole mõistlik põlevkivituhaga tagasitäitmist teha maapinnalähedase põhjaveekihi joogiveekaevude toitealadel. Tihedama asustusega kaevandusaladel ei ole tegu väga piirava faktoriga, sest joogiveekaevusid on seal vähe ning veevarustus on reeglina lahendatud tsentraalveega.

Uuringu tulemused on ühest küljest kasulikud riigi ametkondadele, kes tegelevad korastamata kaevandusalade ja neist tulenevate ohtudega ning otsustavad ka stabiliseerimisprojektide lubamise. Teisalt on uuringus kirjeldatud täitesegu omadused sisendiks ettevõtetele, kes võiksid tulevikus kaevandusala tagasitäitmist läbi viia. Uuringus saadud teadmisi saab kasutada ka põlevkivisektor, mille tegevuse tõttu toimub allmaakaevandamine ja kaasneb kaevandus- ja tööstusjäätmete teke. Põlevkivitööstusel on riiklike regulatsioonide, kliima ning ressursitõhususe eesmärkide tõttu vajadus edendada ringmajanduse põhimõtteid oma tootmisprotsessis.

## Kirjandus

- Behera, S. K., Mishra, D. P., Singh, P., Mishra, K., Mandal, S. K., Ghosh, C. N., Kumar, R., Mandal, P. K. 2021. Utilization of Mill Tailings, Fly Ash and Slag as Mine Paste Backfill Material: Review and Future Perspective. *Construction and Building Materials*, **309**, 125120. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125120>.
- Gray, R. E. 2020. Subsidence over Abandoned Mines: US Experience. *Rmt Surface Subsidence Engineering: Theory and Practice*. Peng, S. (toim), Csiro Publishing, lk 131–160.
- Irha, N., Uibu, M., Jefimova, J., Raado, L.-M., Hain, T., Kuusik, R. 2014. Leaching Behaviour of Estonian Oil Shale Ash-Based Construction Mortars. *Oil Shale*, **31**, 4, 394–411. <https://doi.org/10.3176/oil.2014.4.07>.
- Osjamets, M., Mõtlep, R., Liira, M. 2023. Altkaevandatud alade stabiliseerimine põlevkivitööstuse jääkmaterjalidega. KIK Projekt nr 18416. Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduse instituut, Eesti Geoloogiateenistus, TÜ Maapõueressursside arenduskeskus.
- Pastarus, J. R., Shommet, J., Valgma, I., Väizene, V., Karu, V. 2013. Paste Fills Technology in Condition of Estonian Oil Shale Mine. *Rmt Environment. Technologies. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, Vol. 1, lk 182–185.
- Puura, E., Mõtlep, R., Kriiska, K. 2009. Põlevkivi kaevandamis- ja töötlemisjäätmete kasutamine tagasitäiteks kaevandatud aladel: keskkonnamõtjude hindamine. TÜ ja TTÜ.
- Shen, B., Poulsen, B., Luo, X., Qin, J., Thiruvengatchari, R., Duan, Y. 2017. Remediation and Monitoring of Abandoned Mines. *International Journal of Mining Science and Technology* **27**, 5, 803–811. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.026>.
- Siitam, L.-O. 2016. „Põlevkivi kaevandatud ala täitmisega lankkaevandamise tehnoloogiliste võimaluste uuringud Narva karjääri tingimustes“. Magistritöö, Taltech, Energeetikateaduskond, Mäeinstituut. Tallinn. 70 lk.
- Watson, P. D., Dennehy, J. P., O'Neill-Gwilliams, S., Parry, D. N., Fraser, I. W. 2019. Ground Treatment and Remediation of Workings. *Rmt Abandoned mine workings manual*, Parry, D. N., Chiverrell, C. P. (toim). CIRIA, London, UK, Vol. C758D, lk 354–414.

# Kui usaldusväärsed on paleokeskkondade rekonstruktsioonid?

Kärt Paiste

Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut

Maateadlased pühendavad hulgaliselt ressursse paleokeskkondade mudeldamisele, lootuses paremini mõista aineringete käitumist ja mõju elusloodusele läbi Maa ajaloo ning ennustada tuleviku keskkonna muutusi. Informatsiooni mineviku keskkonnatingimuste kohta ammutatakse peamiselt settekivimitest, mis salvestavad endas füüsilist ja keemilist teavet settimise ajal toimunud protsesside kohta. Settekivimitest keemilist laadi keskkonnainfo kättesaamiseks kasutatakse laialdaselt kogukivimi pulberanalüüsi või keemilise leostamise meetodeid, mis võimaldavad toota suurel hulgal andmeid võrdlemise kiirelt. Sellise lähenemise tulemusel on arendamisel mahukad geokeemiliste näitajate ehk nn 'prokside' (ingl k proxy) andmebaasid, mis on omakorda aluseks mudelitele, mille põhjal uuritakse elus ja eluta looduse vastastikmõjusid. Samas sõltub igasuguste mudelite kasulikkus baasteadmistest aineringete kohta, algandmete kvaliteedist, geokeemiliste analüüsimeetodite täpsusest, 'prokside' interpretatsioonidest jms.

Geokeemilise 'proksi' all peame silmas mingit mõõdetavat parameetrit (nt isotoopsuhted, erinevate elementide sisaldused või omavahelised suhted), mis asendab sellise parameetri, millel endal puudub otsemõõtmise võimalus (nt mineviku atmosfääri ja merevee hapniku sisaldus, keemiline koostis ja temperatuur). Näiteks süsiniku ( $\delta^{13}\text{C}$ ) ja väävli ( $\delta^{34}\text{S}$ ) stabiilsete isotoopide stratigraafilised profiilid ja aegread võimaldavad mudeldada muutusi hapniku, süsiniku ja väävli aineringetes läbi Maa ajaloo. Samas tuginevad  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{34}\text{S}$  keskkonnatõlgendused suuresti eeldusele, et C- ja S-sisaldavad mineraalid (nt. kaltsiit, dolomiit, kips, püriit) säilitavad usaldusväärset teavet algse settekeskkonna kohta ning hilisema diagenese, metamorfismi või murenemise mõju on minimaalne. Siiski tuleb settekivimitest salvestunud infosse suhtuda kriitiliselt, sest mineraalide settimine ajas muutuvast pooriveest ja nende hilisem ümberkristalliseerumine võivad ühtlustada, muuta või sootuks kustutada algse geokeemilise informatsiooni, mille mineraalid oma struktuuri salvestasid. Lisaks põhjustavad kogukivimi analüüsi meetodid erinevate settekivimi komponentide segunemise ja saadud tulemused võivad integreerida signaale erinevatel aegadel toimunud bioloogilistest või abiogeensetest protsessidest.

Kombineerides traditsioonilisi geoloogilisi meetodeid kogukivimi ning kõrgresolutsioonilise analüütikaga ~2,1 miljardi aasta vanuse Franceville (Gabon) ja ~2,0 miljardi aasta vanuse Onega settebasseinide (Karjala) materjali uuringutes näitasime, et trendid  $\delta^{13}\text{C}$  ja  $\delta^{34}\text{S}$  andmestikes peegeldavad pigem muutusi kohalikes keskkonnatingimustes ning diagenese progresseerumist orgaanikarikastes setetes, mitte globaalseid sündmusi. Kuna andmestikke nii Franceville kui ka Onega basseinidest on laialdaselt kasutatud paleokeskkondade rekonstruktsioonides, seavad saadud tulemused kahtluse alla varemaste mudelite keskkonnainterpretatsiooni. Siiski on jäänud lahtiseks küsimus, kuidas ühemõtteliselt eristada algseid (bio)geokeemilisi signaale, mis salvestavad infot originaalse keskkonna kohta, hilisemate protsesside omadest? Seetõttu on hiljuti alanud projekti "Millise keskkonnasignaali salvestavad settekivimid?" (Mixed environmental signals in sedimentary successions – MESS, PSG944) eesmärk uurida elementide liikuvust mattumisel, arendada teadmisi geokeemiliste signaalide usaldusväärsemaks tõlgendamiseks ning edendada uudsete kõrgresolutsioon-analüüsimeetodite ja traditsiooniliste geoloogiliste tehnikate kombineeritud kasutust loodusteadustes.

# Geoloogid ja kliima – maailmas ja Eestis

Erik Puura

Eesti Geoloogia Selts, Tallinna Tehnikaülikool

Kliimakonverentsid, kliimaseadused, kliimanõukogud – see on praktiliselt juba kogu maailma igapäevane reaalsus. Kahjuks aga inimene hakkab tõsiselt tegutsema alles siis, kui kahjustused talle endale muutuvad niivõrd suureks, et ilma tegutsemata ei saa lihtsalt enam edasi elada. Näiteid saab siin tuua palju, erinevate kahjulike ühendite jõudmisest ohtlike ainete nimekirjadesse kuni COVID pandeemia aegsete käitumismudeliteni. See tõsiseltvõetavuse aeg ei ole veel jätke jõudnud ning on võimalik, et selleks kulub veel aastakümneid – kuid see on täiesti tühine ajavahemik geoloogilises ajas. Meile muidugi on see kogu meie elu, ning meie lapsed ja eriti lapselapsed näevad tõenäoliselt juba olulisel määral muutunud maailma.

Globaalsel tasandil on geoloogide roll muutunud juba ammu osaks erinevatest inter- ja multidistsiplinaarsetest lähenemistest, ilma geoloogideta ei ole võimalik tänapäevane kliimateadus, tänapäevane ökoloogia, tänapäevane mullateadus. Veelgi laiemas mõttes aga ei ole ilma geoloogideta võimalik kohe kuidagi prognoosida maailma tulevikku.

Huvitavaks küsimuseks on, kas on olemas selliseid geoloogilisi süsteeme ja protsesse, mille kiirendamine annaks vägagi olulise panuse kliimamuutuste leevendamisse. Vastus on jah, olgu selleks kasvõi kaltsiumit sisaldavate alumosilikaatsete mineraalide kiirendatud porsumine. Kuivõrd see on ulme ja kuivõrd reaalsus, vajab täpsemaid arvutusi. Samas isegi Euroopa Liit on jõudnud arusaamisele, et ilma süsinikdioksiidi eemaldamiseta aineriingest kliimaneutraalsust ei saavutata.

Missugused aga on Eesti geoloogia ja geoloogide perspektiivsed arengusuunad seoses kliimamuutustega? On ju ka meil uuritud süsinikdioksiidi sidumist ja ladestamist, samuti töötame ringmajanduse ja tahkete jäätmete kasutuselevõtu lahenduste leidmisega, mis vähendab uute ressursside kasutuselevõtu vajadust.

Lisaks aga on veel üks suund, kus on ilmselgelt vaja geoloogide abi – ja see on kliimamuutustega kohanemine. Eks paljud saavad aru, et ei maksa olla naiivne, Euroopa Liit võib isegi tervikuna luua kliimaneutraalse tehnoloogilise oaasi, kui see majanduslikult välja veab, kuid globaalseid lahendusi ei ole. Seetõttu on selgeks suunaks turvaliste rajatiste rajamine ja looduslike materjalide kasutamine Eesti haavatavuse vähendamiseks nii tormide kui teiste ekstreemsete ilmaolude korral. Praegu liigume jätkuvalt pigem haavatavuse suurendamise kursil.



# Holotseeni meretaseme ja rannavööndi muutused Läänemere idaosas

Alar Rosentau

Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut

Merevee tase ja sellega koos ka rannavöönd on Läänemere piirkonnas teinud pärastjääajal läbi suuri muutusi, millega on kaasnenud esiajaloolise asustuse nihkumine kord mere, kord maismaa poole. Nende muutuste taga on Skandinaavia mandriliustiku sulamine ja sellest tingitud pärastjääegne maatõus ning veetaseme muutused maailmameres. Setetesse talletunud info võimaldab neid muutusi uurida, et selgitada välja seoseid kliimasündmuste, jääkilpide sulamise ja merevee taseme tõusu vahel.

Läänemere nõo eri piirkondadest on tänaseks koondatud üle tuhande merevee taseme kõrgust ja meretaseme trendi kirjeldava vanusemääranguga andmepunkti, mis võimaldavad uurida merevee taseme muutuste ajalis-ruumilisi mustreid Holotseenis. Samuti kalibreerida GIA ehk glatsioisostaatilise tasakaalustumise mudeleid, võimaldades sellega nii paleorekonstruktsioonide kui ka merevee taseme tulevikumuutuste stsenaariumite koostamist. Analüüsides merevee taseme andmeid, joonistuvad välja kolm Läänemere regiooni, kus merevee tase viimase merelise staadiumi jooksul peamiselt kas alaneb, tõuseb või kus meretaseme muutus on kompleksne. Viimast tüüpi on merevee taseme muutused ka Eesti rannikualadel, kus maailmamere veetaseme tõusu aeglustumisel ligi 7000 aastat tagasi asendus meretaseme tõus langustrendiga. Meretaseme tõusu algfaasis ja ka vahetult sellele eelneval perioodil ligi 9000-8500 aastat tagasi oli mitmel pool aeglase maatõusuga piirkondades, sh Pärnu ja Hanö lahes, merevee tase tänapäevasest madalam, nii et osa meie esiajaloolistest maastikest ja võib-olla ka (veel uurimata) kultuuripärandist on nüüdseks jäänud mere põhja. Pärnu lahes annab sellest tunnistust Pärnu jõe vana sängi esinemine lahe põhjas, mis on rannapoolses osas mattunud nooremate mereliivade alla. Viimased uuringud näitavad, et lahe sügavamas osas avaneb kunagine säng ka merepõhjas, avades seal uusi võimalusi veealuse esiajaloolise kultuuripärandi leidmiseks. Transgressiooni tulemusena tõusis meretase Pärnu piirkonnas tänasest uuesti kõrgemale, ujutades üle omaaegsed rannikumaastikud, aga ka rannikul paiknenud mesoliitilised asulakohad. Ettekandes tulebki juttu meretaseme muutuste muustritest ja selle seostest esiajaloolise asustusega Läänemere idaosas. Samuti viimaste aastate avastustega seoses mere alla jäänud Holotseeni maastikega Pärnu lahe põhjas.



# Role of CO<sub>2</sub> Geological Storage in Reaching Climate Targets in the Baltic Sea Region: Technological Prospects and Regulatory Challenges

Alla Shogenova, Kazbulat Shogenov

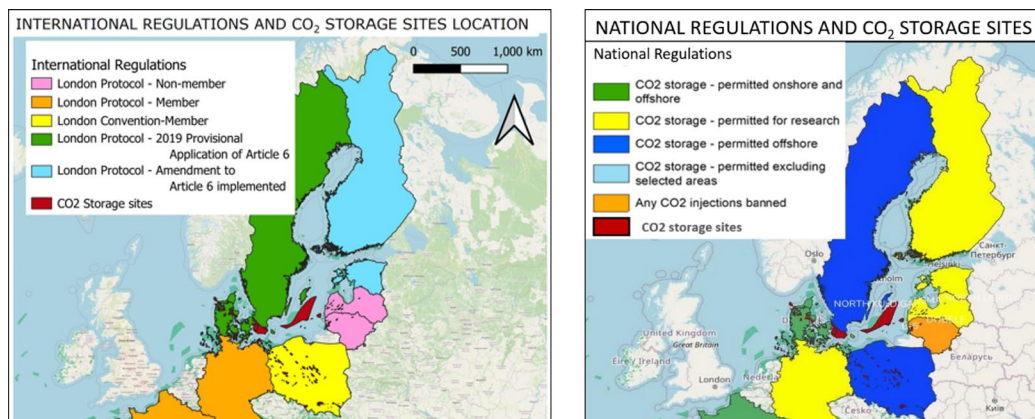
Department of Geology, Tallinn University of Technology

European Union is planning to reduce at least 55% of greenhouse gas emissions (GHGE) by 2030 compared to 1990 and 40% of GHGE by 2030, compared to 2005 with a final target to reach climate neutrality by 2050 (EC 2023). CO<sub>2</sub> capture, transport, use and storage (CCUS) is one of the available technologies permitting to reach ambitious European climate targets. The Net Zero Industry Act proposed by the European Commission (EC) is planning geological storage of 50 Mt of CO<sub>2</sub> annually by 2030 (EC 2024).

Baltic Sea Region (BSR) countries, following increased EC requirements to national energy and climate plans (NECP), made noticeable progress in the implementation of CCUS. However, there is a significant difference in national policies, regulations, and support in the Nordic and Baltic States.

The most exciting jump into CCUS deployment was made in Denmark. The country implemented supporting CCUS policies and regulations and granted exploration permits to two CO<sub>2</sub> geological storage (CGS) sites offshore (Greensand and Bifrost depleted hydrocarbon fields) and pilot and demonstration CO<sub>2</sub> injection permits to the Greensand site. The governmental and public funds are supporting CCUS R&D projects in Denmark including CO<sub>2</sub> capture, utilization, Bio-CCS, CGS onshore and cross-border transport and storage.

Sweden and Finland are developing CCUS projects supported by the EU Innovation Fund, including CO<sub>2</sub> transport by ship for CGS under the seabed in the North Sea. Den-

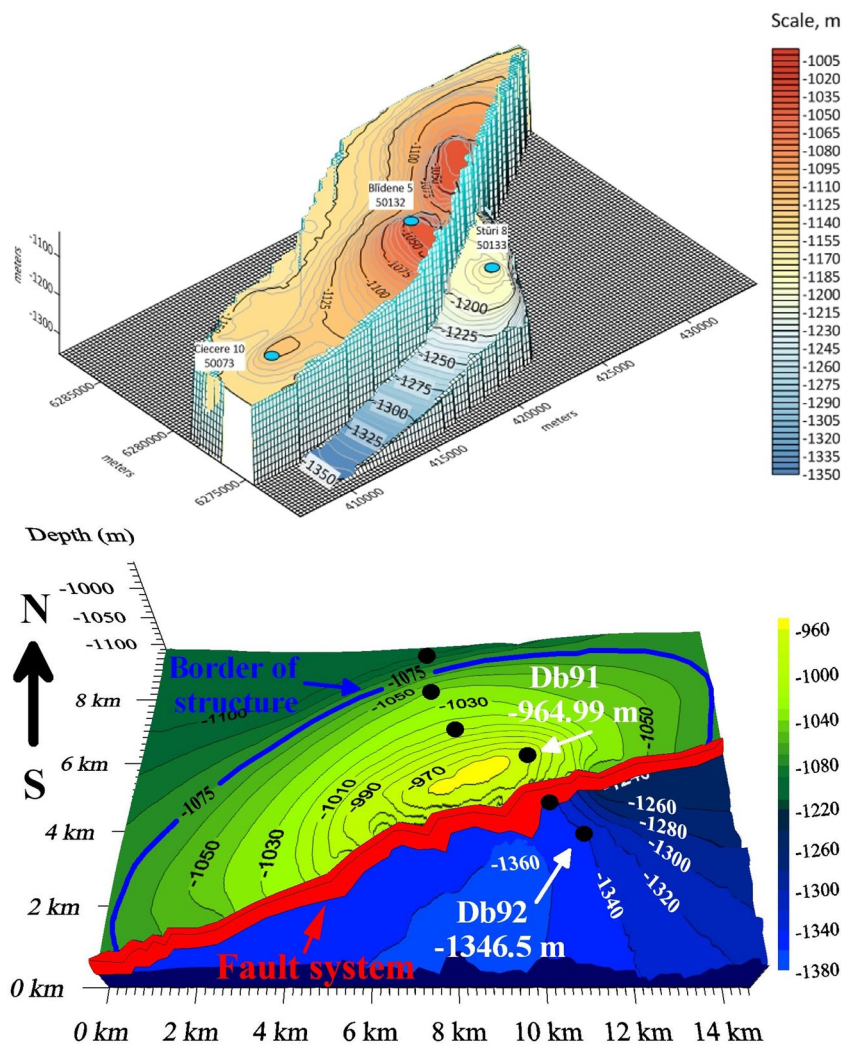


**Figure 1.** Implementation of London Protocol (left) and EU CCS Directive (right) in the Baltic Sea Region countries and location of CO<sub>2</sub> storage sites.

mark and Sweden have implemented national and international regulations needed for cross-border CO<sub>2</sub> transport and storage (Fig. 1).

Significant progress is reported in Poland, where CGS is already permitted offshore and the process to permit industrial-scale CGS onshore is in progress.

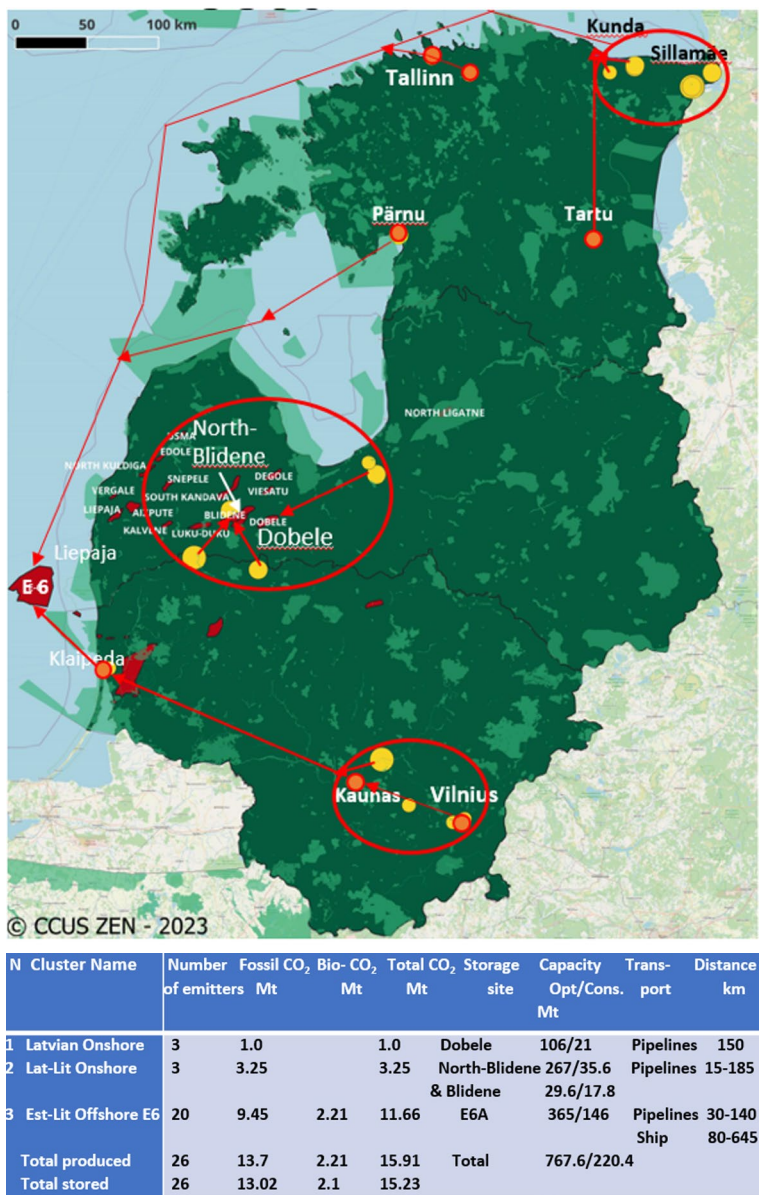
In contrast to the Nordic Region and Poland, implementation of the CCUS technology in the Baltic States is much more uncertain. Large plants in Estonia, Latvia, and Lithuania need to implement CCUS, while the governmental and policy support is very far from the needs of the large industrial CO<sub>2</sub> emitters. At present, industrial CGS is banned in all Baltic States (Fig. 1, right). Latvenergo power plants (PP) and Schwenk Cement Latvia (SC) planned to implement CCUS projects with CGS in Latvia. They communicated with Latvian policymakers about their need to raise the ban on CGS. However, the regulatory situation in Latvia has not yet changed. SC, the owner of the cement plants in Latvia and Lithuania,



**Figure 2.** 3D models of the top of the Cambrian Wuliuian Deimena Formation sandstones in the Latvian onshore storage sites (top – North-Blidene and Blidene, bottom – Dobeļe).

signed in 2024 the contract with a capture technology provider. SC plants participate in the CCS Baltic PCI (European Project of Common Interest) recently included in the EC list of 14 PCI projects on CCS infrastructure. Two cement plants are planning to capture and transport 1.5 Mt of CO<sub>2</sub> emissions annually to the Klaipeda Port by trucks and then by ships for CGS offshore in the Nordic countries.

CCUS ZEN project proposed possible onshore and offshore scenarios for the Baltic States with CGS in the Latvian Cambrian Wuliuian Deimena Formation sandstones, which have very good geological and reservoir properties for CGS. Latvia has enough storage



**Figure 3.** Baltic offshore and onshore scenarios and their technical parameters (Shogenova et al. 2023).

capacity for all Baltic large CO<sub>2</sub> emissions (Shogenova et al. 2023, Figs. 2, 3). Although the old oil shale PP could be soon closed, there is still a need to capture CO<sub>2</sub> from the chemical, cement and waste-to-energy plants and some new PP, like Auvere PP and planned new gas PP in Estonia. Using biomass and co-combustion with bio-waste gives the way for bio-CCS and negative emission scenarios. According to the EU regulations, Auvere PP was built “capture-ready“, meaning that it has space for CO<sub>2</sub> capture. The Baltic offshore cluster includes the large Estonian and Lithuanian fossil and bio-CO<sub>2</sub> emitters, including the Klaipeda waste-to-energy plant and other plants located in central and SE Lithuania. The CO<sub>2</sub> could be transported from CO<sub>2</sub> emitters by pipelines to the port and then by ship to the E6 structure, located 80 km from the Klaipeda Port. Estonian NE cluster, composed of seven emission sources (four plants produced only fossil emissions and three power co-generation plants using both oil shales and biomass for energy production) can use CO<sub>2</sub> pipeline or truck/train transport to Sillamäe and Kunda ports and then ship CO<sub>2</sub> to the E6 storage site in Latvia (615 km by ship from Sillamäe). This cluster can capture and store annually 11.1 Mt CO<sub>2</sub>, including 9 Mt of fossil- and 2.1 Mt of bio-CO<sub>2</sub>. The Baltic onshore cluster includes four of the largest Latvian CO<sub>2</sub> emitters and two Lithuanian plants located close to the Latvian-Lithuanian border (Orlen refinery and Akmenes cement plant, owned by the Schwenk). The cluster will store annually 3.1 Mt CO<sub>2</sub> from three plants (Latvian and Lithuanian Schwenk-owned cement plants and Orlen refinery) in the North-Blidene and Blidene structures. Two Latvian PP (Latvenergo) and one Rigas Siltums plant located in the Riga region will transport about 0.95 Mt CO<sub>2</sub> in the Dobeles storage site in western Latvia using up to 150 km of CO<sub>2</sub> pipelines.

**Acknowledgements.** This study is supported by the CCUS ZEN project, which has received funding from the European Union’s Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101075693.

## References

- EC, 2023. [European Climate Law - European Commission \(europa.eu\)](https://european-council.europa.eu/media/e0000000-0000-0000-0000-000000000000/asset/document/2023/07/20230714_101075693_en.pdf)
- EC, 2024. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Towards an ambitious Industrial Carbon Management for the EU.
- Shogenova, A., Shogenov, K., Sliupa, S., Sliapiene, R. 2023. The Role of CCUS Clusters and Hubs in Reaching Carbon Neutrality: Case Study from the Baltic Sea Region. *Chemical Engineering Transactions*, **105**, 169–174. <https://doi.org/10.3303/CET23105029>

# Uuendused Maa-ameti geoloogilistes avaandmetes ja kaarditeenustes

Ivo Sibul

Maa-ameti geoloogia osakond

Maa-ameti geoloogia osakond haldab ehitusgeoloogia andmekogu ja maavarade registrit, kooskõlastab planeeringuid ja ehitamist maardlate aladel, levitab geoloogilist infot allalaa-ditavate avaandmetena ning erinevates veebiteenustes (X-tee, WMS, WFS, WCS, X-GISi kasutajaliides).

X-GISi platvormil on maapõuehuviliste jaoks loodud neli kaardirakendust:

- *Ehitusgeoloogia*
- *Maardlad*
- *1:50 000 geoloogiline baaskaart*
- *1:400 000 geoloogilised kaardid*

[Ehitusgeoloogia andmekogu](#) hõlmab ligikaudu 40 000 ehitusgeoloogilise/geotehnilise uuringu aruannet, mis on sageli eelduseks ehitusprojekti koostamisele. Uusi aruandeid esitavad uuringute läbiviijad Maa-ametile veebivormil, ruumiandmed ja aruandefailid avalikustatakse Ehitusgeoloogia kaardirakenduse kaudu.

[Maavarade register](#) sisaldab maardlate, mäeeraldiste ja uuringualade infot, millega on kõige lihtsam tutvuda Maardlate kaardirakenduses. Alates 2021. aastast on maavarauuringute teostajad maardlate veebiliidese vahendusel registrisse kandnud enam kui 7000 uuringupunkti (sh puuraugud, puurkaevud, paljandid, kaevandid ja sondeerimispunktid). Originaalkujul on uuringupunktid koos kirjeldustega kättesaadavad Maardlate kaardirakenduses kihi „Kehtiv uuringupunkt“ infopäringuga.

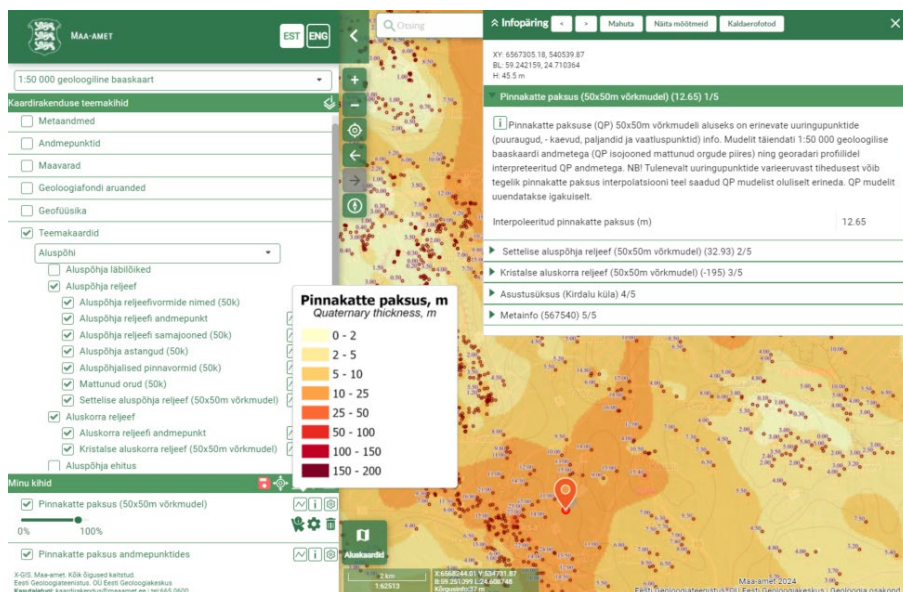
Eri andmebaasidest pärit ühtlustatud uuringupunktid on aluseks [1:50 000 mõõtkavas geoloogilisele baaskaardile](#), mis annab laiahaardelise ülevaate setete, kivimite, põhjavee, maavarade levikust ning omadustest. Kaardikomplekti uuendab Eesti Geoloogiateenistus, Maa-amet rikastab seda täiendavate kihtidega ja avalikustab oma esituskuju. Järgnevalt tutvustatakse viimase aasta jooksul [1:50 000 geoloogilise baaskaardi rakendusse](#) lisandunud olulisemaid kihte, antakse ülevaade uutest maapõue kirjeldavatest teenustest.

Peamiselt uuringupunktide alusel loodi ja avaldati Maa-ameti teenustes 2023. aastal pinnakatte paksuse, settelise aluspõhja reljeefi ja kristalse aluskorra reljeefi 50 m eraldusvõimega võrkmodelid kogu Eesti kohta.

Pinnakatte paksuse mudel annab kasutajale hetkega ülevaate ala kvaternaarisetete paksusest – veebikaardi infopäringu aknas kuvatakse eelnevalt klikatud 50x50 m suuruse ruumipunkti paksusväärtus (joonis 1). Alati tasub meeles pidada, et hõredama algandmes-tiku korral võib tegelik pinnakatte paksus tublisti erineda interpoleerimisel saadud väärtu-sest. Siiski aitab võrkmodelilt saadav lihtne tõlgendus rahuldada nii kogenud geoloogi kui juhusliku kasutaja teadmishimu.

Aluspõhja reljeefi kõrgust iseloomustava mudeli saamiseks lahutati tänapäevasest maapinna kõrgusmudelist pinnakatte paksuse mudel. Seega, mida rohkem kvaliteetseid andmepunkte on kaasatud pinnakatte paksuse mudelisse, seda täpsem on aluspõhja reljeefi võrkmodel.





**Joonis 1.** Pinnakatte paksuse 50 m lahutusega võrkmuudel Harjumaalt Saku vallast [1:50 000 geoloogilise baaskaardi rakenduses](#). Legendiploki „Minu kihid“ kaudu kihte lisades saab infopäringu aknas korraga vaadata kolme võrkmuudeli (pinnakatte paksus, aluspõhja reljeefi kõrgus, aluskorra reljeefi kõrgus) interpoleeritud väärtusi.

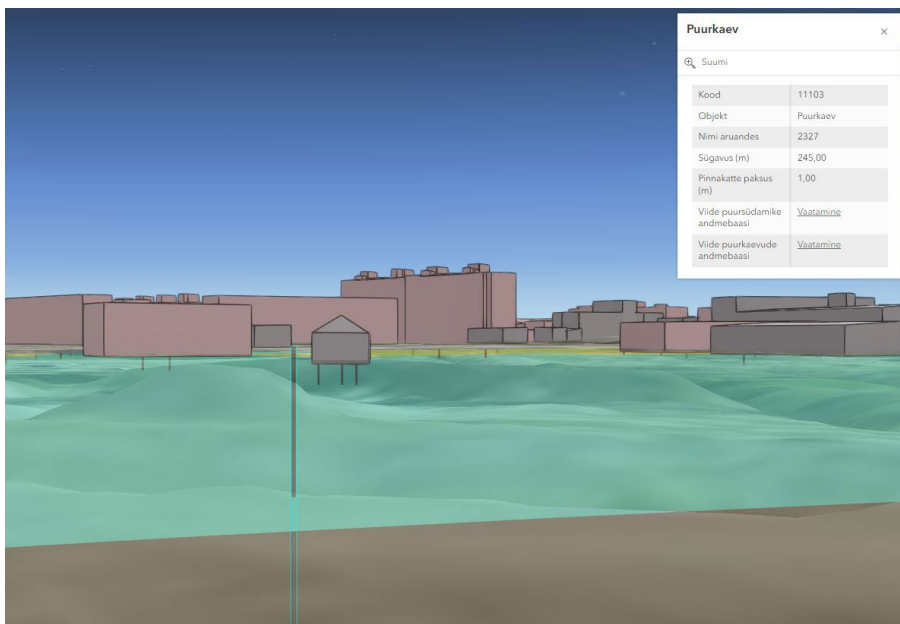
Kristalise aluskorra reljeefi kõrgust väljendav võrkmuudel on loodud süvapuuraududele ning 1:400 000 aluskorra kaardi samakõrgusjoontele tuginedes. Kuna selle mudeli aluseks olevate uuringupunktide tihedus on teiste võrkmuudelite lähteandmetest ligi 100 korda väiksem, on ka tulemus ebatäpsem.

Andmekogudesse lisandub pidevalt uusi uuringupunkte, seetõttu värskendab Maaamet geoloogilisi võrkmuudeleid regulaarselt. X-GISi kaardirakendusi koos võrkmuudelitega saab kasutada erinevate seadmetega, näiteks tahvelarvutiga uuringualal viibides või nutitelefoniga looduses matkates. Lisaks kaardirakendusele on võrkmuudelistel muidki levituskanaleid: GIS-tarkvarade kasutajatele on analüüside teostamisel abiks [WCS teenus](#); nagu teisi avaandmeid, saab ka mudeleid geoportaalist [alla laadida](#).

Maa-ameti lähiaastate sihiks on 3D-andmete hõive, ajakohastamine ja levitus. [Geo3D ärianalüüs](#) soovib lisaks juba laekuvatele maavara uuringupunktile hakata masinloetavalt koguma ehitusgeoloogiliste uuringupunktide infot. Enne hoonete ja taristuobjektide rajamist on tarvis detailset teavet ehitusaluse pinnase kohta, maavarade ja põhjavee levikust võiksime alati omada paremat ettekujutust.

2024. aasta alguses avalikustatud [Geoloogia 3D kaardirakenduses](#) (joonis 2) kuvatakse kogu Eesti ulatuses järgmisi kihte:

- *hooned (LOD2 detailsuses)*
- *uuripunktid (puuraudude ja -kaevude allapoole venitatud silindrid)*
- *kolm kõrgusmuudelit (maapind, 50 m lahutusega aluspõhja reljeef ning aluskorra reljeef)*
- *ehitusgeoloogia uuripunktid (LOD1 detailsuses, allapoole venitatud sügavaima uuripunkti alusel)*



**Joonis 2.** 3D vaade Kiviõli linnast koos LOD2 hoonete, geoloogiliste ladestute, uuringupunktide ja ühe puurkaevu infopäringu tulemustega (väljavõte [Geoloogia 3D kaardirakendusest](#)).

Edaspidi täiendatakse rakendust uuringupunktide proovivõtuintervallidega, geoloogiliste üksustega, maavarade registri objektidega. Kindlasti jääb alles harjumuspärane 2D-kaart, kuid 3D kiirendab ning avardab maapõue analüüsi- ja visualiseerimise võimalusi:

- *uute geoloogiliste uuringute kavandamine*
- *indikatiivne vundeerimise keerukuse hindamine*
- *ehitiste, teede jt taristuobjektide projekteerimine ning eksploatatsioon*
- *maavaraplokkide ja settekehade mahuarvutused, virtuaalsed puuraugud ja läbilõiked*
- *nõlvade ja mahajäetud kaevanduste stabiilsuse hindamine*
- *maavara kaevandamisega kaasneva müra jt keskkonnahäiringute hindamine*
- *põhjavee liikumise ja reostusohu hindamine*
- *geoturism, liitreaalsus paljandite jt huvipunktide kirjeldamisel*

Eraldi tasub rõhutada valdkonna populariseerimise eesmärki. Geoloogia 3D rakendus loob eelduse, et ka need kasutajad, kes pole varasemalt geoloogiliste andmete tõlgendamisega kokku puutunud, saavad koos muude riiklike ruumiandmetega kiire ja selge ülevaate Eesti maapõue ehitusest. Andmete väärtõlgendusi aitavad vältida kihtide adekvaatne metainfo ja üheselt mõistetavad usalduspiirid.

Maa-ametisse on oodatud kõik ettepanekud nii olemasolevate kui uute kaarditeenuste arendamiseks, samavõrd hinnatud on kasutajate tagasiside avaandmete koosseisu ja kättesaadavuse osas.

# Rohe-amokk ja maavaramajandus: mis teeb meid õnnelikumaks?

Alvar Soesoo

Tallinna Tehnikaülikooli geoloogia instituut, Eesti Geoloogiateenistus, Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut

*DISCLAIMER: Järgnevad väljaütlemised ei peegelda autori tööandjate seisukohti.*

Me elame suurte muutuste ajastul. Tarbimis- ja muu keskkonnakoormus ületas juba eelmise sajandi keskel planeedi keskkonna naturaalse talumise piiri. Nüüd lisanduvad sõjalise kaitse- ja ründetegevusega seonduvad muutused, mille ulatusest ja iseloomust pole meil isegi täit aimdust. Lähima paarikümne aasta tulevikuprognosis aga näitavad selgelt energia ja maapõueressursside tarbimise olulist kasvu.

Paljud riigid on algatanud oma rohepoliitika. Poliitiliste atribuutidega on asunud piirama ühtesid tegevusi ja edendama teisi tegevusi, tihti nende esimeste arvelt. "Roheliikumisega" on seotud paljud populaarsed *slogan*'id, mille sisusse süüvimiseks ei ole inimestel aga enam aega. Ei ole ime, et need *slogan*'id tekitavad palju segadust ning rohepöörde mitte väga hästi defineeritud eesmärkide poole tormamine tekitab omakorda arusaamatusi. Tegu on rohe-amokiga. Paljud ettevõtjad on kasutanud mitmeid *slogan*'eid oma müügitgevuses, riik, aga ka ülikoolid on loonud uusi rohe-kliima-ringmajanduse-ja-teab-mis haa-kuvaid keskusi või professuure. Roheteemast võib praegu rääkida vaid „ühte pidi“, kriitika ei ole paraku tolereeritud (veel) ja kriitikud (või ka muud mõtlejad) tühistatakse, nivelleeritakse ja lükatakse vahel ka tema professionaalsest tegevussfäärist üldse välja. Samas jääb majanduskasv jätkuvalt oluliseimaks parameetriks, mille alusel püütakse hinnata riikide edukust ja võimsust, tulevikus juba ka kaitsevõimekust. Pääaegu kõik poliitikad, sealhulgas Rohelepe, toimivad majanduskasvu kasvatamise või vähemasti säilitamise suunas.

Inimese olemus ja põhisoo on olla õnnelik, olla vaba probleemidest. Selleks ei pea olema isegi budist, et sellest aru saada. Õnn on tänapäeval raskesti defineeritav ning meie klassikalise koolihariduse tõttu oleme selle mõistmisest kaugenenud. Samas töötavad tuhandad inimesed selle kallal, et igal aastal reastada riike õnnelikkuse järgi. Maailma riikide 2023. a õnnelikkuse aruandes (World Happiness Report) on Eesti 39. kohal. Aastaid on juhtinud tabelit maailma õnnelikuma riigina Soome, temale järgnevad Taani, Island, Iisrael, Madalmaad. Eestist õnnelikum on Leedu, olles 37. kohal. Läti asub 50. kohal. Miks me ei ole siis õnnelikud? On kurioosne, et õnnelikkuse tabeli tipp-riigid maksustavad oma kapitali üsna kõrgelt. 2023. a OECD andmete alusel on „kapitalilikkuvuse“ maksud Taanis 42%, Soomes 34%, Rootsis 30%, Norras 37,8%. Eesti on silma paistnud pigem madalate kapitali-maksudega (20%), aga vae oleks loota, et Eesti inimesed ennast õnnelikumad tunneksid, kui lähiaastateks kavandatud uued maksud jõustuvad. Mõistlikku ja jätkusuutlikku majandussüsteemi ei ehita üles aastaga, ilmselt mitte ka viie aastaga.

Üheks komponendiks riigi majandussüsteemis on kohalikud ressursid ja nende kõrgeima väärimdamise võimalikkus. Kui praegune tarbimise ja majandamise süsteem jätkub, siis praktiliselt kõik loodusressursid, mis Eestis on olemas, lähevad „kaubaks“. Mis väärtusega, see on ideaalis eestlaste otsustada, reaalsuses on ka need otsused kinni poliitikas.



Rohepööramise kavandatud eemaldumine fossiilsetest kütustest esitab inimkonnale uue ja senitundmatu tehnoloogilise väljakutse. Kust tuleb ressursid uuele elektritranspordile, päikese- ja tuulejaamadele? Ainuüksi elektritranspordile osaline üleminek tähendaks kordades või mitmekümnetes kordades kasvavat vajadust mitmete metallide järele. Tarbijatena lisanduvad uued kosmose- ja militaartehnoloogiad. On täiesti ekslik arvata, et praegune visioon elektriautodele üleminekust ja laialatuslikust teenuste digitaliseerimisest suudaks vähendada koormust Maa keskkonnale lähima paarikümne aasta jooksul. Rohepööre ei ole tegelikkuses oma sisult midagi uut. Keskkonda säästvam inimeste igapäevane tegevus kahtlemata toimib ja paljudes kohtades on toiminud rohujuuretasandil ning arendus-, energiamajandus- ja tootmistegevuses on kehtestatud ranged normatiivid, mida ei ole ajaloos varem kohatud. Kiirelt kasvav Maa rahvastik aga on tasandanud need positiivsed mõjud olematuks.

Klaustro- ja ksenofoobse maailmakorralduse süvenedes (COVID'i-järgne ja kasvavate sõjaliste konfliktidega ühiskond) kaitsevad riigid oma omandit, eeskätt oma ressursse. Maa elanike kasvu tagapõhjal läheb see võitlus aina teravamaks. Hämmastav on siinjuures, et Euroopa Liidu riigid ei tegelenud mitmekümneid aastaid oma maapõueressursside uuringuga, sealhulgas ka Eesti. See viis olukorda, kus osa tähtsaid ressursse on jaotunud üksikute riikide kätte, kes kontrollivad toormete tarneahelaid, seda nii hinna kui koguste poolest.

Maailmas, kus globalism on asendumas proteksionismiga on oluline, et ka Eesti riik vaataks üle oma majandamise mehhanismid, oma maapõueressursid, pigem kogu loodusressursside valdkonna ning kohastuks kaasaegse maailmaga. Eesti ei ole maailmas riik, mis suudaks oma poliitikaga domineerida ning mõjutada suurriike oma otsuseid pöörama, küll aga suudaks riigina ja säästliku riigina ellu jääda ja hoida eestlust ja Eesti mõtteviisi. Õnneks on kohalike maapõueressursside uuringutesse viimastel aastatel oluliselt panustatud ja meie teadmised maavaradest ja nende rikastamistehnoloogiatest on oluliselt paremad kui paarkümmend aastat tagasi. Selge on see, vaatamata poliitilistele tõmbetuultele ja mõningasele negatiivse maiguga konkurentsile energia-ettevõtete vahel, on Eesti põlevkivil tulevikku veel aastaid. Tänapäevale vastava „fosforiidi-poliitikaga“ oleme ehk pisut hiljaks jäänud, aga huvi nii väetise- kui ka haruldaste muldmetallide tööstuse arendamise vastu on ka rahvusvahelisel tasandil olemas. Et maavaratööstus rikastaks ja rõõmustaks eeskätt Eesti inimest, sellel teel on meil pisut astuda. Ja õnnelikkuseni pisut rohkem!

# Quo vadis, geoloogiline kaardistamine?

Kalle Suuroja

Eesti Geoloogiateenistus

Seda ma ei oska öelda, kuhu geoloogiline kaardistamine tänasel rahutul ja tavaarusaamu murdval ajal välja jõuab, aga selle kohta kust Aprillikonverentsi nime kandev ja geoloogide-kaardistajate poolt ellu äratatud ettevõtmine alguse, oskan ma üht-teist küll öelda.

Mul on käes tagasihoidlik kutse, millel kirjas, et 1. aprillil 1988. aastal toimub Tallinna Matkamajas geoloogide ametipäevale pühendatud aktus, aprillikonverents ja kontsert. Kutse saatjaks on märgitud tänase Eesti Geoloogiateenistus (EGT) eelkäija, Eesti Geoloogiauuringute Tootmiskoondis „Eesti Geoloogia”, kus tollal töötas 550 inimest ja mis allus NSVL Geoloogiaministeeriumile. Ka järgneval neljal aastal (1989–1992) tähistasid TK „Eesti Geoloogia“ Keila ekspeditsiooni töötajad geoloogide päeva Aprillikonverentsiga.

Uute aegade saabudes kasvas huvi seni Keilas vaikselt peetud ürituste vastu ja nii alustati 1993. aasta 2. aprillil Eesti Geoloogiakeskuse aprillikonverentside korraldamist. Aprillikonverentsi korraldajateks olid geoloogid-kaardistajad. Muidugi oli nime valikul määravaks juba 1988. aastal kõnekeelest käibele läinud „aprillikonverents“, mis meenutas paljudele ajaloost tuntud Lenini kõnet 1917. aasta aprillis ja mille põhipunktidest koostati hiljem rahu ja leiba lubavad „Aprilliteesid“. Arvestades eelöeldut ja aprillikonverentsi toimumist 1. aprilli paiku, rõhutasid konverentsi korraldajad, et eriti oodatud on ettekanded, mis lisaks teaduslikule ivale kannaks endas ka naljatera.

1993. aasta I Aprillikonverentsil oli 60 osavõtjat ja sellel peeti 8 ettekannet. Mingeid igavikulisuseele pretendeerivaid ülestähendusi, kui mitte arvestada osavõtjate isiklikke märkmeid ja mälestusi, sellest konverentsist ei ole säilinud. Keilas toimusid konverentsid kuni 1997. aasta V Aprillikonverentsini ehk riigiettevõtte Eesti Geoloogiakeskuse likvideerimise ja geoloogide Keilast ära kolimiseni. VI–XIII Aprillikonverentsid toimusid EGK ruumides Kadaka tee 82. Alates 2000. aastast hakati konverentsi teese avaldama EGK Infolehes. Osavõtjate arvu kasvades jäid EGK ruumid kitsaks ja nii sai 2006. aastast konverentsi toimumiskohaks TTÜ Küberneetika Instituudi maja Akadeemia tee 21. Sealtpaale hakkas Aprilliteeside nime all ilmuma ka on konverentsiks trükitud teeside kogumik. Aastatel 2012 kuni 2015 koostati konverentsi ettekannete põhjal ka mõned pikemad artiklid, mis avaldati Eesti Geoloogiakeskuse Toimetistes. Viimastel aastatel, kui osavõtjate arv ületas juba 200 piiri, toetas konverentsi korraldamist ka Keskkonnainvesteeringute Keskus (KIK). Kuid just siis, kui konverentsi populaarsus oli jõudnud haripunkt, loobus KIK ürituse toetamisest ja äsjaloodud EGT selle korraldamisest.

Tore on tõdeda, et viimastel aastatel on see geoloogiahuviliste pere liitev traditsioon jälle fööniksina üles tõusnud.

# Pärnumaa jõekallaste maalihkeohtlikkusest

Annette Talpsep

IPT Projektijuhtimine OÜ, Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut

Pärnu maakonna suuremate jõgede kallastel esineb aeg-ajalt maalihkeid – protsesse, mille käigus libiseb pinnasemass nõlvas mööda lihkkepinda alla jalami poole, et saavutada uus, tasakaaluline olek. Audru, Sauga, Pärnu ja Reiu jõgede puhul on maalihete toimumine looduslik nähtus, mille peamiseks eeldusteks on nõrga viirsavi esinemine geoloogilises läbilõikes ning küllaltki suur nõlvakalle. Maalihked mõjutavad piirkonna planeeringuid, kuna järjest enam soovitakse jõekaldaid kasutada vabaajategevusteks ja surve jõekallastele ehitada on aja jooksul üha kasvanud. Enim puudutab maalihete probleem Pärnu linna haldusterritooriumit ja Tori valda. Nende kohalike omavalitsuste tellimisel tehti uuringud, mille eesmärgiks oli hinnata jõekallaste lihkeohtlikkust ja anda soovitusel jõekallaste võimalikuks kasutamiseks ka lihkeohtlike lõikudel.

Kuigi Pärnumaa maalihete põhjused on tänu varasematele töödele hästi teada, jäävad viimased jõekallaste lihkeohtu kaardistamised 2000ndatesse aastatesse ega kata kogu huvipakkuvat ala. Võrreldes tolle ajaga on andmete hulk ja kvaliteet märkimisväärselt kasvanud, mis võimaldab jõekallaste lihkeohtlikkust täpsemalt kaardistada. Selleks kasutati viimaseid LIDAR-i kõrgusandmeid, mille põhjal tehti nõlvakallete kaart ja eraldati kriitilise nõlvakallega alad. Kallaste geoloogilise ehituse selgitamiseks kasutati andmeid ehitusgeoloogilistest uuringutest ja geoloogiliselt kaardilt. Lisaks võeti arvesse dokumenteeritud maalihete infot (asukoht, mõõtmed) ja täiendati seda reljeefikaardilt leitud oletuslike maalihetega.

Kombineerides kolme eelnimetatud andmekihti – nõlvakalle, geoloogiline ehitus ja varasemad maalihked – jagati jõekaldad kolme klassi: lihkeohtlik, potentsiaalselt lihkeohtlik ja ohutu. Lihkeohtlikel jõelõikudel esineb nõlvas viirsavi, nõlvakalle ületab kriitilist ( $>7-10^\circ$ ) määra ja läheduses on varasemalt toimunud maalihkeid. Kõige ohtlikumad lõigud paiknevad Audru ja Sauga jõgedel, kus on toimunud enim maalihkeid, samuti on sealsed maalihked olnud suurimad. Ka Pärnu jõe suudmepoolses osas on ulatuslikud lihkeohtlikud lõigud, samuti on lihkeohtlik Reiu jõe alamjooks. Potentsiaalselt lihkeohtlikuks loetakse jõekaldad, kus looduslikud eeldused lihke toimumiseks on olemas, kuid nõlv on madalam ning läheduses pole teadaolevalt maalihkeid esinenud. Tavaliselt esinevad sellised lõigud ülemineku- ja ohtlikust klassist ohutuks. Maalihkeohtu pole jõekallastel, mis on lauged ja madalad või puudub läbilõikes nõrk savi, näiteks Audru jõe alam- ja ülemjooks, Sauga jõe ülemjooks ning Pärnu jõe lõigud, mis on lõikunud moreeni või liivakivisse. Reiu jõel esinevad valdavalt liivalihked – maalihked, mille lihkkepind ja lihkekeha paiknevad savi katvas merelises liivas. Liivalihete mõõtmed on võrreldes savilihetega tagasihoidlikumad ja nende toimumiseks peaks kriitiline nõlvakalle olema suurem ( $>15-20^\circ$ ). Eraldi saab välja tuua Pärnu jõe linna piires, kus veepealne kaldaosa on küll lauge, kuid jõgi on sügav ja lihkeohtlik nõlv jääb vee alla. Seetõttu ei saa ka seal kaldaid ohutuks lugeda.

Uuringute praktilise väljundina on soovitatav lihkeohtlikel lõikudel ehituskeeluvööndit suurendada – tavapärase 50 m asemel sõltuvalt jõest 75 m või 100 m. Küll tuleb välja tuua,

et lihkeohtlikud alad on määratud ettevaatlikkuse printsiibi alusel kõige ebasoodsamaid eeldusi silmas pidades. Need on alad, kus maalihete toimumist ei saa välistada, kuid see ei tähenda, et kõikjal kohe maalihked toimuksid. Teatud tingimustel võiks kohalikel omavalitsustel olla õigus lubada ehitamist ka jõe lähedal, kuna jõgesid ja kaldaala soovitakse aktiivselt kasutada. Ehituskeeluvööndi vähendamiseks tuleks lihkeohtlikul alal teha stabiilsusuuringud koos stabiilsusarvutustega, mis tõestavad konkreetse lahenduse ohutust või võetakse nõlva stabiliseerimiseks kasutusele vajalikud meetmed.

# Kliima ja geoloogia

Siim Veski

Tallinna Tehnikaülikooli geoloogia instituut

Globaalne soojenemine, muutused biosfääri koostises ja toimimises, ning ohtlike keskkonnanihete kaskaadini viivate murdepunktide võimalikkus, nõuavad Maa kui süsteemi toimimise paremat mõistmist nii mineviku, oleviku kui tuleviku aspektides. Kuidas on viimaste aastamiljonite kliima seotud Maa kui süsteemi arenguga üldisemalt, aga vaatleme ka meile lähema aja – pärastjääaja – kiirete kliimamuutuste põhjuseid. Setetest on võimalik bioloogilisi ning geokeemilisi parameetreid kasutades taastuletada nii pärast- kui jääaegseid kliimamuutusi, maastike ja veekogude arengut, maakasutuse mõju maastike muutumisele ja veekogude seisundile, aga ka kliimale üldisemalt. Millised on paleoökosüsteemide reageerimismustrid kliimastressile ja inimõjule? Sellest saab kuulda Aprillikonverentsi ettekandes.

# Säästva arengu seadusest mahekultuurse elulaadini

Rein Einasto

Tallinna Tehnikakõrgkool

## Looduskasutuse suunised

Lähtudes ÜRO Keskkonna- ja Arengukonverentsi otsustes (Rio de Janeiro 1992) sätestatud põhimõtetest, samuti 20 aastat varem ilmunud Rooma Klubi esimese raporti „*The Limits to Growth*” (1972) järeldustest, on Eestis 22.02.1995 vastu võetud säästva arengu seadus (RT I 1995, 31, 384), mis jõustus 01.04.1995. Kooskõlas jõustunud seadusega ja silmas pidades turumajandus-vabaduse piirangute möödapääsmatust tõestavaist tekstidest (Radermacher 2005), töötati välja säästva arengu riiklik strateegia „*Säästev Eesti 21*”, mis kinnitati valitsuses 17.03.2005, riigikogus 14.09.2005 (RT I 27.09.2005, 50, 396). Sõnastatud seadus ja strateegia eeldavad looduskeskkonna kasutamist reguleeriva seadlusandluse vastuvaidlematut järgimist, planeeringutel avalikkuse ja kohaliku elanikkonna kaasamist. Öeldust järeldub, et teadvat seadusrikkumist tuleb käsitleda kuritegevusena.

Säästlik majandamisviis kaevandamis- ja ehituspoliitikas on oluliselt piirav kahes valdkonnas:

- *enne uute kaevanduste rajamist tuleb olemasolevate karjääride jääkvarud väljata,*
- *ehituseluseks planeeritaval alal tuleb kasulik maare enne ehituste püstitamist väljata.*

Mõlemas valdkonnas on säästva arengu seadusest tulenevaid nõudmisi valitsusasutused (kõigepealt keskkonnaamet) aastakümneid eiranud, vallandades sellega riikliku kuritegevuse.

## Näited

Tallinnas ja lähiümbruses ehitatakse ka pärast säästva arengu seaduse jõustumist Lasnamäel, Harkus jm kvaliteetse ehituspae **peale**, seda eelnevalt väljamata. Suurte kaubanduskeskuste kõrvale rajatud parklad on samuti ehituspae **peal**, mis peaksid keskkonnasõbraliku ruumikasutuse alusel paiknema nende keskuste all. Maarjamäel Lahekalda elamurajooni rajamisel kordus sama. Kui keskkonnaaktivistidega püüdsime Tallinna peaarhitektilt (tol ajal Ignar Fjuk) saada selgitusi, taotledes ametlikku vastuvõttu, ei leidnud ta selleks võimalust, vaid koridoris käigu pealt kostis, et temal pole õigusi uuele maaomanikule (MERKO) eramaal ettekirjutusi teha.

Kaasaegne kaevandamistehnoloogia võimaldaks keskkonnasõbralikult lõhkamiseta väljata ehitusalune paas ka linnas, hoonetevahelises ruumis. Mõttevahetuses Tallinna Paekivitoodete tehase (Reval Stone) kauaaegse direktori Vladimir Libmaniga, kellega tutvusin I paekonverentsil 23.04.1990 Glehni lossis, väljendas ta valmisolekut Lasnamäel vundamendisüvistest ehituspaas väljata, kui selleks vastavad riiklikud kokkulepped sünniks. Reval Stone on Eestis ainus kadudeta tootmiseni jõudnud pae-ettevõtte, kus sõelmetest paelliiva toodetakse ja saviollus kansasööda-tablettideks ja niiskustökkeplaatideks vormitakse.

Harjumaa maavarade teemaplaneeringu keskkonnamõtjude strateegilise hindamise

eelarutelul Tabasalus 02.03.2023 rõhutati järjekordselt paekillustiku ebapiisavat varustuskindlust, põhjendades uute karjäärade avamise hädavajalikkust, käsitlemata ehitiste alla planeeritava kvaliteetse ehituspae varude väljamise seadusest tulenevaid kohustusi. Arutelul selgus, et teede-ehitajad on paekõvikutel kohe valmis tee süvistama ja väljatava ehituspae samas killustikuna kasutama.

Uute paekarjäärade rajamise soovide ja kohalike elanike vastuseisu aastatepikkused kohtuvaidlused kõnelevad samast elukeskkonna hoidmise ja loodusvara säästliku kasutamise probleemist, millele geoloogid on omalt poolt kohustatud omapoolsed teadmispõhised seisukohad esitama. Miks mitte nüüd ja kohe, aprillikonverentsil? Küsimus ka geoloogidele seaduserikkumisest kui kuriteost:

- *Kas arusaamatus või aru saamatus?*
- *Kas kättesaamatus või käte saamatus?*

Põhimõisted planetaarse keskkonnakriisi mõistmiseks süsteemis LOODUS ja INIMENE:

**LOODUS** – kõiksus, kogu loodu on isereguleeruv ökosüsteem, kus kõik on kõigega seotud. Looduse toimimise ja arengu eelduseks, alusväärtusteks on eluvormide mitmesugusus, elurikkus. **Suur Loodus eelistab väikseid:** läbi kogu miljardeid aastaid kestnud ELU arenguloo. Liiga suured on ikka ja jälle kliimamuutustes välja surnud, väikesed elavad edasi, sageli tänaseni.

**INIMENE** liigina *Homo sapiens* on Looduse osa ja samas – looduse vastand (dialektiline vastandite ühtsus), kelle liigitunnuseks, seega põhiolemuseks on **vaimsus** ja selle loomingu, toimimise tulem – **kultuur**. Inimesest on saanud looduse suurim vaenlane, kes röövmajandusega üha kiirenevalt ja enesekeskselt hävitab ümbritseva looduse ja omaenda elukeskkonda. Looduse ja inimarengu eelduseks on paikkonna looduse omanäolisus ja eripäraste rahvuskultuuride mitmekesisus. Ühiskonnas on liigsuurtega sama, nagu looduses: impeeriumid püsivad lühiaegseltki ainult vägivaldjal, mitte isereguleeruvalt. Ühiskonna elukorralduse aluseks peab saama **looduse esmasusest** lähtuv tegevus, teisiti ei saa inimene kesta läbi aegade. Nüüd ei saa inimene enam olla kõigi väärtuste mõõt. Inimese ja looduse harmoonilise kooselu kestmise võimalikkus eeldab inimkesksusest loobumist, looduse esmasuse tunnistamist kogu ühiskonna elukorralduses (Kull 2018).

**KULTUUR** (*sensu lato*) on inimese mõtte-, tunde- ja elulaad, inimese loodu, looming, samas ka kogu inimarengu siht, mitte ainult kunsti- või teaduskultuur. Majandus on osa kultuurist vahendina kultuurselt ja tervelt (kehalises, vaimses ja sotsiaalses heaolus) elada. Jaan Eilart (1988) on väljendanud: „*Et saada iseendaks kultuuris (nii nagu looduses), on tarvis aega ja omaetteolekut. Alles siis saame kogutut jagada rahvaste suhtlemise ja kultuuri vahetuse igijäävusse*”. **Elu ees aukartuse** õpetusega tõi Albert Schweitzer (1972, 1984) maailmavaatelse uuenduse suhtumises loodusse ja eetilisse puhtusse kultuuris. Selles vaimus sündis ka süvaökoloogia (Näess 1995). Ökosüsteemsus ühiskonnas on kogukondlik harmoonia kohaliku looduse ja inimese *vahel* perekonnast rahvusriigini, rahvusriigist planeedi tervikuni (Loorits 1951).

