

# Iso kriittisten mineraalien tutkimusponnistus Euroopan unionin elpymistukirahalla

MARI KIVINEN, JONNA TIRRONIEMI, HARRI KAIKKONEN, ANNA TORNIVAARA,  
EMMI HEIKKILÄ, TAINA ELORANTA JA KIMMO KÄRENLAMPI

Geologian tutkimuskeskuksessa (GTK) on kohta kaksi vuotta ollut käynnissä Euroopan unionin (EU) elpymis- ja palautumistukivälineen (REPowerEU) kautta rahoitettu REPower-CEST eli Puhtaan energijärjestelmän siirtymä -projekti. Projektin tavoite on muodostaa Suomelle puhtaan energiasiirtymän tiekartta ja siihen liittyvä tietoaalusta. Projekti toteutetaan kolmen tutkimusorganisaation, Suomen ympäristökeskuksen (Syke), GTK:n ja Teknologian tutkimuskeskuksen (VTT Oy), voimin. Valmista tulee alkukesästä 2026.

GTK:n vastuulla projektissa on kriittisten raaka-aineiden tutkimuskokonaisuus, jossa raaka-aineita tarkastellaan energiasiirtymän ja venäläisestä energiasta irtautumisen kontekstissa. Projektissa on kriittisten raaka-aineiden osalta vahva linkitys EU:n kriittisten raaka-aineiden asetukseen (*Critical Raw Materials Act*, CRMA) sekä asetuksen edellyttämään kriittisiin raaka-aineisiin liittyvän tiedon tuottamiseen ja tiedonhallinnan kehittämiseen.

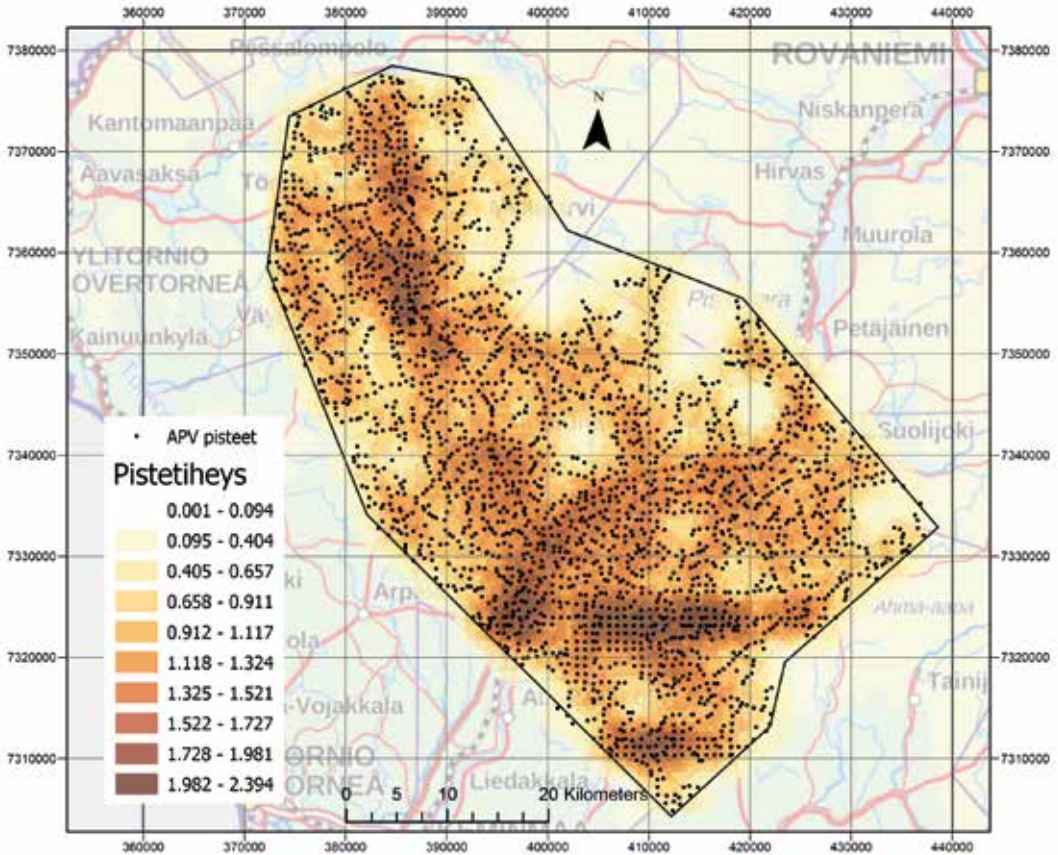
Kriittisiä raaka-aineita tarkastellaan projektissa kallioperän ja kaivannaisjätealueiden raaka-ainepotentiaalin sekä ympäristövaikutusten, tiedonhallinnan, arvoketjujen ja teollisen toiminnan kehittymisen sekä kriittisiin raaka-aineisiin liittyvän julkisen ohjauksen oikeudenmukaisuuden näkökulmista. Kaikki nämä osiot tuottavat tietoa energiasiirtymän tiekarttaan ja korostavat siten raaka-ainekysymysten merkitystä energiasiirtymän toteuttamisessa. Ne myös lisäävät GTK:n osaamis pohjaa ja vaikuttavuutta kriittisten raaka-aineiden osalta kansallisella tasolla (ks. esim. Koljonen

