

**BUSINESS  
FINLAND**

**SUOMI RAKENTAA  
MINERAALIEN  
JA KAIVOSALAN  
TULEVAISUUTTA**





Tämä on tiivistelmä *Finland: Shaping the Future of Minerals and Mining* -selvityksestä, johon on koottu näkemys Suomen osaamis- ja innovaatiokärjistä kaivos- ja mineraalisektorilla. Tavoitteena oli tunnistaa alueet, joilla suomalaisella osaamisella ja innovaatioilla on jo nyt tai lähitulevaisuudessa kansainvälisesti merkittävä rooli. Selvitystä varten haastateltiin noin kymmentä alan asiantuntijaa keskeisistä tutkimuslaitoksista, yliopistoista ja kansainvälisesti toimivista yrityksistä. Lisäksi hyödynnettiin olemassa olevia selvityksiä, muuta tausta-aineistoa ja näkemystä kaivos- ja mineraalisektorin haasteista, ratkaisuksista ja kehityssuunnista. Selvityksen Business Finlandille toteutti Gofore.

# BUSINESS FINLAND

## Suomi rakentaa mineraalien ja kaivosalan tulevaisuutta

Suomi on noussut keskeiseksi eurooppalaiseksi toimijaksi kestävän kaivannais- ja mineraaliteollisuuden kehittäjänä. Materiaalien kysynnän kasvu, geopoliittiset muutokset ja vihreä siirtymä ovat nostaneet mineraalit strategisesti tärkeään asemaan.

Suomen vahvuus on poikkeuksellisen laaja kokonaisuus, joka kattaa koko mineraalien arvoketjun: geologisen tutkimuksen, malminetsinnän, kaivostoiminnan, mineraalien jalostuksen, metallurgian, kiertotalouden ja korkean lisäarvon materiaalit. Eurooppalaisessa mittakaavassa tällainen kokonaisuus on harvinainen.

Samalla Suomi tarjoaa vahvan tutkimus-, kehitys- ja innovaatioympäristön, jossa yritykset, tutkimuslaitokset, yliopistot, julkinen sektori ja teolliset testialustat kehittävät ratkaisuja yhdessä. Tämä tekee Suomesta kiinnostavan kumppanin myös kansainvälisille yrityksille ja sijoittajille.

### Mineraalit ovat yhteiskunnan perusta

Mineraalit ovat välttämättömiä infrastruktuurille, liikkuemiselle, energiantuotannolle, digitalisaatiolle, sähköistymiselle, teolliselle tuotannolle ja puolustukselle. Niitä tarvitaan esimerkiksi akuissa, uusiutuvan energian järjestelmissä, vihreässä teräksessä, digitaalisissa teknologioissa ja korkean teknologian teollisuudessa.

Raaka-aineiden saatavuudesta on tullut strateginen kysymys. Toimitusketjujen häiriöt ja geopoliittinen epävarmuus ovat lisänneet tarvetta vahvoille ja kestäville periaatteilla toimiville mineraalien arvoketjuille.

Samalla malmien pitoisuudet heikkenevät, esiintymät muuttuvat monimutkaisemmiksi ja ympäristövaatimukset kiristyvät. Tämä lisää tarvetta uusille teknologioille, paremmalle resurssitiedolle, tehokkaammalle jalostukselle, kierrätykselle ja vastuullisille toimintamalleille.

### Suomessa arvoketju ulottuu päästä päähän

Suomen keskeinen vahvuus on mineraalien arvoketju, joka ulottuu malminetsinnästä edistyneisiin materiaaleihin ja korkean teknologian sovelluksiin. Suomessa on osaamista esimerkiksi ruostumattoman teräksen, akkumateriaalien, nikkelin, koboltin, litiumin, grafiitin ja harvi-

naisten maametallien arvoketjuissa.

Kaikki alkaa vahvasta geologisesta tietopohjasta. Suomen kallioperä on poikkeuksellisen hyvin kartoitettu, ja geologista dataa rikastetaan jatkuvasti. Tämä tehostaa malminetsintää sekä auttaa arvioimaan mahdollisuuksia tarkemmin.

