



Kaivosalan kiertotalouden ja vastuullisuuden edistäminen: Geotieteet ja kestävä tulevaisuus

Siirtyminen kestäviin energiateknologioihin lisää mineraalien kysyntää ja edellyttää mineraali-raaka-aineiden tehokkaampaa ja vastuullisempaa käyttöä. Geotieteet ja mineraalitekniikka ovat olennaisen tärkeitä, kun pyrimme ratkaisemaan näitä kysymyksiä. Keskeisiä painopistealueita ovat jalostusratkaisujen kehittäminen, materiaalien jäljitettävyyden ja kierrätettävyyden parantaminen sekä suunnitteluun perustuvan kiertotalouden edistäminen kaivoshankkeissa. Tällaista innovointia tarvitaan välttämättä, jotta rajallisia mineraalivaroja voidaan hallita kestävästi sekä samalla vähentää ympäristövaikutuksia ja turvata kriittisten materiaalien saatavuus.

Kiertotaloussuunnittelu sekä mineraalien ja materiaalien jäljittäminen

Mineraalien kiertotalous tukee globaalia energiasiirtymää. Tähän lähestymistapaan kuuluvat seuraavat näkökohdat:

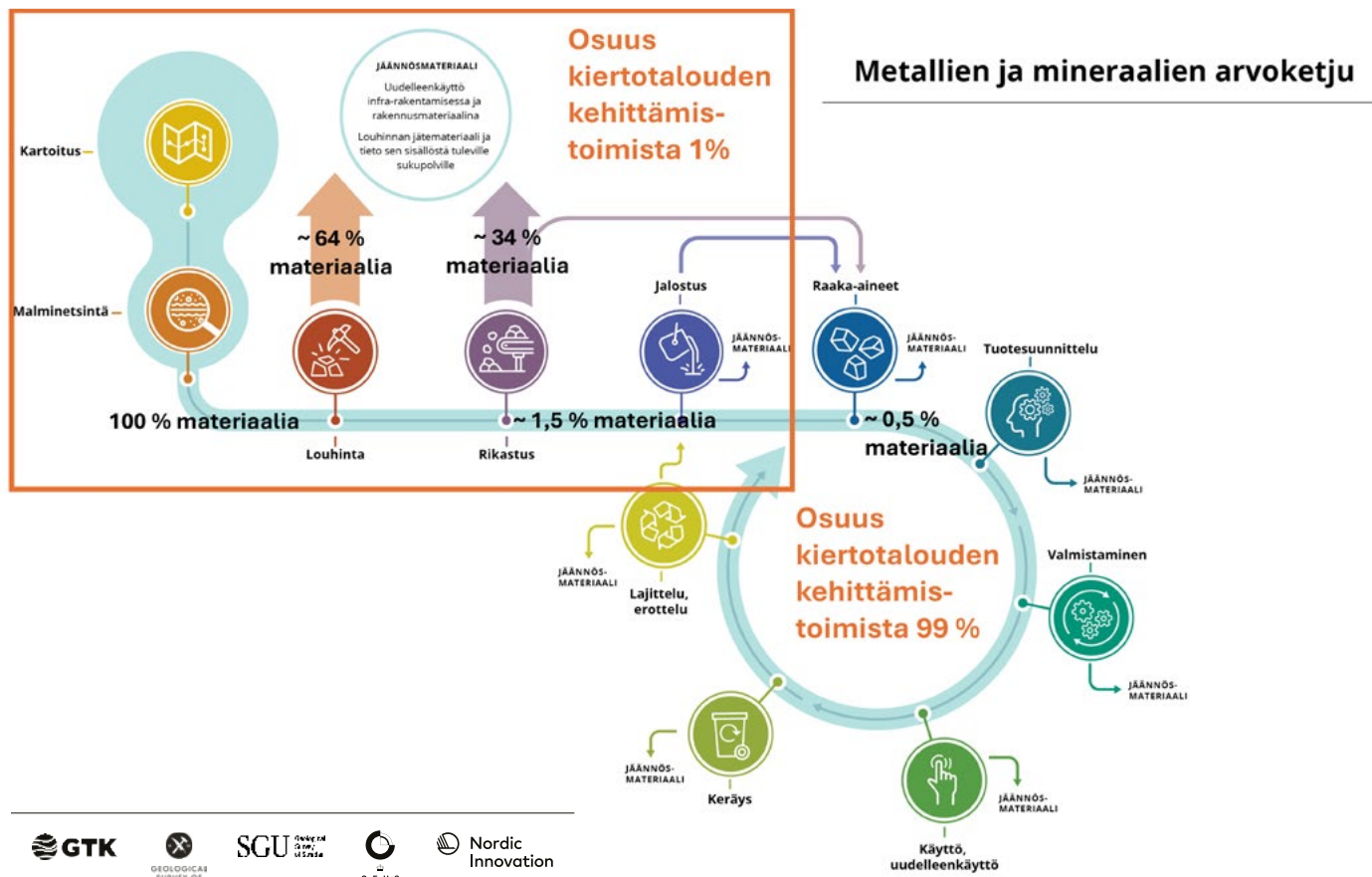
- **Mineraalitekniikan ratkaisut.** Kehitetään parempia erotusmenetelmiä, joiden avulla arvokkaat mineraalit voidaan ottaa talteen louhituista malmeista, jätteistä ja teollisuuden sivutuotteista.
- **Jäljitettävyyden ja kierrätettävyyden.** Otetaan käyttöön kehittyneitä karakterisointi- ja sormenjälkiteknikoita mineraalien alkuperän jäljittämiseksi. Parannetaan uusioraaka-aineiden kierrätettävyyttä lisäämällä materiaaliosaamista.

