Luonnonvarojen paikantaminen maankamarasta perustuu geofysiikkaan

Geofysiikan merkitys kasvaa nopeasti. Kriittisten raaka-aineiden, geotermisten energialähteiden ja pohjaveden löytämiseksi tarvitaan parempaa kuvaa maankamaran syvemmistä kerroksista. Vain geofysiikka tarjoaa työkaluja nähdä pintaa syvemmälle ilman kaivamista tai kairausta. Suomessa on oltava vahvaa geofysiikan tutkimusta ja nykyaikaisia geofysiikan aineistoja.

Strategiset investoinnit geofysiikkaan hyödyttävät yhteiskuntaa

Jatkuvasti kehittyvä geofysiikan teknologia mahdollistaa aiempaa tarkemmat tiedot Maan syvemmistä osista. Tämä tukee yhteiskunnallisesti merkityksellistä tutkimusta luonnonvaroista (kuten mineraalit ja geoterminen energia), infrastruktuurista ja rakennusturvallisuudesta sekä ympäristön ja pohjavesien hallinnasta aina maa- ja metsätalouskäytössä olevaan maaperään.

Suomalainen geofysiikan tutkimus on perinteisesti ollut kehityksen kärkikastia, mutta kahden viime vuosikymmenen aikana alan investoinnit ovat vähentyneet niin, että geofysiikan tietoaineistot ja osaaminen ovat alkaneet vanheta. Maailmalla käyttöönotettujen ratkaisujen, kuten kolmiulotteinen ja monimenetelmäinen geofysiikka, hyödyntäminen on alkanut suhteellisen myöhään.

Suosittelemme investoimaan seuraaviin strategisiin ja kustannustehokkaisiin toimiin, joilla on merkittäviä yhteiskunnallisia ja taloudellisia hyötyjä:

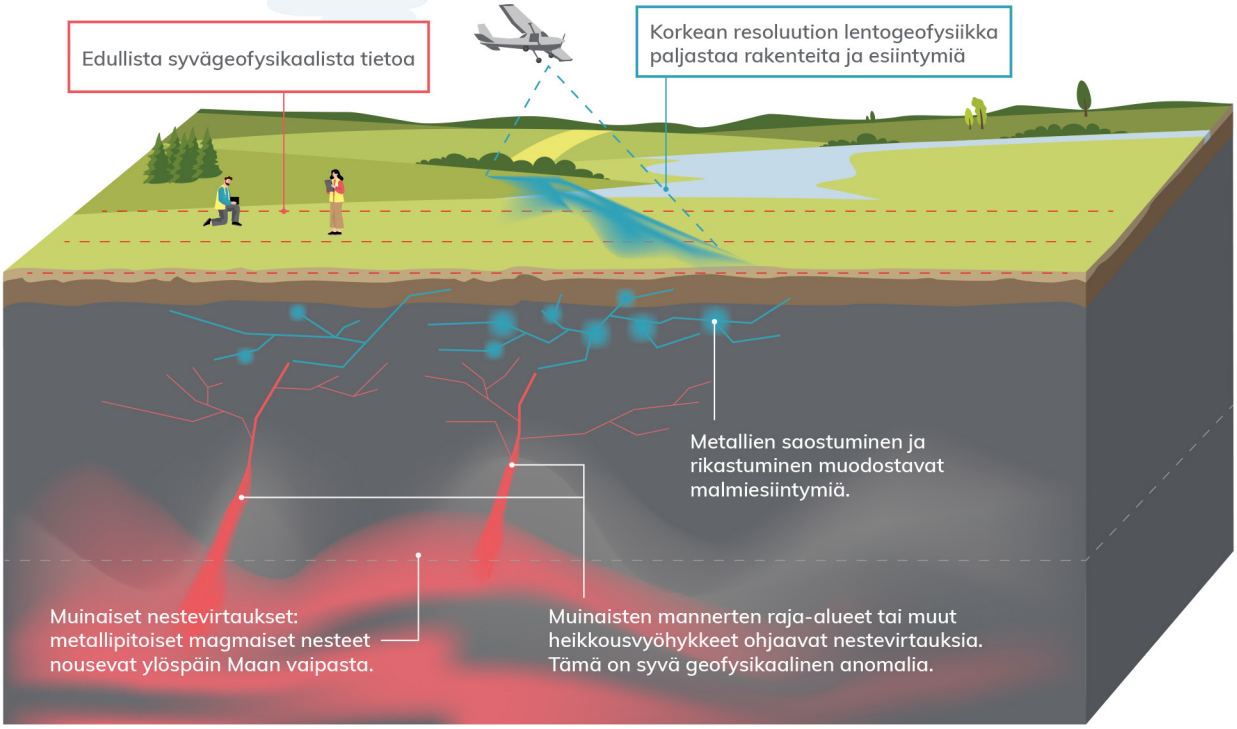
- **jatkuva ajantasaisten geofysiikan perusaineistojen kartuttaminen**
- **huippuluokan geofysiikan mittausteknologioiden ja -valmiuksien kehittäminen**
- **geofysiikan aineistojen nykyaikaisten yhteistulkintamahdollisuuksien kehittäminen, mukaan lukien suurteholaskenta- ja koneoppimissovellukset.**