Suomalaisella teknologialla on vahva kansainvälinen asema: jopa 80 prosentissa maailman kaivoksista hyödynnetään suomalaista teknologiaa. Suomessa toimii myös yli 200 alan teknologia- ja palveluyritystä. Niiden ratkaisuja käytetään muun muassa sähköistetyssä ja autonomisessa kaivostoiminnassa, vedenhallinnassa, rikastusjätteiden käsittelyssä, prosessiteknologiassa ja digitalisaatiossa.

Suomi on myös vahva matalapitoisten malmien hyödyntämisessä. Edistynyt metallurgia ja prosessiosaaminen mahdollistavat useiden metallien talteenoton sekä korkean lisäarvon tuotteiden valmistamisen haastavista raaka-aineista.

### Ekosysteemi tukee innovointia ja teollista käyttöönottoa

Suomen mineraali- ja kaivosalan kehitys perustuu vahvaan tutkimus- ja kehitysekosysteemiin. Sen ytimessä ovat yritykset, kaivosyhtiöt, materiaalien jalostajat, tutkimusorganisaatiot, yliopistot, julkiset toimijat, rahoittajat sekä testaus- ja pilotointiympäristöt.

Ekosysteemissä tutkimustieto voidaan viedä nopeasti käytännön ratkaisuihin. Uusia teknologioita ja prosesseja voidaan kehittää tutkimusympäristöissä, testata pilottilaitoksissa ja validoida aidoissa kaivos- ja teollisuusympäristöissä. Tämä nopeuttaa ratkaisujen käyttöönottoa ja vähentää investointeihin liittyviä riskejä.

Keskeisiä tutkimus- ja kehitystoimijoita ovat muun muassa Geologian tutkimuskeskus (GTK), VTT ja Luonnonvarakeskus.

- GTK: geologinen tieto, resurssiälykkyyks, mineraalien prosessointi, vesiin, rikastusjätteisiin ja kiertotalouteen liittyvät ratkaisut
- VTT: teollisten ratkaisujen kehittäminen ja skaalaaminen esimerkiksi prosessikehityksessä, materiaaleissa, kierrätyksessä, digitalisaatiossa ja automaatioissa
- Luke: maankäytön, ympäristön, kiertotalouden ja kaivosalueiden ennallistamisen osaaminen.

Yliopistoista Aalto-yliopisto vahvistaa erityisesti materiaalitieteen, metallurgian, mallinnuksen ja systeemisen innovaation osaamista. LUT-yliopiston vahvuuksia ovat erotustekniikka, hydrometallurgia ja mineraalien kiertotalous. Oulun yliopisto puolestaan kehittää älykästä ja kestävästä kaivostoimintaa, arktisten olosuhteiden teknologioita, automaatiota, antureita ja digitaalisia ratkaisuja.

## Suomen innovaatiokärjet vastaavat alan muuttuviin tarpeisiin

Suomi panostaa useisiin toisiaan tukeviin innovaatiokärkiin. Niitä ovat muun muassa:

- kestävä malminetsintä ja resurssitieto
- edistyksellinen metallurgia ja prosessit
- rikastusjätteiden hallinta ja hyödyntäminen
- kaivosvesien hallinta
- autonominen ja sähköistetty kaivostoiminta
- vähähiiliset metallit
- päästä päähän ulottuvat mineraalien arvoketjut
- kiertotalousratkaisut
- vastuullisuus mineraalien arvoketjuissa
- digitalisaatio koko ekosysteemissä.

Kehityskohtien tavoitteena on tehostaa raaka-aineiden tehostamista, vähentää ympäristövaikutuksia, parantaa tuotannon tuottavuutta ja luoda ratkaisuja, joita voidaan skaalata teolliseen käyttöön.

Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi tarkempaa malminetsintää, digitaalisia malleja, monimetallien talteenottoa, sivuvirtojen hyödyntämistä, suljettuja vesikiertoja, kehittyneitä suodatus- ja puhdistusteknologioita, sähköistettyjä kaivoskoneita, etäohjausta, autonomisia järjestelmiä, digitaalisia kaksosia ja dataohjattua prosessien optimointia.