ym. 2025). Projektissa työskenteleville kymmenille tutkijoille projekti tarjoaa mielenkiintoisia tutkimusaiheita ja mahdollisuuden kehittää osaamistaan. Seuraavassa esitellään pääpiirteittäin projektin kriittisiin raaka-aineisiin liittyvät työosiot.

## Raaka-aineiden tuotanto: Suomi osana kansainvälisiä arvoketjuja

Energiasiirtymässä tarvittavien raaka-aineiden tuotannon odotetaan kasvavan EU:n alueella ja useita EU:n kriittisiksi määrittelemiä mineraaleja löytyy Suomesta (Friedrichs ym. 2025). REPower-CEST-projektissa lisätään päätöksentekoa tukevaa ymmärrystä ja osaamista raaka-aineiden kansallisista ja kansainvälisistä arvoketjuista. Tutkimuskohteena on erityisesti kansainvälisten markkinoiden ja geopoliittisten muutosten vaikutus kansallisiin tavoitteisiin sekä kotimaisen kaivostoiminnan kapasiteetin kehittyminen energiatuotannon kannalta olennaisten raaka-aineiden osalta. Raaka-ainetuotannon esteitä ja pullonkauloja tutkimalla voidaan arvioida energiahuollolle oleellisten raaka-aineiden riittävyyttä tulevaisuudessa.

Projektissa tarkastellaan myös energiasiirtymän kannalta olennaisten raaka-aineiden tuotantoon liittyviä haasteita, geopoliittisten päätösten vaikutusta ja sosiaalisten toimilupien merkitystä. Tutkimuksen keskiössä on raaka-ainetuotanto, jonka arvoketjut linkittyvät olennaisesti kansainvälisiin markkinoihin.



Kuva 1. REPower-CEST-projektissa toteutetun painovoimamittauksen pistesijainnit ja pisteiden tiheysjakauma. Tyypillinen mittauspisteiden tiheys on 1,5 pistettä neliökilometriä kohden. Muokattu lähteestä Luhta ym. (2025).

Figure 1. Locations and density distribution of REPower-CEST regional gravity measurement points. Typical density of the measurement points is 1.5 points per square kilometre. Modified from Luhta et al. (2025).

## Kallioperän mineraalipotentialia tutkitaan Peräpohjalla

Toukokuussa 2024 voimaan tullut EU:n Kriittisten raaka-aineiden asetus (CRMA) edellyttää jäsenmailta kansallisen etsintäohjelman luomista kallioperän strategisten raaka-aineiden kartoituksen ja hyödyntämisen edistämiseksi. Strategisiin raaka-aineisiin lukeutuu iso joukko alkuaineita, joita tarvitaan energiasiirtymän toteuttamiseen (esim. Li, Co, Cu, Ni, harvinaiset maametallit) ja joista EU-alueen teollisuus on riippuvainen.

Asetuksen mukaan ohjelman tulee muun muassa sisältää: 1) mineraalien kartoitusta so-

veltuvassa mittakaavassa, 2) geokemian ohjelmia, 3) geotieteellisiä mittausohjelmia (esim. geofysiikan mittaukset), 4) kerätyn aineiston prosessointia ja tulkintaa, mm. esiintymäpotentiaalinen ennustekarttojen luomista sekä 5) olemassa olevien geotieteellisten aineistojen uudelleen tulkintaa ja sen pohjalta tehtävää kriittisten raaka-aineiden löytymispotentialin arviointia.

REPower-CEST-projektissa luotiin perusteet CRMA:n edellyttämälle kansalliselle etsintäkonseptille. Konseptin kehittämistä varten tarkasteltiin alan toimijoiden (yliopistot, tutkimuslaitokset, yksityinen sektori) roolia eri osa-alueilla. Lisäksi tarkasteltiin tarvitta-

vien mittaus- ja tutkimusohjelmien mahdollisia rahoitusmalleja. Kolmantena tarkastelu-kohteena olivat kustannustehokkaimmat ja ympäristölle vähiten haitalliset menetelmäkoneaisuudet, joilla energiasiirtymän vaatimien kriittisten ja strategisten raaka-aineiden löytämispotentiaali voidaan paremmin tunnistaa.