Mitä geofysiikka on?

Geofysiikka tutkii maankamaraa fysikaalisten ilmiöiden avulla. Maan sisusta voidaan tutkia esimerkiksi kohdistamalla siihen sähkömagneettisia tai seismisiä aaltoja. Geofysiikan avulla saadaan tietoa maa- ja kallioperästä niiden pintaa rikkomatta.

Tässä politiikkasuosituksessa esitelty GTK:n tutkimus edistää näitä YK:n kestävän kehityksen tavoitteita:

Geofysiikan menetelmiä käytetään esimerkiksi raaka-aineiden etsimiseen maankamarasta



Geofysikaalisia tutkimuksia tehdään useilla mittakaavoilla. Edullinen ja verrattain karkean mittakaavan syvägeofysiikka (punaiset viivat maan pinnalla) ulottuu kymmenien kilometrien syvyyteen Maan kuoreen. Näin voidaan havaita laajamittaisia kuorirakenteita, kuten litosfäärilaattojen rajoja (rakenteet merkitty punaisella sävyllä), jotka ovat merkityksellisiä esimerkiksi siinä, missä syvältä maankuoresta peräisin olevat nesteet ovat aikanaan nousseet ylöspäin tuoden mukanaan arvokkaita metalleja. Pienemmän mittakaavan siirrosjärjestelmissä lähellä maanpintaa metallit ovat voineet saostua ja rikastua taloudellisesti kannattaviksi esiintymiksi (rakenteet merkitty sinisellä sävyllä), ja näiden tarkkaa sijaintia tutkitaan matalampiin (1–2 km syvyisiin) ulottuvilla korkean resoluution geofysikaalisilla menetelmillä, kuten lentomittauksilla. Samanlainen lähestymistapa on hyödyllinen myös muiden luonnonvarojen, kuten geotermisen energian, tutkimuksessa.

Nykyaikainen geofysiikka on yhteiskuntaa hyödyttävän geotieteen kulmakivi

Maankamara on yhteiskunnalle tärkeiden luonnonvarojen lähde. Pohjaveden, kriittisten raaka-aineiden ja geotermisen energian lisäksi näihin luonnonvaroihin lukeutuvat myös maa- ja metsätalouden mahdollistava maaperä. Lisäksi kallioperä tarjoaa mahdollisuuksia ydinjätteen tapaisten haitallisten aineiden turvalliseen loppusijoittamiseen. Ihmisen toiminta saattaa kuitenkin saastuttaa maankamaraa ja pohjavesiä. Kaiken tämän vuoksi maankamaran tuntemus on yhteiskunnalle ratkaisevan tärkeää.

