



# Mineraalivarat ja korvaavat materiaalit (MISU)

Tutkimusohjelma

Ohjelmamuistio



## Akatemiaohjelman MINERAALIVARAT JA KORVAAVAT MATERIAALIT (MISU) ohjelmamuistio

### Esipuhe

Suomen Akatemian hallitus päätti kokouksessaan 24.9.2013 käynnistää Mineraalivarat ja korvaavat materiaalit -akatemiaohjelman ja asetti kokouksessaan 10.12.2013 ohjelman jaoston. Jaostoon nimettiin puheenjohtajaksi professori Erno Keskinen (luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunta), varapuheenjohtajaksi professori Mari Walls (biotieteiden ja ympäristön tutkimuksen toimikunta) sekä jäseniksi professori Heli Jantunen (luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunta) ja professori Olli Mäenpää (kulttuurin ja yhteiskunnan tutkimuksen toimikunta).

Mineraalivarat ja korvaavat materiaalit -akatemiaohjelmalle muodostettiin johtoryhmä, johon jaoston jäsenten lisäksi nimettiin professori Kari Heiskanen (Aalto-yliopisto), teknologiajohtaja Kari Knuutila (Outotec Oyj), Head of Department Kaj Lax (Geological Survey of Sweden) ja ohjelmapäällikkö Kari Keskinen (Tekes).

Ohjelmaan liittyen toteutettiin loppuvuodesta 2013 suunnattu haku primäärien mineraalivarantojen aihealueelle. Keväällä 2014 järjestettiin ohjelmaan liittyvä tutkiva työpaja, jonka yhtenä tarkoituksena oli tutkijalähtöisesti tarkastella ohjelmaan sisältyviä teemoja. Ohjelman varsinainen haku aukeaa syyskuussa 2014.

### 1. AKATEMIAOHJELMAN TAUSTA

Kallioperästä saatavaa kiviainesta ja mineraaleja tarvitaan nykyaikaisen materiaalisuuden ylläpitoon. Niitä hyödynnetään rakentamisen lisäksi lähes kaikessa välineellisessä toiminnassa kuten liikenteessä, teollisessa tuotannossa, kaupassa sekä kuluttajatasoisen arkituotteen osissa. Maankamarasta löytyvät raaka-ainevarat eivät uusiudu ja niiden epätasainen sijainti jakaa valtiot yhtäältä niihin, jotka voivat vaurastua mineraalivarojen avulla ja toisaalta niihin, jotka ovat riippuvaisia niiden saatavuudesta ja hinnoittelusta säätelevistä mekanismeista. Vaikka perusmetallien (rauta, nikkeli, kromi, kupari, alumiini jne.) kierrätys on jo tehokasta, tarvitaan tulevaisuudessa edelleenkin primääristä tuotantoa tyydyttämään erityisesti kehittyvien talouksien kasvava kulutuskysyntä. Tuotantovaje on korostunut jalometallien ja harvinaisten maametallien osalta, jotka ovat avainasemassa energia-, elektroniikka- ja ajoneuvoteollisuuden uusissa tuotteissa mutta myös katalyytteinä kemian teollisuudessa. Koska näiden materiaalien saatavuuteen liittyy vaikeasti hallittavia poliittisia ja kaupallisia reunaehtoja, ovat ne muuttuneet kriittisiksi. Etenkin jalometallien ja kriittisten metallien tuotantovajeeseen haetaan ratkaisuja tehostamalla mineraaliesiintymien etsintää ja kartoitusta, jonka toivotaan johtavan uusien kaivosten nopeaan avaamiseen. Riittävyysongelmaa voidaan helpottaa myös näiden materiaalien optimaalisella käytöllä ja tehostetulla kierrätyksellä, joka on teknologisesti haastavaa pienten pitoisuuksien takia. Kolmas ratkaisu on sellaisen korvaavan materiaalin kehittäminen, joka tuottaa sovelluksessa tarvittavan funktionaalisuuden. Tämä onkin luonnollinen tapa vähentää riippuvuutta joistakin vaikeasti saatavista mineraaleista. Euroopan yhteisössä on tunnustettu laajemmin tulossa oleva koko talousaluetta koskettava kriittisten materiaalien resurssiongelma, johon haetaan ratkaisua strategisella tutkimuksella, mm. Horisontti 2020 -puiteohjelmassa.

Suomella on mineraalivarojen esiintymisen suhteen edullinen sijainti, sillä Suomen kallioperästä löytyy sekä perusmetalleja että jalometalleja ja harvinaisia maametalleja. Geologisten syntymekanismiensa takia nämä metallit sijaitsevat osittain samoissa mineraaliesiintymissä mutta vaihtelevina kombinaatioina. Perusmetalleista Suomessa tuotetaan pääasiallisesti nikkeli-, kromi-, kupari- ja sinkkirikasteita, joita myös