- **Suunnitteluun perustuva kiertotalous.** Edistetään kaivosjätteen hyötykäyttöä kaivoshankkeiden innovatiivisella suunnittelulla ja kehittämällä sivutuotteita, jotka vähentävät jätettä, tukevat kestävyttä ja parantavat resurssien hyödyntämistä.

Näiden osa-alueiden edistyessä mineraalien kiertotalous vähentää ympäristövaikutuksia, lisää resurssitehokkuutta, monipuolistaa raaka-aineiden lähteitä ja edistää kaivosteollisuuden vastuullisuutta.

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





Panostamme kiertotalouteen – mutta suuntaammeko panoksemme oikein? Louhitun raaka-aineen kokonaismäärästä vain pieni osuus päätyy tuotekiertoosi asti. Suurin osa kiertotalousponnisteluista kohdistuu kuitenkin arvoketjun tähän osaan. Arvoketjun visualisointi on tehty GTK:n, NGU:n, SGU:n, GEUS:n ja Nordic Innovationin yhteistyönä.

Kestävän mineraalituotannon rakentaminen energiasiirtymää varten

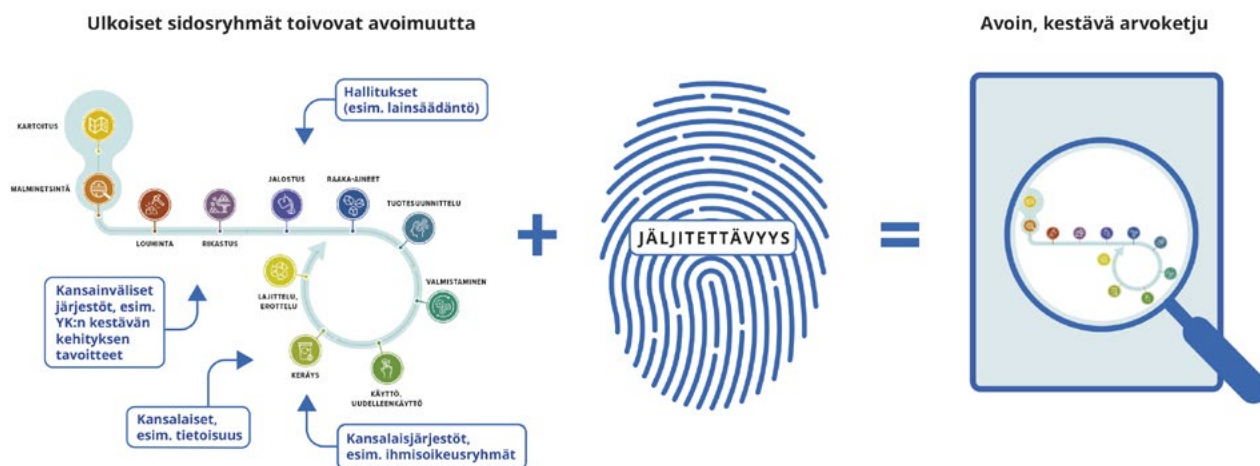
Tällä hetkellä yhteiskunnilla on tarve luopua asteittain fossiilisista polttoaineista ja siirtyä uusiutuvan energian tuotantoon ja käyttöön. Tämä muutos edellyttää mineraaleihin perustuvia ratkaisuja, kun rakennetaan uusia energiateknologioita. Niihin tarvitaan huomattavia määriä mineraaleista saatavia raaka-aineita, kuten uusia teknologiametalleja.