Pinnalle näkyvien geologisten ominaisuuksien perusteella voidaan muodostaa vain rajallisesti tietoa maankamarasta. Kallioperäkairaus on kallista ja sillä saavutettu tieto on hyvin paikallista. Geofysiikka on ainoa tieteenala, joka tarjoaa keinon kuvantaa maankamaraa ilman lapioita tai porauslaitteistoja.

Maankamaraa voidaan kuvantaa fysiikan ilmiöiden, kuten elastisten tai sähkömagneettisten aaltojen, avulla. Läpäisysyvyys ja resoluutio vaihtelevat muutamista senttimetreistä useisiin kymmeniin kilometreihin ja koko Maan läpi.

Geofysiikan aineistoja kerätään usein laajoilta alueilta. Näitä perusaineistoja voidaan käyttää kohdennettujen tutkimusten taustatietoina osana tutkimusmateriaalia sekä apuna lisämittausten kohdentamisessa, kun tiettyä tutkimusaihetta selvitetään tarkemmin.

Esimerkiksi mannerlaattojen vanhojen raja-alueiden kymmenien kilometrien laajuisten ja syvyisten muinaisten nestekiertojärjestelmien kartoittaminen voi auttaa paikallistamaan lupaavimpia, saavutettavissa olevia (enintään muutaman sadan metrin syvyisiä) mineraalien tai geotermisten luonnonvarojen etsintäkohteita. Julkiset toimijat tuottavat perusaineistoja koko toimialan käyttöön. Pienemmät, kohdennetut tutkimukset ovat yleensä merkityksellisempiä yksittäisille sidosryhmille, kuten yksityisille yrityksille (esim. malminetsintä) tai paikallisyhteisöille (esim. pohjavesi tai geoterminen energia).

Geofysiikalla on strateginen rooli luonnonvararikkaille maille kuten Suomelle

Suomi oli geofysiikan menetelmien kehityksen kärjessä 1980-luvulle saakka ja maassa kerättiin merkittävän hyödyllistä geofysiikan aineistoa aina 2000-luvun alkuun asti. Geologian tutkimuskeskuksen valtakunnallisiin kartoitusohjelmiin sisältyi koko maan kattava geofysiikan lentomittaus, joka valmistui toisena maailmassa. Edelle ehti vain Kosovo, jossa mittauksen toteutti niin ikään GTK. Lentogeofysiikan aineisto mahdollisti aivan uudella tasolla kallioperän pinnan tutkimisen, joka on Suomessa lähes kokonaan (94 %) maaperän ja kasvillisuuden peitossa.

Kartoitusohjelmat tuottivat jokaista sijoitettua euroa kohti 2,4 euron liikevaihdon, 1,1 euroa arvonlisäveroa ja 0,5 euroa verotuloja (nykyisen verorakenteen mukaisesti). Suomi on sittemmin lopettanut investoinnit uusien geofysiikan perusaineistojen hankintaan ja geofysiikan tekniikoiden kehittämiseen. Koska muualla maailmassa on tehostettu tiedonkeruuta ja menetelmien kehitystä, suomalaiset geofysiikan aineistot vanhenevat nopeasti, vaikka ovat edelleen arvokkaita.

Nykyaikaiset teknologiset parannukset mahdollistavat aiempaa paljon tarkemman ja syvemmälle ulottuvan tutkimuksen, satojen metrien tai jopa kilometrien syvyyteen, kun taas Suomen maanlaajuiset aineistot ulottuvat muutamaan metriin. Nykyään on mahdollista kuvata maankamaran rakenteita kolmiulotteisesti. Suomalaiset geofysiikan kartat ovat kaksiulotteisia.

