KRIITTISET METALLIT JA HUOLTOVARMUUS

HUOLTOVARMUUSORGANISAATIO

KRIITTISET METALLI JA HUOLTOVARMUUS

Selvitys kriittisten metallien käytöstä ja kierrätyksestä suomalaisessa ja Suomessa toimivassa teollisuudessa.

TEKNOLOGIAPOOLI

Tutkimuksen ohjausryhmän puheenjohtajana toimi johtaja Jyrki Hakola.

Selvityksen tekijä
KTT Jarkko Vesa, Not Innovated Here

www.huoltovarmuus.fi

Huoltovarmuudella tarkoitetaan kykyä sellaisten yhteiskunnan taloudellisten perustoimintojen ylläpitämiseen, jotka ovat välttämättömiä väestön elinmahdollisuuksien, yhteiskunnan toimivuuden ja turvallisuuden sekä maanpuolustuksen materiaalisten edellytysten turvaamiseksi vakavissa häiriöissä ja poikkeusoloissa.

Huoltovarmuuskeskus (HVK) on työ- ja elinkeinoministeriön hallinnonalan laitos, jonka tehtävänä on maan huoltovarmuuden ylläpitämiseen liittyvä suunnittelu ja operatiivinen toiminta.

Julkaisija:
Huoltovarmuusorganisaatio

Tutkimuksen ohjausryhmän puheenjohtaja:
johtaja Jyrki Hakola

Selvityksen tekijä:
KTT Jarkko Vesa, Not Innovated Here

Kuvat:
Shutterstock

Taitto:
Up-to-Point Oy / Paula Winter

Painopaikka:
Multiprint, Helsinki

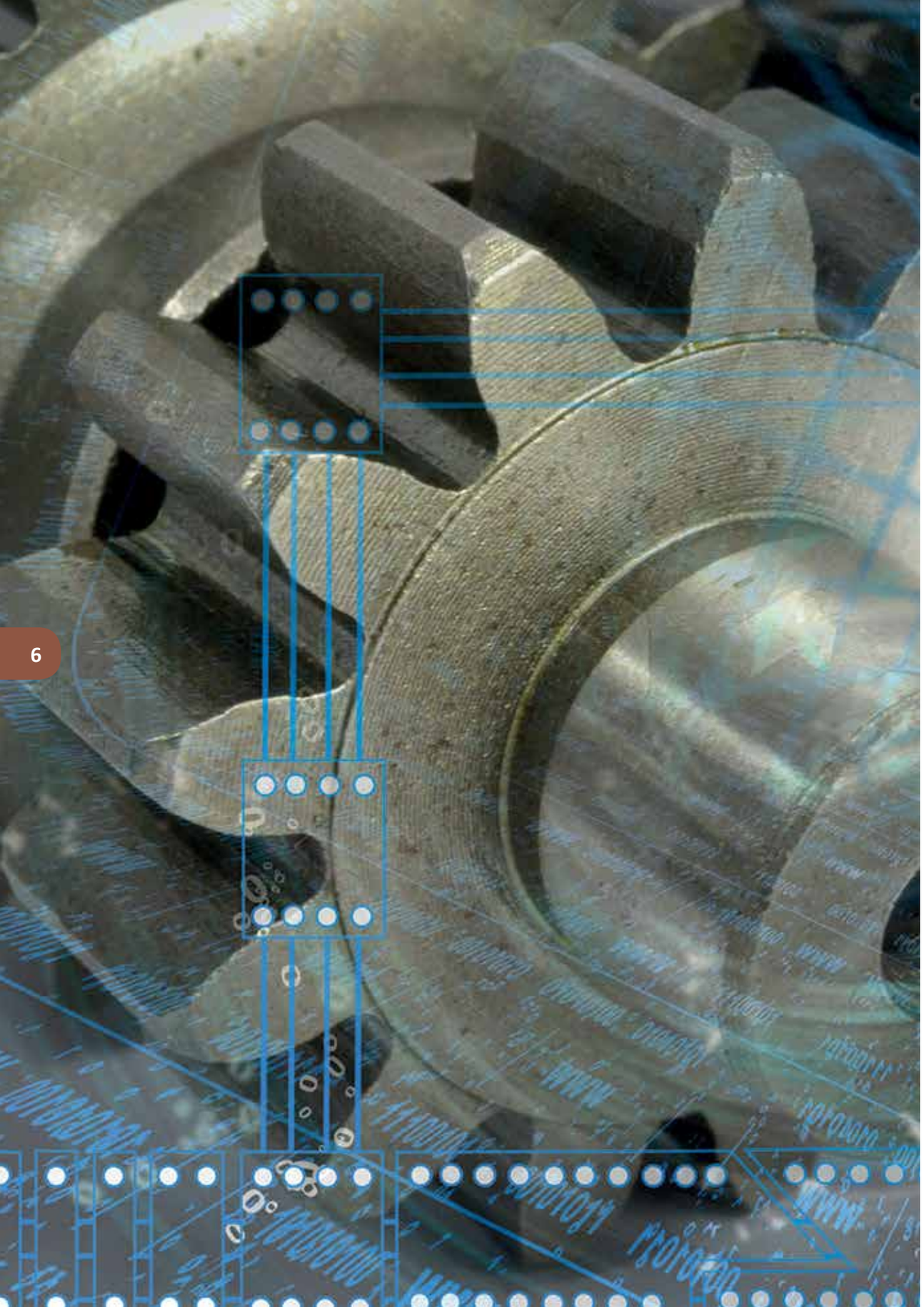
Julkaisuvuosi:
2017

ISBN:
978-952-5608-40-3

HUOLTOVARMUUSKESKUS
FÖRSÖRJNINGSBEREDSKAPSCENTRALEN
NATIONAL EMERGENCY SUPPLY AGENCY

sisältö

Johdon tiivistelmä ... 7
Esiselvityksen taustaa ... 8
Kriittiset metallit ja metalliyhdisteet ... 10
Hi-tech-metallit ... 10
Eu ja kriittiset materiaalit ... 11
Jalometallit ... 14
Harvinaiset maametallit ... 14
Yhteenveto harvinaisista maametalleista ja niiden ominaisuuksista ... 16
Koboltti ... 18
Metallien käyttö teollisuudessa ... 20
Elektroniikkateollisuus ... 20
Auto- ja koneenrakennusteollisuus ... 22
Puolustusteollisuus ... 23
Kemianteollisuus ... 24
Energiateollisuus ... 24
Kriittisten metallien markkinat ... 26
Harvinaisten maametallien markkinat ... 27
Harvinaisten maametallien markkinakriisi 2010–2011 ... 28
Harvinaisten maametallien markkinat vuonna 2017 ... 30
Koboltin markkinatilanne ... 31
Koboltti, Kiina ja Kongo ... 33
Tesla ja Pohjois-Amerikka ... 34
Kriittisten metallien kierrätys ... 35
Kierrätyksen ympäristövaikutukset ... 37
Metallien kierrätyksen tilanne tänään ... 38
Kriiittisten metallien tuotanton Suomessa ... 40
Kysely suomalaisille teollisuusyrityksille ... 42
Verkkokyselyn toteutus ... 43
Kriittisten metallien markkinoiden seuranta yrityksissä ... 43
Kriittisten metallien hankinta ... 45
Suomalaisille yrityksille kriittiset metallit ... 45
Suomalaisyritysten kohtaamia haasteita ... 49
Rajun hinnannousun vaikutukset yrityksille ... 49
Todennäköisimmät syyt markkinahäiriöille ... 50
Riskienhallintasuunnitelmat puuttuvat ... 51
Kriittisten metallien korvaaminen vaikeaa ... 51
Tarvitaanko Suomessa varmuusvarastoja? ... 52
Varmuusvarastoinnin järjestäminen ... 52
Omien tuotteiden kierrätys ... 53
Osallistuminen kriittisten metallien seurantaan ... 53
Johtopäätökset ... 54
Lähdeluettelo ... 56
Liite 1. Haastatellut yritykset ja muut organisaatiot ... 58



Johdon tiivistelmä

Huoli teollisuuden kannalta kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden saatavuudesta ja hintakehityksestä kasvaa sitä myötä, kun niitä runsaasti kuluttavat uudet teknologiat, kuten sähköinen liikenne, uudet energiamuodot ja LED-valaistus, leviävät. Euroopan unioni ja Yhdysvaltojen kongressi ovat jo vuosia seuranneet tarkkaan tilanteen kehittymistä. Tehtyjen skenaarioanalyysien perusteella näyttää selvältä, että kriittisiä metalleja ja mineraaleja tarvitaan enenevässä määrin, mutta EU:n riippuvuus tuonnista tuskin tulee vähentymään.

Huoltovarmuusorganisaation Teknologiapooli käynnisti lokakuussa 2016 esiselvityksen kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden käytöstä ja kierrätyksestä suomalaisessa teollisuudessa. Tilannekuvaa rakennettiin kirjallisuuskatsauksen, kansainvälisten konferenssien, haastatteluiden ja verkkokyselyn pohjalta.

Esiselvityksen perusteella yritykset ovat pääosin tietoisia kriittisten metallien saatavuuteen liittyvistä riskeistä, kuten materiaalien varantojen ja valmistuksen keskittymisestä voimakkaasti tiettyihin maihin. Haasteena on, että vaikka riskeistä ollaan tietoisia, yritykset näyttävät olevan liiankin luottavaisia kriittisten metallien saatavuuteen.

Kriittisten metallien markkinat ovat eläneet viime vuodet erikoista vaihetta, kun esimerkiksi harvinaisten maametallien hinnat ovat pysyneet matalalla ja saatavuus hyvänä vuosikymmenen alun rajun hintashokin jälkeen. Kiinan ylituotannon ja matalien markkinahintojen vuoksi kierrätysratkaisuihin ei juurikaan investoida, vaikka esimerkiksi Euroopan unioni on korostanut kierrätyksen merkitystä.

Kriittisten metallien (harvinaiset maametallit, jalometallit, koboltti jne.) saatavuuden varmistaminen raaka-ainemarkkinoiden mahdollisissa häiriötilanteissa on Teknologiapoolin jäsenyritysten ja koko huoltovarmuuden kannalta strateginen kysymys. Huoltovarmuuskeskuksella voisi olla tässä kentässä merkittävä rooli uusien toimintamallien kehittäjänä, yritysten verkostoijana ja tietämyksen lisääjänä.

Ensimmäisenä käytännön askeleena voisi olla kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden seurantaryhmän perustaminen Huoltovarmuuskeskuksen sateenvarjon alla. Haastatteluissa ja verkkokyselyssä tunnistettiin joukko johtavia suomalaisia teollisuusyrityksiä, jotka olisivat kiinnostuneita osallistumaan tällaiseen toimintaan.

Seurantaryhmän ensimmäisenä tehtävänä voisi olla tarkemman tilannekuvan luominen kriittisten metallien käytöstä ja merkityksestä suomalaiselle teollisuudelle. Tämän pohjalta ryhmä voisi laatia eri sidosryhmien kanssa yhteistyössä Suomelle kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden strategian toimenpide-ehdotuksineen.

Selvityksen taustaa

Tässä raportissa kuvattu ”Kriittiset metallit, materiaalien uudelleenkäyttö ja huoltovarmuus” -esiselvitys toteutettiin lokakuun 2016 ja maaliskuun 2017 välisenä aikana Huoltovarmuuskeskuksen toimeksiannosta.

Esiselvityksen toteutuksesta vastasi kauppatieteiden tohtori **Jarkko Vesa**. Huoltovarmuuskeskuksen puolelta esiselvityksen tilaaja oli Perustuotanto-osasto. Ohjausryhmän puheenjohtajana toimi johtaja **Jyrki Hakola** ja jäseninä teollisuusasiamies **Jorma Hannulabacka** ja Teknologiapoolin valmiuspäällikkö **Peter Malmström**, joka osallistui myös aktiivisesti esiselvityksen toteutukseen.

Esiselvityksen tavoitteena oli luoda tilannekuva siitä, mitkä ovat suomalaisten teollisuusyritysten oman toiminnan jatkuvuuden kannalta kriittisiä metalleja ja metalliyhdisteitä, miten näiden materiaalien saatavuuteen liittyviä riskejä on hallittu, ja miten yritykset näkevät yhteistyön merkityksen teollisuuden toiminnan jatkuvuuden näkökulmasta. Huomiota kiinnitettiin myös kriittisten metallien ja muiden metallien kierrätykseen.

Esiselvityksen toteutuksen yhteydessä pyrittiin myös tunnistamaan edelläkävijäyrityksiä, joilla markkinatilanteen seuranta ja häiriöihin varautuminen on hyvin hoidettu. Näistä yrityksistä kartoitettiin henkilöitä, jotka olisivat kiinnostuneita esimerkiksi huoltovarmuustoiminnan puitteissa osallistumaan seurantaryhmän työskentelyyn, tavoitteena jakaa parhaita käytäntöjä ja luoda tapoja tunnistaa mahdollisia markkinahäiriöitä hyvissä ajoin.

Esiselvitys pohjautuu Teknologiapoolin jäsenten ja muiden sidosryhmien haastatteluihin (lista haastatelluista yrityksistä liitteessä 1), HUOVI-rekisterin pohjalta toteutettuun verkkokyselyyn (yhteenveto jäljempänä tässä raportissa), raportteihin, lehtiartikkeleihin sekä seminaarien ja työpajojen esityksiin ja keskusteluihin.

Esiselvityksen toteutuksen kannalta lähtökohta oli mielenkiintoinen. Euroopan unioni on pyrkinyt nostamaan keskusteluun EU:n heikkoa omavaraisuutta kriittisten materiaalien suhteen. Kuten raportista käy ilmi, on monien keskeisten teknologioiden kannalta kriittisten materiaalien varannot ja jalostustoiminta globaalisti keskittynyt harvojen maiden käsiin. Vaikka tällä hetkellä useimpien kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden saatavuus on hyvä ja hinnat pitkän aikavälin vertailussa edullisella tasolla, voi tilanne muuttua nopeastikin. Tätä taustaa vasten on hyvä tiedostaa, mikä on suomalaisten yritysten kyky hallita poikkeustilanteita, jos hinnat ja/tai saatavuus heilahtelevat rajusti.

KRIITTISET METALLIT JA METALLIYHDISTEET

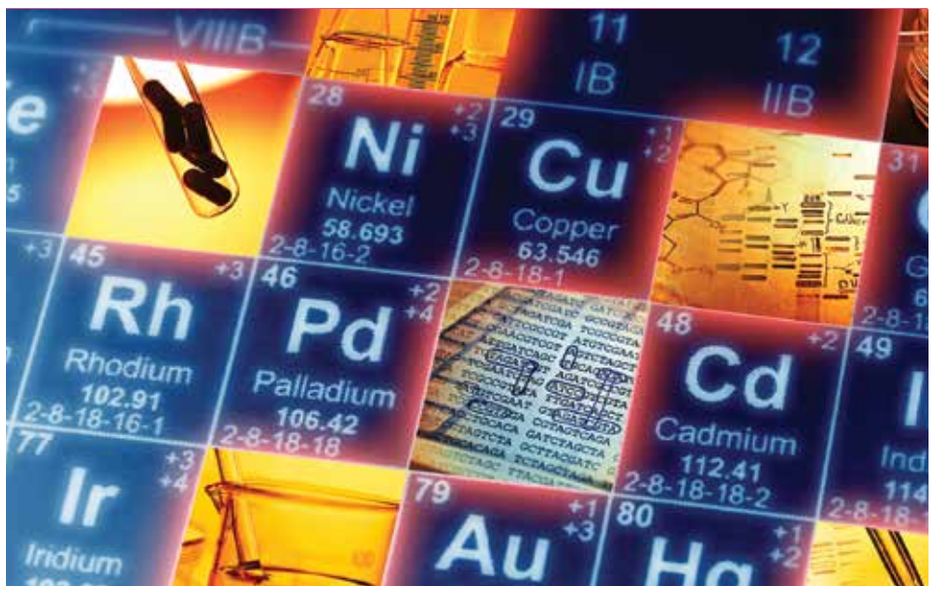
HI-TECH-METALLIT

Kriittisille metalleille ei ole yhtä yleisesti hyväksyttyä määritelmää. Olemassa on suuri joukko erilaisia määritelmiä, jotka liittyvät raaka-aineiden niukkuuteen – ja jokaiselle on omat kriteerinsä.