**RAHVUS** on ökosemiootikute järeldusel kõige looduslähedasem inimkooslus, sotsioloogide kinnitusel suurim sotsiaalne subjekt, Harri Moora (1918) väljenduse järgi kultuuriline indiviid. Rahvus on pool-looduslik inimkooslus (Herder 1784, eesti keeles 2019; Moora 1918; Piirimäe 2021 jt). Väikestest saab ühestumisel suur tervik vaimus. Rahva rahvuseks kasvamise oluliseks eeldusteks olid eestlastele üldine kirjaoskus ja talude pärieksostmine (Jansen 2000, 2004), samuti elanikkonna kodanikkonnaks kujunemine (Vooglaid 2019). Iseseisvate rahvusriikide ühenduses terendab inimkonna uus, harmoonilise kestliku eksistentsi paigavaimust lähtuv kogukondlik, looduseadustega kooskõlas olev rahvusriiklik maailmakord. Rahvusülesed ühendused on kestvad just paigavaimus. Eestlastena kuulume

loodusmaastikuliselt ja vaimselt Põhjalasse, mida Edgar Kant (1935) käsitleb Balti Vahemerd ümbritseva Baltoskandiana, Põhja-Euroopa suurregioonina.

**KASVAMINE** on looduslik isereguleeruv protsess sündimisest täiskasvanuni. Evolutsioonis soodsais toitumis- ja paljunemistingimustes on liigkasv kujunenud **gigantismiks**, põhjustades kliimamuutuste mõjul liigsuurte väljasuremise (näiteks ürgvähilised Siluris, hiidsisalikud Kriidis). Küsimus, kas liigile *Homo sapiens*, st inimsoole, on viimase sajandi kapitalism väljasuremiseelne gigantism oma plahvatuslikult ja planetaarselt kasvava hävitava mõjuga elukeskkonnale?

**OMAILMASTUMINE** (Uexküll 2012) kasvavas üleilmastumises on möödapääsmatu viis säilitada ja süvendada eripäraste paikkondade looduse ja rahvuskultuuride mitmekesisus. Süvenedes strateegia „Säästev Eesti 21“ ettepanekutesse keskkonnakriisist väljumiseks, leidsin üllatava ühtelangevuse Mahe-Eesti suundumustega ja mahekultuursete taotlustega, kuidas vägivallatult ja vastandumata rohelisse maailma minna,

- kus **säästlikkus**, kogu mõtte- ja elulaadi muutus saab rohemajanduse eelduseks;
- kus **loobumine** ületarbimisest, hedonismist viib süvakultuursesse elulaadi;
- kus **puhas** vaimne keskkond välistab tõejärgse vale, liigkasumliku ahnuse;
- kus **võim** juhindub vägivallatult teadmise- ja teaduspõhisest vaimust;
- kus **kodu ja pere, paikkondlik** kogukond saavad taas otsustavaks riikide siseeluse;
- kus **otsustamine** võimuhierarhias pööratakse rohujuure tasandile;
- kus **rahvuslik** hinge kultuur toetub kodutunnetuslikule, paikkondlikule väelisusele;
- kus **kirjutamata eetika-seadused** ja tavaõigus suunavad käitumist;
- kus saab hoiakute kaalukeeleks (Einasto 2017, 2018, 2019, 2020, 2023, Einasto ja Vaino 2018).

Praegu toimuva Looduse ajaloo suurima ülemineku suurima väljakutsena võiks piltlikult kujutada, kuidas vabaturumajanduse hilisõhtust mahekultuursesse hommikusse jõuda Põhjala valgete ööde olukorras, kus eha annab koidule käe, vältides ööhämaruse ohtlikkust. Selleks vajame kogu biosfääri ja eriti vaimse geosfääri – noosfääri (Vernadski 1977) puhtana hoidmist. Puhtas elukeskkonnas on parimad eeldused elada hinge puhtuses.

## Kirjandus

- Eilart, J. 1988. Kultuuri tullakse omaette. *Horisont*, **5**, 34–38.
- Einasto, R. 2017. Mahe-Eestist rahvusriikluseni. Inimkesksusest ökosüsteemsuseni. Mõtisklusi. *Akadeemia*, **7**, 1155–1172, 1307–1308.
- Einasto, R. 2018. Kodutundest ja paigavaimust maherahvusriigini. *Mulkide Almanak*, **28**, 62–67.
- Einasto, R. 2019. Mahekultuurse Eesti tulemise ja olemise võimalus. Välis-Eesti Ühingu ajakiri XXIV aastakäik, 58–62.
- Einasto, R. 2020. Mahekultuurne inimene ja loodus Herderi vaimus. *Mulkide Almanak*, **30**, 21–2.
- Einasto, R. 2023. Metsast, vaimust ja võimust tõejärgses maailmas. Suur loodus ja väike inimene. Mõtisklusi mitte ainult iseendaga. *Mulkide Almanak*, **33**, 35–39.
- Einasto, R., Vaino, M. 2018. Eesti rahvusriik kui ökosüsteem. *Schola Biotheoretica*, **44**, ELKS, Tartu, 165–184.
- Herder, J. G. 2019. *Mõtteid inimkonna ajaloo filosoofiast*. Tartu, 1007 lk.
- Jansen, E. 2000. Rahvuseks saamise raske tee. *Akadeemia*, **6**, 1155–1188.
- Jansen, E. 2004. *Vaateid eesti rahvusluse sünniaegadesse*. Tartu, Ilmamaa, 510 lk.



- Kant, E. 1935. Eesti geograafilisest kuuluvusest. Raam. Linnad ja maastikud. *Eesti mõttelugu*, **28**, Ilmamaa, Tartu, 288–293.
- Kull, K. 2018. Ökosüsteemsus. *Schola Biotheoretica*, **44**. ELUS, Sulemees, Tartu, 206 lk.
- Loorits, O. 1951. Eestluse elujõud. *Iseseisvuslaste kirjavara*, **5**, Kirjastus Tõrvik, 109 lk.
- Moora, H. 1918. Rahvusküsimusest. Raam: Meie rahvuskultuuri küsimusi, 2002. *Eesti Mõttelugu*, **47**. Ilmamaa, Tartu, 91–101
- Näess, A. 1995. *Deep Ecology for the 21st Century*. Shambhala, Boston, 225–239.
- Näess, A., Haukeland, I. 2023. *Elufilosofia*. Ilmamaa: Tartu, 232 lk.
- Piirimäe, E. 2021. Rahvusriik kui ideaal. *Postimees*, 31.12.
- Radermacher, F. J. 2005. *Tasakaal või häving. Ökosotsiaalne turumajandus kui üleilmse jätkusuutliku arengu võti*. Tallinn, Eesti Entsüklopeediakirjastus, 216 lk.
- Schweitzer, A. 1972. *Aukartus elu ees. Loomingu Raamatukogu*, **46**. Kirjastus Kunst, 56 lk.
- Schweitzer, A. 1984. *Kultuur ja eetika*. Eesti Raamat, 296 lk.
- Uexküll, J. von. 2012. *Omailmad. Eesti Mõttelugu*, 105. Ilmamaa, Tartu, 416 lk.
- Vernadski, V. 1977. *Научная мысль как планетарное явление*. Наука, Москва, 191 lk.
- Vooglaid, Ü. 2019. *Elanikust kodanikuks. Käsiraamat isemõtlejale*. Tallinn, 384 lk.

# Paleokeskkonna ja temperatuuri muutused Baltika kontinendil Vara-Ordoviitsiumist hilise Silurini brahhiopoodikodade süsiniku- ja hapniku isotoopkoostise põhjal

Bilal Gul, Tõnu Meidla, Leho Ainsaar

Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut

Geoloogilise aja vältel toimunud muutused käsijalgsete kodade ja karbonaatsete ümbriskivimite hapniku ja süsiniku isotoopkoostises aitavad selgitada keskkonnamuutuste ajalugu kauges geoloogilises minevikus. Käesolev uurimus, mis käsitleb Ordoviitsiumi ja Siluri ajastu merevee temperatuurimuutusi, põhineb käsijalgsete ehk brahhiopoodide kodade isotoopuuringul, mille karbonaatse materjali stabiilsete hapniku isotoopide koostis võiks peegeldada mineviku merevee koostist ja temperatuurimuutusi. Kõrgenenud hapniku stabiilsete isotoopide suhte ( $\delta^{18}\text{O}$ ) väärtused, millega mõnikord kaasnevad ka kõrgemad süsiniku isotoopsuhte ( $\delta^{13}\text{C}$ ) väärtused, peaksid kajastama kliima jahenemise trendi ja vastupidi. Laialt on levinud arvamus, et nii vanade settekivimite hapniku isotoopkoostis ei pruugi hilisemate diageneetiliste muutuste tõttu alati sobida paleokeskkonna parameetrite hindamiseks. Samas on Eesti settekivimites tektooniliste sündmuste ja mattumisega kaasnevad diageneetilised muutused olnud nõrgad ning nii karbonaatsed kivimid kui ka neis leiduvad fossiilid on siin suhteliselt hästi säilinud. Ordoviitsiumi ja Siluri hapniku ja süsiniku isotoopväärtused brahhiopoodide karbonaatses kojamaterjalis jäävad vahemikku  $-7\text{‰}$  kuni  $0\text{‰}$  ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ja  $-1,5\text{‰}$  kuni  $+7,6\text{‰}$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ).

Suuremad kõikumised brahhiopoodide ja karbonaatkivimite isotoopväärtuste kõveral Eesti Ordoviitsiumi ja Siluri läbilõigetes ühtivad ajalis-stratigraafiliselt suuremate globaalsete keskkonnamuutustega. Hapniku isotoopkoostise andmed viitavad kõrgematele temperatuuridele Ordoviitsiumi algul ning sellele järgnevale globaalsele jahenemisele Kesk-Ordoviitsiumis. Hirnanti jäätumise episoodi iseloomustavad kogu Ordoviitsiumi ajastu madalaimad temperatuurid ning andmed kajastavad kiiret merevee temperatuuri tõusu peale jäätumise lõppu. Siluri Irevikeni sündmus kajastub samuti temperatuurimiinimumina. Meie tulemused kinnitavad, et Eesti Ordoviitsiumi ja Siluri käsijalgsete karbonaatsete kodade isotoopkoostise andmeid on võimalik kasutada merevee paleotemperatuuri indikaatorina.

# The AGEMERA Project: Building European capacities with innovative exploration technologies

Tony Hand

Department of Geology, Tallinn University of Technology

On March 18, 2024, the European Council gave its final approval to the Critical Raw Materials Act (the Act). The Act is a significant initiative by the European Commission to address the challenges related to raw materials supplies for the European Union. The Act aims to ensure a secure and sustainable supply of critical raw materials for European industries. These materials play a crucial role in powering the green transition and digital transformation necessary for delivering the EU's Green Deal. One of the benchmarks set in the Act is an increase of 10% in the extraction of raw materials within the EU. Many of these materials are not sourced in Europe as most of the rare earth elements (REEs) and battery-related raw materials come from China, Africa and South America. To build up European capacities, the uptake and deployment of breakthrough technologies related to critical raw materials is vital for success, as is the development of national exploration capabilities.

The Horizon Europe-funded AGEMERA project aims to enhance Europe's resource potential and promote responsible mineral exploration. AGEMERA focuses on improving knowledge of mining and mineral exploration while ensuring environmentally and socially sustainable practices. It aims to increase access to and supply of critical raw materials within the EU. This project will examine the use of innovative methods and technologies to unlock the EU's resource potential, improve public knowledge of the role of critical raw materials in the modern world, and promote environmentally and socially friendly mineral exploration. Employing cutting-edge methods and non-invasive technologies to better understand existing mineral deposits and discover new ones supports the EU's drive to create a sustainable future for Europe.

# Kolga vanad rannamoodustised kajastamas Holotseeni meretaseme muutusi ja paleotormisust

Triinu Jairus<sup>a</sup>, Alar Rosentau<sup>a</sup>, Hannes Tõnisson<sup>b</sup>, Toru Tamura<sup>c</sup>, Ilya Buynevich<sup>d</sup>, Tiit Hang<sup>a</sup>, Triine Nirgi<sup>a</sup>, Art Kristjan Olesk<sup>a</sup>, Shinya Sugita<sup>b</sup>, Tiit Vaasma<sup>b</sup>, Egert Vandel<sup>b</sup>, Kadri Vilumaa<sup>b</sup>, Ülo Suursaar<sup>e</sup>

<sup>a</sup>Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut

<sup>b</sup>Tallinna Ülikooli ökoloogia instituut

<sup>c</sup>Jaapani Geoloogiateenistus

<sup>d</sup>Temple Ülikool

<sup>e</sup>Tartu Ülikooli Eesti mereinstituut

Globaalne soojenemine, meretaseme tõus ja tormisuse kasv nõuavad Maa süsteemi toimimise paremat mõistmist nii mineviku, oleviku kui tuleviku aspektides. Läänemere idaosa loodeteta, kerkival rannikul leiduvad Holotseeni rannamoodustised ja setted võimaldavad dešifreerida mineviku rannasiirde ja tormisündmuste dünaamikat ajal, mis ulatub kaugemale kaasaegsete meteoroloogiliste mõõtmiste algusest. Sellesse piirkonda jääb ka Kolga rannavallistik, mis ulatub kuni 5 km kaugusele tänasest rannajoonest. Uurimistöös kasutati LiDAR-kõrgusandmetel põhinevat reljeefianalüüsi, sedimentoloogilisi ja magnetilise vastuvõtlikkuse uuringuid, luminescents- ning radiosüsiniku (AMS) dateeringuid ja georadari andmeid, et rekonstrueerida Holotseeni meretaseme muutusi ja paleotormisust. LiDARI reljeefimudeli ja georadari andmete analüüs näitab, et vallistikus on jälgitavad üle 120 m-dala rannavalli suhtelise kõrgusega 0.2–0.4 m, milledest osa on kas täielikult või osaliselt mattunud turbakihi alla. Madalate rannavallide vahel esineb paiguti ka kõrgemaid valle (0.5–4 m), kus eolse katte paksus on kohati oluliselt suurem.

Rannasetete luminescentsdateeringud näitavad, et vallistiku rannajoonest kaugemal ja suuremal absoluutkõrgusel (20–28 m ü.m.p) paiknev osa kujunes Antsülsjärve ja varajase Litoriiinamere staadiumi käigus, mille vanusemäärangud jäävad ajavahemikku 11,1–9,6 tuhat aastat tagasi. Vallistiku noorem, merepoolsem osa, kujunes Litoriiinamere regressiooni perioodil viimase ligi 7 tuhat aasta jooksul. Rannavallide dateeringud ja valli jalamite absoluutkõrgused näitavad, et viimase 7 tuhat aasta jooksul oli veetaseme alanemine peaaegu lineaarne, kus veetase alanemise kiirusega keskmiselt 2,7 mm/a. See on heas kooskõlas geoidi suhtes mõõdetud maatõusu kiirustega Kolga piirkonnas. Regressiooni ajal kujunenud rannavallide seas võib eristada kokku 11 vööndit, kus kas üksikvallid või vallide seeriad on suurema suhtelise kõrgusega, mis võib viidata suurenenud tormisusega perioodidele (Suursaar jt 2022). Kõige noorem vöönd vanusega 540 aastat tagasi jääb väikese jääaja perioodi, mida tuntakse jaheda ja tuulise kliima poolest (Bond jt 2001). Väikesest jääajast on teada kõrgemaid, sageli ka osaliselt ümber puhutud eolse kattega rannavalle mitmelt poolt Eestist sh Saaremaal ja Hiiumaalt (Tõnisson ja Suursaar 2020). Jaheda kliimaga on

seotud Kolgas ka ligi 5400 aastat tagasi kujunenud kõrgemad rannavallid, mille sarnase vanusega analooge võib leida Narva-Jõesuu piirkonnast (Rosentau jt 2013) ja Hiiumaalt (Suursaar jt 2022).

## Kirjandus

- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M. N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I., Bonani, G. 2001. Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate During the Holocene. *Science*, **294**, 2130–2136.
- Rosentau, A., Jõelet, A., Plado, J., Aunap, R., Muru, M., Eskola, K. 2013. Development of the Holocene foredune plain in the Narva-Jõesuu area, eastern Gulf of Finland. *Geological Quarterly*, **57**, 89–100. <https://doi.org/10.7306/gq.1077>
- Suursaar, Ü., Rosentau, A., Hang, T., Tõnisson, H., Tamura, T., Vaasma, T., Vandell, E., Vilumaa, K., Sugita, S. 2022. Climatically induced cyclicity recorded in the morphology of uplifting Tihu coastal ridgeplain, Hiiumaa Island, eastern Baltic Sea. *Geomorphology*, **404**, 108187.
- Tõnisson, H., Suursaar, Ü., Rivas, R., Tamura, T., Aarna, T., Vilumaa, K., Kont, A. 2020. Characteristics and Formation of a Solitary Dune Belt Encountered along the Coast of Estonia. *Journal of Coastal Research*, **95**, 689–694.

# Eesti turbauuringute andmebaas ja ringmajandus

Mall Orru

Tallinna Tehnikaülikool

Eesti turbauuringute elektrooniline andmabaas TURBA loodi käesoleva kokkuvõtte autori eestvedamisel ning Keskkonnainvesteeringute Keskuse projekti toel. Alates 2020. aastast on turbageoloogia andmed kõigile huvilistele kättesaadavad veebiportaalis <https://turba.geoloogia.info>. Turbauuringute andmestik on kogutud Eesti Geoloogiakeskuse poolt 1967–2013 ning digitaliseeritud ja täiendatud Tallinna Tehnikaülikooli geoloogia instituudis. Andmebaas on eesti ja inglise keeles ning nii kasutatav ka rahvusvaheliselt. Koondatud on 558 turbaala uuringute plaanid ja alade iseloomustused. Laboratoorselt on analüüsitud kokku ligi 33 tuh proovi (määratud parameetrid: tuhasus, niiskus, lagunemisaste, pH, botaaniline koostis, kahjulikud elemendid). Eriliselt tuleb esile tõsta turba botaanilise koostise määranguid, mida on kokku üle 165 tuh. Nende abil on võimalik saada teavet muuhulgas ka Holotseeni kliimamuutuste iseloomustamiseks.

Turvas mängib arvestatavat osa ringmajanduses nii juba ajalooliselt kui tänapäeval. Pärast tarvitamist nii kasvuhoonetest kui farmidest veetakse biomass põllule, kus see täiendab orgaanilise süsiniku varu. Süsinik talletub mullas huumusena. Nii toimib turvas mullaviljakuse parandajana, seda eriti Lõuna-Eestis, kus on enam leetmullad. Ain Kull ja Martin Küttim koostasid uurimistöõ teemal: „Kasvusubstraatide kasutamise roll kaas-aegses toidumajanduses ja selle võimalikud alternatiivid“ (Riigikogu toimetised 48/2023). Nimetatud tööst selgub, et senist kasvusubstraadi tootmisel põhinevat kasvuhoonegaaside heitmete arvutamise metoodikat tuleb muuta või täiendada.

Ringmajanduses saab kasutada mahajäetud turbaaladel asuvat arvestatavat hästila-gunenud turba varu, mis on humiinaineterikas. Ringmajandusse sobivad ka turba tootmis-alade äärealad, kus viljeleda püsirohumaid.

# Diversity of non-calcified algae in Kalana Lagerstätte (Aeronian, Silurian)

Daria Panasiuk, Oive Tinn

Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut

The Kalana *Lagerstätte* (Aeronian, Silurian) in Central Estonia has revealed a rich and diverse flora of non-calcified algae. It has been proposed that this flora encompasses at least ten morphological groups. To date, two new algal species have been identified in Kalana: *Kalania pusilla* Tinn, Mastik, Ainsaar et Meidla, 2015 and *Palaeocymopolia silurica* Mastik et Tinn, 2015. Additionally, the presence of *Leveilleites hartnageli* Foerste, 1923, previously described from the Late Ordovician of Laurentia, has been confirmed in Estonia.

Currently, a new study of the algal flora in Kalana has been initiated. This project aims to differentiate species within a broad morphological group. One of the morphotypes (sp. A) resembles the early ontogenetic stages of *Buthograptus* sp. with the form and arrangement of fronds on the central axis. However, size measurements, such as axis width and pinnules' width, differ by more than two times. Every whorl armed with only one branch, step in 45 degrees. The adult stage exhibits a bifurcating main axis in 3,5 cm from the caudal end. Branches are mainly rectilinear and rigid like in *Callithamnopsis fruticosa* and depart from the central axis at an angle of less than 70 degrees, making a slight 1 mm curl, replace under 15–30° angle to main axis, on early stage lie mainly parallel. On the matured branches, the end of the curl divides into two second-order lateral segments. No more clearly observed branching was discovered. The maximum value of thallus width is approximately 4 mm, and the length is 8.5 cm.

The length of the thallus of the second morphotype (sp. B) is 3 cm, the width 7 mm. The main axis is densely covered with at least 4 first-order lateral branches, which, at the 0.4 mm mark, diverge under an angle of 50 degrees and then they bifurcate two times on their length. On all specimens the main axis is crowned with 1 to 3 club-shaped structures. A few specimens show splitting into 3 terminal branches. The dense and strictly organised arrangement of branches around the whorls and assemblages on the top are main differences, which distinguish them from extant *Batophora* sp. or extinct *Chaetocladus* sp.

# EGT-TWINN projekti esimene edukas aasta – Eesti Geoloogiateenistus liigub rohelise energia teel!

Kairi Põldsaar

Eesti Geoloogiateenistus

EGT-TWINN projekt “*Enhancing research capacity at the Geological Survey of Estonia to accelerate the country’s transition to green energy*” lõpetas oma esimese tegevusaasta edukalt. Kolmeaastase Euroopa Liidu poolt rahastatud Horizon projekti peamisteks eesmärkideks on arendada geoloogiliste uuringute taset Eesti Geoloogiateenistuses (EGT) ning laiendada rahvusvahelist koostööd.

Esimese tegutsemisaasta (01.01.2023 kuni 31.12.2023) jooksul toimusid kõik projektiga seotud tegevused graafikujärgselt, näidates tõhusat projektiresursside kasutamist ning suurepärase partnerite vahelise koostöö ja pühendumuse projektitulemuste täitmisele. Projekti juhtimisstrateegia, millele on iseloomulikud hästi määratletud vastutusvaldkonnad ja avatud suhtlus, hõlbustas projekti üldist suurepärase sujuvust. Soome Geoloogiateenistus (GTK), Briti Geoloogiateenistus (UKRI/BGS), Taani Geoloogiateenistus (GEUS) ja Oulu Ülikool (JOULU) tegid tõhusat koostööd Eesti Geoloogiateenistusega, viies läbi EGT töötajatele kõrgetasemelisi spetsialiseeritud koolitusi ja erialaspetsialistide omavahelise kogemuste vahetamist.

Koolituste raames hõlmati mitmesuguseid valdkondi, nagu geoloogiline kaardistamine ja geoloogiliste andmebaaside arendamine, 3D-mudelite loomise praktikad, spetsiifiliste geoloogiliste meetodikate tundma õppimine ja maasoojuse temaatikaga seonduvate uuringutega tutvumine. Need kursused hõlmasid külastusi, praktilisi töid ja teoreetilist õppimist, arendades oluliselt EGT geoloogide seniseid erialaseid oskuseid.

Projekti esimese aasta viis kohustuslikku aruannet, sealhulgas projektijuhtimise käsiraamat, EGT digitaalse infrastruktuuri ja andmehoidlate üldaruanne, koolitusjuhendid, kommunikatsiooniplaan ning andmehalduse plaan on esitatud ning osaliselt ka avalikult kättesaadavad projekti kodulehel.

Projekti veebipõhine lahendus avalikkusele, mis sisaldab veebisaiti ja sotsiaalmeedia-kanaleid, on tänaseni atraktiivne infokeskkond tuhandetele külastajatele.

EGT-TWINN projekti ootab ees veel kaks põnevat ja sündmusterohket tegevusaastat, mille jooksul on tulemas paljud koolitused, seminarid, loengud ning ka mitmed rahvusvahelised konverentsid. Konverentsidest toimuvad 2024. aasta sügisel Tallinnas kriitiliste toormete teemaline konverents (*Conference on exploration and exploitation of critical raw materials*, 7.-8. oktoober) ning pinnase geokeemiliste uuringutega seonduv konverents (*Conference on the urban geochemical baseline survey in Estonia*, 10.-11. september). Lähem info nii projekti kui ka sellega seonduvate ürituste kohta on leitav ametlikult projekti kodulehelt: <https://egt-twinn.voog.com/>.



# Satellite Exploration of Earth Resources Using Nuclear Magnetic Resonance Phenomenon: Application for Estonia

Kazbulat Shogenov<sup>1,2</sup>, Alla Shogenova<sup>1,2</sup>, Pavel Ivashchenko<sup>3</sup>,  
Sergiy Azykovskyy<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, Tallinn University of Technology

<sup>2</sup> SHOGenergy

<sup>3</sup> Estbrand OÜ

Now, humanity stands in front of serious challenges due to political, economic, energy and climate problems. To solve the described challenges, innovative, more effective, economically feasible, faster, and environmentally friendly technologies are needed to explore underground to produce metals, rare elements, critical raw materials, water and geothermal energy. Among new exploration targets are geological resources for underground storage of energy (hydrogen storage or compressed air energy storage (CAES), CO<sub>2</sub> storage, or radioactive waste storage).

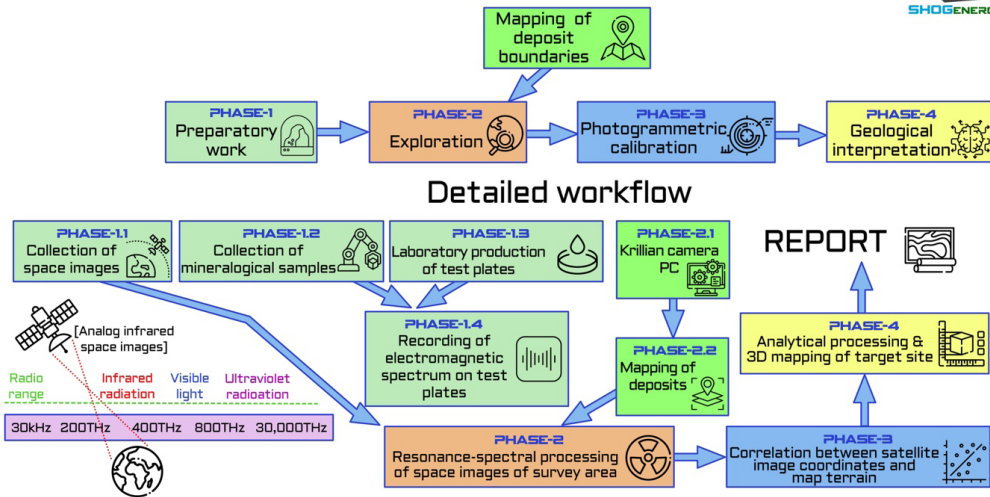
The innovative technology of Satellite Exploration of Earth Resources Using the Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Phenomenon – “SKYGEOEXPLORENOVA-NMR” (SGEN-NMR) – is proposed to be applied in Estonia. The main idea of the innovative method lies in the point-by-point sounding of an area with frequency spectra that excite resonance in the target substance. Sounding radio-frequency radiation should be highly directional to concentrate the transmitter’s power in the right direction. Point-by-point resonance location sounding allows to search for deposits, obtain their underground contours, and geological sections and select optimal drilling points. Based on these data geological resources of the deposit could be estimated. The magnetic field of the Earth is used as the source of a constant magnetic field to create NMR conditions in the molecules of a target substance at depths of up to 5 km (Ivashchenko et al. 2016, Patent 2011, 2013).

For the first time an updated routine for the exploration process is presented here (Fig. 1). The preparatory work phase-1 consists of four sub-phases: a collection of space images, mineralogical samples, laboratory production of test gel plates and recording or transfer of the electromagnetic spectrum of the required substances to test plates. The following sub-phases of the preparatory phase-1 are explained in the more detailed workflow:

**1.1.** Satellite images of the studied area are ordered from NASA and collected in the high-resolution analogue form made in the infrared spectrum (200–400 THz, Fig.1).

**1.2.** All minerals and elements in the periodic table have their own distinct passive heating radiation. The differences in wavelengths and radiation intensities are used to study the properties of a remote object. To improve the accuracy of measurements the rock sample could be collected from the explored reservoir.

**1.3.** The spectrum of resonance absorption signal of each of the target minerals could be recorded on special test plates. In this phase, special test plates are produced in the laboratory implementing a patented technology (Patent 2011, 2013).



**Figure 1.** Four main phases and detailed workflow of SGEN-NMR technology and frequency range used for analogue space images.

**1.4.** The Earth’s magnetic field is used as the source of a constant magnetic field to create NMR conditions in the molecules of target fluids and minerals at depths of up to 5 km. The spectrum of resonance absorption signal of each of the target materials (water, metals, rare elements, critical raw materials) with the chemical composition of the collected reference sample or maximum temperature detection is pre-recorded on the test plates using vacuum sputtering of helium and reference minerals.

It is applied as a resonator in the radiation-chemical processing of analogue satellite images of the target area in the infrared band and used as a base layer for comparison of the data received from NASA analogue images and target materials filter.

**2. Exploration.** The exploration phase consists of two sub-phases integrated into the main resonance-spectral processing of space images of the survey area (NMR) process: (2.1) Kirlian camera and (2.2) Mapping of the deposit.

**2.1.** To reprint the space image data to the plates a special software (Kirlian camera) for visualization of deposit boundaries in a high-voltage pulse field and sub-phase resonance-spectral processing of space images of the survey area (NMR) - “sandwich container processing” is applied. During this phase, a unique special X-ray film will be made in coordinates of the space image to transfer deposits to the map (transformation-visualisation).

**2.2.** In this step we receive a clear image of the deposits in the limits of the ordered coordinates using resonance-spectral processing of space images of the survey area (NMR) in the presence of the test plates. A deposit survey is carried out with the help of the method of point-wise measurements along the deposit’s contour as well as along its sections. The routine is irradiation of the “Sandwich” by  $\alpha$ ,  $\beta$  &  $\gamma$  rays in the laboratory. The “Sandwich” consists of a plate with data from an analogue image, a test plate with all searched elements and an X-ray plate. Chemical composition is decoded into a spectrum. X-ray film is done in coordinates of the image to transfer deposits to the map for transformation-visualisation (Phase 2.1–2.2). At the point of coincidences of the signal spectrum from the test plate and space image, we see deposits on the X-ray plate. During irradiation of the “sandwich container”, the NMR phenomenon is conducted. After that, the result is transferred to the map.

**3. Photogrammetric calibration.** This phase is a correlation between the coordinates of the satellite image and the terrain. In this step, the previous sandwich container data is going to be represented over the topographic map. The procedure for measuring deposit depth using analogue satellite images, obtained at different location angles from satellites.

**4. Geological interpretation.** In the final stage, the analytical data processing, 3D mapping, analysis, conclusion and recommendations are prepared. The obtained results help to explore the deposit remotely, without drilling exploration wells: the surface contours of the deposit or geothermal reservoir, depths and horizons of the reservoir including the volume of water, pressure, geological sections, points for optimal drilling, rock porosity, geothermal map and gradient of the studied area.

The main benefits of the presented method compared to traditional geophysical methods are (1) accuracy (up to 95%), (2) time of exploration (2–3 months), (3) avoiding of permits from public authorities and public acceptance issues, (4) lower price and (5) environmentally friendly technology.

SGEN-NMR is recommended for exploration of the Estonian underground for (1) updating of regional geothermal maps; (2) exploration of metals, rare elements and critical raw materials and updating of existing data; (3) mapping of storage sites for CO<sub>2</sub>, hydrogen, and compressed air energy storage (CAES); (4) mapping and risk management of possible nuclear waste storage sites, (5) construction of geological atlases of Estonia: Geothermal, Mineral, Geological Storage, and (6) monitoring of storage sites.

## References

- Ivashchenko P., Bakai E., Yurchuket A. 2016. «About the possibility of identification of hydrocarbon deposits with the help of NMR» European scientific journal «Geoscientific Instrumentation Methods» (Copernicus). <https://gi.copernicus.org/articles/5/551/2016/gi-5-551-2016-discussion.html>
- Patent UA, 2011. PCT/UA2011/000033.
- Patent UA, 2013. Patent no. 86168, 86169, 86497, PCT/UA2013/000036.

# Geoloogiauuringute ja eestikeelse terminoloogia ajaloost



# Eesti seismoloogia hiilgav minevik

Heidi Soosalu

Eesti Geoloogiateenistus, Tallinna Tehnikaülikooli geoloogia instituut

*„Tõuseb küsimus, mistarwis üleüldse waja on nendes maades seismilisi waatlusi korraldada, kus mingisugust hädaohtu karta ei ole? /.../ Kui keegi arwab, et Eestil seismilist obserwatooriumi tarwis ei ole, siis on see niisama ekslik, nagu waade, et kellegil muul rahwal õigust ei ole üldisest kultuuritööst osa wõtta, kui suurrahwastel. Ja ometi ei wõi asjalugu nii olla. Nüüd, kus meil iseseiswus on, peame meie teistwii-si asja peale waatama.” – J. Wilip. Seismoloogia 2. Postimees, 22.03.1923*

Kui president Lennart Meri tõi 1999. aasta IX riigikogu avaistungil kõnes avalikkuse ette mõiste „Eesti Nokia“, käiwitus innukas üldrahwalik kandidaatide otsimine ja pakkumine (Pruul 2006), mis kestis paarkümmend aastat. Ajas tagasi waadates võib aga tõdeda, et tegelikult leiutati Eesti Nokia juba sadakond aastat tagasi Eesti andekate tippspetsialistide üksteist täiendava koostöönä. See omataoliste hulgas üks kõige ihaldatum leiutis maailmas soetati viiele mandrile ja seda kasutades tehti selgeks koguni Maa tuuma siseehitus.

Tormilised arengud maailma ajaloo käripisid paraku tiibu nii esimesel Eestil kui selle loojate edulugudel. Oleks läinud teisiti, kes teab, võiks praegu meie reklaamloosungiks olla: „Eesti – seismomeetrite ja Skype'i kodumaa!“. Võib-olla oleks siis ka ehk seismoloogia kui teadusharu Eestis talle väärilisel kohal, mitte liigitatud kõigest keskkonnaseire üheks nišiks.

Eestis loodud seismograafid olid ette nähtud maakera aktiivsete piirkondade suurte maavärinate salvestamiseks ja läbi selle Maa siseehituse tuvastamiseks. Seismoloogia teine tahk on aga kohalikud maavärinauringud, et koguda olulist geoloogilist teavet oma jalgealuse maapõue kohta. Praegu on meil käepärast seismomeetrid, mis suudavad nii globaalseid kui kohalikke ülesandeid täita. Aga esmalt oli vajalik koondada inimeste meenutusi ja dokumenteeritud tähelepanekuid ning rekonstrueerida nende põhjustajaid, et sõeluda välja võimalikud aset leidnud maavärinad. Sellisel viisil pani Eesti kohalikele seismilistele waatlustele aluse Riia Polütehnilise Instituudi professor, mitmekülgsete huvidega geoloog Carl Bruno Doss (1861–1919).

## Instrumentideta seismoloogia

Seismoloogia kui teadusharu kujunemine sai alguse maavärinate tunnetamisest ja mõistmisest, et mõned piirkonnad on värinatest rohkem mõjutatud kui teised. Makroseismiliste waatluste ülestähendused käsitlevad maavärina toimumisega kaasnevaid nähtusi, mille põhjal on võimalik määrata maavärina hinnanguline võimsus ehk makroseismiline magnituud. Usaldusväärset informatsiooni maavärinate kohta võimalikult kaugest minevikust läheb vaja seismilise ohu hindamiseks ehitustegevuses jm. Paradoksaalselt on sellised andmed olulised just vähese seismilise aktiivsusega piirkondades, kus tervikpildi saamiseks peab teavet koguma sajandeid ja kus üksikud valed andmekillud võivad hinnanguid oluliselt moonutada.

Paraku on meie piirkonna kohta säilinud ajalooline andmestik väga ebaühtlane. Vaatluste andmed võivad viidata sündmustele, mille puhul tekib kahtlus, kas tegemist oli ikka päris maavärinaga või põhjustas selle pigem tugev pakane (mere/järve jää või jäätunud pinnase lõhenemine) või hoopis äike. Informatsioon võib olla kaudne ja ebatäpne või ka hilisematel tsiteerimistel moondu. Originaaldokumendid võivad olla raskesti kättesaadavad või takistab nende mõistmist keelebarjäär. Juba toimumisaja määramine võib tekitada peavalu mõistmaks, kas kuupäev on vana või uue kalendri järgi ja millises ajavööndis. Ka magnituu- di hinnang võib olla väga individuaalne.

Põhja- ja Baltimaade ajalooliste maavärinate nimistut (Bulletins i.a) haldab ja uuendab Helsingi Ülikooli Seismoloogia Instituut koostöös naaberriikide seismoloogidega. Praegu revideerib Soome–Rootsi–Eesti seismoloogide uuringugrupp süstemaatiliselt ajaloolist ka- taloogi, mille esimesed sissekanded on pärit 1375. aastast Gotlandi saarelt (kuigi küsimär- giga) ning 1497. aastast Örebro piirkonnast Rootsis.

## Carl Bruno Doss – Baltikumi maavärinate kataloogi rajaja

Kõige väärtuslikuma panuse Eesti ja terve Baltikumi ajaloolise seisilisuse andmete koon- damisel on kindlasti andnud enam kui sada aastat tagasi tegutsenud geoteaduste multita- lent **Carl Bruno Doss**, kes kogus ja ühtlustas süstemaatiliselt kohalike maavärinate kirjeldusi, kasutades kõikvõimalikke andmeid nagu ajaleheartiklid ja pastorite või mõisahärrade poolt kirja pandud pealtnägijate meenutused. Dossi allikateks olid ka selleks ajaks koosta- tud suured kataloogid nagu **Joseph O'Reilly** (1886) Euroopa ja lähialade ning **Ivan Muške- tovi** ja **Andrei Orlovi** (1893) Vene impeeriumi maavärinate nimekiri.

Andmete kogumiseks suhtles Doss otse maavärinat kogenud isikutega ja kasutas sünd- muste tekkepõhjuste selgitamisel ka samaaegsete ilmavaatluste kirjeldusi. Vana kalendri kuupäevad teisendas ta hoolikalt uuteks, mainides kõrvuti mõlemaid. Väga vanade teadete korral võis vana ja uue kalendri päevade ajavahe määramine osutuda küllaltki keeruliseks.

Balti kubermangudes (*Ostseeprovinzen*) toimunud maavärinate ja maavärinateks pee- tud sündmuste loetelud koos kriitilise analüüsiga avaldas Doss arvukates publikatsiooni- des (Doss 1898, 1905b, 1910a, 1910b, 1911, 1913a). Tema kirjalikud ülestähendused on nii põhjalikult ja kaalutletult koostatud, et nüüdki – sada aastat pärast tema surma – on tema kogutud makroseismiline andmestik oivaliseks ja väärtuslikuks allikaks Eesti piirkonna seis- milise ajaloo hindamisel ja uurimisel. Nende andmete väärtust ei vähenda ka asjaolu, et Dossi arvates põhjustas siinseid maavärinaid peamiselt karstikoobaste varing (Doss 1910b). Ta eeldas, et Baltikumi maapõu on jääajajärgsest maatusust tingitud tektooniliste pingete tekkimiseks liiga stabiilne.

Dossi seisukohta Baltikumi maavärinate tekitaja osas kritiseeris Prantsuse krahv **Fer- nand de Montessus de Ballore** (1912), üks seismoloogia pioneer (Cisternas 2009), kelle arvates otsesed tõendid varisemiste kohta puudusid. Samas suhtus ka tema skeptiliselt võimalusesse, et Balti provintside seisilisus oleks seotud jääajajärgse maakerkega. Mon- tessus de Ballore arvas, et maavärinad võiksid olla seostatavad jooneliste geostruktuur- sete elementidega, viidates seejuures Soome lahe rannajoonele ja Daugava jõe sängile.

Doss (1914) jäi siiski oma seisukoha juurde ka hiljem, arvates, et pigem on karstikoobas- te varisemise tähtsust alahinnatud. Ta nõustus Montessus de Ballorega selles, et vaevalt on Baltikumi nüüdisaegne seisilisus tingitud postglatsiaalsest maakerkest, sest tõendeid selle kohta polnud teada. Tegelikult ei tundu Dossi tõlgendus kummaline omaaegse geo- teaduse raamistikus (nt Wilip 1904a). Nii liigitab teine seismoloogia pioneer ja käesoleva arti-ikli üks peategelane Vene vürsti Boriss Golitsõn oma teed rajanud monograafias (Golitsyn 1912; Galitzin 1914) maavärinate põhjused kolme klassi:

- *pursketegevusega kaasnevad vulkaanilised maavärinad;*
- *koobaste varisemisest tingitud varinguvärinad;*
- *maakoore plakkide omavahelisest nihkumisest põhjustatud tektoonilised maavärinad.*

Doss tundis põhjalikult Baltimaade geoloogiat ja oli ka karstinähtustega hästi kursis. Teaduskirjandusele toetudes jõudis ta järeldusele, et Baltikumi maavärinad leiavad aset piirkondades, kus esinevad ulatuslikud karstinähtused. Konkreetse tõendina on Dossi maavärinate nimekirjas juhtum 1783. aasta kevadest, kui Slokas (*Schlock*, tänase Jurmala linna alal paiknenud asula) toimunud sündmuse tagajärjel tekkisid negatiivsed pinnavormid (kurisu või doliin; Doss 1908, 1910b).

Dossi üheks argumendiks oli ka Baltikumi maavärinate mõju lokaalne avaldumine, mis viitab fookuse (kolde) paiknemisele maapinna lähedal. Vastuses Montessus de Ballore kirjutisele (1912) arvas Doss (1914), et Balti kubermangude geoloogilisi tingimusi arvestades võiks tektoonilised liikumised olla maavärina ajendiks ainult Eesti rannikust põhja pool Soome lahe piirkonnas.

Aeg on näidanud, et Montessus de Ballore, kes tegeles peamiselt Ladina Ameerika ja globaalse seisemisusega üldiselt (Cisternas 2009), hindas Baltikumi seisemisuse tagamaid õigesti. Sajanditagused mõõteriistad ei võimaldanud tuvastada Eesti piirkonna maatõusu suurusjärgus millimeeter aastas (Jevrejeva jt 2001; Kall ja Jürgenson 2008). Siiski on huvitav teada, et 20. sajandi keskpaigas pidasid Põhjamaade seismoloogid Fennoskandia piirkonna maavärinate ajendiks just maakerget. See seisukoht kehtis seni, kuni arvutused vabanenud seisemisuse energia hulga ja muustrite kohta näitasid selget seost globaalsete tektooniliste liikumistega (Båth 1978). Praegu valitseva arusaamise järgi on Põhjamaade ja Balti regiooni maavärinate põhiliseks vallandajaks litosfääri laamade liikumisel maakoore kogunenud pingete vabanemine (Båth 1984; Gregersen 2002).

## **Pakaseöö müristused Pärnu piirkonnas**

Vanimad ülestähendused Eestis aset leidnud maavärinate kohta pärinevad 1670. aastast Pärnu lähedalt ning 1823. aastast Kuigatsi piirkonnast, kuid nende nähtuste tegelik olemus on küllaltki ebaselge. Esimene veenev maavärin Eestis leidis aga aset Noarootsi kihelkonnas (*Kirchspiel Nuckoe*) Läänemaal 1827. aastal (Doss 1898).

Pärnu sündmus on sobilik näide sellest, kuidas Doss oma publikatsioonides analüüsis oletatava maavärina kohta kogutud uut informatsiooni. 1898. aastal ilmunud artiklis mainis ta lühidalt: „1670. aastal ‘pühapäeval enne kuupäeva 28. jaanuar’ (s.o 22. jaanuar/1. veebruar) leidis aset maavärin 4 miili kaugusel Liivimaa Pärnust.” 1910. aastal publitseeritud mahukas kataloogis naasis Doss (1910b) taas Pärnu sündmuse juurde, olles skeptiline tolleaegsete ja hilisemate allikate suhtes. Ta tsiteeris kirjeldusi 1670. aasta jaanuaris või veebruaris, võib-olla isegi märtsis toimunud müristamisest ja maa värisemisest Liivimaal. Maavärina öisel toimumisajal täheldati kõva pakast ja kuuvalgust, üleüldse olevat see kevadtalv olnud erakordselt külm. Lõpuks ühines Doss geoloog **Constantin von Grewingki** (Grewingk... i.a) arvamusega, et tõenäoliselt polnudki mingit Pärnu maavärinat, või et juhtum aeti segi 1670. aasta 22. jaanuaril Saksimaa Halles toimunud maavärinaga.

Dossi kogutud ilmastikuolude andmed nagu märkused käreda pakase ja öisel ajal toimunud nähtuste kohta on hinnaliseks informatsiooniks tänapäeva uurijale. Põhjamaade seismoloogia ajalugu uurides jääb mulje, et talvekuudel toimus rohkem maavärinaid kui suvel. Instrumentide kasutuselevõtmisega saadud mõõtmised sellist seaduspära aga ei toeta. Arvatavasti on mõnikord käreda pakasega kaasnevad nähtused eksikombel kantud



maavärinate nimekirja (Ahjos ja Uski 1992). Sellest lähtuvalt on ka Põhja-Euroopa maavärinakataloogi korrastamise töögrupp seisukohal, et tõenäoliselt 1670. aastal Pärnu piirkonnas maavärinat ei toimunud.

## Salapärane kohanimi

Dossi koondnimekirjas (Doss 1910b) on maavärin, mis toimus 5.–6. veebruari keskööl 1823. aastal Kuigatsis Liivimaal. Ta kirjeldab suurt segadust sellele sündmusele viitavates arvukates allikates, mis on publitseeritud nii saksa, vene, prantsuse kui inglise keeles. Maavärinat täheldati Peterburi ja Riia vahel asuvas postijaamas, mille nimi võis olla Karipatz või Karripatz, (trükiveaga Karinatz) või hoopis Rasipatz. Dossi arvates pidi selline postijaam asuma Eestis, sest kohanimi kõlas eestipäraselt. Lõpuks õnnestus tal saksakeelsest ajalehest *Ostsee-Provinzen-Blatt* (06.02.1823 vkj) üles leida uudis, kuidas 24.–25. jaanuari (vkj) ööl tunti Kuikatz'i postijaamas Liivimaal nii võimsat maa-alust tõuget, et hoonetes viibinud inimesed seda tajusid. Pärast seda teadet leidis Doss kaardilt, et postijaama asukoht on Riia–Peterburi vana postitee lähedal Valmiera (*Wolmar*) ja Tartu (*Dorpat*) vahel, Võrtsjärve (*Wirtzjerv*) lõunaotsast 7 km kagu pool.

Segadust põhjustavaid asjaolusid selle maavärina ümber oli teisigi. Mõne allika järgi toimus üks maavärin jaanuaris ja teine veebruaris, lisaks veel ka 1833. aastal. Doss sirvis kannatlikult läbi 1833. aasta ning ka 1834. aasta alguses ilmunud nii *Ostsee-Provinzen-Blatt*'i numbrid ja ka teised Riia, Tartu ja Peterburi ajalehed, kuid ei leidnud jälgegi 1833. aasta maavärisemise kohta. Nii tõmbas ta 1833. aasta sündmus(t)ele lõplikult kriipsu peale.

Maavärina asukoha määramist raskendavad omakorda Eesti kohanime nime vene- kui saksakeelsed variandid ja maakeelsed nimed, mille kirjaviis on ka ajas muutunud. Näiteks on Eesti ajalooliste maavärinate nüüdisaegse väärtusliku ülevaate autorid A. A. Nikonov ja H. Sildvee (1991) valinud oma ingliskeelses artiklis kõnealuse sündmuse toimumispaiga nimeks kõigist nimevariantidest erineva *Kuikatse*. Sellise kirjaviisiga esines kohanimi eesti keeles *Marahwa Näddala-Lehe* uudises (09.02.1823 vkj, lk 43): „*Kuikatse jamas, mis, kui Tartust Riga minna, tõine jaam on, tunti 24mal Januaril, öse kello 12 kaunist ma pörrutust; sedda ei olnud pitkemalt, kui agga ühhest silmapilgast. Tuntsid sedda innimesed postimajas, ning ka postimehhed, kelle maja tõistpool manted seisab, ja tunti seddasamma pörrutust ka weel herberis, mis mõnni waggu maad jamast kõrwal on seismas.*”

Ajalooliste maavärinate kataloogi korrastamise käigus tekkis kahtlus, kas 1823. aasta südatalve ööl Kuigatsis aset leidnud maavärin oli ehtne või tulenesid kirjeldatud nähtused pigem käredest pakasest. Üheks argumendiks pidasime asjaolu, et maavärina ja sellega kaasnevate nähtuste kohta on teada vaid postijaama hoonetes viibinud inimeste ülestähendused, kuid neid ei ole teada ümberkaudsetelt elanikelt. Tegelikult mainib *Marahwa Näddala-Leht* (antud allikat meil tollal polnud kasutada), et värisemist tunti ka tükk maad kaugemal mõisas.

Korrastamistöörühma seisukoha seadis uude valgusesse ka 2016. aasta 11. detsembril Võrtsjärve lähedal toimunud maavärin magnituudiga 1,8 (Soosalu jt 2022). Seda vaieldamatult ehtsat maavärinat ei ole lähipiirkonna elanikud kirjeldanud. Kindel on ka, et 1987. aasta 8. aprillil toimus Võrtsjärve lähistel maavärin (Sildvee 1988). Kuigi ka seda sündmust pole instrumendid registreerinud, tunti seda ulatuslikul alal Tartust Viljandini ja kaugemalgi. Veel väärrib mainimist, et Doss (1910b) on käsitlenud üht Viljandis 02.06.1909 aset leidnud juhtumit, mille kohta jõudis teave temani vaid kahelt isikult. Ta ei välistanud, et tegu võis olla maavärinaga, kuigi oli selles suhtes skeptiline. Igal juhul on mõistlik meeles pidada, et Võrtsjärve piirkonnas on viimase kahesaja aasta vältel toimunud vähemalt kaks maavärinat, aga võib-olla koguni neli. On võimalik, et Eesti mastaabis on siin tegemist seisnilise regiooniga.

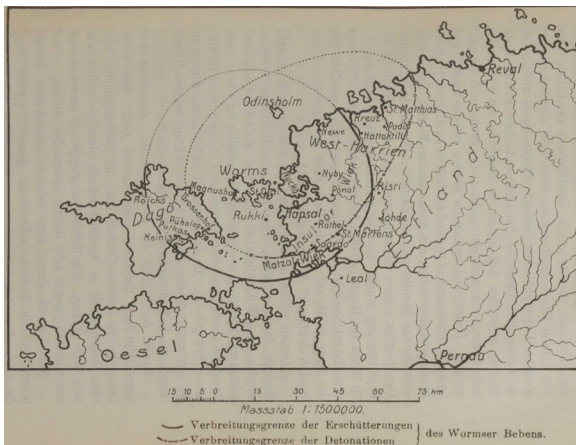
## Vormsi maavärina tuvastamise keerdkäigud

Oslo fjordi tabas 1904. aasta 23. oktoobril maavärin, mille magnituudiks on hinnatud 5,4 ja mis oli tuntav suures osas Põhja-Euroopast (Bungum jt 2009). Doss (1905a, 1905c) viis läbi uuringu selle kohta, kuidas tajuti Oslo maavärinat Balti ning Kaunase (*Kowno*) kubernangudes. Selleks pöördus ta ajalehtede kaudu lugejate poole palvega edastada Oslo maavärina kohta oma tähelepanekuid. Ajendatuna Dossi palvest võttis veidi hiljem temaga ühendust pruulmeister Schultz Haapsalust (*Hapsal*), sooviga jagada informatsiooni hoopis ühe varem aset leidnud maavärina kohta [joonis 1].

Kui ajalehed teavitasid 1896. aasta septembris Jelgavas (*Mitau*) toimunud maavärinast (Doss 1910b), innustas see Schultz'i kirja panema oma tähelepanekud 1877. aasta 16. oktoobri hommikul Haapsalus ja selle ümbruskonnas aset leidnud sündmuse kohta. Pruulmeister pidas tagasihoidlikult ennast toimunu osas võhikuks ja nii ei söandanudki ta kohe maavärinajärgselt oma ülestähendusi mõnele ajalehele saata.

Doss (1905b, lk 121–124) oli Schultz'i aruandest vaimustuses ja publitseeris selle peaaegu sõna-sõnalt. Schultz oli kuulnud kahurilasule sarnanevat heli ja tundis läänest itta liikuvat tõuget, mis pani esemed kolinal liikuma ja aknad klirisema. Järgnes vibreeriv *wif-wif-wif*-taoline vilin koos tugeva lainetusega, mis mõlemad vaibusid umbes 7 sekundi pärast. Siis kostis teine tumedalt kõlav pauk koos varemgi kaasnunud nähtustega: jälle tõuge läänest itta, tugevamalt kui esimene, nii et voodid magamistoas pörkusid üksteise vastu. Haapsalu väheste kivimajade seintes pragusid ei leitud, kuid Schultz oli veendunud, et üks maavärin on üle elatud. Veel liikus arvamusi, et küllap tulistas mõni ristleja merel salakaubavedajaid, kuid järelepäringud lükkasid selle seisukoha kohe ümber, sest ristleja ja purjelaevad seisid sadamas. Kõik alused olid aga rappedud ja ankruketid klirisenud.

Schultz'i huvitas ka maavärinaga seotud nähtuste tajumisala suurus. Põhja pool Osmussaarel (*Odinsholm*) oli tunda mõlemaid tõukeid koos eelneva kõmina ja lainetusega. Lõuna pool Matsalu lahe (*Matzal Wiek*) ääres paikneva Saardu (*Saardo*) talu rentnik olevat pärast esimest tõuget, mürinat ja raksatust majast välja tormanud, arvates, et vana mantelkorsten varises kokku. Matsalu lahe lõunakaldal ja Lihulas (*Leal*) maavärinat ei tajutud. Üks mees, kes oli sel hommikul teel Tallinna (*Reval*) ja asus tõugete ajal nelja versta kaugusel Risti postijaamast, märkas samasuguseid nähtusi kui Haapsaluski, välja arvatud vilistamine. Kõmina tõttu tahtnud kaupa vedanud talunik reisi katkestada, kuid jõudnud Risti postijaama, sai teeline teada, et seal ei olnud keegi midagi erilist tähele pannud. Samal päeval Koluvere (*Lohde*) piiskoplinnuse juures toimunud karjaturule kogunenud suur rahvahulk ei märganud maavärinat üldse nii nagu ka lääne pool oleva Hiiumaa (*Dagö*) inimesedki. Haapsalu lähedal olevad saared olid asustamata, välja arvatud Vormsi (*Worms*), mille rootsikeelselt elanikkonnalt Schultz aga mingit teavet ei saanud. Teadaolevalt kõige läänepoolsema laeva peal Rukkirahu (*In-*



**Joonis 1.** Bruno Dossi visandatud 16.10.1877 aset leidnud Vormsi maavärina tundvusala kaart. Ühtlane joon märgistab ala, kus tunti vappumist ning katkendlik joon ala, kus kuuldi plahvatusetaolist häält (Doss 1905b). Maavärina magnituudiks on hinnatud 3,0.

sel *Rukki*) juures kuuldi plahvatusele sarnanevaid helisid. Haapsalust kaugemal ei jäänud maavärina toimumist uskumagi.

Teadusmaailm ei olnud sellest maavärinast üldse teadlik. Ei mainitud seda ka Mušketovi ja Orlovi Vene impeeriumi maavärinate kataloogis (1893) ega teadusajakirjades, mis kajastasid Balti kubermangudes toimuvat. See-eest oli Doss (1905b) Schultzi kirjeldatud andmete najal veendunud, et ainus võimalik seletus toimunule on maavärin, Baltikumi tingimustes pealegi ebatavaliselt suure mõjusfääriga.

Sündmuse detailsemaks kaardistamiseks võttis Doss ühendust mõne Schultzi poolt nimepidi mainitud inimesega ning ümbruskonna kihelkondade pastoritega palvega edastada isiklikke ülestähendusi või kaaselanike tähelepanekuid. Kuigi juhtumist oli möödunud juba 27 aastat, lootis Doss ikka veel korjata väärtuslikke infokilde. Uuesti võeti ette ka ajakirjanduses ilmunud tekstide uurimine. *Revalsche Zeitung*'ist (10.10.1877, ukj 22.10) leiti teade 4. oktoobri (vkj) hommikul kell kuus Haapsalus ja selle ümbruses toimunud sündmuse kohta, kus elanikke ehmatas kaks pauku viie minuti jooksul, tunti kõva rappumist ja muid kaasnevaid nähtusi. Põhjust kogetule ei osatud uudises pakkuda.

Doss sai Vormsi saarelt maavärinat kinnitavat informatsiooni sealse pastori vahendusel ja saabus ka teade, et maavärinat kogeti isegi Hiiumaa idaosas Putkaste (*Putkas*) külas.

Doss jõudis järeldusele, et lühikese vaheajaga toimus kaks maavärinat, millest teine oli tugevam, ja tõuked lähtusid loodest. Piiratud kogus vaatlusandmeid ei võimaldanud täpsustada, kas maavärina kolle oli maal või merel. Dossi hinnangul pidi epitsenter asuma kas Vormsi saarel või sellest põhja pool meres. Piklik helide leviala kirde suunas oli seletatav valitsenud edelatuulega, mille esinemist sündmuse ajal kinnitasid Tallinna, Ventspilsi ja Liepaja ilmavaatluste andmed.

Doss välistas Vormsi maavärina võimaliku põhjusena maakoore plokkide nihkumise. Ta oli veendunud, et maavärina tekitajaks oli varing koobastes nagu ka kõigil tema poolt varem käsitletud juhtudel Balti kubermangudes. Ta viitas Vormsi saare geoloogilisele ehitusele, kus levisid kihilised paekivid, mida vesi keemiliselt ja mehaaniliselt lagundas seni, kuni sai võimalikuks maa-aluste varingute toimumine. Dossi andmetel märgati maavärina piirkonnas ka maa-alust veevoolu, mida ta võrdles Niibi (*Nyby*) lähedal pikki vahemaid maa all voolava Salajõega (*Sallajoggi*). Vormsi maavärina tektoonilise tagapõhja välistas Doss arvamusega, et horisontaalselt kihilise kivimi vertikaalsuunas liikumine on vähe tõenäoline. Tema arvates viitasid varingule ka ringikujuline ala, kus maavärin oli hästi tajutav, ja kõvad paugud. Vormsi sündmuse tajumisala oli seni kogetud maavärinatest kõige suurem, läbi-mööduga ligikaudu 85 km. Dossi hinnangul viitas see ka sügavale fookusele (koldele), mis siiski ei saanud olla rohkem kui 300 m, kus settekivimid võisid veel esineda.

Vormsi sündmus on üks näide maakoore sisepingete aktiivsusest Eesti kõige seismilisemas piirkonnas. Pole kahtlust, et 1877. aasta oktoobrikuus toimus ehtne maavärin koos vahetu eeltõukega, ja selle põhjustajaks ei saanud olla varisemine maa-alustes koobastes.

## Kokskäri (Keri) „maavärinad”

A. A. Nikonov ja H. Sildvee (1991) viitavad Dossi 1915. a. ilmunud artiklile (õige ilmumisaasta on 1913, käesolevas artiklis viide 1913a) kolme Keri saarel toimunud maavärina kohta — kaks neist registreeriti 1912. aasta 8. aprillil ja kolmas sama aasta 15. juunil. See informatsioon viitega Dossile on kantud ka Põhja-Euroopa maavärinakataloogi (Ahjos ja Uski 1992).

**Maa-alune põrutus Kokskäri saarel.** *Nagu meile teatatakse, on teise püha õhtul Kokskäri saarel tugewat maa-alust põrutust tunda olnud. Inimestega ei ole õnnetust juhtunud. Arwatakse, et maa all gaas põrutuse põhjuseks on olnud. Kokskäri saar on Aegna ja Prangli saarte wahekojal, nimetatud saartest weidi põhja pool. Saare peal, mis metsast paljas on, elab ainult tuletorni ülewaataja ja teenijad. Mõne aasta eest puuris kaewupuuriija Winkler seal kaewu, kuid ta pidi töö pooleli jätma, sest korraga hakkas puuritud august gaasi wälja woolama. Selle gaasiga on tuletorn praegugi walgustatud ja inimesed keedawad seal gaasiga, mida maa sees lõpma-ta näib olewat. – Päewaleht, 29. märtsil (11. aprillil) 1912.*

**“Maawärisemine” Kokskäri saarel.** *Meile teatatakse, et 27. märtsil suure tormi ajal Kokskäri saarel maawärisemist on tuntud. Põrutus wältnud mõned sekundid. Kokskäri saar on Soome lahes, umbes kolmkümmend wersta Tallinnast. Ainus maja tema peal on tuletorn oma kõrwalehitustega. Arwatawaste on põrutus jäälademete pörkamisest kalda wastu tekkinud, kuid peab meeles pidama, et Kokskäri saare all ka maa-alune gaas tegewuses on. Tuletornis põlebki juba mõnda aastat selle gaasi tuli. Loodetawaste saame sündmuse kohta warsti lähemaid teateid. Ühtlasi wõiks meelde tuletada, et kolmkümmend aastat tagasi ka Tallinnas niisugust maawärisemist tunti. – Tallinna Teataja, 29. märtsil (11. aprillil) 1912.*

1912. aastal Keri saarel toimunud paugatuste tekkelugu on segu loodusnähtusest ja inimese tegevusest (Doss 1913a, 1913b; Suuroja jt 2002). Saarel puuriti 1903. aastal kaevu. Kui puurimisega jõuti 27 m sügavusele, hakkas maapõuest eralduma gaasi, 115 m sügavusel hakkas august purskama vee, gaasi, kivide ja savi segu. Puuraugust purskuv peamiselt metaanist koosnev gaas põles kuni 4 m kõrguse leegiga. Gaasi jätkus tarbimiseks ohtralt ning aastatel 1907–1912 valgustati sellega Keri tuletorni. Siis toimus ootamatu plahvatuste seeria, mis on seismilistesse kataloogidesse sattunud kolme „maavärinana”.