Syvämalminetsinnän, geotermisten energialähteiden etsinnän sekä ympäristö- ja pohjavesikartoituksen uusien haasteiden ratkaiseminen hyötyy paljon nykyaikaisista tietoaineistoista. Siksi useimmat suuret teollisuusmaat (Euroopan ulkopuolella) investoivat jatkuvasti geofysiikan aineistojen keräämiseen. Lähes koko Australian mantereesta on käytössä erilaisia huippuluokan geofysiikan aineistoja, joiden avulla kallioperää voidaan tutkia paljon syvemmältä. Arvioiden mukaan julkisesti rahoitettu perusaineistojen mittaus tuotti 76 miljardin AUD:n lisäarvon. Tämä vastaa noin 3,5 prosenttia BKT:sta vuosina 2021–2022. Vastaavia hankkeita on käynnissä Yhdysvalloissa, Kanadassa ja Kiinassa.

Suomalainen geofysiikan yhteisö on perinteisesti vahvasti edistänyt teknologisia innovaatioita esimerkiksi kehittämällä lukuisia aikansa huippujärjestelmiä sekä varhaisimpia lentomittausjärjestelmiä. Kansallisten investointien tyrehtyminen on kuitenkin vaikuttanut suomalaisen teknologian kehitykseen, ja käytetyt tekniikat ovat vanhentuneet. Kuten muualla on nähty, uudet anturit ja GPS-aika ovat merkittävästi parantaneet geofysiikan mittausten tarkkuutta.

Nykyaikaiset valmiit elektroniikkakomponentit mahdollistavat kestävien anturien massatuotannon. Tämä puolestaan mahdollistaa kattavien ja huippuluokkaisten aineistojen keräämisen suuressa mittakaavassa. Suurteholaskennan avulla uudet aineistot voidaan tulkita ja yhdistää kolmiulotteisiksi malleiksi.

Paremmat geofysiikan teknologiat ovat ratkaisevan tärkeitä perusaineistojen keruulle. Niillä tuetaan myös kohdennettua tutkimusta yksittäisissä kohteissa, jotka ovat erityisen kiinnostavia esimerkiksi mineraalisysteemien, geotermisten ominaisuuksien tai pohjavesijärjestelmien kannalta. Rikastushiekkojen kartoittaminen geofysiikan menetelmillä tukee ympäristöriskien hallintaa ja sekundaaristen varantojen arviointia. 3D-kuvantaminen paremmalla erottelutarkkuudella, syvemmältä ja huomattavasti pienemmillä kustannuksilla mahdollistaa laajamittaiset tutkimukset. Näillä voidaan ratkoa aiemmin selvittämättömiä tutkimuskysymyksiä (esim. luonnonvety, geosähköriskit eli riskit sille, että aurinkomyrskyt vahingoittavat sähköverkkoja).

Osana tutkimustoimintaansa GTK on merkittävästi vahvistanut suomalaista geofysiikan alaa. GTK keskittyy valikoituun huipputason välineistöön, jotta voimme edistää erittäin tarpeellisten laajamittaisten tietoaineistojen keräämistä. Työtä tehdään yhteistyössä Suomen vahvan laskentayhteisön kanssa, joka osallistuu omaan suomalaisia supertietokone-ekosysteemejä hyödyntävään koodikehitykseen.

Suomalaiset pk-yritykset ja palveluteollisuus ovat hankkineet mittakaavaltaan pienemmille yrityksille sopivaa teknologiaa (esim. drooneihin perustuvien tekniikoiden kehittäminen), mutta palveluntarjoajia laajamittaisille geofysiikan mittauksille (esim. heijastusseismiikka, CSEM eli keinolähde-EM tai lentomittaukset) ei ole. Lisäksi lisähaasteena geofysiikan alalla on kotimaisen, korkeasti koulutetun työvoiman puute, mikä johtuu riittämättömästä määrästä geofysiikan sovelluksiin sekä uusien geofysiikan mittausten tai tuloskäsittelymenetelmien kehittämiseen suuntautuneita tohtoriopiskelijoita.