Tässä esiselvityksessä metallien ja metalliyhdisteiden kriittisyys viittaa niiden saatavuuteen liittyviin riskeihin ja merkitykseen talouden avainsektoreiden kannalta. Kriittisyyttä kasvattaa myös odotettavissa oleva globaali kysynnän kasvu ja metallien kierrätykseen liittyvät rajoitukset.

Raportissa tarkasteltavia materiaaleja kutsutaan usein hi-tech-metalleiksi. Niitä käytetään erityisesti ympäristöystävällisissä energiaratkaisuissa, kuten hybridi- ja sähköautoissa, tuuliturbiineissa ja aurinkopaneeleissa sekä tutkissa, aseteollisuudessa, lasereissa, tietotekniikassa ja viihde-elektroniikassa. Hi-tech-metallit ovat välttämättömiä kehittyneiden maiden talouden kasvulle.

Hi-tech-metalleja ovat antimoni (Sb), beryllium (Be), gallium (Ga), germanium (Ge), indium (In), koboltti (Co), litium (Li), molybdeeni (Mo), niobium (Nb), platinaryhmän metallit (PGM), harvinaiset maametallit (REE), tantaali (Ta), titaani (Ti), vanadiini (V) ja volframi (W). Harvinaisiin maametalleihin kuuluvat 15 lantanoidi-ryhmän metallia sekä skandium (Sc) ja yttrium (Y). EU on määritellyt 20 raaka-ainetta kriittisiksi sen perusteella, että niillä on suuri taloudellinen merkitys ja niiden saatavuuteen liittyy mahdollisia riskejä. Näistä noin puolet lukeutuu high-tech-metalleihin. (*http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/metallit/hi_tech_metallit.html*)

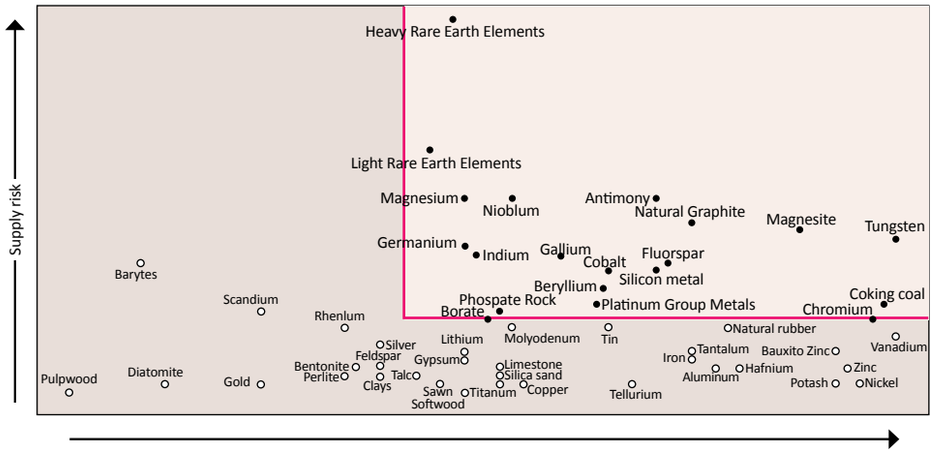


EU JA KRIITTISET MATERIAALIT

"…koska unioni on riippuvainen raaka-aineiden tuonnista ja koska huomattava määrä luonnonvaroja on lyhyellä aikavälillä nopeasti ehtymässä, keskeisenä haasteena on ottaa unionissa talteen mahdollisimman paljon resursseja ja tehostaa siirtymistä kohti kiertotaloutta." (Schaldemose, 2017)

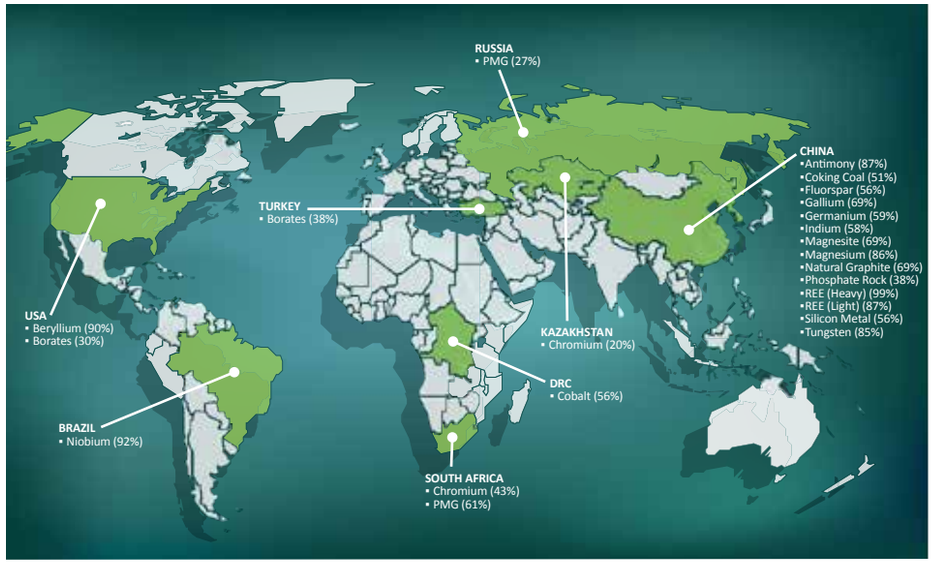
Raaka-aineet ovat elintärkeitä Euroopan taloudelle, kasvulle ja työllisyydelle. Ne ovat keskeisessä roolissa eurooppalaisten elämänlaadun ylläpitämisessä ja parantamisessa. Viime vuosina eri materiaalien määrä on lisääntynyt tuotteissa. Kriittisten materiaalien luotettava, kestävä ja häiriötön saanti aiheuttaa kasvavaa huolta niin EU:ssa kuin globaalistikin.

Edellä mainituista syistä Euroopan unioni on käynnistänyt Raw Materials Initiative -ohjelman, jonka tavoitteena on ratkaista raaka-aineisiin liittyviä haasteita EU-tasolla. Yksi aloitteen keskeisistä tehtävistä on määritellä, mitkä raaka-aineet ovat kriittisiä EU:n taloudelle. Tällaisissa kriittisissä materiaaleissa yhdistyy suuri taloudellinen merkitys ja saatavuuteen liittyvät riskit. Vuonna 2013 tehdyn arvioinnin perusteella EU:n kriittisten materiaalien listalle (muut kuin energiaan tai maatalouteen liittyvät materiaalit) nousivat kaksikymmentä materiaalia, jotka on esitelty kuvassa 1. *(EU, 2014)*



Kuva 1: ***EU:n kriittisten materiaalien saatavuuteen ja taloudelliseen merkittävyyteen perustuva luokittelu*** *(EU, 2014)*

EU:n kahdenkymmenen kriittisen materiaalin tärkeimmät tuottajamaat on kuvattu alla *(kuva 2)*. Globaalin tarjonnan kannalta Kiinalla on selkeästi tärkein rooli. Useat muut maat ovat saatavuuden kannalta kriittisessä roolissa, kuten USA (beryllium) ja Brasilia (niobium). Muiden materiaalien, kuten platinaryhmän metallit (PGM) ja boraatit, tuottajia on enemmän, mutta niidenkin osalta tarjonta on suhteellisen keskittynyttä.

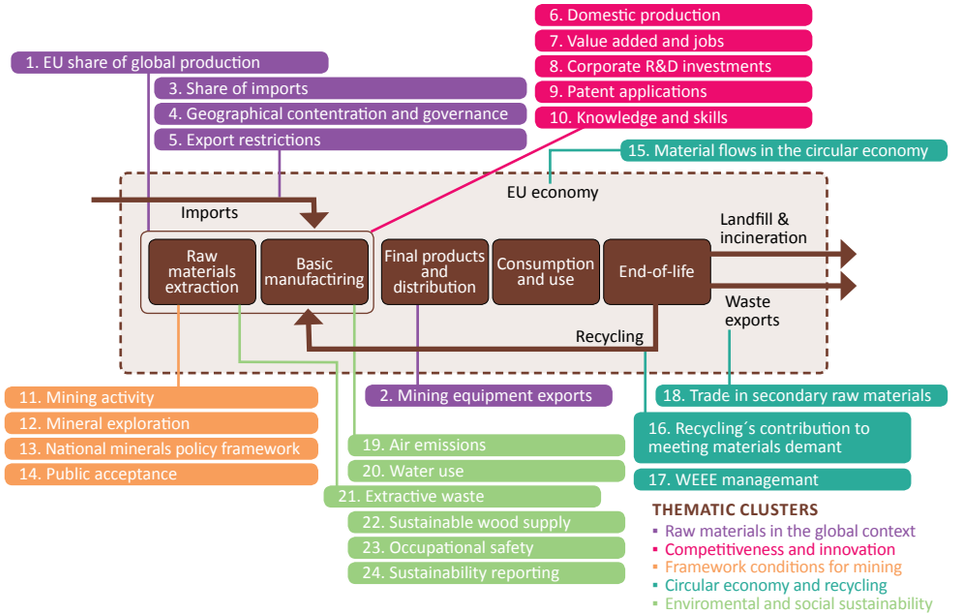


Kuva 2: ***EU:n 20 kriittisen materiaalin tuottajamaat*** *(EU, 2014)*

EU:n kannalta kaikkein kriittisimpinä pidetään harvinaisia maametalleja ja platinaryhmän metalleja.

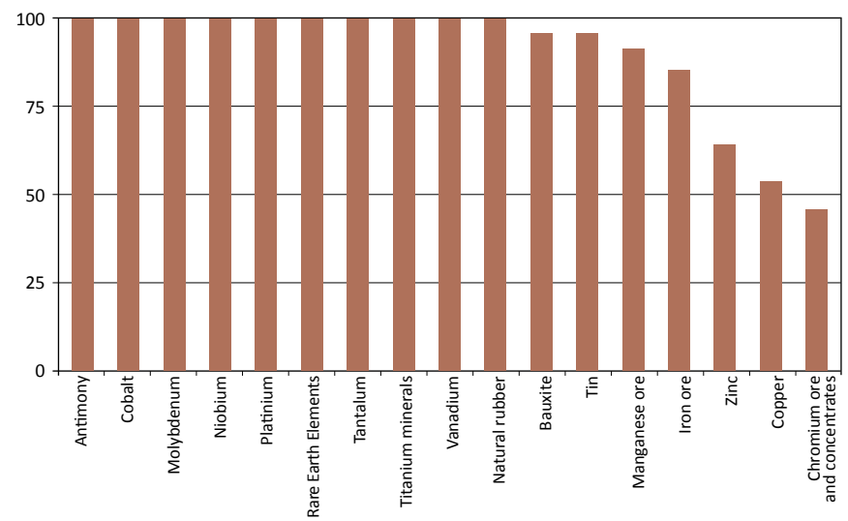
Raaka-aineiden kysynnän kasvulla on merkittävä vaikutus Euroopan taloudelle raaka-aineiden saannin varmistamiseksi. Suunnittelusyklit, eli viive mineraalivarantojen etsinnästä toimivaan kaivokseen, voivat kestää jopa vuosikymmeniä. Tästä johtuen raaka-aineiden tarjontaa ei voida aina lisätä lyhyellä aikavälillä. Myös raaka-aineiden kierron lisääminen on haastavaa, koska siihen vaikuttaa viive, jolla tuotteet tulevat elinkaarensa loppuun ja päätyvät kierrätykseen. Suomalaisen kone- ja metalliteollisuuden tuotteiden elinikä on usein hyvin pitkä, jopa 20–50 vuotta tai enemmänkin. Lopputuloksena on, että kysynnän ylittäessä tarjonnan, hinnat nousevat rajusti. Tämä johtaa tuotantokustannusten nousuun arvoketjun läpi. Toisaalta, jos raaka-aineiden hinnat laskevat, pitkäaikaiset investoinnit pannaan jäihin, mikä vaikuttaa negatiivisesti tuotantokapasiteettiin. Yksi esimerkki viimeksi mainitusta kehityksestä on litium, jonka kysynnän ennustetaan kasvavan voimakkaasti esimerkiksi sähköisen liikenteen ja uusien energiaratkaisujen myötä, mutta litiumin alhaisen markkinanhinnan takia uutta jalostuskapasiteettia rakennetaan hitaasti.

Euroopan komissio on julkaissut ”raaka-aineiden tuloskortin”, joka tarjoaa yleiskuvan raaka-aineisiin liittyvistä haasteita *(kuva 3)*. Malli pyrkii tarjoamaan kvantitatiivista tietoa raaka-aineisiin liittyvän päätöksenteon tueksi.



Kuva 3: ***Euroopan komission raaka-aineiden tuloskortti pyrkii huomioimaan markkinoihin vaikuttavat tekijät*** *(Raw Materials Scoreboard, 2016)*

EU:n osuus globaalista metallien tuotannosta on laskenut oleellisesti. Vuonna 2009 se oli alle viisi prosenttia. Tällä vuosituhannella Kiinasta on tullut merkittävä peluri markkinoilla, koska sillä on omistuksessaan kaivoksia, tuotantokustannukset ovat matalat ja maassa on osaamista metallien jalostamisessa. EU on erittäin riippuvainen raaka-aineiden tuonnista *(kuva 4)*. *(Euroopan komissio, 2016)*



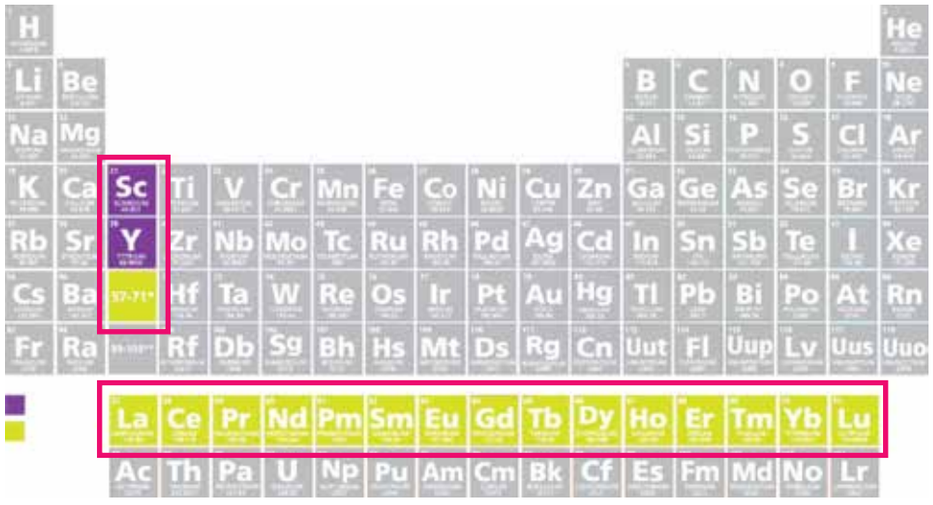
Kuva 4: ***Euroopan riippuvuus kriittisten raaka-aineiden tuonnista*** *(Raw Materials Scoreboard, 2016)*

JALOMETALLIT

Kultaa, hopeaa, palladiumia ja platinaa on otettu jo pitkään talteen mm. teollisuuden käyttämistä katalyyteistä, autojen katalysaattoreista ja elektroniikkaromusta. Sähkö- ja elektroniikkaromusta saatavat jalometallit saadaan yleensä talteen kuparin sekundäärisen tuotannon yhteydessä. Esimerkiksi tietokoneiden piirikortit sisältävät runsaasti kuparia sekä pieniä määriä jalometalleja, jotka on perinteisesti otettu talteen sulatossa pyrometallurgisella prosessilla. Kupari toimii kollektorina jalometalleille eli jalometallit sitoutuvat kuparivaiheessa muodostuvaan nesteeseen. Kuparivaiheen jälkeen raakakupari puhdistetaan elektrolyysillä, jolloin kulta, hopea, platina ja palladium kerääntyvät elektrolyysissä muodostuvaan anodilietteeseen. Metallit saadaan talteen korkealla puhtausasteella ja hyvillä saannoilla, jotka voivat olla yli 90 prosenttia *(Buchert et al., 2012)*.