Metallin kysynnän merkittävään kasvuun vastataan kasvattamalla myös kaivostuotantoa, sillä tuotannon kasvua ei alkuvaiheessa saavuteta pelkästään kierrättämällä. Tällä hetkellä vain 33 % kuparista, 31 % nikkelistä, 26 % alumiinista, 10 % koboltista ja 3 % litiumista on peräisin kierrätyslähteistä. Harvinaisista maametalleista kierrätetään tällä hetkellä vain noin yksi prosentti.

Euroopan unioni asetti kriittisiä raaka-aineita koskevasa säädöksessä Euroopalle kunnianhimoiset tavoitteet: vuoteen 2030 mennessä 25 % strategisista raaka-aineista olisi saatava kierrätysmateriaaleista.

Koska kriittisten raaka-aineiden kysyntä kasvaa ilmastotoimien myötä, kaivosala kohtaa uusia haasteita etsiessään tasapainoa luonnonvarojen käytön sekä ympäristö- ja sosiaalisen vastuun välillä. Mineraalien kiertotaloudessa näihin haasteisiin pyritään vastaamaan keskittymällä resurssitehokkaaseen jalostukseen ja kaivostoimintaan, vastuulliseen raaka-ainehankintaan ja kestäväan jätehuoltoon. Tähän kuuluu myös kehittyneiden teknologioiden hyödyntäminen arvokkaiden materiaalien talteen ottamiseksi teollisuusjätteestä ja kierrätysmenetelmien parantaminen, jotta voidaan vähentää riippuvuutta primaarisesta kaivosteollisuudesta.

Metallien ja mineraalien kestävä arvoketju edellyttää jäljitettävyystekniikoihin perustuvaa avoimuutta



Jäljitettävyystekniikoiden avulla metallien ja mineraalien arvoketjusta tulee avoin. Ketjun avoimuus ei kuitenkaan yksin riitä. Tarvitsemme myös mekanismeja, kuten lainsäädäntöä, sopimuksia ja vapaaehtoisia sitoumuksia, joilla varmistetaan kestävyys jäljitetyn arvoketjun kaikissa vaiheissa.

Jäljitettävyydestä on kiertotalouden ja mineraaliraaka-aineiden kestävä tuottamisen lisäksi hyötyä myös tarkastus- ja sertifiointivälineenä kestävyysväitteiden todentamisessa. Materiaalin vastuullisuus ja kestävyysstandardien noudattaminen voidaan varmistaa vain, jos tiedämme, mistä materiaali on peräisin.

Materiaalin geokemiallisella sormenjäljellä on merkittävä rooli jäljitettävyyssmenetelmänä, jolla voidaan täydentää digitaalista seurantaa ja paperiasiakirjoihin perustuvaa lähestymistapaa. Koska näytteen geologisia ja perusominaisuuksia ei voi väärentää, menetelmällä on ainutlaatuista potentiaalia täydentävänä todentamismenetelmänä mille tahansa sertifiointijärjestelmälle.