Nykyaikaiset pohja-aineistot, mittausmenetelmät ja laskentatekniikat ovat ratkaisevan tärkeitä vastattaessa 2000-luvun haasteisiin

Koska helposti löydettäviä mineraalivarantoja on jäljellä niukasti tai ei lainkaan, löydösten määrä on laskenut maailmanlaajuisesti. Malminetsintä kohdistuu yhä syvemmälle, mikä edellyttää lähestymistapojen muutosta.

Syvälle ulottuva, Suomen ja koko Euroopan kattava geofysiikan perusaineisto on ratkaisevan tärkeää laajojen mineraalisysteemien kartoittamisessa ja luokittelussa. Mineraalisysteemien ymmärtämisen kautta voidaan määrittää mineraalipotentiaali, jota ei voi päätellä maan pinnalta. Vasta tämän vaiheen jälkeen on järkevää aloittaa kallis ja intensiivinen malminetsintä lupaavimmissa paikoissa.

Kansallisia valtuuksia ja resursseja tarvitaan kiireellisesti nykyaikaisten tietoaineistojen muodostamiseksi, jotka ovat keskeisessä asemassa malminetsinnän ohjaamisessa ja siten yksityisen sektorin investointien houkuttelemisessa. Perustiedon keruu on kuitenkin selvästi yksityisen sektorin ulkopuolella tapahtuvaa toimintaa.

Esimerkiksi Kuusamon alue Suomessa on osa suurta muinaista repeämävyöhykettä eli satojen kilometrien laajuista aluetta, jossa mantereemme oli vaarassa repeytyä kaksi miljardia vuotta sitten uuden valtameren syntymisen vuoksi. Prosessi keskeytyi jatkuttuaan miljoonia vuosia. Alueelta äskettäin kerätyistä geofysiikan aineistoista havaittiin, että maankuoren repeämät ilmenevät geofysiikan poikkeavuuksina, jotka ulottuvat syvälle maankuoreen.

Tämän rakenteen kolmiulotteisen kuvantamisen avulla voitiin rekonstruoida muinaisten magmaattisten nesteiden kulkeutumista syvältä maapallon vaipasta aina pintaan asti. Tietyissä olosuhteissa tämä virtaus on johtanut huomattaviin taloudellisesti kriittisten mineraalien esiintymien syntymiseen. Tämän mittakaavan geofysiikan aineistot eivät sovellu mineraaliesiintymien paikantamiseen, mutta ne antavat malminetsinnälle suunnan, josta neula heinäsuovassa voidaan löytää.

Perusaineistot ovat luonnollisesti hyödyllisiä muutenkin kuin malminetsinnässä, sillä ne mahdollistavat esimerkiksi geotermisen potentiaalin kartoitukset tai laajojen pohjavesijärjestelmien kuvaamisen. Geofysiikan mittauksilla voidaan esimerkiksi tunnistaa potentiaalisesti radiogeenisten rapakivigraniittiesiintymien syvyys. Rapakivi voi olla esimerkiksi Kymenlaakson alueella tärkeä geotermisen lämmön lähde.

Geofysiikan perusaineistot ovat tärkeitä myös avaruussäästä johtuvien, energiainfrastruktuurille mahdollisesti tuhoisten geosähköisten vaarojen ehkäisemiseen. Geosähköllä viitataan sähkövirtoihin, joita indusoituu maankuoreen ja sähköverkkoihin auringon toiminnan vaikutuksesta. On tiedostettu, että harvinaiset, hyvin voimakkaat aurinkomyrskyt johtaisivat nykyaikana katastrofaalisiin sähköverkon vaurioihin aiheuttaen laajamittaisia ja viikkoja kestäviin sähkökatkoja, joista seuraisi nälänhätää ja mittavia ihmishenkien menetyksiä. Geosähköisten vaarojen ennustaminen ja lieventäminen vaatii maankuoren sähkönjohtavuusrakenteiden tuntemista, erityisesti asutuskeskusten alueella. Suomessa tähän tarkoitukseen käytettävän aineiston resoluutio on suhteellisen alhainen, ja aineisto olisi kiireellisesti päivitettävä.