HARVINAISET MAAMETALLIT

Harvinaiset maametallit ovat keskeinen osa teknisesti edistyksellisten yhteiskuntien arkea. Ne edistävät innovaatioita, ja niitä käytetään eri teollisuudenaloilla kaupallisesta käytöstä sotilasteknologiaan. Harvinaisia maametalleja käytetään myös raskaassa teollisuudessa esimerkiksi teräksen, katalyyttien ja lasin valmistukseen. *(Ider, 2015)*



Kuva 5: ***Harvinaiset maametallit jaksollisessa järjestelmässä***
(Ari Väisänen, Jätehuoltopäivät 2016, Kalastajatorppa)

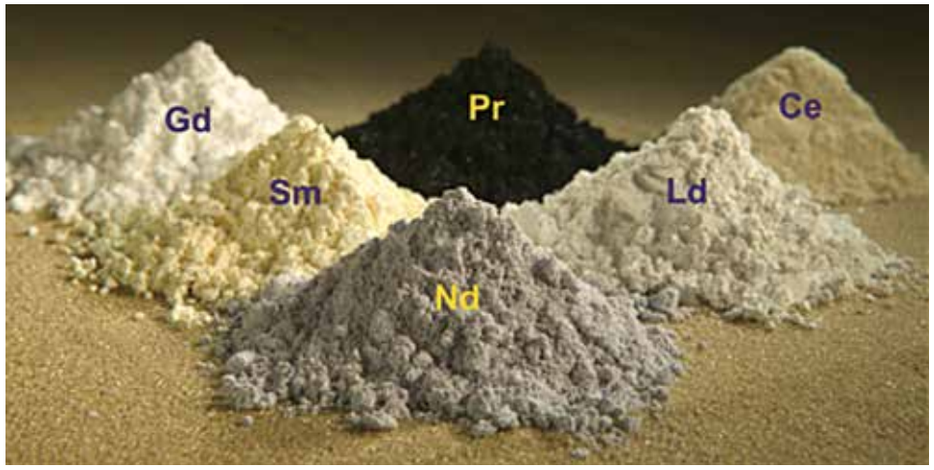
Harvinaiset maametallit (Rare Earth Elements, REE; Rare Earth Metals, REM) on ryhmä, joka koostuu 17 samankaltaisesta, metallisesta alkuaineesta. Lantanidien (järjestysluvut = La 57–71 Lu) lisäksi harvinaisiin maametalleihin luetaan usein kemiallisilta ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan samankaltaiset skandium (järjestysluku = 21) ja yttrium (järjestysluku = 39). Metalleina ryhmän jäsenet ovat kiiltäviä, pehmeitä, taipuisia ja reaktiivisia. Väri vaihtelee raudanharmaasta hopeiseen. Aineiden epätavalliset magneettiset ja optiset ominaisuudet johtuvat niiden elektronirakenteesta. *(Kilhman & Lauri 2013)*

Nimitys harvinaiset maametallit johtuu siitä, että ne löydettiin aikoinaan maaperässä esiintyvistä harvinaisista oksidimineraaleista, kuten gadoliniitista, joka ensin löydettiin Ruotsin Ytterbystä. Nimitys harvinaiset maametallit on sikäli harhaanjohtava, että niitä löytyy maankuoresta hyvinkin paljon, mutta pieninä pitoisuuksina, mikä tekee niiden tuottamisesta vaikeaa ja kallista. *(Bailey Grasso, 2012)*

Tällä 17 metallin ryhmällä on runsaasti erityisominaisuuksia, kuten magneettisuus, valon heijastavuus ja kestävyys. Harvinaiset maametallit ovat tärkeä raaka-aine monille korkean teknologian aloille, kuten uusiutuva energia ja puolustusjärjestelmät. *(Morrison & Tang, 2012)*

Jaksollisessa järjestelmässä harvinaisten maametallien järjestysnumerot ovat 21, 39, 57-71. Harvinaiset maametallit voidaan jakaa kevyisiin *(Light Rare Earth Elements, LREE)* ja raskaisiin *(Heavy Rare Earth Elements, HREE)* siten, että kevyisiin sisältyvät lantaani, cerium, praseodyymi, neodyymi, prometium, samarium, europium ja gadolinium. Raskaisiin kuuluvat terbium, dysprosium, holmium, erbium, tulium, ytterbium, lutetium ja yttrium. Skandiumia ei yleensä sisällytetä kumpaankaan LREE- tai HREE-ryhmään. Eräissä yhteyksissä sitä ei oteta lainkaan mukaan harvinaisten maametallien tarkasteluun sen poikkeavasta ionisäteestä ja kemiallisesta luonteesta johtuen. *(Tiihonen, 2014)*

Harvinaiset maametallit ovat puhtaina metalleina kiiltäviä, hopeisenharmaita tai valkoisia, pehmeitä ja reaktiivisia. Raskaat harvinaiset maametallit muodostavat pinnalleen passivoivan oksidikerroksen ja ovat yleensä vähemmän reaktiivisia kuin kevyet. Ilmankosteus ja metallin epäpuhtaudet nopeuttavat harvinaisten maametallien hapettumista. *(Tiihonen, 2014)*



Kuva 6: ***Esimerkkejä harvinaisista maametalleista***

Metalliseoksina kevyet harvinaiset maametallit muodostavat keskenään yhtenäisen kiinteän seoksen, samoin kuin raskaat harvinaiset maametallit keskenään. Jos keveitä ja raskaita metalleja pyritään seostamaan, lejeerinkiin voi muodostua kaksi eri faasia. Kevyille harvinaisille maametalleille tunnetaan kaupallisia metalliseoksia, kuten mischmetalli (Mm), joka sisältää vaihtelevasti kevyitä lantanoideja, pääasiassa ceriumia, lantaania, neodyymiä ja praseodyymiä. Toinen tunnettu metalliseos on didyymi (Di), joka on praseodyymin ja neodyymin seos, ja nimetty kun näitä kahta alkuainetta ei vielä osattu tunnistaa erillisinä. *(Tiihonen, 2014)*

YHTEENVETO HARVINAISISTA MAAMETALLEISTA JA NIIDEN OMINAISUUKSISTA

Scandium (Sc). Skandium soveltuu seosmetalliksi magnesiumin, alumiinin ja raudan lejeerinkeihin. Korkean keston Al-MG-, AL-Li- ja Mg-lejeeringeissä skandium parantaa korkeissa lämpötiloissa lujuutta ja vähentää virumista tehden metalleista paremmin muotonsa pitäviä. Superlejeerinkejä käytetään pääasiassa ilmailuteollisuudessa. Skandiumia käytetään myös lasereissa, polttokennoissa ja elektroniikan komponenteissa. *(Tiihonen, 2014)*

Yttrium (Y). Käytetään lasereissa, kirurgisissa välineissä, syöpälääkkeissä sekä monissa kuluttajatuotteissa, kuten televisioissa ja kameran linsseissä.

Lantaani (La). Käytetään erikoisoptiikan valmistukseen mm. kameroissa ja teleskoopeissa. Se tekee myös teräksestä helpommin muokattavaa. Lantaania käytetään myös jäteveden puhdistuksessa ja öljynjalostuksessa.

Cerium (Ce). Käytetään promoottorina autojen katalysaattoreissa. Tärkeä komponentti myös lasin kiillotuksessa. Ceriumia käytetään myös raudan, magnesiumin ja alumiinin lejeeringeissä sekä magneeteissa ja elektrodeissa.

Praseodyymi (Pr). Käytetään magneeteissa sekä kestävien metallien valmistamiseen lentokonemoottoreita varten.

Neodyymi (Nd). Käytetään yhdessä praseodyymin kanssa voimakkaimpien kestomagneettien valmistamiseen. Näitä magneetteja käytetään useimmissa moderneissa ajoneuvoissa ja lentokoneissa sekä kulutuselektroniikassa esimerkiksi kuulokkeissa, mikrofoneissa ja tietokoneiden kiintolevyissä. Sitä käytetään myös tehokkaiden infrapunalasereiden valmistukseen teolliseen ja sotilaskäyttöön.

Prometium (Pm). Ainoa luonnostaan radioaktiivinen harvinainen maametalli, jota käytetään kelloissa, sydämentahdistimissa ja tutkimuskäytössä.

Samarium (Sm). Käytetään erittäin voimakkaissa magneeteissa, syöpähoidoissa ja ydinvoimaloiden polttoainesauvojen hallinnassa.

Europium (Eu). Kova metalli, jota käytetään LCD-näytöissä ja esimerkiksi euron seteleissä väärennösten estämiseksi.

Gadolinium (Gd). Käytetään MRI- ja röntgenlaitteissa, merkittävässä roolissa modernin lääketieteen ratkaisuissa.

Terbium (Tb). Pehmeä maametalli, jota voi leikata vaikka veitsellä. Käytetään mm. värinäytöissä ja lisäaineena kestomagneeteissa, jotta ne kestävät paremmin korkeampia lämpötiloja. Terbiumia käytetään myös polttokennoissa, elektroniikkalaitteissa ja tutkajärjestelmissä.

Dysprosium (Dy). Toiseksi voimakkaimmat magneettiset ominaisuudet maametalleista holmiumin jälkeen. Dysprosiumia lisätään usein kestomagneetteihin nostamaan niiden lämmönsietokykyä. Sitä käytetään myös lasereissa, valaistuksessa, tietokoneiden kiintolevyissä ja muissa elektronisissa laitteissa ja sähköautoissa.

Holmium (Ho). Magneettisten ominaisuuksiensa takia holmiumia käytetään voimakkaimpien kestomagneettien materiaalina. Käytetään myös mikroaaltolaitteissa ja ydinreaktoreiden säätösauvoissa.

Erbium (Er). Käytetään laajasti ydinteknologiassa, metallurgisena lisäaineena, suojalaseissa, lasereissa, sekä optisissa kuiduissa signaalien vahvistamiseksi.

Thulium (Tm). Käytetään kannettavissa röntgenlaitteissa sekä korkeatehoisissa lasereissa sotilaskäytössä, sairaalalaitteissa ja ilmatieteen sovellutuksissa. Harvinaisuudesta johtuvat kalliit tuotantokustannukset rajoittavat sen käyttöä.

Ytterbium (Yb). Useita tärkeitä käyttöalueita tiettyjen syöpämuotojen hoidossa. Sitä voidaan käyttää myös teräksen ominaisuuksien parantamiseen ja muissa metalliseoksissa.

Lutetium (Lu). Käytetään metalliseoksissa ja katalyyttinä sekä öljynjalostuksessa. Harvinainen, tuotantomäärät hyvin pienet.

Lähteet: Lynascorp *https://www.lynascorp.com/Pages/Summary-of-Rare-Earths.aspx* , Wikipedia; Tiihonen, 2014.

Kuvassa 7 yhteenveto harvinaisten maametallien käyttökohteista.

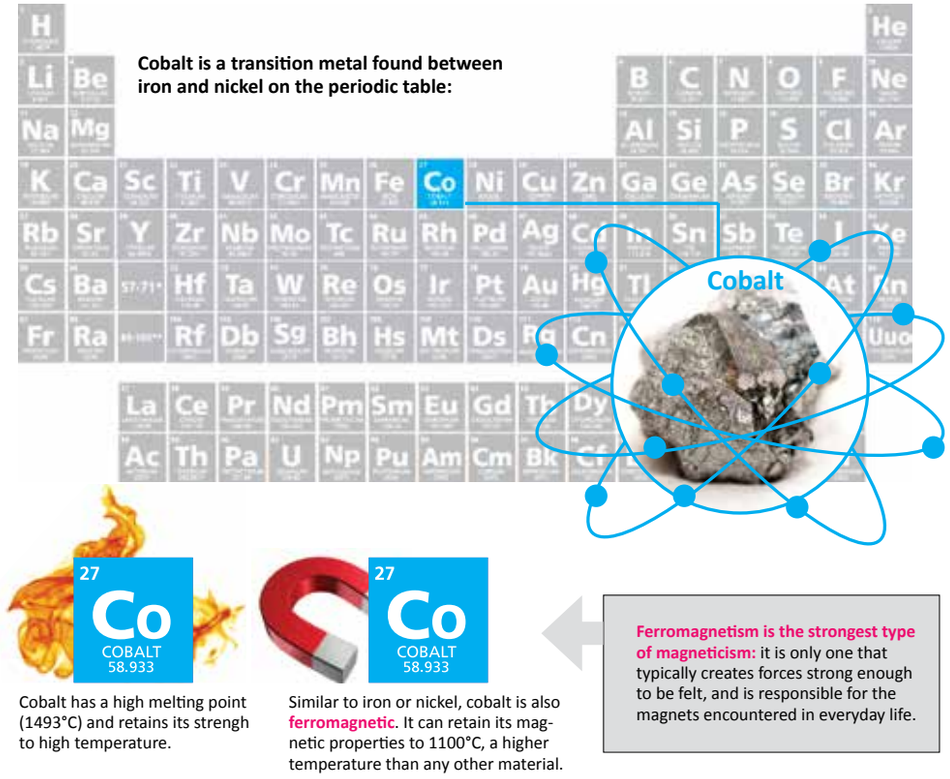
SOVELLUS	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Metallurgia	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Akut			X	X	X	X	X				X						
Katalyytit		X	X	X	X	X		X		X							X
Keramiikka	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X		X
Elektroniikka		X	X	X	X	X					X	X		X			
Lannoitteet			X	X		X											
Lasi	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lamput	X	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X		
Laser	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Magneetit				X	X	X		X	X	X	X	X	X				
Lääkintäkäyttö			X	X		X		X	X	X			X	X			X
Neutroniabsorptio		X		X				X	X	X		X	X	X			
Valoaineet	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Kuva 7: Harvinaisten maametallien käyttökohteita *(Tiihonen, 2014)*

KOBOLTTI

Koboltti on siirtymämetalleihin kuuluva kova metalli, joka on raudan tavoin magneettista. Koboltti esiintyy yleisesti muiden metallien, kuten nikkelin ja kuparin, kanssa monimetallimalmeissa. Suurin osa koboltin tuotannosta saadaan nikkelin sivutuotteena. *(Kihlman & Lauri, 2013)*

What is Cobalt?



Kuva 8: ***Koboltti kestää korkeita lämpötiloja ja säilyttää magneettiset ominaisuutensa myös korkeissa lämpötiloissa*** *(Desjardins, 2017)*

Akkuteollisuus käyttää nykyisin 42 prosenttia globaalista koboltintuotannosta. Koboltti on kriittinen raaka-aine mm. litiumioni-akuille. Loput 58 prosenttia käytetään erilaisissa teollisissa- ja sotilaallisissa sovelluksissa, kuten

- metalliseoksissa (esim. superlejeerinkiosissa lentokoneiden suihkumoottoreissa, korroosion- ja vedenkestävissä seoksissa sekä timanttityökaluissa)
- magneeteissa
- katalyytteinä kemianteollisuudessa
- elektrolyyttisinä päällysteinä keramiikassa ja maaleissa.