jalostetaan metalleiksi asti. Harvinaiset mineraalit voivat jäädä näissä prosesseissa sivuvirtoihin, mikä johtaa vaatimukseen erottaa kaikki arvometallit integroidusti. Tällöin rikastusprosessien ympäristöystävällisyyteen ja terveysvaikutuksiin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Tavoitteeksi pitää asettaa, että kaivoksella tapahtuva käsittely ja myöhempi jatkokäsittely tapahtuvat suljetuilla kierroilla, jolloin vesistöjen kuormitus poistuu samaan tapaan kuin muilla kehittyneillä teollisen tuotannon aloilla. Akatemiaohjelman yhtenä tavoitteena on luoda malleja uuden sukupolven kestäväälle kaivannaisteollisuudelle, jossa otetaan huomioon ympäristövastuiden lisäksi myös maankäyttöön liittyvät kysymykset sekä kaivosten lupamenettelyyn liittyvä lainsäädäntö. Keskeiselle sijalle nousee myös kysymys kaivostoiminnan kannattavuudesta koko sen elinkaaren aikana ottaen huomioon myös kaivoksen sulkemisen ja luontoympäristön onnistuneen palautuksen vaatimat toimet ja aiheuttamat kustannukset. Suomella on hyvät mahdollisuudet kehittyä kestävä kaivostoiminnan edelläkävijäksi ja mallimaaksi, mutta se edellyttää näiden kysymysten ratkaisua tieteellisestä tutkimuksesta syntyvään tietoon nojaten. Kysymyksistä keskeisin ja samalla tieteellisesti haastavin on pitoisuusiltaan alhaisten, harvinaisten metallien etsintä ja hyödyntäminen sekä etenkin taloudellisesti, energiatehokkaasti ja ympäristöystävällisesti toteutettava talteenotto ja kierrätys. Tämä on yhteinen ongelma kaikille metalleja sekä niitä sisältäviä kierrätysjakeita prosessoiville laitoksille alkutuotannon ja kierrätyksen yhteydessä.

Suomen Akatemia on tunnistanut strategisia teemoja, jotka liittyvät ihmiskunnan suuriin haasteisiin. Kestävä kaivostoiminta ja materiaalien kierrätys koskettavat monia näistä teemoista. Tutkimuksen avulla voidaan löytää ja kehittää vaihtoehtoja raaka-aineiden käytölle, jos niiden saatavuus on vaikeutunut tai kaivostoiminnan hyödyt suhteessa aiheutettuun haittaan eivät ole riittävät. Tilanteissa, joissa raaka-aineomavaraisuus ei voi toteutua kuin osittain ja kilpailu raaka-ainevaroista saa yhä vaikeammin ennakoitavia muotoja, on tämä mineraalivaroihin ja korvaaviin materiaaleihin kohdistuva akatemiaohjelma erityisen ajankohtainen. Kriittisiä raaka-aineita korvaavien materiaalien tutkimus yhdessä mineraalivarojen etsinnän ja hyödyntämispotentiaalini, uusien kaivosprosessien, materiaalitehokkuuden ja metallien kierrätyksen tutkimuksen kanssa muodostaa ainutlaatuisen kokonaisuuden, jossa mahdollisuudet uusiin ratkaisuihin ja niihin perustuviin läpimurtoteknologioihin ja -tuotteisiin sekä kaivannaisteollisuuden ydinprosessien kehittämiseen ovat erityisen otolliset.

## 2. AKATEMIAOHJELMAN TAVOITTEET

Ohjelman pyrkimyksenä on vahvistaa monitieteisyyttä, tieteidenvälisyyttä ja systeemisyttä ohjelman alaan liittyvässä tutkimuksessa. Kaikissa Mineraalivarat ja korvaavat materiaalit -ohjelman hankkeissa kannustetaan monitieteisen ja tieteidenvälisen integroivan tutkimusyhteistyön rakentamiseen.

Uuden teknologian tuotteissa tarvittavien harvinaisten mineraalien saatavuus on muodostunut vaikeasti hallittavaksi. Ohjelman keskeinen lähtökohta on mineraalivarojen kokonaisuuteen liittyvän kompleksisuuden kasvu ja systeemisen tarkastelun tarve. Uusien ratkaisujen tuottaminen edellyttää perustutkimuksellisesta lähestymistavasta syntyvää eksaktia tietoa ja monitieteistä ymmärrystä. Ohjelma pureutuu laajasti ja syvästi harvinaisten, erityisesti metallisten mineraalien esiintymiseen, ominaisuuksiin, prosessointiin, käyttöön ja kierrätykseen sekä metallisia materiaaleja korvaaviin materiaaleihin. Ohjelman tavoitteena on luoda tietopohja, joka mahdollistaa vastuullisen kaivos- ja kierrätystoiminnan ottaen huomioon vaikutukset sekä luontoon että ympäröivään yhteiskuntaan.

Tutkimuskentän keskeinen problematiikka on jäsenneily kolmeen tutkimusteemaan:

- Primäärit mineraalivarat
- Materiaalitehokkuus ja kierrätys
- Korvaavat materiaalit

Ohjelman aihealueesta nousee esiin kaksi keskeistä ohjelman kaikki teemat läpäisevää tutkimuskysymystä: 1) Miten eri materiaaliratkaisuille voidaan saavuttaa sama toiminnallisuus ja 2) Miten toisiinsa sitoutuneet metallit voidaan erottaa rikastuksen ja kierrätyksen yhteydessä taloudellisesti, energiatehokkaasti ja ympäristönäkökohdat huomioiden.

#### Primäärit mineraalivarat

Teeman tavoitteena on täydentää ja tarkentaa kuvaa metallirikastumien esiintymisalueista ja muodostumismekanismeista sekä arvioida Suomen mineraalivarojen hyödyntämispotentiaali perusmetallien, jalometallien, harvinaisten maametallien ja erityisesti EU:n määrittelemien kriittisten raaka-aineiden osalta. Kestävän kaivostoiminnan arvioimiseksi tarvitaan kansainvälistä vertailevaa tutkimustietoa kaivoksen elinkaari vaikutuksista erilaisten lupamenettelyjen vallitessa, ottaen huomioon tasapaino ympäristövaikutusten, yhteiskunnallisen ulottuvuuden ja taloudellisen kannattavuuden välillä.