Doss suhtus sündmuste vaatlemisel, andmete kogumisel ja järelduste tegemisel igasse detaili erilise täpsuse ja hoolsusega. Oleks olnud kummaline, kui ta ei oleks Keri sündmust uurides inimese rollile selles loos tähelepanu pööranud. Dossil oli Keris juhtunu kohta tervikpilt olemas. See toetus kohapeal tehtud vaatlustele, ajalehtedes ilmunud artiklitele, ilmaandmetele ja loogilistele järeldustele. Seda kõike käsitles ta oma 1913. aastal avaldatud artiklis Balti provintside seismiliste sündmuste kohta aastatel 1910–1912. Ekslikke järeldusi tegid hoopis hilisemad seismoloogide põlvkonnad. Keri juhtum näitab veelkord, et seismoloogia ajaloo uurimisel tasub kontrollida igat faktikildu ning tsiteeringute asemel püüda leida võimalikult originaalseid allikaid.

*Tallinna Teatajas* (29.03.1912) mainitud „jäälademete pörkamist kalda vastu“ pidas Doss maa võnkumise tekitajana ebatõenäoliseks, seda kinnitasid ka ilmavaatluste andmed. Paugatustele selgitust otsides välistas ta kohe tektoonilist laadi maavärina. Kõne alla ei saanud tulla ka maa värisemine postglatsiaalse maatoosu ajendil, kuna maakerged antud asukohas enam ei täheldatud. Doss, olles teadlik Keri gaasileiukohast ja sellega kaasnevatest as-

jaoludest, pidaski Keri nähtuste ainsaks võimalikuks tekkepõhjuseks saare maapõue kogunenud gaasi ja selle tarbimisega tekkinud ebastabiilset olukorda, mis väljendus lõpuks tugevate plahvatustena.

Bruno Doss oli laialdaste teadmistega põhjalik looduseuurija, kes pimesi seisukohti ei esitanud. Ta oli Baltimaade geoloogiaga hästi kursis, ajaloolised maavärinad ja makroseismilised vaatlused oli üks tema huviobjekt. Talle olid omaised detektiivii töövõtted: tõe otsingul ei jäeta ühtegi kivi ümber pöörmata. Ja ükski maavärin ei aegu – uute andmete leidumisel võetakse juhtum jälle käsile. Instrumentaalseismoloogiaga Doss ei tegelnud, kuid ta oli teadlik seismojaamadest, mis juba tema ajal maailma maavärinaid salvestasid (Doss 1905a, 1905c).

## Instrumentidega seismoloogia

Seadmetega salvestatud seismilised vaatlused said alguse 19. sajandi teises pooles, kui juba 18. sajandil tehti Itaalias esimesi pingutusi maavärinaid registreerivate seadmete ehitamiseks (Dewey ja Byerly 1969). Omaaegse põhjaliku ülevaate enne 20. sajandit leiutatud erinevatele põhimõtetele baseeruvatest arvukatest seismilistest seadmetest esitas **Reinhold Ehlert**, kes oli üks seismograafide ehitamise pioneere (Ehlert 1898a; Reinhold Ehlert... i.a). Uuema ülevaate seismomeetriast kuni 1900. aastani koostasid seismoloogid James Dewey ja Perry Byerly (1969). B. B. Golitsõni esitleb oma õpikus „Seismomeetria loengud” (Golitsyn 1912; Galitzin 1914) tähtsamaid 20. sajandi esimesel kümnendil leiutatud seismograafe. Värske ülevaate maavõnkeid registreerivate seadmete arenguloo kohta on koostanud geofüüsik Johannes Schweitzer (2007; seadmete jooniseid: nt Schweitzer ja Lee 2003, lk 1718–1723).

Seismoloogia esirinnas oli peale Itaalia, Jaapani, Suurbritannia ja Saksamaa ka Venemaa, mille edulugu põimub olulisel määral Eestiga. Juba Esimese maailmasõja eelsel aastakümnel oli saavutatud olukord, mil seadmekomplektide ajaline täpsus ning tundlikkus võimaldasid seismiliste lainete salvestamise rahuldaval tasemel. Ühtlasi sai selgeks, et on vaja ühiselt tegutseda, sest seismilised lained läbivad tervet maakera ja ei peatu riigipiiridel. Globaalse seismoloogia sünnihetkeks võib pidada 1889. aasta 17. aprilli, mil **Ernst von Rebeur-Paschwitz** (Fréchet ja Rivera 2012) registreeris Saksamaal astronoomilisteks mõõtmisteks seadistatud horisontaalpendlitega Tokio maavärina (Rebeur-Paschwitz 1889, 1892, Schweitzer ja Lee 2003, joonis 14; Schweitzer 2007, joonis 5).

Seismomeeter on seade, mis mõõdab looduslike protsesside või inimtegevuse (näiteks lõhkamise) tagajärjel tekkinud maavõnkeid, täpsemini maa võnkumise kiirust. Lihtsustatud põhimõtte järgi käitub seadme rippuv pendel ehk selle mass maa rappumisel inertsel ning seetõttu pendli ja maa vahelise suhtelise liikumise muutus registreeritakse (Vilip 1923; How does a seismometer... i.a). Et ka väikeste liikumiste registreerimine oleks silmaga nähtav, on vaja liikumiste ulatust võimendavat süsteemi.

Varasemad seismomeetrid olid ühendatud maavõnkeid registreeriva seadmega, mis koos aega märkiva kellaga moodustasid seismograafi komplekti. Maavärinate üleskirjutised ehk seismogrammid joonistusid trumlile kinnitatud paberile enamasti fotograafiliselt või tindiga (About the seismograms i.a). Nüüdisaegsed elektroonilised seismomeetrid salvestavad digitaalse signaali otse arvutisse.

Seismilised lained levivad sündmuse koldest kindla seaduspära järgi (3-component Seismograms... 2017). Kõige kiiremini liiguvad pikilained, millele järgnevad ristlained. Kui

sündmus leiab aset maapinna lähedal, registreeritakse viimasena ka pinnalained. Seismiliste lainete leviku kiirust maapõues mõõdetakse kilomeetrites sekundi kohta (Maa vahevöö alumises osas kuni 13,5 km/s; Helffrich ja Wood 2001, joonis 1). Selliste kiiruste juures on täpse kellaaaja määramine äärmiselt oluline, et tagada andmete sobivus sündmuste lokaliseerimiseks ja täpsustavaks uurimiseks.

Seismiliste lainete mõjul maapõues tekkinud liikumistest tervikpildi saamiseks ning lainete liikide identifitseerimiseks tuleb teha kolmedimensioonilisi mõõtmisi. Kaasaegse seismomeetri sisse on ehitatud kolm registreerivat komponenti (ortogonaalselt üks vertikaal- ja kaks horisontaalsuunas), varem kasutati kolme eraldi seadet. Maapinna üles-alla liikumist registreeriv vertikaalseismomeeter on kõige asjakohasem pikilainete salvestamiseks. Vertikaalsete võnkumiste suhtes risti paiknevad horisontaalsed komponendid, üks põhja-lõuna- ja teine ida-läänesuunaline. Nende salvestised on parimad ristlainete algusaja fikseerimiseks (3-component Seismograms... 2017).

## Eesti ja Peterburi seismiliste lainete mõõtmiste ajaloo

Eesti instrumentaalsete seismiliste vaatluste ajaloo esimesed leheküljed kirjutati Tartu (*Jurjevi*) Tähetornis, kus 1894. aastal alustas tööd Harkivi Ülikoolist saabunud vene astronoom professor **Grigori Vassiljevits Levitski** (Heinloo 1997; Viik i.a). Eduka ja mõjuka teadlasena jätkas ta Tartus juba Harkivis alustatud seismilisi uuringuid, millele andis peagi oma heakskiidu ka Vene impeeriumi seismoloogia keskkomisjon.

Levitski paigaldas 1896. aastal maavärinate registreerimiseks Tartu Ülikooli Tähetorni (astronoomiaobservatooriumi) keldrisse kaks horisontaalpendlit. Tema poolt pidevalt täiendatud pendelmõõteriistadega saavutati märkimisväärseid tulemusi (Heinloo 1997; Viik i.a). Näiteks salvestati 1897. aasta jooksul nende seadmetega kaheksakümmend maavärinat (Heinloo jt 1996; Heinloo 1997). Tartu vaatlused leidsid kajastamist ka rahvusvahelises bületäänis (Rudolph 1903).

1893. aasta sügisel tuli Tartu Ülikooli füüsikaproffessoriks veel üks ülemaailmselt tuntud seismoloogia rajaja, Peterburi vürst **Boriss Borissovitš Golitsõn**. Eduka noorteadlase suunamine väikese provintsilinna ülikooli ei olnud sel ajal kuidagi iseäralik, sest 19. sajandil oli Tartu Tsaari-Venemaa tähelepanuväärne kultuurikeskus (Reinet 1975). Paraku tegutses Golitsõn Tartus siiski kõigest ühe semestri naastes taas Peterburi (Heinloo 2003), kus ta oli aastatel 1894–1914 Mereakadeemia professor ja 1913. aastast alates Geofüüsika Peaobservatooriumi direktor (Nimekad teadlased... i.a). Seismograafide ja muude teaduslike aparatuuride ehitamiseks asutas ta oma laboratooriumi juurde spetsiaalse mehaanikatöökoha (Heinloo 2003).

Golitsõni meteoroloogia loenguid Tartus kuulas ja hiljem sooritas eksami hindede „väga hea” **Johan Vilip**, kes oli 1891. aastal alustanud õpinguid füüsika ja matemaatika osakonnas. Pärast ülikooli lõpetamist ei leidnud Vilip endale Tartus sobivat töökohta ning Golitsõn võttis ta 1896. aastal enda juurde Peterburi labori assistendi abiliseks ja praktikandiks. See samm mõjutas oluliselt Vilipi teadlaskarjääri kujunemist (Prüller 1975; Heinloo 2003). 1900. aastal sai Vilipist Vene Teaduste Akadeemia labori assistent ja pärast Peterburi Mereväeakadeemia asutamist selle füüsikalabori juhataja (Reinet 1975; Heinloo 2003).

Vene Teaduste Akadeemia juures ajutiselt tegutsenud seismoloogia komisjon muudeti 1902. aastal alaliseks (Wilip 1904c). Seda sündmust peab geofüüsik Ruben Tatevossian (2004) Vene instrumentaalsete seismiliste vaatluste ajastu alguseks. Samast aastast alates hakati maavärinate kohta kogutud andmeid kajastama eraldi bületäänis. Kõige esimeses neist avaldati viie Vene impeeriumi alal asuva seisvojaama, sh Tartu, ning kahe seismilisi vaatlusi teinud astronoomilise observatooriumi andmed (Tatevossian 2004).



Seismoloogia komisjoni liikmeks valiti ka füüsik ja geofüüsik Boris Golitsõn, kelle trükis avaldatud detailsed teoreetilised arutelud aitasid muuta seismoloogia kirjeldavast teadusest füüsikalis-matemaatiliseks teadusharuks. Golitsõn tegeles innukalt seismograafide tehniliste uuendustega ja katsetas neid ka praktikas (Galitzin 1902, 1904, 1910, 1911a, 1912; Wilip 1904b; Masing 1985; Heinloo 2003). 1901. aastal kutsus ta Saksamaalt Peterburi Tartust pärit peenmehaaniku ja hilisema seismograafide konstrueerija **Emil Hugo Gottfried Masingu**, kes pidi oma teoreetiliste ja praktiliste oskustega (Masing 1985; Heinloo 2003) kaasa aitama täppisseadmete töökoja asutamisele. Töökoja aparatuur telliti Saksamaalt ja esialgu panustati enam meteoroloogia edendamisele. Masingu ülesandeks oli ka uute tehnikute koolitamine (Masing 1985; Heinloo ja Rennit 1993).

1902. aastal ühendas Golitsõn seismomeetri salvestusseadme galvanomeetriga, mis võimaldas maapõue liikumiste täpsemat arvutamist (Schweitzer 2007, joonis 8; Wilip 1904b; Dewey ja Byerly 1969; Prüller 1975; Masing 1985; Heinloo ja Rennit 1993; Heinloo 2003). Golitsõni komplekteeritud maa horisontaalseid ja vertikaalseid võnkumisi mõõtvate esimese elektromagnetilise seismomeetri põhimõttel töötavad enamasti ka nüüdisaja seismomeetrid (Schweitzer 2007, tehniline lühiseloomustus: G. W. W. 1910; 7 – Galitzine i.a).

Masing hakkas Golitsõni visandite järgi konstrueerima seismograafe, registreerimissüsteeme ja muud kaasnevat (Galitzin 1902, 1904). Ta koostas täpsed joonised, ehitas testimiseseadmeid ja tegi ettevalmistusi masstoodangu valmistamiseks (Masing 1985). Uued seismograafid kogusid kuulsust ning neid hakati tellima Vene impeeriumi ja Euroopa riikide observatooriumitesse (Masing 1985; Heinloo ja Rennit 1993). Nõudluse rahuldamiseks otsustas Masing asutada Peterburi Teaduste Akadeemia Füüsikainstituudi juurde oma firma (Masing 1985; Heinloo 2003). Golitsõn hindas Masingu tööd väga kõrgelt, rõhutades korduvalt tema panuse tähtsust seadmete ehitamisel (Galitzin 1911a, 1911b, 1914).

Ka Vilipisse suhtus Golitsõn jätkuvalt väga hoolivalt teda pidevalt edutades, kuni Vilipist sai Golitsõni partner ja kaastöötaja ning ühiste teadusartiklite autor, ja seda mitte ainult seismoloogias, vaid ka teistes füüsika valdkondades (Elango 1959; Reinet 1975; Heinloo 2003).

Golitsõn saatis 1905. aasta septembris Vilipi ja Masingu tööreisile Tartusse, kus nad otsisid tõestust Golitsõni teooriatele. Levitski juhitud Tartu seismojaam asus sel ajal Toomemäe vanas laskemoonakeldris. Seal katsetati esimest korda ühendada galvanomeetriga registreerimistehnikat **Zöllneri** seismomeetriga (Galitzin 1906; Fréchet ja Rivera 2012, joonis 2). Selgus, et ei seismomeeter ega keldri tingimused polnud sobivad rahuldava täpsusega mõõtmiste tegemiseks (Prüller 1975; Heinloo 1997, 2003).

1906. aasta lõpus avas Golitsõn Peterburi lähedal Pulkovos Venemaa Teaduste Akadeemia observatooriumis seismojaama, kus testiti vaatlusmetoodika väljatöötamiseks mitmesuguseid seismilisi aparate (Wilip 1911; Elango 1962; Reinet 1975). Suures osas viis katsetusi läbi Vilip, kes spetsialiseerus aastatel 1907–1908 seismoloogiale, eelkõige seismojaamade seadmete paigaldamisele. Pulkovo seismojaama avamisel demonstreeris Golitsõni uue seismograafi tööd Masing, kes oli selle koos Vilipiga ehitanud (Reinet 1975; Heinloo ja Rennit 1993; Heinloo 2003). 1910. aasta suvel paigaldati Pulkovosse Golitsõni vertikaalseismograaf. Seismojaama tarbeks ehitatud hoone valmis 1911. aastal (Wilip 1912) ja jaama tööd juhtis kuni 1920. aastani Vilip (Galitzin 1911b; Heinloo jt 1996; Heinloo 2003).

Pärast Tartu seismojaama asutaja ja juhataja Levitski lahkumist 1908. aastal Vilniusesse, jätkas tema tööd 1909. aastal **Aleksandr Jakovlevitš Orlov**, kes oli olnud juba aastatel 1905–1906 Tartu Observatooriumi assistent. Orlov sarnaselt teiste Tartus tegutsenud seismoloogia pioneeridega oli saanud rahvusvahelise hariduse ning tegi mitmekülgset teadlasekarjääri astronoomia, gravimeetria, seismoloogia ja geodeesia alal (Heinloo 1997, Kulikovskiy i.a).

Tartu esimese seisvojaama ajalugu lõppes paraku 1912. aastal, mil kujundati ümber Vene impeeriumi seisvojaamade võrk (Galitzin 1911b). Peterburi Teaduste Akadeemia alaline seismoloogia keskkomisjon otsustas 1910. aastal luua esimese ja teise järgu seisvojaamade võrgu. Nõudmised teise järgu jaamade seadmete kvaliteedile olid madalamad (Vilip 1923, lk 134). Kuna Pulkovo observatooriumile võrdlemisi lähedal asuvas Tartus ei olnud kunagi registreeritud kohalikke maavärinaid, siis ei nähtud siin enam vajadust seismitiliste vaatluste tegemiseks (Galitzin 1911b, lk 127; Heinloo jt 1996; Heinloo 1997). Seismilised vaatlused Tartus katkesid, kui seisvojaama viimasena juhtinud Orlov läks 1912. aasta lõpus Odessa Ülikooli observatooriumi juhatajaks (Heinloo jt 1996; Heinloo 1997).

20. sajandi esimese aastakümne lõpuks oli Venemaa saanud üheks seismoloogia valdkonda juhtivaks riigiks maailmas ja seda suuresti tänu Golitsõni tegevusele (Wilip 1921a; Yanovskaya 2014). Tema poolt välja töötatud ja Masingu ehitatud seismograafid olid kvaliteedilt tiptasemel ning ajavahemikul 1906–1916 telliti neid 16 seisvojaama üle Vene impeeriumi ja Euroopa (Seismographen... 1929; Elango 1959; Prüller 1975; Masing 1985; Heinloo ja Rennit 1993; Heinloo 2003).

Golitsõn oli loomulikult tihedalt seotud Vene impeeriumi seisvojaamade võrgu arenguga, aga andis isikliku panuse ka mujal. Suurbritannia ajalooliste seismoloogiliste observatooriumite raportist (Lovell ja Henni 1999) selgub, et Golitsõni seismograafidega varustatud Eskdalemuir oli aastaid ainuke seisvojaam Suurbritannias, kus mõõdeti maavärinaid kolme komponendi seadmekomplektiga. Nende paigaldamise jälgimiseks saabus Golitsõn ise kohale; mainitakse ka instrumentide ehitajat H. Masingut. Eskdalemuiri Observatooriumisse paigaldatud seadmeid silmas pidades andis ajakiri Nature 1910. aastal Golitsõni aparatuurile väga kiitva hinnangu (G. W. W. 1910).

Kahjuks katkes Masingu ja Golitsõni edukas koostöö 1916. aastal Golitsõni enneaegse surma tõttu (Masing 1985). Eeldatavasti jätkasid Masing ja Vilip Golitsõni originaalse disainiga seadmete tootmist ka pärast nende leiutaja lahkumist. Masingu töökoja reklaambrošüüri „*Seismographen für galvanometrische Registrierung nach Fürst B. Galitzin und Prof. J. Wilip*“ (1929) järgi olid Golitsõni seismograafi omandanud ka Jekaterinburgi ning Hiina Zi-ka-wei (*Zicawei*) observatoorium.

1920. aastal pärast Vene revolutsiooni asusid Vilip ja Masing elama Eestisse. Masing rajas 1921. aastal Tartusse peenmehaanika töökoja „Teaduslikkude Aparaatide Tööstus Hugo Masing“, kus valmistati analüütilisi kaale ja muid teaduslikke instrumente põhiliselt Tartu Ülikoolile ning suurtüki- ja jalaväe tulejuhtimise seadmeid Eesti sõjaministeeriumi jaoks. Kõige hinnatumaks kaubaks osutusid siiski töökojas toodetud seismograafid (Masing 1985; Mürsepp 1989; Heinloo ja Rennit 1993; Heinloo 2003; Kriis 2016; Laidla 2019).

Johan Vilipist sai Tartu Ülikooli füüsikaproffessor ja füüsikainstituudi juhataja ning ühtlasi tegeles ta ka seismitiliste seadmete konstrueerimisega (Reinet 1975; Masing 1985). Vilip väljendas ajalehes *Postimees* ilmunud kaheosalises artiklis „Sõda ja seismoloogia“ (Wilip 1921a, 1921b) frustratsiooni Venemaal loodud peenseismomeetria ja edusamme teinud seismoloogia põhjuse taandumise üle. Ta kurtis, et pärast Golitsõni surma hakkas seismoloogia Venemaal kiiresti taanduma nii sõja kui ka „tagurlaste intriigide“ tõttu. Vilipi meeoleolu kajastab ka Tatevossian (2004), kes nendib, et Esimese maailmasõja, riigipöörete ja kodusõja tõttu tekkinud segastel asjaoludel aastatel 1914–1925 seismoloogia sisuliselt kadus Venemaalt. Olukorda peegeldab drastiliselt Rahvusvahelise Seismoloogia Assotsiatsiooni – organisatsiooni, kus Venemaa Golitsõni eestvedamisel oli välja paistnud – 1922. aasta Strasbourgi assamblee osavõtjariikide nimekirja märkus: „*Venemaa. Side absoluutne katkemine.*“ (Kövesligethy 1922).



Tartus jätkus Vilipi ja Masingu viljakas koostöö (Reinet 1975; Heinloo 2003). Masing mõtles välja uue konstruktsiooni seismograafi jaoks, mida Vilip täiustas (Masing 1985; Heinloo ja Rennit 1993). Esimesed Golitsõn-Vilipi seismograafid (üks vertikaalne ning kaks horisontaalset komponenti) valmisid Masingu töökojas 1925. aastal (Masing 1985). Esimene riik, kuhu täiustatud aparatuur läkitati, oli Taani. Pärast seda saadi tellimusi üle maailma (Masing 1985).

Aastatel 1926–1939 jõudsid 23 Tartus ehitatud Golitsõn-Vilipi seismograafi täiskomplekti (ehk üks vertikaalne (Z) [joonis 2] ja kaks horisontaalset komponenti (N ja E) [joonis 3]) observatooriumitesse üle maakera – Euroopas: Kopenhaagen, Scoresbysund (Gröönimaa), Potsdam, Stuttgart, Varssavi, Krakov, Tartu, Rooma; Aasias: Beirut, Manila, Peking, Nanjing, Shanghai; Ameerikas: New York, Cincinnati, St. Louis, Berkeley, Santa Clara, Buffalo, La Paz (Boliivia), Martinique (Väikesed Antillid), Okeaanias: Wellington; Aafrikas: Kairo (Elango 1959; Prüller 1975; Heinloo jt 1996). Lisaks märgitakse Masingu töökoja brošüüris (Seismographen... 1929) seismograafide sihtkohtadeks ka Zi-ka-wei ning Uccle, kus juba olid olemas Golitsõni-tüüpi seadmed.

Maailma seismojaamade uuendatud nimekiri ilmus 1931. aastal küsitluste baasil, mis korraldati 1928. ja 1929. aastal (McComb ja West 1931). Nimekiri on koostatud selle põhjal, kuidas observatooriumid päringutele vastasid. Mõned infokillud pidid toimetajad ise lisama. Kvantitatiivsete uuringute tarbeks liigitati hoolikalt erinevad instrumentide tüübid, koos nende omaste parameetritega (McComb ja West 1931, lk 83–114).

Eesti Riigi Keskarhiivis hoiul olevast Masingu ettevõtte ulatuslikust kirjavahetusest selgub, et Masing tegeles ka müüdü seismograafide hooldamisega, jagades vajadusel nõuandeid ja saates varuosi (ERA.891.2.4918; Heinloo 2003; Laidla 2019). Iga välismaale saadetud seadet kontrollis ja kalibreeris Vilip isiklikult Tartu Ülikooli peahoone keldris (Seismographen... 1929; Prüller 1975, foto 5; Heinloo 2003).

Vilip kaitses oma doktoritööd 3. detsembril 1930. aastal (Postimees 05.12.1930; Prüller 1975; Reinet 1975). Saksakeelne väitekirja kandis pealkirja „Ein galvanometrisch registrierender Vertikalseismograph mit Temperaturkompensation“ (Galvanomeetriliselt registreeriv vertikaalseismograaf koos temperatuuri kompenseerimisega; ingliskeelne publikatsioon: Wilip 1930).

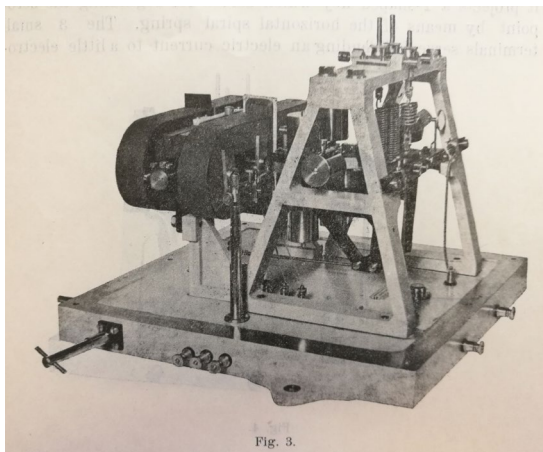
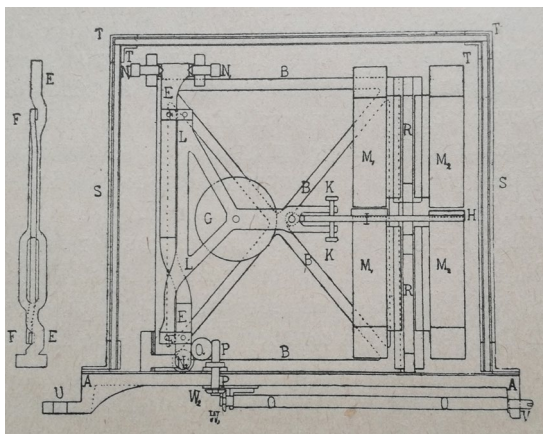
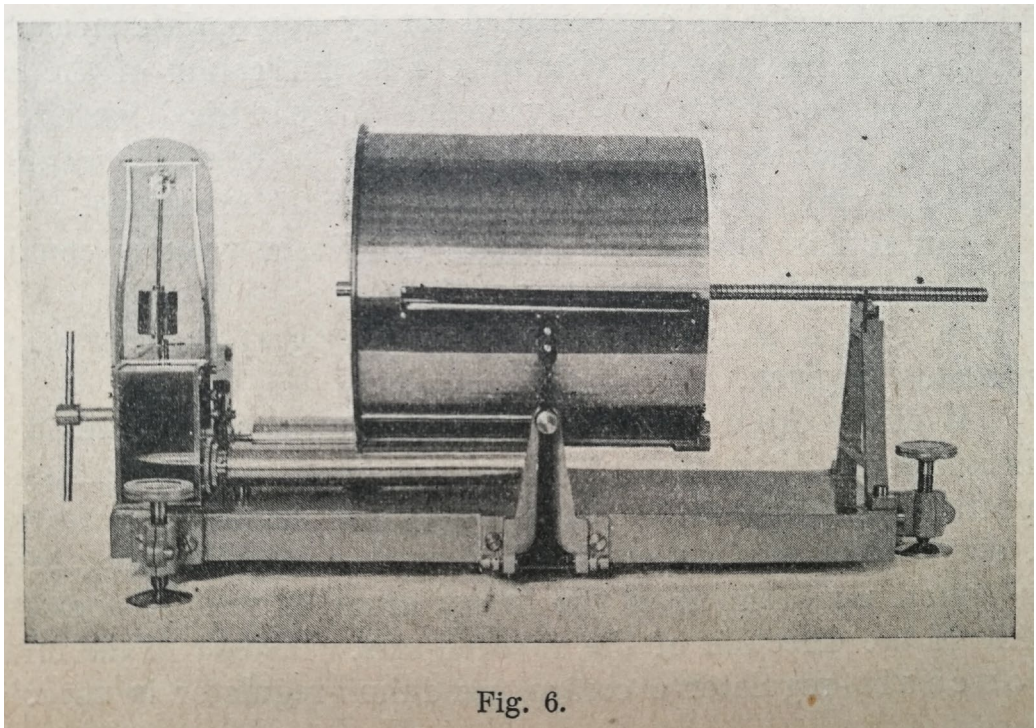


Fig. 3.

**Joonis 2.** Golitsõn-Vilipi vertikaalseismograaf. Seadme põhja mõõdud on 43,3 cm x 45,3 cm. Töökorras seismograafidele pandi kaitseks klaasist kast (Wilip 1930, joonis 3).



**Joonis 3.** Golitsõn-Vilipi horisontaalseismograafi läbilõige. Horisontaalkomponente on seismojaamas vaja kaks, asetatud üksteisega risti (Wilip 1926, joonis 1).

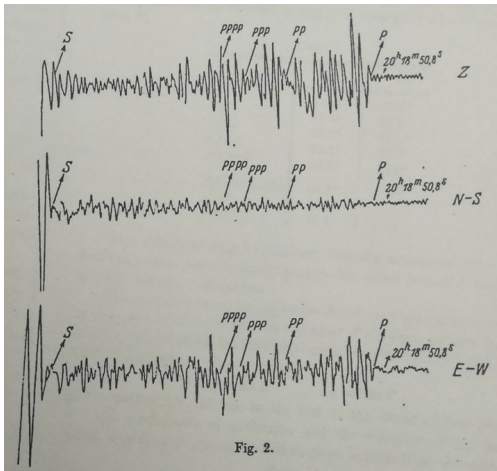


**Joonis 4.** Hugo Masingu registreerimisese, mida Vilip nimetas meistri mehaaniku suureks saavutuseks (Wilip 1926, joonis 6). Fotograafiline registreerimispaber asetati trumlile, mis võis liikuda kahel kiirusel - kas 15 või 30 mm minutis ehk üks paberileht mahutas registreeringuid kas kahe või ühe ööpäeva jagu.

Vilip esitles töös Golitsõni seismograafi täiendatud ja parandatud versiooni, kirjeldades seadme ehitust, parameetreid ja aparraadi töö põhimõtteid. Täiustatud vertikaalseismograaf kogus kiiresti tuntust ja selle tellisid endale kuus Euroopa ja kuus Ameerika seismojaama (Wilip 1930, lk 47). Vilip ise tunnustas Masingu tähtsust seadmete ehitamisel [joonis 4] ja ei salanud oma rahulolu seismograafide üle (Wilip 1926, 1930). Ta pidas oma kolme komponendiga seismograafi komplekti esmaklassiliseks ning märkis doktoritöös vertikaalseismograafi kohta: „See mudel oma kõige uuemal kujul on üks kõige usaldusväärsem ja elegantsem seade ning saab olema kasulik igas seismojaamas.”

Vilipi pingutuste tulemusel alustati seismoseirega Tartus uuesti 1931. aasta 1. jaanuaril aadressil J. Liivi tänav 4, kui tööle pandi kahekümnekolmas ja parim Masingu töökojas monteeritud kolmekomponendiline Golitsõn-Vilipi seismograaf [joonis 5] (Prüller 1975; Heinloo ja Rennit 1993; Heinloo jt 1996). Märkimisväärset sündmust kajastas esilehe uudisega ajaleht *Postimees* (06.12.1930), mainides ka suurt rahatulu (130 000 krooni nelja aastaga) seadmete müügist välismaa observatooriumitele: „See on puhas raha, mis jääb meie rahvale. Peale selle hindamata au.”

Tartus ilmunud saksakeelne ajaleht *Deutsche Zeitung* (08.06.1935) kajastas kohaliku seismojaama olemasolu artiklis „Meie ülikooli väike imejaam”. Artikkel kirjeldab seismojaama seadmeid ning kiidab nende suurepärasust. Uhkustatakse, et „meie” seismograafid töötavad Ameerikas, Hiinas, Prantsusmaa kolooniates, Saksamaal ja üleüldse igasugustes maakera piirkondades, kus nad kuuluvad kõiki maavõnkeid ning need kohemaid registreerivad.



**Joonis 5.** Tartu seismojaama salvestise näidis: maavärin, mis leidis aset Hiinas 15.01.1931 (Frisch 1932, joonis 2). Komponentid: Z – vertikaalne, N-S – horisontaalne põhi-lõuna, E-W – horisontaalne ida-lääs. Märgistatud on pikilaine esimene impulss (P), P mitmekordsed peegeldused ning ristlaine tuleku aeg (S). Aeg kulgeb edasi paremalt vasakule (praegu on tavapärase vastupidine suund).

sõn-Vilipi seismograafide eeskujul ehitatud Masingu tooteid hakati turustama 1954. aastal (Prüller 1975). Need Golitsõn-Vilipi seismograafid või nende eeskujul konstrueeritud uued seadmed olid 1960. aastatel kasutusel enam kui 50 seismojaamas ning 1970. aastal veel seitsmes seismojaamas (Müürsepp 1989; Heinloo ja Rennit 1993). Eesti mehaanika-teadlane ja teadusajaloolane Peeter Müürsepp meenutas ajakirjas *Horisont* (1989): „Veel viiekümnendatel aastatel, kui olin Teaduste Akadeemia Füüsika ja Astronoomia Instituudi teadussekretär, tuli mul kahetsusega vastata mitmetele kirjadele tellimiste ja järelpärimistega välismaalt, et siin enam seismograafe ei valmistata.”

Potsdami Maauuringute Keskus (*Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches Geo-Forschungszentrum*, GFZ) kinkis 2000. aastal Vilipi 130. sünniaastapäevaks Tartu Ülikooli Ajaloomuuseumile 1920. aastatel Tartus valmistatud Golitsõn-Vilipi horisontaalseismograafi (Heinloo 2003). USA Ohio Ülikool annetas muuseumile 2009. aastal vertikaalseismograafi, mille oli tellinud Cincinnati linna Xavieri Ülikool Masingu töökojast 1927. aastal 2230 dollari eest (Himma-Kadakas 2009).

## „Vene pendlid” seismoseadmete esirinnas

Enne Golitsõni aparatuuri loomist olid kasutusel mehaanilised seismograafid. Tema 1902. aastal konstrueeritud elektromagnetiline seismograaf oli suur edusamm instrumentide arengus (Udías ja Buforn 2017, lk 33; Prüller 1975; Masing 1985), kus pendlisüsteemi mehaaniline liikumine muudeti elektrodünaamika mõjul elektrivooluks (Heinloo ja Rennit 1993). Seadmete ehitamiseks tuli Golitsõnil põhjalikult tegelda ka teoreetiliste teadmiste kogumisega nii seismoloogia kui tehnika osas (Galitzin 1902, 1904, 1910, 1911a, 1912, 1914; Elango 1962).

1938. aastast on pärit lühifilm, mis tutvustab Tartu Ülikooli meteoroloogia observatooriumi seismograafe ja maavärinate registreerimist (Maaväringute registreerimine 1938).

Tartu seismojaam töötas Liivi tänavas kuni II maailmasõja alguseni 1939. aastal. Jaam tuli sulgeda põhjusel, et enam ei olnud võimalik hankida fotopaberit seismogrammi-de salvestamiseks (Heinloo ja Rennit 1993; Heinloo 2003). 1943. aastal tabas venelaste pomm Laial tänaval asunud Masingu töökoda (Heinloo 2003). Tartus töötanud seismojaam demonteeriti aastatel 1943–1944 ja seadmed viidi Saksamaale (Elango 1959; Prüller 1975; Reinert 1975). Lühikest aega töötanud seismojaama seismogrammid on arhiveeritud Tartu Ülikooli raamatukogus (Heinloo 2003).

Golitsõn-Vilipi seismograafide komplekteerimise taastas 1950. aastatel saksa firma *Askania-Werke AG*. Masingu poeg **Woldemar Masing** koostas seadmete tootmiseks uued joonised, garanteeris tootmislicentsi ja pakkus oma abi mehaanikute koolitamisel (Masing 1985; Heinloo ja Rennit 1993). Golit-

Golitsõni aparatuuriga oli võimalik suure täpsusega registreerida teleseismilisi ehk tuhandete kilomeetrite kaugusel toimuvaid maavärinaid. Samuti lahendas ta olulise probleemi, kuidas määrata maavärina asukohta ühe seisnilise jaama andmete põhjal (Galitzin 1909, 1911c; Elango 1962; Heinloo ja Rennit 1993; Yanovskaya 2014). Selleks konstrueeriti aparatuur kolme pikaperioodilise pendli süsteemist, kus üks oli seatud vertikaalselt ning teised horisontaalselt põhja-lõuna ja ida-lääne suunas (Galitzin 1911a; Heinloo ja Rennit 1993). Sündmused salvestati trumlile paigutatud valgustundlikule paberile.

Golitsõni arvukad innovaatilised tehnilised lahendused täiustasid pendlisüsteemi oluliselt. Nii ei olnud mehaanilistele seadmetele omane hõõrdumine enam probleemiks (Masing 1985), galvanomeetri rakendamine mõõtmistel vähendas kohalikust müra- ning tingitud seismogrammi „karvasust“, mis muutis nende tõlgendamise täpsemaks. Samuti oli nüüd võimalik paigutada registreeriv aparatuur teise ruumi, seismomeetrist kaugemale (Wilip 1926).

Rahvusvaheline seismoloogiline kongress pidi toimuma Peterburis 1914. aasta suvel, mis aga sõjaolukorra tõttu ära jäi. Vilipi sõnul (Wilip 1921a) oli kongressil plaanis arutada võimalust kasutada maailma kõigis seismojaamades ühe süsteemi aparatuuri. Loomulikult pidas ta parimaks alternatiiviks Golitsõni seadmeid: „*Wenemaa registreerimise meetod, mis päewapildi [fotograafilise] paberi tõttu küll kallim on, annab aga võimaluse veel täpsemalt töötada ja maakera sisemusele veel ligemale astuda.*”

Ühe süsteemi rakendamisel on iva sees, sest erinevate seadmete salvestiste kvantitatiivne kokkusobitamine on tülikas, nõudes parameetrite vahelisi kalibreerimisi ja konverteerimisi (nt Chakrabarty ja Tandon 1961). Kuigi Golitsõni seadmed olid innovatiivsed ja tunnustatud, võib siiski ette kujutada, et erinevate seismograafide leiutajad-konstrueerijad ning kasutajate koolkonnad oleksid olnud pigem oma seadmete poolt kasvõi juba harjumusest kui mitte näiteks majanduslikel põhjustel. Maailma esimene seismojaamade kataloog (Wood 1921) ei too eraldi tabelina välja kasutusel olnud aparatuuride tüüpe, aga teises kataloogis (McComb ja West 1931, lk 83–114) on eristatud paarkümmend erinevat seadmetüüpi ja lisaks on klass „segalaadilised instrumendid“. Paljud nendest või nende varasematest variantidest eksisteerisid juba Golitsõni ajal.

Golitsõni seismograafil olid siiski ka olulised kitsaskohad. Vertikaalne seismograaf oli väga tundlik ümbritseva temperatuuri suhtes. Selle vedrusüsteem tekitas mõõtmistel oluliselt segava kõrvalekalde juba siis, kui temperatuur muutus 0,0001 °C võrra. (Wilip 1930; Elango 1959; Heinloo 2003). See tähendas, et seadet pidi kasutama võimalikult stabiilse temperatuuriga ruumis, näiteks sügavale maa sisse ehitatud hästi isoleeritud keldris (Wilip 1930; Elango 1959; Mürsepp 1989).

Temperatuuritundlikkus oli suuresti praktilist laadi probleem, mis mõjutas seismogramme tõlgendamist. Vähesegi temperatuuri kõikumise juures hakkas seismograafi trumlile joonistuv üleskirjutus ebaühtlaselt „triivima“. Paberile joonistunud kõvera jooned ei pruukinud olla järjestikused ja ühtlaste vahedega, vaid võisid isegi ristuda. Sellise registreeringu tõlgendamisel oli üldise fooni seest keeruline eristada tegelikku maapinna liikumist (Wilip 1929).

Koostöös Masinguga tegi Vilip 1920. aastatel Golitsõni aparatuurile rea parandusi ja täiustusi. Algul täiendasid nad Golitsõni horisontaalseismograafi disaini. Tähtsaima uuendusena likvideerisid nad võngete summutamise süsteemist tuleneva magnetismi tagajärjel tekkinud pendli võnkeperioodi muutumise (Wilip 1926; Elango 1959). Kõige olulisem oli siiski vertikaalseismograafi temperatuurikompensatsiooni leiutamine (Wilip 1929, 1930; Elango 1959; Prüller 1975; Reinet 1975; Masing 1985; Heinloo ja Rennit 1993; Heinloo 2003). Lisaks muudeti pendli riputusviisi nii, et selle periood ei sõltunud enam võnkenurgast. Öhuvoolu-



de mõju tundlikule pendlile välistati seismograafi paigutamisega hermeetilisse ümbrisesse (Wilip 1926; Prüller 1975; Reinet 1975; Masing 1985; Mürsepp 1989; Heinloo ja Rennit 1993; Heinloo 2003).

## Eesti panus Taani ja Maa tuuma geofüüsikasse

Täiustatud Golitsõn-Vilipi aparatuur tegi esimesed tuleristsed läbi 1926. aastal Taanis. Taani uurijatel oli plaanis teha geofüüsikalisi vaatlusi Gröönimaal ja paigaldada saarele ka seis-  
mojaam. Parima aparatuuri leidmiseks katsetati eelnevalt Kopenhaagenis erinevaid me-  
haanilisi pendlisüsteeme (Masing 1985; Hjelme 1996; Lehmann 1987), millest kõige suure-  
joonelisemad olid sõetatud paberile sündmusi registreerivad tonnise kaaluga **Wiecherti**  
pendlid (Schweitzer 2007, joonis 7).

Katsetuste käigus selgus, et “Vene pendlid” ehk Golitsõn-Vilipi elektromagnetilised  
seismograafid olid ülekaalukalt paremad kõi-  
gi mehaaniliste seadmetega võrreldes. Just  
need olid sobilikud kaugete maavärinate  
poolt tekitatud piki- ja ristlainete uurimiseks  
(Hjelme 1996). Esmalt paigaldati Golitsõn-Vili-  
pi seismograaf Kopenhaageni seismojaama,  
mis avati 1926. aasta 18. novembril (Lehmann  
1987).

Gröönimaa sai oma kolmekomponendi-  
lise Golitsõn-Vilipi aparatuuriga varustatud  
Scoresbysundi (*Scoresby Sund*) seismojaama  
1928. aastal (Hjelme 1996). Muuhulgas  
olid just Scoresbysundi jaama salvestised  
1929. aasta 17. juunil Uus-Meremaal toimu-  
nud Bulleri (Murchisoni) maavärina (magni-  
tuud 7,3, M 7.3 Buller... i.a) kohta aluseks **Inge**  
**Lehmanni** väitele Maa siseehituse kohta:  
„*Leiame, nagu varemgi, et Maa koosneb*  
*tuumast ja vahevööst, aga et tuuma sees on*  
*sisemine tuum, kus [seismiliste lainete] kiirus*  
*on suurem kui välimises tuumas*” (Lehmann  
1936). [joonis 6].

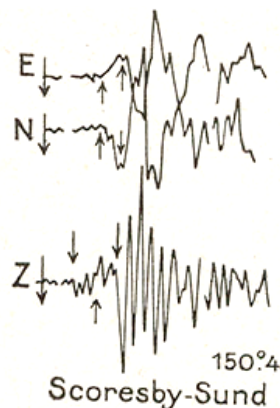


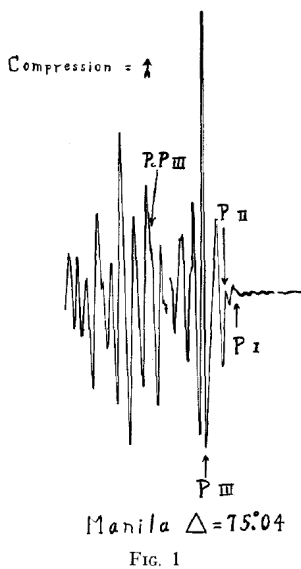
Fig. 6. — 1929, June 16. P' records.

**Joonis 6.** Uus-Meremaa Bulleri 1929. a maaväri-  
na seismogramm Gröönimaa Scoresby-Sundi  
seismojaamas, mõõteriistadeks Golitsõni-Vilipi  
seismograafid. Komponentid: E – horisontaalne  
ida-lääs, N – horisontaalne põhi-lõuna, Z – verti-  
kaalne (Lehmann 1936, joonis 6).

## Usaldusväärsed seismograafid üle maakera

Huvitav on märkida, et seismoloogia algusaastadel tegelesid observatooriumite ja seis-  
mojaamade asutamisega kõikjal maailmas jesuiitide ordu poolt rajatud ülikoolid. Neis seis-  
mojaamades oli üheks eelistatumaks aparatuuriks Golitsõn-Vilipi seismograaf (Deutsche  
Zeitung 08.06.1935; Udías ja Stauder 1996, tabel 1).

USA Missouri jesuiitide Saint Louis'i Ülikooli seismoloog **Cornelius G. Dahm** (1933) uuris  
Uus-Meremaa põhjasaarel 03.02.1931 aset leidnud hävituslikku Hawke's Bay maavärinat  
magnituudiga 7,8 (1931 Hawke's Bay earthquake 2023), kasutades koguni 113 seismojaama  
salvestisi üle maailma. Sündmus oli eriti huvitav Maa siseehituse uuringuobjekt, sest täpselt  
vastaspool Euroopas oli palju jaamu, mis Dahmi sõnul olid varustatud suurepärase instru-  
mentide ja täpse ajamääramisega. Dahm kasutas sündmuse lokaliseerimiseks kaheksat  
kvaliteetset registreeringutega jaama. Kolmes nendest oli Golitsõn-Vilipi seadmed (Wel-  
lington, Manila [joonis 7] ja Berkeley) ja ühes Golitsõni oma (Vladivostok).



Tänu Euroopas paiknenud Golitsõni-tüübi aparatuuride selgetele seismogrammidele leidis kinnitust Dahmi poolt kahtlustatud intrigeeriv asjaolu Hawke's Bay maavärina kohta: tegelikult oli aset leidnud ühe asemel kolm järjestikku tõuet. Esimese nõrgavõitu tõuke suutsid salvestada vaid tundlikud instrumendid. Sellele järgnenud keskmise suurusega teise ja väga võimsa kolmanda tõuke suutsid eristada paljud jaamad.

Vilipil oli põhjust uhkust tunda oma ja Masingu kätetööst. Dahm nentis, et kolme erinevat tõuet suutsid salvestada kõik Euroopa Golitsõni-tüübi vertikaalinstrumentidega seisvojaamad, sh Tartu. Ülejäänud Euroopa seisvojaamad registreerisid enamasti vaid teise ja kolmanda tõuke. Vilipi silmatera Tartu seisvojaam leiab eraldi mainimist Dahmi uuringus (1933, lk 152): „*Tartus [kraadikaugusega] 153.2°, on see-eest kahe P' [faasi] vaheline intervall piisav selleks, et P'\_2 [faasi] lugemises on võimatu eksida. Siin faas on terav ja selge, ja N-S komponendil palju suurem ja teravam kui P'\_r*”

**Joonis 7.** Uus-Meremaa 03.02.1931 Hawke's Bay võimsa maavärina seismogramm Filipiinide Manila seisvojaamas, mõõteriistaks Golitsõni-Vilipi vertikaalseismomeeter (Dahm 1933, joonis 1). Manila jaam oli üks kaheksast jaamast, mida Dahm kasutas sündmuse lokaliseerimiseks. Esialgne mulje oli, et toimus vaid üks maavärin, aga tänu Golitsõni-tüüpi seismograafide salvestistele oli võimalik eristada koguni kolme tõuet (esimesed pikilaineimpulsid P I, P II ja P III).

## Toimetamata jäänud tellimus

Teine jesuiidist geofüüsik ja seismoloog **Jesus Emilio Ramírez** asutas 1941. aastal Colombia Andide Geofüüsika Instituudi (*Instituto Geofísico de los Andes Colombianos*; Udías ja Stauder 1996, lk 17). Tema eesmärgiks oli luua Bogotásse ka tippasemel seisvojaam, mille rahastamiseks oli 1939. aasta märtsiks kogutud 7000 dollarit. Ramírez oli naasnud kodumaale pärast pikka maailmareisi, mille ta oli enamasti pühendanud seismoloogilistele uuringutele Euroopa keskustes ning Missouri Saint Louis'i Ülikoolis. Võib eeldada, et ta oli oma rännaku ajal kogunud palju informatsiooni olemasolevate seadmete ja nende iseärasuste kohta ning saanud soovitusi oma seisvojaama varustamiseks.

Nii telliti California Pasadenast **Benioffi** lühiperioodilise pendliga seismograaf (Benioff 1932), millega oli otstarbekas mõõta regionaalseid, sealhulgas ka väiksemaid maavärinaid. Tellimus läkitati ka Tartusse Hugo Masingu töökojale, et soetada Golitsõn-Vilipi seismograafi täiuslik kolme komponendiga komplekt.

Teise maailmasõja puhkemise tõttu venis Benioffi seismograafi komplekteerimine ning Golitsõn-Vilipi aparaat, mis pidanuks olema kohale toimetatud novembris 1939, jäi pidama Tartu töökotta (Ramírez 1943). Ramírez kurtis, et kõik katsed Tartuga suhelda pärast 1939. aasta lõppu nurjusid. Nii tuli Colombia Andide Geofüüsika Instituudil leppida teist tüüpi seismiliste seadmetega (Udías ja Stauder 1996, tabel 1).

USA Missouri osariigi ajalehes *St. Louis Globe-Democrat* ilmus mõni aasta hiljem lugu seismograafide konstrueerijate, isa ja poja **W. F. Sprengnether Sr.** ja **Jr.** töökojast *W. F. Sprengnether Instrument Company* (A shimmy-studying setup 21.07.1946), mis jutustas Masingu firma saatusest kurva alatooniga: „*Oli kord Eestis mees, kes ehitas geofüüsikalisi vidinaid. Aga ta kadus ära, kui venelased võtsid [riigi] üle 1940. aastal, ega temast pole peale seda midagi kuulnud.*”

## Kas instrumentideta ja instrumentidega seismoloogia lood põimused?

Kuigi lünklik, on Eesti seismoloogia ajalugu pikk ja auväärne. Sajanditagune seismoloogia koosnes kahest erinevast tahust: ühest küljest kohalike maavärinate täheldamine, vanade sündmuste rekonstrueerimine ning teisest küljest peensusteni kujundatud aparatuur, mis võimaldas terve maakera ülesehitust selgitada.

Huvitav on asjaolu, et Bruno Doss ja vürst Boriss Golitsõn olid sisuliselt eakaaslased, kõigest mõne kuu vanusevahega. Nii nemad kui loo teised peategelased – Vilip ja Masing tegutsesid kõik siinsamas Baltikumis ja lähipiirkonnas. Kas nad võisid omavahel suhelda ja üksteise tegevusega arvestada? Kohemaid ei paista, et siinsetel makroseismilistel uuringutel ja instrumentaalseismoloogial oleks kokkupuudet olnud.

Bruno Dossi Baltikumi uuringutest ilmneb, et tal olid seismoloogia teoreetilise tausta suhtes ajakohased teadmised, mis andsid talle põhjust arvata, et tulenevalt Baltikumi geoloogilistest tingimustest on siinsed maavärinad pea eranditult koopavaringud.

Dossi makroseismilistes uuringutes ei ole märget, et lähipiirkonnas tegeldi seismograafiliste mõõtmistega. See on mõneti arusaadav, kuna tema andmestik keskendus aastakümneid ja sajandeid tagasi toimunud juhtumitele. Toona meie piirkonnas kasutusel olnud pendlisüsteemid, k.a Golitsõni seismograafid, mõõtsid kaugelid ja suuri maavärinaid, mitte meie kohalikke maavõnkeid.

Ootamatu seos makroseismiliste ja instrumentaalsete vaatluste vahel leidub aga süüvides Dossi uuringusse, milles ta selgitas 23.10.1904 aset leidnud Oslo maavärina tunduvusala Baltikumis (Doss 1905a, 1905c). Tartu osas mainib Doss (1905a, lk 66–67, 1905c, lk 250–251), kuidas kaks sealset teadlast, härrad professorid doktorid *G. Lewitzky*, observatooriumi juhataja ning *B. Sreznewsky* (**Boriss Izmailovitš Sreznevski** i.a), ilmajaamade võrgu juhataja panid üleskutsed kohalikesse saksakeelsete ajalehtedesse *Nordlivländische Zeitung* (27.10.1904) ja *Baltische Wochenschrift* (02.11.1904, Sresnewsky 1904) sooviga saada teateid Oslo maavärinaga seostuvatest vaatlustest. Sreznevski saatis ka kõigile Liivi-, Eesti- ja Kuurimaa ilmajaamadele küsimustiku. Need andmed moodustasid osa materjalist, mida Doss Oslo maavärina uuringu jaoks kasutas.

Oslo maavärin oli juba sedavõrd suur (Bungum jt 2009: magnituud 5,4), et selle võnkeid sai siinkandis eksisteerinud seisimojaamade aparatuuriga salvestada. Doss (1905c, lk 256–257) loetleb hulga Euroopa seisimojaamu, mis Oslo maavärina registreerisid, sealhulgas Tartu observatoorium. Ta mainib ka, et horisontaalpendel Tartu observatooriumis liikus lääne-ida suunas ning annab kellaajad, millal võnkumine algas, maksimumi saavutas ja lõppes (Doss 1905a, lk 73, 1905c, lk 284). Kindlaks tõendiks Dossi otsesest suhtlemisest Levitskiga on ta märkus, et Tartu seisimojaama andmed sai ta kätte Levitski lahkel teavitamisel (Doss 1905a, 1905c).

Doss käsitles ka väidetavaid Oslo maavärina järeltõukeid (Doss 1905c, lk 289–293). On tüüpiline, et pärast suurema maavärina toimumist on inimesed vastuvõtlikumad täheldama maa värisemise taolisi nähtusi ning sageli tuntakse „järeltõukeid”, mis tegelikult pole aset leidnud. Selliseid ülestähendusi tehti ka Tartus ja Tallinnas mõned päevad pärast Oslo maavärinat. Doss järeldas, et kuna Levitski seismomeetrid Tartus midagi maavärinaga seostatavat ei registreerinud, ei saanud see, mida iganes Tartus ka tunti, seismilist laadi olla. Sama arvamuse esitas ka Levitski Dossile. Doss kasutas ka Tartu seisimojaama registreeringu kellaaegu, et välistada nähtusi, mida ei saanud Oslo maavärina makroseismilisteks tunnusteks pidada (Doss 1905c, lk 293).

Bruno Doss publitseeris rohkem kui pooled oma uuringutest Riia loodusuurijate seltsi ajakirjas (Kupffer 1924). Tema artikkel, mis käsitles nelja mitte maavärinaks osutunud seismi-

list juhtumit, k.a Keri saare 1912. aasta sündmused, trükiti Venemaa alalise seismoloogilise komisjoni väljaandes (Doss 1913a). Tegelikult ilmus samas publikatsioonis ka Vilipi artikkel 1912. aastal toimunud maavärinate kohta (Wilip 1913). Doss oli tegus liige Riia loodusuurijate seltsis (Beck 1919; Kupffer 1924), aga ei ole andmeid, et ta oleks olnud Peterburi seismoloogilise komisjoni liige või võtnud osa rahvusvahelise seismoloogilise komisjoni konverentsidest (Association Internationale... 1906–1911).

*Postimehes* 22.03.1923 ilmunud Seismoloogia-artikli teises osas kirjutab Vilip (Wilip 1923), et Eestis puuduvad vaatlused maavärinate osas: „...kas meie maal niisuguseid väringuid ette võib tulla, mis terwed linnad ja külad ära purustaks. Kõige tundlikumate aparatuuride abil Pulhova keskjaamas ei ole iialgi korda läinud 10 aasta jooksul mingisugust nõrka väringut registreerida, mille kollet meie Eestis oleks leida võinud.../Et ajaloolistel aegadel meie maal mingisugust katastroofi ei ole tähele pandud, sellepärast on võimalik sellele küsimuse peale eitavalt vastata.”

Eesti aseismilisust väljendas Vilip ka hiljem ajakirjas Olion (Wilip 1931): „Kas on mõeldav ka Eestis maaväring? Sellele võib vastata, et meie jalgealune asub hädaohutul maakera pinnal ja meie jääme alati vaid kaugete väringute pealtvaatajaks. Ajaloolistel aegadel pole meie maal väringuid olnud, puuduvad ju meie maapinna all kolded. Lähemad kohad meile, kus mõnikord sünnivad väga nõrgad kohalikud väringud, asuvad Soomes, pisut tugevamad kolded aga põhjapool Arhangelski kubermangus ning Skandinaavia poolsaarel Norra rannikul, kust vahel seismogrammid selgeid väringuid registreerivad, sedagi väga harva, võib-olla, et kord 10–20 aasta jooksul.”

Kui Vilip pidas silmas purustavaid maavärinaid, mida oleks võinud Golitsõn-Vilipi seismograafidega registreerida, siis tõepoolest võis ta nentida, et Eestis pole neid toimunud. Aga väiksemad maavärinad, sarnased nagu Soomes? Tundub iseäralik, et tema kõrvu polnud kunagi kandunud mingeid makroseismilisi andmeid Eesti maavärinate kohta.

Eesti ajaloolise seismilisuse nimekirjas on Vilipi eluajal neli sündmust: 16.10.1877 Vormsi maavärin koos eeltõukega (Doss 1905b, 1910b), Narva maavärin 28.01.1881 (Doss 1910b; Nikonov 2011) ja ebakindlam 02.06.1909 Viljandi maavärin (Doss 1910a, lk 95; Nikonov ja Sildvee 1991). Helsingi Ülikooli korrastatud nimekirja järgi on nendele arvatud homogeniseeritud magnituudid 2,6, 3,0, 3,0 ja 1,5 (Marja Uski, kirjalik teave 2015).

Võib spekulereida, kas Vilip oleks võinud ajakirjanduse vahendusel Eesti maavärinatest midagi teada saada. Vormsi maavärinad jäid niigi peaaegu tähelepanuta ning tõendid võimaliku 1909. aasta Viljandi maavärina kohta on kasinad. Aga Narva maavärinat kajastasid ilmeka iseloomustusega omaaegsed ajalehed *Neue Dörptsche Zeitung* (20.01.1881, ukj 01.02.1881) ning hiljem eesti keeles vähemalt *Eesti Postimees ehk Näddalaleht* (28.01.1881), *Tallinna Sõber* (30.01.1881) ja *Sakala* (07.02.1881) (kuupäevad vana ajaarvamise järgi). Tol ajal oli Vilip kümneaastane. Võiks ju võimalik olla, et uudis maavärinisest Narvas oleks kandunud ka terase, reaalinnetest huvitatud koolipoisi kõrvu.

Ikkagi jääb mõistatuseks, kuidas seismoloog Vilip nii kategooriliselt hindas Eestit aseismiliseks riigiks. On võimalik, et Vilip luges Eesti (ja Baltikumi) seismilised sündmused koobaste varinguks, mitte tektoonilist laadi ehtsateks maavärinateks (Wilip 1904a; Galitzin 1914, lk 1). Eesti maavärinad on valdavalt sedavõrd väiksed, et Golitsõni või Golitsõni-Vilipi tüüpi seismograafidel poleks jätkunud tundlikkust neid registreerida. Selleks oleks tulnud kasutada teistsuguseid, lühema võnkeperioodiga seadmeid. Meie tingimustes toimub harva suuremaid seismilisi sündmusi, nagu näiteks 25.10.1976, a Osmussaare maavärin magnituudiga 4,5 (Slunga 1979). Kahjuks leidis see aset alles umbes 37 aastat pärast Vilipi mõõtmiste lõppemist Tartu seismojaamas.



## Parimad või lihtsalt väga head?

Hiljutises uuringus vaatleb ajaloolane Janet Laidla (2019) Hugo Masingu järelejäanud dokumentide ja laialulusliku korrespondentsi baasil Eestis toodetud seismograafe värskest ja huvitavast vaatenurgast: kuidas toimus Golitsõn-Vilipi seismograafide turustamine üle maailma. Üheks keskseks küsimuseks on, kas Masingu töökojas ehitatud seismograafid võisid tõepoolest olla maailma parimad nagu eesti ajalookäsitus mõista annab või leidsid need väga kvaliteetsed seadmed laialdast kasutust pigem tänu Masingu ja Vilipi õnnestunud reklaamistrateegiale.

Laidla (2019, lk 161) märgib konkureeriva seadmete ehitajana Inglismaa *Cambridge and Paul Instrument Company* (firma esialgne nimetus oli Cambridge Scientific Instrument Company ja hilisem Cambridge Instrument Company (Cambridge Scientific Instrument Company 2023)). Laidla andmetel selgub Masingu kirjavahetusest 1923. aastal, et reverend **Francis Tondorf** USA Georgetowni jesuiitide ülikooli seismoloogia observatooriumist pidas Masingu nõuet tasuda pool tellitud seadme hinnast ettemaksuna solvanguks ning ähvardas tellida hoopis Cambridge ja Pauli seismograafi. Masingu töökoja reklaamibrošüüri järgi korjati ettemaks tegelikult kõigilt tellijailt (Seismographen... 1929).

Juhtus nii, et Georgetowni soetati 1923. aastal Golitsõni tüüpi vertikaalseismograaf, aga Cambridgest. Ühel ajaloolisel fotol vaatleb Tondorf koos teise reverendiga antud seadet. Seletuses on kirjas: “Vilip täiustas Gölitsoni disaini temperatuuri ja rõhu stabiilsuse osas luues Golitsõn-Vilip [seismograafid].“ (Reverend Francis... i.a). Teisel fotol seisab Tondorf oma assistendiga horisontaalseismograafide juures. Pilditekst nendib: „Neid instrumente peetakse kõige tundlikematena seismiliste uuringute valdkonnas.“ (Harris ja Ewing 1929).

Georgetowni Ülikooli juhtum kinnitab seisukohta, et Golitsõni poolt loodud seismograafid olid seal au sees. Taheti tellida Golitsõni tüüpi instrument – aga mitte *Masingu* käest.