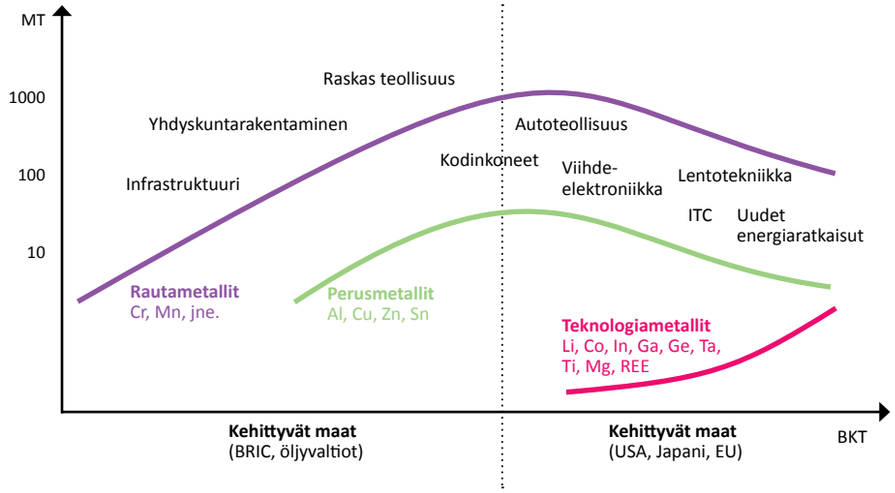
Kuva 9: ***Koboltti on keskeinen osa tulevaisuuden energia- ja liikenneratkaisuja*** *(Desjardins, 2017)*

Koboltti on täysin kierrätettävää. Noin 15 prosenttia Yhdysvaltojen käyttämästä koboltista saadaan kierrätysromusta. *(https://techcrunch.com/2017/01/01/no-cobalt-no-tesla/)*

Vuoden 2017 aikana koboltin maailmanmarkkinahinta on noussut voimakkaasti, koska koboltti on kriittinen raaka-aine monille uusille teknologioille. Koboltin markkinatilannetta käydään tarkemmin läpi jäljempänä tässä raportissa.

METALLIEN KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA

Kriittisiä metalleja käytetään laajasti eri teollisuudenaloilla. Metallien käytössä on eroja maiden välillä. Kehittyvissä maissa kulutuksen painopiste on rauta- ja perusmetalleissa, joita kuluu paljon infrastruktuurin rakentamiseen ja raskaan teollisuuden tarpeisiin. Kehittyneemmissä maissa teknologiametallien käyttö kasvaa. Niitä käyttävät mm. auto- ja elektroniikkateollisuus.



Kuva 10: ***Hi-tech- eli teknologiametallien käyttötarve kasvaa bruttokansantuotteen kasvun myötä*** *(Sarapää et al., 2010)*

Kiina panostaa voimakkaasti mm. tuuli- ja aurinkoenergian, sähköautojen ja litiumioni-akkujen valmistukseen, joten teknologiametallien kulutus kasvaa nopeasti Kiinan markkinoilla. Seuraavassa käydään lyhyesti läpi kriittisten metallien käyttöä eri teollisuudenaloilla.

ELEKTRONIIKKATEOLLISUUS

Elektroniikkateollisuus käyttää huomattavia määriä jalometalleja niiden kemiallisen pysyvyyden, korroosionkestävyyden ja sähkönjohtavuuden vuoksi. Kultaa käytetään elektroniikkateollisuudessa tällä hetkellä noin 300 tonnia vuodessa. Muita tärkeitä käytettäviä metalleja ovat mm. hopea, palladium, niobium ja tantaali. Metalleja käytetään usein kontaktimateriaaleissa, liittimissä sekä kontaktipintojen galvanoinnissa. Etenkin hopeaa käytetään liittimissä, kytkimissä ja juotteissa. Kultaa on liitinlangoissa, kontakteissa ja mikropiireissä. Platinaryhmän metalleja käytetään muun muassa kytkinpinnoissa (releet ja katkaisimet) ja sensoreina. Palladiumia löytyy monikerroksisista kondensaattoreista ja liittimistä, platinaa puolestaan käytetään kiintolevyissä ja termopareissa. *(Kulomäki, 2016)*

METALLI	Käyttökohteet
Hopea (Ag)	Piirilevyt, kontaktit
Kulta (Au)	Piirilevyt, kontaktit
Palladium (Pd)	Piirilevyt, kontaktit
Platina (Pt)	Kiintolevyt
Kobolti (Co)	Litiumioniakut
Gallium (Ga)	Puolijohdesirut
Indium (In)	Näyttöjen sisäpinnoite, puolijohdesirut
Tantaali (Ta)	Kondensaattorit
Yttrium (Y)	Luminoiva aine
Lantaani (La)	Kylmäkatodiputkien taustavalaistus
Cesium (Ce)	Luminoiva aine
Praseodyymi (Pr)	Puhekelan kiihdyttimet, kaiuttimet, kylmäkatodiputkien taustavalaistus
Neodyymi (Nd)	Kestomagneetit
Europium (Eu)	Luminoiva aine
Gadolinium (Gd)	Luminoiva aine
Terbium (Tb)	Kylmäkatodiputkien taustavalaistus
Dysprosium (Dy)	Puhekelan kiihdyttimet

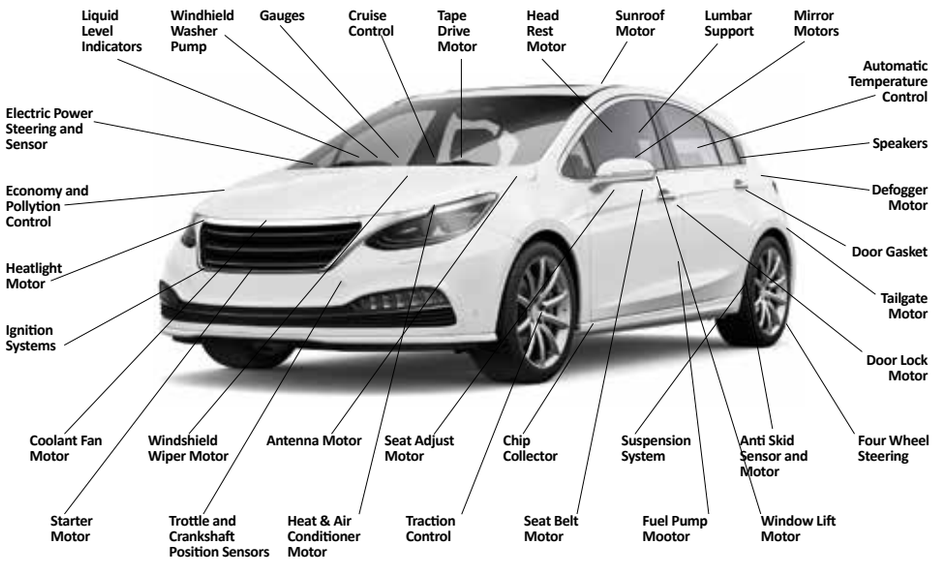
Kuparin ja berylliumin metalliseoksia hyödynnetään sähköisissä liittimissä, joissa halutaan valmiudet toistuviin yhteyksien katkaisuihin. Tällaiset liittimet ovat usein kullattu. Indiumia käytetään LCD-näytöissä indiumtinaoksidina, tantaalia korkean kapasiteetin kondensaattoreissa ja galliumia älypuhelinten tehokkaissa prosessoreissa ja ledeissä. *(Kulomäki, 2016)*

Ledivaloissa yleisesti käytettäviä harvinaisia maametalleja ovat europium, gadolinium ja yttrium. Yttriumia käytetään lisäksi litteissä näytöissä. Harvinaisia maametalleja käytetään myös kestomagneeteissa. Vuonna 2008 yli 30 % neodyymistä käytettiin kiintolevyjen magneetteihin ja vuonna 2003 osuus oli noin 35 %. Kiintolevyt ovat tärkeä sekundäärinen lähde neodyymille ja tietyssä määrin myös praseodyymille ja dysprosiumille. Magneeteissa oleville harvinaisille maametalleille ei vielä ole luotu kierrätysmenetelmää teollisessa mittakaavassa. *(Kulomäki, 2016)*

AUTO- JA KONEENRAKENNUSTEOLLISUUS

Autoteollisuus on suuri kriittisten metallien käyttäjä. Moderneissa autoissa on paljon erilaisia antureita ja pieniä sähkömoottoreita, joissa käytetään jalometalleja, harvinaisia maametalleja ja kobolttia.

Invisible metals....

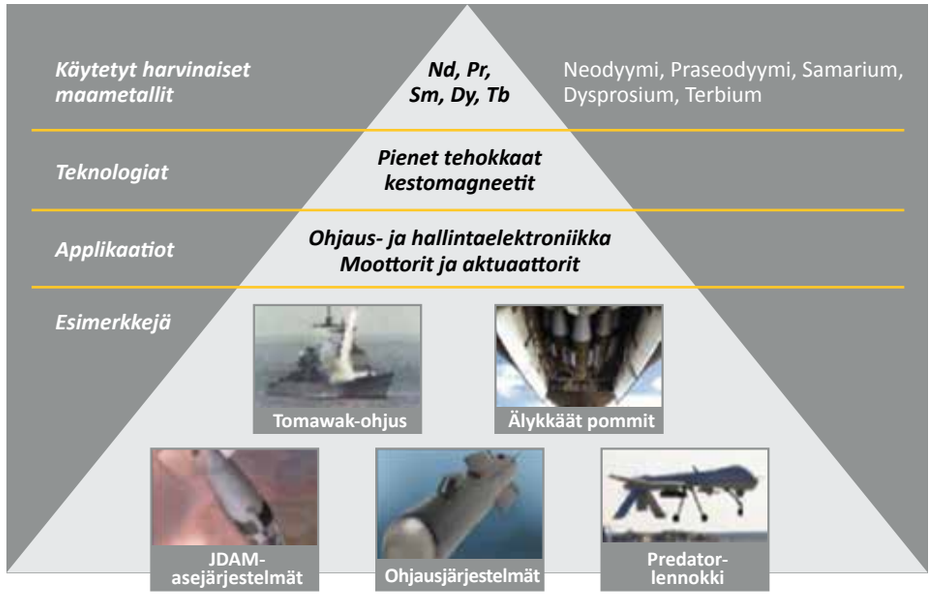


Kuva 11: ***Modernissa autossa on runsaasti harvinaisia maametalleja*** *(Neo Materials)*

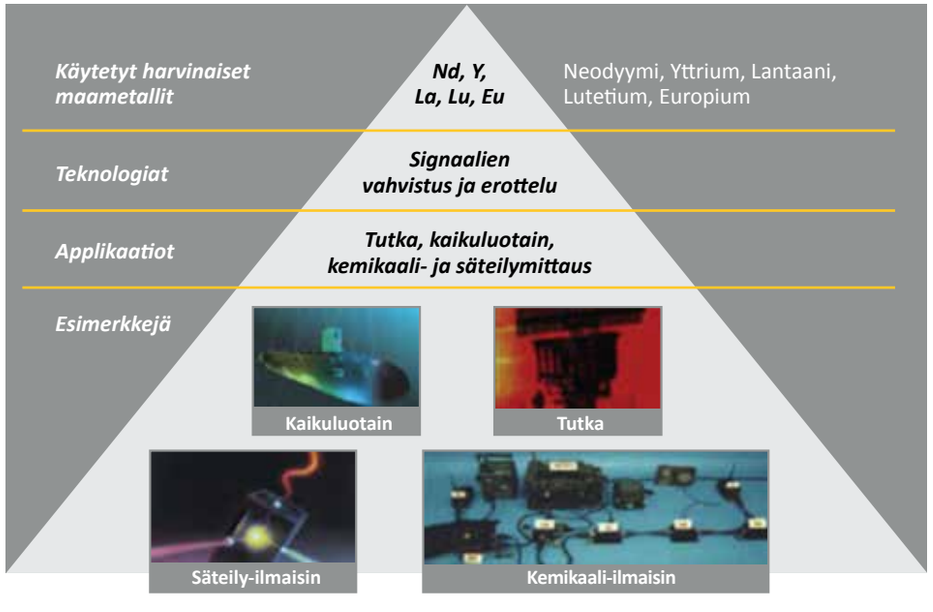
Yksi harvinaisten maametallien tärkeä käyttökohde on autojen katalysaattorit, joihin käytetään vuosittain noin 6 000 tonnia harvinaisten maametallien oksidia *(rare earth oxides, REO)*. Harvinaisten maametallien käytön jakautuma autojen katalysaattoreissa: Ce (90%), La (5%), Nd (3%) ja Pr (2%).

PUOLUSTUSTEOLLISUUS

Harvinaisia maametalleja käytetään laajasti kehittyneissä asejärjestelmissä. Seuraavassa esimerkkejä harvinaisista maametalleista Yhdysvaltojen erilaisissa asejärjestelmissä.



Kuva 12: ***Harvinaiset maametallit ohjusten ohjausjärjestelmissä*** *(Grasso Bailey, 2012, s. 6)*



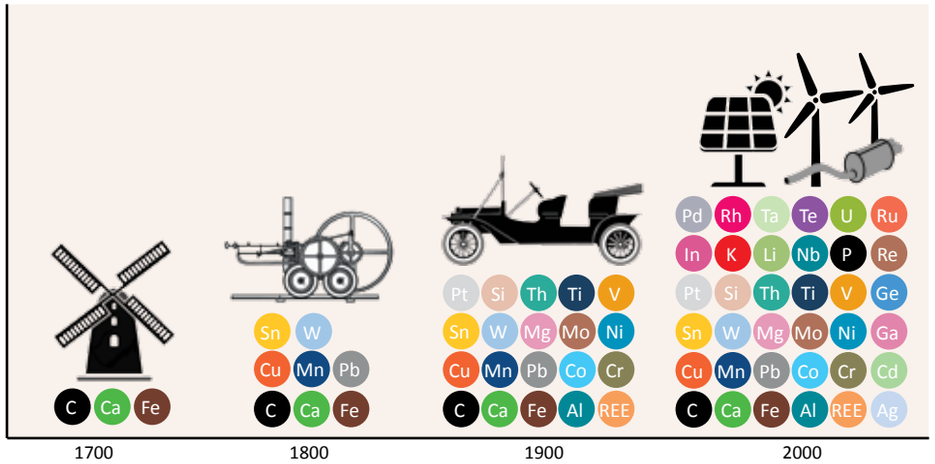
Kuva 13: ***Harvinaiset maametallit ohjusten ohjausjärjestelmissä*** *(Grasso Bailey, 2012, s. 6)*

KEMIANTEOLLISUUS

Lähes kaikki kemian teollisuuden prosessit EU:ssa ovat erittäin riippuvaisia tärkeimpien metallien (esim. platinaryhmän metallit) luotettavasta saatavuudesta, jotta tehokas tuotanto voidaan taata. Monet näistä metalleista katsotaan nykyään kriittisiksi. Tämä johtuu siitä, että EU:ssa ei ole niiden perustuotantoa ja monet tärkeimmät lähteet ovat geopoliittisesti erittäin epävarmoilla alueilla. Lisäksi todennäköisimmät korvaavat aineet ovat usein muita kriittisiä metalleja. Tutkimushankkeissa (esim. Aalto-yliopiston CritCat-hanke) on pyritty löytämään uusia materiaaleja, jotka ovat yhtä tehokkaita kuin nykyiset metallit, mutta joiden osalta saatavuusongelmia ei ole. *(http://www.aalto.fi/fi/current/news/2015-12-17-005/)*

ENERGIATEOLLISUUS

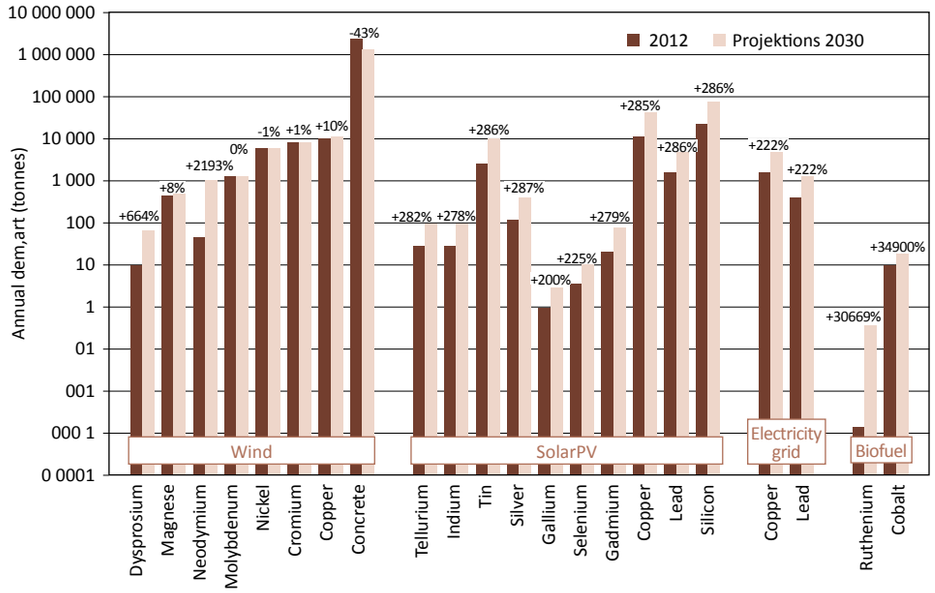
Energiateknologian kehitys on lisännyt voimakkaasti eri metallien käyttöä energiateollisuuden ratkaisuissa *(ks. kuva 14)*.