#### Materiaalitehokkuus ja kierrätys

Materiaalien kierrätyksessä on useita ratkaisuja vaativia ongelmia, jotka liittyvät niin alkuaineiden ominaisuuksiin, pitoisuuksiin kuin niiden reagointiin toistensa kanssa. Teeman keskeisiä tavoitteita on muodostaa systeemitason ymmärrys kierrätysprosesseista, joissa arvokkaiden alkuaineiden erotus on integroitu muiden jakeiden samanaikaiseen käsittelyyn ja primäärituotannon prosesseihin.

#### Korvaavat materiaalit

Kriittisen mineraalin, metallin tai muun materiaalin korvaaminen uudella, vähemmän kriittisellä syntetisoidulla tai modifioidulla materiaalilla on tieteellisesti haastava tutkimusaihe, joka edellyttää uutta poikkitieteellistä tutkimustietoa. Teeman tavoitteena on edistää ymmärrystä siitä, mikä aiheuttaa kriittisen mineraalin tietyssä sovelluksessa käytetyn toiminnallisuuden, tutkia miten tämä sama toiminnallisuus voidaan saavuttaa toisella synteettisellä tai muokatulla materiaalilla, sekä luoda edellytyksiä uusien korvaavien materiaalien teolliselle soveltamiselle. Korvaavien materiaalien osalta kysymys kierrätettävyydestä ja integraatiosta primäärituotannon prosesseihin on keskeinen.

#### Akatemiaohjelman tavoitteina ovat myös

- uusien monitieteisten tutkimusryhmien ja tutkimuksen kansallisten ja kansainvälisten yhteistyöverkostojen syntyminen
- tutkijoiden kansallisen ja kansainvälisen liikkuvuuden lisääminen
- tutkimuksen ja teollisuuden kansainvälisen kilpailukyvyyn parantaminen
- suomalaisen tutkimuksen saattaminen alan kansainväliselle huipulle joillakin tutkimuksen osa-alueilla
- mineraalivaroja ja korvaavia materiaaleja koskevan tutkimuksen laaja yhteiskunnallinen vaikuttavuus.

### 3. AKATEMIAOHJELMAN AIHEALUEET

Raaka-aineiden hyödyntäminen sisältää monialaisen ketjun alkaen malminetsinnästä ja jatkuen kaivostoiminnan metallien jalostukseen ja materiaalien kierrätykseen. Tähän ketjuun kuuluu sekä tieteen kannalta tärkeitä haasteita että mahdollisuuksia uusiin teknologisiin avauksiin. Kaivosyhtiöt ja niille teknisiä ratkaisuja toimittava globaali teknologiateollisuus tarvitsevat uutta tutkimustietoa, joka parantaisi kaivostoiminnan kilpailukykyä ja toisaalta sosiaalista hyväksyntää vastuullisen toiminnan kautta. Uusien



ratkaisujen avulla voidaan lisätä kaivosten toiminnallisuutta ja käyttövarmuutta, jotka samalla alentavat ympäristöriskejä ja edistävät yhteiskunnallista hyväksyttävyyttä. Harvinaisten, kriittisiksi muodostuneiden metallien hinnanmuodostus on vaikeasti ennakoitavaa, mikä luo painetta energia-, kustannus- ja materiaalitehokkaiden rikastus- ja kierrätysprosessien kehittämiseen. Kriittisten materiaalien korvaaminen johtaa usein ohuisiin pinnoitteisiin tai vastaaviin hienorakenteisiin, mikä vie nanoskaalan tarkasteluihin. Esimerkiksi orgaanisista yhdisteistä, metallisista komponenteista ja keraameista voidaan konstruoida mikro- ja nanorakenteita sekä komposiitteja, joille on räätälöitävissä haluttuja harvinaisille metalleille tyypillisiä fysikaalisia ominaisuuksia. Kokonaan uusi vaatimus syntyy näiden usein vaikeasti hajotettavien rakenteiden purettavuudesta kierrätyksen yhteydessä, jotta mm. vältetään terveydelle ja ympäristölle haitallisen ongelmajätteen muodostuminen.

### 3.1 Primäärit mineraalivarat

Suomen ja lähialueiden geologista karttaa tulee tarkentaa kriittisten raaka-aineiden osalta, jotta nähdään miten ne esiintyvät yhdessä muiden mineraalivarojen kanssa. Malminetsintämenetelmien kehittäminen, esiintymien ja malmipitoisuuksien kolmiulotteinen mallinnus ja siihen soveltuvien kokeellisten ja matemaattisten menetelmien kehittäminen ovat avainasemassa malmipotentialia arvioitaessa. Mallinnuskehitys kokonaisuudessaan tukee mm. esiintymien hyödyntämisen osalta keskeisten vaikutusarviointien ja kannattavuustarkastelujen toteutusta siten, että niissä voidaan huomioida kaivostoiminnan elinkaaren yli ulottuvat laaja-alaiset tarkastelut. Rikastusprosessien osalta tutkimukselliset haasteet liittyvät hybridiprosessien kehittämiseen, joissa osa jatkojalostuksesta tai koko jatkojalostus voisi tapahtua kaivoksen yhteydessä. Harvinaiset metallit ja perusmetallit muodostavat kiviainekseen sitoutuneina mineralogisen kokonaisuuden, josta yksittäiset mineraalispesieokset joudutaan erottelemaan joko vaihe vaiheelta tai integroidusti riippuen jatkojalostusprosessin vaatimuksista. Samalla on ratkaistava arvoaineiden logistinen käsittely kaivospaikalla ja/tai jatkojalostuskohteessa. Primäärien mineraalivarojen kokonaisuus on jaettu seuraaviin osioihin:

- Mineraalien etsintä, esiintyminen ja hyödyntäminen
- Kaivosprosessit ja rikastusmenetelmät
- Kaivostoiminnan vaikutukset

Fennoskandian malmiesiintymät ovat tyypillisesti monimetallisia. Geologisten, geokemiallisten ja geofysikaalisten etsintämenetelmien kehittämiseen uuden teknologian avulla on selkeä tarve, sillä tuloksekas malminetsintä luo pohjan malmiesiintymien löytymiselle. Esiintymien digitaaliselle kartoitukselle ja paikkatietoaineistojärjestelmien kehitystyölle on myös kasvava tarve niin esiintymäkohtaisesti kuin myös koko Fennoskandian mittakaavassa. Varsinainen haaste primäärien mineraalivarojen osalta on kuitenkin muodostaa numeeriset arviot eri metallikomponenttien suhteellisille pitoisuuksille esiintymän alueella kolmiulotteisena karttana, mikä johtaa vaativiin käänteisen mallinnuksen tehtäviin. Tämä on olennainen tieto, koska mm. yksittäisen kaivoksen avauspäätökseen vaikuttaa koko malmisaannon määrällinen odotus.

Kaivostoiminnassa koko ketju kiven louhinnasta erotettuihin rikasteisiin koostuu joukosta yksikköprosesseja, jotka voivat olla luonteeltaan esimerkiksi mekaanisia, hydraulisia, kemiallisia tai biologisia. Uusia yksikköprosesseja ja niiden yhdistelmiä tulee tutkia, jotta malmin arvoaineiden selektiivinen erotus sivukivestä olisi mahdollista. Koska irrotus- ja hienonnustekniikat ovat paljon energiaa kuluttavia, myös energiankulutuksen pienentäminen on tärkeä tavoite. Lisäksi haitallisten sivutuotteiden eristäminen ja prosessiveden säästeliäs käyttö suljettuine vesikiertoineen ovat merkittäviä tutkimuksellisia haasteita. Uusien prosessi-ideoiden tulee olla ilmiötasolla tieteellisesti perusteltuja. Skaalaus tuotantomittakaavaan saattaa edellyttää myös systeemitason simulointia. Integroidut monimetallikaivoksille soveltuvat erotus- ja rikastusprosessit vaativat syvällistä systeemitason ymmärrystä, jotta prosessi voidaan optimoida ja mitoittaa.

Kiviaineksen käsittely sisältäen nostot ja siirrot kaivosalueella ja rikastuslaitoksessa tulee myös toteuttaa logistisesti älykkäillä ja korkean hyötykuorman energiatehokkailla ratkaisulla.

Kaivoskompleksi varaa maa-alueen vuosikymmeniksi, jonka jälkeenkin sen käyttö on hyvin rajoitettua. Koska jotkut rikastusmenetelmät vaativat liuoskäsittelyjen takia runsasta vesien käyttöä, on lietteiden pääsy luontoympäristöön konkreettinen riski. Maailmalla on joitakin esimerkkejä vaikeista vuototapauksista, mistä syystä tarve suljettuihin kiertoihin perustuvien prosessiratkaisujen tutkimukselle on korostunut. Kaivosten sivukiven loppukäytölle haetaan myös uusia käyttökohteita esimerkiksi rakennusteollisuuden tuotteiksi. Suljetun kaivoksen jälkihoito on ratkottava jo kaivostoiminnan elinkaarisuunnittelussa. Kaivostoiminnan käynnistäminen ja lopettaminen sisältävät haastavia sosio-ekonomisia kysymyksiä, erityisesti aluetalouteen, työllisyyteen ja sosiaaliseen hyväksyttävyyteen liittyen. Sosio-ekonomiset kysymykset kärjistyvät tilanteissa, joissa toiminnan elinkaarisia vaikutuksia ei ole riittävässä määrin ennakoitu. Yhteiskunnallisten ja ympäristövaikutuksiin liittyvien kysymysten monipuolinen tarkastelu on siten primäärien raaka-ainevarojen tutkimuksen yksi keskeinen osa-alue.

### 3.2 Materiaalitehokkuus ja kierrätys

Jalometallien ja harvinaisten maametallien ja kriittisten raaka-aineiden käyttö on tyypillistä energiateknologian ja elektroniikkateollisuuden tuotteissa. Koska jalometallien uustuotanto jalostuksen kautta on hyvin kallista, on tehostetulla kierrätyksellä hyvät mahdollisuudet tyydyttää valtaosa toimialojen raaka-ainetarpeesta. Periaatetta tukee elektroniikkaromun korkea kierrätysaste. Kriittisten raaka-aineiden riittävyysongelmaa voidaan pyrkiä ratkaisemaan myös systeemisuunnittelulla, jossa otetaan huomioon materiaalien erotettavuus romutuksen yhteydessä. Vanhat jäte-erät, esimerkiksi suljettujen kaivosten sivukivikasat sekä vanhat kaatopaikat, ovat myös potentiaalisia jalometallien seulontakohteita. Tutkimusteema johtaa seuraaviin keskeisiin tutkimuskysymyksiin:

- Harvinaisten mineraalien taloudellinen käyttö
- Arvokkaiden ainesosien kierrätys
- Kierrätysmyötäinen suunnittelu ja valmistus

Kriittiset raaka-aineet sisältävät erityisiä ominaisuuksia, jotka voivat tuottaa tietyn halutun funktionaalisuuden sovelluskohteessa. Korkea hinta ja/tai vaikea saatavuus on johtanut ohutkalvo- ja partikkelirakenteisiin, joka vaativat mikro- ja nanotekniikkaan pohjautuvia valmistusmenetelmiä. Kalvonmuodostusprosessit, partikkelitäytteisten komposiittien konstruointi, sekä partikkelien monifaasivirtaus ovat tutkimuskohteita, joiden ratkaisu johtaa vaativiin kokeisiin ja raskaan tieteellisen laskennan tehtäviin. Uudet teknologiat voivat tuoda uusia kriittisiä raaka-aineita, jos materiaalien funktionalisuutta suunniteltaessa ei oteta huomioon raaka-aineiden saatavuutta. Siksi tällä tutkimuksella on erityinen tarve ja merkitys ratkaistaessa arvokkaiden mineraalien riittävyysongelmaa.

Kriittisten raaka-aineiden kuten jalometallien tai harvinaisten maametallien tyypillisistä käyttökohteista seuraa, että ne ovat kierrätysvaiheessa elektroniikkaromun joukossa, missä muita jakeita ovat erilaiset muovit, puolijohteet, keraamit ja perusmetalleista erityisesti kupari. Arvometallien talteenotto integroidaan usein kuparin erotukseen. Koska mekaaninen seulonta ei tuota haluttua lopputulosta, ovat erilaisiin fysikaalisiin, kemiallisiin ja biokemiallisiin vaikutuksiin perustuvat erottelumenetelmät voimakkaan tutkimuksen alla. Tämän tyyppisten prosessien, jotka sisältävät poisteiden palautuskiertoja, suunnittelu, mitoitus ja optimointi vaativat välttämättä systeemitason tarkasteluja, esimerkiksi prosessisimulointia. Vastaava systeemitason metodiikka soveltuu vanhojen jäte-erien uudelleen käsittelyyn, jolloin yksikköprosessitasolla toimintaperiaatteet tulee johtaa eroteltavien aineksien karakteristisista ominaisuuksista.

Kriittiset raaka-aineet ja niitä korvaavat materiaalit ovat usein prosessiväliaineen ja taustarakenteen välisessä rajapinnassa ohuena pinnoitteena tai muuna vuorovaikutuskerroksena. Teollinen sarjavalmistus vaatii sovellusta hyödyntävän tuotteen ja tarvittavan valmistustekniikan samanaikaista kehittämistä. Hienorakenteet tuovat mukanaan myös erityisen kierrätysongelman: miten erottaa tiukasti pintaan istutettu rajapintakerros perusaineesta tuotteen romutuksen yhteydessä. Samalla kun kehitetään materiaalien vaikutuspinta-alaa maksimoivia rakenteita sekä näitä synteettisesti korvaavia ratkaisuja, tulee tämä purettavuus ratkaista. Arvokkaiden metallien talteenotossa on kysymys resurssitehokkuudesta mutta synteettisten korvaavien materiaalin tapauksessa määrääväksi tekijäksi saattaa nousta nanoskaalan hiukkasiin liittyvän terveysriskin ja ympäristökysymysten hallinta.

### 3.3 Korvaavat materiaalit

Suomi on materiaalien ja nanotieteiden tutkimuksen eturintamassa laaja-alaisten fysiikan, kemian, laskennallisen tieteen ja mallinnuksen ryhmien sekä ajanmukaisen tutkimusinfrastruktuurin ansiosta. Tämä antaa erinomaisen lähtökohdan maailman kärkeen kurottuvalle tutkimukselle kriittisiä metalleja korvaavista uusista materiaaleista. Erityisesti hiilimateriaalien, biomimeettisten materiaalien, funktionaalisten oksidimateriaalien, nanopartikkelien sekä atomikerroskasvatusmenetelmällä (ALD) valmistettujen ohutkalvojen tutkimuksessa Suomessa on syvällistä huippuosaamista.

Teeman tavoitteena on raaka-aineen osittainen ja/tai täysi korvaaminen, jossa kriittinen raaka-aine korvataan toisella ei-kriittisellä materiaalilla, jolla on sama toiminnallisuus määritellyissä sovelluksissa. Luetellut alateemat kuvaavat esimerkinomaisesti uusia materiaaleja, joilla on potentiaalia korvaaviksi materiaaleiksi ja joita jo tutkitaan Suomessa:

- Pinnoitteet ja nanorakenteet
- Funktionaaliset keraamit
- Orgaaniset rakenteet ja biomimetiikka

Korvaamalla kriittisiä metalleja edistyneillä uusilla pinnoitteilla tai monimetallisilla nanorakenteilla, kuten esimerkiksi korvaamalla palladiumryhmän metalleja katalyysisovelluksissa hiiliklustereilla, voidaan vähentää erityisesti jalometallien ja platinaryhmän materiaalien tarvetta. ALD-menetelmällä voidaan prosessoida materiaaleja, joita hyödynnetään esimerkiksi nanorakenteisissa aurinkokennoissa ja litium-ioniakuissa.