Oleks huvitav välja selgitada, kuidas oli juhtunud see, et Cambridge firma valmistas Golitsõni seismograafe sõltumata sellest, et nende originaalsed ehitajad ja Golitsõni kaastöötajad Tartus edasi tegutsesid. Cambridge kompanii tootis mitmesuguseid teaduslikke instrumente, sh **Ewing**’i, **Milne** ja Golitsõni tüüpi seismograafe (Lovell ja Henni 1999, lk 5). Võrdlusena võib tuua Strasbourgis baseerunud, praeguse Bosch’i kontserni eelkäijaks olnud Bosch’i täppismehaanika ja elektrotehnika töökoja (*J. & A. Bosch Werkstätte für Feinmechanik und Elektrotechnik*), mis reklaamis seismograafe (Bosch 1907, 1910), mainides nimeliselt isikuid, kelle disainile nende ehitatud seadmed baseeruvad (**Rebeur-Ehlert**, **Graboviz**, **Milne**, **Omori**, **Zöllner**). 1910. aasta kataloogis (lk 3–4) tuuakse kohe algatuseks eraldi välja kokkulepe saksa geofüüsiku, seismograafide leiutaja-ehitaja **Carl Mainkaga** (Carl Mainka 2022): „*Oleme saanud leiutajalt [Mainka] õigused toota ja kaubitseda neid instrumente. Kui tellija soovib, kontrollib tema seadmed isiklikult.*”

Võib-olla polnud see Masingule ja Vilipile oluline, et Cambridges Golitsõni seismograafe kokku monteeriti, kuna nemad olid juba liikunud sammu võrra edasi ja tootsid uuema põlvkonna täiustatud seismograafe. Georgetowni Ülikool oleks tegelikult ikkagi saanud endale parema seadme, kui Tondorf oleks oma meeolehärra alla neelanud ja Masingu käest hoopis Golitsõni-Vilipi seismograafi tellinud. Võib-olla oleks see ka soodsam kaup olnud, olgugi et ettemaksuga. Konkurents Cambridge firmaga – sealjuures ehk ka Masingu ja Vilipi nõrdimus – kumab läbi Tartu *Deutsche Zeitung*-i artiklist (08.06.1935): „*Meie linnas komplekteeritud seismograafid töötavad veatumalt kui Inglismaa omad. Mis veel, meie aparatuurid on tunduvalt soodsamad. Kui Inglismaal toodetud seismograafide komplekti eest tuleb välja käia 15 000 krooni, on meil valmistatud seismograafide hind kõigest umbes 8000 krooni.*”

Golitsõni ja Golitsõni-Vilipi seismograafe tuleb näha sama põhimõttega instrumentide ühtse täiustatud reana, mitte üksteise rivaalidena. Aga küsimusele, kas Tartus valmistatud

seismograafid olid maailma parimad, ei saagi lõplikku vastust anda ning küsimus jääb osaliselt maitseasjaks. Kõigi asitõendite najal võib üsna veendunult väita, et oma leiutamise ajal esindasid Golitsõni seadmed seismiliste instrumentide tipptaset. Nendest veelgi paremate Golitsõn-Vilipi seadmete tootmise ajal oldi edusamme tehtud juba ka teistes maailma seismoloogilistes töökodades.

Seismograafid olid niisitoode, mille ajalugu hakkas kujunema 19-nda sajandi lõpus. Seismoloogia oli noor teadusharu, mõõteriistad arenesid pidevalt. Paljuski sõltus areng silmapaistvatest isikutest, traditsioonidest ja teadlaste vahelisest suhtlemisest.

Seismoloog Roger Musson kordab oma briti seismoloogia ajaloo ülevaates märkust (2013, lk 792): „alati on olemas keegi Moodsa Seismoloogia Isa. Inglisekeelsele kontingentile on tema nimi Milne, saksa keele rääkijatele Wiechert ning venekeelsetele Golitsõn”. Paljud esimesed seismoloogid olid ka seadmete leiutajad ja ehitajad, mistõttu saidki kujuneda kasvõi erinevate keeleruumide paralleelsed seismojaamade võrgud, näiteks **John Milne** (John Milne 2023) osaliselt Briti impeeriumile baseeruv globaalne jaamavõrk (Musson 2013, Fig. 35, lk 800) ning **Golitsõni** võrk Vene impeeriumi alal. Globaalne koostöö sai ruttu enesestmõistetavaks eelduseks edukate seismoloogiliste vaatluste ja uuringute läbiviimisele. Paljudes observatooriumites korraldati mõõtmisi üheaegselt mitut tüüpi instrumentidega.

Enne kui ise hakkas Golitsõni seadmeid täiendama, hindas Vilip, et modernse täppiseismoloogia puhul tuleb arvestada kolme erineva seismograafitüübiga (Wilip 1912): Wiecherti seismograaf, mida valmistati Göttingenis, Masingu ehitatud galvanomeetrilise registreerimisega Golitsõni aparaat ja **Mainka**, mille konstrueerijateks olid vennad Boshid Strasbourgis. Vilip jätkas, et kasutusel oli ka teisi pendlitüüpe, sealhulgas Milne, **Omo-ri-Bosch**, **Vicentini** ja Zöllner, aga nende kasinam tundlikkus lubas häid mõõtmistulemusi ainult tugevate maavärinate puhul.

Jesuiidid olid seismoloogia arenemise esirinnas ning nende seismojaamad moodustasid ühe rahvusvahelise võrgu (Udías ja Stauder 1996). Esiolgu eelistasid jesuiidid Wiechert'i ja Mainka mehaanilisi seismograafe ning hiljem Golitsõni-Vilipi ja **Sprengnetheri** elektromagnetilisi instrumente (Udías ja Stauder 1996, lk 11). Saksamaal Göttingenis tegutsenud **Emil Wiecherti** (Emil Wiechert 2024) seismograafid olid kahtlemata kvaliteetsed ja leidsid laialdast kasutust üle maailma (McComb ja West 1931, lk 100–106). Sprengnetheri hilisema põlvkonna instrumendid baseerusid Golitsõni disainile, kuid olid lihtsamad (A shimmy-studying setup 1946; Sprengnether 1947; Kisslinger 1998).

Taanlased katsetasid 1920-ndatel erinevaid seadmeid ja jäid Golitsõni-Vilipi seismograafidega rahule. Omaaegsed uuringud tõestavad samuti, et need seadmed olid tööpoolest nii kvaliteetsed, et võimaldasid märkimisväärseid edusamme seismoloogias (Dahm 1933; Lehmann 1936).

Laidla (2019) nendib, et Masing kasutas isiklikku lähenemist kirjavahetusel võimalike klientidega, trükiti seismograafe tutvustavaid brošüüre (Seismographen... 1929) ja avaldati reklaamkuulutusi olulistest ajakirjades. Selline efektiivne strateegia võis Laidla hinnangul olla globaalse edu võti. Aga sajanditagustes väikestest seismoloogide ringkondades oli isiklik lähenemine iseloomulik ja „sõbra soovitus” võis olla palju väärt. Näiteks 19. sajandi lõpus oli Ehlert arendanud **Rebeur-Paschwitz** pendlit (Ehlert 1898b), mida tunti nimega Rebeur-Ehlerti pendel (Rebeur-Ehlert i.a) ja seda paigaldati mitmesse observatooriumi üle maailma. Saksa geofüüsika suurkuju **Georg Gerland** (Georg Gerland 2023) reklaamis antud seadet nii edukalt, et nende ehitajal oli raskusi kõigi tellimuste täitmisega (Schweitzer 2003, lk 6).

Golitsõni ja hiljem Golitsõni-Vilipi seismograafid pälvisid tunnustuse, mida nad ka väärisid. Eduloo üheks komponendiks oli Golitsõni, Masingu ja Vilipi, üksteist täiendav ja lugupeetav koostöö.

## Vilipi pärand

Viimased sõnad annaks esimesele eesti seismoloogile Johan Vilipile, kelle visionäärsed mõtted tunduvad tänapäevalgi värsketena. Tema seisukohaga, kuidas tuleks seismoloogiaga Eestis tegelda, ühineb ka praegune Eesti seismoloog täie poolehoiuga.

*„Waatame siin lühidalt mõnda seismoloogia tähtsamat külge. Suured lootused ärkavad siin juba mõne pealiskaudse tähelepanemise järele. Kui meie puht teaduslise tähtsuse kõrwale jätame, siis ei wõi salata, et nähtusi awalikuks tuli, mis juba suuri praktilisi tagajärgi loota lasksid. Selle suure tundlikkuse juures, mis uuem registreerimise metood lubab, on wõimalus peale alaliste maawärisemiste ka kõiksugu liikumisi, mis maa sügawuses kuidagi wiisi tekiwad üles märkida. /.../ Pöörame tagasi seismoloogia praktilise tähtsuse juure. Näib, nagu oleks sellel teaduseharul liig wäike silmaring, nagu jääks ta ainult maakera sisemise koosseisu juure. Tõsi on, et nii pea ehk wõimalik ei ole tema abil kullalademeid üles leida. Aga sellegi peale waatamata ei wõi eitada tema tähtsust mäekaewanduses tulewikus. On ju need lained, mis sügawalt teiselt maakera poolelt meie juure tulewad, sunnitud ka pealmistest kordadest läbi minema; kui meie üleskirjutusi õigesti seletama õpime, siis wõib nende abil mõndagi leida, mis praegu weel teadmata on.” – J. Wilip. Sõda ja seismoloogia 2. Postimees, 10.08.1921*

## Maavärinate ja seismoloogia uurijad

### Carl Bruno Doss

01.11.1861 Auerbach – 28.05.1919 Dresden

Carl Bruno Doss sündis mõisnikust kaupmehe pojana Auerbachis Saksimaal. Ta õppis loodusteadusi Müncheni ja Leipzigi Ülikoolis, kus ta 1886. aastal kaitses ka doktoritöö. Aastast 1889 tegutses ta Riia Polütehnikumis geoloogia- ja mineraloogiadotsendina ning professorina, olles asutuse ainus geoloog.

Pärast Riiga kolimist sai Dossist kohemaid avaliku elu tegelane ja Riia Loodusteaduste Seltsi aktiivne liige. Tema ettekanded ja raportid tekitasid seltsi üritustel tavaliselt elava diskussiooni. Temataolise hakkaja mehe jaoks oli Baltikumi geoloogia mitmes mõttes *terra incognita* — ideaalne paik erinevateks uurin-guteks. Dossilt ilmus üle 100 trükise. Dossi huvid ja haare ulatusid Baltikumi maavärinatest ja Kuramaa meteoriidist Süüria basaltlaavade ja tuffideni.

Baltikum oli Dossile väga südamelähedane, kuid Esimene maailmasõda muutis tema kui Saksamaa kodaniku elu siin keeruliseks. Doss saadeti eksili Orjoli linna Venemaal, kust tal hiljem lubati suunduda Saksamaale. Tõsiseks löögiks oli talle ilmajäämine oma pooleliolevate teadustööde käsikirjadest. 1917. aasta alguses kutsuti ta geoloogina sõjaväeteenistusse, kus ta välitöödel olles peagi haigestus. Pärast pikka haigust suri Carl Bruno Doss 58 aastaselts Dresdenis. Järelehüüdes Carl Bruno Dossile loetletakse 75 publikatsiooni, millest 72 käsitlevad Baltikumi geoloogia küsimusi.



**Carl Bruno Doss.** Foto: Schulz (1901).

Allikad: Beck 1919; Doss, Carl Bruno i.a; Eestiga seotud maateadlased i.a.; Karls Bruno Doss i.a; Kupffer 1924

## Grigori Levitski (ka Lewitsky)

27.10.1852 Harkiv – 26.10.1917 Peterburi

Grigori Levitski sündis advokaadi perekonnas. Ta lõpetas gümnaasiumi kuldmedaliga ja astus Harkivi Ülikooli füüsika-keemia osakonda, kust ta juba järgmisel aastal suundus Peterburi Mäeinstituuti ja hiljem Peterburi Keiserlikku Ülikooli. Pärast ülikooliõpinguid 1874. aastal asus ta astronoomina tööle Pulkovo Observatooriumi, valmistudes samal ajal teaduskraadi kaitsmiseks.

Aastatel 1879–1894 oli Levitski Harkivi Ülikooli Observatooriumi direktor, olles eelnevalt ise korraldanud selle asutuse rajamist. 1893. aastal moodustas ta ülikooli juurde ka seismoloogia osakonna.

Tartusse sattus Levitski Baltimaades toimunud venestamispoliitika ajal 1894. aastal, asendama seal töötanud baltisaksa päritolu Ludwig von Struvel, kes viidi üle Harkivisse. Tartus tegutses ta mitmel rindel — juhtis Tartu Observatooriumi ja jätkas seismilisi mõõtmisi horisontaalsete pendlitega, tegeles teaduslooga ja oli aastatel 1903–1905 ka Tartu Ülikooli rektor. Tartust lahkus ta 1908. aastal, mil ta määrati Vilniuse õpperingkonna kuraatoriks.



Grigori Levitski. Foto: Normann (1890).

Allikad: Fréchet ja Rivera 2012; Grigori Levitski 2023; Grigori Vassiljevitsš Levitski i.a; Heinloo 1997; Viik i.a.

## Boriss Golitsõn (ka Boris Galitzin, Golitsyn, Golicin)

18.02.1862 Peterburi – 04.05.1916 Peterburi

Vene vürst Boriss Golitsõn oli pärit kuulsast Leedu aadlisuguvõsast. Ta õppis Peterburi Nikolajevi Mereakadeemias ja hiljem Strasbourgi Ülikoolis füüsika erialal lõpetades selle 1890. aastal doktorikraadiga. Aastatel 1892–1893 töötas ta eradotsendina Moskva Ülikoolis. 1893. aastal kutsuti ta Tartu Ülikooli, kus ta oli erakorraline füüsikaproffessor, füüsikakateedri juhataja ja Tartu Ülikooli Meteoroloogia Observatooriumi direktor. Tartus tegutses ta vaid ühe semestri. 1894. aasta alguses usaldati talle Keiserliku Peterburi Teaduste Akadeemia füüsika kabineti juhtimine.

Golitsõn oli mitmekülgne maailmakuulus teadlane: füüsik, geofüüsik ning üks seismoloogia rajaja. Oma innovaatilise talendi ja energilise tegutsemise tõttu muutis ta seismoloogia kui alles areneva uue teadussuuna teoreetilise baasiga täppisteaduseks. Kanada astronoomi Otto Julius Klotzi (1916) ja Eesti füüsiku Johan Vilipi (Wilip 1921a) hinnangul sai just tänu Golitsõnile Venemaast seismoloogia teadusharu juhtiv riik maailmas. Aadlikust Gõlitsõnil olid head ühiskondlikud suhted nii kodu- kui välismaal, mis aitasid kaasa seismoloogia edendamisele Venemaal. 1911. aastal valiti ta Rahvusvahelise Seismoloogia Assotsiatsiooni (*Association Internationale de Séismologie*) presidendiks.

Golitsõn töötas välja täiesti uudse galvaanilise meetodi seismiliste lainete registreerimiseks. 1906. aastal kavandas ta elektromagnetilise seismograafi, mida peeti parimaks maailmas. Aastatel 1913–1915 avastas ta füüsikaliste omaduste muutumise Maa vahevöös 106 km ja 492 km sügavusel. Ta koostas kirjaliku õppematerjali oma 1911. aastal Peterburi Teaduste Akadeemias peetud 89 seismoloogia loengu põhjal. Väärtuslik õppematerjal, mis trükiti 1912. aastal vene keeles ja 1914. aastal saksa keelses tõlkes leidis kasutust pool sajandit.

Boriss Golitsõn haigestus 1916. aastal kopsupõletikku ning suri kõigest 54 aastaselt Peterburis.

Allikad: Boriss Golitsõn 2024; Elango 1962; Galitzin 1914; Golitsyn 1912; Heinloo 2003; House of Golitsyn 2024; Klotz 1916; Marek 2003, 2004; Masing 1985; Prüller 1975; Reinet 1975; Wilip 1921a; Yanovskaya 2014.



**Boriss Golitsõn.** Foto: Wikimedia Commons.



## Johan Vilip (ka Johann Wilip)

12.05.1870 Uue-Kariste vald – 27.01.1942 Tartu

Johan Vilip sündis karjarentniku pojana Uue-Kariste mõisas tolleaegsel Pärnumaal. Juba Pärnu Gümnaasiumis õppides avaldus tema andekus reaalinetes. Hoolimata majanduslikest raskustest lõpetas ta 1895. aastal Tartu Ülikooli füüsika erialal. Eestlasena polnud tal kerge leida töökohta tolleaegses Tartu Ülikoolis. Ta siirdus Peterburi, kus sai vürst Golitsõni soovitusel assistendi koha Nikolajevi Mereakadeemias. Vilip töötas üle kahekümne aasta Vene Teaduste Akadeemia füüsika laboratooriumis vanema füüsikuna, pidades loenguid ja tegutsedes Pulkovo Geofüüsika Observatooriumi seismoloogia osakonnas. Seismomeetriaga hakkas ta tegelema aastatel 1907–1908. Aastatel 1911–1920 oli ta Pulkovo seisvojaama juhataja.

Pärast Eesti iseseisvumist asus Vilip tööle Tartu Ülikoolis, kus ta oli aastatel 1921–1940 esimene eesti soost füüsikaproffessor ja füüsika instituudi juhataja.

Kõige suurema tunnustuse pälvis Vilip aga seismograafide loojana ja ehitajana. Vilip täiendas Golitsõni vertikaalseismograafi leiutades mehhanismi, mis kompenseeris temperatuuri kõikumisest tingitud pendli pikkuse muutumist. Doktorikraadi seismograafide konstruktsiooni teemal kaitses ta Tartu Ülikoolis 1930. aastal. Vilipi seismograafid olid ühed täpseimad maailmas. Aastail 1925–1939 valmistati neid 23 suurele seismoloogiaajamale maailmas, üks aparatuur seati üles ka Tartu Ülikooli Meteoroloogia Observatooriumis.

Vilip oli kontaktis paljude oma aja nimekate füüsikutega. Tema teadustööd hõlmavad erinevaid füüsika tahke, sh seismoloogiat. Eesti keeles kirjutas ta enam kui kümme populaarteaduslikku artiklit. Johan Vilip suri Tartus 71 aastasel ja on maetud Raadi kalmistule. Alates 1973. aastast on Tartu Ülikooli peahoone auditorium nr 232 Vilipi-nimeline.

Professor doktor **Villem Koern** (1942) kirjutas Postimehe järelhüüdes Johan Vilipile: „Väheseks kipuvad jääma nende meeste read, kes kord tulid madalast talutarest, visas töös ja võitluses end üles töötasid niikaugemale, et nende töö oli tuntud mitte üksi väikeses Eestis, vaid ka kaugel laias maailmas. Seejuures töötati töö enese pärast, ilma vähimatki isiklikku kasu taotlemata, kulutades end vaid teiste, üldsuse heaks. Üks sääraseid omakasupüüdmatuid tõsiseid ja vaikkeid töömehi oli prof. dr. phil. nat. Johan Vilip. /.../ Ühelegi tõsiselt seismomeetriaga tegelevale geofüüsikule kogu maailmas pole prof. Vilip'i nimi tundmata. Tema poolt täiuslikkuseni arendatud ja tema otsesel juhtimisel ning järelevalvel Tartus ehitatud moodsad seismograafid on leidnud rakendamist kõigis maailmaosades.”

Allikad: Elango 1959; Heinloo 2003; Johan Vilip 2023; Koern 1942; Masing 1985; Prüller 1975; Reinet 1975; Sarv 2005; Sootak 2014.



**Johan Vilip.** Foto: Normann (1920).

## Emil Hugo Gottfried Masing

18.03.1873 Tartu – 02.11.1939 Gdynia

Hugo Masing sündis Tartus kaupmehe perekonda. Pärast Tartu reaalkooli lõpetamist alustas ta 1889. aastal neli aastat kestnud õpinguid peenmehaaniku ja optiku Bernhard Schulze töökojas, kus valmistati põhiliselt teaduslikke instrumente Tartu Ülikoolile. Hiljem suundus hoolsuse ja täpsusega silma paistnud Masing Saksamaale oma teoreetilisi teadmisi ning praktilisi kogemusi täiendama.

1901. aastal kutsus Peterburi Teaduste Akadeemia Füüsika Instituudi direktor vürst Boriss Golitsõn Masingu Peterburi. Seal asutas ta töökoja eelkõige meteoroloogiaiinstrumentide valmistamiseks. Masingust sai kiiresti kõrgelt hinnatud peenmehaanik, kes oli ka Golitsõni leiutatud seismograafide konstruktor.

Viljakas ühistegevus Peterburis katkes Golitsõni enneaegse surma tõttu 1916. aastal. Pärast Vene revolutsiooni kolis Masing 1920. aastal tagasi Tartusse, kus asutas Peterburist kaasavõetud seadmete ja tööriistade abil uue peenmehaanika töökoja *Werkstätten für Wissenschaftliche Instrumente Hugo Masing* (Teaduslikkude Aparaatide Tööstus Hugo Masing), mis asus aadressil Jaani tänav 18 ning 1938. aastast aadressil Lai tänav 17.

Peale seismograafide valmimise Masingu töökojas ka analüütilised kaalud, anemograafid, lennukite kompassid, pulsiseduse märkijad jt teaduslikud instrumendid. Pärast Masingu haigestumist 1930. aastate keskpaigas võttis töökoja juhtimise üle tema poeg Woldemar Masing.

Masingu firma likvideerimisest Eestis ja ümberasustamisest Saksamaale teavitati 1939. aasta oktoobris. Hugo Masing suri sama aasta novembris 66-aastaselt Gdynias (1939.–1945. a Gotenhafen). Masingu töökoja sisustus ja valmisseadmed läksid sõja ajal kaduma.

Allikad: Heinloo 2003; Heinloo ja Rennit 1993; Kriis 2016; Kärdla 2010; Laidla 2014, 2019; Masing 1985; Määrsepp 1989; Sarv 2005.



**Emil Hugo Gottfried Masing.** Foto: Riedel (i.a).



## Tänuõnad

Käesolev artikkel on pühendatud geoloog Anne Põldvere mälestusele. Tema initsiatiivil hakkas seismoloogia ajaloo lugu välja kujunema ja ta andis suure panuse teksti toimetamisse. Ajaloolane Janet Laidla jagas lahkelt oma uurimuse teksti Eestis toodetud seismograafide kohta juba selle viimistlusfaasis. Seismoloog Olga Heinloo tegi artiklile asjatundliku läbivaatuse. Suured tänud ka Aasa Aaloele artikli hoolika toimetamise eest.

## Kasutatud kirjandus ja veebiviited

- 3-component Seismograms—Capturing the motion of an earthquake. 2017. IRIS Earthquake Science. [https://www.youtube.com/watch?v=Za\\_22xo7ZQG&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=Za_22xo7ZQG&feature=youtu.be)
- 7 – Galitzine. i.a. The Collection, Seismology. Musée de Sismologie et collections de Géophysique, Université de Strasbourg. <http://musee-sismologie.unistra.fr/english/the-collection-seismology/7-galitzine/> (vaadatud 08.09.2020)
- 1931 Hawke's Bay earthquake. 07.12.2023. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=1931\\_Hawke%27s\\_Bay\\_earthquake&oldid=1188832618](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=1931_Hawke%27s_Bay_earthquake&oldid=1188832618)
- About the seismograms. i.a. U.S. Geological Survey. <https://earthquake.usgs.gov/monitoring/seismograms/about.php> (vaadatud 27.01.2020)
- Ahjos, T. & Uski, M. 1992. Earthquakes in northern Europe in 1375–1989. *Tectonophysics*, **207**, 1–23. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90469-M](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90469-M)
- Association Internationale de Sismologie (AIS/ISA). 1906–1911. Comptes rendus des séances - Réunions de la Commission Permanente et Assemblées Générales: 1906 Rome; 1907 La Haye; 1909 Zermatt; 1911 Manchester. Geo-Archive Strasbourg. <http://geost.free.fr/geoarchive/index.html>
- Båth, M. 1978. Energy and tectonics of Fennoscandian earthquakes. *Tectonophysics*, **50**, T9–T17. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(78\)90193-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(78)90193-2)
- Båth, M. 1984. Correlation between regional and global seismic activity. *Tectonophysics*, **104**, 187–194. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(84\)90111-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(84)90111-2)
- Beck, R. 1919. Zur Erinnerung an Bruno Doss. *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, **1919**, 257–268. [https://www.zobodat.at/biografien/Doss\\_Bruno\\_Centralblatt-Mineral-Geol-Palaeont\\_1919\\_0257-0268.pdf](https://www.zobodat.at/biografien/Doss_Bruno_Centralblatt-Mineral-Geol-Palaeont_1919_0257-0268.pdf)
- Benioff, H. 1932. A new vertical seismograph. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **22**, 2, 155–169. <https://authors.library.caltech.edu/49987/1/155.full.pdf>
- Boriss Golitsõn. 02.03.2024. Vikipeedia. [https://et.wikipedia.org/w/index.php?title=Boriss\\_Golits%C3%B5n&oldid=6594698](https://et.wikipedia.org/w/index.php?title=Boriss_Golits%C3%B5n&oldid=6594698)
- Boriss Izmailovitš Sreznevski. i.a. Ajalugu, atmosfäärifüüsika isikud, Tartu Observatoorium. [https://www.to.ee/est/meist/ajalugu/atmosfaarifuusika\\_osakonnas\\_tootavad\\_tootanud\\_inimesed\\_alates\\_aegade\\_algusest/boriss\\_izmailovits\\_sreznevski\\_](https://www.to.ee/est/meist/ajalugu/atmosfaarifuusika_osakonnas_tootavad_tootanud_inimesed_alates_aegade_algusest/boriss_izmailovits_sreznevski_) (vaadatud 13.08.2020)
- Bosch, J. & A. 1907. Seismische Apparate-instrumente. Katalog Nr. **20**. J. & A. Bosch Werkstätte für Präzisions-Mechanik, Strassburg, 42 lk. [http://geost.free.fr/geoarchive/Catalogues/Bosch\\_Katalog\\_No\\_20\\_1907.pdf](http://geost.free.fr/geoarchive/Catalogues/Bosch_Katalog_No_20_1907.pdf)
- Bosch, J. & A. 1910. Seismische Apparate und Meteorologische Instrumente. Katalog Nr. **22**. J. & A. Bosch Werkstätte für Präzisions-Mechanik, Strassburg, 35 lk. [http://geost.free.fr/geoarchive/Catalogues/Bosch\\_Katalog\\_No\\_22\\_1910.pdf](http://geost.free.fr/geoarchive/Catalogues/Bosch_Katalog_No_22_1910.pdf)
- Bulletins. i.a. Institute of Seismology. University of Helsinki. <https://www.helsinki.fi/en/institute-of-seismology/bulletins> (vaadatud 05.09.2020)
- Bungum, H., Pettenati, F., Schweitzer, J., Sirovich, L. & Faleide, J. I. 2009. The 23 October 1904 M<sub>s</sub> 5.4 Oslofjord earthquake: Reanalysis based on macroseismic and instrumental data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **99**, 5, 2836–2854. <https://doi.org/10.1785/0120080357>
- Cambridge Scientific Instrument Company. 11.12.2023. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Cambridge\\_Scientific\\_Instrument\\_Company&oldid=1189330648](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Cambridge_Scientific_Instrument_Company&oldid=1189330648)
- Carl Mainka. 17.10.2022. Wikipedia. [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Carl\\_Mainka&oldid=227113553](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Carl_Mainka&oldid=227113553)
- Chakrabarty, S. K. & Tandon, A. N. 1961. Calibration of electromagnetic seismographs satisfying galitzin conditions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **51**, 1, 111–125. <https://doi.org/10.1785/BSSA0510010111>

- Cisternas, A., 2009. Montessus de Ballore, a pioneer of seismology: The man and his work. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **175**, 3–7. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2007.09.006>
- Dahm, C. G., 1933. Epicenter of the Hawke Bay (New Zealand) earthquake and travel-times of condensational waves. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **23**, 4, 139–157. <https://doi.org/10.1785/BSSA0230040139>
- Deutsche Zeitung. Die kleine Wunderstation unserer Universität. *Deutsche Zeitung*, **130**, 08.06.1935, lk 5. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=deutschezeitung19350608.1.5>
- Dewey, J. & Byerly, P. 1969. The early history of seismometry (to 1900). *Bulletin of the Seismological Society of America*, **59**, 1, 183–227. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/59/1/183/101553/The-early-history-of-seismometry-to-1900>
- Doss, Carl Bruno (1861–1919). i.a. BBLD – *Baltisches biografisches Lexikon digital*. <https://bbld.de/0000000013188517> (vaadatud 04.02.2020)
- Doss, B. 1898. Übersicht und Natur der in den Ostseeprovinzen vorgekommenen Erdbeben. *Korrespondenzblatt des Naturforscher-Vereins zu Riga*, **XL**, 147–162. <http://hdl.handle.net/10062/45925>
- Doss, B. 1905a. Beobachtungen über das skandinavische Erdbeben vom 23. Oktober im Bereich der russischen Ostseeprovinzen. *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, **1905**, 65–77. [https://www.zobodat.at/pdf/Centralblatt-Mineral-Geol-Palaeont\\_1905\\_0065-0077.pdf](https://www.zobodat.at/pdf/Centralblatt-Mineral-Geol-Palaeont_1905_0065-0077.pdf)
- Doss, B. 1905b. Über ein unbeachtet gebliebenes Beben in Estland. *Korrespondenzblatt des Naturforscher-Vereins zu Riga*, **XLVIII**, 122–138. <http://hdl.handle.net/10062/45989>
- Doss, B. 1905c. Das skandinavische Erdbeben vom 23. Oktober 1904 in seinen Wirkungen innerhalb der russischen Ostseeprovinzen und des Gouvernements Kowno. *Korrespondenzblatt des Naturforscher-Vereins zu Riga*, **XLVIII**, 249–301. <http://hdl.handle.net/10062/45989>
- Doss, B. 1908. Über die im Jahre 1783 bei Schlock in Livland erfolgte Bildung einer Einsturzdoline. *Korrespondenzblatt des Naturforscher-Vereins zu Riga*, **LI**, 61–72. <http://hdl.handle.net/10062/45990>
- Doss, B. 1910a. Die Erdstöße in den Ostseeprovinzen im Dezember 1908 und Anfang 1909. *Korrespondenzblatt des Naturforscher-Vereins zu Riga*, **LIII**, 73–108. <http://hdl.handle.net/10062/45990>
- Doss, B. 1910b. Die historisch beglaubigten Einsturzbeben und seismisch-akustischen Phänomene der russischen Ostseeprovinzen. *Beiträge zur Geophysik*, **X**, 1–124. <https://digitalisate.sub.uni-hamburg.de/>
- Doss, B. 1911. Einige bisher unbekannt gebliebene Erdbeben in den Ostseeprovinzen. *Korrespondenzblatt des Naturforscher-Vereins zu Riga*, **LIV**, 3–12. <http://hdl.handle.net/10062/45990>
- Doss, B. 1913a. Seismische Ereignisse in den Ostseeprovinzen vom Juni 1910 bis Ende 1912. *Académie Impériale des Sciences, Comptes Rendus des Séances, La Commission Sismique permanente*, **6**, 25–32. [http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP6L1\\_1913.pdf](http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP6L1_1913.pdf)
- Doss, B. 1913b. Ueber die Herkunft des Naturgases auf der Insel Kokskär im Finnischen Meerbusen nebst Bemerkungen über die Entstehung der Insel. *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, **1913**, 601–610. [https://www.zobodat.at/pdf/Centralblatt-Mineral-Geol-Palaeont\\_1913\\_0601-0610.pdf](https://www.zobodat.at/pdf/Centralblatt-Mineral-Geol-Palaeont_1913_0601-0610.pdf)
- Doss, B. 1914. Zur frage nach der Ursache der ostbaltischen Erdbeben. *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, **1914**, 37–47. [https://www.zobodat.at/pdf/Centralblatt-Mineral-Geol-Palaeont\\_1914\\_0037-0047.pdf](https://www.zobodat.at/pdf/Centralblatt-Mineral-Geol-Palaeont_1914_0037-0047.pdf)
- Eesti Postimees ehk Näddalaleht: maa- ja linnarahwale*, **4**, 28.01.1881. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=eestipostimees18810128.2.3>

- Eestiga seotud maateadlased. i.a. Doss, Carl Bruno, saksa päritolu geoloog. Planeet Maa ja selle uurimine. Eesti Loodusuurijate Selts. <https://www.elus.ee/planeetmaa/?show=8&do=1> (vaadatud 04.02.2020)
- Ehlert, R. 1898a. Zusammenstellung, Erläuterung und kritische Beurtheilung der wichtigsten Seismometer mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Verwendbarkeit. *Beiträge zur Geophysik*, **3**, 350–475, 2 tabelit. [http://download.iaspei.org/publications/ISA/further\\_reading/Ehlert1898.pdf](http://download.iaspei.org/publications/ISA/further_reading/Ehlert1898.pdf)
- Ehlert, T. 1898b. Das dreifache Horizontalpendel. *Beiträge zur Geophysik*, **3**, 481–494. [http://download.iaspei.org/publications/ISA/further\\_reading/Ehlert1898.pdf](http://download.iaspei.org/publications/ISA/further_reading/Ehlert1898.pdf)
- Elango, M. 1959. Johan Vilip – esimene eestlasest füüsika professor. *Eesti Loodus*, **5/1959**, 298–300. <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:340414/297826/page/48>
- Elango, M. 1962. Meie kalender. Sada aastat Boriss Borissovitsš Golitsõni sünnist. *Eesti Loodus*, **2/1962**, 97–98. <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:340448/297847/page/39>
- Emil Wiechert. 07.03.2024. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Emil\\_Wiechert&oldid=1212271025](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Emil_Wiechert&oldid=1212271025)
- ERA.891.2.4918. Teaduslike aparatuuride tööstus Hugo Masing, 14.03.1928-04.01.1938, Eesti Riigi Keskarhiiv. [https://www.archivesportaleurope.net/advanced-search/search-in-archives/results-\(archives\)/?&repositoryCode=EE-RA&term=Masing+Hugo&using=all&levelName=clevel&t=fa&recordId=ERA.891&c=C126484253](https://www.archivesportaleurope.net/advanced-search/search-in-archives/results-(archives)/?&repositoryCode=EE-RA&term=Masing+Hugo&using=all&levelName=clevel&t=fa&recordId=ERA.891&c=C126484253)
- Fréchet, J. & Rivera, L. 2012. Horizontal pendulum development and the legacy of Ernst von Rebeur-Paschwitz. *Journal of Seismology*, **16**, 315–343. [http://musee-sismologie.unistra.fr/fileadmin/upload/Sismologie/Sismologie/Rebeur-Ehlert/Frechet\\_Rivera\\_2012.pdf](http://musee-sismologie.unistra.fr/fileadmin/upload/Sismologie/Sismologie/Rebeur-Ehlert/Frechet_Rivera_2012.pdf)
- Frisch, K. 1932. Some data concerning the angles of emergency in strong earthquakes according to registrations in Tartu. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, **36**, 1, 13–19.
- G. W. W. 1910. The Galitzin Seismograph. *Nature*, **84**, 2129, 218–219. <https://www.nature.com/articles/084218b0.pdf>
- Galitzin, B. 1902. Ueber seismometrische Beobachtungen. *Académie Impériale des Sciences, Comptes Rendus des Séances, La Commission Sismique permanente*, **1**, I, 101–183. [http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP1L1\\_1902.pdf](http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP1L1_1902.pdf)
- Galitzin, B. 1904. Zur Methodik der seismometrischen Beobachtungen. *Académie Impériale des Sciences, Comptes Rendus des Séances, La Commission Sismique permanente*, **1**, III, 1–112. [http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP1L3\\_1904.pdf](http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP1L3_1904.pdf)
- Galitzin, B. 1906. *Ueber eine Abänderung des Zöllner'schen Horizontalpendels*. Buchdruckerei der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Peterburi, 25 lk. <http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/4097/galitzinubereineabanderung.pdf>
- Galitzin, B. 1909. Zur frage der Bestimmung des Azimuts des Epizentrums eines Bebens. *Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Petersbourg*, **VI**, 3, 14, 999–1012. [https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=im&paperid=7288&option\\_lang=eng](https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=im&paperid=7288&option_lang=eng)
- Galitzin, B. 1910. Über ein neues schweres Horizontalpendel mit mechanischer Registrierung für seismische Stationen zweites ranges. *Académie Impériale des Sciences, Comptes Rendus des Séances, La Commission Sismique permanente*, **3**, III, 1–76. [http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP3L3\\_1910.pdf](http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP3L3_1910.pdf)
- Galitzin, B. 1911a. Ueber einen neuen Seismographen für die Vertikalkomponente, Der Bodenbewegung. *Académie Impériale des Sciences, Comptes Rendus des Séances, La Commission Sismique permanente*, **4**, II, 1–34. [http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP4L2\\_1911.pdf](http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP4L2_1911.pdf)
- Galitzin, B. 1911b. Die neue Organisation des seismischen Dienstens in Russland. *Association Internationale de Sismologie, Assemblée Générale II, 18–21 juillet, 1911, Manchester, annexe XVI, 18*, (toim Kövesligethy, R.), 122–132. [http://geost.free.fr/geoarchive/AIS/AIS\\_1911\\_Manchester.pdf](http://geost.free.fr/geoarchive/AIS/AIS_1911_Manchester.pdf)

- Galitzin, B. 1911c. Bestimmung der Lage des Epizentrums eines Bebens aus den Angaben einer einzelnen seismischen Station. *Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg*. VI, **5**, 13, 941–957. <http://www.mathnet.ru/links/93a10050d74b2547cca545c54ffa8c39/im6946.pdf>
- Galitzin, B. 1912. Zur Theorie der mechanischen Registrierung. *Académie Impériale des Sciences, Comptes Rendus des Séances, La Commission Sismique permanente*, **5**, 1, 35–83. [http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP5L1\\_1912.pdf](http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP5L1_1912.pdf)
- Galitzin, B. 1914. Vorlesungen über Seismometrie. Deutsche Bearbeitung unter Mitwirkung von Clara Reinfeldt herausgegeben von O. Hecker. B.G. Teubner, Leipzig, 538 lk. <http://ds.iris.edu/seismo-archives/info/publications/Galitzin1914.pdf>
- Georg Gerland. 05.08.2023. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Georg\\_Gerland&oldid=1168895932](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Georg_Gerland&oldid=1168895932)
- Golitsyn, B. 1912. *Lekcii po seysmometrii*. Tipografiya Imperatorskoy Akademii Nauk, Peterburi, 654 lk. <http://www.e-heritage.ru/Catalog/ShowPub/1935?lg=en>
- Golitsyn Boris Borisovich — fizik, seysmolog, akademik Rossiyskoy Akademii nauk (foto). i.a. Wikimedia Commons. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Golitsyn\\_B.B.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Golitsyn_B.B.jpg)
- Gregersen, S. 2002. Earthquakes and change of stress since the ice age in Scandinavia. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, **49**, 73–78. <https://www.researchgate.net/publication/239927042>
- Grewingk, Constantin Caspar Andreas. i.a. Universitas Tartuensis Dspace. <https://hdl.handle.net/10062/2805> (vaadatud 17.01.2020)
- Grigori Levitski. 25.12.2023. Vikipeedia. [https://et.wikipedia.org/w/index.php?title=Grigori\\_Levitski&oldid=6546702](https://et.wikipedia.org/w/index.php?title=Grigori_Levitski&oldid=6546702)
- Grigori Vassiljevitš Levitski. i.a. Tartu Tähetorn. [https://www.muuseum.ut.ee/vveraamat/pages/4\\_8.html](https://www.muuseum.ut.ee/vveraamat/pages/4_8.html) (vaadatud 05.02.2020)
- Harris & Ewing. 1929. Georgetown University Seismological Observatory installs only Galitzin horizontal seismographs on this side of the Atlantic. Library of Congress Prints and Photographs Division Washington, D.C. 20540 USA. <https://www.loc.gov/pictures/item/2016889145/>
- Heinloo, A., Heinloo, O. & Sildvee, H. 1996. Historical overview of instrumental-seismical observations in Estonia. *Bulletin of the Geological Survey of Estonia*, **6/1**, 34–38. <http://hdl.handle.net/10062/50179>
- Heinloo, O. 1997. Prof. G. V. Levitski (1852–1918) and Yuryev (Tartu) Seismological Station in 1896–1912. Proceedings of the Workshop: Historical Seismic Instruments and Documents: a Heritage of Great Scientific and Cultural Value 16–18 May, 1994, Luxembourg (toim Ferrari, G.). European Centre for Geodynamics and Seismology, **13**, 135–140. [https://www.researchgate.net/publication/268511201\\_Proceedings\\_of\\_the\\_Workshop\\_Historical\\_Seismic\\_Instruments\\_and\\_Documents\\_a\\_Heritage\\_of\\_Great\\_Scientific\\_and\\_Cultural\\_Value](https://www.researchgate.net/publication/268511201_Proceedings_of_the_Workshop_Historical_Seismic_Instruments_and_Documents_a_Heritage_of_Great_Scientific_and_Cultural_Value)
- Heinloo, O. 2003. Appendix. 3. Seismographs constructed after Prince B. Galitzin and Prof. J. Wilip. In *International Handbook of Earthquakes & Engineering Seismology, Part B* (toim Lee, W. H. K., Kanamori, H., Jennings, P. C., Kisslinger, C.). International CD #2, Supplementary material, 16–28.
- Heinloo, O. & Rennit, M. 1993. Hugo Masing, Tartu ja maailma seismoloogia. *Eesti Loodus*, **3/1993**, 92–94. <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:341054/298486/page/30>
- Hellfrich, G. R. & Wood, B. J. 2001. The Earth's mantle. *Nature*, **412**, 501–507. <https://www.nature.com/articles/35087500.pdf?origin=ppub>
- Himma-Kadakas, M. 2009. Hinnaline seismograaf naasis koju. *Tartu Postimees*, 22.12.2009. <https://tartu.postimees.ee/203913/hinnaline-seismograaf-naasis-koju>
- Hjelme, J. 1996. History of seismological stations in Denmark with Greenland. In: *Seismograph recording in Sweden, Norway – with Arctic regions, Denmark – with Greenland, and Finland* (Toim Wahlström, R.). Uppsala Wiechert Jubilee Seminar, 22.–23.08.1994, Uppsala Ülikool. <http://seis.geus.net/papers/history-of-stations.pdf>

- House of Golitsyn. 28.02.2024. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=House\\_of\\_Golitsyn&oldid=1210757387](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=House_of_Golitsyn&oldid=1210757387)
- How does a seismometer work? i.a. Education and outreach series. Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). [https://www.iris.edu/hq/files/publications/brochures\\_onepagers/doc/OnePager7.pdf](https://www.iris.edu/hq/files/publications/brochures_onepagers/doc/OnePager7.pdf) (vaadatud 27.01.2020)
- Jevrejeva, S., Rüdja, A. & Mäkinen, J. 2001. Postglacial rebound in Fennoscandia: new results from Estonian tide gauges. *Gravity, Geoid and Geodynamics 2000*. International Association of Geodesy Symposia, **123**, 193–198. [https://www.researchgate.net/publication/281388107\\_Postglacial\\_rebound\\_in\\_Fennoscandia\\_New\\_results\\_from\\_Estonian\\_tide\\_gauges](https://www.researchgate.net/publication/281388107_Postglacial_rebound_in_Fennoscandia_New_results_from_Estonian_tide_gauges)
- Johan Vilip. 04.07.2023. Vikipeedia. [https://et.wikipedia.org/w/index.php?title=Johan\\_Vilip&oldid=6434516](https://et.wikipedia.org/w/index.php?title=Johan_Vilip&oldid=6434516)
- John Milne. 24.12.2023. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=John\\_Milne&oldid=1191537460](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=John_Milne&oldid=1191537460)
- Kall, T. & Jürgenson, H. 2008. Postglacial land uplift in Estonia based on geodetic measurements on Pöitsamaa-Lelle levelling line. *The 7th International Conference of Environmental Engineering, May 22–23, 2008*. Vilnius Gediminas Technical University, 1325–1333. [https://www.researchgate.net/publication/228843969\\_Postglacial\\_land\\_uplift\\_in\\_Estonia\\_based\\_on\\_geodetic\\_measurements\\_on\\_Poltsamaa-Lelle\\_levelling\\_line](https://www.researchgate.net/publication/228843969_Postglacial_land_uplift_in_Estonia_based_on_geodetic_measurements_on_Poltsamaa-Lelle_levelling_line)
- Karls Bruno Doss. i.a. Läti Ülikooli Raamatukogu. [http://rigasdabaspetnieki.lu.lv/index.php?page=karls\\_bruno\\_doss&i=1](http://rigasdabaspetnieki.lu.lv/index.php?page=karls_bruno_doss&i=1) (vaadatud 04.02.2020)
- Kisslinger, C. 1998. Interview of Carl Kisslinger by Kai-Henrik Barth. 17.06.1998. Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, College Park, MD USA. <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/5907>
- Klotz, O. 1916. Prince Boris Galitzin. *Bulletin of the Seismological Society of America* **7**, 2, 49–50. <https://doi.org/10.1785/BSSA0070020049>
- Koern, V. 1942. Prof. dr. phil. Nat. Johan Vilip. *Postimees*, **26**, 28.01.1942. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=is&oid=postimeesew19420128&type=staticpdf>
- Kriis, L. 2016. Physiology professor Alfred Fleisch (1892–1973) and his legacy at the University of Tartu. *Acta Baltica Historiae et Philosophiae Scientiarum*, **4**, 1, 70–96. <https://doi.org/10.11590/abhps.2016.1.03>
- Kulikovskiy, P. G. i.a. Orlov, Aleksandr Yakovlevich. In *Complete Dictionary of Scientific Bibliography. Encyclopedia.com*. <https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/orlov-aleksandr-yakovlevich> (vaadatud 31.01.2020)
- Kupffer, K. R. 1924. Professor Dr. Bruno Doss und seine Verdienste um die Durchforschung des ostbaltischen Gebiets. *Korrespondenzblatt des Naturforscher-Vereins zu Riga*, **LVII**, 3–6. <http://hdl.handle.net/10062/45991>
- Kärdla, E. 2010. Perekonnaloo (perekond Pikandi) materjale arhiiv-, foto- ja ajaloolises kogus. *Tartu Linnamuuseum 2010 aastaraamat* **16**, 141–150. <http://www.digar.ee/id/nlib-digar:127617>
- Kövesligethy, R. (toim). 1922. Association Internationale de Sismologie, Assemblée Générale III, 24–25 avril, 1922, Strasbourg, 81 lk. [http://geost.free.fr/geoarchive/AIS/AIS\\_1922\\_Strasbourg.pdf](http://geost.free.fr/geoarchive/AIS/AIS_1922_Strasbourg.pdf)
- Laidla, J. 2014. Tartust viiele kondinendile. Näitus Valmistatud Tartus, Tartu Ülikooli muuseum, 26.08–31.12.2014, veebiväljaanne. <https://valmistatudtartus.weebly.com/hugo-masing.html>
- Laidla, J. 2019. Hugo Masing's Golitsyn-Vilip Seismographs. From Tartu to Five Continents. In *Scientific Instruments between East and West* (toim Brown, N., Ackermann, S., Günerguson, F.), *Scientific Instruments and Collections*, **7**, 154–167.
- Lehmann, I. 1936. P'. Bureau Central Séismologique International Strasbourg: Publications du Bureau Central Scientifiques, **14**, 87–115.
- Lehmann, I. 1987. Seismology in the days of old. *EOS*, **68**, 33–35. <https://courses.seas.harvard.edu/climate/eli/Courses/EPS281r/Sources/Inner-Core/Lehmann-1988-EOS.pdf>

- Lovell, J. H. & Henni, P. H. O. 1999. Historical seismological observatories in the British Isles (pre-1970). *British Geological Survey Technical Report WL/99/13*, 12 lk. Appendix A1–A121. <http://www.earthquakes.bgs.ac.uk/hazard/pdf/wl9913.pdf>
- M 7.3 Buller (Murchison) Mon, Jun 17 1929. i.a. GeoNet, Geological hazard information for New Zealand. <https://www.geonet.org.nz/earthquake/story/2178128> (vaadatud 03.02.2020)
- Maaväringute registreerimine. 1938. Videod. Eesti Kultuurifilmi ringvaade 13, 4/5. <https://www.efis.ee/et/filmiidid/film/id/1089/videoklipid>
- Marahwa Näddala-Leht, **6**, 09.02.1823, 43. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=marahwa182302091.3>
- Marek, M. 2003. Genealogy of the Golitsyn family. Genealogy.EU, 1. <http://genealogy.euweb.cz/russia/galitzin1.html>
- Marek, M. 2004. Genealogy of the Golitsyn family. Genealogy.EU, 7. <http://genealogy.euweb.cz/russia/galitzin7.html>
- Masing, W. 1985. Hugo Masing. Leben und Werk als Konstrukteur und Erbauer von Erdbebenseismographen. *Tartu Ülikooli ajaloo küsimusi*, **XVII**, 175–181. <http://hdl.handle.net/10062/16926>
- McComb, H. E., West, C. J. 1931. List of Seismologic Stations of the World, 2nd ed. *Bulletin of the National Research Council*, **32**, 1–119. [http://ds.iris.edu/seismo-archives/info/publications/McComb\\_and\\_West\\_1931.pdf](http://ds.iris.edu/seismo-archives/info/publications/McComb_and_West_1931.pdf)
- Montessus de Ballore, F. 1912. Sur les tremblements de terre des provinces baltiques de la Russie (Esthonie, Livonie et Courlande). *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, **155**, 1200–1201. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/31508#page/1212/mode/1up>
- Mushketov, I. & Orlov, A. 1893. *Katalog zemletrjasenij Rossijskoi Imperii*. 582 lk., graafikud ja kaart. <http://www.geokniga.org/books/16659>
- Musson, R. M. W. 2013. A history of British seismology. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **11**, 715–861. <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9444-5>
- Müürsepp, P. 1989. J. Wilip – mees, keda tunti üle maailma. *Horisont*, **12/1989**, 6–8. <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:291495/261962/page/8>
- Neue Dörptsche Zeitung*, **16**, 20.01.(01.02.)1881. [https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/51082/1881\\_1.pdf](https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/51082/1881_1.pdf)
- Nikonov, A. A. 2011. The Narva Earthquake on January 28, 1881, in the Eastern Part of the Finnish Gulf. *Seismic Instruments*, **47**, 4, 337–345. <https://doi.org/10.3103/S0747923911040050>
- Nikonov, A. A. & Sildvee, H. 1991. Historical earthquakes in Estonia and their seismotectonic position. *Geophysica*, **27**, 1-2, 79–93. [http://www.geophysica.fi/pdf/geophysica\\_1991\\_27\\_1-2\\_079\\_nikonov.pdf](http://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_1991_27_1-2_079_nikonov.pdf)
- Nimekad teadlased Tartu ülikoolis. Boriss vürst Golitsõn. i.a. <https://utlib.ut.ee/ekollekt/tyeadlased/golitsõn.htm> (vaadatud 30.01.2020)
- Nordliviländische Zeitung*, **232**, 14.10.(27.10.)1904. [https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/67287/b41091802\\_1904\\_3.pdf](https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/67287/b41091802_1904_3.pdf)
- Normann, Herbert. 1890. Levitski, Grigori. Fotokogu. <http://hdl.handle.net/10062/19180>
- Normann, Herbert. 1920. Vilip, Johan. Fotokogu. <https://dspace.ut.ee/handle/10062/20870>
- Ostsee-Provinzen-Blatt*, **6**, 06.02.1823, 55. <http://hdl.handle.net/10062/29329>
- O'Reilly, J. P., 1886. Alphabetical Catalogue of the Earthquakes Recorded as Having Occurred in Europe and Adjacent Countries, Arranged to Serve as a Basis for an Earthquake Map of Europe. *The Transactions of the Royal Irish Academy*, **28**, 489–708. <https://www.jstor.org/stable/30079058?seq=1>
- Postimees. Ülikool. Uus doktor füüsika alal. *Postimees*, **331**, 05.12.1930. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=postimeesew19301205.2.51>



- Postimees. Tartu saab seismilise jaama. *Postimees*, **332**, 06.12.1930. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=postimeesew19301206.2.8>
- Pruul, P. 2006. Kümme kõvemat kandidaati Eesti Nokia nimetusele. *Eesti Päevaleht*, 03.08.2006. <https://epi.delfi.ee/meelelahutus/kumme-kovemat-kandidaati-eesti-nokia-nimetusele?id=51046131>
- Prüller, P. 1975. Tartu Ülikooli füüsikaproffessor J. Vilip pedagoogina ja seismoloogina. *Tartu Ülikooli ajaloo küsimusi*, **II**, 37–59. <http://hdl.handle.net/10062/17807>
- Päevaleht*, **71**, 29.03.(11.04.)1912. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=paevalehtew19120329.2.7>
- Ramírez, J. E. 1943. The Geophysical Institute of the Colombian Andes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **33**, 2, 81–90. <https://doi.org/10.1785/BSSA0330020081>
- Rebeur-Ehlert. i.a. <http://musee-sismologie.unistra.fr/collections/les-collections-de-sismologie/rebeur-ehlert/> (vaadatud 13.09.2020)
- Rebeur-Paschwitz, E. v. 1889. The earthquake of Tokio, April 18, 1889. *Nature*, **40**, 294–295. <https://www.nature.com/articles/040294e0>
- Rebeur-Paschwitz, E. v. 1892. Das Horizontalpendel und seine Anwendung zur Beobachtung der absoluten und relativen Richtungs-Änderungen der Lothlinie. *Nova acta Academiae Caesareae Leopoldino-Carolinae Germanicae Naturae Curiosorum*, **LX**, 1, 216 lk, tabelid I-V. [http://geost.free.fr/rebeur/Rebeur-Paschwitz\\_1892\\_NovaActa.pdf](http://geost.free.fr/rebeur/Rebeur-Paschwitz_1892_NovaActa.pdf)
- Reinet, J. 1975. Prof. Johan Vilipi elust ja tegevusest. *Tartu Ülikooli ajaloo küsimusi*, **II**, 60–70. <http://hdl.handle.net/10062/17807>
- Reinhold Ehlert (1871–1899). i.a. <http://musee-sismologie.unistra.fr/collections/les-collections-de-sismologie/rebeur-ehlert/reinhold-ehlert-1871-1899/> (vaadatud 13.09.2020)
- Revalsche Zeitung*, **234**, 10.10.(22.10.)1877. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=revalschezeitung18771010.1>
- Reverend Francis A. Tondorf, S. J., and Rev. James B. Macelwane, S.J., examining a Cambridge-type vertical component Galitzen electromagnetic seismograph installed in 1923 at Georgetown University, Washington, D.C. i.a. J. B. Macelwane Archives, Saint Louis University. i.a. J. B. Macelwane Archives, Saint Louis University. [http://www.eas.slu.edu/eqc/eqc\\_history/Instruments/georgetwn.html](http://www.eas.slu.edu/eqc/eqc_history/Instruments/georgetwn.html) (vaadatud 28.08.2020)
- Riedel Eggert, i.a. Masing, H. - peenmehaanik. Rahvusarhiiv, EAA.2111.1.9224.1. <https://www.ra.ee/fotis/index.php/et/photo/view?id=783779>
- Rudolph, E. 1903. Die Fernbeben des Jahres 1897. *Beiträge zur Geophysik*, **5**, 1–93. <http://download.iaspei.org/publications/ISA/catalogues/Rudolph1903a.pdf>
- Sakala*, **6**, 07.02.1881. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=sakalaew18810207.2.6>
- Sarv, S. 2005. Maailma tuntuim seismoloog. *Pärnu Postimees*, 12.05.2005. <https://parnu.postimees.ee/2114799/maailma-tuntuim-seismoloog>
- Schulz, C., 1901. Doss, Carl Bruno. Digiporta. Digitales Porträtarchiv. Archive in der Leibniz-Gemeinschaft. <http://www.digiporta.net/index.php?id=472194804>
- Schweitzer, J. 2003. German National Report – Part A. Early German Contributions to Modern Seismology. *International Handbook of Earthquakes & Engineering Seismology, Part B* (toim Lee, W. H. K., Kanamori, H., Jennings, P. C., Kisslinger, C.) CD #2, Chapter 79.24, 58 lk. [http://download.iaspei.org/publications/Ch79-24CDpartA\\_ocr\\_red.pdf](http://download.iaspei.org/publications/Ch79-24CDpartA_ocr_red.pdf)
- Schweitzer, J., 2007. The birth of modern seismology in the nineteenth and twentieth centuries. *Earth Sciences History*, **26**, 2, 263–280. <https://doi.org/10.17704/eshi.26.2.q412767051228155>
- Schweitzer, J., Lee, W. H. K. 2003. Old seismic bulletins to 1920: A collective heritage from early seismologists. Appendix: Seismographs 1856–1910. *International Handbook of Earthquakes & Engineering Seismology, Part B* (toim Lee, W. H. K., Kanamori, H., Jennings, P. C., Kisslinger, C.), 1665–1723. [https://dgg-online.de/WordPress\\_01/wp-content/uploads/2015/06/IHB-C881.pdf](https://dgg-online.de/WordPress_01/wp-content/uploads/2015/06/IHB-C881.pdf)
- Seismographen für galvanometrische Registrierung nach Fürst B. Galitzin und Prof. J. Willip*. 1929. H. Masing Werkstatt für Präzisionsmechanik, Estland, Tartu-Dorpat, 21 lk.



- A shimmy-studying setup, 1946. *St. Louis Globe-Democrat*, 21.07.1946. [http://www.eas.slu.edu/eqc/eqc\\_history/WSprenghether/scan0034.jpg](http://www.eas.slu.edu/eqc/eqc_history/WSprenghether/scan0034.jpg)
- Sildvee, H. 1988. Võrtsjärve maavärin. *Eesti Loodus*, **1/1988**, 26–31. <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:340955/298398/page/28>
- Slunga, R. 1979. Source mechanism of a Baltic earthquake inferred from surface-wave recordings. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **69**, 6, 1931–1964. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article/69/6/1931/117972>
- Soosalu, H., Uski, M., Komminaho, K. & Veski, A. 2022. Recent intraplate seismicity in Estonia, east European platform. *Seismological Research Letters*, **93**, 3, 1800–1811. <https://doi.org/10.1785/0220210277>
- Sootak, V. 2014. Füüsika õpetamise saajandid Tartus. *Universitas Tartuensis: Tartu Ülikooli ajaleht*, September 2014, **8**, 35–37. <https://www.ajakiri.ut.ee/artikkel/625>
- Sprenghether, W. F. Jr. 1947. Horizontal- and vertical-component seismographs. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **37**, 2, 101–105. <https://doi.org/10.1785/BSSA0370020101>
- Sresnewsky, B. 1904. Erdbeben. *Baltische Wochenschrift* **42**, 20.10./02.11.1904, lk 412. <http://hdl.handle.net/10062/24362>
- Suuroja, K., All, T., Kõiv, M., Mardim, T., Morgen, E., Ploom, K. & Vahtra, T. 2002. *Eesti geoloogiline baaskaart (mõõtkavas 1:50 000). 7321 Prangli. Seletuskiri*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. 72 lk. <https://geoportaal.maaamet.ee/docs/geoloogia/7321Seletuskiri.pdf>
- Tallinna Sõber, **5**, 30.01.1881. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=tallinnasober18810130.2.3>
- Tallinna Teataja, **71**, 29.03.(11.04.)1912. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=tallinnateataja19120329.2.30>
- Tatevossian, R. 2004. History of earthquake studies in Russia. *Annals of Geophysics*, **47**, 2/3, 811–830. <https://www.earth-prints.org/bitstream/2122/796/1/34Tatevossian.pdf?ref=HadiZayifla.Com>
- Udías, A. & Stauder, W. 1996. The Jesuit Contribution to Seismology. *Seismological Research Letters*, **67**, 3, 10–19. <https://doi.org/10.1785/gssrl.67.3.10>
- Udías, A. & Buforn, E. 2017. *Principles of Seismology*. Cambridge University Press. 558 lk.
- Viik, T. i.a. Grigori Levitski. <http://viik.planet.ee/levitski.pdf> (vaadatud 07.09.2020)
- Wilip, J. 1923. Maaväringute mõõtmisest. *Loodus*, **3/1923**, 130–138. <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:378320/325297/page/4>
- Wilip, J. 1904a. Maavärisemistest. *Eesti Postimehe Teaduste eralisa*, 01.02.1904. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=estpostimeadusteerali19040201>
- Wilip, J. 1904b. Maavärisemistest 2. *Eesti Postimehe Teaduste eralisa*, 09.02.1904. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=estpostimeadusteerali19040209>
- Wilip, J. 1904c. Maavärisemistest 3. *Eesti Postimehe Teaduste eralisa*, 16.02.1904. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=estpostimeadusteerali19040216.1.1>
- Wilip, J. 1911. Ueber die Einwirkung von Luftströmungen auf empfindliche Horizontalpendel. *Académie impériale des sciences. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente*, **4**, II, 35–47. [http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP4L2\\_1911.pdf](http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP4L2_1911.pdf)
- Wilip, J., 1912. Die Zentrale Seismische Station in Pulkovo. *Académie impériale des sciences. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente*, **5**, II, 133–170. [http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP5L2\\_1912.pdf](http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP5L2_1912.pdf)
- Wilip, J. 1913. O nekotoryh zemletrjasenijah vesnoju 1912 goda. *Académie impériale des sciences. Comptes rendus des séances de la Commission sismique permanente*, **6**, I, 33–56. [http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP6L1\\_1913.pdf](http://geost.free.fr/geoarchive/CSP/CSP6L1_1913.pdf)
- Wilip, J., 1921a. Sõda ja seismoloogia. *Postimees*, **176**, 08.08.1921. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=postimeesew19210808.2.18>
- Wilip, J., 1921b. Sõda ja seismoloogia 2. *Postimees*, **178**, 10.08.1921. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=postimeesew19210810.2.18>

- Wilip, J. 1923. Seismoloogia 2. *Postimees*, **78**, 22.03.1923. <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=postimeesew19230322.2.21>
- Wilip, J. 1926. On new precision-seismographs. *Acta et Commentationes Universitatis Tartuensis (Dorpatensis)*, A. **X**, 7, 26 lk. <http://hdl.handle.net/10062/18880>
- Wilip, J. 1929. Über Temperaturkompensation bei Vertikalseismographen. *Tartu Ülikooli Loodusuurijate Seltsi Aruanded*, **XXXV**, 147–154. <http://hdl.handle.net/10062/29076>
- Wilip, J. 1930. A Galvanometrically Registering Vertical Seismograph with Temperature Compensation. *Acta et Commentationes Universitatis Tartuensis (Dorpatensis)*, A. **XX**, 6, 54 lk. <http://hdl.handle.net/10062/18858>
- Wilip, J. 1931. Eesti seismiline jaam ja maaväringud. *Olion* **4/1931**, 157–159. <http://www.digar.ee/id/nlib-digar:105776>
- Wood, H. O. 1921. A List of Seismologic Stations of the World. *Bulletin of the National Research Council*, **2**, 15, 397–538. [http://ds.iris.edu/seismo-archives/info/publications/Wood\\_1921.pdf](http://ds.iris.edu/seismo-archives/info/publications/Wood_1921.pdf)
- Yanovskaya, T. B. 2014. K istorii rossijskoj sejsmologii. *Uchenye zapiski SPbGU*, 447. *Voprosy geofiziki*, **47**, 32–41. [http://geo.phys.spbu.ru/Problems\\_of\\_geophysics/2014/05\\_Yanovskaya\\_47\\_2014.pdf](http://geo.phys.spbu.ru/Problems_of_geophysics/2014/05_Yanovskaya_47_2014.pdf)



# Eesti hüdrokeoloogilised uurimised 1691–2021

Leo Vallner

Eesti Geoloogiateenistus

## Sissejuhatus

Alates 17. sajandi lõpust kuni praeguseni on kogunenud palju kirjalikke andmeid Eesti põhjaveekeskonna ja selle uurimise kohta. Seda teavet on varem mitmel korral kokkuvõtlikult käsitletud. Vahemikus 1820–1975 avaldatud trükiste ja aastatel 1918–1975 koostatud käsikirjade bibliokirjed, referaadid ning temaatilised kokkuvõtted sisalduvad enamasti koguteoses „*NSVL geoloogiline uuritus*“ (Heinsalu, I. 1969; Heinsalu, I. ja Lugus 1988; Heinsalu, I. ja Neiman 1966, 1987; Heinsalu, I. jt 1974; Klaamann 1968; Männil 1972; Müürisepp 1973, 1977, 1984a, 1984b). Kuni 1985. aastani tehtud hüdrokeoloogia-alased uurimised on refereeritud kogumikus „*Geoloogiateaduste ajalugu Eestis*“ (Karise jt 1986). Suhteliselt põhjaliku ettekujutuse Eesti Geoloogiavalitsuse ja Eesti Geoloogiakeskuse töödest annab raamat „*Eesti Geoloogiakeskus 70/50. Hüdrokeoloogia poolsajand*“ (Vingisaar ja Kivisilla 2008). Veebiportaalis *Eesti Geoloogiafond* ja *Geokirjandus (Eesti maapõue teavikute register)* oli 2021. a arvele võetud vastavalt 3127 ja 4367 hüdrokeoloogia-alast teavikut.