Kuva 14: ***Energiateknologioissa laajasti käytettyjen materiaalien kehitys 1700–2000-luvuilla*** *(Raw Materials Scoreboard, 2016)*

Vähäpäästöiset energiamuodot ovat keskeisessä roolissa EU:n ilmasto- ja energiatavoitteisiin pyrittäessä. Eurooppalainen uusiutuva energia on merkittävää liiketoimintaa. Tämän alueen yritysten vuosittainen liikevaihto on 129 miljardia euroa ja ne työllistävät yli miljoona ihmistä. Raaka-aineet ovat keskeisessä roolissa vähäpäästöisten energiamuotojen kehityksessä ja laajamittaisessa käyttöönotossa. Nämä teknologiat kuluttavat huomattavan määrän terästä, kuparia, alumiinia ja erilaisia erikoismetalleja.

Kuva 15 havainnollistaa tämän päivän kysyntää ja vuodelle 2030 ennustettua kysyntää metalleille, joita tarvitaan tuuli- ja aurinkoenergian sekä sähköverkon ja bioenergian kehittämiseen.

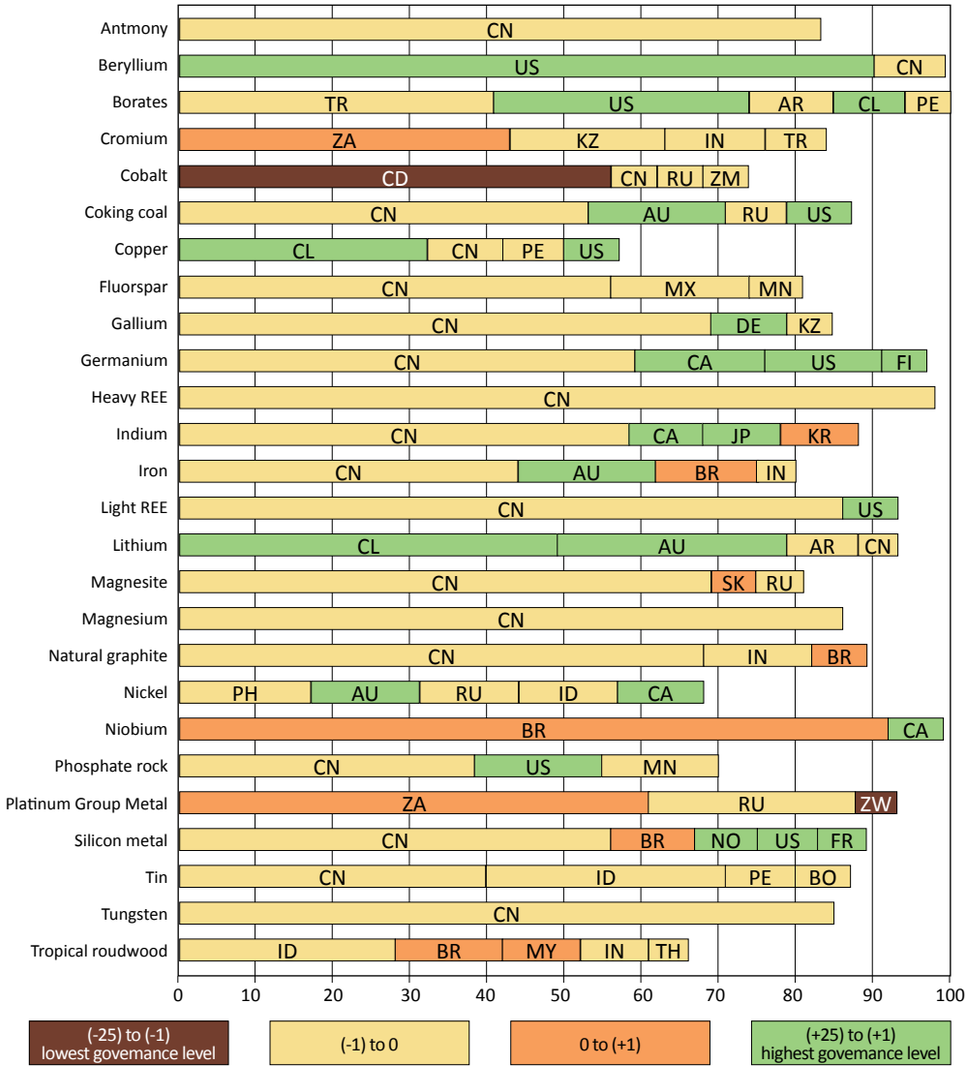


Kuva 15: ***Vähäpäästöisten energiateknologioiden vuosittainen kysyntä eri raaka-aineille vuosina 2012 ja 2030*** *(Raw Materials Scoreboard, 2016)*

Esimerkiksi aurinkoenergian käyttämien materiaalien kysynnän ennustetaan kasvavan vuoteen 2030 mennessä 270 %. Tuulienergian osalta dysprosiumin kysyntä kasvaa noin 660 % ja neodyymin noin 2 200 % johtuen harvinaisia maametalleja käyttävien generaattoreiden yleistymisestä sekä maalla että merellä. *(Raw Materials Scoreboard, 2016)*

KRIITTISTEN METALLIEN MARKKINAT

Kriittisten metallien markkinoiden keskeinen piirre on tärkeimpien metallien tuotannon keskittyminen muutamiin yksittäisiin maihin. Kuten kuva 16 alla osoittaa, Kiinalla on erittäin hallitseva rooli maailman markkinoilla erityisesti kevyiden ja raskaiden harvinaisten maametallien osalta.



Kuva 16: ***Eri raaka-aineiden tärkeimmät tuottajamaat*** *(Raw Materials Scoreboard, 2016)*

Seuraavassa käydään läpi muutamien keskeisten raaka-aineiden (harvinaiset maametallit, koboltti) markkinatilannetta.

HARVINAISTEN MAAMETALLIEN MARKKINAT

USA oli maailman johtava harvinaisten maametallien tuottaja 1960–1980-luvuilla. Sen jälkeen tuotanto on siirtynyt lähes kokonaan Kiinaan, osin matalampien työvoimakustannusten ja väljempien ympäristövaatimusten takia.

Kiina tuottaa nykyään noin 90–95 prosenttia maailman harvinaisten metallien oksideista. Kiina on myös kahden vahvimman kestomagneettityypin johtava tuottaja (samarium-koboltti SmCo ja neodyymi-rauta-boori NeFeB). *(Grasso-Bailey, 2012)*

Kiina on rakentanut kärsivällisesti ja määrätietoisesti nykyistä valta-asemaansa jo 1980-luvulta lähtien. Taustalla on selkeä kansallinen strategia, kuten presidentti Deng Xiaopingin lausunto vuodelta 1992 osoittaa.

> *”China’s rare earths resources can be likened in importance to the Middle East’s oil. They have immense strategic significance and we must certainly deal with rare earths issues with care, unleashing the advantages they bring.” Deng Xiaoping (1992)*

Vielä 1980-luvulla maailman silloisesta 60.000 tonnin vuosituotannosta tuli Kiinasta vain reilu neljäsosa. Kiina alkoi kuitenkin kehittää strategiaansa tarjoamalla harvinaisia maametalleja niin edullisesti, että jopa Yhdysvallat joutui kannattavuussyistä sulkemaan parhaan kaivoksensa vuonna 2001. Vuodesta 2005 lähtien Kiina vähensi systemaattisesti harvinaisia maametalleja sisältävien materiaalien vientiä. Kiina haluaa jalostaa harvinaiset maametallit lopputuotteiksi itse, eikä myydä niitä raaka-aineina. *(Kemia 1/2012, s. 13)*

Harvinaisten maametallien tuotanto on keskittynyt Kiinan Sisä-Mongoliaan. Baotoun kaupunki kutsuu itseään ”harvinaisten maametallien pääkaupungiksi”. Kaupunki sijaitsee noin 650 km päässä Pekingistä. Baotou Steel Rare-Earth Group -yhtiö on Kiinan kunnianhimoisten suunnitelmien ytimessä, kun maa haluaa tehdä harvinaisista maametalleista houkuttelevan kasvutekijän. Kiina haluaa varmistaa, että harvinaisia maametalleja on riittävästi maan siirtyessä cleantech-aikaan tuulivoiman, sähköautojen ja muiden innovaatioiden myötä. *(Reuters, 2010)*

Kiinan rooli maailman johtavana harvinaisten metallien tuottajana ja toimittajana (97 % maailman tuotannosta), ja sen päätökset rajoittaa näiden materiaalien vientiä, ovat aiheuttaneet huolestumista myös Yhdysvalloissa. Erityisesti kun otetaan huomioon harvinaisten maametallien merkitys monille USA:n teollisuuden aloille (esim. perinteiset ja sähköajoneuvot, öljy- ja kaasuteollisuus, uudet valaistusmuodot, edistyksellinen elektroniikka, kemikaalit ja sairaalalaitteet, sekä USA:n puolustusteollisuus, joka valmistaa erilaisia asejärjestelmiä). *(Bailey Grasso, 2012)*

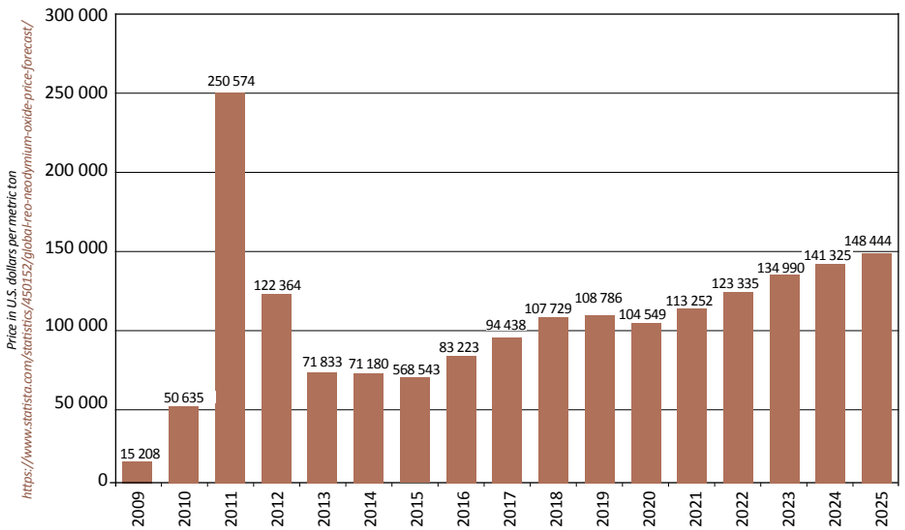
USA:n kongressin tutkimuslaitoksen mukaan huolenaiheena on, että harvinaisten maametallien hinnannousu voisi heikentää monien amerikkalaisyritysten kilpailukykyä, mikä johtaisi tuotannon ja työpaikkojen vähentymiseen, estäisi teknologisia innovaatioita ja nostaisi kuluttajahintoja Yhdysvalloissa. Toiset pelkäävät, että Kiina pystyisi monopolinsa avulla painostamaan isoja harvinaisten maametallien tuojia, kuten Yhdysvallat. Monien tarkkailijoiden mielestä Kiinan harvinaisten maametallien politiikka on osa maan monimutkaista teollisuuspolitiikan kokonaisuutta, joka pyrkii edistämään kotimaista teollisuutta, jonka rooli on keskeinen talouden modernisoinnissa.

HARVINAISTEN METALLIEN MARKKINAKRIISI 2010–2011

Harvinaisten maametallien markkinoilla koettiin vuosikymmenen alussa merkittävä markkinahäiriö, joka heijastui suomalaistenkin teollisuusyritysten toimintaan. Heinäkuussa 2010 Kiinan kauppaministeriö ilmoitti, että Kiina leikkaa harvinaisten maametallien tuotantoaan 72 %. Syyskuussa 2010 Kiina pysäytti kokonaan harvinaisten maametallien viennin Japaniin kalastusalusselkkauksen jälkeen. *(Grasso Bailey, 2012; Kemia 1/2012)*

Kiinan mukaan se joutui rajoittamaan ympäristösyistä harvinaisten maametallien myyntiä ulkomaille, vaikka sen omalle REE-teollisuudelle on tyypillistä ympäristöhaitat ja alkeelliset tuotantomenetelmät. Kiina perusteli rajoituksia myös sillä, että se tarvitsee harvinaiset maametallit oman vihreän kasvunsa edistämiseen. *(Reuters 2010)*

Kiina pudotti vientinsä 24.000 tonniin vuonna 2010. Kysyntä maailmalla oli 2010-luvun alussa reilusti suurempi. Jo vuonna 2007 harvinaisia maametalleja käytettiin erilaisten tuotteiden valmistukseen 100.000 tonnia. Määrän arvioitiin kaksinkertaistuvan vuoteen 2015 mennessä. Kun harvinaisten maametallien käyttökohteiden lukumäärä lisäksi kasvoi nopeasti, harvinaisten maametallien hinnat monikertaistuivat vuosina 2010–2011. Eräiden metallien hinnat jopa satakertaistuivat. *(Kemia 1/2012)*



Kuva 17: Neodyymin hinta 16-kertaistui vuosina 2009–2011 *(Statista, 2017)*

Asiantuntijoiden mielestä Kiinan pyrkimykset keskittää harvinaisten maametallien tuotantoa ja rajoittaa vientiä tähtäsivät Kiinan oman teollisuuden, erityisesti korkean teknologian ja vihreän teknologian yritysten, tukemiseen. Niille haluttiin varmistaa harvinaisten maametallien riittävä saanti edullisella hinnalla.