Suomen vahva osaaminen funktionaalisten keraamien alalla tarjoaa mahdollisuuden materiaalien mekaaniseen lujittamiseen toiminnallisesti. Ympäristöolosuhteisiin reagoivia pintarakenteita voidaan saada aikaan monimateriaaliräätälöinnin kautta.

Biomimetiikassa luonnon materiaaleja käytetään toisaalta malleina keinotekoisille rakenteille, ja toisaalta lähtöaineina orgaanisille rakenteille. Orgaaniset rakenteet mahdollistavat esimerkiksi uusia tapoja valmistaa läpinäkyviä näyttöjä, korroosiokestäviä pinnoitteita tai erilaisia antureita hiilinanorakenteiden avulla. Polymeerit mahdollistavat myös erilaisten johtavien tai valolle aktiivisten pinnoitteiden kehittämisen.

Yhtenä teeman tavoitteen on myös korvaavien materiaalien tulevaisuuden ennakointi ottaen huomioon EU:n vahvistaman kriittisten materiaalien luettelon ([http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm)). Kaikissa uusissa korvaavissa ratkaisuisa tulee lisäksi ottaa huomioon, miten korvattu materiaali käyttäytyy tuotteen elinkaaren lopussa tuotetta romutettaessa. Korvaavien ratkaisujen on oltava materiaalivalinnoiltaan sellaisia, että ne ovat turvallisesti romutettavissa ja tuotteen ainekset saadaan takaisin kiertoon ilman terveysvaikutuksia, ympäristövaikutuksia ja merkittäviä kustannuksia. Tutkimushankkeen korvaavat materiaalit -osioissa tarvitaan siten myös tutkimusta, joka keskittyy korvaavien materiaalien valintaan, elinkaarikustannuksiin ja systeemi-integraatioon. Korvaavia materiaaleja sisältävät

tuotteet tarvitsevat laaja-alaista tieteellistä arviointia ja systeemitarkastelua, jotta materiaalit voidaan kierrättää muiden materiaalivirtojen mukana.

## 4. AKATEMIAOHJELMAN TOTEUTUS

### 4.1 Ohjelman rahoitus ja aikataulu

Mineraalivarat ja korvaavat materiaalit -akatemiaohjelma on Suomen Akatemian rahoittama ja koordinoima ohjelma, jonka hankkeiden rahoituskausi on neljä vuotta. Ohjelman kautta rahoitetaan tutkimushankkeiden ja tutkimuskonsortioiden tekemää monitieteistä tutkimusta ja tuetaan kansallista ja kansainvälistä yhteistyötä ja verkottumista. Tutkimuskonsortio on yhteisen tutkimussuunnitelman pohjalta toimiva itsenäisten osahankkeiden kokonaisuus, jossa erilaisia lähestymistapoja ja tieteenaloja yhdistämällä pyritään saavuttamaan lisäarvoa, joka ei ole tavanomaisessa hankeyhteistyössä mahdollista.

Ohjelmassa on kaksi kansallista päähakuja. Ensimmäinen näistä oli yksivaiheinen Primäärit mineraalivarannot -haku, joka järjestettiin syksyllä 2013. Tästä hausta rahoitettujen hankkeiden rahoituskaudet alkavat 1.9.2014 ja kestävät pääosin neljä vuotta. Hakuun varattiin neljä miljoonaa euroa. Rahoituspäätökset tehtiin toukokuussa 2014. Ohjelman toinen päähaku on kaksivaiheinen, ja se järjestetään syksyn 2014 ja talven 2014/2015 aikana. Tähän hakuun on varattu alustavien suunnitelmien mukaan 9–12 miljoonaa euroa. Tästä toisesta päähausta rahoitettujen hankkeiden rahoituskaudet on suunniteltu alkavaksi 1.9.2015, ja ne mitoitetaan nelivuotisiksi. Tämän haun rahoituspäätökset tehdään alustavasti loppukevällä 2015. Myöhemmin mahdollisesti toteutettavasta kansainvälisestä yhteistyöstä ja sen rahoituksesta päätetään erikseen.

Ohjelman ensimmäisessä päähaussa erityispiirteenä on, että myönnetty neljän miljoonan euron rahoitus ohjataan osaamisperusteisen kasvun tukemiseksi. Tämä erityispiirre ei koske ohjelman toista päähakuja.

Haun ja hakemusten arvioinnin aikataulu on esitetty tarkemmin luvussa 5, ”Hakuohjeet ja hakemusten arviointikriteerit”. Mahdollisten täydentävien hakujen rahoittajista, tutkimusalueista, aikataulusta ja hakuprosessista tiedotetaan Akatemian toimesta erikseen.

### 4.2 Kansallinen yhteistyö

Mineraalivarannot ja korvaavat materiaalit -akatemiaohjelmalla on joiltain osin liittymäkohtia Suomen Akatemian vuonna 2014 alkavan Arktisen akatemiaohjelman kanssa sekä meneillään olevien Ohjelmoitavat materiaalit ja Uusi energia -ohjelmien kanssa.

Akatemian Mineraalivarannot ja korvaavat materiaalit -ohjelma pyrkii hyvään vuorovaikutukseen Tekesin ohjelmien, erityisesti Green Mining -ohjelman, kanssa. Ohjelmalla on joiltain osin yhtymäkohtia myös energia- ja ympäristöalan keskittymän CLEEN Oy:n (SHOK)<sup>1</sup> ja metallituotteet ja koneenrakennusalan keskittymän FIMECC Oy:n (SHOK) kanssa.