Kogu selles väga mahukas ja eripalgelises materjalis on ilma täiendavate suuniste ja selgitusteta raske orienteeruda. Ometigi tuleb Eesti põhjaveekihtkonna kestlikuks majandamiseks vajalikul määral tunda kõiki olulisi uuringuid. On tarvis teada, mis kaasaegse teaduse tasemest lähtudes kehtib jätkuvalt või vajab arendamist. Käesolev kirjutus esitab kokkuvõtliku ülevaate Eesti hüdrokeoloogiliste uurimiste tulemustest ja meetodikast süstematiseerituna ühiskonna arenguetappide ning uurimisasutuste kaupa kuni 2022. aastani (k.a). Selle alusel antakse soovitusi seniste uurimiste edendamiseks ja hüdrokeoloogide jätkusuutlikuks ettevalmistamiseks.

## Esimesed märkmed ja episoodilised uurimised

Arheoloogilised väljakaevamised on näidanud, et juba meie ajaarvamise teise sajandi alguses osati Eestis rajada sügavaid kaeve, mis olid raiutud paekihtidesse või kaevatud raketega kindlustatult kobedasse pinnasesse. Vanarahvas suhtus austusega allikatesse. Nende vett peeti puhtuse võrdkujuks ja tervistavaks (Vilbaste, K. 2013). Teadaolev esimene säilinud mäрге Eesti põhjaveeoludest pärineb praeguse Tartu Ülikooli eelkäija Academia Gustavo-Carolina meditsiiniprofessorilt L. Micranderilt, kes 1691. a kirjeldas (juun. 1) Helme lähedal asuvaid Koorküla allikaid, määras nende vooluhulga ja katsete alusel iseloomustas vett raua- ning väevliühendite rikkana ja ravitoimelisena (Heinsalu, Ü. 1993; Revalsche Post-Zeitung 1691). Järgmised säilinud andmed Helme, Koorküla, Küti, Leetse, Mõdriku, Norra, Prandi, Simuna, Voore jt allikate kohta esinevad 18. sajandi lõpul koostatud Eesti geograafilistes ülevaadetes (Fischer 1791; Hupel 1789; Rauch 1794).

Revalsche  
Post-Zeitung  
am Donnerstage/  
Anno 1691. den 8. Octobr.  
No. 81.<sup>4</sup>

Döryt/ vom 3 Octobr.

Nachdem Herr Laurentius Micrander, Medicinæ Doctor und Profess. bey dieser Königl: Academie, wie auch h. t. Rector, gesehen/ daß dieses Land mit vielen Spring-Quellen angefüllet / hat Er sich bemühet gut mineralisch Wasser oder Heyl: wien aufzufuchen/ um sich derer Proben zu erkundigen/ bis Er endlich den 5. verfloffenen Augusti bey dem Hese Kortüll/ so des Schl. Hn. Dörsten Ahnreys Erben gehörig/ auch aber an Hn. Johan von Wickedden/ Königl. Rentmeister in Riga/ verarendiret/ zwene Springquellen oder Heilbrunnen erkunden / dieser Hoff Kortüll liegt 1 Meile von Helmer/ 10 Meilen von Döryt/ 15 Meilen von Pernou und 22 Meilen von Riga/ gedachte Quellen aber liegen unter einen grossen Sandberg perpendicularer, und rinnen durch reinen Sand / da insonderheit die eine Quelle mit einer solchen force und starcken Ader springet und in die Höhe kochet/ daß Sie außs wenigste alle Stunde 7 a 8 Tonnen Wasser von sich gibt/ und nachdem sie durch unterschiedliche artificiales gemachte Probe befunden / daß es ein gut Marialisch Wasser/ welches nicht allein ViAriolum Martis, besonders auch Sulphur volatile zugleich mit acido occulto in guter Quantität in sich hält: Wor auß der Hr. Doct: gleich nach dessen Erfindung / obgleich die Zeit solcher Heilbrunnen sich zu bedienen verfloffen war / dennoch mit einigen Patienten sich dahin verfüget / mittelst trinckend und badend / des Wassers operation zu erfahren / da man es durch Gottes Segen recht gut befunden / so daß es per omnia emunctoria, sedes, urinam & sudores, die überflüssige scharffe Schleime stark abführet / und ein jeder Patient so sich vor dismahl/ und war bey so später Jahreszeit/ dieses Wassers heilener/ vergnügt davon gezogen/ auch vermuhret der Hr. Doctor, daß wann hemelndes Wasser zu rechter Zeit wird gebraucht werden/ es durch Gottes Gnade capabel viele schwere Krauchheiten zu heben. Wovon mit nächster Zeit ausführlich sol berichtet werden.

Joonis 1. Esimene teadaolev säilunud mäрге eesti põhjavee-olude kohta (Revalsche Post-Zeitung 1691).

Senini võrdlusandmetena teadusliku väärtuse säilitanud tähelepanekuid Eesti põhjavee kohta publitseerisid Keiserliku Tartu Ülikooli (KTÜ) professor E. Eichwald ja vene akadeemik G. Helmersen (Karise jt 1986). Nad kirjeldasid Tallinnas Kopli poolsaarel asuva Patarei kindluse juurde 1842. a rajatud 91,5 m sügavust ja Lontova veepideme alustest liivakividest toituvat puurkaevu, kus looduslik veetase tõusis ühe meetri võrra kõrgemale merepinnast (Helmersen 1851).

Põhjavee kvaliteedi uurimisele keemiliste analüüsidega pani aluse KTÜ professor C. Schmidt vahemikus 1854–1889 avaldatud töödega. Ta sedastas, et juba tollal oli pinnakattesse rajatud salvkaevude vesi Tartus valdavalt reostunud nitraadiühenditega, ent Devonis sügavamad kihid ja Meltsiveski allikad andsid head joogivett (Schmidt 1863).

Järgnevalt, kuni aastani 1915, avaldasid R. Guleke, B. Doss, C. Kalt, J. Hemsendorf ja N. Pogrebov oma seisukohti Pärnu, Tartu ning Tallinna põhjaveearustuse võimaluste kohta. Omaaegsel tehnilisel kõrgtasemel olid aurumasinaga käitatud sünkroonsed katsepum-

pamised kahest glatsifluviaalsetesse kruusadesse rajatud puurkaevust Meltsiveski allikate juures (Kalt 1913). Pumpamised koos veetasemete automaatse registreerimisega kestsid katkestamatult kaks kuud ja kaevude keskmine kogudeebit oli 7085 m<sup>3</sup>/öp. Siinjuures märkigem, et Tartu Meltsiveski veehaarde käesoleval ajal kehtiv kinnitatud põhjaveevaru on 7500 m<sup>3</sup>/öp (Marandi jt 2020; Polikarpus jt 2017).

Eesti Vabariigis aastatel 1918–1940 süstemaatilisi hüdrogeoloogilisi uurimisi ei tehtud. Siiski koostas Baltimaade hüdroloogiakonverentsi puhuks esimese tervikliku ülevaate Eesti hüdrogeoloogiast hilisem Tallinna Tehnikaülikooli professor J. Kark (1928). Ta eristas põhjaveekihtkonnas selle litoloogiliste erisuste järgi Kvaternaari, Devoni, Siluri, Ordoviitsiumi, Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambriumi-Vendi põhjaveeladestu ning iseloomustas nende hüdrauilisi omadusi ja vee kvaliteeti 47 puurkaevu andmete alusel.

Monograafilises uurimuses analüüsis E. Puksmann (1936) Järvelja katsemetskonna metsamaal asunud 30 pinnasekaevu vaatlusridu aastatest 1930–1934. Ta seostas pinnasevee ekstreemtasemete amplituudid ja esinemisajad kvantitatiivselt õhu niiskusesisalduse, lumikatte paksuse ning aeratsioonivöö külmumisega.

Esimese kogu Eestit hõlmava allikate andmekogu koostas 1936. a loodushuvilistele saadetud üleriigilise ankeetküsitluse alusel G. Vilbaste (Vilbaste, K. 2013). Ankeedis olid küsimused allika asukoha, avanemistingimuste, vooluhulga ja vee kvaliteedi kohta. Vastuseks saadi enam kui 3700 allika andmeid. Nende alusel oli võimalik eristada tõusu- ja languallikad, püsivalt ja sesoonselt voolavad, lõhedest ning kihipindadelt avanevad ja vee iseäralise maitsega allikad (Vilbaste, G. 1936).

## Uurimised nõukogude perioodil

### Üldolukord

Nõukogude Liidus oli geoloogia teadusliku ja meetoodilise uurimise eelisõigus kõrgematel õppeasutustel ja teaduste akadeemia ning geoloogiaministeeriumi instituutidel. Dissertatsioonina kaitstud uudse teadusliku sisuga uurimuse autorile võidi anda teaduste doktori või kandidaadi kraad, mis mõlemad on praeguses Eestis võrrutatud filosoofiadoktori (PhD) kraadiga. NSVL geoloogiaministeeriumile alluvate territoriaalsete geoloogiavalitsuste peaulesandeks oli eksperimentaal- ja vaatlusandmestiku kogumine ning sellest lähtuvate piirkondlike üldistavate aruannete koostamine, kusjuures tuli rangelt täita bürokraatlikul hierarhiaastmestikul kõrgemale seatud asutuste poolt välja töötatud ja riiklikul tasemel kinnitatud meetoodilisi juhendeid.

Kõik õigete geograafiliste koordinaatidega ja absoluutkõrgustega fikseeritud ruumikujud, sh topograafilised, geoloogilised, batümeetrilised jt kaardid olid salastatud. Samuti olid salajased nn strateegiliste maavarade, sealhulgas ka vee tarbimise ja põhjaveevaru andmed ning hulk muud teavet, mida geoloogiliste uurimuste juures käsitletakse. Seetõttu oli hüdrogeoloogilisi uurimusi raske publitseerida, sest just nende tuumaks olid sageli salajased materjalid, mida ei tohtinud avalikkuse jaoks määratud trükistes avaldada.

Teadustöök vajalikku välismaist kirjandust, eriti uusimat perioodikat, oli väga tülikas hankida. Selle kasin ja juhuslik valik oli koondatud peamiselt üksikutesse Moskva ja Leningradi keskraamatukogudesse, mis olid raskesti kasutatavad väljaspool neid linnu resideeruva uurijaskonna jaoks. Internetiühendus puudus. Erakorrespondents välismaiste uurijatega oli kuni 1953. aastani ja hiljemgi veel poliitiliselt taunitav. Välismaistele uurimustele

võis kirjutamata seaduste järgi viidata vaid väga piiratud ulatuses, sest kõigiti tuli rõhutada vene ja eriti nõukogude teaduse prioriteeti ja juhtivat osa maailmas.

Kõik need asjaolud takistasid Nõukogude Liidus hüdrogeoloogilise meetoodika täiustamist ja seda eriti infotöötlaste tehnoloogia ja hüdrogeoloogilise mudeldamise alal. Siiski, jäädava väärtuse on senini säilitanud uurimistega kogutud faktilise andmestiku korrektselt dokumenteeritud osa.

Mitmesugustes asutustes nõukogude perioodil tehtud ja Eesti hüdrogeoloogiat käsitlevate tööde tulemused vormistati reeglina mõne masinakirja-eksemplarina paljundatud aruannetena. Neid säilitatakse praegu Eesti Rahvusrhiivis ja ka teistes asutustes, mille eelkäijad omal ajal tegelesid põhjaveega. Enamik aruannetest on käesoleval ajal digiteeritud ning kättesaadavad veebiportaalist *Eesti Geoloogifond*. Kõigi hüdrogeoloogia-alase väärtteabe allikateks olevate aruannete bibliokirjed on esitatud käesolevas ülevaates.

## Tartu Riiklik Ülikool

Tartu Riiklikus Ülikoolis (TRÜ) algas üldgeoloogide ettevalmistus Nõukogude Liidus kehtiva õppekava alusel 1945. a. Samal ajal tegelesid põhjavee deskriptiivse uurimisega varem kogutud materjalide najal professorid K. Orviku ja A. Luha. Neist esimene koostas veevarustuse vajadusi silmas pidava ülevaate Tartu linna hüdrogeoloogilistest tingimustest, iseloomustades kihtide veeandvust kaevude deebititega (Orviku 1946). Eesti põhjaveeolusid tervikuna käsitles A. Luha (1946). Ta eristas viis nn põhjaveekorda (põhjavesi pinnakattes, Devoni- ja paealal, graptoliit-argilliidi ning Lontova kihistu savide vahel ja viimaste all lamavates liivakivides) koos alajaotustega ning esitas andmeid nende vee kvaliteedi ja kaevude tootlikkuse kohta.

## ENSV TA Geoloogia Instituut

Eesti NSV Teaduste Akadeemia koosseisus asutati 1947. a Geoloogia Instituut (TAGI), mille üheks töösuunaks sai Eesti põhjavee kasutamise ja kaitse probleemide süstemaatiline teaduslik uurimine ja vastavate kõrge kvalifikatsiooniga eriteadlaste kasvatamine.

TAGIs hakkas hüdrogeoloogiliste uurimistega tegelema Leningradi Mäeinstituudi haridusega A. Verte. Struktuurigeoloogiliste kaalutluste alusel käsitles ta Eesti maismaad Balti arteesiabasseini (BAB) juurde kuuluva teist järku arteesiabasseinina (joon. 2), milles esinevad kaks põhjaveekorda (Q+Pz ja PR+AR). Ülemine põhjaveekord jaotub kihtide valdava litoloogilise iseloomu järgi omakorda viieks põhjaveekompleksiks (autori sõnastus). Tuginedes enamasti tarbepuurkaevude proovipumpamiste ja puurimisel fikseeritud veetaseme andmetele, eristas A. Verte oma kandidaadi- ja doktoridissertatsioonis (Verte 1953, 1965a) ning teistes uurimustes (Verte 1965b, 1965c) veekomplekside alamüksustena täiendavalt 14 veehorisonti ja viimastes omakorda kokku 20 allhorisonti. Ta näitas, et Eesti põhjavees esinevad keemilise koostise poolest erinevad tsoonid ja analüüsis nende ruumilist paiknemist ning kujunemise faktoreid. A. Verte organiseeris esimese üle-eestilise põhjavee režiimi vaatlusvõrgu, mis toimis vahemikus 1948–1955 ja hõlmas kõiki peamisi tema poolt eristatud hüdrogeoloogilise stratigraafia üksusi (Verte 1956).

TAGIs 1958. a loodud hüdrogeoloogia sektorisse asusid tööle üksteise järel V. Karise, E. Johannes, L. Vallner, A. Pill, P. Jõgar ja H. Kink, kes olid eelnevalt lõpetanud TRÜ geoloogidena (E. Johannes – keemikuna). Kõik nad omandasid hiljem teaduskraadi valitud erialal.

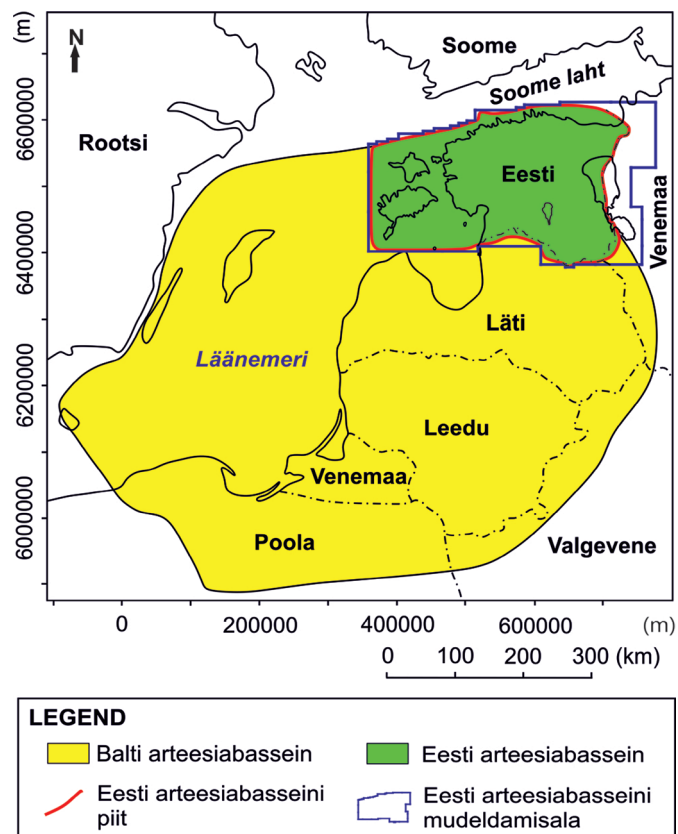
V. Karise uuris peamiselt põhjavee keemilise koostise ja kvaliteedi kujunemist. Ta selgitas, et Lõuna-Eesti liivakates setetes esineva vee mineraalsus on looduslikes oludes harilikult 0,1–0,2 g/L ja kruusades ning moreenis 0,2–0,35 g/L. Neid piirväärtusi ületavad



mineraalsused osutavad põhjavee reostumisele (Karise 1969). Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> ja SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ionide sisaldus pinnakatte reostumata vees pärineb valdavalt sademetest. Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ja HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ioonid tekivad pinnakatte vette setendites sisalduvate karbonaatsete ühendite leostumisel. Reostumata pinnasevee NO<sub>3</sub><sup>-</sup> sisaldus on enamasti 5–6 mg/L, kuid turbalademetes ja sügavamates kihtides, kus valitsevad hapnikku redutseerivad tingimused, vaid 1–3 mg/L või isegi vähem (Perens jt 1997).

E. Johannes analüüsis põhjavee reostumisel esinevaid keemilisi protsesse. Ta käsitles süvendatult mitmesuguseid redokstingimusi, mis määravad loomakasvatusega tekitatud reoainete migratsiooni- ja kontsentreerumisvõime ning vastavate geokeemiliste barjääride iseloomu erinevates hüdrogeoloogilistes tingimustes (Johannes jt 1980).

L. Vallner pühendus geofiltratsiooni kvantitatiivselt iseloomustavate arvutuskeemide täiustamisele. Matemaatilise füüsika meetodeid kasutades tuletas ta valemid ühemõtmelise mittestatsionaarse põhjaveevoolu hulga arutamiseks mis tahes rajatingimuste puhuks (Vallner 1968). Nende valemite najal sai luua uudse meetodika põhjavee looduslike ressurside senisest täpsemaks määramiseks reaalses jõe basseinides (Vallner 1969, 1973). Meetodika rakendamiseks vajalike lähteparameetrite saamiseks organiseeris L. Vallner kõigi Eesti jõgede äravoolu episoodilise mõõtmise enam kui 1000 lävendis aastate 1963–1970 madalveeperioodidel ja põhjavee loodusliku piesomeetrilise režiimi statistilise analüüsi, mis tugines 164 punktis tehtud vaatlustele. Nende tööde alusel koostati detailsed jõgede keskmise 30-päevase miinimumaravoolu kartogrammid mõõtkavas 1:200000 (Vallner ja Metslang 1970). Säärastele kaartidele kanti ka praktiliselt kõik hüdrogeoloogiliste uurimiste jaoks olulised allikad, mis klassifitseeriti hüdraulikaliste kriteeriumide järgi. Kõik see andis võimaluse Eesti põhjavee looduslike ressurside, netoinfiltratsiooni, jõgede põhjaveest toitumise ja teiste geofiltratsiooni parameetrite summaarsete ning territoriaalselt diferentseeritud väärtuste arutamiseks (Vallner 1975). Järgnevalt defineeris L. Vallner Eesti arteesiabasseini (EAB) piirkonnana (joon. 2), mille moodustavad Eesti maismaal ja seda ümbritseval šelfialal levivad kivimikihid ning kus liigub maismaal kujunenud või täienenud põhjaveevool (Vallner 1980). Geohüdrodünaamika



**Joonis 2.** Balti ja Eesti arteesiabassein (Vallner jt 2020; Vallner ja Porman 2016).



kriteeriumidele tuginedes liigestas ta EAB 59 veebilansi üksuseks ja konstrueeris vasta-va EAB regionaalse analoogumodeli. Selle alusel arvutas ta iga bilansiüksuse jaoks 1977. a seisuga sissevoolu ja väljavoolu komponendid. Sissevoolus eristati infiltratsioon, sissevool ülalt, külgedelt, alt ja pinnaveekogudest. Väljavoolus eristati vahetu põhjaveevool jõevõrku, vool üles, külgedele, alla ja allikatest ning väljapumpamine. Kokku määrati sel kombel 708 elementaarset sisse- ja väljavoolukomponenti. L. Vallner seostas 1964. a esimesena Tallinnas registreeritud maapinna ebaühtlase vajumise põhjavee intensiivse väljapumpamisega Kambriumi-Vendi kihtidest ja esitas hiljem selle protsessi kvantitatiivse mudeli (Arbeiter jt 1982).

A. Pill käsitles põhjavee horisontaalse ja vertikaalse hüdrokeemilise tsonaalsuse kujunemist mere mõjul Lääne-Eesti madalikul ning saartel, seostades soolaka pinnasevee leviku iseärasused geofiltratsiooni faktoritega (Pill 1974).

P. Jõgar esitas põhjaveekihtkonna stratifitseerimise uue kvantitatiivse meetodi, mis tugines kihtide puuraukude kaupa määratud veejuhtivuse, põhjavee rõhu ja keemilise koostise andmete spetsiifilisele statistilisele töötlemisele (Jõgar 1974, 1984). See võimaldas 1200 tarbekaevu ja uurimispuuraugu andmete alusel eristada Põhja-Eesti Siluri ja Ordoviitsiumi kihtides viis veekihti (autori sõnastus) ning seitse veepidet ja arvutada nende täpsustatud filtratsioonimoodulid nii lateraal- kui ka vertikaalsuunas (Jõgar 1977).

H. Kink tegeles madalsoode ja teiste liigniiskete alade kuivendamise probleemidega, kusjuures ta eristas hüdrogeoloogiliste tingimuste järgi 14 melioreeritavate alade tüüpi ning uuris kuivendamise mõju põhjavee ressurssidele ja kvaliteedile (Kink 1970, 1980). Ta töötas välja põllumajanduspiirkondade veekaitsekskeemide koostamise meetodika ja hindas nende alade põhjavee seisundit (Kink 1987). Hiljem keskendus ta veekeskonna kaitsealade kirjeldamisele (Kink 2004, 2006; Kink jt 1990).

Ü. Heinsalu uuris eeskätt karsti osa pinnavormide kujunemisel, kuid ka selle mõju põhjavee toitumisele. Ta korrastas ja täiendas allikate andmestikku ning tegi keskkonnakaitse parandamise ettepanekuid (Heinsalu, Ü. 1977a, 1977b, 1978, 1993; Heinsalu, Ü. ja Kuptsov 1981).

J.-M. Punningu initsiatiivil asutati 1974. a TAGIs isotoopuuringuid arendav töörühm. mil-lest hiljem kujunes isotoopgeoloogia labor. Selles tuvastati, et Eesti tänapäevaste sade-  
mete pikaajalised kuude keskmised  $\delta^{18}\text{O}$  väärtused jäävad vahemikku  $-10\%$  kuni  $-12\%$  ja pikaajalised kuude keskmised  $\delta^2\text{H}$  väärtused vahemikku  $-78\%$  kuni  $-91\%$  (Punning jt 1987). Isotoopanalüüside seadmestiku ja meetodika täiustamises osales R. Vaikmäe, kes oli 1969. a lõpetanud Tallinna Polütehnilise Instituudi tööstuselektronika erialal. Edukas osalemine Rahvusvahelise Aatomienergia Agentuuri korraldatud isotoophüdroloogia labo-rite interkalibreerimise programmides kinnitas TAGI labori usaldusväärsust ning lõi aluse rahvusvaheliseks koostööks.

R. Vaikmäe kaitses 1981. a dissertatsiooni, mis käsitles jääpuursüdamikes sisalduvate hapniku isotoopide kasutatavust Euroopa ja Aasia arktilise ala paleokliimaatilisteks uuringuteks (Vaikmäe 1990). Kuni 1991. aastani keskendus ta peamiselt Maa põhjapoolkera ja Antarktika glatsioloogia ning paleoklimatoloogia küsimustele tõestades, et Kambriumi-Vendi veeladestu vesi BABi põhjaosas on liustikulise päritoluga (Gordiyenko jt 1981; Jouzel jt 1995).

Möödunud sajandi kaheksakümnendatel aastatel kavandasid Moskva keskasutused suurkaevanduste rajamist Pandivere kõrgustiku idaosas leviva fosforiidi tootmiseks. Kuna fosforiidi peal lasub seal põlevkivikiht, siis loeti majanduslikult arukaks, et enne fosforiidi kaevandamist või koos sellega väljatakse ka põlevkivi. Kõige otstarbekamaks peeti ava-kaevandamist ligikaudu 100 meetri sügavuste karjääridega, mille kuivendamiseks tulnuks samavõrra madaldada põhjavee taset.

Säärase projekti realiseerimine võinuks tõsiselt kahjustada eestlaste rahvuslikke huve. Veekeskkonna seisund oleks oluliselt halvenenud peaaegu veerandil Eesti pindalast ja väetisetööstuse arendamisega kaasnev mitte-eestlaste immigratsioon ohtlikult suurenenud. Ähvardavaid keskkonnakahjusid hinnati objektiivselt hüdrogeoloogia meetoditega TAGIs (Vallner 1996a; Vallner jt 1987). Nende uurimuste tulemusi kasutasid rahvuslikult meelestatud keskkonnakaitsjad kavandatud kaevandamist vastustavate väidete argumenteerimiseks. Nõukogude Liidu eksisteerimisajal jäid Kirde-Eestisse planeeritud fosforiidi suurkaevandamisega seotud praktilised tööd alustamata.

## Eesti NSV Geoloogiavalitsus

Aastatel 1944–1946 alustas Leningradis asunud Loode Geoloogiavalitsus Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambriumi-Vendi põhjaveekompleksi režiimi vaatlusi kogu Põhja-Eestis ning Siluri-Ordoviitsiumi kompleksi vaatlusi põlevkivikaevanduste piirkonnas, kus tehti ka mitmeid kaevanduste kuivendamise seotud hüdrogeoloogilisi rakendusuuringuid. Aja jooksul mitmeti ümber korraldatud vaatlused kestsid kuni 1957. aastani.

1957. a asutati Eesti NSV Ministrite Nõukogu juurde praktiliselt venekeelne ja suuresti venemeelne Geoloogia ja Maapõuevarade Kaitse Valitsus (GV), mille tööde üldsuuna ja meetodika määras tegelikult Nõukogude Liidu geoloogiaministeerium koos oma teadusinstituutidega. GV juurde moodustati Eesti Geoloogiafond (EGF), kuhu kohustuslikult tuli saata kõikide ENSVd käsitlevate geoloogiliste uuringuaruannete ärakirjad ja rajatud puurkaevude dokumentatsioon. EGF-i säilikud olid kohapeal kasutatavad kõigi riiklike ametkondade esindajatele.

GV koosseisus loodud veerežiimi uurimise töörühma ülesandeks sai põhjavee seisundi seire, mida hakkas korraldama L. Savitski (Savitski jt 1967). Seiret tuli teha nii suhteliselt looduslikes tingimustes olevatel aladel kui ka asulate veehaarete, kaevanduste kuivendamise, melioratsiooni ja reostusallikate mõju piirkondades. GV võttis üle Loode Geoloogiavalitsuse ja TAGI vaatlusvõrgud ning lisaks nendele rajas aja jooksul palju uusi vaatluspunkte. Kõiki põhjavee vaatluskaeve oli 1991. a kokku 795 (Boldõreva jt 1992), kus enamasti iga kolme päeva järel mõõdeti põhjavee taset ja igal aastaajal määrati vee keemiline koostis. Lisaks sellele registreeriti põhjavee tarbimine ja kaevanduste ning maaparandusobjektide kuivendamisega ära juhitud veehulk. Vaatlustulemused ja nende esialgsed üldistused esitati aastaaruannetes. Iga viie või kümne aasta järel koostati koondaruanded, milles analüüsiti seireperioodi kestel ilmnenuid põhjavee rõhu ja kvaliteedi muutusi ning nende põhjuseid (Kivit jt 1987). Regionaalse seire kõrval uuriti eraldi aeratsioonivöö detailise veebilansi kujunemist Tooma soojaama, Aruvälja, Leivajõe ja Piigaste oja katseväljakutel. Sinna rajati vaatluskaevude grupid, paigaldati lüsimetreid, aurumise ja sademete mõõdikuid. Põlevkivikaevanduste piirkonnas tehtud seire alusel tuletati empiirilised kvantitatiivsed seosed kaevandustesse tungiva veehulga määramiseks sõltuvalt kaevanduste sügavusest ja nende arvutuslikust mõjuraadiusest ning meteoroloogilistest tingimustest (Savitski 1980).

Suure rakendusliku ja teadusliku tähtsusega on vahemikus 1960–1991 koostatud geoloogilised ja hüdrogeoloogilised kaardid, mis hõlmavad Eestit tervikuna või osaliselt (Vingisaar ja Kivisilla 2008). Need kaardid koos seletuskirjade ja muu lisamaterjaliga tõstsid omal ajal oluliselt Eesti hüdrogeoloogilise uurituse taset. Ühtse meetodika järgi korrektselt määratud kihipindade ja põhjavee taseme kõrgused, samuti katsepumpamise ning veeanalüüside tulemused moodustavad senini usaldusväärse lähteandmestiku veekeskkonna kaasaegsele arvutimudeldamisele.

Nõukogude Liidu geoloogiaministeeriumi juhendite järgi sooritati vahemikus 1958–1976 kogu Eesti kompleksne geoloogiline ja hüdrogeoloogiline kaardistamine mõõtkavas

1:200000 (Vingisaar ja Kukk 2007). Kirjandusandmete najal koostati Eesti hüdroteoloogilised kaardid mõõtkavas 1:2 500 000 ja 1:1 500 000 (Tšeban 1962a, 1962b) ning mõõtkavas 1:500 000 (Tšeban jt 1965).

Alates 1962. a hakkas GV plaanipäraselt läbi viima Eesti kompleksset geoloogilist ja hüdroteoloogilist kaardistamist mõõtkavas 1:50 000, millega taheti senisest täpsemalt uurida linnade ja asulate põhjaveearustuse allikaid ning lahendada maaparanduse ning põlevkivikaevandamise probleeme. Kuni 1991. aastani koostati Tallinna, Tartu, Viljandi, Kurssaare, Jõgeva ja Türi piirkonna ning Pandivere kõrgustiku kaardilehed. Seejuures hinnati esmakordselt aluspõhja karbonaatkivimites esinevate litoloogiliste erimite veeandvust puuraugusisese vooluhulga karotaažiga (Perens 1978).

Põhjavee heeliumisisaldust ja selle kasutamist tektooniliste rikete ja polümetalse maagistumise markerina hüdroteoloogilisel kaardistamisel uuris Vilniuse ülikooli kasvandik K. Tiba (1987).

Vahemikus 1960–1990 andsid Nõukogude Liidu valitsusasutused välja rea määrusi ja käskkirju, milles rangelt nõuti veeresursside kasutamise ning kaitse riikliku kontrolli tugevdamist ja vee reostamise vähendamist. Puurkaevude rajamine ja põhjaveehaarete töörežiim tulid kooskõlastada geoloogiaametkonnaga, keelati reovee juhtimine pinnaveekogudesse ning maapõue, üldkasutatavate kaevude sanitaarseisund pidi vastama kehtestatud normidele. Sääraste reeglite täitmiseks vajalike lähteandmete saamiseks rajas GV hulga täiendavaid vaatlusväljakuid otse reostuskollete juurde. Korraldati kõigi puurkaevude inventeerimine. Kaevud kanti topograafilisele kaardile, määrati nende suudme absoluutkõrgus, mõõdeti veetaset, hinnati tootlikkust, sanitaarset seisundit ning kaitstust reostuse eest. Tehti hulk veeproovide keemilisi ja bakterioloogilisi analüüse. Koostati Eesti põhjavee kaitstuse kaart mõõtkavas 1:200 000 (Savitskaja jt 1982). GV esitas oma uurimistulemustega motiveeritud ettekirjutused riigiasutustele vee reostamise lõpetamiseks konkreetsetel objektidel.

Kogutud andmestiku alusel hakati alates 1979. aastast pidama jooksvalt täiendavat riiklikku põhjavee katastrit, mille varaseimad kanded pärinesid 1945. aastast. Katastri peamise osa moodustasid puuraukude ja -kaevude arvestuskaardid. Viimased tuginesid kaevumeistrite poolt koostatud puurkaevude passidele, kus olid andmed kaevu asukoha, rajamisaja, läbindatud kihtide, iseloomulike veetasemete, proovipumpamiste, vee kvaliteedi jms kohta. Kahjuks jätab selle andmestiku usaldusväärsus sageli soovida, sest kaevude rootorpuurimise puhul polnud võimalik kihtide lasumisügavust ja litoloogilist koostist küllalt täpselt määrata ja proovipumpamistel ei isoleeritud erinevaid vettandvaid kihte üksteisest piisaval määral.

Vaatamata administratiivsetele meetmetele halvenes põhjavee seisund ENSVs pidevalt. Veekaitse ettekirjutusi täideti pahatihti vaid osaliselt või ignoreeriti hoopiski. Nõukogude korruga juurdunud lohakust ja nigelat tehnoloogiat ei suudetud ega tahetud vajalikul määral muuta. Seda olukorda väljendas ilmekalt puurkaevude inventeerimine: 70% nendest polnud nõutavas sanitaarseisundis ja 40% andis reostumistunnustega vett (Savitskaja jt 1982). Ohtlikeks reostusallikateks olid kujunenud suured looma-, sea- ja linnukasvatuse ettevõtted, kus sõnnikuläga neutraliseerimine polnud nõuetekohane. Pidevalt laienes kunstväetiste liigkasutamisega tekitatud põhjavee nitraadireostus ( $\text{NO}_3^-$  ioonid) põllunduspiirkondades. Tööstuskompleksid, kütusehoidlad, katlamajad ja militaarobjektid reostasid vett naftasaadustega, mis tungisid pinnasesse lekkivatest torustikest. Kirde-Eestis levis põlevkivi kaevandamisest ja töötlemisest johtuv põhjavee sulfaadi-, fenooli- ja õlireostus (Vallner 1994; Vallner ja Sepp 1993).

GV oluline töösuund oli põhjavee tarbevaru määramine linnade, asulate ja suurettevõ-

tete jaoks. Tarbevaru all mõisteti rahuldava kvaliteediga põhjavee hulka, mida oli võimalik välja pumbata käsitletavale alale rajatud ja rajatavatest suurkaevudest harilikult 30 aastase arvestusperioodi kestel. Pärast uuringuaruannete läbivaatamist ja aktsepteerimist Nõukogude Liidu põhjaveevarude komisjonis loeti ettepanud tarbevaru kinnitatuks ning see tuli kohustuslikult arvesse võtta veevarustuse korraldamisel.

Tarbevaru määrati senikogutud hüdrogeoloogilise andmestiku, sh põhjavee režiimivaatluste alusel. Tähtsamate objektide puhul ja keeruliste situatsioonide lahendamiseks rajati ka uuringupuurauke ning tehti nendest pikaajalisi katsepumpamisi. Väljapumbatava veehulga ja sellega kaasneva põhjavee rõhu alanemise prognoosimiseks kasutati suhteliselt primitiivseid ühemõõtmelisi telgsümmeetrilisi arvutuskeeme, mis liigselt lihtsustatud rajatingimuste tõttu polnud sageli küllalt täpsed. Tarbevaru määranguid korrigeeriti varasemate režiimivaatluste järgi.

Vahemikus 1960–1983 määrati Tallinna, Tartu, Pärnu, Kohtla-Järve ja paljude teiste linnade ning asulate põhjavee tarbevaru. Seejuures esines ka rida vääratusi, millele ei pööratud tookord valitseva ühiskondliku mentaliteedi tõttu küllaldast tähelepanu. Näiteks Kohtla-Järve varustamiseks kavandatud Vasavere põhjaveehaarde tarbevaruks kinnitati 25 000 m<sup>3</sup>/öp, ent säärase väljapumpamise juures oleks pinnasevee tase alanenud kuni 17 m võrra ja veehaarde lähikonnas asunud Kurtna järved kuivanud (Gontar' 1965).

Nõukogude Liidu geoloogiaministeeriumi Hüdro- ja Insenerigeoloogia Teadusliku Uurimise Instituut VSEGINGEO üllitas 1966. a Eesti hüdrogeoloogia ulatusliku monograafilise tervikkäsitluse (Arhangelski 1966a), mis moodustas ühe kõite kavandatud 45-kõitelisest ülevaateosest „*NSVL hüdrogeoloogia*“. Raamatu käsikiri koostati peamiselt GV jõududega, kusjuures põhiautoriks oli Moskva Geoloogiliste Uuringute Instituudi lõpetanud E. Tšeban. Töö aluseks võeti seniteostatud hüdrogeoloogiliste kaardistamiste ja põhjavee tarbevaru määrangute materjalid ning samuti tarbekaevude andmestik.

Põhjaveekihtkond stratifitseeriti VSEGINGEO meetodika järgi, kusjuures liigestuse suurüksused ühtisid mahu poolest kuni veekompleksideni A. Verte jaotusega (Verte 1965a, 1965b, 1965c). Seevastu nendest peenemate liigestusüksustena eraldati vaid pärnu, kambriumi-ordoviitsiumi, lomonosovi ja gdovi veehorisont (omaaegses kirjaviisis). Rohkem veehorisonte ei eristatud selleks vajaliku tõestusmaterjali väidetava puudumise tõttu. Põhjalikult käsitleti kõikide stratifitseerimisüksuste lasumistingimusi, litoloogiat, vee omadusi ja keemilist koostist, esitati andmed kaevude deebiti, erideebiti ning kihtide filtratsioonikoefitsiendi kohta. Iseloomustati põhjavee looduslikke ressursse, mis olid varem hinnatud Leningradi Hüdroloogiainstituudi poolt jõeäravoolu hüdrograafide nn geneetilise liigestamisega (Zektser 1964) ja ka mineraalvee ning ravimuda varusid. Analüüsiti põhjavee kujunemise, kaitse ja kaevanduste ning kõlvikute kuivendamise probleeme. Raamatu juurde kuulus salastatud lisatrükisena linnade jaoks määratud põhjavee tarbevaru andmestik, mida Nõukogude Liidus ei tohtinud avalikustada (Arhangelski 1966b).

Publitseeritud monograafia tervikuna oli omas ajas informatiivne ja andis süstemaatilise ning laiahaardelise koondülevaate Eesti hüdrogeoloogiast. Siiski tuleb märkida, et teemade käsituslaad oli valdavalt deskriptiivne. Andmetöötluse kõrgeimaks tasemeks jäi aritmeetilise keskmise arvutamine ja filtratsioonikiirused määrati Darcy ühemõõtmelise valemiga.

E. Tšeban kaitses ka Eesti regionaalse hüdrogeoloogia alase kandidaadidissertatsiooni (Tšeban 1969), mille seisukohad hüdrogeoloogilise stratigraafia ja põhjavee kujunemise kohta olid praktiliselt samasugused nagu ülalmainitud monograafias (Arhangelski 1966a). VSEGINGEO meetodika alusel arvutas E. Tšeban veekomplekside jaoks diferentseeritult veemajanduslike rajoonide kaupa põhjavee nn ekspluatatsioonilised ressursid eeldusel, et

väljapumpamisest tingitud põhjavee taseme alanemine võib ulatuda kuni 100 m sügavuse- ni maapinnast 50-aastase arvestusperioodi kestel. Tuginedes oma kalkulatsioonidele, tegi ta konkreetseid ettepanekud täiendavate põhjaveehaarete rajamiseks väljaspoole asulaid, soovitades sealt vett torustiku kaudu tarbijateni pumbata.

1975. a ilmus E. Tšebani aimeraamat „*ENSV põhjavesi ja selle kasutamine*“ (Tšeban 1975). Selles selgitatakse üldarusaadavalt hüdrogeoloogia põhimõisteid ja antakse ülevaa- de Eesti põhjaveearustuse tingimustest.

GV alustas mineraalvee otsingutöid Eestis 1959. a (Vingisaar 1968). Selleks rajati hulk sügavaid puurauke, mis sageli avasid ka aluskorra. Mitmesuguste omadustega mineraal- vett leiti Ruhnus, Kuressaares, Pärnus, Häädemeestel, Iklas, Värskas, Pärಿಸpeal ja Pudi- soo ning Hirvli ümbruses. Mineraalvee otsinguga tegelesid enamasti V. Tassa ja P. Vingisaar (Vingisaar ja Kivisilla 2008).

## Uurimised taasiseseisvunud Eestis

### Tartu Ülikool

Taaskehtestatud Eesti Vabariigis jätkus laia profiiliga geoloogide ettevalmistus Tartu Üli- koolis (TÜ), kuid seejuures arendati ka hüdrogeoloogia-alaseid teaduslikke uurimisi.

TÜ geoloogiaosakonna õppejõuna töötanud R. Mokrik publitseeris monograafia BABi ja sh EAB Vendi ning Kambriumi kihtide paleohüdrogeoloogiast (Mokrik 1997). Hiljem avaldas ta samateemalise ülevaate BABi kõikide kihtide kohta (Mokrik 2003).

TÜ 1993. a geoloogi kvalifikatsiooniga lõpetanud A. Jõelet uuris temperatuuri jaotu- mist ja soojusvoo tihedust ning neid kujundavaid faktoreid Eesti ja Soome aluspõhja ning aluskorra kihtides. Ta määras kristalsete ja settekivimite termilisi parameetreid ning tões- tas kahemõõtmelise geotermilise mudeldamisega, et maapinna soojusvoo tihedus oleneb peamiselt maakoore kivimite soojusjuhtivusest, kusjuures geofiltratsioon mõjutab ainult vähesel määral maasisese soojusvälja kujunemist (Jõelet 1998). Hiljem osales A. Jõelet kaasautorina BABi Kambriumi-Vendi kihtide vee hüdrokeemilise evolutsiooni uurimises (Raidla jt 2009) ja Estonia põlevkivikaevanduse kuivendamise ökoloogilise mõju hindami- sel (Marandi jt 2013a).

Kaasprofessor E. Karro kaitses doktoritöö Soome põhjavee keemilise koostise kohta küll Helsingi Ülikooli juures (Karro 1999), kuid hiljem on tegelenud enamasti Eesti hüdroge- okeemia probleemidega. Ta käsitles Kambriumi-Vendi veekompleksis sisalduvate kahjulike ainete esinemise ja levikuga seotud küsimusi (Karro ja Marandi 2003), sama kompleksi vee sooldumist Tallinnas (Karro jt 2004), tegi ülevaate Siluri-Ordoviitsiumi ja Kambriumi-Vendi veekompleksi geokeemilise uurimise tulemustest (Karro jt 2009) ning iseloomustas fluori-, boori-, baariumi ja rauasisaldust ning nende geoloogilisi allikaid Eesti põhjavees (Karro jt 2006, 2020; Karro ja Rosentau 2005; Karro ja Uppin 2013; Mokrik jt 2009; Uppin ja Karro 2012). Koostöös TÜ meditsiinivaldkonna teadlastega hindas E. Karro fluoririkka põhjavee tarbimisega seotud terviseriske (Indermitte jt 2009, 2014). E. Karro ja A. Marandi osalesid Euroopa Liidu (EL) projektis *BRIDGE*, mille käigus töötati välja ühtne meetodika põhjavees esinevate saasteainete sisalduse läviväärtuste kehtestamiseks ning nad rakendasid seda Kambriumi-Vendi põhjaveekogumi iseloomustamisel (Marandi ja Karro 2008).

A. Marandi töötas välja ja esitas oma dissertatsioonis uue meetodika Kambriumi-Vendi veekompleksi keskkonnastandardite arvutamiseks põhjavee loodusliku keemilise koostise, elektrijuhtivuse, baariumi ja isotoopide  $^{18}\text{O}$  ning  $^3\text{H}$  sisalduse alusel (Marandi 2007, Marandi

jt 2004). Sama teematikat arendas ta süvendatult ka edaspidi (Marandi ja Karro 2008, Marandi jt 2012) ja osales Euroopa põhjavee keemilise koostise tüpiseerimisprojekti (Wendland jt 2008). Koos L. Vallneriga lõi ta Tallinna Kopli poolsaare põhjavee kolmemõõtmelise mittestatsionaarse transpordimudeli. Viimane näitas, et seal ilmnunud Kambriumi-Vendi kihtide vee sooldumist põhjustab liiga suur väljapumpamine, mis on esile kutsunud soolaka vee ülestõmbe aluskorrast (Marandi ja Vallner 2010). Ta koostas nomogrammi põhjavee keemilise koostise määramiseks vee mõõdetud elektrijuhtivuse ja Cl<sup>-</sup> või HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-iooni sisalduse alusel, mis tugineb Eesti põhjavee 3555 keemilise koostise analüüsi ja 320 vastava elektrijuhtivuse korrelatsiooniseostele (Marandi jt 2013b).

A. Marandi juhendamisel loodi kasutajaliidese *Visual MODFLOW* abil 11-kihiline statsionaarne põhjavee voolumudel Kirde-Eestis paikneva Estonia põlevkivikaevanduse kuivendamise mõju uurimiseks piirkonnas, mille pindala on 430 km<sup>2</sup> (Marandi jt 2013a). Mudeldamisega tõestati, et kaevandamise jätkumisel ja eriti kaevandamispiirkonna nihkumisel edela suunas kuni selle lubatud piirini, kahjustub pöördumatult Natura 2000 kaitsealade võrgustikku kuuluva Selisoo ning Ratva soo veerežiim. A. Marandi analüüsis ka Natura kaitsealade läheduses asuvate kaevanduste negatiivse keskkonnamõju hindamise juriidilisi aspekte (Marandi jt 2014).

Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise mõju veekeskkonnale käsitleb Keskkonnainvesteeringute keskuse tellitud TÜ kompleksuurimus (Puura, V. jt 2018). Selle käigus konstrueeris M. Polikarpus (2018) kolmemõõtmelise mittestatsionaarse voolumudeli, mis hõlmab kogu põhjaveekihtkonna Raasikust ida poole jääval ja lõunas Võhmani ulatuval Eesti alal ning ka piiriäärses Venemaa osas. Mudeli tarkvaraks on vabavaralise kasutajaliidese *ModelMuse* ohjatatud *MODFLOW*-süsteem (Winston 2009). Ristkülikulises uurimispiirkonnas mõõtmetega 120 km × 160 km eristatakse kõik olulised vettandvad kihid ja veepidemed 20 mudelikihina. Imaginaarse arvutusvõre samm horisontaalsuunas on 200 m. Mudelisse on arvutuste lähteandmetena sisestatud Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambriumi-Vendi veekompleksi avavate tarbekaevude aastakeskmised veevõttud ajavahemikust 1954–2016.

Kirjeldatud mudeliga hindasid A. Jõelett ja M. Polikarpus (2018) Toolse, Pajusti ja Põlula piirkonda virtuaalselt paigutatud fosforiidi- ning lisaku lähedale kavandatud põlevkivikaevanduse kuivendamise mõju veekeskkonnale. Tuvastati, et fosforiidikaevanduste kuivendamiseks tuleks nendest igaühel välja pumbata 10 000–20 000 m<sup>3</sup> vett ööpäevas 30-aastase tööperioodi kestel. Kaeveõhne lae täieliku varistamise korral võib kaevandusse tungiva vee hulk kahekordistuda. Väljapumpamine tekitab fosforiidikaevanduste ümber nendest kuni 50 km kaugusele ulatuvaid põhjavee rõhu depressioone. Seetõttu võivad kaevanduste mõjualal madalad kaevud paiguti kuivada ja väheneb põhjavee potentsiaalne tarbevaru.

Sama töö raamides uurisid A. Marandi, E. Puura ja E. Karro aluspõhjakiivimites sisalduva püriidi oksüdeerumist, mis paratamatult kaasneb kaevandamisega ja kutsub esile põhjavee reostumise sulfaatidega (Puura, V. jt 2018). Nad analüüsisid ja hindasid sulfaadireostuse leevendamise võimalusi kaevanduste tagasitäitmisega, kusjuures pidasid sobivaks täitematerjaliks põlevkivituha ja aheraine baasil loodud betoonsegu või ka ainuüksi aherainet. Geokeemilise mudeldamisega näidati, et põlevkivituhas moodustunud aluselise vee ja põhjavee segunemisel ei toimu lihtsalt lahjenemine, vaid põhjavees sisalduv vesinikkarbonaation puhverdab edukalt leeliselist vett koos kaltsiumkarbonaadi väljasetmisega.

M. Uppin kaitses TÜ juures doktoriväitekirja, mis käsitles fluoriidide ja boori hüdrokeemiat ja geoloogilisi allikaid Siluri-Ordoviitsiumi veekompleksis (Uppin 2013). Ta leidis, et need elemendid leostuvad põhjavette peamiselt savikatest karbonaatsetest kivimitest – merglitest ja domeriitidest, sh ka savika vulkaanilise tuha (nn K-bentoniidi) kihtidest.

## Tallinna Tehnikaülikool

Pärast Eesti taasiseseisvumist 1991. a tekkisid TAGIs rahastamisraskused. Nende leevendamiseks koondati pool töötajatest ja TAGI juhtkonna otsusega suleti 1993. a seni põhjavee teaduslike probleemide uurimise keskuseks olnud hüdrogeoloogia laboratoorium. Reorganiseeritud TAGI ühines 1997. a Tallinna Tehnikaülikooliga (TTÜ), kuid viimase allasutuseks säilitas oma nime – Geoloogia instituut (GI). Samal aastal publitseeris GI ülevaatliku monograafia Eesti geoloogiast ja maavaradest, milles oli ka regionaalset hüdrogeoloogiat kokkuvõtlikult käsitlev peatükk (Perens jt 1997).

Professor R. Vaikmäe juhtimisel töötas GI isotoop-paleoklimatoloogia osakond, millest hiljem moodustati isotoop-hüdroloogia töörühm. Selle uurimisüksuse töödega tõestati, et BABs esineb kaasajal kolm erineva geneetilise päritoluga peamist põhjaveetüüpi. Nendeks on: 1) tänapäeval ja jäävaheaegadel sademetest moodustunud vesi ( $\delta^{18}\text{O}$ :  $-11\%$  kuni  $-12\%$ ); 2) Pleistotseenis BABi ala katnud mandriliustike sulavesi ( $\delta^{18}\text{O}$ :  $-18\%$  kuni  $-23\%$ , vanus vähemalt 10 000 aastat) ja 3) ülisoolane süngeneetiline reliktivesi ( $\delta^{18}\text{O} \geq -4,5\%$ , vanus suurem kui 1,3 miljonit aastat). BABi geoloogilise arenguloo kestel segunesid nimetatud peamised põhjaveetüübid paiguti omavahel erineval määral (Gerber jt 2017; Marandi 2007; Sterckx jt 2017, 2018; Vaikmäe jt 2001a, 2001b, 2008, 2021).

Nende protsesside hüdrogeokeemilisi aspekte uuris kahemõõtmelisi segunemismudeleid ning radiosüsiniku jt isotoopmeetodeid kasutades V. Raidla, kes oli 2003. a omandanud TTÜs magistrikraadi rakendusgeoloogia õppesuunal. Oma doktoritööga tõestas ta, et EAB Kambriumi-Vendi veeladestu süsinikuringet on tugevalt mõjutanud Kambriumi ja Ediacara kihtides esinev orgaaniline materjal, mille lagunemisel vabanenud süsinik on oluliselt moonutanud näivat  $^{14}\text{C}$  vanust (Raidla 2010). Korrigeerivate arvutustega määras ta EAB Kambriumi-Vendi kihtide vee vanuseks 12 000 kuni 25 000 radiosüsiniku aastat ja selgitas selle vee geokeemilist kujunemist ning levikut (Raidla jt 2009, 2012, 2014, 2016; Suursoo jt 2017). Ta näitas, et suur osa Kambriumi-Vendi veeladestus esinevast metaanist on sinna sisse kantud koos mandriliustikest infiltreerunud sulaveega, mis viitab bioloogiliselt aktiivsete alade mattumisele Pleistotseeni mandriliustiku alla (Raidla jt 2019c).

GI isotoop-paleoklimatoloogia osakonnas töötades sai TRÜ keemikuna lõpetanud J. Ivask doktorikraadi polaarjääs sisalduvate peamiste anioonide ja kationide ionkromatograafilise määramise meetodika täiustamise eest (Ivask 2000). Hiljem on ta oma väljapaistvaid keemia-alaseid oskusi rakendanud rea hüdrogeoloogiliste süvauurimuste kaasautorina (Pärn jt 2019; Vaikmäe jt 2020, 2021; Vallner jt 2020 jt).

TTÜ 2014. a geoloogia eriala magistrikraadiga lõpetanud J. Pärn uuris BABi põhjaosas (Eestis ja Põhja-Lätis) enne Holotseeni kujunenud põhjavee ning selles lahustunud ainekeemilist ja isotoopkoostist ( $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ ), põhjavee vanust väljendavate radioaktiivsete isotoopide aktiivsust ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) ning põhjavees lahustunud gaaside sisaldust ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , He, Ne, Ar, Kr, Xe) (Pärn jt 2016, 2018, 2019). Andmete interpreteerimiseks kasutas ta peale regressioonianalüüsi ka geokeemilise mudeldamise üldtuntud tarkvara (*GWB*, *PHREEQC*, *NETPATH*). Kirjeldatud kompleksanalüüsile tuginevas doktoritöös näitas J. Pärn (2018), et tänapäevaste väärtustega võrreldes oluliselt kergema isotoopkoostisega vesi Ordoviitsiumi-Kambriumi veeladestus on vähemalt 10 000 aastat vana.

Kogutud eksperimentaalandmed BABi põhjavee isotoopse, keemilise ja lahustunud gaaside koostise kohta on publitseeritud (Vaikmäe jt 2020) ja kättesaadavad portaalist *eMaapõu | Geoscience collections of Estonia*, lingiga <https://doi.geocollections.info>.

Töötades GI, konstrueeris L. Vallner põhjavee kolmemõõtmelise komplitseeritud mittestatsionaarse transpordimudeli, millega iseloomustati kvantitatiivselt Kohtla-Järve põ-



levkivituha ja -koksi prügilas kujunenud põhjavee fenoolireostuse kolde ruumilist arengut (Vallner jt 2015a). Mudeldamisega tõestati, et prügila kavandatud katmine savimattidega fenoolireostuse leviku tõkestamiseks on praktiliselt kasutu. Sellest hoolimata viidi keskkonnaministeeriumi tellitud ja kokku 40 miljonit eurot maksnud prügila katmisoperatsioon ikkagi läbi.

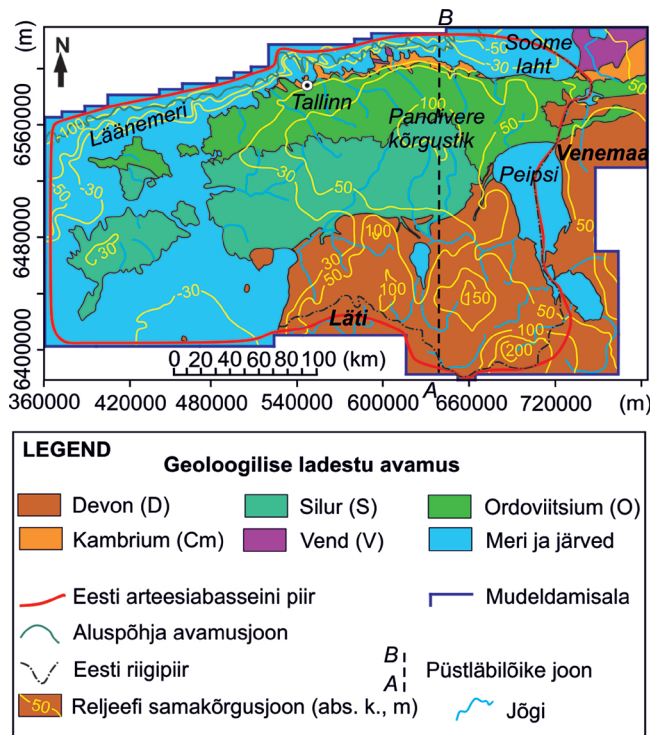
L. Vallner ja A. Porman suurendasid oluliselt varemkoostatud Eesti hüdrokeoloogilise mudeli (Vallner 2003) arvutuslikku usaldusväärsust. Nad korrigeerisid mudeli parameetreid täiendava detailse kalibreerimisega hüdrauliliste rõhkude, jõevõrgus avanevate filtratsioonivoolude hulga ja vee  $\delta^{18}\text{O}$  sisalduse järgi, mille juures saavutati vaadeldud ning mudeldatud suuruste korrelatsioonikordaja väärtuseks enam kui 0,8 (Vallner ja Porman 2016; Vallner jt 2015b). Täiustatud mudeliga saab suurima võimaliku täpsusega määrata EAB mis tahes punkti jaoks mis tahes ajamomendiks filtratsioonivoolu suuna, kiiruse ja hulga ning samuti põhjavee ingredientide vastavad migratsioonikarakteristikud (joon. 3 ja 4). Mudeliga arvutati EAB peamiste kihtide veebilansi komponendid, sh ka netoinfiltratsiooni ja veepidemete vertikaalse filtratsioonitakistuse jaotumus.

Kaasaegse seadmetikuga GI stabiilsete isotoopide laboris tegelesid veekeskkonnas sisalduva hapniku ja süsiniku isotoopkoostise määramisega T. Martma ja V. Raidla, kelle töö tulemustele rajanevad paljud ülalmainitud hüdrokeoloogilised uurimused (Koit jt 2020; Pärn jt 2016, 2018, 2019; Raidla jt 2012, 2014, 2016; Vaikmäe jt 2008, 2020, 2021 jt).

TTÜ Mäeinstituudis töötades uuris K. Erg põhjavee sulfaatide sisalduse arengut Eesti põlevkivi-allmaakaevandustes ja kaitses sellealase doktoritöö, milles sedastas, et kaevandamisel suurenes  $\text{SO}_4^{2-}$  sisaldus kaevandusvees kuni 50 korda loodusliku fooniga võrreldes (Erg 2005). Pärast kaevandamise lõpetamist ja kaeveõõnte veega täitumist suurenes sulfaatide sisaldus kaevandusvees paari aastaga väärtuseni 1500 mg/L, ent vähenes pärast seda tasemele 200 mg/L. Ta on teinud ka ettepanekuid uputatud põlevkivikaevanduste vee ärajuhtimise korraldamiseks (Erg 2007).

GI väga väärtuslik saavutus on veebiportaali *Geokirjandus*. Eesti maapõue teavikute register loomine. See koondab Eestit käsitlevate geoloogia-alaste trükiste ja uurimistöde aruannete bibliokirjeid ning pakub võimalusi päringuteks autorite ning teavikute kronoloogia järgi. Paljude allikate juurde on lisatud nende veebiaadress või DOI-link.

TTÜ GI isotoop-hüdrolögia töörühm likvideeriti projektipõhise finantseerimise lõpetamise tõttu 2021. a.



**Joonis 3.** Eesti arteesiabassein ja selle regionaalmodeli ulatus (Vallner 2003; Vallner jt 2020; Vallner ja Porman 2016).



## Tallinna Ülikool

Tallinna Ülikooli Ökoloogia keskuses uuritakse põhjaveekogumite seoseid maismaa-ökosüsteemide ja pinnaveekogudega. Vahemikus 2015–2019 kaardistati põhjaveest sõltuvaid ökosüsteeme, koostati nende kontseptuaalmudelid ja seirekavad (Terasmaa jt 2015; Vainu jt 2019). Põhja- ja pinnavee vastastikuseid seoseid seisuveekogude puhul analüüsis oma doktoritöös M. Vainu (2018). Edukalt on arendatud välitingimustes rakendatavaid eksperimentaalmeetodeid, mille abil saab kvantitatiivselt hinnata pinna- ja põhjavee vahelisi seoseid Põhja-Eesti karstialadel (Koit jt 2017, 2020). Rahvusvahelise projekti *Interreg Estonia-Latvia WaterAct* raames tegeletakse üle-eestilise kõigi loodushuviliste seas populariseeritava allikate uurimisega.