Perusaineistojen jälkeen seuraava askel on osoittaa enemmän resursseja kiinnostavien kohteiden tarkempiin mittauksiin esimerkiksi tietyn mineraaliesiintymän, pohjavesikerroksen tai rikastushiekka-altaan ymmärtämiseksi.

GTK käytti esimerkiksi Pirkkalan alueella ympäristögeofysiikan menetelmiä yhdistettynä kairausaineistoihin. Näin pyrittiin havaitsemaan kallioperän lämpöpoikkeamia ja heikkousvyöhykkeitä tietyillä syvyyksillä, tunnistamaan korkean lämmönsiirron alueita ja määrittämään siten optimaalisia kohteita geolämpökaivoille.

Toinen esimerkki on Kurikan laakso, joka on alueellisesti merkittävä pohjavesialue. 3D-pohjavesimallinnuksen epätarkkuuden vähentämiseksi kallion pinta sekä glasiaalisedimentit kartoitettiin tarkasti uudenaikaisilla geofysiikan menetelmillä kyseisen akviferin alueella.

Tarkkuutta tai tunkeutumissyvyyttä (tai molempia) koskevat vaatimukset ovat tyypillisesti suuremmat, kun resursseja kohdennetaan tiettyyn tutkimuspaikkaan, ja kentälle on tuotava tehokkaampia laitteita. Vaikka tällaisia tekniikoita ei tällä hetkellä kehitetä Suomessa, on ymmärretty, että välineistöä ja suorituskykyä on ylläpidettävä kilpailukykyisellä tasolla.

Näin tieteellistä aineistoa voidaan edelleen kerätä korkealla tasolla. Tällaisten tietoaineistojen tulkinta edellyttää kuitenkin omien koodien kehittämistä, koska tällä hetkellä geofysiikan alalta puuttuu suuri avoimen lähdekoodin yhteisö ja kaupalliset ohjelmistot. Vaativa tutkimus tarkoittaa lähes aina uusien menetelmien käyttöönottoa tai kehittämistä, koodien muokkaamista ja tietoaineistojen uusien käsittelytapojen kokeilemista. Tämän vuoksi on tarpeen, että suomalaisen geofysiikan yhteisön ohjelmisto-osaaminen saavuttaa huipputason.

Jatkotoimet: geofysiikan pohja-aineiston keruun, kohdennetun kartoitusteknologian ja laskennallisen tiedon integrointimenetelmän kehittämisen tukeminen

Suosittelemme seuraavia toimenpiteitä:

Jatkuva järjestelmällinen geofysiikan perusaineiston kerääminen ja ylläpito. Aineiston jatkuva kartuttaminen jäsennellyn ja pitkäjänteisen suunnitelman pohjalta on ainoa tapa toteuttaa riittävä kattavuus ja kaikki sidosryhmät tavoittava saatavuus. Laadukas pohja-aineisto houkuttelee investointeja, jotka helpottavat luonnonvarojen kartoittamisen ja muiden valtakunnallisten haasteiden selvittämistä.

Geofysiikan teknologian ja kapasiteetin ylläpito ja uudistaminen. Suomessa on säilytettävä keskeiset geofysiikan valmiudet kohdennettuun syvätutkimukseen (esim. mineraalit, geoterminen tutkimus, tektoniikka ja syvät akviferit) sekä maanpinnan läheiseen geofysiikkaan (esim. ympäristö, pohjavesi ja maaperä). Valmiuksien tulee kattaa koko työnkulku laitteista ja mittauksista tuloskäsittelyyn ja aineistojen yhteistulkintaan kehittyneiden mallinnus- ja laskentatyökalujen avulla. Tämä edellyttää myös lisäpanostusta nuorten geofyysikkojen koulutukseen yhteistyössä yliopistojen kanssa.