Mineraalien kiertotalouden nykyiset haasteet, puutteet ja mahdollisuudet

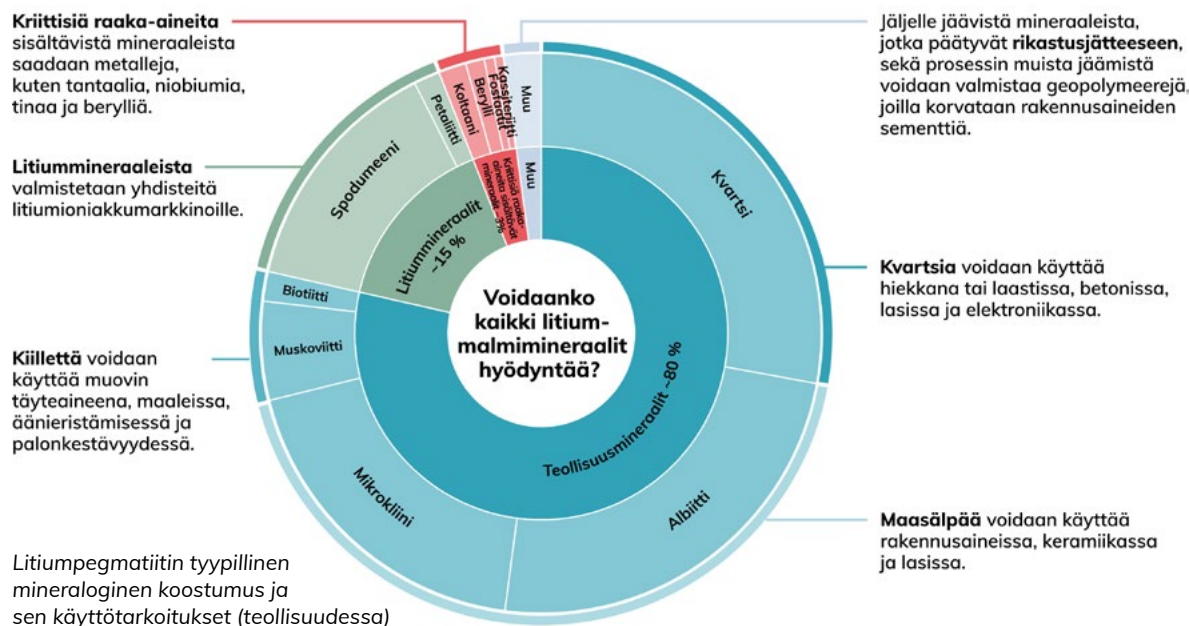
Mineraaliesiintymät ovat ainutlaatuisia, ja jokainen esiintymä voidaan louhia vain kerran. Nykyisillä lähestymistavoilla syntyy merkittäviä määriä jätettä, eikä niissä usein hyödynnetä resursseja täysimääräisesti. Suomen metallikaivoksissa louhitusta kivistä vain alle kolme prosenttia päätyy kaupallisesti hyödynnettäviin mineraalirikasteisiin. Lisäksi jäljitettävien, vastuullisesti hankittujen raaka-aineiden tarve kasvaa, koska sääntely-ympäristö kiristyy koko ajan. Samansuuntaisesti vaikuttavat myös joissakin mineraalien tuottajamaissa esiintyvät sosiaaliset, ympäristö- ja ihmisoikeusongelmat sekä se, että kuluttajat edellyttävät eettisiä toimitusketjuja.

Näihin haasteisiin vastaaminen on samalla tilaisuus innovoida ja kehittää mineraalialan vastuullisuutta. Kiertotalous voi auttaa ratkaisemaan näitä ongelmia, koska sen avulla voidaan parantaa raaka-aineiden

kierrätettävyyttä, hyödyntää uusioraaka-aineita, ottaa talteen enemmän sivutuotteita kaivoshankkeissa ja kehittää vastuullisia käytäntöjä, jotka voidaan jäljittää lopputuotteisiin ja kierrätykseen asti.

Uusien kaivoshankkeiden suunnittelu- ja toteutettavuusarviointivaiheet ovat tässä ratkaisevan tärkeitä, koska kiertotalouden mukaisten tuotantomenetelmien taloudellinen kannattavuus ja tekninen toteutettavuus on todennäköisempää, kun ne suunnitellaan osaksi prosessia alusta alkaen.

Geometallurgian ja kehittyneen prosessisuunnittelun avulla kohti vähäjätteistä kaivosta: Esimerkkinä litiumin talteenotto pegmatiiteista Suomessa



Metallien louhinta kovakiviesiintymistä on ollut – ja on edelleen – merkittävä jätteen lähde. Litium saat-
taa olla yksi energiasiirtymän kriittisimmistä metal-
leista. Tällä hetkellä jotkin tärkeimmistä litiumin läh-
teistä ovat kovakiviesiintymiä, kuten litiumpegmatiit-
tiä ja graniittia. Tällaisissa kerrostumissa kohdemine-
raalit voivat muodostaa jopa 10–20 painoprosenttia
kivestä. Tämä prosenttiosuus on suurempi kuin mo-
nilla muilla louhituilla metalleilla, mutta silti se on
vain murto-osa prosessoidusta malmista.