## Eesti Geoloogiakeskus

Iseseisvunud Eestis moodustati reorganiseeritud GV alusel riiklik uurimisasutus Eesti Geoloogiakeskus (EGK), mis alates 1993. a läks Keskkonnaministeeriumi haldusalasse. Seejuures pidi EGK hüdrogeoloogia osakond täitma eeskätt rakenduslikke ülesandeid. Nendeks olid põhjavee režiimi ja seisundi uurimine, töötavate põhjaveehaarete tarbevaru hindamine, veekatastri pidamine ning erikaartide (põhjavee reostatus, kaitstus jms) koostamine.

Veehaarete seiret pidid korraldama vee-ettevõtted, kaevandusveega seotud seiret – kaevandused ja karjäärid ning seiret reostusobjektidel – sellega seotud ettevõtted. Siiski korraldas EGK vahemikus 1992–2002 jätkuvalt põhjavee taseme ja kvaliteedi vaatlusi kogu Eestit hõlmavas riiklikus tugivaatlusvõrgus. Riiklik seireprogramm kehtestati 1995. a ja selle alusel vähendati vaatluspunktide arvu ligikaudu poole võrra, võrreldes 1990. aastaga. Põhjavee taset mõõdeti 2002. a 333 vaatluskaevus, kusjuures maapinnalähedaste kihtide vaatlusi tehti 3–5 korda kuus ja sügavate kihtide puhul – üks kord kuus. Põhjavee keemilise koostise muutuste jälgimiseks võeti 102 vaatluskaevust ja 12 allikast 114 veeproovi üldkeemiliseks analüüsiks ja 32 veeproovi ainult lämmastikuühendite sisalduse määramiseks (Boldõreva ja Perens 2003).

Keskkonnaministeeriumi tellimisel alustas EGK 1994. a põhjavee mikrokomponentide ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{As}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{He}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mo}^{6+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Se}^{4+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{U}^{6+}$ ), raske hapniku  $^{18}\text{O}$ , radionukliidide ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ) ja nende  $\Sigma\alpha$ - ning  $\Sigma\beta$ -aktiivsuse määramist rohkem kui sajas vaatluspunktis, mis hõlmasid kõiki peamisi veekomplekse (Savitskaja 1995; Savitskaja ja Viigand 1994; Savitskaja jt 1995, 2000 jt). Euroopa Liidu Joogiveedirektiivi 98/83/EU järgi sisaldas 62% Kambriumi-Vendi veekompleksi avavatest kaevudest Harjumaal ja Tallinnas radioloogiliselt ohtlikku vett (efektiivdoos  $> 0,1$  mSv) (Savitskaja jt 2000).

Intensiivse põllumajandusega piirkondades eristati põhja- ja pinnavee kaitseks nn nitraaditundlikud alad. Sellistele aladele kehtestati veeseaduse alusel ranged keskkonnanõuded ja seal tehakse alates 1995. aastast erinõuetele vastavat seiret.

GVs loodud põhjavee kataster asendati Alide Viigandi juhendamisel arvutiprogrammiga *Microsoft Access* käitatava puuraukude ja -kaevude andmebaasiga. Selles oli 01.12.2007 seisuga teave 18 186 olmevee- ja 1428 seirekaevu ning 2027 uuringupuuraugu kohta. Andmebaas sisaldas 42 073 vee üldkeemilise ja 6029 mikrokomponentide analüüsi ning 550 radionukliidide määrangu tulemusi (Vingisaar ja Kivisilla 2008).

Vaatlusandmetele tuginedes esitati põhjavee seisundi hinnang vahemiku 1990–2003 iga aasta kohta üheksa iseseisva trükisena ja edaspidi kokkuvõtlike aruannetena, milles detailselt kirjeldati põhjavee rõhu ja keemilise koostise muutumist vaatlusperioodi kestel korvutatuna põhjavee tarbimise, tarbevaru ning kaevanduste veeärastuse andmetega (Perens jt 2005). Sedastati, et alates 1992. a hakkas põhjavee piesomeetiline tase süstemaatiliselt

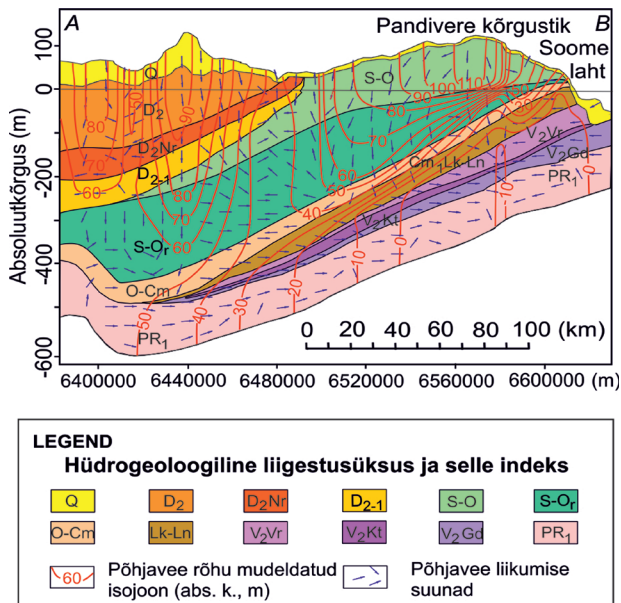
tõusma. Põhja-Eesti Kambriumi ja Vendi kihtides tõusis hüdrauline rõhk kuni paarikümne meetri võrra. See toimus põhjavee tarbimise kuni kahe- või isegi kolmekordse vähenemise tõttu, mis oli vabas Eestis rakendatud säästliku veemajanduspoliitika tulemus.

Eesti eelseisva ühinemise tõttu Euroopa Liiduga, mis toimus 2004. a, hakkas EGK juba 2000. a ümber korraldama kogu oma veekeskonda käsitlevat tegevust vastavalt oodatavatele uutele nõuetele. Nendest kõige olulisem oli 2000. a kehtestatud ELi Veepoliitika Raamdirektiiv 2000/60/EÜ (VRD), mis seadustas EL veeresursside kasutamise ja kaitse reeglistiku (VRD 2000).

VRD järgi tuleb iga liikmesriigi põhjaveekihtkonnas eristada kindlalt piiritletavad veemajandusobjektid – põhjaveekogumid. Nõutakse põhjaveekogumite keemilise (kvalitatiivse) ja koguselise (kvantitatiivse) seisundi hindamist. Põhjaveekogumi keemiline seisund loetakse heaks, kui põhjaveekogumi saasteainesisaldus jt kvaliteedikriteeriumid vastavad EL liikmesriigi normidele. Põhjaveekogum on heas koguselises seisundis siis, kui pikaajaline aasta keskmine veevõtt ei ületa olemasolevat põhjaveeresurssi ja kui tehnogeenne põhjaveevoolu suuna muutus ei halvenda põhjaveekogumi ega sellega seotud pinaveekogumi(te) keemilist ning ökoloogilist seisundit. Põhjaveekogumit tervikuna peetakse heas üldseisundis olevaks juhul, kui selle keemiline ja koguseline seisund on hea. Vastasel korral tunnistatakse põhjaveekogumi üldseisund halvaks. VRD taotleb, et EL liikmesriigid muudaksid põhjaveekogumite halva seisundi ettenähtud aja kestel heaks.

Vastavalt VRD põhimõtetele eristati ja kirjeldati Eesti alamvesikondades ning põhjaveekompleksides 30 põhjaveekogumit (Perens jt 2001b). Koostati põhjaveeseire programm, millega kavandati põhjaveekogumite seisundi hindamiseks vajalike vaatluspunktide optimaalne paiknemine ning mõõtmiste meetodika (Perens jt 2001a). Hilisema täiendava uurimisega piiritleti Eesti põhjaveekihtkonnas kokku 39 põhjaveekogumit ja esitati nende kõigi hüdrogeoloogilised kontseptuaalmudelid (Perens jt 2012). Põhjaveekogumite seisundit hinnati kohapealseid olusid arvestava täiustatud meetodika alusel (Infragate 2013).

EL veeseire poliitikat hakkas intensiivselt juurutama Keskkonnaministeeriumi allasutuseks toimiv Keskkonnaagentuur (KA). Viimase kätte läks vahemikus 1995–2018 järkjärgult kogu põhjaveeseire üldkorraldus, kusjuures EGK osaks jäi mainitud perioodi teisel poolel vaid mõnede tellitud seireülesannete täitmine. Samal kombel võttis EGKlt põhjaveekatastri pidamise üle Riiklik keskkonnaregister (KR), mis seadustati 2003. a.



**Joonis 4.** Eesti arteesiabasseini hüdrogeoloogilise stratigraafia peamised liigestusüksused ja põhjavee 1976. a rõhu mudeldatud isojooned põhjaveekihtkonna vertikaallõikel A–B. Lõike asukoht plaanis on näidatud joonisel 3 (Vallner jt 2020).

EGK jätkas pärast 1991. a mõnevõrra täiustatud metoodikat kasutades põhjavee tarbevaru uusmääramisi ja kohati ümberhindamisi. Koostati põhjavee kinnitatud tarbevarude bilanss ja määrati veevõtu jaotumus põhjaveekogumite, põhjaveekomplekside, põhjaveemaardlate, veehaarete (varu arvestuspiirkondade) ja maakondade kaupa 2010. a jaoks (Perens jt 2011). Seisuga 31.12.2010 oli riigi kinnitatud põhjaveevaru 500 731 m<sup>3</sup>/öp, sellest mineraalveevaru 1046 m<sup>3</sup>/öp ja linnade-alevite veevaru 499 685 m<sup>3</sup>/öp. Põhjaveevõtt oli keskmiselt 814 000 m<sup>3</sup>/öp, millest tarbiti joogi- ja olmeveena 126 000 m<sup>3</sup>/öp ning 688 000 m<sup>3</sup>/öp pumbati välja kaevandustest.

Väärtuslikud hüdrogeoloogilised üldistused on esitatud Eesti hüdrogeokeemilises atlas (Perens jt 1999) ja mõõtkavas 1:400 000 koostatud Eesti hüdrogeoloogilisel ning Eesti põhjavee kaitstuse kaardil (Perens 1998, 2001).

EGK koosseisus töötades koostas ja käivitas L. Vallner USA geoloogiateenistuse mudeldamissüsteemile *MODFLOW 2002* tugineva kolmemõõtmelise Kirde-Eesti hüdrogeoloogilise mudeli (Vallner 1996b). See hõlmas Kehrast ida poole jääva ja lõunas Põltsamaani ulatuva ristkülikulise piirkonna pindalaga 21 650 km<sup>2</sup>, sh Kambriumi ja Vendi kihtide avamuise Soome lahe akvatooriumil. Seitsme mudelikihiga eristati pinnakatte ja aluspõhja peamised vettandvad ning -pidavad kihid. Mudeldamine näitas, et Kirde-Eestis võiks veevõttu sügavatest kihtidest suurendada ligikaudu 10% võrra.

Järgnevalt konstrueeris L.Vallner samuti *MODFLOW* tarkvara alusel EAB kolmemõõtmelise hüdrogeoloogilise mudeli, mis haarab kogu Eesti maismaa ja rannikumere, Peipsi ning Pihkva järve ja piiriäärsed Venemaa ning Läti alad (joon. 3), kokku ligikaudu 88 000 km<sup>2</sup> (Vallner 2002, 2003). Mudeli 13 kihti hõlmavad kogu põhjaveekihtkonna, sh kristalse aluskorra ülemise 100 m paksuse vöö. Mudeli abil tehtud arvutustega rekonstrueeriti rõhu looduslik jaotumus põhjaveekihtkonnas ja 1976. a tehisaotumus, mil põhjaveevõtt oli lähedane pikaajalisele keskmisele (joon. 4). Koostati Kambriumi-Vendi kompleksi vee looduslik ja 1976. a bilanss ning tehti sellest tulenevaid ettepanekuid veemajanduse optimeerimiseks.

Oodatava globaalse kliimasoojenemise mudelite alusel prognoosisid A. Järvet ja L. Vallner stohhastiliste meetoditega, et selle tõttu võib netoinfiltratsioon Eestis suurened 20–40% võrra (Järvet ja Vallner 2000).

## Eesti Geoloogiateenistus

EGK asemele moodustati 2018. a Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi hallatav riigiasutus Eesti Geoloogiateenistus (EGT). Selle koosseisus rakendati A. Marandi juhtimisel tööle hüdrogeoloogia ja keskkonnageoloogia osakond (HGKKG). Viimase põhieesmärkideks seati põhjaveekeskonna optimaalse kasutamise ja kaitse printsiipide väljatöötamine, objektiivse põhjavee- ja keskkonnaalase info esitamine avalikkusele ning riigiasutustele ja hüdrogeoloogia uurijate järelkasvu soodustamine. Nende ülesannete täitmiseks arendab HGKKG põhjaveekihtkonna kolmemõõtmelist regionaalset hüdrogeoloogilist mudeldamist ja korribeerib ning täiendab uute eksperimentaalandmetega kihtide hüdrogeoloogiliste ja geokeemiliste karakteristikute (sh radoonisisalduse) andemebaasi. Uuritakse põhjaveemajanduse ja maapõuekasutuse akuutseid probleeme ning tehakse ettepanekuid nende lahendamiseks. Viiakse lõpule Eesti üldhüdrogeoloogiline ja põhjavee kaitstuse kaardistamine mõõtkavas 1 : 50 000. Pakutakse töökohti hüdrogeoloogia eriala üliõpilastele ja doktorantidele.

Suure rakendusliku tähtsusega on HGKKG sooritatud Eesti põhjaveekogumite ülduurimus (Marandi jt 2019; Riigi Teataja I 2019), milles arendati edasi varem EGKs tehtud samasuunalisi töid (Perens jt 2001b, 2012). Vahepeal kogunenud uute andmete alusel peeti seekord otstarbekaks eristada kokku 31 põhjaveekogumit, kusjuures korrigeeriti nende piire ning kontseptuaalmudeleid.

Põhjavee koguselise seisundi hindamiseks koostati EAB regionaalse voolumudeliga (Vallner ja Porman 2016) põhjaveekogumite looduslikud bilansid. Selleks jaotati kogu EAB 131-ks üksteisega hüdrauliliselt seotud bilansitsooniks, millest 38 ühtusid uuritavate põhjaveekogumitega. Seejärel arvutati *MODFLOW-2005 Zone Budget* mooduli abil põhjaveekogumitele vastavate bilansitsoonide sisse- ja väljavoolukomponendid. Nende alusel määrati iga põhjaveekogumi looduslik põhjaveeressurs, minimaalne tegelik ressurss, sedastati põhjaveevõtt ja kinnitatud tarbevaru arvesse võttes ka minimaalne kasutuses olev vaba põhjavee kogus.

Kvantitatiivselt iseloomustati põhjaveekogumite seisundit mõjutavaid koormusallikaid ja klassifitseeriti ning prioritseeriti nad vastavalt Euroopa Komisjoni eeskirjadele. Täpsustati põhjaveekogumite keemilise seisundi läviväärtusi. Põhjaveekogumite seisundit hinnati riikliku seirevõrguga vahemikus 2014–2018 kogutud andmestiku najal (Marandi jt 2020). Seejuures korrigeeriti andmebaasi ja täiustati põhjaveekogumite seisundi testimise meetodikat.

Testimine näitas (joon. 5), et 31 põhjaveekogumist vastasid nii kvaliteedi- kui ka kvantiteedinäitajate poolest vaid 12 kindlalt hea üldseisundi nõuetele. Piirkondade pindala, kus kõik geoloogilises lõikes eristatud põhjaveekogumid olid heas üldseisundis, hõlmas kokku ligikaudu 15 000 km<sup>2</sup>. Heas üldseisundis, kuid siiski ohustatuks peeti kümmet põhjaveekogumit. Nende puhul arvati, et potentsiaalsete arendajate poolt taotletav edaspidine veevõtu intensiivistamine võib tekitada põhjavee survepinna liigse alanemise ja halvendada väljapumbatava vee kvaliteeti. Maapinnal avanevate ja nende all levivate ohustatud põhjaveekogumite kogupindala oli vastavalt ligikaudu 13 000 km<sup>2</sup> ning 32 000 km<sup>2</sup>. Peamiselt halva keemilise seisundi tõttu osutusid halvas üldseisundis olevaks seitse maapinnal avanevat põhjaveekogumit kogupindalaga 17 000 km<sup>2</sup>. Lisaks neile oli halvas üldseisundis ka sügavamal lasuv Kambriumi-Vendi Voronka põhjaveekogum pindalaga 5000 km<sup>2</sup>.

Analüüsiti veekeskkonna riikliku seirevõrgu olukorda ja vastavust Eesti seadusandluse ning Euroopa Komisjoni nõuetele. Tehti konkreetseid ettepanekud 17 põhjaveekogumi seire tõhustamiseks. Kirjeldatud tööd tervikuna (Marandi jt 2019, 2020; Riigi Teataja I 2019) moodustavad teaduslikult põhjendatud ametliku aluse Eesti põhjaveemajanduse korraldamiseks perioodil 2021–2027.

Gls alustatud ja HGKKG koosseisus lõpule viidud uurimistega tõestati (Vallner jt 2015b, 2020), et rajaülesandena püstitatud <sup>18</sup>O kontsentratsiooni ajast sõltuv kolmemõõtmeline jaotumus regionaalse ulatuse ja muutliku juhtivusega põhjaveekihtkonnas on numbriliselt mudeldatav programmpakettidega *MODFLOW-2005* ja *MT3DMS* (Harbaugh 2005).

Põhjendati optimaalne viis mõõdetud negatiivsete  $\delta^{18}\text{O}$  väärtuste transformeerimiseks mudeldamise jaoks vajalikeks <sup>18</sup>O absoluutse kontsentratsiooni ühikuteks. Väljatöötatud uudse arvutusmeetodika praktilise rakendatavuse tõestamiseks rekonstrueeriti ja interpreteeriti EAB geohüdroloogiline arengulugu Hillis-Pleistotseenis ja Holotseenis, kusjuures esmakordselt koostati paleovete detailsed bilansid. Tõestati teostatud regionaalsete hüdrokeoloogiliste arvutuste adekvaatsus vaadeldud ja arvutatud <sup>18</sup>O kontsentratsiooni väärtuste tugeva korrelatiivse seosega. Konstrueeriti EAB põhjavee voolu- ja transpordimudelite integraalne süsteem, mis on rakendatav viimase 22 tuhande aasta kestel toimunud ja ka tulevaste hüdrokeoloogiliste protsesside uurimiseks.

HGKKG uurimistega tuvastati intensiivse väljapumpamisega tekitatud soolaka vee üles tõmme aluskorrast lasuvasse Kambriumi-Vendi veeladestusse Viimsi poolsaarel (Raidla jt 2019b). Samal põhjusel tungib Sillamäel soolakas vesi Gdovi kihistikust läbi Kotlini vee pideme lasuvasse Voronka veekihti (Raidla jt 2019a). Täpsustati Ordoviitsiumi-Kambriumi veeladestiku vee vanust (Pärn jt 2019) ja selgitati täiendavalt Kambriumi-Vendi veeladestiku vee kõrge metaanisalduse kujunemist (Raidla jt 2019c).

HGKKG üheks põhitegevuseks on Eesti veekeskonna arvutimudelite ja nende sisend- ning väljundteabe kättesaadavaks tegemine kõikidele huvilistele. Näiteks anti EGT halduses olev regionaalne hüdrogeoloogiline arvutimudel (Polikarpus 2018) tasuta kasutamiseks teiste asutuste uurijatele. Niimoodi muutus see mudel koos oma arendustega pidevalt täienevaks avalikuks Kirde-Eesti hüdrogeoloogilise info allikaks, mida on juba kasutataud Rakvere, Sillamäe, Narva-Jõesuu ja Narva veevarude täpsustamiseks ning põlevkivikaevandamise poolt põhjavee režiimile tekitatud mõjude täiendavaks selgitamiseks. Samal eesmärgil konverteeriti Eesti hüdrogeoloogiline regionaalmodell (Vallner ja Porman 2016) kättesaadavaks kasutajaliidesega *ModelMuse* (Winston 2009).

Rahvusvahelise projekti *EU-WATERRES* eesmärk on suurendada riikide suutlikkust majandada piiriüleseid põhjaveevarusid. Projekti elluviimisega Eesti ja Läti vahel on seotud HGKKG ja Läti Ülikool, kusjuures töid koordineerib Poola Geoloogiainstituut (Solovey jt 2021, Interreg Estonia-Latvia WaterAct). Piiriülesteks hüdrogeoloogilise stratigraafia üksusteks peetakse seejuures Ülem-Devoni, Ülem-Kesk-Devoni ja Kesk-Alam-Devoni veekomplekse. Läti uurijate arvutuste järgi voolab Lätist põhjavett peamiselt Kagu-Eestisse ligikaudu 9000 m<sup>3</sup>/öp ja sealt Lätti – umbes 5000 m<sup>3</sup>/öp. Projekti *EU-WATERRES* raames alustati 2021. a Lõuna-Eesti ja Põhja-Läti piiriüleste Devoni põhjaveekogumite arvutimudeli koostamist. Selle käigus kasutatakse ära L. Vallneri ning Läti Ülikooli poolt loodud regionaalsete mudelite andmed (Vallner ja Porman 2016; Virbulis jt 2013).

EGT väga hea saavutus on veebiportaali *Eesti Geoloogiafond* loomine, millega tehti üldsusele hõlpsasti kättesaadavaks Eesti Geoloogiafondi (EGF) säilikud. Selleks skaneeriti kõik hoiustatud publitseerimata teavikud, sh ka kaardid ja joonised. Autori-, koostamisaja-, asukoha- ja teemapäringute alusel sorteeritud skaneeringuid saab digitaalselt alla laadida ning infotehnoloogia vahenditega täiendavalt töödelda. Portaalil *Eesti Geoloogiafond* võis seisuga 31.12.2021 hankida 1270 hüdrogeoloogia-alase aruande ja muu teaviku ning 1857 puurkaevu andmeid.

## Keskkonnateabe portaaliid

Nüüdse Kliimaministeeriumi allasutused Keskkonnaagentuur ja Keskkonnauuringute keskus, Regionaal- ja põllumajandusministeeriumi Maa-amet ning riigi Põhiregistri juurde kuuluv Keskkonnaregister on teinud üldkasutatavaks olulise osa talletatud keskkonnaandmestikust. See materjal hõlbustab hüdrogeoloogiliste uurimiste interpreteerimist ja edasiarendamist.

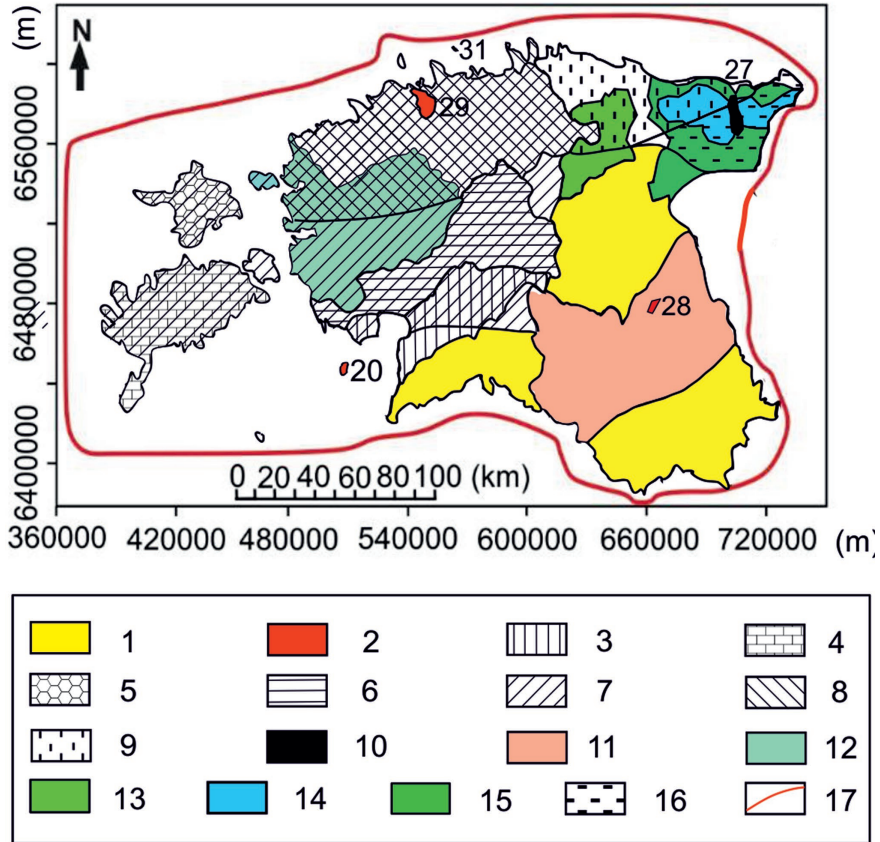
Maa-ameti *Geoportaal* teeb digiteerituna kättesaadavaks 1:50 000 geoloogilise baaskaardi teemakaardid (aluspõhi ja aluspõhja reljeef, aluspõhja läbilõiked, pinnakate, pinnakatte paksus ja pinnakatte läbilõiked, geomorfoloogia, hüdrogeoloogia, põhjavee kaitstus, hüdrogeoloogilised läbilõiked jms), samuti puursüdame andmebaasi ning pinnakatte, aluspõhja, aluskorra, hüdrogeoloogia ja põhjavee kaitstuse kaardid mõõtkavas 1:200 000 ning 1:400 000.

Riiklikku keskkonnaseiret teeb Eesti Keskkonnauuringute Keskus (EKUK) ja seireandmed on kättesaadavad veebilehel *Keskkonnaseire infosüsteem (KESE)*. Keskkonnaagentuuri poolt kureeritavas põhjaveekogumite koguselises seires oli 2021. a 255 puurkaevu, milles regulaarselt mõõdeti veetaset automaatanduritega etteantud sagedusega või käsitsi üks kord kuus. Keemilises seires oli 242 puurkaevu, kust suvise miinimumäravoolu perioodil võeti proov põhjavee koostise üldkeemiliseks analüüsiks ja osalt ka ohtlike ainete määramiseks. Nitraaditudnikel aladel tegutses 24 seirejaama. Esitati 2021. a seiretulemuste aruanne (KA 2021).

Veebilehe *VEKA* abil on võimalik alla laadida teave (asukohaandmed, sügavus, läbindatud kihtide kirjeldus, konstruktsioon, erideebet, vee kvaliteet jms) kõigi registreeritud kaevude

ja puuraukude kohta. Selles andmebaasis oli 2021. a arvel 93 salvkaevu, 36 972 veevõtu-puurkaevu ja 3923 geoloogilist uuringupuurauku.

Veekasutuse andmestik on leitav veebilehelt *Keskkonnaotsuste infosüsteem KOTKAS*. Veemajanduse korraldamiseks vajalikke materjale pakuvad ka veebilehed *Eesti keskkonna andmete portaal* ja *eMaapõu* (*Geoscience collections of Estonia*).



**Joonis 5.** Põhjaveekogumite seisund (Marandi jt 2020). 1 - piirkond, kus kõik geoloogilises lõikes eristatud põhjaveekogumid on heas üldseisundis. Ohustatud põhjaveekogumid: 2 - Kvaternaari Meltsiveski (nr 28) ja Männiku-Pelguranna (nr 29), Kesk-Alam-Devoni Kihnu (nr 20), joonisel koos numbriga; 3 - Kesk-Alam-Devoni Lääne-Eesti vesikonnas (nr 21); 4 - Siluri Saaremaa (nr 9); 5 - Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa (nr 8); 6 - Siluri-Ordoviitsiumi Pärnu (nr 12); 7 - Ordoviitsiumi-Kambriumi Lääne-Eesti vesikonnas (nr 4); 8 - Kambriumi-Vendi (nr 3); 9 - Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekogum (nr 1). Halvas üldseisundis põhjaveekogumid: 10 - Kvaternaari Vasavere (nr 27) ja Prangli (nr 31), joonisel koos numbriga; 11 - Kesk-Devoni Ida-Eesti vesikonnas (nr 24); 12 - Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu (nr 11); 13 - Siluri-Ordoviitsiumi Pandivere Ida-Eesti vesikonnas (nr 15); 14 - Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini (nr 7); 15 - Ordoviitsiumi Ida-Viru (nr 6); 16 - Kambriumi-Vendi Voronka (nr 2); 17 - EAB piir.



## Vajalikud edaspidised tegevused

### Uurimiste arendamine

Tulenevalt Eestis seadustatud maapõuepoliitikast (Riigi Teataja III 2017) peaksid siinsed ülikoolid, EGT jt veega tegelevad riiklikud institutsioonid edaspidi tihedas koostöös jätkama kogu veekeskonna optimaalse kasutamise ja kaitse printsiipide täiustamist ning praktikasse juurutamist kooskõlas maailmateaduse uusimate saavutustega. Selleks on vaja järgmisi arendusi, mis annavad parima lahenduse ka põhjaveeprobleemidele.

Kogu olemasolev andmestik veekeskonna mõõdetud või määratud karakteristikute kohta (veetase, temperatuur, filtratsioonimoodul, sademete hulk, vee kvaliteedi analüüside tulemused jms) oleks tarvis transformeerida kujule  $K(x, y, z, t)$  ja vastavate maatriksitena salvestada integreeritud andmebaaside süsteemi ( $K$  on karakteristikute arvvaartus ja  $x, y, z, t$  – ruumikoordinaadid ning määramise aeg). Siis saaks seda teavet hõlpsasti töödelda nii kaasaegse arvutustehnoloogia vahenditega kui ka tulevikus tõenäoliselt loodava keskkonnavalase tehisaruga abil.

EAB regionaalsed põhjavee voolu- ja transpordimudelid (Vallner ja Porman 2016; Vallner jt 2020) tuleks üle viia *MODFLOW 6* tarkvarale (Langevin jt 2023), mis on funktsionaalselt seostatav hulga teiste USA Geoloogiateenistuse poolt arendatavate ja veekeskonda käsitlevate tarkvarapakettidega. Järgnevalt on tarvis nimetatud regionaalmodelite imaginaarset arvutusvõret oluliselt tihendada, vajaduse korral lisada täiendavaid mudelikihte ja mudelid uuesti detailselt kalibreerida esindusliku andmestiku järgi, mis peaks olema hõlpsasti kättesaadav ülalmainitud andmebaasidest. See võimaldab komplekselt mudeldada praktiliselt kõiki Eesti veekeskonnas kulgevaid interaktiivseid protsesse. Nii saab suurima võimaliku täpsusega hinnata põhjaveehaarete, kaevanduste kuivendamise, reostusallikate jt tehistegurite ning ka oodatava kliimamuutuse mõju pinna- ning põhjaveeressurssidele nii terve EAB ulatuses kui ka territoriaalselt diferentseerituna. Ajast sõltuvaid mudeldamistulemusi, sh tulevikuprognose, saab esitada hüdrogeoloogilise stratigraafia üksuste, põhjaveekogumite jm veebilansi ruumipiirkondade kaupa. Säärase kompleksmudeldamise tulemused, kõrvutatuna andmebaasides sisalduva teabe mitmemõõtmeliste statistiliste analüüsistega, annavad teaduspõhise aluse konkreetsete meetmete kavandamiseks, mis võiksid veekeskonna seisundit säästa või parandada.

Objektiivse ülevaate veekeskonna seisundist ja selle muutumise iseloomust aja jooksul peab andma seire. Käesoleval ajal on Eestis toimiv veeseire üldiselt rahuldav, kuid edaspidi tuleks rajada täiendavaid seirepunkte ja täiustada seire metoodikat vastavalt HGKKG jt veeprobleemidega tegelevate institutsioonide ettepanekutele. Järjest rohkem vajatakse säärast seiret, mis koos veekeskonna matemaatilise mudeldamisega aitaks usaldusväärselt selgitada ja prognoosida põhjaveevarude ning nende kvaliteedi muutusi intensiivse põhjaveetarbega piirkondades. Rohkem oleks tarvis rakendada seire tulemuslikkust oluliselt parandavaid automaatandureid. Seire näitab kõige paremini juba teostatud veemajanduslike ümberkorralduste tegelikku tõhusust.

Kõiki neid seiresoovitusi peaks edaspidi rakendama eriti nende 18 Eesti põhjaveekogumi puhul, mille üldseisundit peetakse halvaks või ohustatuks (Marandi jt 2020). Eelkõige aitab see olukorda adekvaatselt hinnata.

Veekeskonna andmebaasid ja arvutimudelite funktsioneerivad koopiad tuleks koondata EGT Geoloogiafondi juurde ning teha need kättesaadavaks kõigile asjahuvilistele. Nii saab soodustada uurijate vahelist loovat diskussiooni, mis tõenäoliselt suurendab



infotöötlaste tulemuslikkust. HGKKG peaks igal aastal koostama kokkuvõtliku ülevaate põhjavee-keskkonna seisundist ja esitama selle koos motiveeritud ettepanekutega probleemsete situatsioonide ohjamiseks riigi veemajandust korraldavatele instantsidele. Laiale üldsusele arusaadaval kujul tuleks sama teavat jagada ka ajakirjandusele.

On tarvis koostada teaduslikud monograafiad eesti ja inglise keeles, mis kirjeldaksid vajaliku detailsusega Eesti veekeskonda tervikuna ja analüüsiks ning prognoosiks teaduspõhiselt selles kulgevaid protsesse.

## Hüdroteoloogia ettevalmistus

Hinnanguliselt vajab Eesti veemajandus nõuetekohase töö tagamiseks pidevalt 20–25 magistritasemega hüdroteoloogi. Nende stabiilse järelkasvu kindlustamiseks peaks iga 2–3 aasta järel oma karjääri alustama järjekordne vastava kvalifikatsiooniga noor spetsialist. Sääraste asjatundjate koolitamiseks ja keerukate veeprobleemide lahendamiseks on tarvis, et kümme aastat Eesti hüdroteoloogi eviksid ka doktorikraadi.

TÜ geoloogia ja keskkonnatehnoloogia eriala õppekavas on praegu bakalaureuseastmel kursus *Hüdroteoloogia* kolme Euroopa ainepunkti (EAP) ulatuses ja magistritasemel kohustuslik kursus *Hüdroteokeemia ja põhjavee dünaamika* (6 EAP) ning valikkursus *Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse* (6 EAP). TTÜ maapõueressursside eriala bakalaureuse- ja magistriastmel on viimastel aastatel pakutud kursusi *Hüdroteoloogia alused* (3 EAP), *Hüdroteoloogia ja mäenduslik keskkonnakaitse* (6 EAP) ning *Rakenduslik hüdroteoloogia* (6 EAP).

Hoolimata hüdroteoloogia-alase kohustusliku kursuse piiratud mahust on siiski paljud üliõpilased õppetöö kestel sügavamalt huvitunud hüdroteoloogiast ja õppejõudude juhendamisel keskendunud oma bakalaureuse- ning magistritöös põhjaveeprobleemide käsitlemisele. Nii on E. Karro andmete järgi aatel 1992–2021 ainuüksi TÜ geoloogia erialal kaitstud 37 hüdroteoloogia-teemalist diplomi- ja bakalaureusetööd ning 17 magistritööd. Säärane moodus hüdroteoloogi kvalifikatsiooni praktiliseks omandamiseks nõuab küll asjaosalistelt palju ametliku õppekava välist lisatööd oma teadmiste täiendamiseks, ent on tegelikkuses hästi korda läinud. Seda tõestab praeguseks saavutatud Eesti hüdroteoloogilise uurituse kõrge tase.

Hüdroteoloogia eriala magistrite suhteliselt väikese vajaduse tõttu pole arvatavasti tarvis niisugust õppekava Eesti ülikoolides täiendavalt avada. Küll aga peaks TÜ, TTÜ ja TLÜ õppekavades olema rohkem hüdroteoloogia alamdistsipliine esindavaid valikkursusi. On vaja koostada kaasaja teaduse tasemele vastavad ja kohalikke keskkonna- ning majandustingimusi arvestavad eestikeelsed hüdroteoloogia-alased ülikooliõpikud. Veemajandusega tegelevad organisatsioonid peaksid oma kaardivajadust arvestades looma tasustatavad praktikakohad hüdroteoloogia-üliõpilastele. Tuleks leida juriidiline võimalus magistrikraadi omistamiseks hüdroteoloogia erialal nendele ülikooli lõpetajatele, kes on kaitsnud selle kvalifikatsiooni nõuetele vastava magistritöö.

Filosoofidoktori teadusliku kraadi (PhD) hüdroteoloogia erialal võib praegu Eestis omandada TÜ doktoriõppes, mille kestvus on neli aastat ja üldmaht 240 EAP. Rahvusvahelise suhtluskogemuse omandamiseks peaks doktorant vähemalt ühe semestri jooksul õppima või uurimistööd tegema mõnes mainekas väliskõrgkoolis või -teadusasutuses.

Kirjeldatud magistri- ja doktoriõppe süsteemi juurutamiseks ning nõutava taseme tagamiseks tuleks TÜ juurde luua projektipõhisest rahastusest sõltumatu hüdroteoloogia töörühm ja hüdroteoloogia professor.

## Kokkuvõte

Eesti kuulub hüdroteoloogiliselt väga hästi uuritud riikide hulka. Eristatud põhjaveekogumite koguseline seisund on käesoleval ajal üldiselt hea ja stabiilne. Siiski on rohkem kui poolte põhjaveekogumite keemiline seisund ohustatud või halb. See näitab, et põhjavee kvaliteedi kaitse ja parandamise probleemid on Eestis jätkuvalt aktuaalsed. Nende lahendamiseks ja kogu põhjaveemajanduse optimaalseks korraldamiseks tuleb tõhustada vee-keskkonna seiret ning teha põhjaveekihtide täiendavaid eksperimentaaluurimisi. Säärased tööd peaksid tuginema kaasaja teaduse kõrgtasemele vastavatele ja praktikas aprobeeritud hüdroteoloogilistele arvutimudelitele, nendega integreeritud Eesti riiklikele andmebaasidele ja Euroopa Liidu veemajanduse korraldamise kohustuslikele direktiividele.

## Kirjandus

- Arbeiter, R. J., Vallner, L. K., Saapar, L. A., Savitski, L. A. 1982. Оседание земной поверхности в Эстонии под влиянием антропогенных факторов (Maarlinna tehnogeenne vajumine Eestis). Водные ресурсы (Vodnye resursy), **2**, 64–78.
- Arhangelski, B. N. (toim.) 1966b. Гидрогеология СССР, т. XXX, Эстонская ССР. Часть II. Эксплуатационные запасы подземных вод. Подземные воды в народном хозяйстве. (NSVL hüdromeoloogია, XXX kd., Eesti NSV. II osa. Põhjavee tarbevarud. Põhjaveed rahvamajanduses). VSEGINGEO, ENSV Geoloogiavalitsus. Nedra, Moskva, 42 lk.
- Arhangelski, B. N. (toim.) 1966a. Гидрогеология СССР, т. XXX, Эстонская ССР. (NSVL hüdromeoloogია, XXX kd., Eesti NSV). VSEGINGEO, ENSV Geoloogiavalitsus. Nedra, Moskva, 303 lk.
- Boldõreva, N., Perens, R. 2003. *Põhjavee tugivõrgu seire*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr. 7468, uurimistöõ aruanne, 46 lk.
- Boldõreva, N., Erikson, N., Kivit, N., Saaremäe, L., Savitskaja, L., Schmied, A. 1992. *Põhjavee seisund 1991. aastal*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 127 lk.
- Eesti Geoloogiafond. <https://fond.egt.ee/fond> (vaadatud 25.03.2024)
- Eesti keskkonna andmete portaal, <https://keskkonnaportaal.ee/et> (vaadatud 25.03.2024)
- eMaapõu: geoloogilised andmed ja e-teenused, <https://geoloogia.info> (vaadatud 25.03.2024)
- Erg, K. 2005. *Groundwater sulphate content changes in Estonian underground oil shale mines*. Doctoral thesis. Tallinn University of Technology, TTÜ Press, Tallinn, 43 lk.
- Erg, K. 2007. Põlevkivikaevanduste sulgemisest tekkinud hüdromeoloogilise režiimi muutused. *Eesti Mereakadeemia toimetised*, **5**, 92–100.
- Fischer, J. B. 1791. Versuch einer Naturgesichte von Livland, entworfen von J. B. Fischer. Zwote vermehrte und verbesserte Auflage. Königsberg, bey Friedrich Nicolovius, 826 S.
- Geokirjandus. Eesti maapõue teavikute register. <https://kirjandus.geoloogia.info> (vaadatud 25.03.2024)
- Gerber, C., Vaikmäe, R., Aeschbach, W., Babre, A., Jiang, W., Leuenberger, M., Lu, Z.-T., Mokrik, R., Müller, P., Raidla, V., Saks, T., Weber, H., Weissbach, T., Zappala, J. C., Purtschert, R. 2017. Using <sup>81</sup>Kr and noble gases to characterize and date groundwater and brines in the Baltic Artesian Basin on the one-million-year timescale. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **205**, 187–210. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2017.01.033>
- Gontar', V. Z. 1965. Отчет о детальной разведке подземных вод погребенной долины Вазавере (водоснабжение г. Кохтла-Ярве) (Vasavere mattunud oru põhjavete detailse uuringu aruanne (Kohkla-Järve veevarustus)). ENSV Geoloogiavalitsus, Tallinn. EGF, nr 2442, uurimistöõde aruanne, 145 lk.
- Gordiyenko, F., Kotlyakov, V., Punning, J.-M., Vaikmäe, R. 1981. Study of a 200 m core from the Lomonosov ice plateau on Spitsbergen and the palaeoclimatic implications. *Polar Geography and Geology*, **5**, 4, 242–251. <https://doi.org/10.1080/10889378109388695>
- Harbaugh, A. W. 2005. *MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model—the Ground-Water Flow Process*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A-16. <http://pubs.usgs.gov/tm/2005/tm6A16/>.
- Heinsalu, I. A. (koost) 1969. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1961–1965. Вып. II. Рукописные работы. (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1961–1965. II osa. Käsikirjalised tööd.). NSVL TA, NSVL Geoloogiaministeerium, ENSV Geoloogiavalitsus. Valgus, Tallinn, 784 lk.
- Heinsalu, I. A., Lugus, E. A. (koost) 1988. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1976–1980. Вып. II. Рукописные работы. (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1976–1980. II osa. Käsikirjalised tööd.). ENSV Geoloogiavalitsus, Tallinn, 167 lk.

- Heinsalu, I. A., Neiman, S. D. (koost) 1966. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1918–1960. Вып. II. Рукописные работы. (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1918–1960. II osa. Käsikirjalised tööd.). ENSV Geoloogiaavalitsus. Valgus, Tallinn, 292 lk.
- Heinsalu, I. A., Neiman, S. D. (koost) 1987. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1971–1975. Вып. II. Рукописные работы. (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1971–1975. II osa. Käsikirjalised tööd.). ENSV Geoloogiaavalitsus, Tallinn, 262 lk.
- Heinsalu, I. A., Neiman, S. D., Mändmaa, M. N. (koost) 1974. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1966–1970. Вып. II. Рукописные работы. (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1966–1970. II osa. Käsikirjalised tööd.). ENSV Geoloogiaavalitsus. Valgus, Tallinn, 804 lk.
- Heinsalu, Ü. 1977a. Eesti allikad ja nende kaitse 1. *Eesti Loodus*, **7**, 418–426.
- Heinsalu, Ü. 1977b. Eesti allikad ja nende kaitse 2. *Eesti Loodus*, **8**, 490–496.
- Heinsalu, Ü. 1978. Karsti tähtsusest põhjaveevarude täienemisel Eestis. *Põhjavee kasutamisest ja kaitsest Eesti NSV-s* (Heinsalu, Ü., toim.). Eesti NSV TA Looduskaitse Komisjon, Tallinn, 44–53. <http://www.digar.ee/id/nlib-digar:651175> (vaadatud 25.03.2024)
- Heinsalu, Ü. 1993. Allikad vanemas eesti kirjanduses (kuni 1940. a.). *Teaduse ajaloo lehekülgi Eestist. IX kogumik. Geoloogia rajajooni Eestis* (Viiding, H., Raukas, A., toim.-d). Eesti Loodusuurijate Selts Eesti Teaduste Akadeemia juures, Tallinn, 22–45.
- Heinsalu, Ü., Kuptsov, A. 1981. Об инфильтрационно-инфлюационной способности поверхностных карстовых форм Эстонской ССР (Eesti NSV pindmise karsti vormide infiltratsiooni- ja influatsioonivõimekusest). *ENSV TA Toimetised, Keemia. Geoloogia*, **30**, 2, 72–78.
- Helmersen, G. P. 1851. Об артезианском колодце в Ревеле и о вероятности достигнуть воды посредством такого же колодца в С.-Петербурге (Ühest Tallinna arteesiakaevust ja vee saamise tõenäosusest samalaadse kaevuga St.-Petersburgis). Горный журнал (Gornyj zhurnal), I часть, I книга, 4–11.
- Hupel, A. W. 1789. Die gegenwärtige Verfassung der Rigaeschen und Revalschen Stadthalterschaft. Ergänzung der topographischen Nachrichten von Liv- und Estland. Riga, 877 S.
- Indermitte, E., Saava, A., Karro, E. 2009. Exposure to high fluoride drinking water and risk of dental fluorosis in Estonia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **6**, 2, 710–721. <https://doi.org/10.3390/ijerph6020710>
- Indermitte, E., Saava, A., Karro, E. 2014. Reducing exposure to high fluoride drinking water in Estonia - a countrywide study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **11**, 3, 3132–3142. <https://doi.org/10.3390/ijerph110303132>
- Infragate 2013. *Põhjaveekogumite seisundiklasside määramise kriteeriumite ja meetodika väljatöötamine*. AS Infragate Eesti, Tallinn, 160 lk. <https://envir.ee/media/602/download> (vaadatud 25.03.2024)
- Interreg Estonia-Latvia WaterAct. 2022, <https://allikad.info> (vaadatud 25.03.2024)
- Ivask, J. 2000. *Ion chromatographic determination of major anions and cations in polar ice core*. PhD thesis. Dissertationes Chimicae Universitatis Tartuensis 15. Tartu University Press, Tartu, 85 lk.
- Johannes, E. J., Karise, V. J., Savitskaja, L. O. 1980. Миграция некоторых ингредиентов сельскохозяйственного загрязнения в четвертичных отложениях Эстонии (Mõnede põllumajandusliku reostumise ingredientide migratsioon Eesti kvaternaarisetetes). В кн.: Проблемы гидрогеологии Эстонии (Eesti hüdrogeoloogia probleemid). (Vallner, L., Jõgar, P., toim.-d). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 133–143.
- Jouzel, J., Vaikmäe, R., Petit, J. R., Martin, M., Duclos, Y., Stievenard, M., Lorius, C., Toots, M., Mélières, M. A., Burckle, L. H., Barkov, N. I., Kotlyakov, V. M. 1995. The two-step shape and timing of the last deglaciation in Antarctica. *Climate Dynamics*, **11**, 151–161.

- Jõelegt, A. 1998. *Geothermal studies of the Precambrian basement and Phanerozoic sedimentary cover in Estonia and Finland*. PhD thesis. Dissertationes Geologicae Universitatis Tartuensis 7. Tartu University Press, Tartu, 125 lk.
- Jõelegt, A., Polikarpus, M. 2018. Kõide 4. Hüdroteoloogiline modelleerimine. Aruanne: Puura, V., Kalla, K., Plado, J., Soesoo, A., Sedman, P., Talviste, P., Jõelegt, A., Polikarpus, M., Marandi, A., Puura, E., Karro, E., Sepp, K., Metsaots K., Raet J. 2018. Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. Tartu Ülikool. Keskkonnainvesteeringute keskuse projekt nr. 11808. Tallinn. EGF, nr. 9809, uurimistöö aruanne, 42 lk.
- Jõgar, P. 1977. О схеме гидростратиграфического расчленения карбонатных пород Северной Эстонии (Põhja-Eesti karbonaatkivimite hüdroteoloogilise stratifitseerimise skeemist). *ENSV TA Toimetised, Keemia. Geoloogia*, **26**, 2, 155–158. <https://doi.org/10.3176/chem.geol.1977.2.12>
- Jõgar, P. E. 1974. Метод гидростратиграфического расчленения карбонатных пород при помощи обобщенных (суммарных) гидрогеологических данных и его применение на примере Северной Эстонии (Karbonaatkivimite hüdroteoloogilise stratifitseerimise meetod üldistatud (summaarsete) hüdroteoloogiliste andmete abil ja selle rakendamine Põhja-Eesti näitel). ENSV TA, Geoloogia Instituut. Dissertatsioon. Tallinn. EGF, nr 3380, dissertatsioon, 211 lk.
- Jõgar, P. E. 1984. Алгоритмы гидрогеологической стратификации и их применение в целях фильтрационной схематизации водовмещающей толщи (Hüdroteoloogilise stratifitseerimise algoritmid ja nende kasutamine põhjaveekihi filtratsiooniliseks skematiseerimiseks). В кн.: Методы анализа и обработки гидрогеологических данных для прогноза ресурсов подземных вод (Hüdroteoloogiliste andmete analüüsi ja töötlemise meetodid põhjavee ressursside prognoosimiseks). (Vallner, L. K., vast. toim.). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 104–111.
- Järvet, A., Vallner, L. 2000. *Assessment of the climate change impact on groundwater in Estonia*. In *Climate change impacts and responses*. (Mimura, N., toim.). The Japan Environment Agency and Overseas Environmental Cooperation Center, 337–348.
- KA 2021. Põhjaveekogumite seire 2021. aasta aruanne. Keskkonnaagentuur, Tallinn.
- Kalt, C. 1913. Bericht über das projektierte Grundwasserwerk der Stadt Jurjev (Dorpat). In: Berichte und Gutachten betreffend das Projekt der Versorgung der Stadt mit Grundwasser. III, Dorpat, 9–65.
- Karise, V. 1969. *Lõuna-Eesti kvaternaari setete veed ja nende koostise kujunemine*. ENSV TA Geoloogia Instituut. Dissertatsioon. ERA.R-2346.3.783, 239 lk. Karise, V., Vallner, L., Pill, A. 1986. Гидрогеология (Hüdroteoloogia). История геологических наук в Эстонии (Geoloogiateaduste ajalugu Eestis). (Viiding, H., Kaljo, D., toim.-d). Valgus, Tallinn, 213–232.
- Kark, J. 1928. Hydrogeologische Verhältnisse Estlands. In *II Baltische hydrologische und hydrometrische Konferenz. Tallinn, Juni 1928*. Verkehrsministerium Estlands, 1–8.
- Karro, E., Marandi, A. 2003. Mapping of potentially hazardous elements in Cambrian-Vendian aquifer system, northern Estonia. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, **75**, 17–27.
- Karro, E., Rosentau, A. 2005. Fluoride levels in the Silurian-Ordovician aquifer system of Western Estonia. *Fluoride*, **38**, 4, 307–311.
- Karro, E., Uppin, M. 2013. The occurrence and hydrochemistry of fluoride and boron in carbonate aquifer system, central and western Estonia. *Environmental Monitoring and Assessment*, **185**, 5, 3735–3748. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2824-5>
- Karro, E. 1999. *Hydrogeochemical studies of the bedrock and glaciofluvial aquifers in Finland*. Doctoral thesis. University of Helsinki. Yliopistopaino, Helsinki, 30 lk.
- Karro, E., Indermitte, E., Saava, A., Haamer, K., Marandi, A. 2006. Fluoride occurrence in publicly supplied drinking water in Estonia. *Environmental Earth Sciences*, **50**, 3, 389–396. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0217-1>

- Karro, E., Marandi, A., Vaikmäe, R. 2004. The origin of increased salinity in the Cambrian-Vendian aquifer system on the Kopli Peninsula, northern Estonia. *Hydrogeology Journal*, **12**, 4, 424–435.
- Karro, E., Marandi, A., Vaikmäe, R., Uppin, M. 2009. Chemical peculiarities of Silurian-Ordovician and Cambrian-Vendian aquifer systems in Estonia: an overview of hydrochemical studies. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **58**, 4, 342–352.
- Karro, E., Veeperv, K., Hiiob, M., Uppin, M. 2020. The occurrence and geological sources of naturally high iron in the Middle Devonian aquifer system, Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **69**, 4, 281–294. <https://doi.org/10.3176/earth.2020.17>
- Keskkonnaotsuste infosüsteem KOTKAS. <https://kotkas.envir.ee/> (vaadatud 25.03.2024)
- Keskkonnaseire infosüsteem (KESE). <https://keskkonnaagentuur.ee/> (vaadatud 25.03.2024)
- Kink, H. (koost.). 2006. *Veeobjektid „Eesti ürglooduse raamatus“*. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn, 144 lk.
- Kink, H. 1987. Экономико-экологическая оценка влияния техногенных факторов на гидрогеологические условия Эстонской ССР (Eesti NSV hüdrogeoloogilistele tingimustele tehnogeensete faktorite poolt osutatava mõju majanduslik-ökoloogiline hinnang). ENSV TA Geoloogia Instituut, Tallinn. EGF, nr 4314, uurimistööde aruanne, 421 lk.
- Kink, H. 2004. *Hüdrogeoökoloogilised uuringud Geoloogia Instituudis aastail 1965–2003*. Tallinna Tehnikaülikool. TTÜ Kirjastus, Tallinn, 166 lk.
- Kink, H. A. 1970. Геологическая и гидрогеологическая характеристика осушаемых низинных болот Эстонской ССР и методика их исследований с применением электроразведки (Eesti NSV kuivendatavate madalsoode geoloogiline ja hüdrogeoloogiline iseloomustus ja nende uurimise meetodika elektriliste uuringute kasutamisega). ENSV TA, Geoloogia Instituut. Dissertatsioon. Tallinn. Российская государственная библиотека (Rossijskaya gosudarstvennaya biblioteka), Moskva, 218 lk.
- Kink, H. A. 1980. Применение оценки техногенных-гидрогеологических условий северо-западной части Эстонской ССР (Eesti NSV loodeosa tehnogeensete hüdrogeoloogiliste tingimuste hinnangu rakendamise). В кн.: Проблемы гидро-геологии Эстонии (Eesti hüdrogeoloogia probleemid). (Vallner, L., Jõgar, P., toim.). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 144–151.
- Kink, H., Lust, E., Metslang, T. 1990. *Vee seisundi kompleksne ökoloogiline hinnang kaitsealadel*. Eesti TA Geoloogia Instituut, Tallinn. EGF, nr 4556, uurimistööde aruanne, 114 lk.
- Kivit, N. N., Savitski, L. A., Belkina, V. Ya., Böldõreva., N. I., Kulichenko, G. N., Saaremäe, A. A., Sahnovski, B. G., Tamm, V. E., Schmied, A. A., Erikson, N. N. 1987. Сводный отчет по изучению режима подземных вод на территории Эстонской ССР по состоянию на 1.01.1986 г. (Eesti NSV territooriumi põhjavete režiimi uurimise koondaruanne seisuga 01.01.1986). ENSV Geoloogiaavalitsus, Tallinn. EGF, nr 4255, uurimistööde aruanne, 425 lk.
- Klaamann, E. (koost.) 1968. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1941–1960. Вып. I. Опубликованные работы (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1941–1960. I osa. Trükised.). NSVL TA, NSVL Geoloogiaministeerium, ENSV TA. Valgus, Tallinn, 176 lk.
- Koit, O., Barberá, J. A., Marandi, A., Terasmaa, J., Kiivit, I.-K., Martma, T. 2020. Spatiotemporal assessment of humic substance-rich stream and shallow karst aquifer interactions in a boreal catchment of northern Estonia. *Journal of Hydrology*, **580**, 124238. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124238>
- Koit, O., Ravbar, N., Marandi, A., Terasmaa, J. 2017. Threshold-controlled three-stage hydraulic behaviour of a mantled shallow carbonate aquifer (Tuhala karst area, North Estonia). *Acta Carstologica*, **46** (2-3), 265–282. <https://ojs.zrc-sazu.si/carstologica/article/download/4951/6252>
- Langevin, C. D., Hughes, J. D., Provost, A. M., Russcher, M. J., Niswonger, R. G., Panday, Sorab, Merrick, Damian, Morway, E. D., Reno, M. J., Bonelli, W. P., and Banta, E. R. 2023. MODFLOW 6 Modular Hydrologic Model version 6.4.2: U.S. Geological Survey Software Release, 28 June 2023. <https://doi.org/10.5066/P9FL1JCC> (vaadatud 25.03.2024)

- Luha, A. 1946. *Eesti NSV maavarad*. Eesti NSV Majanduse Teadusliku Uurimise Instituut. Teaduslik Kirjandus, Tartu, 178 lk.
- Maa-ameti Geoportaal, <https://geoportaal.maaamet.ee> (vaadatud 25.03.2024)
- Marandi, A., Karro, E. 2008. Natural background levels and threshold values of monitored parameters in the Cambrian-Vendian groundwater body, Estonia. *Environmental Geology*, **54**, 6, 1217–1225. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0904-6>
- Marandi, A., Vallner, L. 2010. Upconing of saline water from the crystalline basement into the Cambrian-Vendian aquifer system on the Kopli Peninsula, Northern Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **59** (4), 277–287.
- Marandi, A. 2007. *Natural chemical composition of groundwater as a basis for groundwater management in the Cambrian-Vendian aquifer system in Estonia*. Dissertationes Geologicae Universitatis Tartuensis 21. Tartu University Press, Tartu, 116 lk.
- Marandi, A., Karro, E., Puura, E. 2004. Barium anomaly in the Cambrian-Vendian aquifer system in North Estonia. *Environmental Geology*, **47**, 1, 132–139.
- Marandi, A., Karro, E., Osjamets, M., Polikarpus, M., Hunt, M. 2020. *Eesti põhjaveekogumite seisund perioodil 2014–2019*. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere. EGF, nr 9416, uurimistööde aruanne, 54 lk. <https://fond.egt.ee/fond/egf/9416> (vaadatud 25.03.2024)
- Marandi, A., Karro, E., Polikarpus, M., Jõelet, A., Kohv, M., Hang, T., Hiimaa, H. 2013a. Simulation of the hydrogeologic effects of oil-shale mining on the neighbouring wetland water balance: case study in north-eastern Estonia. *Hydrogeology Journal*., **21**, 7, 1581–1591. <https://doi.org/10.1007/s10040-013-1032-x>
- Marandi, A., Karro, E., Raidla, V., Vaikmäe, R. 2012. Conceptual model of groundwater quality for the monitoring and management of Voronka groundwater body, Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **61**, 4, 328–339.
- Marandi, A., Osjamets, M., Polikarpus, M., Pärn, J., Raidla, V., Tarros, S., Vallner, L. 2019. *Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine, koormusallikate hindamine ja hüdrogeoloogilistekontseptuaalsete mudelite koostamine*. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere. EGF, nr 9416, uurimistööde aruanne, 553 lk.
- Marandi, A., Polikarpus, M., Jõelet, A. 2013b. A new approach for describing the relationship between electrical conductivity and major anion concentration in natural waters. *Applied Geochemistry*, **38**, 103–109.
- Marandi, A., Veinla, H., Karro, E. 2014. Legal aspects related to the effect of underground mining close to the site entered into the list of potential Natura 2000 network areas. *Environmental Science & Policy*, **38**, 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.01.003>
- Mokrik, R. 1997. *The paleohydrogeology of the Baltic Basin. Vendian & Cambrian*. Institute of Geology, Lithuania Institute of Geology. University of Tartu, Tartu, 138 lk.
- Mokrik, R. 2003. Baltios baseino paleohidrogeologija. Neoproterozojus ir fanerozojus. Vilniaus universitetas. Vilnius, 333 lk.
- Mokrik, R., Karro, E., Savitskaja, L., Drevaliene, G. 2009. The origin of barium in the Cambrian-Vendian aquifer system, North Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **58**, 3, 193–208.
- Männil, R. M. (koost.) 1972. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1918–1940. Вып. I. Опубликованные работы (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Period 1918–1940. I osa. Trükised.). NSVL TA, NSVL Geoloogiaministeerium, ENSV TA. Valgus, Tallinn, 252 lk.
- Müürisepp, K. K. (koost.) 1984b. Геологическая изученность СССР, Т. 50. Эстонская ССР. Период 1861–1917. Вып. I. Опубликованные работы (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Period 1861–1917. I osa. Trükised.). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 272 lk.
- Müürisepp, K. K. (koost.) 1973. Геологическая изученность СССР. Т. 50. Эстонская ССР. Период 1961–1965. Вып. I. Опубликованные работы (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Period 1961–1965. I osa. Trükised.). NSVL Geoloogiaministeerium, ENSV TA. Valgus, Tallinn, 279 lk.