Kiinan toimenpiteiden taustalla nähtiin myös pyrkimys houkutella ulkomaisia harvinaisia maametalleja käyttäviä yrityksiä sijoittamaan toimintojaan Kiinaan, ja sitä kautta siirtää teknologiaa kiinalaisiin yrityksiin. *(Bailey Grasso, 2012)*

Esiselvityksen haastattelujen perusteella näyttää siltä, että Kiina saavutti tämän tavoitteen ja suomalaisiakin yrityksiä siirsi REE-kriisin jälkeen tuotantoaan Kiinaan.

> *”Kiinan vienninrajoitustoimilla on sekä taloudellisia että poliittisia vaikuttimia.”*
> *(Professori Raimo Väyrynen, Tekniikan päivät, tammikuu 2012)*

Kiina itse on kiistänyt, että sen harvinaisten maametallien säännösten taustalla olisi poliittisia tai protektionistisia tavoitteita. Kiina korostaa, että toimenpiteillä on pyritty ratkomaan ympäristöongelmia, sekä paremmin hallitsemaan ja säilyttämään rajallisia varantoja. Maaliskuussa 2012 Yhdysvallat, Japani ja EU käynnistivät yhdessä prosessin WTO:n piirissä hakeakseen ratkaisua Kiinan harvinaisten maametallien ja kahden muun mineraalin vientikiistaan. *(Bailey Grasso, 2012)*

Muut maat reagoivat Kiinan toimiin. Pakon edessä polkaistiin käyntiin satakunta uutta kaivosprojektia eri puolilla maailmaa (mm. Grönlannissa, Kanadassa, Brasiliassa, Etelä-Afrikassa, Tansaniassa, Australiassa, Malesiassa ja Vietnamissa). Myös Suomea pidettiin otollisena alueena uusille löydöille. Uuden kaivoksen käyntiin saaminen vie kuitenkin kymmenisen vuotta. Kaivostoiminnan käynnistämistä hidastavat muun muassa tiukentuvat ympäristölait. *(Kemia 1/2012, s. 13)*

Venäjä lupautui tarpeen tullen huolehtimaan Saksan harvinaisten maametallien kysynnästä. Japanissa etsittiin kuumeisesti korvaavia ratkaisuja erityisesti REE-magneeteille. Japanissa Hitachi ja Toyota alkoivat myös kierrättää harvinaisia maametalleja mm. elektroniikkatuotteista, kiintolevyjen magneeteista ja hybridiautojen akuista. Harvinaisia maametalleja etsittiin myös valtamerien pohjasta ja löydökset olivat lupaavia. *(Kemia 1/2012, s. 13)*

Yhdysvallat on merkittävä harvinaisia maametalleja sisältävien tuotteiden valmistaja. Harvinaisia maametalleja käytetään laajasti kehittyneissä teknologioissa siviili- ja sotilaskäytössä. Kiinan harvinaisten maametallien vientikielto herätti myös USA:n kongressin jäsenet, jotka huolestuivat maan lähes täydellisestä riippuvuudesta muihin maihin harvinaisten maametallien osalta.

Kongressi kiinnostui asiasta mm. seuraavista syistä *(Grasso Bailey, 2012)*:

- maailma on lähes kokonaan riippuvainen yhdestä ainoasta harvinaisten maametallien tuottajamaasta – Kiinasta
- Yhdysvalloilla ei ole lainkaan omaa tuotantoa tietyille raskaille harvinaisille maametalleille (terbiumista lutetiumiin ja yttriumiin)
- Yhdysvalloilla on vain vähän omaa harvinaisten maametallien, jauheiden ja NeFeB-magneettien tuotantoa
- jos harvinaisia maametalleja ei ole saatavilla kaupalliseen tai sotilaskäyttöön, voi siitä aiheutua jälkiseurauksia
- harvinaisten maametallien toimitusketjun haavoittuvuus voi vaikuttaa Yhdysvaltojen kykyyn varautua strategisesti kansallisen turvallisuuden tarpeisiin.

European Rare Earth Resources (ERES 2017) -konferenssissa Kreikassa toukokuussa 2017 puhunut USGS:n National Minerals Information Centerin (NMIC) johtaja Steven M. Fortier korosti, että harvinaisten maametallien toimitusketjun haavoittuvuudessa on kyse Yhdysvaltojen kansallisesta turvallisuudesta.

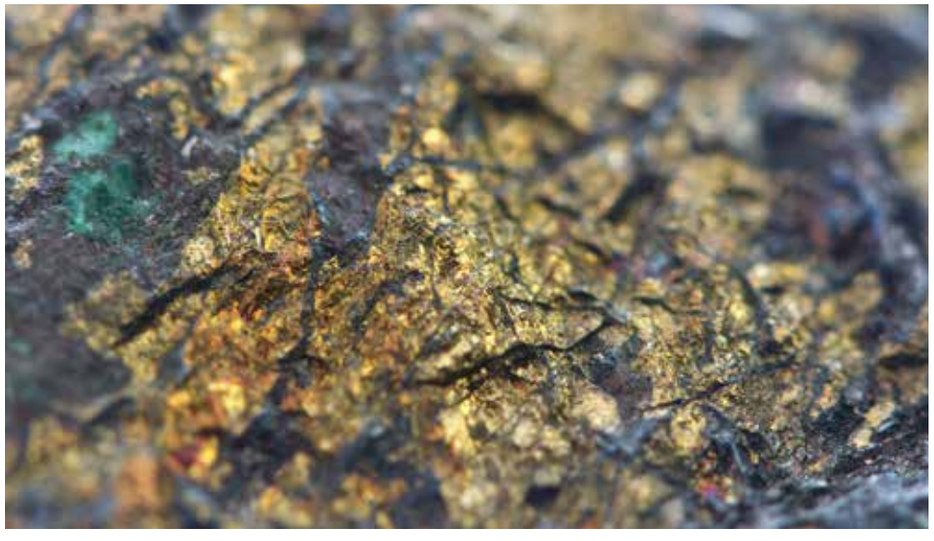
HARVINAISTEN MAAMETALLIEN MARKKINAT VUONNA 2017

Kiinan hallitus on viime vuosien aikana useaan otteeseen kiristänyt harvinaisten maametallien tuotannon ja viennin valvontaa. Yllättävää kyllä, hi-tech-metallien käytön lisääntymisestä huolimatta maailmassa on tällä hetkellä ylitarjontaa harvinaisista maametalleista.

USGS:n raportin (tammikuu 2016) mukaan harvinaisten maametallien ja niiden yhdisteiden hinnat laskivat vuonna 2015 ylitarjonnan vuoksi. Kiina hallitsi edelleen vuonna 2015 harvinaisten maametallien tarjontaa. Alan kiinalaisen etujärjestön (China Rare Earth Industry Association) mukaan harvinaisten maametallien oksidien käytön on ennustettu kasvavan vuoden 2015 98.000 tonnista 149.000 tonniin vuoteen 2020 mennessä (USGS, 2016). Lokakuussa 2016 Kiina ilmoitti rajoittavansa harvinaisten maametallien louhimisen 140.000 tonniin vuoteen 2020 mennessä osana toimialan uudistusta ja varmistaakseen sen tasaisen kehityksen. *(Shanghai Daily, 19.10.2016)*

Kiinan REM-kulutusta vuonna 2015 hallitsivat magneetit (35 %), hionta-aineet (18 %) ja katalyytit (15%). Harvinaisten maametallien laitonta maastavientiä pidettiin merkittävänä tekijänä hintojenlaskussa. Kiinalaisten lähteiden mukaan, valtiovallan toimenpiteistä huolimatta, harvinaisten maametallien laiton maastavienti jatkui myös vuonna 2015 (USGS, 2016). Kiinan valtio aikoo jatkaa harvinaisten maametallien tuotantotoiminnan seurantaa ja ottaa kiinni kaikki henkilöt, jotka ovat mukana harvinaisten maametallien laittomassa kaivostoiminnassa, jalostuksessa tai kaupassa, osana Kiinan teollisuus- ja informaatioministeriön (MIIT) kehityssuunnitelmaa vuosille 2016–2020. *(Shanghai Daily, 19.10.2016)*

Vuonna 2015 Kiinan harvinaisten maametallien teollisuus oli yhdistymässä kuudeksi isoksi teolliseksi yksiköksi. Harvinaisten maametallien tuotannon ylärajaksi asetettiin vuonna 2015 105.000 tonnia, joka oli sama määrä kuin vuonna 2014. Kiina lopetti 2015 harvinaisten maametallien vientikiintiöt ja poisti vientitullit. Kiina alkoi soveltaa harvinaisiin maametalleihin resurssiveroja, jotka perustuivat myyntiarvoon tuotantomäärien sijaan. Vallitsevasta ylituotannosta huolimatta malminetsintä on jatkunut Yhdysvalloissa ja monissa muissa maissa. *(Gasdia-Cochrane, 2016; UGSG, 2016)*



KOBOLTIN MARKKINATILANNE

Harvinaisten maametallien ohella toinen merkittävä kriittinen raaka-aine on koboltti, jonka hinta on noussut Lontoon metallipörssissä *(London Metal Exchange, LME)* tämän vuoden alun noin 41.000 eurosta tonnilta noin 69.000 euroon tonnilta.

Kuva 18: Koboltin hinta on kääntynyt vuoden 2017 alusta rajuun nousuun

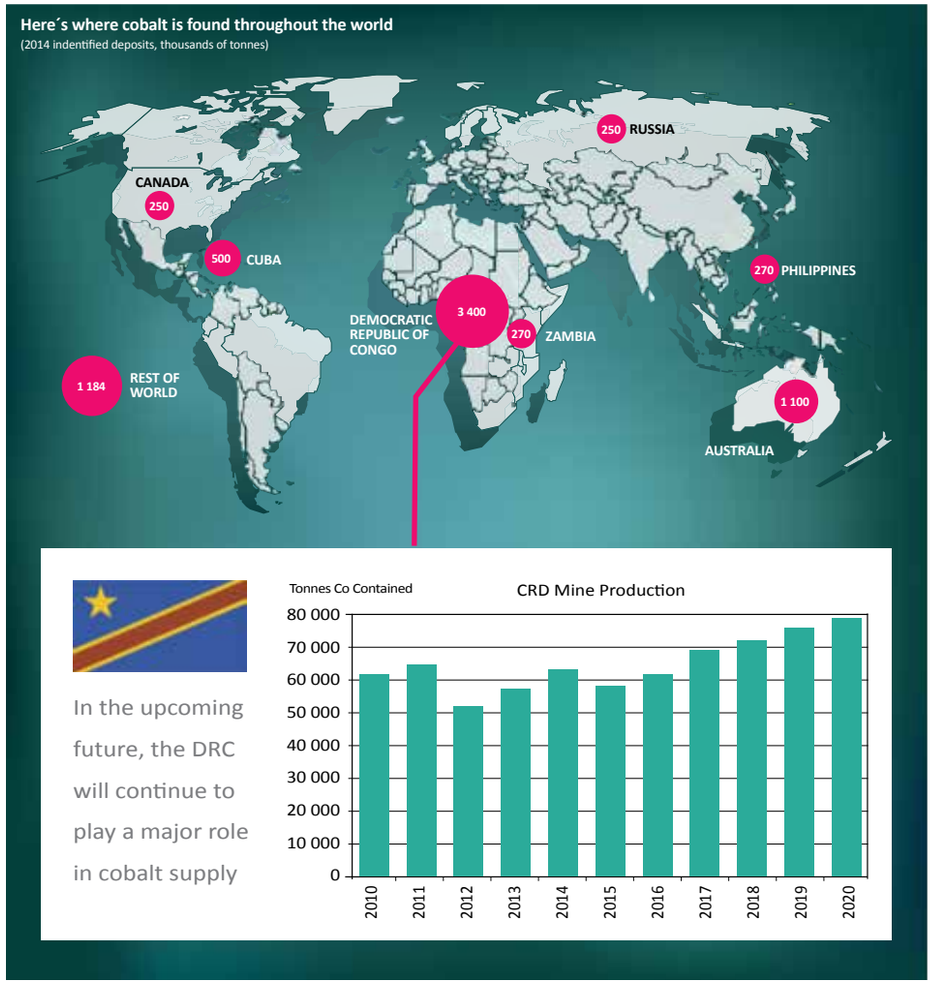
Koboltin hinnannousun taustalla ovat uudet akkuteknologiat ja vihreän teknologian vallankumous. Litiumia ja kobolttia käyttävät akut ovat jo vakiona monissa elektroniikkalaitteissa. Molempien metallien kysyntää tulee kasvattamaan nopeasti kehittyvät sähköauto- ja energiavarastointiratkaisut *(Home, 2017)*. Asiantuntijat ovat arvioineet, että teollisuus kärsii jo nyt koboltin tarjonnan niukkuudesta *(Gandon, 2017)*. Esimerkiksi Teslan ja Panasonicin kaltaiset yritykset tarvitsevat luotettavia koboltin lähteitä, juuri nyt vaihtoehtoja on vähän. Yhdysvalloissa ei ole louhittu kobolttia suuremmissa volyymeissa sitten vuoden 1971. Yhdysvaltain geologinen tutkimuslaitos USGS raportoi, että USA:lla on vain 301 tonnia kobolttia varmuusvarastoissa. *(Desjardins, 2017; USGS, 2016)*

Kobolttimarkkinoilla on siirrytty viime vuosien aikana ylitarjonnasta tilanteeseen, jossa useimmat analyytikot ennustavat saatavuusongelmia vuoden 2017 aikana. Nämä odotukset yhdessä litiumin kasvavan kysynnän kanssa ovat johtaneet siihen, että useat korkean profiilin rahastot, kuten sveitsiläinen Pala Investments *(http://www.pala.com/)* ja kiinalainen Shanghai Chaos Investment, ovat ostaneet fyysisesti kobolttia varastoihinsa. Tämä puolestaan on saanut aikaan ostoryntäyksen kobolttia käyttävissä yrityksissä. Lopputuloksena on ollut kova hinnannousu vuoden 2016 lopulta lähtien. *(Home, 2017)*

Koboltin hintakehitys muistuttaa litiumin hintakehitystä vuonna 2016. Litiumin osalta hintahuippu tasaantui, joten analyytikot uskovat koboltin kanssa käyvän samoin. Mutta koboltin toimitusketju on paljon haavoittuvampi kuin litiumin, jota muutamat isot, vakiintuneet toimijat tuottavat

”Litium-kolmiossa” Chilessä ja Argentiinassa. Koboltin osalta ollaan sen sijaan täysin riippuvaisia yhdestä, hyvin epästabiilista Afrikan maasta – Kongon demokraattisesta tasavallasta. *(Home, 2017)*

Vaikka kobolti on haluttua tavaraa, on sen saaminen hankalaa. Puhdasta kobolttia ei ole koskaan löytynyt luonnosta. Maailmassa on neljä laajaa kobolttiesiintymää, mutta kobolttia ei kaiveta käytännössä lainkaan sen itsensä takia, vaan se syntyy kuparin- ja nikkelintuotannon sivutuotteena. Valtaosa maailman koboltin tuotannosta tapahtuu Kongon demokraattisessa tasavallassa, (55,4 %) johon liittyy tunnetusti kohonnut riski *(Desjardins, 2017)*. USA:n geologinen tutkimuslaitos USGS on arvioinut, että viime vuonna Kongo tuotti 66.000 tonnia maailman koko 123.000 tonnin kobolttituotannosta. Kongon kobolttivarannoiksi on arvioitu noin 3,4 miljoonaa tonnia, joka noin puolet koko maailman kobolttivarannoista. *(Home, 2017)*



Kuva 19: ***Kongo tulee olemaan jatkossakin keskeisessä roolissa maailman kobolttituotannossa*** *(Desjardins, 2017)*

Koboltin kaivostoimintaa Kongossa hallitsevat sveitsiläinen kauppahuone Glencore ja joukko kiinalaisia toimijoita, jotka kaikki tuottavat kobolttia kuparin sivutuotteena. Noin 97 prosenttia maailman koboltista tuotetaan nikkelin ja kuparin sivutuotteena lähinnä Afrikasta *(Desjardins, 2017)*. Tämä on koboltin toimitusketjun toinen erikoisuus. Maailmassa ei juurikaan ole puhtaita kobolttikaivoksia, vaan koboltin tuotanto riippuu muiden metallien (kupari ja nikkeli) hintakehityksestä. *(Home, 2017)*

Koboltin tuotantoon Kongossa liittyy myös muita kysymysmerkkejä, kuten lapsityövoiman käyttäminen kaivoksissa. Kobolttі ei ole vielä joutunut yhtä tarkan seurannan kohteiksi kuin esimerkiksi tina ja tantaali, mutta EU:n kiristyvä verimetallien (conflict minerals) valvonta voi lisätä paineita myös koboltin globaalissa toimitusketjussa.