Suomessa on vuoden 2014 aikana työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) toimesta valmisteilla Suomi kestävän kaivannaisteollisuuden edelläkävijäksi -tutkimusohjelma. Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra on vuonna 2013 käynnistänyt kestävän kaivostoiminnan verkoston. Akatemian Mineraalivarannot ja korvaavat materiaalit -ohjelma huomioi toiminnassaan TEMin ohjelman ja hyödyntää Sitran verkostoa. Ohjelma pyrkii edistämään

<sup>1</sup> Strategisen huippuosaamisen keskittymä (SHOK), [www.aka.fi/fi/A/Ohjelmat-ja-yhteisty/Osaamisen-keskittymat](http://www.aka.fi/fi/A/Ohjelmat-ja-yhteisty/Osaamisen-keskittymat)



yhteistyötä myös kansallisten tutkimusta rahoittavien säätiöiden kanssa. Ohjelma tekee tarpeen mukaan yhteistyötä Oulun yliopistossa toimivan Kaivosakatemia kanssa.

#### 4.3 Kansainvälinen yhteistyö

Akatemiaohjelma pyrkii valikoiden yhteistyöhön sellaisten muiden maiden tutkimusrahoittajien kanssa, jotka rahoittavat korkeatasoista tieteellistä mineraalivaroihin ja korvaaviin materiaaleihin kohdistuvaa tutkimusta ja jotka kohdemaina tunnustetaan kiinnostaviksi. Tunnistettuja kiinnostavia kohteita ovat mm. Etelä-Afrikka, Kanada, Australia, Ruotsi ja myös Chile. Suomen Akatemialla on kahdenvälistä tutkimusyhteistyötä edistäviä sopimuksia joidenkin maiden kanssa, mm. Etelä-Afrikan ja Chilen kanssa. Chilen tutkimusrahoittajalla (Chilean National Commission for Scientific and Technological Research (CONICYT)) on käynnissä Mining Footprint -ohjelma.

Euroopan unionin Horisontti 2020 -ohjelmassa Mineraalivarannot ja korvaavat materiaalit -ohjelman kannalta keskeistä on Raw Materials KIC -rahoitushaku vuoden 2014 aikana. Haku sulkeutuu syksyllä 2014. EU:n muita aiheeseen liittyviä rahoitusohjelmia ovat mm. ympäristöalan rahoitusjärjestelmä Life ja Euroopan aluekehitysrahaston EAKR-ohjelmat.

Akatemia rahoittaa kansainvälistä International Continental Scientific Drilling Programme (ICDP) -yhteistyötä, mikä huomioidaan ohjelman toiminnassa.

Kansainvälinen yhteistyö etenkin Ruotsin kanssa nähdään kiinnostavaksi. NordForsk on keskeinen pohjoismaisen tutkimusyhteistyön rahoittaja. Ruotsalaisia tutkimusrahoittajia ovat Vinnova ja Nordmin. Vinnovalla on käynnistymässä tutkimusohjelma mineraalivaroihin liittyen.

Myöhemmin toteutettavasta kansainvälisestä yhteistyöstä päätetään erikseen.

#### 4.4 Johtoryhmä

Akatemiaohjelmaa johtaa johtoryhmä, joka koostuu Suomen Akatemian toimikuntien jäsenistä ja asiantuntijajäsenistä. Johtoryhmään voidaan lisäksi kutsua muita asiantuntijoita. Johtoryhmän tehtävänä on

- valmistella ohjelma ja tehdä ohjelmajaostolle ehdotus rahoitettavista hankkeista
- ehdottaa Akatemian toimikunnille ja muille rahoittajille mahdollisia lisähakuja ja/tai lisärahoitusta
- johtaa ohjelmaa ja vastata sen seurannasta
- ohjata ohjelman koordinaatiota
- vastata ohjelman loppuarvioinnista
- edistää ohjelman tutkimustulosten hyödyntämistä.

#### 4.5 Ohjelman koordinointi

Akatemiaohjelma edistää tutkimushankkeiden kehittymistä ohjelmakokonaisuudeksi aktiivisen tiedonvaihdon ja yhteistyön kautta. Akatemiaohjelman koordinaatiosta vastaavat johtoryhmä sekä Suomen Akatemian nimeämät ohjelmapäälliköt ja projektisihteeri, joiden tehtävänä on edistää ohjelman tavoitteiden toteutumista yhteistyössä hankkeiden kanssa. Hankkeiden toivotaan näin vahvistavan toisiaan ja ohjelman synnyttävän uudenlaista monitieteistä tutkimustietoa. Siksi ohjelmaan valittavien hankkeiden johtajilta edellytetään, että he sitoutuvat ohjelman tavoitteisiin ja toimivat aktiivisesti yhteistyössä ohjelman aikana ja arvioitaessa ohjelman tuloksia sen päätyttyä.

Ohjelmaan valittujen hankkeiden vastuullisten johtajien tulee

- vastata ja raportoida hankkeen tieteellisestä edistymisestä ja rahoituksen käytöstä ohjelmapäällikön ja rahoittajien ohjeiden mukaisesti
- varmistaa oma ja tutkimusryhmän jäsenten osallistuminen ohjelmakoordinaation järjestämiin tapaamisiin, seminaareihin ja työpajoihin sekä edistää tiedonkulkua ja yhteistyötä ohjelman tutkimusryhmien välillä
- osallistua akatemiaohjelman katsausten, synteisien ja tiedotusmateriaalin tuottamiseen ja jakaa aktiivisesti tietoa ohjelman edistymisestä ja tuloksista julkisilla ja tieteellisillä foorumeilla.