Työhön sisältyy konseptin osa-alueiden testaamista Pohjois-Suomessa Rovaniemen ja Kemian välillä lounaisen Peräpohjolan alueella. Alueella vuonna 2024 tehdyt geofysiikan mittaukset (heijastusseisminen profiilimittaus ja painovoimamittaukset; kuva 1) ovat esimerkki CRMA:n mukaisesta geotieteellisestä mittausohjelmasta (Luhta ym. 2025). Näiden mittausten sekä olemassa olevan aineiston pohjalta 3D-mallinnetaan alueen mineraalisysteemien rakennearkkitehtuuri ja tuotetaan alueelta päivitetty esiintymäpotentiaalinen enustekartta (em. kohdat 4–5).

Lisäksi Vähäjoen rauta-kupari-koboltti-kulta-esiintymästä tehdään tarkempi tutkimus. Siinä yhdistyvät geokemian tutkimus (em. kohta 2) sekä olemassa olevien aineistojen ja malmigeologisten käsitysten uudelleenarviointi kriittisten raaka-aineiden kannalta

(em. kohta 5). Vähäjoen tutkimuksista voi lukea lisää tämän lehden toisesta kirjoituksesta sivuilta 149–157.

## **Kaivannaisjätteiden raaka-aineet tunnistetaan kahdeksalta vanhalla jätealueelta**

Tällä hetkellä Suomessa ei ole kattavaa tutkimustietoa vanhojen kaivannaisjätealueiden uudelleenhyödyntämispotentiaalista. REPower-CEST-projektissa tehdään kansallinen selvitystyö vanhojen kaivannaisjätteiden hyödyntämispotentiaalista Suomessa. Tämä on osa CRMA:ta ja jäsenmaiden raportointivelvoitetta.

Arvoainespotentiaalisen selvityksen avulla saadaan käsitys vanhojen kaivannaisjätealueiden hyödyntämispotentiaalista sekä jatkotutkimustarpeesta. Tutkimus kattaa kahdeksan vanhaa kaivoskohdetta (Kotalahti, Hammaslahti, Orijärvi, Enonkoski, Makola, Rautuvaara, Saattopora ja Vuonos), joiden rikastushiekka-alueilla tehtiin kairausnäytteenotto kesinä 2024 ja 2025 (kuva 2). Näytteistä tutkitaan



Kuva 2. Näytteenottokairausa Enonkosken vanhalla rikastushiekka-alueella syksyllä 2025. Alueella kasvaa matalaa mäntymetsää. Kuva: Mari Kivinen.

Figure 2. Samples were taken by drilling at Enonkoski old mining waste facility during fall 2025. The area is covered with pine forest. Photo: Mari Kivinen.

mm. geokemiallinen koostumus, raekoko, mineralogia ja tiheys. Muutamalta kohteelta tutkittiin myös sivukivien geokemiaa. Tutkituille kaivannaisjätealueille toteutetaan tarvittaessa myös korkeusmalli ja tehdään tilavuusmallinus.

Tutkimustulokset tulevat edesauttamaan sekundääristen raaka-ainelähteiden hyödyntämismahdollisuuksien selvittämistä ja pienentämään yksityisten toiminnanharjoittajien investointikynnystä niihin. Selvitystyö antaa toiminnanharjoittajalle alustavan arvion hyötymineraalien ja -metallien pitoisuuksista, raakoosta sekä alustavan arvion materiaalin hyödyntämiskelpoisuudesta.

Saadut tulokset tallennetaan GTK:n hallinnoimaan mineraaliesiintymätietokantaan ja raportoidaan CRMA artikla 27:n mukaisesti osana kaivannaisjätteiden kansallista kriittisten raaka-aineiden raportointia. Luokittelu tehdään käyttäen YK:n raaka-aineluokittelua (UNFC), joka on Euroopan komission päätöksellä EU-tasoinen luokittelutapa. Lisäksi toteutetaan mineraaliesiintymätietokannan tietomallin laajennus kaivannaisjätteisiin sekä käyttöliittymän ja tiedon jakelun kehittäminen CRMA:n mukaisesti. Nämä toimet tehostavat kaivannaisjätealueiden raaka-ainepotentiaalın asianmukaista raportointia.