Koboltin hintaheilahteluja lisää myös se, että kahdesta kuumasta ”sähköauto- ja uusiutuvan energian metallista”, kobolttia on helpompi ostaa ja varastoida kuin litiumia, jonka tuotanto on muutaman ison tuottajan hallinnassa. Koboltilla on käyty kauppaa Lontoon metallipörssissä vuodesta 2010, mutta vasta vuoden 2016 lopulla hintaralli lähti kunnolla käyntiin. Tämän vuoden kahden ensimmäisen kuukauden aikana myytyjen erien määrä on jo lähes neljä kertaa suurempi kuin viime vuonna myytyjen erien määrä. Helpon kaupankäynnin ja haastavan globaalin toimitusketjun takia koboltin hinnan heilahtelut voivat jatkua rajuina. *(Home, 2017)*

KOBOLTTI, KIINA JA KONGO

Myös kiinalaiset toimivat aktiivisesti Kongossa. Freeport-McMoRan Inc. ja Lundin Mining myivät kiinalaisille osuutensa Kongossa sijaitsevasta Teken Fungurume -kaivoksesta, joka on yksi suurimmista tunnetuista kobolttiesiintymistä. Se sijaitsee Katangan provinssissa Kongon demokraattisen tasavallan kaakkoisosassa. Freeport-McMoRan Inc. (NYSE: FCX) omistaa 56 prosentin osuuden kaivoksesta, Lundin Mining (OTCPK: LUNMF) omistaa epäsuorasti 24 prosentin osuuden ja Kongon valtion kaivosyhtiö Gécamines omistaa 20 prosenttia. Toukokuussa 2016 China Molybdenum osti Freeportin 56 prosentin osuuden kaivoksesta 2,65 miljardilla dollarilla. Kyseessä oli kaikkien aikojen suurin investointi Kongoon. Marraskuussa 2016 Lundin Mining myi 24 prosentin osuutensa yksityiselle kiinalaiselle pääomasijoittajalle BHR Partnersille reilulla miljardilla dollarilla. *(Gandon, 2017)*

China Molybdenum osti vuonna 2016 Freeportilta myös 100 prosentin osuuden Kisanfun malminetsintähankkeesta Kongossa, ja 56 prosentin osuuden Kokkolassa sijaitsevasta jalostamosta. Kokkolan laitos vastasi vuonna 2015 noin 10 prosentin osuudesta maailman koboltin jalostuksesta. Kokkolan koko tuotannon arvioidaan menevän jatkossa Kiinaan, Etelä-Koreaan ja Japaniin. Edellä kuvattujen kauppojen vaikutukset ovat ilmeiset. Kiina on kasvattamassa rooliaan koboltin jalostuksessa, lisäksi Kiina on jo nykyisellään koboltin merkittävä omistaja Kongossa Huayou Cobalt ja Zheijian Huayou Cobalt -yhtiöidensä kautta. Kiina tulee jatkossakin varmistamaan koboltin saannin kaivoksista ja koboltin jalostuskapasiteetin omiin tarpeisiinsa.

TESLA JA POHJOIS-AMERIKAN KOBOLTTI

Tesla on ilmoittanut tavoitteekseen valmistaa vuoteen 2018 mennessä 500.000 sähköautoa. Yhtiö on useaan otteeseen kertonut, että sen käyttämä koboltti tulee kokonaisuudessaan Pohjois-Amerikasta. Kokonaan toinen juttu on, onko tämä realistinen arvio. *(Gandon, 2017)*

United States Geological Survey *(USGS, 2016)* arvioi, että koboltin tuotanto vuonna 2015 oli globaalisti yhteensä 124.000 tonnia. Kanada ja USA tuottivat yhteensä noin neljä prosenttia maailman koboltista eli ei lähellekään edes sitä määrää, jonka Tesla tarvitsee pelkästään yhtä malliaan varten. InvestorIntelin arvioiden mukaan puoli miljoonaa Tesla Model 3 -autoa vastaa 7.800 tonnia uutta koboltin kysyntää, tai noin kuutta prosenttia maailman kobolttituotannosta. Teslan laskelmat eivät näytä pitävän paikkaansa. Selvitysten mukaan Teslalla on vaikeuksia varmistaa toimitussopimuksia perinteisten katodimateriaalien valmistajien kanssa. Yhtiö onkin joutunut etsimään uusia toimittajia pienempien kaivosyhtiöiden parista. *(Gandon, 2017)*

Kuva 20: Koboltti on keskeinen materiaali Teslan tuotteissa *(Desjardins, 2017)*

Hyvä esimerkki pienemmistä kaivosyhtiöistä on eCobalt Solutions *(aiemmin Formation Metals) (TSX: ECS)*, joka on kanadalainen malminetsintä- ja kaivoskehitysyhtiö.

Yhtiö omistaa Idahon *(http://www.ecobalt.com/assets/docs/ppt/161020-ecobalt-october-2016.pdf)* kobolttihankkeen, joka on löytänyt Idahosta korkealuokkaisen kobolttiesiintymän. Hanke on herättänyt paljon innostusta ja sen pitäisi käynnistyä vuoden 2017 aikana. Tuotannon saaminen täyteen vauhtiin vie pari vuotta. Tuotantomääräksi on arvioitu 1.500 tonnia vuodessa reilun kahdentoista vuoden elinkaaren aikana. Tämä vastaisi noin yhtä prosenttia koboltin globaalista markkinasta. *(Gandon, 2017)*

Kuten edellä kerrottiin, kobolttia syntyy kuparin ja nikkelin valmistuksen sivutuotteena. Yleisesti on tiedossa, että jos riippuvuus primäärituotteesta on saatavuusriski, toimii yhtälö myös toisin päin: kobolttia saadaan, jos primäärimetalleille on tarpeeksi kysyntää. Perinteisesti NCA-akkujen (litium-alumiini-akku) katodeissa on noin 80 prosenttia nikkeliä ja 15 prosenttia kobolttia. Nikkelin kysynnän kasvu voi vauhdittaa nikkelin tuotantoa, ja sen myötä myös koboltin tuotantoa. Tämä voi tasapainottaa tilannetta. *(Gandon, 2017)*

KRIITTISTEN METALLIEN KIERRÄTYS

Kierrätys on yksi keino vähentää teollisuuden riippuvuutta primäärisistä raaka-aineista. Vaikka monien materiaalien kierrätys on vielä tänä päivänä vähäistä, on sekundääristen materiaalien kierrätykseen odotettavissa merkittävää kasvua seuraavien 5–10 vuoden aikana *(Blagoeva et al., 2016)*. Yksi syy tähän on Euroopan unionin poliittiset aloitteet. Kierrätysprosessien kehityksen ohella tärkeässä roolissa on myös elinkaarensa lopussa olevien tuotteiden keräyksen tehostaminen.

Yksi mielenkiintoinen ryhmä kriittisten metallien kierrätyksen näkökulmasta on sähkö- ja elektroniikkaromu, joka sisältää tyypillisesti suuren joukon kriittisiä metalleja, kuten jalometalleja ja harvinaisia maametalleja *(kuva 21)*.

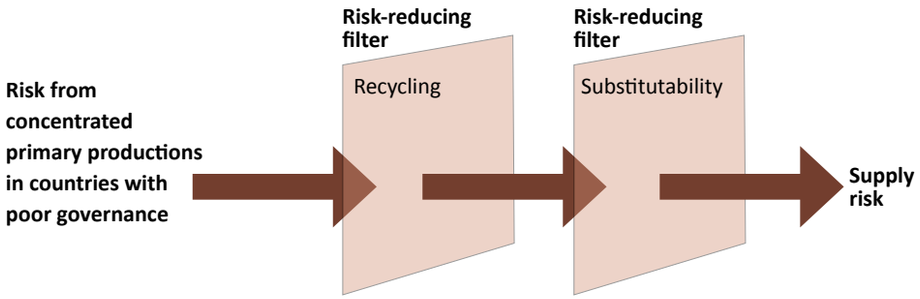
CRITICAL METAL	Mobile phones	PCs	Flat screen TVs	Laptops and notebooks	Rechargeable batteries
Cobalt, Co			+		+
Indium, In	+	+	+	+	+
Lithium, Li			+		+
Silver, Ag	+	+	+	+	+
Tantalum, Ta	+		+	+	
Tungsten, W	+	+	(+)		
Gold, Au	+	+	+	+	
Beryllium, Be	+	+		+	
Gallium, Ga	+	+	+	+	
Palladium, Pd	+	+	+	+	
Ruthenium, Ru		+	+	+	

Kuva 21: Kriittiset metallit sähkö- ja elektroniikkalaitteissa *(Bakas et al., 2016)*

Kun Euroopan Unioni määritteli kriittisten materiaalien listaa, tunnistettiin kolme tekijää, joiden yhteisvaikutus määrittelee saatavuusriskin suuruuden:

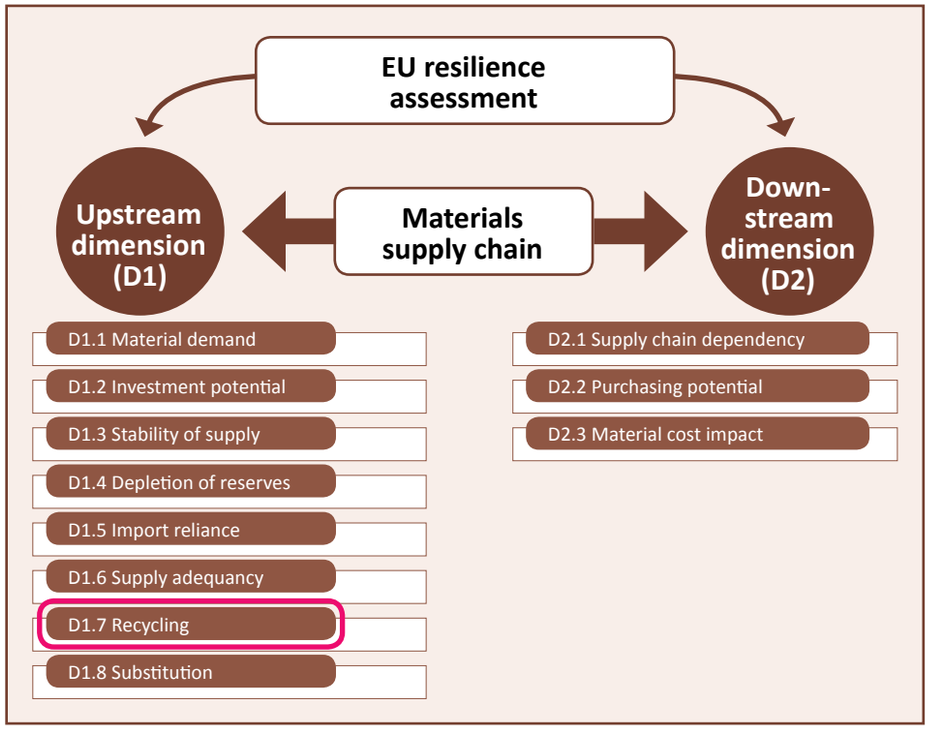
1. korvattavuus *(substitutability)*
2. kierrätettävyys *(end-of-life recycling rates)*
3. tuotannon keskittyminen pieneen joukkoon maita, joissa on ongelmia hallinnon tms. kanssa *(high concentration of producing countries with poor governance)*.

Esiselvityksen yhtenä tavoitteena oli selvittää haastatteluissa ja kyselyissä, ovatko suomalaiset teollisuusyritykset ryhtyneet toimenpiteisiin kriittisten metallien kierrätyksessä, kun niiden valmistamat tuotteet tulevat elinkaarensa loppuun. Komission mittareissa kiinnitetään huomiota keräys- ja kierrätysasteisiin *(End-of-Life Recycling Input Rate / Collection Rate, Recycling Rate)* eli mikä osa metalleista tai metallituotteista on valmistettu kierrätysmateriaaleista. Jos metallit päätyvät kierrätyksen kautta uudelleenkäyttöön, pienentää se kriittisten metallien saatavuusriskiä, samalla tavalla kuin kriittisten materiaalien korvaaminen helpommin saatavilla materiaaleilla *(kuva 22)*.



Kuva 22: ***Hyvin toimiva kriittisten metallien kierrätys pienentää kriittisten materiaalien saatavuusriskiä*** *(European Commission, 2014)*

Kierrätyksen toimivuus on myös yksi kriteeri arvioitaessa EU:n resilienssiä kriittisten materiaalin osalta *(Blagoeva et al., 2016)*, samalla tavalla kuin kriittisten metallien tuotantoon ja toimituksiin liittyvät tekijät.



Kuva 23: ***Kriittisten metallien kierrätykseen liittyvät haasteet ovat yksi kriteeri arvioitaessa EU:n resilienssiä kriittisten materiaalien osalta*** *(Blagoeva et al., 2016)*

KIERRÄTYKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Kierrätyksen kustannukset ja ympäristövaikutukset eivät suoranaisesti kuulu tämän esiselvityksen painopisteisiin, mutta seuraavassa lyhyt yhteenveto, miksi kriittisten metallien kierrätys on huoltovarmuuden ohella järkevää myös ympäristösyistä.

Metallien kierrätyksen ympäristövaikutukset syntyvät kahdesta eri tekijästä: kierrätysprosessin käyttämästä energiasta ja prosessin suorista päästöistä. Kierrätysprosessi kuluttaa vain noin 15 prosenttia siitä energiamäärästä, joka vaaditaan käsiteltäessä vastaava määrä malmia.

Metallisulattojen merkittävimmät suorat päästöt ovat hiilidioksidi-, typpi- ja rikkikaasut, hiukkaspäästöt, ilmaan pääsevät metallit (arseeni, kadmium, kupari, lyijy, sinkki) ja veteen päätyvät metallit (kupari ja muiden metallien jäänteet). *(Boliden 2014)*

Bakas et al. (2016) laskivat edellä kerrottujen parametrien ja Bolidenin Rönnskärin laitoksen vuoden 2014 toteutuneiden lukujen perusteella, millaiset ympäristö-vaikutukset syntyvät sulaton käsitellessä sähkö- ja elektroniikkaromua *(kuva 24)*.

