

2025. Weak signals in Science and Technologies 2024, Publications Office of the European Union, Luxembourg, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/6571994>, JRC140959.
- Farinha, J., Vesnic Alujevic, L. & Hristova, M. A., 2023. Identifying future critical technologies for space, defence and related civil industries. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 56 s.
- Geologian tutkimuskeskus, 2025. Kriittiset ja strategiset raaka-aineet. <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/kriittiset-ja-strategiset-raaka-aineet/> [27.8.2025].
- Georgitzikis, K., 2024. Data collection for the Raw Materials Information System (RMIS). Publications Office of the European Union, Luxembourg, 29 s.
- Georgitzikis, K., Eynard, U., Bobba, S., Perpetuo Coelho, F., Ingoglia, D. & Garbossa, E., 2023. Platinum: Impact assessment for supply security. European Commission, 8 s.
- Grohol, M. & Veeh, C., 2023. Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Final report. Publications Office of the European Union, 152 s.
- Ierides, M., Nohl, L., Alves Dias, P., Nohl, M., Blagoeva, D., ym., 2025. Substitution and reduction of critical and strategic raw materials in clean energy technologies – An overview of solutions using advanced materials. Publications Office of the European Union, 66 s.
- OECD, 2019. Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences. OECD Publishing, Paris, 210 s.
- Valtioneuvosto, 2025. Tulevaisuustyö ja ennakointi. www.valtioneuvosto.fi/tulevaisuustyö-ja-ennakointi [28.8.2025].

Kriittisesti kriittisistä raaka-aineista

JUSSI S. HEINONEN JA ELINA LEHTONEN

Euroopan komission määritelmän mukaan kriittiset raaka-aineet (*Critical Raw Materials*, CRM) ovat raaka-aineita, joilla on suuri taloudellinen merkitys ja joiden saatavuuteen liittyy merkittävä riski. Ne ovat keskeisiä nykyaikaisen teknologian ja teollisuuden kannalta, ja niitä tarvitaan muun muassa uusiutuvan energian tuotannossa, sähköajoneuvoissa, elektroniikassa ja puolustusteollisuudessa. EU:n vuoden 2023 listalla on 34 kriittistä raaka-ainetta, joskin todellisuudessa yksittäisten alkuaineiden määrä on suurempi, sillä osa, kuten platinaryhmän metallit, on niputettu listassa yhteen ryhmään (European Commission 2023). Tästäkin Geologi-lehden numerosta käy ilmi, että kallioperässämme on potentiaalia uusien esiintymien löytämiseen.

Kriittisten raaka-aineiden tarve liitetään usein kestävään kehitykseen ja ”vihreään siirtymään”, mutta niiden käyttö ei rajoitu pelkästään välttämättömiin tai hyödyllisiin tarkoituksiin. Esimerkkinä tästä on valtavia määriä energiaa ja raaka-aineita kuluttava kryptovaluuttalouhinta. Kryptovaluutat ovat

spekulatiivista digitaalista varallisuutta ilman konkreettista arvoa. Pelkästään kryptovaluutta Bitcoinin louninnan on arvioitu viime vuosina kuluttaneen saman verran energiaa kuin Ruotsi tai Puola eli noin 0,4–0,6 prosenttia globaalista energiankulutuksesta (Delahaye 2024). Trendi on kasvamaan päin.

Tekoälyn energiankulutuksen on arvioitu ylittävän Bitcoinin energiankulutuksen vuoden 2025 loppuun mennessä (de Vries-Gao 2025, ks. myös Chen 2025). Vaikka tekoälystä voi olla paljon hyötyä, monet sovellukset, kuten Google, käyttävät sitä oletuspalveluna usein hyödyttömin ja harhaanjohtavin tuloksin (Williams 2024). Lisäksi käyttäjät tuottavat sillä runsaasti merkityksetöntä sisältöä, jota voisi kutsua digitaalseksi jätteeksi (kuva 1).

Kryptovaluuttalouhimoiden tehokkaat tietokoneet ja tekoälyn tarvitsemat datakeskukset syövät enenevässä määrin kriittisiä raaka-aineita, kuten kuparia, kobolttia ja harvinaisia maametalleja. Geologien etsimiä harvinaisia ja arvokkaita luonnonvaroja pää-



Kuva 1. Tämä kuva on tuotettu tekoälyllä (Microsoft Copilot) käyttäen kehoitetta “Draw an image (any style) of geologists looking for critical minerals in Finland”. Yhden tekoälyn luoman kuvan generoiminen kuluttaa keskimäärin saman verran energiaa kuin kannettava tietokone noin kymmenessä tunnissa (Chen 2025). Lukija voi pohtia, onko kuva tämän kulutuksen arvoinen.

Figure 1. This image was generated by AI (Microsoft Copilot) using the prompt “Draw an image (any style) of geologists looking for critical minerals in Finland”. On average, generating one AI-generated image consumes the same amount of energy as a laptop running for about ten hours (Chen 2025). The reader may ponder whether the image was worth this consumption.

tyy näin ollen suuria määriä myös toimintaan, joka ei palvele ihmiskunnan tai ympäristön hyvinvointia.