## Rikastushiekkojen prosessointia optimoidaan laboratorioolosuhteissa

Onnistuakseen arvoaineiden erottaminen rikastushiekasta vaatii materiaaliominaisuuksien karakterisointia. REPower-CEST-projektissa kehitetään ja pilotoidaan rikastushiekkojen karakterisointimenetelmiä ja testataan niiden prosessointia laboratoriomittakaavassa. Näyttemateriaalina toimii Orijärven vanhan kaivoksen rikastushiekasta otettu todennäköisesti kuparia (Cu), sinkkiä (Zn), lyijyä (Pb), hopeaa (Ag) ja kultaa (Au) sisältävä näyte (kuva 3). Ri-



Kuva 3. Orijärven suljetulta rikastushiekka-alueelta otettiin lapionäytteitä rikastustutkimuksia varten kesällä 2025. Pintakerros on hapettunut ruskeaksi. Kuva: Mari Kivinen.

Figure 3. Samples for beneficiation tests were collected from closed tailings site at Orijärvi on summer 2025. Surface layer has oxidised (brown colour). Photo: Mari Kivinen.

kastushiekkojen prosessointimenetelmien tutkimiseksi ja karakterisoinnin parantamiseksi on hankittu useita analyysilaitteita. Hankitut laitteet on sijoitettu GTK Mintecin Outokummun laboratorioon.

Lisäksi projektissa jatkokehitetään analyysi- ja raportointijärjestelmää, joka yhdistää rikastushiekkänäytteiden automatisoidun mineralogian tulokset, mineraalien ominaisuustiedot ja kemialliset analyysit (Jooshaki ym. 2024; GTK 2025). Järjestelmä hyödyntää MinerAll-ohjelmistoa, joka käsittelee FEI MLA- ja Bruker AMICS -järjestelmillä tuotettua partikkelidataa. Tämä data yhdistetään mineraalien prosessointiominaisuuksiin, jolloin voidaan kvantifioida partikkelien rikastettavuus- ja hyödynnettävyysominaisuuksia. Tulosten avulla saadaan toistettava ja systemaattinen kuva mineraalien esiintymisestä ja ominaisuuksista rikastushiekkavirrassa, mikä tukee kiertotalouspotentialin arviointia ja päätöksentekoa kriittisten raaka-aineiden osalta.

## **Tiedonhallinnan kehittämistä kaivannaisjätteisiin ja hydrologisiin aineistoihin liittyen**

GTK:n mineraaliesiintymätietokanta sisältää kaivosten louhintatiedot sekä runsaasti tietoa Suomen mineraaliesiintymistä ja kallioperän raaka-aineista. Tällä hetkellä tietokantaan ei voi syöttää kaivannaisjätealueiden tietoja. Tätä puutetta korjataan REPower-CEST-projektissa. Lisäksi kehitetään jakelukanavia, joiden kautta Suomen kaivannaisjätetietoja pääsee tarkastelemaan.

Tietomallin suunnittelussa huomioidaan EU:n laajuinen m4eu-tietokanta ja sen tietotarpeet. Myös kaivannaisjätteitä koskeva CRMA artikla 27:n mukainen ohjeistus ja YK:n raaka-aineluokittelu (UNFC) huomioidaan tietomallin suunnittelutyössä, jotta GTK pystyy vastaamaan kaikkiin tiedonkeruu- ja jakelutarpeisiin. Mineraaliesiintymätietokannan käyttöliittymä uudistetaan sisältämään uusi kaivannaisjäteosio.

Kerätyt kaivannaisjätetiedot tuotteistetaan tietotuotteiksi jaeltaviksi GTK:n Mineral Deposits and Exploration (MDaE) -karttapalve-

lussa sekä m4EU-tietokannassa EDGI-portaalissa.

Lisäksi projektissa kootaan alueelliset hydrogeologiset lähtötiedot vesivarantojen tunnistamiseksi ja kaivostoiminnan eri vaiheiden ympäristövaikutusten arvioinnin pohjaksi. Projektissa pilotoidaan yksi laajempi malminetsintä- tai kaivossuunnitteluvaiheessa olevan alueen sekä ainakin yksi arvoainespotentiaalitutkimukseen valittu kohde. Näistä tehdään alueellinen hydrogeologinen tarkastelu, jonka lähtöaineistoina käytetään GTK:n ja Syken aineistoja ja muita avoimia aineistoja. Luotua hydrogeologista aineistotietokantaa voidaan hyödyntää ympäristövaikutusten tarkastelun näytteenotossa ja arvioitaessa kaivannaisjätealueiden uudelleenkäytön mahdollista ympäristökuormitusta. Kerättyä aineistoa voidaan käyttää tulevilla projekteilla, joissa hyödynnetään tekoälyyn tai koneoppimiseen perustuvaa kehittyntä aineistoanalyysiä.