Aineistojen yhdistämisteknologian kehittäminen. Tietojenkäsittely ja tietojen yhdistäminen ovat kriittisiä kehityskohteita geotieteissä. Optimaalisen tiedontuoton mahdollistamiseksi geofysiikan eri mittausmenetelmillä eri mittakaavoissa saatavat aineistot on kyettävä yhdistämään muihin geotieteellisiin aineistoihin. Tämä vähentää tulosten moniselitteisyyttä, parantaa resoluutiota sekä lisää syvyyttä, josta rakenteita voidaan tulkita. Laskennan nykyaikaista kehitystä, kuten supertietokoneita, hyödynnetään yhä enemmän näihin tarkoituksiin. Niitä käytetään fysiikan simulointiin, inversioratkaisuihin ja koneoppimismallien koulutukseen.

Lähteet ja lisätiedot

GTK:n tutkimuksen painopisteet, politiikkasuositukset ja tutkimusprojektit

Geofysiikan sovellukset – tietoa tutkimuksesta ja tutkimusprojektit

Tekijät

Jochen Kamm, tutkimusprofessori
jochen.kamm@gtk.fi

Fredrik Karell, yksikön päällikkö
fredrik.karell@gtk.fi

Marta Cyz, erikoistutkija
marta.cyz@gtk.fi

Mihal Malinowski, erikoistutkija
michal.malinowski@gtk.fi

GTK:n tutkimusuutiset

- **Tutkimusprojektissa kehitetään kriittisten raaka-aineiden etsintää entistä syvemmältä**
- **Geologian tutkimuskeskus on kartoittanut mustaliuskeiden esiintymisen maanlaajuisesti ensimmäisenä maailmassa**
- **Suomen maankuoren ylimmän osan 3D-malli katsoo maanpinnan alle**
- **Karttuva geotieto-osaaminen parantaa Uzbekistanin varautumista ilmastonmuutokseen**
- **Geologian tutkimuskeskus: Koillismaan syväreiän loppusyvyys on 1700 metriä – reiän ja sitä ympäröivän alueen monipuolinen tutkiminen jatkuu**

Vertaisarvioidut artikkelit

- Heinonen, S., & Laakso, V. 2024. **Insights gained from two decades of seismic reflection profiling for mineral exploration in Finland**. First Break, 42(8), 71-76.
- Hloušek, F., Jusri, T., Buske, S., Heinonen, S., Karinen, T., Kozlovskaya, E., & Leväniemi, H. 2025. **Seismic imaging of the crustal structure in the Sodankylä region (Finland): Unveiling the Central Lapland Greenstone Belt's mineral potential**. Geophysical Journal International, 241(1), 338-353.
- Korja, T., Engels, M., Zhamaletdinov, A. A., Kovtun, A. A., Palshin, N. A., Smirnov, M. Y., ... & BEAR Working Group, 2002. **Crustal conductivity in Fennoscandia-a compilation of a database on crustal conductance in the Fennoscandian Shield**. Earth, Planets and Space, 54(5), 535-558.
- Leväniemi, H., Järvinen, V., Kamm, J., Niiranen, T., Salminen, J., & Turunen, P. 2024. **Petrophysical cobalt exploration indicators in Kuusamo, northern Finland**. Ore Geology Reviews, 175, Article 106372.
- Savikko, H., Hokkanen, J., Rinne, T., Koutonen, H., & Söderholm, P. 2020. **Suomen kansallisen geotietoaineiston arvo**. (in Finnish)
- Sillitoe, R. H. 2024. 7. **Success and challenges in mineral exploration**. Geochemical Perspectives, 13(1), 141-167.