## Testialustat vievät ratkaisut tutkimuksesta teollisuuteen

Suomessa uusia ratkaisuja voidaan testata ja kehittää todellisissa toimintaympäristöissä. Käytössä olevat kaivokset, suljetut kaivosympäristöt, teolliset klusterit ja pilottilaitokset tarjoavat yrityksille ja tutkimusorganisaatioille mahdollisuuden kokeilla ratkaisuja käytännössä ennen laajamittaista käyttöönottoa.

Ympäristöissä voidaan kehittää ja validoida ratkaisuja esimerkiksi strategisten mineraalien hyödyntämi-

seen, sivuvirtojen jalostamiseen, vähähiilisiin prosesseihin, akkumateriaaleihin, syväkaivosteknologiaan ja hydrometallurgiseen jalostukseen.

## Kohti tulevaisuuden tehokasta ja vähähiilistä kaivostoimintaa

Suomen mineraali- ja kaivosalan kehitys nojaa kolmeen keskeiseen suuntaan: koko resurssin hyödyntämiseen, päästä päähän ulottuvaan digitalisaatioon sekä vähähiiliseen, sähköistettyyn ja autonomiseen tuotantoon.

Resurssien täydessä hyödyntämisessä tavoitteena ei ole ottaa talteen vain yhtä metallia, vaan maksimoida koko materiaalivirran arvo. Tämä tarkoittaa useiden metallien talteenottoa, rikastusjätteiden ja sivuvirtojen hyödyntämistä sekä sekundääristen raaka-aineiden käyttöä.

Geologista dataa, tuotannon tietoja, prosessidataa ja laitedataa voidaan yhdistää niin, että päätöksenteko perustuu ajantasaiseen tietoon. Tekoäly, anturit, analytiikka ja digitaaliset kaksoset voivat parantaa tuotannon tehokkuutta, ennakoitavuutta, jäljitettävyyttä ja läpinäkyvyyttä.

Vähähiilinen, sähköistetty ja autonominen tuotanto vähentää päästöjä, parantaa energiatehokkuutta, lisää turvallisuutta ja vahvistaa kilpailukykyä vähähiilisten materiaalien markkinoilla.

Kestävyys ja vastuullisuus ovat keskeisiä mineraalien arvoketjuissa. Suomessa kehitetään ratkaisuja, joilla voidaan vähentää vaikutuksia veteen ja biodiversiteettiin sekä päästöjä ja integroida vastuullisuus jo suunnitelmaan, tuotantoon ja liiketoimintamalleihin.

Tämä näkyy esimerkiksi kaivosvesien hallinnassa, suljetuissa vesikiertoissa, rikastusjätteiden hyödyntämisessä, maankäytön suunnittelussa ja kaivosalueiden ennallistamisessa. Vastuullisuus ei ole erillinen tavoite, vaan osa teknologista kehitystä, teollista tehokkuutta ja kansainvälistä kilpailukykyä.

## Suomi mineraali- ja kaivosalan kumppanina

Suomi tarjoaa kansainvälisille kumppaneille vahvan yhdistelmän mineraalialan osaamista, teknologiaa, tutkimusta, pilotointiympäristöjä ja vakaata toimintaympäristöä. Kumppanit voivat hyödyntää koko arvoketjua malminetsinnästä edistyneisiin materiaaleihin saman ekosysteemin sisällä.

Suomessa tehtävä yhteistyö globaalien teknologia-toimittajien kanssa soveltavassa tutkimuksessa ja todellisissa testausympäristöissä auttaa nopeuttamaan innovaatioiden vientiä konseptista käyttöönottoon, pienentämään kehitys- ja investointiriskejä sekä rakentamaan ratkaisuja, jotka vastaavat sekä teollisuuden että vastuullisuuden vaatimuksiin.

Suomen mineraali- ja kaivosala on tutkimukseen, teknologiaan ja teolliseen yhteistyöhön perustuva kokonaisuus, joka auttaa rakentamaan yhä kestävämpiä, tehokkaampia ja kansainvälisesti kilpailukykyisiä mineraalien arvoketjuja.

# BUSINESS FINLAND

[WWW.BUSINESSFINLAND.FI](http://WWW.BUSINESSFINLAND.FI)