Geologian tutkimuskeskuksessa (GTK) kehitämme
kehittyneitä prosessointireittejä korkealaatuisen
litiumrikasteen tuottamiseksi ja malmin käytön
maksimoimiseksi hyödyntämällä malmin muita
mineraaleja mahdollisimman paljon myytäväksi
sivutuotteiksi. Tällaisia ovat esimerkiksi teollisuus-
mineraalit, kuten kvartsi, maasälpä ja kiille, joiden

osuus malmista voi olla jopa 70–80 %, sekä kriittisiä
raaka-aineita sisältävät mineraalit (~3 %), joiden
myötä voidaan hyödyntää jopa 90 % malmista.

Eikä siinä vielä kaikki. Yhdessä kumppaniorgani-
saatioidemme kanssa etsimme tapoja hyödyntää
jäljelle jäävät materiaalit esimerkiksi rakennus-
materiaaleina, keramiikkana tai geopolymeereinä.
Tämä on mahdollista mineraalikeskeisen integroi-
dun lähestymistavan ansiosta, joka perustuu mal-
mion parempaan tuntemukseen. Lähestymistavassa
sovelletaan kehittyneisiin mineraalien karakterisoin-
timenetelmiin perustuvaa geometallurgiaa Espoon
laboratoriossa ja kehitetään uusia mineraalien ja-
lostusmenetelmiä, joiden avulla koko malmi voidaan
jalostaa useiksi tuotteiksi GTK Mintecin koetehdas-
ja laboratoriokokonaisuudessa (katso lisätietoja
alta).

GTK Mintecin avulla suunnitellaan vastuullisia kaivoshankkeita

GTK Mintec on ainutlaatuinen palveluntuottaja, joka
yhdistää mineraalitutkimuslaboratoriot teollisen mit-
takaavan pilottilaitokseen. Laitoksessa on myös GTK
SMARTTEST -testialue, jossa tutkitaan rikastus- ja
kaivannaisjätteen pitkän aikavälin käyttäytymistä.

Outokummussa sijaitseva GTK Mintecin kiertotalou-
den ja mineraaliprosessoinnin koetehdas- ja labo-

ratoriokokonaisuus tarjoaa tutkimus- ja testauspal-
veluja koko arvoketjun malmiesiintymistä kaivosten
sulkemiseen ja materiaalien uudelleenhyödyntä-
miseen. GTK Mintec tutkii ja testaa mineraalien ja
mineraalipohjaisten materiaalien rikastettavuutta
sekä erilaisten sivuvirtojen kierrätettävyyttä.

[Lisätietoa verkkosivulta](#)

Kriittiset innovaatioalueet mineraalien kiertotaloudessa

Mineraalien kiertotalouden edistämiseksi ratkaisevan tärkeitä ovat innovaatiot seuraavilla kolmella alueella:

Prosessointiratkaisut. Tarvitaan uusia teknologioita arvokkaiden metallien ja teollisten sivutuotteiden talteenottoon yhä monimutkaisemmista (laadultaan heikommista) malmeista ja kaivosjätteistä. Tärkeitä kohteita ovat energiasiihtymän kannalta kriittiset materiaalit, kuten litium, koboltti ja vaihtoehtoiset akkumateriaalit. Lisäksi kiertotalouden laajamittainen toteuttaminen kaivoshankkeissa edellyttää prosesseja, joiden avulla useita mineraalijakeita voidaan ottaa talteen erillisiksi, markkinoitaviksi tuotteiksi. Monet näistä mineraaleista ovat fyysisiltä ominaisuuksiltaan samankaltaisia, joten niitä on vaikea erottaa toisistaan. On syytä tutkia innovatiivisia prosessimenetelmiä, kehittyneitä analyysivälineitä ja antureita sekä datalähtöisiä lähestymistapoja, jotta louhitut materiaalit voidaan täysimääräisesti hyödyntää.