Muut raportit ja julkaisut

- Autio, U., Darnet, M., Górszczyk, A., Kamm, J., Heinonen, S., Malinowski, M., Kim, B., Singh, B., Vedrine, S., Bretaudeau, F., & Patzer, C. 2024. **Integrating seismic and electromagnetic methods for deep mineral exploration - Results from the SEEMS DEEP project**. In 5th Conference on Geophysics for Mineral Exploration and Mining, Held at the Near Surface Geoscience Conference and Exhibition 2024, NSG 2024 (Code 204933). Elsevier.
- Autio, U., Patzer, C., Kamm, J., Pajunen, V., Darnet, M., Bretaudeau, F., Vedrine, S., Kim, B., & Heinonen, S. 2024. **Magnetotellurics across the Koillismaa Layered Intrusion Complex - Passive electromagnetic data from the SEEMS DEEP project**. In 5th Conference on Geophysics for Mineral Exploration and Mining, Held at the Near Surface Geoscience Conference and Exhibition 2024, NSG 2024 (Code 204933). European Association of Geoscientists and Engineers, EAGE.
- Autio, U., Patzer, C., Kamm, J., Xiao, L., & Mishra, P. 2025. **Recent developments in electromagnetic deep exploration methodologies at the Geological Survey of Finland**. GTK Open File Work Report, 2/2025. Geological Survey of Finland.
- Cyz, M., Malinowski, M., Laakso, V., Brodic, B., & Koskela, E. 2024. **Nodal landstreamer vs. planted geophones for seismic imaging of shallow crystalline bedrock: A comparative performance study**. In 30th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Held at the Near Surface Geoscience Conference and Exhibition 2024, NSG 2024 (Code 204927). Elsevier.
- Darnet, M., Vedrine, S., Kim, B., Deparis, J., Bretaudeau, F., Gance, J., Vermeersch, F., Truffert, C., Autio, U., Kamm, J., Patzer, C., & Kalscheuer, T. 2024. **Ground electrical and electromagnetic methods for deep mineral exploration - Results from the SEEMS DEEP project**. In 5th Conference on Geophysics for Mineral Exploration and Mining, Held at the Near Surface Geoscience Conference and Exhibition 2024, NSG 2024 (Code 204933). Elsevier.
- Singh, B., Górszczyk, A., Malinowski, M., Heinonen, S., Autio, U., & Wojdyła, M. 2024. **Mapping Regional Reflectivity of Mineral-prone Koillismaa Layered Intrusion Complex in Northern Finland using Crooked Seismic Profiles**. In 5th Conference on Geophysics for Mineral Exploration and Mining, Held at the Near Surface Geoscience Conference and Exhibition 2024, NSG 2024 (Code 204933). Elsevier.
- Thurman, N., Kamm, J., Xiao, L., Chudasama, B., Pesonen, J., Niemi, S., Forsberg, R., Knobloch, A., & Saartenoja, A. 2024. **DroneSOM - More precise, efficient, and environmentally friendly mineral exploration**. In 5th Conference on Geophysics for Mineral Exploration and Mining, Held at the Near Surface Geoscience Conference and Exhibition 2024, NSG 2024 (Code 204933). Elsevier.
- **The Australian Lithospheric Architecture Magnetotelluric Project (AusLAMP)**.
- **Exploring for the Future program's AusAEM**.
- **EarthScope USArray magnetotelluric program**.
- **Metal Earth project**.
- Deloitte Access Economics. 2023. **The economic value of government precompetitive geoscience data and analysis for Australia's Resources Industry**.
- **Aerogeophysical maps of Finland are available for browsing in GTK's MDaE-service**
- Examples of aerogeophysical maps downloadable from GTK's Hakku-service:
  - Aerogeophysical anomaly map of Finland
  - Aeroradiometric total count map of Finland
  - Aeroelectromagnetic apparent resistivity map of Finland

Geologian tutkimuskeskus GTK tuottaa puolueetonta tutkimustietoa yhteiskunnalle ja yrityksille vauhdittamaan siirtymää kestävään, hiilineutraaliin maailmaan. GTK:n yli 400 asiantuntijaa ovat erikoistuneet mineraalitalouteen, kiertotalouteen, energia-, vesi- ja ympäristökysymyksiin sekä digitaalisiin ratkaisuihin. GTK on työ- ja elinkeinoministeriön alainen tutkimuslaitos, joka toimii Suomessa ja maailmalla.