Puhtaan energiajärjestelmän siirtymä (REPower-CEST) -projekti rahoitetaan Euroopan unionin kautta (number 151, P5C1I2, NextGenerationEU). Lue lisää projektista: <https://hiilineutraalisuomi.syke.fi/projektit/repower-cest/>

**MARI KIVINEN**

(mari.kivinen@gtk.fi)

Mineraalitalouden ratkaisut  
Geologian tutkimuskeskus, Espoo

**ANNA TORNIVAARA**

(anna.tornivaara@gtk.fi)

Vesi- ja kaivosympäristöratkaisut  
Geologian tutkimuskeskus, Espoo

**JONNA TIRRONIEMI**

(jonna.tirroniemi@gtk.fi)

**HARRI KAIKKONEN**

(harri.kaikkonen@gtk.fi)

Mineraalitalouden ratkaisut  
Geologian tutkimuskeskus, Rovaniemi

**TAINA ELORANTA**  
(taina.eloranta@gtk.fi)  
Tietoratkaisut  
Geologian tutkimuskeskus, Rovaniemi

**EMMI HEIKKILÄ**  
(emmi.heikkila@gtk.fi)  
**KIMMO KÄRENLAMPI**  
(kimmo.karenlampi@gtk.fi)

Kiertotalouden ratkaisut  
Geologian tutkimuskeskus, Outokumpu

*Kirjoittajat toimivat REPower-CEST-projektissa tutkimusosioista vastaavissa rooleissa. Mari Kivinen toimii GTK:n tutkimuskokonaisuuden vetäjänä ja projektipäällikkönä.*

## Summary

**Major research effort on critical minerals funded by the European Union recovery instrument**

The Geological Survey of Finland (GTK) has participated in the ‘Clean energy system transition’ (REPower-CEST) -project for nearly two years. The project is funded through the EU Recovery and Resilience Facility (REPowerEU). Its goal is to develop a roadmap and a related data platform for Finland’s clean energy transition. The project is carried out in collaboration with three research organizations: the Finnish Environment Institute (Syke), GTK, and Technical Research Centre of Finland Ltd (VTT). The final results are expected in early summer 2026.

GTK is responsible for the work package on critical raw materials, examining raw material issues in the context of the energy transition and the decoupling from Russian energy. The work package has a strong link to the EU Critical Raw Materials Act (CRMA), particu-

larly in terms of generating and managing raw materials data required by the regulation.

Critical raw materials are studied from multiple perspectives: the mineral potential of bedrock and mining waste areas, environmental impacts, data management, value chains, industrial development, and the fairness of public governance related to critical raw materials. All these components contribute to the energy transition roadmap and highlight the importance of raw material issues in implementing the transition. They also strengthen GTK’s expertise and impact on critical raw materials at the national level (see e.g. Koljonen et al. 2025). In addition, the project provides interesting research topics and opportunities to several researchers.

## Lähdeluettelo

- Friedrichs, P., Långbacka, B., Bertelli, M. & Kivinen, M., 2025. Finnish Battery Minerals for the Green Transition in the Context of Global Value Chains and Markets. Geological Survey of Finland, Open File Research Report 36/2025, 42 s.
- Geologian tutkimuskeskus, 2025. GTK kehittää ohjelmistoyökalua nopeuttamaan kriittisten raaka-aineiden tunnistamista puhtaan energiajärjestelmän siirtymän tarpeisiin. <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/gtk-kehittaa-ohjelmistoyokalu-nopeuttamaan-kriittisten-raaka-aineiden-tunnistamista-puhtaan-energiajarjestelman-siirtyma-tarpeisiin/> [12.9.2025]
- Jooshaki, M., Kallio R., Ataide Salvador, D., Kärenlampi, K., Markkanen, M. ym., 2025. General Specification of the Software for Automated Mineralogy-Based Identification and Visualization of Potential Raw Materials in Mineral Processing Wastes. Geological Survey of Finland, Open File Work Report 3/2025, 13 s.
- Koljonen, T., Soimakallio, S., Silfver, T., & Kivinen, M. (toim), 2025. Kansallisen energia- ja ilmasto-politiikan uudet toimet ja skenaariot (KEITO) – keskipitkän aikavälin vaikutusarviot. VTT technology, raporttiluonnos, 254 s.
- Luhta, T., Jokinen, J., Salmirinne, H., Malinowski, M. & Luoto, T., 2025. Geophysical measurements of the REPower-CEST project. Geological Survey of Finland, Open File Work Report 28/2025, 40 s.