Malminetsintä kohtaa usein vastustusta esimerkiksi sen vuoksi, että ihmiset pelkäävät kaivosten pilaavan kotiseutunsa ympäristön (Leino ym. 2023). Tähän huoleen meillä geologeilla on ollut tapana vastata uusien esiintymien kartoittamisen ja löytämisen olevan niin haastavaa ja vaivalloista, että vain noin joka tuhannes malminetsintäoperaatio johtaa lopulta kaivostoimintaan (ks. Kaiva.fi i.a.). Heti perään voisikin kysyä, onko hyväksyttävää, että nämä vaivalla etsimämme luonnonvarat päätyvät käyttökohteisiin, joita ei tarvita tai

joista on jopa enemmän haittaa kuin hyötyä (ks. myös Heinonen 2022).

Geologeina meillä on keskeinen rooli erilaisten luonnonvarojen tunnistamisessa, kartoittamisessa ja hyödyntämisessä. Geologista tietoa ja asiantuntijuutta tarvitaan tulevaisuudessaakin eri tavoin. Tämän lisäksi voisimme vaalia ammattilypeyttämme myös keskustelemalla laajemmin siitä, mihin tarkoituksiin luonnonvaroja käytetään – ja tulisi käyttää. Tärkeää on myös vastuullisuuden vaatiminen raaka-aineiden koko arvoketjussa. On ollut ilo huomata, että tätä tietä on jo avattu myös kotimaisissa tutkimuslaitoksissamme (esim. Kinnunen ym. 2024).

Vaikka raaka-aineiden kriittisyys liittyy keskeisesti geopolitiikkaan, se on osin myös itseaiheutettua. Geologisen tiedon tuottamisen lisäksi meillä geologeilla ja muilla geotieteilijöillä on vastuu olla haastamassa ylikulutusta ja tukea käytäntöjä, jotka suuntaisivat kohti luonnonvarojen käytön kohtuullistamista.

DOS. JUSSI S. HEINONEN

(jussi.heinonen@abo.fi)

Åbo Akademi

FT ELINA LEHTONEN

(elina.lehtonen@helsinki.fi)

Helsingin yliopisto

Kirjoittajat ovat geologeja, joita kiinnostaa luonnonvarojen ja kulutuksen suhde.

Summary

Critically about critical raw materials

Critical raw materials (CRMs), as defined by the European Commission, are essential for modern technologies like renewable energy, electric vehicles, and defense. The EU's 2023 list includes 34 CRMs, though actual elements are more numerous. Their demand is tied to sustainability, but also to questionable uses such as cryptocurrency mining and uncontrolled AI, which consume vast amounts of energy and resources without necessarily benefitting the well-being of societies and the planet. Geologists play a key role in identifying and managing CRM-related natural resources and could play a similar part in advocating their responsible use across the entire value chain. This summary was written based on a sketch generated by AI (Microsoft Copilot).

Lähdeluettelo

- Chen, S., 2025. How much energy will AI really consume? The good, the bad and the unknown. *Nature* 639, 22–24. <https://doi.org/10.1038/d41586-025-00616-z>
- Delahaye, J.-P., 2024. Bitcoin: electricity consumption comparable to that of Poland. *Polytechnique insights – A review by Institut Polytechnique de Paris*. <https://www.polytechnique-insights.com/en/columns/energy/bitcoin-electricity-consumption-comparable-to-that-of-poland/> [28.8.2025]
- de Vries-Gao, A., 2025. Artificial intelligence: Supply chain constraints and energy implications. *Joule* 9, 101961. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2025.101961>
- European Commission, 2023. Document 52023PC0160: Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 and (EU) 2019/1020. COM/2023/160 final.
- Heinonen, J. S., 2022. Näkökulma: Geologit suunnan näyttäjiksi kestävyysmurroksessa. *Geologi* 74 (3), 110–112.
- Kaiva.fi, i.a. Malminetsintä. <https://kaiva.fi/kaivannaisala/kaivostoiminta/malminetsinta/> [28.8.2025]
- Kinnunen P., Salo, M., Heikola, T., Porvali, A., Riihimäki, T., ym., 2024. BATTRACE – Sustainable processing and traceability of battery metals, minerals, and materials. *VTT Technology* 424, VTT, 35 s.
- Leino, J., Kivinen, S., Mononen, T. & Sihvonen, J., 2023. Yhteistä ja yksityistä hyvää: kokemuksia kaivostoiminnan ympäristöoikeudenmukaisuudesta maaseuduilla. *Alue ja Ympäristö* 52, 5–28. <https://doi.org/10.30663/ay.130927>
- Williams, R., 2024. Why Google's AI Overviews gets things wrong. *MIT Technology Reviews*. <https://www.technologyreview.com/2024/05/31/1093019/why-are-googles-ai-overviews-results-so-bad/> [28.8.2025]