Tutkimushankkeet osallistuvat ohjelman kuluessa tutkimustulosten käyttäjien kanssa järjestettäviin tilaisuuksiin ja muihin toimiin, joilla välitetään tutkimustietoa sidosryhmille.

#### 4.6 Loppuarviointi

Akatemiaohjelman toteutus ja tuloksellisuus arvioidaan ohjelman päätyttyä. Arvioinnin toteutus ja tavoitteet määritellään ohjelman kuluessa, mutta arvioinnissa voidaan huomioida esimerkiksi

- ohjelman tavoitteiden toteutuminen
- akatemiaohjelman toteutus (koordinaatio, johtoryhmän rooli, osallistuminen ohjelmaan)
- ohjelman vaikuttavuuden toteutuminen
- kansallinen ja kansainvälinen yhteistyö
- ohjelmassa tehdyn tutkimuksen saama julkisuus ja näkyvyys.

Arviointi voidaan tehdä osana laajempaa Suomen Akatemian tai kansallisen ohjelmakokonaisuuden arviointityötä ja yhteistyössä muiden kansallisten ja kansainvälisten toimijoiden kanssa.

Rahoitettavien tutkimusryhmien tulee raportoida hankkeensa edistymisestä johtoryhmän päättämällä tavalla sekä toimittaa hankkeen päätyttyä tutkimusraportti Akatemiaan. Raporteista tulee ilmetä muun muassa hankkeessa tuotetut tieteelliset julkaisut ja ohjelman puitteissa suoritettut opinnäytetyöt. Ohjelman ensimmäisessä päähaussa (ks. kappale 4.1) rahoitetuilta hankkeilta voidaan edellyttää raportointia siitä miten hanke on edistänyt osaamisperusteisen kasvun tukemista.

## 5. HAKUOHJEET JA HAKEMUSTEN ARVIOINTIKRITEERIT

Mineraalivarat ja korvaavat materiaalit -akatemiaohjelman päähaku on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa Suomen Akatemian sähköiseen asiointiin jätettävä aihakemus sisältää lyhyen aiesuunnitelman (ks. ohjeet aihakemuksen laatimisesta liitteineen Akatemian syyskuun 2014 hakuilmoituksesta). **Aiehaun hakuaika päättyy ennakkotiedon mukaisesti 24.9.2014 klo 16.15. Hakuaika on ehdoton.** (Tarkista hakuajan päätyminen kesällä 2014 julkaistavasta hakuilmoituksesta.) Ohjelman johtoryhmä tekee Akatemian hallituksen asettamalle ohjelmajaostolle esityksen hankkeista, jotka aihakemusten perusteella parhaiten täyttävät ohjelman tavoitteet. Toisen vaiheen hakuun kutsuttaville ilmoitetaan ohjelmajaoston päätöksestä loppuvuodesta 2014.

Hakijat, joilta pyydetään varsinainen hakemus, laativat täydellisen tutkimussuunnitelman ja jättävät sen Akatemian sähköiseen asiointiin ennakkotiedon mukaisesti viimeistään **12.2.2015 klo 16.15**. Tarkka aikataulu ja ohjeet varsinaisen hakemuksen laatimisesta liitteineen ovat Akatemian syyskuun 2014 hakuilmoituksessa. Hakemusten tieteelliseen arviointiin perustuen ja ohjelman tavoitteet huomioon ottaen johtoryhmä



valmistelee ehdotuksen rahoitettavista hankkeista ohjelmajaostolle, joka tekee rahoituspäätökset viimeistään kesäkuussa 2015.

Aiehakemusten arvioinnista vastaa ohjelman johtoryhmän jäsenistä ja mahdollisista muista asiantuntijoista koostuva ryhmä. Varsinaiset hakemukset arvioidaan kansainvälisessä asiantuntijapaneelissa.

Hakemusten arvioinnissa noudatetaan Akatemian tutkimusohjelmien yleisiä arviointikriteerejä (ks. [www.aka.fi](http://www.aka.fi) > Rahoitus ja ohjeet > [Vertaisarviointi](#)). Suomen Akatemian yleisten arviointikriteerien lisäksi Mineraalivarat ja korvaavat materiaalit -akatemiaohjelman hakemusten arvioinnissa painotetaan ohjelmalle asetettuja tavoitteita, kuten ne on kuvattu ohjelmamuistion luvussa 2, ”Tavoitteet”. Tämä näkökulma huomioidaan arviointilomakkeen kohdassa ”Hankkeen soveltuvuus ohjelmaan”.

## 6. LISÄTIETOJA

Tämän ohjelmamuistion saa Suomen Akatemian verkkosivuilta osoitteesta [www.aka.fi/misu](http://www.aka.fi/misu).

Ohjelmapäällikkö  
Tommi Laitinen  
Suomen Akatemia  
Puh. 029 533 5057

Ohjelmapäällikkö  
Tuomas Katajarinne  
Suomen Akatemia  
Puh. 029 533 5067

Projektisihteeri  
Laura Pekkarinen  
Suomen Akatemia  
Puh. 029 533 5087

Sähköposti: [etunimi.sukunimi@aka.fi](mailto:etunimi.sukunimi@aka.fi)  
Faksi: +358 295 33 5299  
Postiosoite:  
Suomen Akatemia  
PL 131 (Hakaniemenranta 6)  
00531 Helsinki