- Müürisepp, K. K. (koost.) 1977. Геологическая изученность СССР. Т. 50. Эстонская ССР. Период 1966–1970. Вып. I. Опубликованные работы (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1966–1970. I osa. Trükised.). NSVL TA, NSVL Geoloogiaministeerium, ENSV TA. TA Geoloogia Instituut, Tallinn, 283 lk.
- Müürisepp, K. K. (koost.) 1984a. Геологическая изученность СССР. Т. 50. Эстонская ССР. Период 1678–1860. Вып. I. Опубликованные работы (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1678–1860. I osa. Trükised.). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 120 lk.
- Orviku, K. 1946. *Tartu linna hüdrogeoloogia*. Eesti NSV Tartu Riikliku Ülikooli Toimetised. Geoloogia ja geograafia. Teaduslik Kirjandus, Tartu, 56 lk., 4 lisa.
- Perens, R. (koost.) 1998. *Eesti hüdrogeoloogiline kaart mõõtkavas 1:400 000. Seletuskiri*. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn, 40 lk.
- Perens, R. 1978. О применении расходомерии при расчленении гидрогеологического разреза карбонатной толщи на Пандивереской возвышенности (Vooluhulkade karotaaži kasutamisest karbonaatkivimite kihistu püstlõike hüdrogeoloogiliseks liigestamiseks Pandivere kõrgustikul). *ENSV TA Toimetised, Geoloogia*, **27**, 4, 130–139.
- Perens, R. 2001. *Eesti põhjavee kaitstuse kaart*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 7120, 47 lk.
- Perens, R., Boldõreva, N., Savitski, L., Kivit, N., Savitskaja, L., Hindrikson, M., Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M. 2012. *Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 8450, uurimistöde aruanne, 590 lk.
- Perens, R., Savva, V., Truu, M. 2011. *2010. aasta põhjaveevaru bilanss*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 8367, uurimistöde aruanne, 39 lk.
- Perens, R., Savva, V., Boldõreva, N., Parm, T. 2001a. *Põhjaveeseire euroharmoniseerimine*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 7304, uurimistöde aruanne, 128 lk.
- Perens, R., Savva, V., Lelgus, M., Parm, T. 2001b. *Põhjaveeklasside määramise jätkamine vastavuses veepoliitika raamdirektiiviga (2000/60/EÜ)*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 7305, uurimistöde aruanne, 57 lk.
- Perens, R., Savva, V., Lelgus, M., Parm, T. 1999. *Eesti hüdrogeokeemiline atlas*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 6346, uurimistöde aruanne, 246 lk.
- Perens, R., Vallner, L., Savitskaja, L., Karise, V. 1997. *Hydrogeology*. In *Geology and mineral resources of Estonia*. (Raukas, A., Teedumäe, A., toim). Institut of Geology. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–162.
- Pill, A. A. 1974. Подземные воды западного побережья и островов Эстонии и особенности их формирования (Eesti lääneranniku ja saarte põhjaveed ning nende kujunemise iseärasused). ENSV TA, Geoloogia Instituut. Dissertatsioon. Tallinn. 199 lk.
- Polikarpus, M. 2018. Kõide 5. Virumaade mudeli kirjeldus ning kasutusjuhend. Aruanne: Puura, V., Kalla, K., Plado, J., Soesoo, A., Sedman, P., Talviste, P., Jõeleht, A., Polikarpus, M., Marandi, A., Puura, E., Karro, E., Sepp, K., Metsaots K., Raet J. 2018. Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. Tartu Ülikool. Keskkonnainvesteeringute keskuse projekt nr. 11808. Tallinn. EGF, nr. 9809. Uurimistöde aruanne, 35 lk.
- Polikarpus, M., Karro, E., Jõeleht, A., Rooni, K. 2017. *Tartu linna põhjaveevaru ümberhindamine aastani 2045*. Tartu Ülikool, Ökoloogia ja maateaduste instituut, geoloogia osakond, Tartu. EGF, nr 8847.
- Puksmann, E. 1936. *Põhjaveepinna kõikumine metsamaadel* ülikooli õppe- ja katsemetskonnas 1930.–1934. a. Tartu Ülikooli õppe- ja katsemetskond. Tartu Ülikooli metsaosakonna toimetised, Tartu, 125 lk.
- Punning, J.-M., Toots, M., Vaikmäe, R. 1987. Oxygen-18 in Estonian Natural Waters. *Isotopenpraxis* **23**, 232–234. <https://doi.org/10.1080/10256018708623797>

- Puura, V., Kalla, K., Plado, J., Soesoo, A., Sedman, P., Talviste, P., Jõelet, A., Polikarpus, M., Marandi, A., Puura, E., Karro, E., Sepp, K., Metsaots, K., Raet J. 2018. *Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsitusina koos alternatiivsete leevendusmeetmetega*. Tartu Ülikool. Keskkonnainvesteeringute keskuse projekt nr 11808. EGF, nr 9809, uurimistöde aruanne, 346 lk.
- Pärn, J. 2018. *Origin and Geochemical Evolution of Palaeogroundwater in the Northern Part of the Baltic Artesian Basin*. Tallinn University of Technology. Doctoral thesis, 58/2018. TTÜ Press, Tallinn, 226 lk.
- Pärn, J., Affolter, S., Ivask, J., Johnson, S., Kirsimäe, K., Leuenberger, M., Martma, T., Raidla, V., Schloemer, S., Sepp, H., Vaikmäe, R., Walraevens, K. 2018. Redox zonation and organic matter oxidation in palaeogroundwater of glacial origin from the Baltic Artesian Basin. *Chemical Geology*, **488**, 149–161.
- Pärn, J., Raidla, V., Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Mokrik, R., Erg, K. 2016. The recharge of glacial meltwater and its influence on the geochemical evolution of groundwater in the Ordovician-Cambrian aquifer system, northern part of the Baltic Artesian Basin. *Applied Geochemistry*, **72**, 125–135.
- Pärn, J., Walraevens, K., Camp van, M., Raidla, V., Aeschbach, W., Friedrich, R., Ivask, J., Kaup, E., Martma, T., Mažeika, J., Mokrik, R., Weissbach, T., Vaikmäe, R. 2019. Dating of glacial palaeogroundwater in the Ordovician-Cambrian aquifer system, northern Baltic Artesian Basin. *Applied Geochemistry*, **102**, 64–76. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.01.004>
- Raidla, V. 2010. *Chemical and isotope evolution of groundwater in the Cambrian-Vendian aquifer system in Estonia*. Dissertationes Geologicae Universitatis Tartuensis 28. Tartu University Press, Tartu, 134 lk.
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvans, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R. 2016. A  $\delta^{18}\text{O}$  isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. *Journal of Hydrology*, **542**, 254–267. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.09.004>
- Raidla, V., Kirsimäe, K., Ivask, J., Kaup, E., Knöller, K., Marandi, A., Martma, T., Vaikmäe, R. 2014. Sulphur isotope composition of dissolved sulphate in the Cambrian-Vendian aquifer system in the northern part of the Baltic Artesian Basin. *Chemical Geology*, **383**, 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.06.011>
- Raidla, V., Kirsimäe, K., Vaikmäe, R., Jõelet, A., Karro, E., Marandi, A., Savitskaja, L. 2009. Geochemical evolution of groundwater in the Cambrian-Vendian aquifer system of the Baltic Basin. *Chemical Geology*, **258**, 3-4, 219–231. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.10.007>
- Raidla, V., Kirsimäe, K., Vaikmäe, R., Kaup, E., Martma, T. 2012. Carbon isotope systematics of the Cambrian-Vendian aquifer system in the northern Baltic Basin: Implications to the age and evolution of groundwater. *Applied Geochemistry*, **27**, 10, 2042–2054. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.06.005>
- Raidla, V., Polikarpus, M., Pärn, J., Tarros, S. 2019a. *Põhjavee kloriidide sisalduse tõusu põhjuste ja päritolu uuring Sillamäel*. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere. EGF, nr 9316, uurimistöde aruanne, 81 lk.
- Raidla, V., Pärn, J., Aeschbach, W., Czuppon, G., Ivask, J., Kiisk, M., Mokrik, R., Samalavičius, V., Suursoo, S., Tarros, S., Weissbach, T. 2019b. Intrusion of Saline Water into a Coastal Aquifer Containing Palaeogroundwater in the Viimsi Peninsula in Estonia. *Geosciences*, **9**, 1, 47. <https://doi.org/10.3390/geosciences9010047>
- Raidla, V., Pärn, J., Schloemer, S., Aeschbach, V., Czuppon, G., Ivask, J., Marandi, A., Sepp, H., Vaikmäe, R., Kirsimäe, K. 2019c. Origin and formation of methane in groundwater of glacial origin from the Cambrian-Vendian aquifer system in Estonia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **251**, 247–264. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2019.02.029>
- Rauch, J. E. 1794. Über die Merkwürdigkeiten Kirchspiels St. Jacobi. Neue Nordische Miscellanen. IX u. X Stück. Riga, 539–543.

- Revalsche Post-Zeitung. 1691. *Dörpt/vom 3 Octobr.* Revalsche Post-Zeitung am Donnerstage/ Anno 1691. den 8. Octobr. No. 81.
- Riigi Teataja I, 2019. Põhjaveekogumite nimekiri ja nende eristamise kord, seisundiklassid ja nende määramise kord, seisundiklassidele vastavad keemilise seisundi määramiseks kasutatavate kvaliteedinäitajate väärtused ja koguselise seisundi määramiseks kasutatavate näitajate tingimused, põhjavett ohustavate saasteainete nimekiri, nende sisalduse läviväärtused põhjaveekogumite kaupa ja kvaliteedi piirväärtused põhjavees ning taustataseme määramise põhimõtted. RT I, 02.10.2019, 5.
- Riigi Teataja III, 2017. *Maapõuepoliitika põhialused aastani 2050.* RT III, 07.06.2017, 2.
- Savitskaja, L. (toim.) 1995. *Põhjavee seisund 1994. aastal.* Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, -151 lk.
- Savitskaja, L., Viigand, A. 1994. Aruanne kambriumi-vendi veekompleksi põhjavee mikrokomponentide ja isotoopkoostise uurimisest joogivee kvaliteedi hindamiseks Põhja-Eestis. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 4970, uurimistööde aruanne, 95 lk.
- Savitskaja, L., Savva, V., Viigand, A. 2000. *Joogiveeuuring mikrokomponentide määramiseks Harjumaal.* Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, EGF, nr 6826, uurimistööde aruanne, 101 lk.
- Savitskaja, L., Viigand A., Jaštšuk, S. 1995. Aruanne ordoviitsiumi-kambriumi veekihi põhjavee mikrokomponentide sisalduse ja isotoopkoostise uurimisest joogivee kvaliteedi hindamiseks. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 5294, uurimistööde aruanne, 54 lk.
- Savitskaja, L., Viigand, A., Kulitšenko, G. 1982. Геолого-гидрогеологическое обоснование охраны подземных вод в условиях Эстонской ССР (Põhjavee kaitsge geoloogiline ja hüdrogeoloogiline motiveerimine Eesti NSV tingimustes). ENSV MN Geoloogiavalitsus, Tallinn. EGF, nr 3954, uurimistööde aruanne, 141 lk.
- Savitski, L. A. 1980. Особенности формирования водопритоков в горные выработки Эстонского месторождения горючих сланцев (Eesti põlevkivimaardla kaevanditesse tungivate veevoolude kujunemise iseärasused). В кн.: Проблемы гидрогеологии Эстонии (Eesti hüdrogeoloogia probleemid). (Vallner, L., Jõgar, P., toim.-d). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 52–161.
- Savitski, L. A., Sergejeva, V. S., Savitskaja, L. O., Krivoshejev, P. A., Bibikov, B. I. 1967. Сводный отчет по изучению режима подземных вод за 1961–1965 гг. (*Põhjavee režiimi uurimise koondaruanne aastatest 1961–1965*). ENSV MN Geoloogiavalitsus, Tallinn. EGF, nr 2959, uurimistööde aruanne, 612 lk.
- Schmidt, C. 1863. *Die Wasserversorgung Dorpats, eine hydrologische Untersuchung.* Archiv. Naturk. Liv-, Est- u. Kurland. Ser. 1, Bd. III, Lief. 3, 205–420.
- Solovey, T., Rafał, J., Małgorzata, P., Harasymchuk, V., Medvid, H., Poberezhsky, A., Janik, M., Stupka, O., Teleguz, O., Panov, D., Pavliuk, N., Yanush, L., Kharchyshin, Y., Borozdins, D., Bukovska, I., Demidko, J., Valters, K., Bikše, J., Dēliņa, A., Popovs, K., Marandi, A., Männik, M., Polikarpus, M. 2021. Assessment of the resources of transboundary groundwater reservoirs for the 2 pilot areas. *The project No 2018-1-0137 „EU-WATERRES: EU-Integrated management system of cross-border groundwater resources and anthropogenic hazards“*, 97 lk.
- Sterckx, A., Lemieux, J.-M., Vaikmäe, R. 2017. Representing glaciations and subglacial processes in hydrogeological models: a numerical investigation. *Geofluids*, v. 2017, 12 lk. <https://doi.org/10.1155/2017/4598902>
- Sterckx, A., Lemieux, J.-M., Vaikmäe, R. 2018. Assessment of paleo-recharge under the Fennoscandian Ice Sheet and its impact on regional groundwater flow in the northern Baltic Artesian Basin using a numerical model. *Hydrogeology Journal*, **26**, 2793–2810.
- Suursoo, S., Hill, L., Raidla, V., Kiisk, M., Jantsikene, A., Nilb, N., Czuppon, G., Putk, K., Munter, R., Koch, R., Isakar, K. 2017. Temporal changes in radiological and chemical composition of Cambrian-Vendian groundwater in conditions of intensive water consumption. *Science of the Total Environment*, v. 601–602, 678–690. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.136>

- Zektser, I. S. 1964. Естественные ресурсы пресных подземных вод Прибалтийского артезианского бассейна (Balti arteesiabasseini magedate põhjavete looduslikud ressursid). Тр. АН Лит ССР, серия Б. I (36), (Tr. AN LitSSR, seriya B. I (36)), 201–206.
- Terasmaa, J., Vainu, M., Lode, E., Pajula, R., Raukas, A. 2015. *Põhjaveekogumi veest sõltuvad ökosüsteemid, nende seisundi hindamise kriteeriumid ja seirevõrk*. Tallinna Ülikooli Ökoloogia keskus, uurimistööde aruanne, Tallinn, 142 lk. [https://old.envir.ee/sites/default/files/pohjaveest\\_soltuvad\\_okosusteemid\\_1.pdf](https://old.envir.ee/sites/default/files/pohjaveest_soltuvad_okosusteemid_1.pdf) (vaadatud 25.03.2024)
- Tibar, K. O. 1987. Закономерности распределения гелия в подземных водах северного склона Прибалтийского артезианского бассейна (Heeliumi jaotumuse seaduspärasused Balti arteesiabasseini põhjanõlva põhjavetes). Valgevene NSV TA, Geokeemia ja Geofüüsika Instituut. Kandidaadidissertatsiooni autoreferaat. Minsk, 20 lk.
- Tšeban, E. 1962a. Обзорная гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:2 500 000 (Эстонская ССР). (NSVL hüdroteoloogiline ülevaatekaart mõõtkavas 1:2 500 000 (Eesti NSV)). ENSV MN Geoloogia ja Maapõuekaitse Valitsus, Tallinn. EGF, nr 1724, uurimistööde aruanne, 141 lk.
- Tšeban, E. 1962b. Обзорная гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:1 500 000 (Эстонская ССР). (NSVL hüdroteoloogiline ülevaatekaart mõõtkavas 1:1 500 000 (Eesti NSV)). ENSV MN Geoloogia ja Maapõuekaitse Valitsus, Tallinn. EGF, nr 1765, uurimistööde aruanne, 130 lk.
- Tšeban, E. 1975. *Eesti NSV põhjavesi ja selle kasutamine*. Valgus, Tallinn, 168 lk.
- Tšeban, E. R. 1969. Подземные воды Эстонии (распределение, формирование, ресурсы и перспективы использования). (Eesti põhjaveed (jaotumus, kujunemine, ressursid ja kasutamise perspektiivid)). VSEINGEO. ENSV Geoloogia valitsus. Moskva-Tallinn. EGF, nr 3060. Dissertatsioon, 269 lk. <https://fond.egt.ee/fond/egf/3060> (vaadatud 25.03.2024)
- Tšeban, E. R., Viigand, A. P., Tšeusova, E. A. 1965. Комплекс сводных и погоризонтных гидрогеологических карт Эстонской ССР м-ба 1:500 000 (Eesti NSV kokkuvõtlike ja detailsete hüdroteoloogiliste kaartide kompleks mõõtkavas 1:500 000). ENSV MN Geoloogia ja Maapõuekaitse Valitsus, Tallinn. EGF, nr 2466, uurimistööde aruanne, 290 lk.
- Uppin, M., Karro, E. 2012. Geological sources of boron and fluoride anomalies in Silurian-Ordovician aquifer system, Estonia. *Environmental Earth Sciences*, **65**, 1147–1156. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1363-7>
- Uppin, M. 2013. *Geological sources and hydrochemistry of fluoride and boron in Silurian-Ordovician aquifer system*. Dissertationes Geologicae Universitatis Tartuensis 35. Tartu University Press, Tartu, 38 lk.
- Vaikmäe, R. 1990. Isotope variations in the temperate glaciers of the Eurasian Arctic. *Nuclear Geophysics*, 1990, **4**, 1, 45–55.
- Vaikmäe, R., Edmunds, W. M., Manzano, M. 2001a. Weichselian palaeoclimate and palaeoenvironment in Europe: background for palaeogroundwater formation. In *Management of Coastal Aquifers in Europe. Palaeowaters, natural controls and human influence*. (Edmunds, W. M., Milne, C., toim). *Geological Society Special Publication*, **189**. London, 163–191.
- Vaikmäe, R., Kaup, E., Marandi, A., Martma, T., Raidla, V., Vallner, L. 2008. The Cambrian-Vendian aquifer, Estonia. In *The natural baseline quality of groundwater*. (Edmunds, W. M., Shand, P., toim). Blackwell Publishing, Oxford, 175–189.
- Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Kaup, E., Raidla, V., Rajamäe, R., Vallner, L., Mokrik, R., Samalavičius, V., Kalvāns, A., Babre, A., Marandi, A., Hints, O., Pärn, J. 2020. *Baltic groundwater isotope-geochemistry database*. Tallinn University of Technology, Department of Geology, Tallinn. <https://doi.org/10.15152/GEO.488>
- Vaikmäe, R., Pärn, J., Raidla, V., Ivask, J., Kaup, E., Aeschbach, W., Gerber, C., Lemieux, J.-M., Purtschert, R., Sterckx, A., Martma, T., Vallner, L. 2021. Late Pleistocene and Holocene groundwater flow history in the Baltic Artesian Basin: a synthesis of numerical models and hydrogeochemical data. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **70**, (3), 152–164. <https://doi.org/10.3176/earth.2021.11>

- Vaikmäe, R., Vallner, L., Loosli, H., Blaser, P., Julliard-Tardent, M. 2001b. *Paleogroundwater of glacial origin in the Cambrian-Vendian aquifer of northern Estonia*. In *Paleowaters in coastal Europe: evolution of groundwater since the late Pleistocene*. (Edmunds, W. M., Milne, C. J., toim). *Geological Society Special Publications*, **189**, London, 17–27.
- Vainu, M. 2018. Groundwater-surface water interactions in closed-basin lakes: example from Kurtna Lake District in Estonia. Tallinn University, Dissertations on natural sciences, 42. Tallinn, 155 lk.
- Vainu, M., Koit, O., Lode, E., Ploompuu, T., Terasmaa, J., Rivis, R. 2019. Põhjaveekogumite seosed maismaaökosüsteemide ja pinnaveekogudega, hüdrogeoloogilised mudelid ning seirevõrgu kujundamine. Lõpparuanne. Tallinna Ülikooli Ökoloogia keskus, uurimistööde aruanne. Tallinn, 161 lk.
- Valdmaa, T. 2005. *Põhjavee seisund 1999.–2003. aastal*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 7629, uurimistööde aruanne, 173 lk.
- Vallner, L., Porman, A. 2016. Groundwater flow and transport model of the Estonian Artesian Basin and its hydrological developments. *Hydrology Research*, **47** (4), 814–834.
- Vallner, L., Sepp, K. 1993. Effects of pollution from oil shale mining in Estonia. *Land Degradation & Rehabilitation*, **4**, 381–385.
- Vallner, L. 1994. Problems of groundwater quality management in Estonia. In *Groundwater Quality Management* (Kovar, K., Soveri, J., toim). *IAHS Publ. No. 220*, Wallingford, 449–460.
- Vallner, L. 1996a. Hydrogeological modelling of mine dewatering in the karstified Pandivere Upland, Estonia. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.*, **45**, 2, 53–67.
- Vallner, L. 1996b. *Kirde-Eesti hüdrogeoloogiline mudel*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 5498, uurimistööde aruanne, 105 lk.
- Vallner, L. 2002. *Eesti hüdrogeoloogiline mudel*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 7477, uurimistööde aruanne, 108 lk.
- Vallner, L. 2003. Hydrogeological model of Estonia and its applications. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.*, **52**, 3, 179–192.
- Vallner, L., Metslang, T. 1970. *Intensiivse veevahetuse tsooni põhjavete miinimumäravool ja piesomeetiline režiim Eestis*. ENSV TA Geoloogia Instituut, Tallinn. EGF, nr 7153, uurimistööde aruanne, 193 lk.
- Vallner, L. K. 1968. Нестационарный режим фильтрации одномерного потока подземных вод (Ühemõõtmelise põhjaveevoolu mittestatsionaarne filtratsioonirežiim). *ENSV TA Toimetised, Keemia. Geoloogia*, **17**, 1, 67–73.
- Vallner, L. K. 1969. Аналитический метод оценки естественных ресурсов подземных вод зоны интенсивного водообмена (Intensiivse veevahetuse vööndi põhjavete looduslike ressursside hindamise analüütiline meetod). ENSV TA Geoloogia Instituut. Dissertatsioon. ENSV TA Teaduslik Keskariiv, Tallinn. EGF, nr 3171, dissertatsioon, 235 lk.
- Vallner, L. K. 1973. Расчет естественных ресурсов подземных вод зоны интенсивного водообмена (Intensiivse veevahetuse vööndi põhjavete looduslike ressursside arvutamine). *ENSV TA Toimetised, Keemia. Geoloogia*, **17**, 3, 265–273.
- Vallner, L. K. 1975. Характеристика естественных ресурсов подземных вод Эстонии (Eesti põhjavete looduslike ressursside iseloomustus). ENSV TA Geoloogia Instituut, Tallinn. EGF, nr 3458, uurimistööde aruanne, 235 lk.
- Vallner, L. K. 1980. Геогидродинамическая расчлененность и баланс подземных вод Эстонии (Eesti põhjavete geohüdrodünaamiline liigestatus ja bilanss). В кн.: Проблемы гидрогеологии Эстонии (Eesti hüdrogeoloogia probleemid). (Vallner, L., Jõgar, P., toim.-d). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 11–120.
- Vallner, L., Gavrilova, O., Vilu, R. 2015a. Environmental risks and problems of the optimal management of an oil shale semi-coke and ash landfill in Kohtla-Järve, Estonia. *Science of the Total Environment*, **524–525**, 400–415.

- Vallner, L., Ivask, J., Marandi, A., Vaikmäe, R. 2015b. *Simulation of  $^{18}\text{O}$  concentration in Estonian Artesian Basin*. In *4<sup>th</sup> Annual Meeting of G@GPS IGCP 618 Project. Palaeogroundwater from past and present glaciated areas. Estonia, 5-9 July 2015. Abstracts and field guide*. (Pärn, J., Raidla, V., Vaikmäe, R., Raukas, A., Bauert, H., toim). Institute of Geology at Tallinn University of Technology. Tallinn, 32–34.
- Vallner, L., Ivask, J., Marandi, A., Vaikmäe, R., Raidla, V., Raukas, A. 2020. Transient 3D simulation of  $^{18}\text{O}$  concentration by codes MODFLOW-2005 and MT3DMS in a regional-scale aquifer system: an example from Estonian Artesian Basin. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **69**, 3, 154–174. <https://doi.org/10.3176/earth.2020.11>
- Vallner, L., Jõgar, P., Perens, R. 1987. Гидрогеология (Hüdrogeoloogia). В кн.: Геология и полезные ископаемые Раквереского фосфоритоносного района (Rakvere fosforiidirajooni geoloogia ja maavarad). (Puura, V., toim.). ENSV TA Geoloogia Instituut, ENSV Geoloogiavalitsus. Valgus, Tallinn, 104–127.
- VEKA, <https://veka.keskkonnainfo.ee> (vaadatud 25.03.2024)
- Wendland, F., Blum, A., Coetsiers, M., Gorova, R., Griffioen, J., Grima, J., Hinsby, K., Kunkel, R., Marandi, A., Melo, T., Panagopoulos, A., Pauwels, H., Ruisi, M., Traversa, P., Vermooten, J. S. A., Walraevens, K. 2008. European aquifer typology: a practical framework for an overview of major groundwater composition at European scale. *Environmental Geology*, **55**, 1, 77–85.
- Verte, A. 1956. Отчет по стационарным наблюдениям над режимом подземных вод, произведенным Институтом геологии АН ЭССР в 1948–1956 гг. (ENSV TA Geoloogia Instituudi poolt aastatel 1948–1956 tehtud põhjavee režiimi vaatluste aruanne). ENSV TA Geoloogia Instituut, Tallinn, 148 lk.
- Verte, A. J. 1953. Водоносные горизонты палеозойских отложений Эстонской ССР (Eesti NSV paleosoikumi setete veehorisondid). ENSV TA Geoloogia Instituut, Tallinn. ERA.R-2346.3.389. 337 lk.
- Verte, A. J. 1965b. Подземные воды Эстонской ССР и условия их формирования (Eesti NSV põhjaveed ja nende kujunemise tingimused). Leningradi Lenini Ordeniga Riiklik Ülikool. ENSV TA Geoloogia Instituut. Dissertatsiooni autoreferaat. Leningrad-Tallinn, 35 lk.
- Verte, A. J. 1965c. Основные черты гидрогеологического строения и формирования подземных вод Эстонского артезианского бассейна (Eesti arteesiabasseini hüdrogeoloogilise ehituse ja põhjavete kujunemise põhjooned). *ENSV TA Toimetised*, XIV kd, *Biol. seeria*, **4**, 563–586.
- Verte, A. J. 1965a. Подземные воды Эстонской ССР и условия их формирования (Eesti NSV põhjaveed ja nende kujunemise tingimused). Dissertatsioon. I, II ja III osa. I lisa (tabelid), II lisa (kaardid). ENSV TA Geoloogia Instituut, Tallinn. Российская государственная библиотека (Rossijskaya gosudarstvennaya biblioteka), Moskva, 545 lk.
- Vilbaste, G. 1936. Kodumaa allikaist. *Loodusevaatleja*, **6**, 161–167.
- Vilbaste, K. 2013. *Eesti allikad*. Varrak, Tallinn, 352 lk.
- Vingisaar, P. A. 1968. Отчет об исследованиях минеральных вод территории Эстонской ССР (Eesti NSV territooriumi mineraalvete uurimiste aruanne). ENSV Geoloogiavalitsus, Tallinn. EGF, nr 3009, uurimistöde aruanne, 60 lk.
- Vingisaar, P., Kivisilla, J. (koost.) 2008. *Eesti Geoloogiakeskus 70/50. Hüdrogeoloogia poolsajand*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 79 lk.
- Vingisaar, P., Kukk, M. (koost.) 2007. *Eesti Geoloogiakeskus 70/50. Geoloogilise kaardistamise poolsajand*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 46 lk.
- Winston, R. B. 2009. *ModelMuse – A graphical user interface for MODFLOW-2005 and PHAST*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A29, 52 lk.
- Virbulis, J., Bethers, U., Saks, T., Sennikovs, J., Timuhins, A. 2013. Hydrogeological model of the Baltic Artesian Basin. *Hydrogeology Journal*, **21**, 4, 845–862. <https://doi.org/10.1007/s10040-013-0970-7>

VRD 2000. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2000/60/EÜ, 23. oktoober 2000, millega kehtestatakse ühenduse veepoliitika alane tegevusraamistik. *Euroopa Liidu Teataja* L 327, 22/12/2000, 1–73. Accessed March 25, 2024 at <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/2014-11-20>.



# Eestikeelsetest geoloogiaõpikutest ja geoloogilistest oskussõnadest

Aasa Aaloe

Eesti Geoloogia Selts, Tallinna Tehnikaülikooli geoloogia instituut

19. sajandi keskpaiku alanud eestlaste rahvuslikku ärkamisaega iseloomustavad mitmed ettevõtmised hariduse ja kultuurivallas, sealhulgas ka eestikeelse kirjasõna ja õppekirjanduse loomine. Esimese eestikeelse geoloogiaõpiku ilmumine ning eestikeelse geoloogilise sõnavara kujunemise alged jäävad sajandi viimasesse veerandisse.

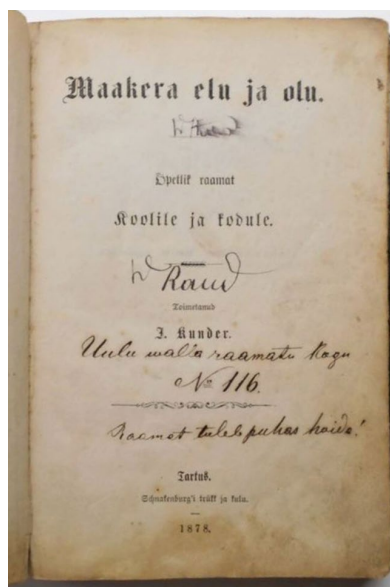
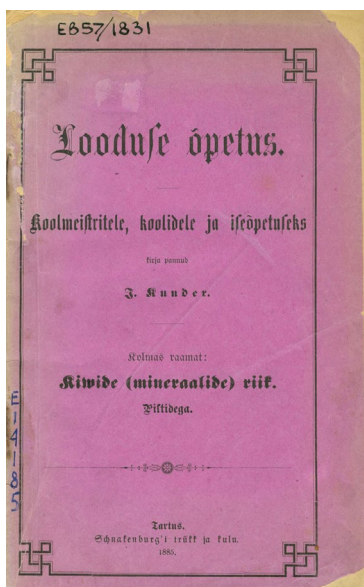
Esimese eestikeelse geoloogiaõpiku autoriks võib pidada pedagoogi, folkloristi, lastekirjanikku ja ühiskonnategelast **Johann (Juhan) Kunderit** (1852–1888). Rakvere kreiskooli õpetajana oli J. Kunderi ülesandeks ka loodusloo õpetamine. Eestikeelne loodusteaduslik kirjandus ja sõnavara praktiliselt puudus ning kõigepealt pidi Kunder looma süsteemi, mida ja kuidas õpetada ning ka vastavad oskussõnad. J. Kunder ise on märkinud, et „... *Kõige pealt on tarvis, et meie neid sõnu sünnitama hakkame, mida uute asjade ja aimude nimetamiseks tarvis on, ehk neid sõnu rahvale meelde tuletame, mis Eesti keeles juba olemas on, aga sealt mitte kirjakeelde ei ole tulnud.*“

Eesti Kirjameeste Seltsi tööplaani võetaksegi teaduslike oskussõnade loomine. Selleks oli vaja järele uurida, kas 1. eesti keeles on juba kasutusel teatud sõnu 2. tähele panna, mida kirjanduses on juba kasutatud ning 3. luua uusi sõnu, võimalikult soome keele eeskujul. Loodusteaduse oskussõnade loomine jäi J. Kunderi korraldada.

J. Kunderilt ilmus aastatel 1877–1885 looduslooõpiku „Looduse õpetus“ kolm osa. Õpiku esimene osa „Elajate riik“ nägi ilmavalgust 1877. aastal, „Taimede riik“ 1882. aastal ja meile huvi pakkuv „Kiwide (mineraalide) riik“ 1885. aastal (joonis 1). Nende väljaannete ilmumise vahelisse aega mahtusid veel sama autori toimetatud „Maakera elu ja olu“ (1878; joonis 1) ning „Weikene Looduse õpetus“ (1879). „Maakera elu ja olu“ eessõnas kirjutab Kunder „See raamat on niihästi vanematele kooli lastele, mitte õpetuse, vaid õpetlikuks raamatuks, kui ka kodurahvale õpetuse raamatuks valmistatud. Ta on uueaja tääduste saaduste järele kokkupandud, kus juures Saksamaa mehe Gressleri kirjad kõige enam ja sõnasõnalikumalt pruugitud saivad.“ Ja tõepoolest, seda raamatut võib veel tänapäevalgi õpetlikuks pidada ja huviga lugeda, nautida tolleaegset kujundlikku keelt ja tabavaid võrdlusi. „Weikene Looduse õpetus“ on mõeldud alamatele koolidele, kirjutatud lihtsas ja arusaadavas keeles ning käsitleb neid taimi, loomi ja mineraale (kive), millest õpilastel mingid teadmised juba peaksid olema. Selles raamatus jagab J. Kunder looduse kolmeks riigiks - *elajate, taimede ja mineralide* riigiks ja iseloomustab neid järgnevalt:

- *Elajad elavad, tunnewad ning wõiwad omawolilikult ühest paigast teisi minna.*
- *Taimed elavad, ei tunne ega wõi end ka omawolilikult liigutada.*
- *Mineralidel pole ühtegi neist märkustest.*

Raamatu eessõnas märgib ta, et „...*Kiwide lugu on aga laste kohta nii raske, et tema üle alamas koolis, elementarkoolis, nii üleüldiselt ja kergelt kui wõimalik juttu peab tehtama.*“ Peatükk „Kivide (mineralide) lugu“ jääb selles raamatus ka kõige tagasihoidlikumaks, tutvustades vaid 13 leheküljel (raamatu mahust veidi üle kümnendiku) 1. metalle (kuld, hõbe, elavhõbe, vask, raud ja tina), 2. kive (savi, lubi, raudkivi ja ipsi- ehk kipsikivi), 3. soolasisid



**Joonis 1.** J. Kunderi “Kivide (mineraalide) riik” ilmus 1885. a ning sama autori toimetatud raamat “Maakera elu ja olu” 1878.

(keedusool, salpeeter) ja 4. põlevaid mineraale (kivisüsi, merevaik) ja ka „meie kodumaa pinda“. Selles peatükis – ei julge küll väita, et esimest korda eesti keeles – kohtame terminit „aluspõhi“ settelise pealiskorra tähenduses.

1885. aastal ilmunud „Looduse õpetuse“ kolmas raamat „Kivide (mineraalide) riik“ on juba süsteemsemalt üles ehitatud – tekst koosneb kolmest põhipeatükist – I Oriktognoosia ehk päris mineraloogia; II Geognoosia ehk kaljumägede lugu; III Geoloogia ehk maakera saamise lugu.

Oriktognoosia peatükk tutvustab põhiteadmisi kristallograafiast, mineraalide üldisi omadusi nagu värvus (karw), kõvadus (kõvadusjärg), kusjuures kasutusel on juba kümme kõvadusastet ehk Mohsi skaala (loodud 1812. a), erikaal (iseraskus), elektrijuhtivus (elektri wägi), läige jt, samuti keemilisi (keemialised ehk lahutuse) omadusi. Siin tutvustab ta ka keemilisi elemente nagu hapnik, vesinik, lämmastik, kloor, süsinik, väävel, räni (sõmer) jt. Oriktognoosia teises alajaotuses kirjeldatakse konkreetseid mineraale, kusjuures on ka need juba klassifitseeritud: 1. Soolad, alajaotustega kaalium ja kaalisoolad, naatron ja naatronisoolad jt. 2. Kivid – konnakivid (kvarts ja kvartsi erimid), päevakivid, sädekivid (vilgud – nimi on tuletatud läikest), rasvakivid (siia kuuluvad väikese kõvadusega mineraalid nagu talk ja serpentiin), küünekidid, savikivid, lubjakivid ja kalliskivid. 3. Metallid, mis omakorda jagunevad kallismetallideks (kuld, hõbe, elavhõbe jt) ja roostetavateks metallideks (raud, vask, seatina, inglistina, nikkel jt). 4. Põlevad mineraalid (kivi- ja pruunsüsi, turvas, merevaik, maaõlid). Savikivide, lubjakivide, põlevate mineraalide hulgast ja teistestki alajaotustest võime tänapäevaste arusaamade järgi leida nii mineraale kui kivimeid.

Geognoosia ehk kaljude õpetuse peatüki sisu selgitab autor ise kõige paremini: „Mineraalisi, mis meie maakera kindla pinna sünnitawad, kutsutakse kaljudeks ehk kaljumägedeks. Kaljud on kas lihtmineraalid ehk segimineraalid.“ Edasine käsitus vajab juba pingsamat tähelepanu ja täpsemaid selgitusi, milleks siinkohal puudub vajadus. Olgu vaid oskussõnade sisu muutumise ilusaks näiteks termin „rabakivi“. J. Kunderi järgi „rabakivid on mitmest teisest mineraalst äraporsumise läbi sündinud.“ Rabakivide hulka kuuluvad rühk, prügi, liiv, kruus, põllumuld.

Geoloogia ehk meie maakera sündimise peatükk käsitleb tänapäevases mõistes ajaloolist geoloogiat. Lisatud on ka lühike nimekiri Eesti paesest aluspõhjast leitud kivistest, mis oma eestikeelsete nimede ja kohati väga tabava iseloomustuse tõttu väärivad siin äratomist:

- *Haukkarbid (terebratula)*, — pealmine koor tasane, alumine kõhukas, peaaegu 3 nurgeline; otsas haugukene.
- *Spirifer* on ilus põigiti kolmenurgaline karp; suu ääred on õiges joones.
- *Ortise (orthis)* karp on kokku litsunud, hulga, pea poolt ääre poole minewate woltidega.
- *Kiwiwähkide (trilobit)* kehal on täieste kolm jagu: pea, kere ja tagumine pool. Keri on 5–30 rõngast koos; need rõngad saavad kahest joonest kolme jakku aetud: keskpaigas nagu selgroog, mõlemil pool nagu küljeluud.
- *Kiwisüdamed (orthoceratites)* on mõnikord jala pikused, rõngalised, peapoolt jämedamad. Kiwistused 4 ja 5 on enamiste ikka üksteise head sõbrad; kus üht leitakse, sealt pole ka teine kaugel.
- *Käupesad (ungulites)* on nagu poolkerad, kummiga kiwistused. Pea jalgsete elajate seltsist.
- *Kõrkjaskorallid (calamopora)* — ridastiku haugukestega.
- *Kõrwakiwi (catenipora)* — waablase kärje nägu. Korall.

J. Kunderi raamatud rikastasid oluliselt eestlaste teadmisi loodusest ning tutvustasid loodusteaduslikku terminoloogiat. Tema raamatuid kasutati koolides Eesti Vabariigi loomiseni ja võib-olla hiljemgi veel. Põhjaliku ülevaate J. Kunderi loodusteaduslikest kirjutistest annab G. Vilbaste (1938), kes peabki J. Kunderi olulisemaks saavutuseks aluse panemist eestikeelsetele loodusteaduslikele oskussõnadele.

Järgmised eesti autori kirjutatud geoloogiaõpikud jäävad juba 20. sajandi teise kümnendisse. Viljaka autorina tõusis esile loodusloo koduõpetaja kutsega **Julius Osvald Kalkun** (1869–1940; aastast 1928 Kaljuvee), kes töötas õpetajana mitmes maakoolis ning ka Peterburi ning Tallinna alg- ja keskkoolides. Aastatel 1920–1922 õpetas ta geoloogiat ja mineraloogiat Tallinna Tehnikumis. Tema sulest ilmus 1911. aastal eesti õppekeelele koolidele ja iseõppijatele mõeldud „Mineralogia käsiraamat“ (joonis 2), mille kordustrükk anti välja 1918. ja 1921. aastal. Algekoolidele kirjutas ta loodusloo lugemiku „Loodusteadlised õpeteekonnad“ (1921, joonis 2), reaalkoolide, tehnikumide, põllutöö keskkoolide, õpetajate seminaride ja neile vastavate õppeasutuste õppurite jaoks oli aga mõeldud „Üldine geoloogia“ (1922, joonis 2). Huvitav on märkida, et „Üldise geoloogia“ meteoriitidest kirjutatud osa joonealuse märkusena pakkus J. Kalkun välja Kaali kraatrite meteoriitse tekke idee, mis kõlab järgmiselt: „*Sarnaseks meteorilöögi jäljeks julgen pidada ka mitmekesisteks vaidlusteks põhjust andvat Kaali järve Saaremaal*“. Seega kuulub J. Kalkunile prioriteet Kaali kraatrite meteoriitse tekke idee autorina, I. Reinwald tõestas seda väidet meteoriidikildude leidmisega 1937. aastal (Viiding, 1993).

„Mineralogia käsiraamatu“ eessõnas kirjutab J. Kalkun, et „... eelseiswa raamatuga loodab raamatu kirjutaja osaltki seda auku täita, mis kiwiriigi tundmaõppimist Eesti keeles tänini takistas. Kordaläinud eestikeelsed nimetused on Kunderi looduseõpetusest uuesse raamatusse üle läinud. Kiwiriigi tundmaõppimine ilma kiwikoguta on ülesanne, mis ka wilunud koolimehel puudulikult korda läheb ...“.



**Joonis 2.** J. Kalkuni geoloogia-alased teosed aastatest 1911–1922.

Mineraloogiaõpikutes on tähelepanuväärne, et võõrkeeltest tuletatud või mugandatud terminitele on pea kõigile püütud leida eestikeelseid vasteid. Olgu siin selgituseks mõned näited J. Kunderi ja J. Kalkuni poolt kasutatud kristallograafia ja mineraloogia terminitest:

<b>J. Kunder (1885)</b>	<b>J. Kalkun (1911)</b>
ruutsüsteem	ruut- ehk tetragonal-süsteem
klinoviltu-ruutsüsteem	längruudu- ehk rhombuse-süsteem
kõwadusjärg	kõwadusejärg
ilakiwi	lubjapagu ehk ilakiwi
kinnawere kiwi	tsinnober ehk suitsukiwi
kirjutussüsi (graphit)	pliatsikiwi ehk grafit
kiwilina ehk asbest	kiwilinad ehk asbest
luulubi ehk apatiit	apatit
maapigi, juudapigi (asphalt)	asfalt ehk maapigi
nõiasool, imesool, klaubrisool	glaubrisool
potas, pottsool, tuhasool	kaaliumkarbonaat, potas, $K_2CO_3$
raswakivid ehk talk	talk ehk raswakiwi

Neis mineraloogiaõpikutes tuntakse „kassikullana“ ja ka „kassihõbedana“ väikeseid läiki-vaid vilguterakesi või -tükikesi kivimites. Hiljem on rahvapärane nimetus „kassikuld“ kuulunud ikka vaid püriidile ( $FeS_2$ ).

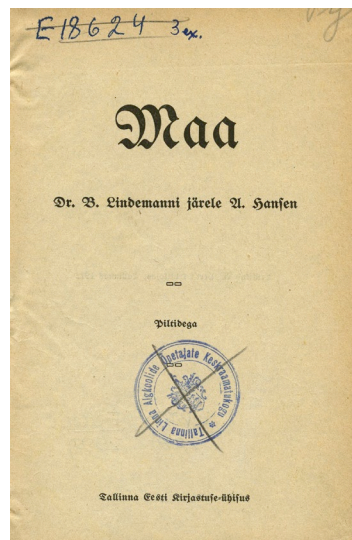
Natuke naljakas, kuid väga armas on mineraalide kirjeldamise viis. Olgu siin näiteks, kuidas erinevad autorid on kulda iseloomustanud. J. Kunder: *Kuld on üks kallis metal; ta ei roosteta millalgi. Kullal on iseäranis ilus karw ja läige. Teda leitakse mõne jõe liiwast ja kaewandusest, kus ta kildkiwide sisse on kasvanud.* J. Kalkun: *Kulla läige on tugew metalliline, wärw iseloomuline kollane. Mida enam aga hõbedat kullale juurde on segatud, seda heledam on ta karw. Kuld on ülisitke ja weniw, nii et kopika suuruse tükiga wõimalik on ratsameest ühes hobusega ära kullata.*



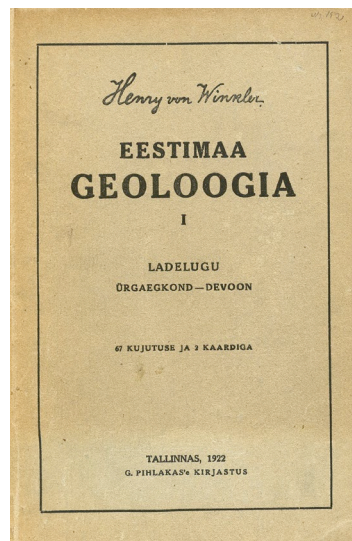
Kuid juba pool sajandit hiljem on autori isiklik suhe kirjeldatavaga kadunud, stiil on faktipõhine ja lakooniline: „Värvus kuld kollane. Kriips metallselt kollane. Läge metalne. Kuld esineb hüdrotermaalsetes moodustistes iseseisvate teradena või suletistena sulfiidides. Murenemisel säilib ja võib ümbersekkimisel suure erikaalu tõttu kontsentreeruda uhtemurenditena“ (Ojaste jt 1964). Sellest omakorda kolmkümmend viis aastat hiljem saame A. Raukase (2000) sule läbi teada, et: „... kuld on ka kindlate keemiliste ja kristallograafiliste tunnustega ehe mineraal. Olles keemiliselt väga püsiv, otsib ta oma pehmuse tõttu kaitset ning on looduses enamasti peitunud kõvematesse mineraalidesse (kvartsi, sulfiididesse), mille murenemisel ja ümbersekkimisel ta koondub suure tiheduse tõttu murendaalatesse“.

20. sajandi esimesse veerandisse mahuvad ka kaks geoloogilisi teadmisi rikastavat tõlkeramatut. Dr. **Bernhard Lindemanni** „Maa“ (Lindemann, B. Die Erde. Stuttgart, 1912), mis juba samal aastal Anton Hanseni (A. H. Tammsaarel) tõlkes anti välja ka eesti keeles (joonis 3), ja **Henry von Winkleri** „Eestimaa geoloogia. I. Ladelugu. Ürgaegkond – Devoon“ (joonis 4) J. Kalkuni tõlkes 1922. aastal. Akadeemik **Karl Orviku** (1978a, b), kes on Eesti geoloogiat käsitlevat kirjandust ja eestikeelset geoloogilist sõnavara mitmekülgset uurinud, väidab, et B. Lindemanni „Maa“ tõlkes on 1560 eestikeelset oskussõna, millest ainult 13% ehk 203 sõna on muutumatult jõudnud 1963. aastal ilmunud „Vene-eesti geoloogia sõnastikku“ (Orviku jt 1963). K. Orviku on oma analüüsis lugenud erinevusteks ka kõige väiksemaidki lahknevusi tolleaegse ja 1960-ndate aastate kirjaviisi vahel. Kui aga jätta kirjaviisi erinevused tähele panemata, on kattuvaid termineid 24%. Samal ajal on enamik oskussõnu juba varasemas geoloogilises kirjanduses kasutusel leidnud ja vaid 203 terminit on esmakordsed.

„Maa“ tõlkija loominguks võib pidada tervet rida liitsõnu, nagu *jävaheaeg, käsijalgne, naftaallikas, põhjavesi, leetseljak* jt. Tähelepanu väärrib ka ajaloolise geoloogia peatüki ülesehitus – Maa ajalugu tutvustatakse vastupidiselt sellele, millega me oleme tänapäeval harjunud. Peatükk „Ilma-ead“ algab diluuiumi ehk jää-aja kirjeldusega ning lõpeb ülevaatega Azoa-ajajärgust ja maakera alg-seisukorrast. Kõik ülejäänud peatükid raamatust kirjeldavad füüsikalise geoloogia nähtusi. Üllatav oli B. Lindemanni raamatust leida tähelepanekut meie sinisavi kohta. Peatükis „Sawikiwide ümbermuutumine“ kirjutab ta: „... niisugune nähtus – et wanemad sawikiwid kildlised on, nooremad aga mitte – on väga silmatorkaw“. Ja edasi: „On erandeid, wäga silmatorkawaid erandeid /.../ Meie Lääne mere mail leidub pudeda, mureda sawi kihtisid, mis oma wälimuse poolest wäga noored on; tõepoolest on nad aga kambriumi-ajajärgust pärit. Nad lamawad juba määramata kauda oma paigal, aga siiski pole nad sugugi muutunud“.



Joonis 3. B. Lindemanni „Maa“.



Joonis 4. H. Winkleri „Eestimaa geoloogia“ (1922).

Mõned terminid ja nende selgitused B. Lindemanni raamatust „Maa“:

<b>Termin</b>	<b>Termini selgitus</b>
graptolithid	kirjakiwid, wiilikorallid (Hydromedusade klass)
Hirmusaurus	selgitus puudub (see võis ainult Tyrannosaurus ollal)
kolmelapilised vähid	trilobidid
mere-õunad	ehhinosfäriidid
soladid	puurijad karploomad (karpelajad)
kaljutõug	[kivim]
vajusekivid	[settekivimid]
järwekriit	aasamergel
karpelajate lubi	[karplubjakivi]
mererohu-lubi	vetiklubjakivi
gneis	waresekiwi
granit	raudkiwi
konna- ehk harakakiwi	kwarts
konna-punakiwi	konnakiwi-porfir
sädetahwlikiwi	vilgukilt
jääliugustiku põhjakiwid ehk põh-jawall	[põhimoreen]
kortsumägestik	voldimägestik [kurrutusmäestik]
mere kraav	merepõhja nõgu [süvik]
merelainete puremine	[murrutus]
põrmukord	[murenemiskoorik]
puremäed	erosionimäed
purtsallikas	õusker-allikas

*Märkus:* Kui autoril (tõlkijal) termini selgitus puudub, on tänapäevane mõiste nurksulgudes.

Juba mainitud H. von Winkleri „Eestimaa geoloogia“ (1922) ja H. Bekkeri „Ajaloolise geoloogia õpperaamat“ (1923, joonis 5) käsitlevad ajaloolist geoloogiat ja Eesti geoloogilist ehitust. Henry von Winkler (1870–1947) oli Tallinna linna keemik ja bakterioloogialabori juhataja, kelle keemia- ja geoloogia-alased huvid ja teadmised pidid olema väga laialdased. Oma raamatus annab ta Eesti geoloogiast ülevaate ladestute ja lademetete tasemel, kusjuures hämmastavad on pikad faunanimestikud iga lademe juures. Võib arvata, et see teos on sündinud selleks ajaks ilmunud Eesti ja naaberriikide geoloogilisi probleeme käsitleva saksa-, vene- ja muukeelsete uurimuste põhjaliku tundmise ja materjali oskusliku kasutamise tulemusena. Raamat algab oskussõnade seletusega viiel leheküljel, raamatu lõpus on toodud „Kirjandusliste allikate juhataja“, mis sisaldab 173 nimetust teaduskirjandust, lisaks veel kümnekond õpikut ja teatmeteost. Pole teada, kas H. Winkleri „Eestimaa geoloogia“ ka õpperaamatuna kasutati, kuid süsteemse ülesehituse ning aine lühida ja konkreetse esituse tõttu oleks ta selleks sobinud küll.

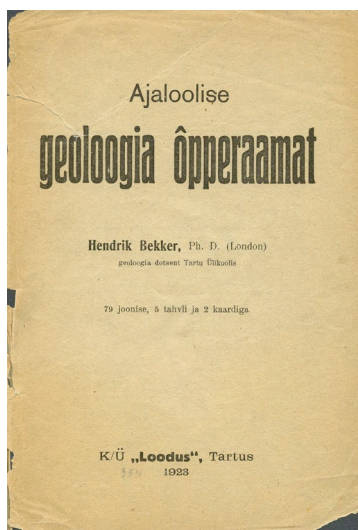
**Hendrik Bekker** (1891–1925) oli esimene eesti rahvusest geoloogia eriharidusega isik. Tema „Ajaloolise geoloogia õpperaamat“ (1923) oli mõeldud koolidele (joonis 5). H. Bekker kirjutab raamatu eessõnas: „*Kuna meie koolides ka geoloogia tarvis teatav arv tundisid on arvesse võetud, tundub vist kõige teravamini ajakohase õpperaamatu puudus*“. Samuti märgib ta, et „... *kokkuseadmise materjaliks on olnud Eesti geoloogiat puudutav erikirjandus, uuemad inglise, saksa õppe- ning käsiraamatud ja uuemad geoloogilised tööd geoloogilistes ajakirjades*“. Täpsemalt pole aga selgitatud missuguste koolide missugusele astmele oli õpik mõeldud, kuid aine valiku ja esituslaadi põhjal võiks arvata, et gümnaasiumi nooremale astmele käis õpik ilmselgelt üle jõu. Raamatu esimene peatükk on pühendatud faunagruppide ülevaatele, millele järgneb kõikide ladekondade ja ladestute kirjeldus. Lademe tasemel peatub ta Eestis esinevatel üksustel. Erinevalt H. Winklerist puudub H. Bekkeri raamatul kasutatud kirjanduse loetelu.

Huvitav on võrrelda H. von Winkleri ja H. Bekkeri raamatu keelt ja stiili. Toome näiteks Rakvere lademe iseloomustuse. H. von Winkler (õigemini on see vist küll tõlkija terminoloogia ja stiili näide) kirjeldab Rakvere ladet järgmiselt: „*Rakwere kihi kiwi on tihe, kollakas või sinakas lubjakivi, hariliselt litograafikiwi välimusega, murdub mitme cm paksustes plaatides, mis üksteisest õhukeste mergelkordade läbi on lahutatud, ja sisaldab kohati ka kristalliinseid wahekihte pindliste murruserwadega, kuna tihedamad kiwid enam lohklit murupinda ilmutavad*“. Sama lademe iseloomustus H. Bekkeri pilgu ja sule läbi: „*Rakvere lubjakivi rabeneb konarliste pindadega tükideks. Mõnedes kihtides on palju vetikate jäänuseid. Iseäranis rohkesti on Rakvere kihtides aga vetikas Cyclocrinus esinemas. Lubjakivi on tihe, väga peeneteraline, arvatavasti lubimuda-settest tekkinud*“.

Järgnevalt mõned huvitavad terminid H. von Winkleri „Eestimaa geoloogiast“:

Termin	Termini selgitus
graptoliidid, kiwikorallid	kruwis paela moodi loomakeste koloniid
liguloomad e infusoorid	üherakulised kestaga varustatud loomakesed, ilmuvad seisvates orgaaniliste ainete ligudes
jõgisuulademed	jõgedes suudes soolase- ja mageda-vee segust sadunud lademed
kihikiwid	lõhkekivad ikka enam vähem lameda pinnalisteks lestadeks ja lehekesteks, mille läbi „kihid“ awalikuks tulevad
mäetõug	enam vähem ühtlane, terveid mägesid ehk laialdasi kihtisid sünnitaw mineraalne (Eestis ürg- ehk rüngastõug, sadetõud, tuisktõug)
rüngastõud	tulisulast olekust tardunud, ilma kihilise iseloomuta mäetõud
paelsawi	ilma kiwiaine wahelduseta selgesti kihiliselt esinew sadetõug sawisogast
lahunema	keemiline protsess, mille juures aine osad lahku lähewad
sulastuma	wahendis sulama, näit. sool wees; sellest sulastus, sulang, sulastuw
ulgukiwid (erratilised)	Kalewipoja räpsukiwid. Aluspaigast wee (jää) tegewuse läbi kaugele kantud kiwid. Enamasti raudkiwi, gneis, süeniit, dioriit jne



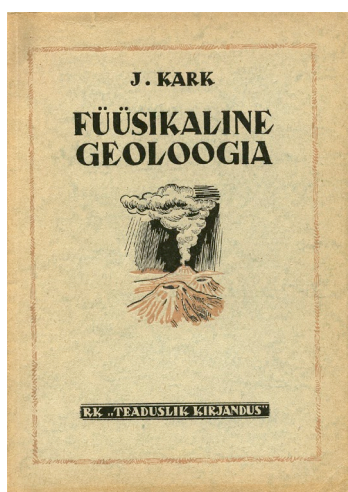
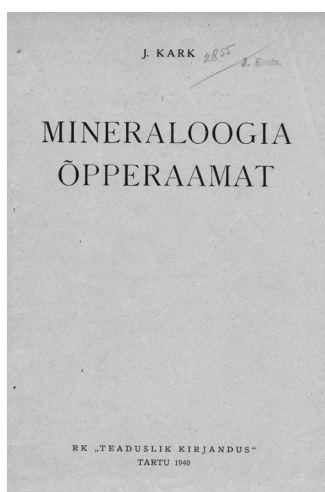


**Joonis 5.** H. Bekkeri “Geoloogia õpperaamat” (1923).

Eeltoodu põhjal võib tänapäeva lugeja mõne termini juures tõdeda, kuidas tundmatu tundmatu kaudu selgitatakse.

H. Bekkeri „Ajaloolise geoloogia õpperaamatus“ puudub eraldi välja toodud sõnastik. Terminite selgitusi võib leida tekstist või neist aru saada oma varasemaid teadmisi kasutades. Mõnikord on autor seletanud ka geoloogilises tekstis kasutatud mitteerialaste sõnade tähendust. Tänapäeva seisukohast on need kohati kas üleliigsed või on sõnade tähendus aja jooksul oluliselt muutunud. Esimesele väitele olgu näiteks: *hävunud* ehk välja surnud, *edene mine* ehk evolutsioon jms. Tänapäevasesest erinev sisu on aga sõnadel *laialilagunemine*, mis tähendab levimist (ruumis), *kihi asendus* märgib aga kihi asukohta või kihtide järjestust. Võõle vastav aeg on *põlv*, kihile vastav aeg aga *välde*. Kõigest sellest hoolimata on raamat ka tänapäeval üsna kergesti loetav ja arusaadav.

Seega oli 20. sajandi esimese veerandi lõpuks ilmunud neli algupärast eestikeelset õpperaamatut – üks üldise geoloogia õpik, kaks mineraloogia õpikut ja üks ajaloolise geoloogia küsimusi ning Eesti geoloogiat, stratigraafiat ja faunat käsitlev väljaanne. Õpperaamatute osas järgneb neile trükistele ligi kahekümneaastane paus ja alles 1940. aastal ilmub järgmine „Mineraloogia õpperaamat“ (joonis 6) ning 1946. aastal ka „Füüsikaline geoloogia“ (joonis 6), mõlema autoriks on professor **Jaan Kark**. Need väljaanded on mõeldud eeskätt Tallinna Polütehnilise Instituudi õpikuteks. „Füüsikalise geoloogia“ eessõnas kirjutab J. Kark: „*Nüüd, mil õppimine kõrgemas koolis peab sündima vähima ajakuluga nõukogulikus tempos, ei saa leppida säärase olukorraga, mispärast tuligi kiires korras koostada vastav eestikeelne õpperaamat*“. „Säärase olukorra“ all peab professor J. Kark silmas vähese vene keele oskusega noori, kes on sunnitud läbi ajama vaid loengumärkmetega. Üllatavalt kaasaegne on nende õpikute keel ja stiil, kuid puutuvad silma ka mõned terminid, mis nüüdseks on



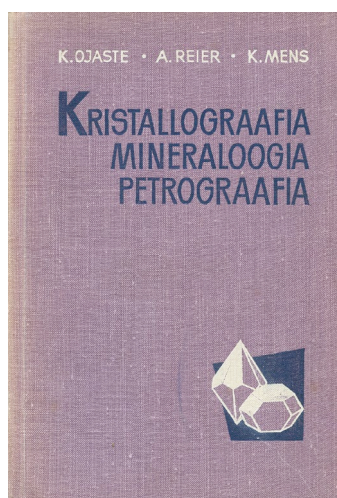
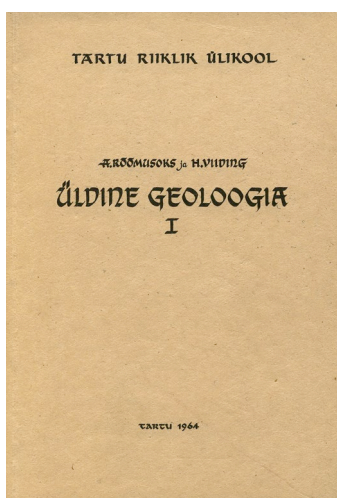
**Joonis 6.** J. Karki “Mineraloogia õpperaamat” (1940) ja Füüsikaline geoloogia (1946).

unustusehõlma vajunud või leiavad vähest kasutust. Näiteks:

Termin	Termini selgitus
diatreem	vulkaanipurskel purske kivimiga täitunud lõõr
ekstrusioon	magma väljumine maapinnale
geotrumor	maakoore tõus magma paisumise tõttu
gyttja	järvekriit või -mergel, (tänapäeval jütja, kasutatakse järve-muda ehk sapropeeli tähenduses)
kar, karid ehk orvandid	liustiku erikujulised kõrvalorud
kurised	sisselangenud väikesed karstikoopad
kõristiaugud	hiukirnud
ookeanide permanents	arvamus, et merelised basseinid on kogu geoloogilise aja jooksul olnud samal kohal
transversaallained	ristlained

Aastatel 1946–1961 ei ilmunud ühtki geoloogia õpperaamatut, kuigi just 1950-ndatel aastatel olid Tartu Ülikooli geoloogia osakonnas suured, kuni 25 üliõpilasega kursused ning õpikuid oleks hädasti vaja olnud. Küllap on siin nii objektiivseid kui subjektiivseid põhjusi. Kasvõi asjaolu, et potentsiaalsed autorid – kõrgkoolide õppejõud – olid väga noored, ise alles äsja tudengid olnud. Eelmise põlvkonna geoloogid olid sõja tõttu laia ilma pillutatud, siiajääjad aga koormatud paljude kohustustega. Kuid 1962. aastal ilmus siiski Tartu Ülikooli geoloogia kateedri õppejõudude **Arvo Rõõmusoksa** ja **Herbert Viidingu** autorluses „Üldine geoloogia“ I osa, milles tutvustatakse Maad maailmaruumis, Maa ehitust, geokronoloogia mõisteid ja meetodeid, kristallograafiat, mineraloogiat ning kivimitüüpe. Niisuguse õpiku vajalikkust kinnitavad selle kordustrukid aastatel 1964 (joonis 7) ja 1970. Raamatu II osa jäigi kahjuks ilmumata.

Tallinna Polütehnilise Instituudi mäeosakonna üliõpilasi silmas pidades koostasid tollased õppejõud **Kalju Ojaste**, **Alfred Reier** ja **Kaisa Mens** mineraale ja kivimeid tutvustava õpiku



Joonis 7. 1960–1970ndatel ilmunud geoloogia õpperaamatuid.

„Kristallograafia. Mineraloogia. Petrograafia“ (1964, joonis 7). See põhjalik (kohati isegi liiga) ja veidi raskepärane õpik ei saavutanud erilist populaarsust, kuid seda kasutatakse veel tänapäevalgi. Raamatust vajaliku leidmist oleks kindlasti hõlbustanud aineregistri olemasolu. Samal ja järgmisel kümnendil lisandusid TPI mäekateedri loengutele täiendavat materjali pakkuvad **K. Ojaste** hüdro- ja ehitusgeoloogia küsimusi käsitlevad brošüürid (1965, 1967) ning **A. Reieri** juhend mineraalide ja kivimite määramiseks (1970).