Jäljitettävyyden ja kierrätettävyyden. Geokemiallisten sormenjälkitekniikoiden kehittäminen mahdollistaa metallien ja materiaalien seurannan toimitusketjuissa, ja samalla varmistetaan raaka-ainehankintojen vastuullisuus ja voidaan parantaa kierrätysprosesseja.

Materiaalien alkuperän ja kierrätettävyyden ymmärtäminen on ratkaisevan tärkeää kaivostoiminnan, jalostuksen ja valmistuksen ympäristöjalanjäljen pienentämisessä. Yksityiskohtainen materiaalien karakterisointi kehittyneillä tekniikoilla voi merkittävästi tehostaa kierrätystoimintaamme, kun sitä käytetään työkaluna jätteisiin perustuvien tuotteiden ja mineraalien uusien käyttötapojen kehittämisessä.

Suunnittelun perustuva kiertotalous. Kaivostoiminnan ja mineraalien prosessoinnin vastuullinen suunnittelu on olennaisen tärkeää, jotta jätteitä voidaan vähentää ja materiaalien uudelleenkäyttöä edistää. Tämä tarkoittaa louhittavien kivien mineraalien käyttömahdollisuuksien tunnistamista, kehittämistä ja arviointia. Tietojen sisällyttäminen mineraalien esiintymämalleihin mahdollistaa varhaisen vaiheen päätöksentekoa ja kierrätykseen liittyviä investointipäätöksiä. Meidän on opittava luomaan ja edistämään teollisia ekosysteemejä mineraaliesiintymien ympärille, kehittämään tietoon perustuvia ja kiertotalouden mahdollistavia lähestymistapoja kaivos- ja jalostustoimintaan. Tähän liittyy myös veden ja muiden materiaalivirtojen hallinnan parantaminen kaivosalueella, uusien mineraalipohjaisten tuotteiden luominen ja raaka-aineiden hyödyntäminen muista uusiolähteistä.

Kohti kiertotalouteen perustuvaa ja vastuullista mineraaliteollisuutta

Mineraaliteollisuuden kestävä ja vastuullisen kiertotalouden edistäminen edellyttää seuraavia toimia:

- **Tunnetaan vastuu koko esiintymästä.** Mineraaliesiintymä voidaan louhia vain kerran. Meidän on otettava vastuu kaikista esiintymistä ottamistamme materiaaleista, maksimoitava kestävä hyöty jo käytössä olevista mineraaleista ja dokumentoitava jäljelle jääneet materiaalit tulevia sukupolvia varten.
- **Edistetään kiertotaloutta kaivostoiminnassa.** Kannustetaan poliittisia valintoja, jotka rohkaisevat louhittujen mineraalien yhteistuotantoon ja kaivosjätteen uudelleenkäyttöön kiertotalousmallien avulla, mukaan lukien uusien tuotteiden kehittäminen jättevirroista ja tehokkaat vedenhallintajärjestelmät.
- **Investoidaan rikastustekniikan kehitykseen.** Tuetaan kehittyneiden prosessointi- ja erotustekniikoiden tutkimusta ja kehittämistä sekä antureiden käyttöä ja tietoon perustuvien lähestymistapojen hyödyntämistä arvokkaiden materiaalien talteen ottamiseksi teollisuus- ja kaivosjätteistä ja erotettujen virtojen jäljittämiseksi koko käsittelyketjussa.
- **Parannetaan jäljitettävyyttä.** Luodaan geokemiallisia sormenjälkitekniikoita, standardeja ja sertifiointijärjestelmiä, joilla varmistetaan hankintojen vastuullisuus ja parannetaan kierrätettävyyttä toimitusketjuissa. Toteutetaan materiaalin jäljitettävyyden kaikissa tuoteketjuissa ja elinkaaren vaiheissa.
- **Huomioidaan kiertotalous lainsäädäntöprosesseissa.** Kestävän kehityksen varmistamiseksi kaikissa lainsäädäntö- ja hallintoprosesseissa otetaan huomioon luonnonvarojen kestävä hallinta, mineraalialan ainutlaatuisuus sekä kaivostoiminnan tuottamat uusiutumattomat, mutta erittäin hyvin kierrätettävät ja käytössä heikkenemättä kestävät raaka-aineet. Lainsäädännöllä olisi edistettävä kokonaisvaltaista kiertotaloutta ja resurssitehokkuutta jätteen vähentämiseksi.
- **Tehdään yhteistyötä sektorien välillä.** Vahvistetaan mineraaleja tuottavien ja niitä käyttävien teollisuudenalojen, tutkimuslaitosten ja hallitusten välisiä kumppanuuksia kiertotalouden käytäntöjen täytäntöönpanemiseksi varmistaen, että jätteiden vähentämistä ja resurssien hyödyntämistä koskevat innovaatiot skaalataan tehokkaasti.