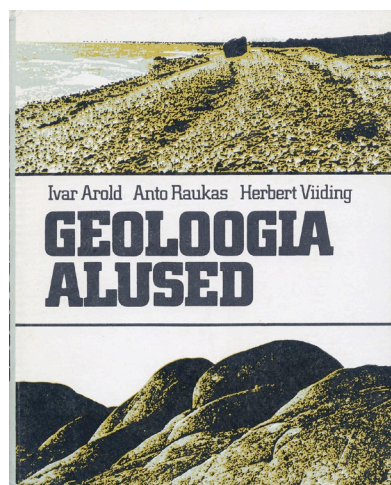
Aastatel 1970–1980 koostasid ka Tartu Ülikooli õppejõud mitmeid rotaprindi väljaandeid kitsamate erialade paremaks õpetamiseks ja loengumaterjali kinnistamiseks (Viiding 1971, Loog & Oraspõld 1982, Rõõmusoks 1983a jt; joonis 8). Mõned neist trükistest ongi varustatud alapealkirjaga „Valik loengute illustriativsest materjalist“. Joonised neis brošüürides on must-valged, väikesed ja kaardiskeemid kohati väga tiheda informatsiooniga ning raskesti loetavad. Mingisugune abi võis neist väljaannetest ollagi, kuid selleaegne trükitehniline tase oli nii vilets, et õppejõudude head kavatsused ei kandnud tõenäoliselt loodetud vilja.



**Joonis 8.** 1970–1980ndatel Tartu Ülikoolis ilmunud õpikuid.

Mõnevõrra kopsakam üldgeoloogia küsimusi käsitlev ja õpikuna kasutust leidnud väljaanne „Geoloogia alused“ ilmus 1987. aastal (joonis 9). Selle autorid geograaf **Ivar Arold** ning geoloogid **Anto Raukas** ja **Herbert Viiding** selgitavad raamatu väljaandmist vajadusega „... üldgeoloogia küsimusi käsitleva originaalse ja nüüdisaegse eestikeelse ülevaate järele, mis on kasvanud koos geoloogia probleemide osakaalu suurenemisega meie elus, eriti seoses maapõuerikkuste ratsionaalse kasutamise, nende varude täiendamise ning järjest keerukamaks muutuvate keskkonnakaitseküsimuste lahendamisega“. Üldgeoloogia probleeme on püütud käsitleda kooskõlas vastava kursuse programmiga kõrgkoolis.

Otseselt õpperaamatuteks pole mõeldud Eesti geoloogia tunnustatud uurijate A. Rõõmusoksa, H. Viidingu ja A. Raukase 1980-ndatel aastatel välja antud ja tollase määrangu järgi „laiale lugejaskonnale“ suunatud vähem või rohkem populaarteaduslikud raamatud.



**Joonis 9.** 1987. aastal ilmunud „Geoloogia alused“.



Professor **A. Rõõmusoksa** koostatud „Eesti aluspõhja geoloogia“ (1983b, joonis 10) annab hea ülevaate 1980-ndate aastate alguseks kogunenud teadmistest Eesti aluspõhjageoloogiast. Nagu autor märgib, on raamatu aluseks paljude aastate vältel Tartu geoloogiaüliõpilastele peetud loengud ning teadlikult on välditud liigset detailsust. Raamat on siiani heaks käsiraamatuks kõikidele spetsialistidele aluspõhja geoloogia küsimustes.

1984. aastal ilmunud **H. Viidingu** raamatu „Eesti mineraalid ja kivimid“ üheks ülesandeks on autori sõnusti „...tulla asjaarmastajatele appi Eesti mineraalide ja kivimite määramisel.“ Raamatus on kirjeldamist leidnud ligikaudu kaheksakümmend mineraali ja samapalju Eestis leiduvat kivimitüüpi. Määramist hõlbustavad mitmed tabelid ja fotod. Loodushuvilisi silmas pidades on kirjutatud ka **A. Raukase** „Eestimaa viimastel aastamiljonitel“ (1988), mis annab ülevaatliku pildi Eesti maa-alal Kvaternaari ajastul toimunud.

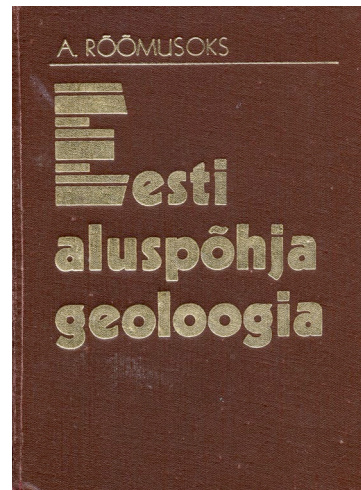
Eesti iseseisvuse taastamise järgsel ajal on ilmunud kuus õpikuks mõeldud väljaannet, neist 21. sajandil aga täpselt ühe käe sõrmede jagu. Esimese nelja väljaande ühiseks nimetajaks on see, et nende autoriks on kõrgkooli õppejõud, kes õpiku koostamisel on aluseks võtnud oma loengukursuse vajadused.

Tartu Ülikooli geoloogia osakonna õppejõudude **Volli Kalmu**, **Juho Kirsi**, **Kalle Kirsimäe** ja **Tiia Kurvitsa** koostatud „Mineraalid ja kivimid“ (joonis 11) ilmus 1999. aastal. Raamatu tutvustatakse kui kasulikku täiendmaterjali loengutele. Tekst on lakooniline, kuid paljude võõrkeeltest tuletatud või tõlgitud vähekasutatud erialaste terminitega üle kuhjatud.

Professor **Enn Pirrus**, pidades silmas Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituudi geoloogia õppeprogrammi, seadis kokku kaks loengukursustele olulist lisa pakkuvat raamatut „Maavarade geoloogia“ (2000, joonis 11) ja „Eesti geoloogia“ (2001, joonis 11). Ladusalt kirjutatud tekst võib lisaks üliõpilastele olla abiks ka Eesti geoloogia ja maavaradega kokkupuutuvaltele töötajatele.

Akadeemik **Anto Raukase** 2003. aastal ilmunud „Geoloogia ja geofüüsika alused“ (joonis 11) oli mõeldud Eesti Mereakadeemia hüdrograafia ning hüdrometeoroloogia ja loodushoiu eriala üliõpilastele. Raamat on üles ehitatud ikka tavapärase skeemi järgi: Maa kosmiline asend, Maa ehitus, mineraalid ja kivimid ning sise- ja välisjõud, Eesti geoloogilise ehituse põhijooned jne. Pealkirjas esile tõstetud „geofüüsika“ hõlmab aga raamatu 168-st leheküljest vaid kümme.

21. sajandi alguses käivitas Haridus- ja Teadusministeerium programmi „Eestikeelne kõrgkooliõpik“. See programm on maateaduste osas andnud kaks põhjalikku väljaannet. Esimene neist on professor **Ülo Manderi** ja **Ülle Liiberi** koostatud „Üldmaateadus“ (2014, joonis 11). Raamatu kaks mahukat peatükki „Litosfäär“ (autorid **Juho Kirs**, **Kalle Kirsimäe**, **Madis Rubel** ja **Igor Tuuling**) ning „Maa pinnamood ja seda mõjutavad tegurid“ (autorid **Tiit Hang** ja **Volli Kalm**) on kirjutatud geoloogide poolt ja moodustavad raamatu mahust tervelt kolmandiku. Kaunis ja igas mõttes tasakaalus olev raamat on tõhusaks täienduseks vähestele geoloogiaõpikutele. Teine ja seni viimane õpikuks mõeldud väljaanne on geoloogiadoktor **Kaarel Orviku** „Rannad ja rannikud“ (2018, joonis 11), milles kauaaegne Eesti rannikegeoloogia uurija esitab loogilisse järjestusse seatult ning kergesti loetavas vormis



**Joonis 10.** A. Rõõmusoksa „Eesti aluspõhja geoloogia“ on tänuväärne teatmeteos tänaseni.



**Joonis 11.** Alates 1990ndatest ilmunud geoloogia-alaseid õpikuid.

ja rohkete illustatsioonidega täiendatult oma uurimistulemusi. Lisaks üliõpilastele pakub see väljaanne kindlasti huvi ka laiemale lugejaskonnale.

On tähelepanuväärne, et õpikute keel ja stiil muutus juba 1920-ndate aastate alguses lähedaseks tänapäevasele ja hiljem ei lisandu kuigivõrd ka uusi eestikeelseid termineid. Siinkohal ei ole arvestatud mõne sõna kirjaviisi muutust. Rohkem võib olla neid termineid, mis on tänapäeval hüljatud või unustatud. Erialatermini ühetähenduslikkuse tagamiseks kasutatakse tänapäeval siiski rohkem teistest keeltest laenatud ja juba kindla sisu omandanud termineid kui eesti oma sõnu. Geoloogilist terminoloogiat koondab hulgaliselt 1963. aastal ilmunud „Vene-eesti geoloogia sõnastik“, mis omal ajal abistas venekeelsete artiklite ja aruannete kirjutamisel ning täitis sellega oma eesmärgi. Liiga palju oleks tahtnud, et see oleks olnud seletav sõnaraamat. Tänapäevase geoloogia sõnaraamatu puudumist korvab mingil määral hea tava lisada õpikutele ja teistelegi väljaannetele lühisõnastikke tekstis kasutatud terminite selgitamiseks.

Eestikeelse geoloogilise terminoloogia arengule ja korrastamisele on kindlasti kaasa aidanud ajakiri „Eesti Loodus“ (ilumisaastad 1933–1940 ja 1958–siiani) ning ENE (1968–1976) ja ENE–EE (1985–2007) väljaandmine. Entsüklopeedia köidetes on kõik geoloogia märksõnad erialaspetsialistide kirjutatud.

Olulisem eestikeelne originaalne geoloogiline õppekirjandus (1878–2018):

<b>Aasta</b>	<b>Trükise autor, pealkiri, ilmumise andmed ja digikooopia e-aadress</b>
1878	<b>Kunder, J.</b> (toimetaja). <i>Maakera elu ja olu. Õpetlik raamat koolile ja kodule</i> . Eesti Kirjameeste Seltsi toimetused nr 23. G. Schnakenburgi trükk ja kulu, Tartu, 72 lk. <a href="https://www.etera.ee/zoom/1200/view?page=70&amp;p=separate&amp;tool=info&amp;view=0,0,1817,2980">https://www.etera.ee/zoom/1200/view?page=70&amp;p=separate&amp;tool=info&amp;view=0,0,1817,2980</a>
1879	<b>Kunder, J.</b> <i>Weikene Looduse õpetus. Elajate, taimede ja kivide lugu</i> . Eesti alamatele koolidele. Eesti Kirjameeste Seltsi toimetused nr 22. G. Schnakenburgi kirjad ja kulu, Tartu, 104 lk. <a href="https://www.digar.ee/arhiiv/nlib-digar:100459">https://www.digar.ee/arhiiv/nlib-digar:100459</a>
1885	<b>Kunder, J.</b> <i>Looduse õpetus. Kolmas raamat: Kivide (mineraalide) riik</i> . Koolmeistritele, koolidele ja iseõpetuseks. Eesti Kirjameeste Seltsi toimetused nr 21. G. Schnakenburgi trükk ja kulu, Tartu, 60 lk. <a href="https://digi.lib.ttu.ee/i/?5246">https://digi.lib.ttu.ee/i/?5246</a>
1911	<b>Kalkun, J.</b> <i>Mineralogia käsiraamat. Kiwiriigi tundmaõppimiseks. Eesti õpekeelegra koolidele ja iseõppijatele</i> . August Buschi raamatukaupluse kirjastus, Tallinn, 157 lk. II täiendatud trükk 1918, III täiendatud trükk 1921. <a href="https://digikogu.taltech.ee/et/Item/6fc45ea5-4eea-42e3-bf00-bfccaf441a26">https://digikogu.taltech.ee/et/Item/6fc45ea5-4eea-42e3-bf00-bfccaf441a26</a>
1921	<b>Kalkun, J.</b> <i>Loodusteadlised õppeteekonnad</i> . 1. aasta. Loodusloo lugemik algkoolidele. Kirjastus Ühisus „Kool“, Tallinn, 178 lk. <a href="https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:427729/363518/page/1">https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:427729/363518/page/1</a>
1922	<b>Kalkun, J.</b> Üldine geoloogia. Reaalkoolidele, tehnikumidele, põllutöö keskkoolidele, õpetajate seminaridele ja neile vastavatele õppeasutustele. G. Pihlakas'e kirjastus, Tallinn, 123 lk. <a href="https://www.digar.ee/id/nlib-digar:948985">https://www.digar.ee/id/nlib-digar:948985</a>
1923	<b>Bekker, H.</b> <i>Ajaloolise geoloogia õpperaamat</i> . K/Ü Loodus, Tartu, 112 lk. <a href="https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:435953/371242/page/1">https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:435953/371242/page/1</a>
1940	<b>Kark, J.</b> <i>Mineraloogia õpperaamat</i> . Teaduslik Kirjandus, Tartu, 287 lk. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19820">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19820</a>
1946	<b>Kark, J.</b> <i>Füüsikaline geoloogia</i> . Teaduslik Kirjandus, Tartu, 173 lk. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/12314">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/12314</a>
1962	<b>Röömusoks, A. &amp; Viiding, H.</b> Üldine geoloogia. I osa. Tartu Riikliku Ülikooli rotaprint, geoloogia kateeder, Tartu, 165 lk. II trükk 1964, III trükk 1970. <a href="https://www.digar.ee/arhiiv/nlib-digar:322322">https://www.digar.ee/arhiiv/nlib-digar:322322</a>
1964	<b>Ojaste, K., Reier, A. &amp; Mens, K.</b> <i>Kristallograafia. Mineraloogia. Petrograafia</i> . Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 463 lk. <a href="https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:384988/337984/page/1">https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:384988/337984/page/1</a>
1967	<b>Ojaste, K.</b> <i>Hüdrogeoloogia</i> . Tallinna Polütehnilise Instituudi mäekateeder, Tallinn, 140 lk., II trükk 1974. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/15770">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/15770</a>
1970	<b>Reier, A.</b> <i>Metoodiline juhend mineraalide ja kivimite määramiseks</i> . Tallinna Polütehnilise Instituudi mäekateeder, Tallinn, 98 lk.
1971	<b>Viiding, H.</b> <i>Mineraalide kristallooptiline uurimismeetod. Magma- ja metamorfsete kivimite petrograafia osa</i> . Tartu Riikliku Ülikooli rotaprint, geoloogia kateeder, Tartu, 159 lk. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/13769">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/13769</a>
1973	<b>Kink, H. &amp; Sepp, M.</b> Üldise geoloogia praktikum: mineraalid ja kivimid. Eesti Põllumajanduse Akadeemia rotaprint, maaparanduse kateeder, Tartu, 28 lk. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19461">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19461</a>

1974	<b>Ojaste, K.</b> <i>Geoloogiliste protsesside ja nähtuste osatähtsus ehitusgeoloogias</i> . Loengukonspekt, Tallinna Polütehnilise Instituudi mäekateeder, Tallinn, 84 lk. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19460">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19460</a>
1977	<b>Reier, A.</b> <i>Mineraalid ja kivimid</i> . Õppevahend ehitusteaduskonna üliõpilastele laboratoorseteks töödeks aines „Ehitusgeoloogia“. Tallinna Polütehnilise Instituudi mäekateeder, Tallinn, 92 lk. II trükk 1981. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/31550">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/31550</a>
1982	<b>Loog, A. &amp; Oraspõld, A.</b> <i>Settekivimite ja setete (setendite) uurimismeetodid</i> : õppevahend kõrgkooli geoloogia erialal. Tartu Riikliku Ülikooli rotaprint, geoloogia kateeder, Tartu, 83 lk.
1983a	<b>Rõõmusoks, A.</b> <i>Abiks selgroogsete paleontoloogia õppijaile: valik loengute illustratiivsest materjalist</i> . Tartu Riikliku Ülikooli rotaprint, geoloogia kateeder, Tartu, 63 lk. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19458">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19458</a>
1983b	<b>Rõõmusoks, A.</b> <i>Eesti aluspõhja geoloogia</i> . Valgus, Tallinn, 224 lk. <a href="https://dspace.ut.ee/handle/10062/16511">https://dspace.ut.ee/handle/10062/16511</a>
1984	<b>Oraspõld, A.</b> <i>Fatsiaalne analüüs</i> . Tartu Riikliku Ülikooli rotaprint, geoloogia kateeder, Tartu, 64 lk. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19457">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19457</a>
1984	<b>Viiding, H.</b> <i>Eesti mineraalid ja kivimid</i> . Valgus, Tallinn, 248 lk. <a href="https://www.etera.ee/s/cNxQg7z0nS">https://www.etera.ee/s/cNxQg7z0nS</a>
1986	<b>Vilo, A.</b> <i>Ehitusgeoloogia</i> . Õppevahend kõrgkooli geoloogia erialal. Tartu Riikliku Ülikooli rotaprint, geoloogia kateeder, Tartu, 110 lk. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19626">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19626</a>
1986	<b>Arold, I., Raukas, A. &amp; Viiding, H.</b> <i>Geoloogia alused</i> . Valgus, Tallinn, 198 lk. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19729">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19729</a>
1988	<b>Oraspõld, A. &amp; Loog, A.</b> <i>Abiks litoloogia õppijaile. Valik loengute illustratiivsest materjalist</i> . Tartu Riikliku Ülikooli rotaprint, geoloogia kateeder, Tartu, 56 lk. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19456">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/19456</a>
1988	<b>Raukas, A.</b> <i>Eestimaa viimastel aastamiljonitel</i> . Valgus, Tallinn, 280 lk. <a href="https://dspace.ut.ee/handle/10062/24466">https://dspace.ut.ee/handle/10062/24466</a>
1991	<b>Oraspõld, A. &amp; Kirs, J.</b> <i>Abiks regionaalgeoloogia ja geotektoonika õppijaile</i> . 1. Tartu Riikliku Ülikooli rotaprint, geoloogia kateeder, Tartu, 64 lk.
1999	<b>Kalm, V., Kirs, J., Kirsimäe, K. &amp; Kurvits, T.</b> <i>Mineraalid ja kivimid</i> . Maakoore mineraalne ja kivimiline koostis, mineraalide ja kivimite omadused ja tüübid, tekkeprotsessid ja levik. Õpperaamat kõrgkooli loodusteaduste üliõpilastele. Tartu Ülikooli geoloogia instituut, Tartu, 96 lk. <a href="https://www.etera.ee/zoom/48082/view?page=1&amp;p=separate&amp;tool=info&amp;view=0,0,1981,3027">https://www.etera.ee/zoom/48082/view?page=1&amp;p=separate&amp;tool=info&amp;view=0,0,1981,3027</a>
2000	<b>Pirrus, E.</b> <i>Maavarade geoloogia</i> . Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Tallinn, 83 lk. <a href="https://digi.lib.ttu.ee/i/?153">https://digi.lib.ttu.ee/i/?153</a>
2001	<b>Pirrus, E.</b> <i>Eesti geoloogia</i> . Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Tallinn, 72 lk. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/15666">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/15666</a>
2003	<b>Raukas, A.</b> <i>Geoloogia ja geofüüsika alused</i> . Eesti Mereakadeemia. Tallinn, 168 lk. <a href="https://kirjandus.geoloogia.info/reference/20900">https://kirjandus.geoloogia.info/reference/20900</a>
2014	<b>Mander, Ü. &amp; Liiber, Ü.</b> (koost.). Üldmaateadus. Õpik kõrgkoolidele. Tartu Ülikool, Loodus- ja tehnoloogiateaduskond, Ökoloogia ja Maateaduse Instituut, Tartu, 486 lk.
2018	<b>Orviku, K.</b> <i>Rannad ja rannikud</i> . Õpik kõrgkoolidele. ACTA Universitatis Tallinnensis. Realia et Naturalia. Tallinna Ülikool, TLÜ Kirjastus, Tallinn, 349 lk. <a href="https://www.digar.ee/arhiiv/nlib-digar:395429">https://www.digar.ee/arhiiv/nlib-digar:395429</a>

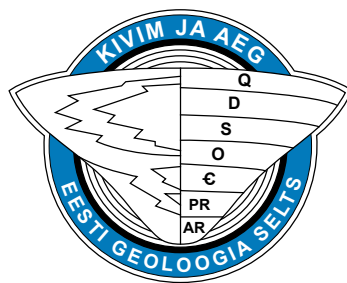


Õppekirjandusele lisaks on käesolevas kokkuvõttes kasutatud:

- Orviku, K.** 1978a. A. Hansen-Tammsaare ja eestikeelne geoloogiasõnavara. *Eesti Loodus*, **1**, 44–46. <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:340708/298063/page/46>
- Orviku, K.** 1978b. Eesti geoloogiat käsitlev kirjandus arvudes. *Eesti Loodus*, **2**, 97–102. <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:340714/298080/page/35>
- Orviku, K., Nurm, E., Kaljo, D. Kindlam, M., Männil, R. & Olli, V.** 1963. *Vene-eesti geoloogia sõnastik*. ENSV TA Geoloogia Instituut. ENSV TA Keele ja Kirjanduse Instituut. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 261 lk. <http://www.digar.ee/id/nlib-digar:365955>
- Raukas, A.** 2000. *Kuld ja kalliskivid*. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 262 lk.
- Reinwald, I.** 1937. Meteoorkraatrid Saaremaal. *Looduskaitse, I*. Riigiparkide Valitsuse Kirjastus, Tallinn, 118–131.
- Viiding, H.** 1993. Kaali meteoriidikraatrite geoloogilisest uurimisest. *Teaduse ajaloo lehekülgi Eestist IX. Geoloogia rajajooni Eestis* (Viiding, H. & Raukas, A. toim). Tallinn, 46–55. <https://www.etera.ee/s/RHdON7bvri>
- Vilbaste, G.** 1938. Johann Kunder loodusteadlasena. *Loodusevaatleja*, **4/5**, 97–102. <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:403153/344745/page/3>



# Eesti Geoloogia Selts 2015–2023



# Kroonika 2015–2023

Saima Peetermann ja Aasa Aaloe

Eesti Geoloogia Selts

## Juhtimine

### 2014–2016

**Juhatus:** Olle Hints, Peep Kildjer, Vello Klein, Tõnu Pani, Anne Põldvere (juhatuse esimees)

**Volikogu:** Rein Einasto, Olle Hints, Katrin Kaljuläte, Peep Kildjer, Kalle Kirsimäe, Vello Klein, Tiiu Liblik, Tõnu Meidla, Tõnu Pani, Eduard Pukkonen, Anne Põldvere, Rein Raudsep, Tõnis Saadre, Olavi Tammemäe, Ethel Uibopuu (Tamm)

**Sekretär:** Saima Peetermann

**Revisjonikomisjon:** Helve Luht, Mare Rast, Mati Viilul

### 2016–2018

**Juhatus:** Olavi Tammemäe (juhatuse esimees), Hardi Aosaar, Vello Klein, Tõnu Meidla, Anne Põldvere

**Volikogu:** Hardi Aosaar, Olle Hints, Lauri Joosu, Ene Kadastik, Peep Kildjer, Kalle Kirsimäe, Vello Klein, Tiiu Liblik, Tõnu Meidla, Sander Olo, Eduard Pukkonen, Anne Põldvere, Ethel Tamm, Janne Tamm, Olavi Tammemäe

**Sekretär:** Saima Peetermann

**Revisjonikomisjon:** Helve Luht, Mare Rast, Mati Viilul

### 2018–2020

**Juhatus:** Hardi Aosaar (juhatuse esimees), Tarmo All, Lauri Joosu, Anne Põldvere, Ethel Tamm

**Volikogu:** Tarmo All, Hardi Aosaar, Aivo Averin, Olle Hints, Lauri Joosu, Ene Kadastik, Peep Kildjer, Kalle Kirsimäe, Tõnu Meidla, Sander Olo, Eduard Pukkonen, Anne Põldvere, Ethel Tamm, Janne Tamm, Olavi Tammemäe

**Sekretär:** Saima Peetermann

**Revisjonikomisjon:** Helve Luht, Mare Rast, Mati Viilul (kuni detsember 2018)

### 2020–2022

**Juhatus:** Hardi Aosaar (juhatuse esimees), Lauri Joosu, Ene Jürjens, Siim Nirgi, Sander Olo

**Volikogu:** Tarmo All, Hardi Aosaar, Aivo Averin, Olle Hints, Rutt Hints, Lauri Joosu, Ene Jürjens, Tõnu Meidla, Siim Nirgi, Sander Olo, Eduard Pukkonen, Erik Puura, Kairi Põldsaar, Ethel Tamm, Olavi Tammemäe

**Sekretär:** Saima Peetermann

**Revisjonikomisjon:** Helve Luht, Mare Rast

## 2022–2024

**Juhatus:** Erik Puura (juhatuse esimees), Hardi Aosaar, Aivo Averin, Lauri Joosu

**Volikogu:** Tarmo All, Hardi Aosaar, Aivo Averin, Olle Hints, Rutt Hints, Lauri Joosu, Ene Jürjens, Martin Liira, Tõnu Meidla, Siim Nirgi, Sander Olo, Erik Puura, Kairi Põldsaar, Annette Talpsep, Johannes Vind

**Sekretär:** Saima Peetermann

**Revisjonikomisjon:** Martin Liira

## Liikmeskond

Seisuga 05.02.2024 kuulub Eesti Geoloogia Seltsi **151 tegevliiget.**

### Uued liikmed

**2015:** Hardi Aosaar, Lauri Joosu, Ivo Sibul

**2016:** Aivo Averin, Henri Kersna, Hanna Kree, Katrin Kuslap, Mare Laan, Kadri Mikkel-saar, Siim Nirgi, Triine Nirgi, Kristiina Ojamäe, Sander Olo, Päärn Paiste, Helis Pormeister, Helje Pärnaste, Karl Simmer, Margus Sööt, Annette Talpsep, Siim Tarros,

**2017:** Peeter Lillak, Karin Truuver, Malle Vool

**2018:** Kalle Alasi, Kalev Kallemets, Tiit Leinsalu, Martin Liira, Sirle Liivamägi, Margus Raha, Rauno Torp

**2019:** Karin Käär, Marek Marksoo, Mari-Ann Mõtus, Kairi Põldsaar, Rauno Raudsepp, Sven Siir, Annika Vohta

**2020:** Lennart Maala, Liina Ordlik, Sirli Sipp Kulli

**2021:** Vesta Kaljuste, Teele Tuuna, Johannes Vind

**2022:** Jaak Jürgenson, Kaarel Lumiste, Raul Paat, Karin Robam

**2023:** Kai Helm, Grete-Sabine Sarap, Heleene Voika

**2024:** Markus Ausmeel, Georg Rahu, Eelika Kiil, Aivo Lepland, Richard Pihel

### Kollektiivliikmed

**2018:** Eesti Energia AS

**2019:** BalRock OÜ, Maavarauuringud OÜ

## Manalateele läinud

<b>Heino Stumbur</b>	31.08.1930–21.07.2014
<b>Urve Miller</b>	11.08.1930–30.06.2015
<b>Hinrek Neuhaus</b>	23.08.1924–01.12.2015
<b>Elvi Tavast</b>	06.04.1944–07.06.2016
<b>Enn-Aavo Pirrus</b>	24.11.1935–08.10.2016
<b>Elga Mark-Kurik</b>	26.12.1928–06.11.2016
<b>Volli Kalm</b>	10.02.1953–23.12.2017
<b>Andres Maastik</b>	24.08.1944–12.10.2017
<b>Aadu Loog</b>	09.12.1932–20.08.2018
<b>Jaan Lutt</b>	25.11.1945–13.12.2018
<b>Väino Puura</b>	06.08.1935–14.01.2018
<b>Jüri Tõevere</b>	19.05.1935–25.06.2018
<b>Aida Jalakas</b>	16.04.1936–13.04.2019
<b>Uno Järve</b>	24.05.1939–01.08.2019
<b>Sir Arvi Hillar Parbo</b>	10.02.1926–01.05.2019
<b>Svetlana Thalberg</b>	02.07.1939–26.02.2019
<b>Endel Kasemets</b>	04.12.1933–13.04.2020
<b>Rein Perens</b>	16.05.1940–21.01.2020
<b>Anne Põldvere</b>	23.07.1954–28.11.2020
<b>Eino Tomberg</b>	06.12.1930–16.08.2020
<b>Heinrich August Toots</b>	02.01.1929–23.07.2021
<b>Kaarel Orviku</b>	15.07.1935–24.07.2021
<b>Valter Petersell</b>	28.10.1933–21.08.2021
<b>Anto Raukas</b>	17.02.1935–19.04.2021
<b>Lemme Martin</b>	05.10.1935–28.06.2022
<b>Asta Oraspõld</b>	14.01.1926–15.02.2022
<b>Tõnis Saadre</b>	23.04.1942–01.11.2022
<b>Rein Raudsep</b>	01.12.1940–22.11.2022
<b>Ülo Sõstra</b>	06.01.1940–19.06.2022
<b>Reet Karukäpp</b>	17.06.1940–10.07.2023
<b>Lehte Savitskaja</b>	03.02.1936–01.10.2023
<b>Helve Luht</b>	01.03.1959–11.07.2023
<b>Ivar Murdmaa</b>	06.08.1931–12.12.2023
<b>Priit Raud</b>	30.11.1943–15.12.2023
<b>Roland Gorbatshev</b>	18.01.1931–15.12.2023



### Elmar Lugus 2015

Elmar Lugus (s. 11.03.1931) on mitmekülgne maavarade uurija, kogenud ekspert ja Eesti Maavarade Komisjoni kauaaegne teadussekretär, kes oma aktiivse tegevusega on suunanud Eesti maavarade uurimist ja kasutamist ning geoloogiateenistuse arendamist.

E. Lugus lõpetas Tartu Ülikooli geoloogia osakonna 1955. aastal ja töötas seejärel kolm aastat Tšita Geoloogia Valitsuses rauamaagi otsingutel. 1958–91 töötas ta erinevatel ametikohtadel Eesti Geoloogia Valitsuses: 1958–66 oli vanem- ja peageoloog Kohtla-Järvel, 1966–84 Eesti Geoloogia Valitsuse juhataja asetäitja ning 1984–91 tootmistehnilise osakonna ja meetoodilise rühma juhataja. Alates 1991. aastast töötas ta Eesti Vabariigi Keskkonnaministeeriumi maapõue osakonnas, kus oli kuni 1995. aastani ka Eesti Maavarade Komisjoni teadussekretär. Alates 2004. aastast on ta tegutsenud OÜ Inseneribüroo STEIGER konsultant-ekspertina.



Eesti geoloogiateenistuses juurutas Elmar Lugus uut tehnikat ja tehnoloogiat, arendas laboratoorset baasi, juhendas maavarade uuringuid ning korraldas geoloogilist kaardistamist.



### Kalle-Mart Suuroja 2016

Kalle-Mart Suuroja (s. 03.10.1945) on Eesti tuntum geoloog-kaardistaja ja meteoriidikraatrite uurija ning väsimatu geoloogia populariseerija.

Kalle lõpetas Tartu Ülikooli geoloogia osakonna 1969. aastal ja asus tööle Eesti Geoloogia Valitsusse/Geoloogiakeskusesse, kus tema põhitööks on olnud geoloogiline kaardistamine. Kaardistamistöde käigus avastas ta Kärkla ja Neugrundi struktuuri ning püstitas nende tekke hüpoteesi. Kalle magistri- ja doktoritöö käsitlevadki nende kraatrite ehitust. 1997. aastal valmis tema juhendamisel koostatud Eesti aluspõhja geoloogiline kaart mõõtkavas 1:400 000 koos seletuskirjaga. Kallet tuntakse ka kui Kärkla mineraalvee avastajat ning Eesti rändrahnude, maavarade (põlevkivi, lubjakivi, graaniit, mineraalvesi, polümetallid), tektooniliste

nähtuste innustunud uurijat. Geoloogitöö kõrvalt on ta korraldanud Arbavere välibaasi (loodi 1972. aastal) väljaehitamist ja seal ladustatud puursüdamike hoidu.

K.-M. Suuroja on osalenud paljudel geoloogilistel ekspeditsioonidel Venemaa põhjaaladele, Norrasse jm. Tema sulest on ilmunud hulgaliselt loodust tutvustavaid artikleid, lühijutte, raamatuid, novelle ja kuuldemänge ning ta on ka loodussündmust kajastava filmi „Kaali saladus“ kaas-stsenarist. Ta on aktiivselt osalenud Eesti kivimeid tutvustavate ekspositsioonide loomisel ja täiendamisel ning aidanud koostada geoloogilisi õppekogusid üldhariduslikele koolidele õppekogusid. Kalle on oodatud esineja ja asjatundlik giid loodusüritustel. Tema artiklid meteoriidikast, mitmed koos poeg Steniga, on jõudnud rahvusvaheliselt tunnustatud teadusajakirjadesse. Ligi 25 aastat on ta olnud Eesti Geoloogiakeskuse aprillikonverentside põhikorraldaja ja läbiviija.

## Aasa Aaloe 2017



Aasa Aaloe (s. 27.10.1941) on seltsi juhatuse liikmena, sekretärina ja tegevliikmena jäädvustanud erakordse järjekindlusega Eesti geoloogilise uurimise ajalugu nii teatmikesse kui erialastesse trükistesse.

Ta lõpetas Tartu Ülikooli geoloogia osakonna 1967. aastal. Seejärel töötas ta Tartu Ülikooli mineraloogiakabinetis röntgenstruktuurialastel uuringutel. 1969–2001 oli ta teadustöötaja Teaduste Akadeemia/Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituudi litoloogia ja maavarade geoloogia sektoris. 1984. a kaitses ta kandidaaditööd põlevkivigeoloogia alal. Uue sajandi esimesed 20 aastat oli ta instituudi teaduskogude osakonna spetsialist. Tänu rahulikule meelele ja raskuste talumisele oli ta heaks kaaslasiks viiel ekspeditsioonil Sihhote-Alini (1969, 1971, 1973, 1975, 1987) meteoriidisaju alale ning osalenud kümnekond aastat välitöödel Eesti Ürglooduse Raamatu objektide otsimisel-leidmisel ja kirjeldamisel.

Aasa Aaloe on mitmete geoloogiliste trükiste koostaja ja toimetaja. Nii ilmusid 1995. ja 2016. aastal tema koostatud geoloogide biograafilised teatmikud, kus käsitletakse süsteemselt Eesti geoloogilise uurimisega tegelnud isikute panust alates 19. sajandist.

## Valter Petersell (1933–2021) 2018



Valter Petersell lõpetas Tartu Riikliku Ülikooli geoloogia osakonna 1957. aastal ja töötas seejärel viis aastat Tšita Geoloogia Valitsuses. Siberist naasnuna sai ligi kuuekümneks aastaks tema töökohaks Eesti Geoloogia Valitsus, tänane Eesti Geoloogiateenistus. Valter Petersell oli 1960ndate lõpust alates seotud Eesti süvakaardistamisega. Tema meelisteema oli geokeemia. Algul oli geokeemiliste tööde eesmärgiks metalsete maavarade otsimine, hiljem kandus raskuskese pigem keskkonnakaitsel. Nii on Valter tegelnud süvakaardistamisega, otsinud Kesk-Eestis polümetalseid maake, uurinud raskemetalle mullas, kaardistanud radooniohtlikkust jms. 1976. aastal kaitses ta kaandidaadikraadi Balti kilbi lõunanõlva metallogeneesist. Tema juhendamisel ja osalemisel on koostatud Eesti mulla geokeemiline atlas, Eesti pinnase radooniriski ja looduskiirguse atlas, hinnatud Eesti põllumulda ja merepõhja setteid jne. Valter tundis sügavuti huvi paljude geoloogiliste küsimuste vastu, oli kirglik vaidleja ja oma seisukohtade kaitsja. Ta oli hea õpetaja ja sõbralik kolleeg mitme põlvkonna geoloogidele.

## Anne Põldvere (1954–2020) 2019

Anne Põldvere lõpetas Tartu Ülikooli geoloogia osakonna 1979. aastal ja asus tööle Geoloogia Valitsusse, mis jäigi Anne ainukeseks töökohaks. Anne on uurinud Eesti aluspõhja Ordoviitsiumi ja Siluri kivimite litoloogiat ning sedimentoloogiat, ta oli Eesti Geoloogiakeskuse sariväljaande „*Estonian Geological Sections Bulletin*“ koostaja ja toimetaja. Anne oli Eesti Geoloogia Seltsi president, mitmete erialaühenduste ning komisjonide liige. Tema autorluses või toimetamisel on ilmunud üle 80 teadusliku ja populaarteadusliku kirjutise.

Anne oli üks entusiastlikum ja rõõmsameelsem Eesti geoloog tõenäoliselt mitme põlvkonna jooksul. Temast lausa kiirgas ettevõtlikkust ja teotahet, mis nakatas ka enamikku tema kaaslasi. Anne oli võimas mootor ja eestvedaja. Annel oli palju häid ideid, Anne jõudis kõikjale. Rakendusgeoloogia, maavarade väärimine, geoloogia ajalugu, noortega tegelemine, geoinfo süstematiseerimine, seadusandluses kaasaraäkimine, koolituste korraldamine ja palju muud...

Anne organiseerimisoskust aga samas ka põhjalikku tööd ürituse õnnestumiseks võis näha tema poolt organiseeritud EGEOS-i välisreisidel. Tema koostas marsruudi, valis ööbimiskohad, tegeles toitlustamisega, jõudis isegi väikese reisijuhhi kokku panna... Ja kõik laabus. Anne oli sõber, kes ei vedanud alt. Annele oli võimatu ei öelda...





## Juho Kirs 2020

Juho Kirs. Juho. Kümnete ja kümnete, sestap ka sadade Tartu ülikoolis geoloogiat studeerinute Õpetaja ja Sõber. ÕS. Nagu aluskorralikivimite petrograafia õigekeelsussõnaraamat – õigeid vastuseid täis ning alati valmis end huvilistele ja abivajajatele avama!

Ilmselt on Juho näol tegemist Eesti geoloogia-amaastiku ühe kõige isetuma nähtusega üleüldse. Selline omadus kipub aga end vist lõpuks ajapikku ka ära tasuma, eriti kui juhtud lisaks oma sõbralikule meelele olema ka nii umbes pool sajandit üks pädevaimaid aluskorralikivimite, mineraloogia ja geokeemia teadlasi Eestis ... Juho Kirs – Eesti Geoloogia Seltsi auliige 2020!

## Olavi Tammemäe 2021

Olavi Tammemäe (s. 13.01.1954) on parim näide Eesti Geoloogia Seltsi järjepidevuse kandjast. Alates seltsi loomisest 1989. aastal on ta kuulunud selle volikogusse, millest 8 aastat juhatusse, olles aastatel 2016–2018 juhatuse esimees ehk Eesti Geoloogia Seltsi president. Ehkki Olavi lapsepõlvveunistuseks oli saada lenduriks, läks elu natuke teisiti. Pärast Tartu Riikliku Ülikooli lõpetamist 1977. aastal ehitusgeoloogia ja geotehnika erialal töötas ta 15 aastat geoloogina EKE Projektis ja Riiklikus Ehitusuuringute instituudis (REI-s). Lisaks igapäevatoole luges ta ühel ajaperioodil ehitusgeoloogia loenguid Tartu ülikoolis. Aktiivne eluhoiak, mitmekülgsus, oma põhimõtetest kinnipidamine ja juhtimisvõime on leidnud kasutust väga erinevates juhtivates ametites.

Olavit võib nimetada nii geoloogiks kui keskkonnakaitsjaks, rännumehiks kui sõjamehiks. Ei puudul ka doktorikraad, mille kaitses 2008. aastal Tallinna Tehnikaülikoolis teemal “Basics for Geotechnical Engineering Explorations Considering Needed Legal Changes” (juhendaja Enno Reinsalu). 1991. aastal kutsus tollane keskkonnaminister Tõnis Kaasik Olavi Keskkonnaministeeriumisse keskkonnaekspertiisi osakonna juhatajaks. Riik oli uus, teemavaldkond oli uus, kõik tuli nullist üles ehitada, sh töötada välja vastav seadusandlus. Keskkonnaekspertiisist sai hiljem keskkonnamõjude hindamine.

1997–1998 oli Olavi Tammemäe Keskkonnaministeeriumi looduskaitse osakonna juhataja. Keskkonnaministeeriumis töötas ta veel 2004–2007 abiministrina ja 2009–2012 asekanclerina. Vahepealsetel aastatel 1998–2003 oli ta Säästva Eesti Instituudi (SEI) ehk





Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskuse) juhataja, 2007–2009 Riigikontrollis Kontrollasutuste Rahvusvahelise Organisatsiooni (INTOSAI) keskkonnaaudiiti töörühma sekretariaadi juhataja. Eesti Energia keskkonnajuhina (2012–2020) tuli tal põlevkivienergeetika keskkonnaküsimustega tegelda aga hoopis teisest küljest, st tööstusettevõtte huvide esindajana ja kaitsjana.

Olavi Tammemäe on Eesti Rooma Klubi asutajaliige ja aktiivne kaasamõtteleja. Südamelähedane valdkond on Olavile olnud Eesti kaitsevõime, seda nii isa kui vanaisa vaprate sõjaliste teenete taustal. Ta on osalenud pea kõigil Kevadtormi õppustel. Aastast 2013 kuulub major Olavi Tammemäe Kaitseliidu keskjuhatuse koosseisu, on Eesti NATO Ühingu asutajaliige ja Eesti Reservohvitseride Kogu liige. Paljude teiste autasude kõrval on talle 2006. aastal omistatud Kaitseliidu Valgeristi III klassi teenetemärk. Rännukihk on viinud Olavi kõikidel mandritel peale Antarktika. Olavi Tammemäe kogemusi, laia silmaringi, juhtimisoskust, erinevate huvipoolte mõistmist ja probleemide tasakaalukat lahendamist, tema panust Eesti geoloogiasse ja keskkonnakaitsesse, samuti Eesti Geoloogia Seltsi tegevusse ei ole võimalik üle hinnata.

## Reet Karukäpp (1940-2023) 2022

Geoloog Reet Karukäpp (17.06.1940 – 10.07.2023), geoloogia-mineraloogiakandidaat (1979, Vilniuse ülikool), PhD geoloogia alal (1997). Reet lõpetas 1968. aastal Tartu Riikliku Ülikooli geograafina. 1968–2005 töötas Reet Tallinna Tehnikaülikooli geoloogia instituudis teadurina ja juhtivateadurina. Aktiivse kvaternaarigeoloogina on ta uurinud liustike kuhje- ja kulutustegevuse seaduspärasusi ja liustikutekkelise pinnamoe kujunemist Eestis ja selle naaberaladel, taastanud Otepää ja Karula saarkõrgustiku tekkelugu, tegelnud viirsavide geokronoloogiaga. Ta on osalenud polaarekspeditsioonides Loode-Venemaale ja Teravmägedele ning on üks NSV Liidu geomorfoloogilise kaardi (1987) autor.

2005. aastast oli Reet Pärnumaal Sauga vallas mustsõstrakasvatusega tegeleva Karukäpa talu perenaine ehk füüsilisest isikust ettevõtja (FIE). FIEna kasvas ta marju ja tema osaühing tegeles neist valmistatud toodete müügiga. Reet oli ka leiutaja – ta oli mustsõstra korjamise masina patendi omanik.



## Rein Vaikmäe 2022



Tallinna Tehnikaülikooli emeritiprofessor Rein Vaikmäe (s. 29.06.1945, Schleswig-Holsteinis sõjapõgenike laagris). Ta on lõpetanud A. H. Tammsaare nim. Tartu 1. Keskkooli (praeguse Hugo Treffneri Gümnaasiumi) ja Tallinna Tehnikaülikooli tööstuselektronika erialal (1969).

Isikliku ankeedi tõttu oli nõukogude ajal tema haridus- ja teadusteel ees mitmed takistusi, kuid hoolimata sellest leidis alati võimalusi edasiminekuks, mille tulemuseks on nüüdseks kogunenud 50 aastat töid süsiniku, hapniku jt isotoopide koostise uurimisele vees, jääs ja setetes/kivimites. Elektroonikainsenerist sai geoloog tänu massispektromeetri ehitamisele Eesti NSV TA Geoloogia Instituudis J.-M. Punningu loodud radiosüsiniku laboris. Põnevad ja tol ajal uudsed isotoopgeoloogilised uuringud viisid uudishimuliku ja võimeka teadlase paljudesse arktilistesse piirkondadesse - Teravmägedele, Severnaja Zemljale,

Siberisse, Kanadasse, Antarktikasse jm ning vastav teadus- ja organisatoorne tegevus paljude Eesti ja rahvusvaheliste teadusorganisatsioonide juhatustes ning nõukogudesse.

Ehkki Rein Vaikmäe teadusartiklite ja publikatsioonide arv ületab 200, on ta ise arvanud, et neid olnuks tunduvalt rohkem, kui keerulistel aegadel poleks ta juhtinud Eesti NSV TA Geoloogia Instituuti (1990–1999), olnud Tallinna Tehnikaülikooli teadusprorektor (2005–2010) ning Haridus- ja Teadusministeeriumi teadus- ja innovatsioonipoliitika nõunik (2001–2005).

Reinu teadustöö põhisuundadeks on olnud isotoop-paleoklimatoloogia, -paleohüdroloogia ja -paleokrüoloogia, globaalsed kliima- ja keskkonnamuutused. Ta on juhendanud mitmeid selle teemaga tegelevaid töörühmi. Kolleegid on arvanud, et teist nii toredat direktorit, teadusteema juhti ja kolleegi ei ole ilmselt võimalik leida.

Rein Vaikmäe on noorusest saadik tegelenud aktiivselt (tervise)spordi ja koorilauluga, tulnud kolmel korral Eesti NSV meistriks akadeemilises sõudmises (1962, 1963) ja veel mõned aastad tagasi laulnud Teaduste Akadeemia Meeskooris. Koos abikaasa Margotiga on nad usinad kontserdi- ja teatrikülastajad ning viimasel paarikümnel aastal ka turistidest reisivilised.

## Peeter Talviste 2023

Geoloog Peeter Talviste (s. 21.04.1961) on ettevõtja, IPT Projektijuhtimine OÜ asutaja ja juht. Üle 20 aasta on tema ettevõtte lahendanud pinnaste, kivimite ja veega seotud küsimusi erinevate ehitus- ja keskkonnaprojektide tarbeks, andes nii omapoolse panuse Eesti geoloogia ning riigi majanduse arengusse.

Peeter lõpetas Tartu Ülikooli geoloogia osakonna 1984. aastal, lisaks sellele 1999. aastal EBS-i MBA kraadiga ning kaitses 2014. aastal Tartu Ülikoolis doktorikraadi nõrkade pinnaste geotehniliste parameetrite muutlikkuse teemal. Enne oma ettevõtte loomist töötas Peeter Riiklikus Ehitusuuringute Instituudis (1984–1989) ja geotehnika inseneribüroos G.I.B. (1990–2000). Samal ajal on Peeter olnud ka õppejõud, õpetanud üliõpilasi nii Tallinnas kui Tartus ning on hetkel praktik-professor Tallinna Tehnikaülikooli geoloogia instituudis, olles nii Eesti geoloogisüsteemi ehitusgeoloogia ja geotehnika alase järjepidevuse tagajaks ning noortele geoloogidele ka tööandjaks.

Peetri juhtimisel läbi viidud uuringute hulka kuuluvad osalemine Tallinna prügilate planeerimises ja konstrueerimises, Sillamäe jäätmeoidla loomises, Muuga sadamale vajalikes uurimustes, Audru, Sauga ja Tamme maalihete uurimises, Tornimäe kõrghoonete rajamises, Kohtla-Järve poolkoksimaagide stabiilsuse tagamises, Jordaania põlevkivimaardla kasutuselevõtu uuringutes ja kalkulatsioonides jne. Samuti on ta olnud aktiivne Balti Geotehnika Ümarlauas ning osalenud koostööprojektides enam kui 10 rahvusvahelise ettevõttega.

Peeter on olnud Eesti Geoloogia Seltsi juhatuse aktiivne liige, nüüd tegevuste toetaja. Noorte geoloogide teadmiste tagamises on Peeter nõudlik ja ei too latti alla, mistõttu võib olla kindel, et tema käe all õppinutest saavad oma ametikohtadel professionaalid. Peeter ise on öelnud, et miks ta peaks lubama selliste noorte koolitamist, kes hiljem oma ametipostil ei saa aru, mida nad teevad ja takistavad ettevõtetel efektiivselt tegutseda. Peeter armastab head nalja ja harivaid reise, aga ka bridži ja pokkerit, mis võimaldavad mõistust teravana ja värskena hoida. Tark, kiire ja terav – need sõnad iseloomustavad Peetrit kõige paremini.





## Enno Reinsalu 2023



Emeriitprofessor Enno Reinsalu on Eesti silmapaistvamaid mäeteadlasi ja mäeinseneeria eestvedajaid.

Enno Reinsalu (mäeinsener 1960, PhD 1968) on sündinud 22. aprillil 1936. aastal Tapal. Tema haridustee verstaapostid on Tallinna Polütehniline Instituut (1955–1960) ja Leningradi Mäeinstituudi kaugõppeaspirantuur (1962–1966). Tema teadustöö põhisuundadeks on olnud mäendus, mäeõigus ja -majandus ning kaevandamise keskkonnamõju.

Enno Reinsalu on töötanud Põlevkivi Teadusliku Uurimise Instituudis, Eesti Põlevkivi uuringu-konstrueerimisosakonnas, Aleksandr Skotšinski nimelise Mäendusinstituudi Eesti filiaali mäetehnoloogia laboratooriumis, Eesti TA Geoloogia Instituudis ning Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituudis. Aastatel 1994–2000 oli ta TTÜ energeetikateaduskonna dekaan. Enno

Reinsalu on avaldanud üle 200 publikatsiooni ja tema juhendamisel on kaitstud arvukalt magistri- ning doktoritöid. Ta on paljude Eesti ja rahvusvaheliste erialaorganisatsioonide liige, sealhulgas Eesti Mäeseltsi auliige. Silmapaistva tegevuse eest on ta pälvinud mitmeid tunnustusi.

Enno Reinsalu on andnud hindamatu panuse ka Eesti rakendusgeoloogia arengusse omakeelse erialaterminoloogia loojana, kõrgkooliõpikute autorina ja maapõuealase avaliku diskussiooni kõneisikuna. Oma tõsiste tegemiste aga ka mõnusa huumorimeelega on Enno olnud silla loojaks Eesti geoloogide ja mäeinseneride vahel.

# Geoloogia ja siduserialade lõpetajad Tartu Ülikoolis ja Tallinna Tehnikaülikoolis

## Tartu Ülikool

### Geoloogia ja keskkonnatehnoloogia bakalaureuseõpe

#### 2015

Helen Kõre  
Raul Paat  
Kaidi Sarv  
Tormi Tuuling  
Lii Vammus

#### 2016

Stefi Guitor  
Viljar Jürna  
Gert Neudorf  
Helena Hallasoo  
Merilin Hoomatalo  
Keit Kill  
Krista Kupits  
Kadri Kurg  
Markus Lelle  
Liselle Luks  
Triinu Palmre  
Annika Velt

#### 2017

Reelika Helde  
Kalle Kiik  
Ailar Pokk  
Mihkel Kaljuvee  
Hans Leis  
Liisa Lõhmus  
Marika Kiin  
Hanna Vahter

#### 2018

Kristjan Arold  
Hele-Riin Juhkama  
Eelika Kiil  
Madis Kartau  
Magdaleena Männik

Marite Blankin  
Sander Hermet  
Jana Kroman  
Kerttu-Liis Kõks  
Mairika Kõlvart  
Annette Kägu  
Edith Simoniš  
Christof Uisk  
Ingrid Väling  
Liisa Õunmaa

#### 2019

Marlen Hunt  
Marko Kabel  
Elina Kuusma  
Rain Laidma  
Imre-Andreas Martin  
Liisa-Mai Nurk  
Maarja-Liis Salumäe  
Kertu Uiboleht

#### 2020

Markus Ausmeel  
Kati Gebruk  
Rein Järvpõld  
Madli Jürgenson  
Grete Kaljulaid  
Markus Kivimägi  
Rasmus Kont  
Laura Maria Kull  
Kadri Kuusk  
Hegne Lilleoja  
Grete Sabine Sarap  
Taavi Tomingas  
Brigitta Varul

#### 2021

Annamaria Krull  
Laura Kuusemets  
Carmel Kuusk  
Diana Matejuk

Hanna-Riin Muttik  
Johanna Maria Ojap  
Karel Pettai  
Kris-Robin Sirge  
Karmen Vits

#### 2022

Tiina Harak  
Ornella Mundi  
Art Kristjan Olesk  
Aleksandra Rammul  
Alvar Ratt  
Risto Riit  
Kaari Uibomägi

#### 2023

Elisabeth Kaldvee  
Karmel Kikas  
Kärt Kingisepp  
Daniel Lahtvee  
Mia-Maria Meldorf  
Jane Pelska  
Richard Pihel  
Eliisabet Põldver  
Georg Rahu  
Grete Raie  
Martin Riives  
Krete Roopõld  
Georg Rudolf Sarap  
Robert Telpt

### Geoloogia magistriõpe

#### 2015

Marija Dmitrijeva  
Karin Kungla  
Jekaterina Nezdoli  
Siim Nirgi  
Lauri Nõmtak  
Sander Olo  
Sigrid Soomer

**2016**

Tavo Ani  
 Mart Gaškov  
 Raily Hantson  
 Marian Külaviir  
 Kaarel Mänd  
 Peeter Paaver  
 Tõnn Paiste  
 Edgar Prass  
 Liina Sepp  
 Kristjan Tamm  
 Merilin Kraun

**2017**

Triinu Jairus  
 Viljar Jürna  
 Kaarel Lumiste  
 Kaidi Sarv

**2018**

Lennart Maala  
 Raul Paat  
 Marcus-Heinrich Puhke

**2019**

Stefi Guitor  
 Kalle Kiik  
 Ailar Pokk

**2020**

Kristjan Arold  
 Hele-Riin Juhkama  
 Eelika Kiil  
 Magdaleena Männik  
 Gert Neudorf

**2021**

Marlen Hunt  
 Marko Kabel

**2022**

Markus Ausmeel  
 Rasmus Kont  
 Imre-Andreas Martin  
 Grete Sabine Sarap

**2023**

Annamaria Krull  
 Johanna Maria Ojap  
 Karmen Vits

**Kaitstud doktoritööd****2015**

**Sirle Liivamägi:** Neoproterozoic Baltic paleosol: geology and paleoenvironmental interpretation

**Lauri Joosu:** Petrography and the rare earth element composition of apatite in 2 Ga Onega and Pechenga basins, Russia: the environmental settings for phosphogenesis

**Liisa Lang:** Baculate shell structure in Early Palaeozoic linguliform brachiopods

**2017**

**Päärn Paiste:** Geopolymeric potential of the Estonian oil shale processing waste

**Mikk Gaškov:** Stable isotope and fluid inclusion evidence of multistage fluidal activity in Baltic paleobasin: Silurian carbonate sequence in Kalana, Estonia

**2019**

**Kairi Põldsaar:** Soft-sediment deformation and gravity flow structures in the Lower Palaeozoic successions of the Baltic Basin

**Viirika Mastik:** Silurian noncalcified macroscopic algal fossils from the Kalana Lagerstätte, Estonia

**2020**

**Timmu Kreitsmann:** Application of carbon isotope and rare earth elements as recorders of environmental conditions in the aftermath of the Paleoproterozoic Lomagundi-Jatuli Event

**Triine Nirgi:** Holocene relative shore-level changes and geoarchaeology of the prehistoric sites in western Estonia

## 2021

**Kristjan Leben:** Long-term diagenetic transformation and carbon sequestration potential of Ca-rich oil shale ash waste deposit sediments

**Karin Truuver:** Ostracod associations of the Ordovician-Silurian boundary interval in Baltoscandia

**Peeter Paaver:** Development of alternative binders based on oil shale fly ash

**Kaarel Lumiste:** Phosphogenesis and FREE+Y diagenesis of Recent and Paleozoic phosphorites

## 2022

Sigrid Soomer: Paleoweathering record of the Archean-Proterozoic transition in the Imandra-Varzuga Greenstone Belt, north-western Russia

## 2023

**Ivo Sibul:** Ground-penetrating radar in Estonia: from fieldwork to open data reuse

**Tõnn Paiste:** Early evolution of the genus *Amorphognathus* and updated Sandbian (Upper Ordovician) conodont biostratigraphy in Baltoscandia

## Tallinna Tehnikaülikool

### Geotehnoloogia bakalaureuseõpe

#### 2015

Simon Jorma Aabrams  
Mikk Baškirtsev  
Priit Koppel  
Boleslav Kruglik  
Mariann Liivak  
Taavi Loogna  
Taavi Lõhmuste  
Joosep Makke  
Ott Oisalu  
Marelle Paas-O'Brook  
Raiko Põllu  
Martin Saarnak  
Kaidi Sulp  
Karina Tommik  
Tanel Treial  
Tanel Vanamõlder  
Jaanis Veinberg  
Annika Vohta  
Liis Vähejaus

#### 2016

Monika Aarniste  
Tõnis Haube  
Catleen Kaasik  
Sven Kärber  
Andres Küüsmäe  
Andres Nuija  
Koit Tingas

#### 2017

Mihkel Aasrand  
Mattias Einstein  
Sander Kahk  
Oskar Aleksander Lesment  
Daniel Libman  
Meelis Lust  
Roman Malõšev  
Dagmar Teppe  
Kristel Veersalu

#### 2018

Lauri Kütt  
Jorma Lepik  
Kaarel Rebane

#### 2019

Glea Habicht  
Raino Piirsalu  
Kuldar Sirelbu  
Valdo Tohver

### Maa-teaduste bakalaureuseõpe

#### 2015

Age Arikas  
Marta Hang  
Karin Käremaa  
Kaari Läänemaa  
Selina Lind  
Janno Lumiste  
Carl-Richard Saks  
Karli Spitsõn  
Eneli Toodu  
Bärbel Vandel

**2016**

Maria-Julia Järv  
Richard Lõhkivi  
Kerli Ostrov  
Karl Simmer  
Rain Süld  
Kaisa Tammiste

**2017**

Sander Ahi  
Anneli Antsmaa  
Kati Miller  
Natalia Novak  
Violetta Platonova  
Kai Salm  
Oliver Samlas

**2018**

Jaane Pajumets  
Ailar Uffert

**Maa-teaduste ja  
geotehnoloogia  
bakalaureuseõpe**

**2018**

Karl Kiur Saar  
Kristo Martin Vinni

**2019**

Jaana Aunapuu  
Siim Eensoo  
Alina Lerner-Vilu  
Jaagup Lööper  
Karl-Sten Pöder  
Aleks Strazdin  
Oliver Vilu

**2020**

Nikita Murin

**2021**

Carina Potagin  
Brigitta Uibo

**Maapõueressursside  
bakalaureuseõpe**

**2020**

Kristin Kahu  
Ragnar Kauril  
Tauri Pöldema

**2021**

Hendrik Klaas  
Markus Maidu  
Diana Migur

**Maa süsteemid,  
kliima ja tehnoloogiad  
bakalaureuseõpe**

**2023**

Aileen Umal  
Jaanis Tomson  
Siret Sillar

**Geotehnoloogia  
magistriõpe**

**2015**

Margit Kolats  
Julia Ljaš  
Meidi Metsaroos  
Helen Männamets  
Martin Nurme  
Johanna Piir  
Henri Prank  
Anton Toikka  
Paul Toomik  
Erki Vaguri

**2016**

Stanislav Ignatovets  
Marleen Koger  
Mark Meema  
Erki Närep  
Kaspar Peebo  
Fred Rusanov  
Lauri-Olavi Siitam

**2017**

Ain Anepaio  
Peeter Koll

**2018**

Gaia Grossfeldt  
Rauno Raudsepp

**Maa-teaduste magistriõpe**

**2015**

Irina Grigorjeva  
Jekaterina Izotova  
Margit Linno

Kadri Mikkelsaar  
Anneli Peterson  
Marili Viitak

**2016**

Peeter Lillak  
Kaia-Liisa Siimon  
Triin Tajur  
Kristina Aleksejeva  
Epp Juust  
Katriin Kaptein  
Siim Pajusaar

**Maa-teaduste ja  
geotehnoloogia  
magistriõpe**

**2017**

Age Arikas  
Laura Eiber  
Sirle Kangur  
Kaari Laanemäe  
Kaidi Sulp  
Eneli Toodu  
Bärbel Vandel  
Tuuli Jurtom  
Sander Kanter  
Valeria Lukaševič  
Janno Lumiste  
Joosep Makke  
Carl-Richard Saks  
Jelena Šihhaleva  
Liis Vähejaus

**2018**

Richard Lõhkivi  
Karl Simmer  
Karli Spitsõn

**2019**

Jane Hüdsi  
Anne Kask  
Meila Kivisild  
Ott Küüsmäa  
Andres Küüsmäa  
Kai Salm  
Oliver Samlas  
Reeli Sildnik  
Trude Taevere  
Tanel Treial

Kristel Veersalu  
Annika Vohta

### 2020

Boleslav Kruglik  
Roman Malošev

### 2021

Anett Kuldma  
Ivar Marist

## Maapõueressurside magistriõpe

### 2021

Jaana Aunapuu  
Siim Eensoo  
Ivika Errapart  
Glea Habicht  
Marina Kovaljova  
Anu Sihv  
Aleks Strazdin

Oliver Vilu

### 2022

Ragnar Kauril  
Epp Kuslap  
Tauri Põldema

### 2023

Brigitta Uiho  
Kuldar Sirelbu

## Kaitstud doktoritööd

### 2015

**Ieva Grudzinska:** Diatom stratigraphy and relative sea level changes of the eastern Baltic Sea over the Holocene

**Kazbulat Šogenov:** Petrophysical Models of the CO<sub>2</sub> Plume at Prospective Storage Sites in the Baltic Basin

**Normunds Stivriņš:** Postglacial Environmental Conditions, Vegetation Succession And Human Impact In Latvia

**Sven Siir:** Internal Geochemical Stratification of Bentonites (Altered Volcanic Ash Beds) and its interpretation

### 2016

**Margus Voolma:** Geochemistry of Organic-Rich Metalliferous Oil Shale/Black Shale of Jordan and Estonia

### 2018

**Joonas Pärn:** Origin and Geochemical Evolution of Palaeogroundwater in the Northern Part of the Baltic Artesian Basin

**Merlin Liiv:** Application of Lake Sediment Carbon/Nitrogen Ratio in Post-Glacial Palaeoenvironmental Reconstruction

### 2019

**Ursula Toom:** Ordovician and Silurian Trace Fossils of Estonia

### 2020

**Ansis Blaus:** From Modern Pollen-Plant Relationships to Holocene Vegetation Diversity Reconstructions

### 2023

**Nthati Lillian Monei:** Phytomining of Rare Earth Elements: Dynamics of Rhizosphere Processes and Element Interactions in the Soil