Lähteet ja lisätiedot

GTK:n tutkimuksen painopisteet, politiikkasuositukset ja tutkimusprojektit

Mineraalien kiertotalous – tietoa tutkimuksesta ja tutkimusprojekti

Tekijät

Tommi Kauppila, tutkimusprofessori
tommi.kauppila@gtk.fi

Quentin Dehaine, erikoistutkija
quentin.dehaine@gtk.fi

GTK research news

- Kiertotalouslähtöisessä kaivostoiminnassa on monia etuja – yritykset ja tutkimusorganisaatiot kehittävät keinoja sen toteuttamiseksi
- Rikastusprosessin suunnittelu ja testaus on tärkein vaihe malmien kokonaisvaltaiseen hyödyntämiseen ja rikastushiekkojen turvalliseen hallintaan
- Tutkimus: Metallien luotettava jäljitettävyyden etenee
- Kaivannaisjätteiden pitkäaikaiskäytötyymisen hallintaa parannetaan älykkäällä kanttätestausalustalla ja -konseptilla
- Suomella on valttikortti mineraalien prosessointiin ja kiertotalouden kasvuun

Vertaisarvioituiden artikkelit

Prosessointiratkaisut

- Korbelt, C., Demeusy, B., Kahou, Z.S., Filippova, I.V., Dehaine, Q., Filippov, L.O. 2025. Flowsheet development for the selective flotation of lepidolite from the Beauvoir granite from mineralogical insights. Minerals Engineering 225, 109207.
- Dehaine, Q., Tijsseling, L.T., Rollinson, G.K. & Glass, H.J. 2024. Flotation of a copper-cobalt sulphide ore: Quantitative insights into the role of mineralogy. Minerals Engineering, 218, 108958.
- Heikola, T., Salo, M., Mäkinen, J., Dehaine, Q., Bertelli, M., Kinnunen, P., 2024. Comparison of chemical and biological leaching methods with the effect of chloride on the recovery of nickel, cobalt and copper from a pentlandite-pyrrhotite concentrate. Minerals Engineering, 214, 108771.
- Pell, R., Tijsseling, L., Goodenough, K., Wall, F., Dehaine, Q., Grant, A., Deak, D., Yan & X., Whattoff, P. 2021. Towards sustainable extraction of technology materials through integrated approaches. Nature Reviews Earth & Environment, 2, 665–679.
- Dehaine, Q., Tijsseling, L.T., Glass, H.J., Törmänen, T. & Butcher, A.R. 2021. Geometallurgy of cobalt ores: A review. Minerals Engineering, 160, 106656.

Suunnitteluun perustuva kiertotalous: sormenjälkien tunnistaminen ja karakterisointi mineraali- ja kiertolousmateriaaleille

- Butcher, A.R., Dehaine, Q., Menzies, A.H. & Michaux, S.P. 2023. Characterisation of Ore Properties for Geometallurgy. Elements, 19, 352–358.
- Donnelly, L., Pirrie, D., Power, M., Corfe, I., Kuva, J., Lukkari, S., Lahaye, Y., Liu, X., Dehaine, Q., Jolis, E.M., Butcher, A.R. 2023. The Recycling of End-of-Life Lithium-Ion Batteries and the Phase Characterisation of Black Mass. Recycling 8, 59.
- Rinne, T., Kuva, J., Serna-Guerrero, R. 2024. The unexpected stability of froth structures formed with battery materials allow their characterization with x-ray computed tomography. Minerals Engineering 221 (2025) 109112.

- Demeusy, B., Arias-Quintero, C.A., Butin, G., Lainé, J., Tripathy, S.K., Marin, J., Dehaine, Q., Filippov, L.O. 2023. Characterization and Liberation Study of the Beauvoir Granite for Lithium Mica Recovery. Minerals 2023, 13, 950.
- Tarvainen, T., Lehtonen, M., Lahaye, Y., Jarva, J. 2023. Analytical workflow to trace lead sources in fill-derived soils in Turku, Southwest Finland. Applied Geochemistry 156, 105735.
- Dehaine, Q., Tijsseling, L.T., Rollinson, G.K., Buxton, M.W.N., Glass, H.J. 2022. Geometallurgical Characterisation with Portable FTIR: Application to Sediment-Hosted Cu-Co Ores. Minerals 2022, 12, 15.

Jäljitettävyyden ja kierrätettävyyden

- Solismaa, S., Muniruzzaman, M., Kuva, J., Szlachta, M., Hyvönen, S., Kauppila, P., Kauppila, T. 2024. Interaction of cemented paste backfill (CPB) and circumneutral mine water during column experiments. Applied Geochemistry.
- Brooshan, E., Kauppila, T., Szlachta, M., Jooshaki, M., Leveinen, J. 2023. Utilizing Recycled concrete aggregate for treating Acid Mine Drainage. Cleaner Materials, 9, 100205.
- Solismaa, S., Ismailov, A., Karhu, M., Sreenivasan, H., Lehtonen, M., Kinnunen, P., Illikainen, M., Räisänen, M. 2018. Valorization of Finnish mining tailings for use in the ceramics industry. Bulletin of the Geological Society of Finland. 90.
- Solismaa, S., Torppa, A., Kuva, J., Heikkilä, P., Hyvönen, S., Juntunen, P., Benzaazoua, M., Kauppila, T. 2021. Substitution of Cement with Granulated Blast Furnace Slag in Cemented Paste Backfill: Evaluation of Technical and Chemical Properties. Minerals 11, no. 10:1068.
- Niu, H., Helsel, J., Corfe, I.J., Kuva, J., Butcher, A.R., Cappuyns, V., Kinnunen, P., Illikainen, M. 2022. Incorporation of bioleached sulfidic mine tailings in one-part alkali-activated blast furnace slag mortar. Construction and Building Materials 333.

Muut raportit ja julkaisut

- Liu, X., Keiding, J.K., Coint, N., Jonsson, E., Stendal, H., Þórðarson, Þ., Sadeghi, M., Keulen, N., M., Heredia, Eerola, T., Huyskens, M., Clausen, R.J., B. Gautason, B., Yang, J., Höskuldsson Á., Þórhallsson E.R., Fransson H., Lahaye, Y. 2024. Mineral to Metal Traceability: A proof-of-concept study of rare earth elements in the Nordic nations. Nordic Innovation Report.
- Kaikkonen, H., Kivinen, M., Dehaine, Q., Pokki, J., Eerola, T., Bertelli M., Friedrichs, P. 2022. Traceability methods for cobalt, lithium, and graphite production in battery supply chains. BATTARCE Project Report. GTK Open File Research Report 20/2022
- Kauppila, T. (Ed.). (2022). Handbook for a Data-Driven Circular Economy in Finland: Data Sources, Tools, and Governance for Circular Design. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology No. 401
- Eerola T., Solismaa S., Hokka J. 2024. Environmental, and social governance issues of the Otanmäki (Finland) ilmenite tailings remining project. GTK Open File Research Report 56/2024.
- Feltrin, L., Andersson, M., Larsen, B. E., Tassie, G., Finne, T.E., Raaness, A., Lewerentz, A., Reginiussenc, H., Eerola, T., Solismaa, S., Clausen, R.J., Keiding, J.K., Øyene, R., Gautason, B., Þórðarson, Þ., Höskuldsson, Á. 2024. Information Management and Classification of Secondary Resources and their Critical Raw Material Potential in the Nordic Countries. Nordic Sustainable Minerals Program, Nordic Innovation. 125 p.
- Karlsson, T., Hokka, J., Kauppila, P., Tornivaara, A., Baldassarre, G. 2024. Potential of Critical Raw Materials in Closed Finnish Mine Waste Sites: A Preliminary Review. ICARD 2024 Proceedings, the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 8 p.



Geologian tutkimuskeskus
Ratkaisuja vauhdittamaan siirtymää kestävään, hiilineutraaliin maailmaan.

[gtk.fi](https://www.gtk.fi)
[Facebook](#) | [LinkedIn](#) | [Instagram](#)

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.