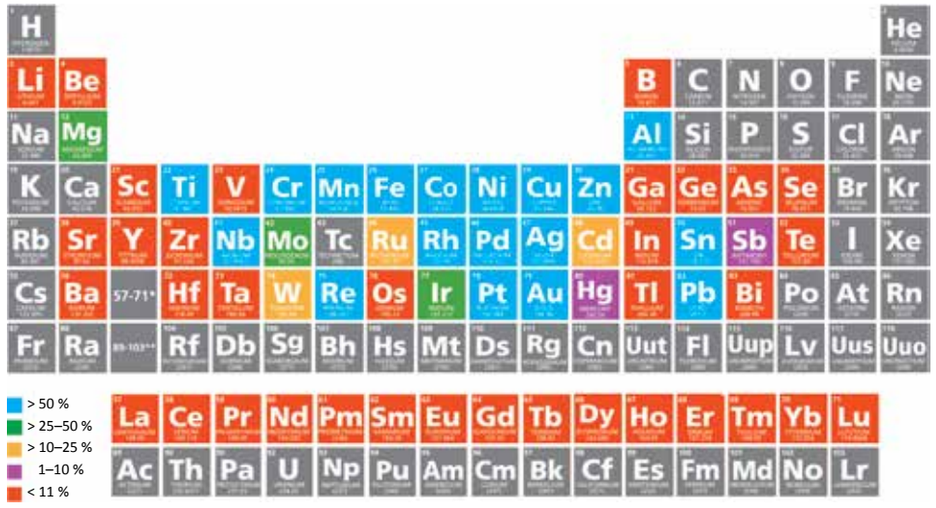
ENVIRONMENTAL IMPACT CATEGORY	Impacts/kg of e-scrap
High-voltage electricity	0,323 kWh
CO_2 to air	213,24 g
NO_x to air	0,24 g
SO_x to air	2.82 g
Particulates to air	0.03 g
Metals to air	0.01 g
Metals to water	2.69 g

Kuva 24: ***Sähkö- ja elektroniikkaromun käsittelyn ympäristövaikutukset Bolidenin Rönnskärin laitoksella*** *(Bakas et al., 2016)*

Parhaillaan Suomessa kehitetään eri tutkimushankkeissa uudenlaisia, hydrometallurgiaan perustuvia käsittelyprosesseja, joiden avulla saadaan talteen myös sellaisia kriittisiä metalleja, joita nykyisin yleisesti käytössä olevat mekaaniset ja pyrometallurgiset prosessit eivät saa talteen *(ks. esim. www.weeefiner.fi)*. Kemialliseen erotteluun pohjautuvat prosessit kuluttavat vähemmän energiaa kuin perinteisten sulattojen prosessit, mutta vastaavasti prosessi kuluttaa erilaisia happoja ja muita kemikaaleja, joita sulatot eivät käytä.

METALLIEN KIERRÄTYKSEN TILANNE TÄNÄÄN

Harvinaisten maametallien kierrätysaste on alle 1 %. Harvinaisten maametallien kemiallisten ominaisuudet ovat sopineet huonosti perinteiseen pyrometallurgiseen käsittelyyn. Harvinaiset maametallit eivät absorboidu kuparifaasiin korkeilla saannoilla kuten jalometallit, vaan ne päätyvät laimentuneina kuonaan niiden oksideina. Tämän vuoksi niitä ei ole voitu kierrättää nykyisin käytössä olevilla prosesseilla. Elektroniikkajäte esikäsittelymenetelmille on tyypillistä, että neodyymikestomagneeteissa käytettävät neodyymi, praseodyymi, dysprosium ja terbium päätyvät pieninä hiukkasina teräksen jätevirran kierrätykseen, jolloin ne menetetään talteenottoprosessissa. *(Kulomäki, 2016; Buchert et al., 2012)*. Esimerkiksi belgialainen Umicore kertoi haastattelussa tammikuussa 2017 *(IERC-konferenssi, Salzburg)*, että se ottaa harvinaisia maametalleja talteen vain autojen katalysaattoreista ja nikkeli-metallihydridi-akuista.



Kuva 25: ***Metallien kierrätysasteet*** *(UNEP, 2011a)*

Kriittisten metallien kierrätys sähkö- ja elektroniikkaromusta (SER) on haastavaa, koska pitoisuudet ovat yksittäisissä tuotteissa pienet. Muovi ja teräs muodostavat tyypillisesti suurimman osan SE-romusta, mutta romun arvosta suurin osa muodostuu jalometalleista. Harvinaiset metallit pitävät sisällään kultaa, hopeaa, platinaa, palladiumia ja rutheniumia, jotka kaikki ovat arvokkaita verrattuna muihin metalleihin, ja joilla kaikilla on myös samankaltaisia kemiallisia ja fyysisiä ominaisuuksia.

Jalometallit muodostavat tyypillisesti yli 80 prosenttia PC-laitteiden ja kännyköiden materiaaliarvosta. Mitä vähemmän sähkö- ja elektroniikkaromussa on jalometalleja, sitä korkeampi kynnys on romun kierrätykseen *(Hagelüken & Conti, 2010)*. Koboltti ja nikkeli ovat tärkeimmät ajurit paristojen ja akkujen kierrätyksessä *(UNEP, 2013)*.

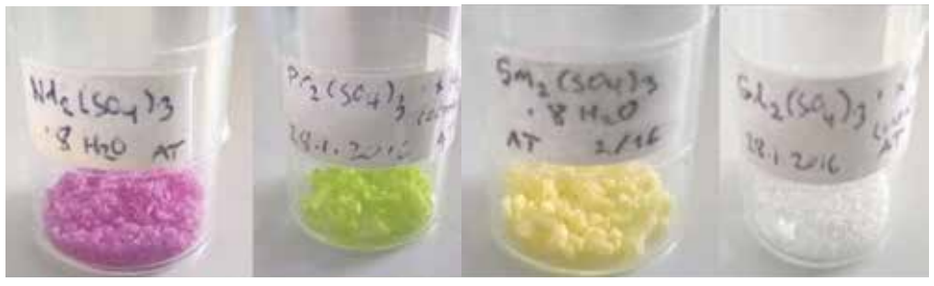
Kierrätysprosentit ovat tyypillisesti korkeimmat niille metalleille, joita käytetään paljon ja joiden talteenotto on helppoa (esimerkiksi lyijyn kierrätys autojen käynnistysakuista), sekä niille metalleille, joiden arvo on korkea (kulta, platina jne.).

CRITICAL METAL	End-of-life recycling rates (EOL-RR, the percentage of metals in discards that is recycled)	Global average recycled content (RC, the fraction of metal in the total metal input to metal production)
Cobalt, Co	> 50 %	25–50 %
Indium, In	< 1 %	25–50 %
Lithium, Li	< 1 %	< 1 %
Silver, Ag	> 50 %	25–50 %
Tantalum, Ta	< 1 %	10–25 %
Tungsten, W	10–25 %	25–50 %
Gold, Au	> 50 %	25–50 %
Beryllium, Be	< 1 %	10–25 %
Gallium, Ga	< 1 %	10–25 %
Germanium, Ge	< 1 %	25–50 %
Palladium, Pd	> 50 %	25–50 %
Ruthenium, Ru	10–25 %	> 50 %

Kuva 26: ***Kriittisten metallien kierrätysasteet*** *(UNEP, 2011b)*

Koboltin, kullan, hopean ja palladiumin osalta kierrätysprosentti on globaalisti yli 50 prosenttia. Volframin ja ruteniumin kierrätysaste on noin 10–25 prosenttia. Sen sijaan litiumin, beryllilumin, germaniumin, galliumin, indiumin ja tantaalin kierrätysaste on alle yhden prosentin. *(Bakas et al., 2016; UNEP, 2011b)*

Esiselvityksen haastatteluissa yritykset kertoivat, että monien harvinaisten maametallien, kun neodyymi ja germanium, kierrätettävyys on erittäin hyvä: jos kierrätysmateriaalia olisi enemmän saatavilla, sen osuutta lopputuotteissa voitaisiin hyvin nostaa ilman, että lopputuotteen laatu kärsisi.



Kuva 27: ***Neodyymin, gadoliniumin, praseodyymin ja samariumin sulfaateille on ominaista niiden toisistaan poikkeava värimaailma*** *(Jyväskylän yliopisto, 2017)*

KRIITTISTEN METALLIEN TUOTANTO SUOMESSA

Tässä raportissa kuvatussa esiselvityshankkeessa keskityttiin kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden käyttöön ja kierrätykseen. Seuraavassa lyhyt yhteenveto kriittisten metallien varannoista ja tuotannosta Suomessa.

Hi-tech-metallien raaka-aineita saadaan myös Suomen kallioperästä, ja se onkin tunnettujen esiintymien valossa poikkeuksellisen potentiaalinen monien hi-tech-metallien suhteen. Suomesta tuli vuonna 2012 yksi Euroopan suurimmista platinaryhmän metallien tuottajista tuotannon käynnistyttyä Kevitsan kaivoksessa. Kevitsasta tuotettiin 429 kg platinaa ja 379 kg palladiumia, kun Venäjää ja Suomea lukuun ottamatta platinaryhmän metallien Euroopan kaivostuotannon (Puola ja Serbia) on arvioitu olleen yhteensä enimmillään 120 kg vuodessa vuosien 2008–2012 aikana. Myös Hituran kaivoksen vuonna 2012 tuottama, Kiinassa jatkojalostettava nikkelirikaste sisälsi platinaa ja palladiumia. Metallinjalostajista Norisk Nickel tuotti kuparisakassa 280 kg platinaa ja 653 kg palladiumia, ja Boliden Harjavalta tuotti noin 540 kg platinametallirikastetta. *(http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/metallit/hi_tech_metallit.html)*

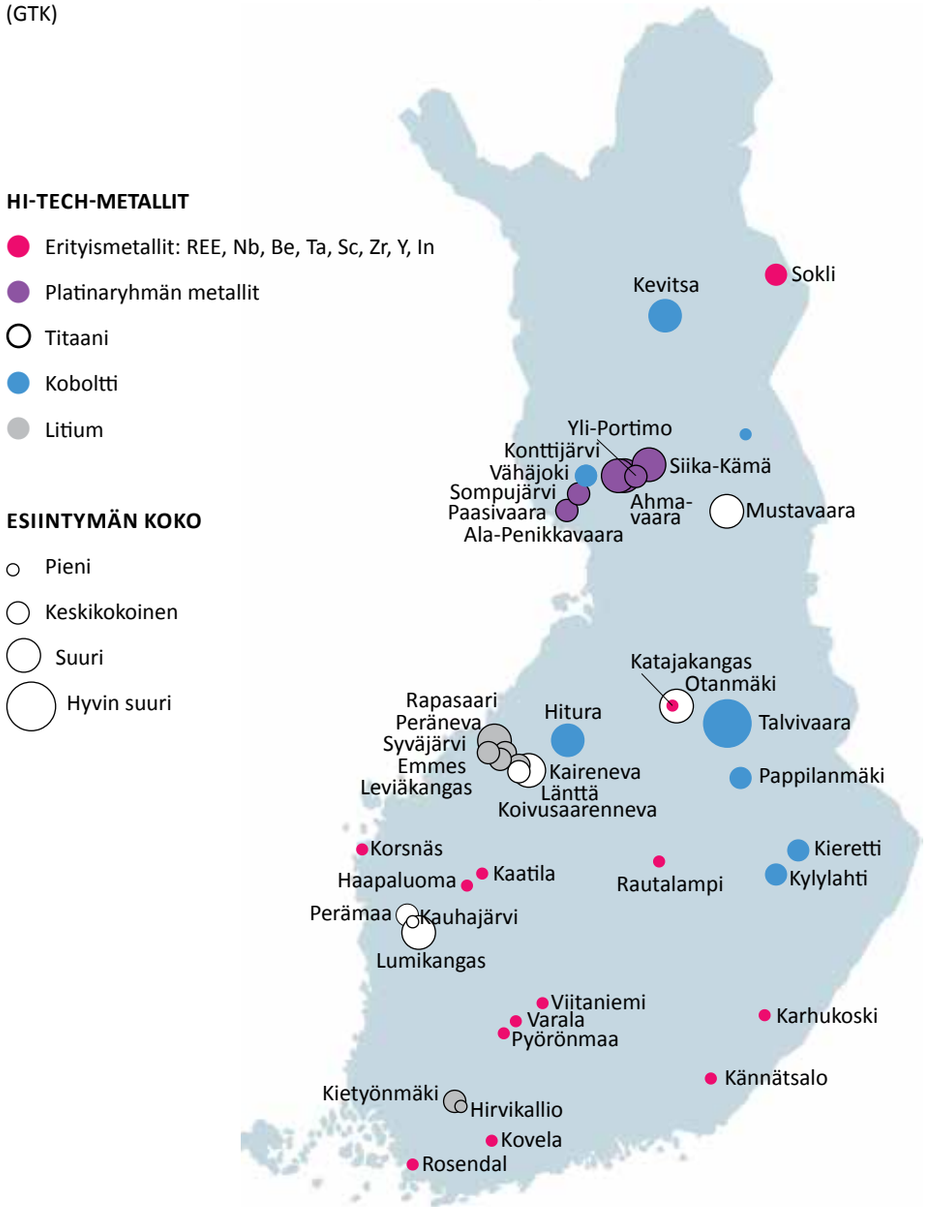
Vuonna 2012 Talvivaaran kaivoksesta myytiin nikkeli-kobolttisulfidisakassa 355 tonnia kobolttia Norilsk Nickel Harjavalta Oy:lle. Samana vuonna Kylylahden kaivos tuotti 117.819 tonnia kobolttirikastetta ja lisäksi kobolttia sisältävää rikkirikastetta, mutta rikasteiden kobolttia ei ole jalostettu metalliksi vaan niitä välivarastoidaan toistaiseksi.

Myös Hituran ja Kevitsan kaivosten nikkelirikaste sisälsi kobolttia. Voidaan arvioida, että neljän edellä mainitun kaivoksen vuonna 2012 tuottamissa rikasteissa olisi yhteensä noin 1.380 tonnia kobolttia. Suomen lisäksi kobolttia tuotetaan Euroopan maista vain Venäjällä, ja siellä koboltin kaivostuotanto on runsaat 2.000 tonnia vuodessa *(Brown ym. 2014a)*. Metallisen koboltin tuotanto Suomessa (10.562 tonnia vuonna 2012) vastaa yli puolta sen tuotannosta koko Euroopassa ja 14 % sen tuotannosta maailmassa. Germanium-tuotteita valmistettiin Suomessa 16 tonnia, mikä vastaa 13 % germaniumin tuotannosta maailmassa. Suomessa tuotettava germanium on peräisin ulkomaisista raaka-aineista. *(GTK, 2011)*

Suomi oli vuonna 2010 Kiinan jälkeen maailman toiseksi suurin koboltinjalostaja *(USGS, 2012)*. Suuri osa Freeport Cobalt Oy:n Kokkolassa käsittelemästä materiaalista louhitaan muualta kuin Suomesta, mm. Kongon demokraattisesta tasavallasta ja Venäjältä. Tällä hetkellä kotimaisia koboltin tuottajia ovat Talvivaara Sotkamo Oy (Talvivaaran kaivos), Kylylahti Copper Oy (Kylylahden kaivos) ja Belvedere Mining Oy (Hituran kaivos). Rakenteilla oleva, Kevitsa Mining Oy:n omistama Kevitsan kupari- ja nikkelikaivos avattiin kesäkuussa 2012 ja se alkoi myös tuottaa kobolttia vuoden 2013 aikana. Dragon Mining Oy:n hallitsema Juomasuon esiintymä Kuusamossa sisältää yhtenä arvoaineena kobolttia. Kaustisella valmistellaan Keliber Oy:n vetämänä litiumkaivos-hanketta, jonka rahoitus nytkähti eteenpäin keväällä 2017. Taustalla on sähkö- ja hybridiautojen myötä kasvava kysyntä litiumioni-akuille.

Kaivosteollisuusmaana Suomen tilanne raaka-aineiden saannin suhteen on keskimäärin parempi, kuin monien muiden Euroopan maiden. Useilla kriittisillä metalleilla ja mineraaleilla on tämänhetkisen tiedon perusteella hyvä esiintymispotentiaali Suomen ja Fennoskandian kallioperässä. *(Kihlman & Lauri, 2013)*

Tärkeimmät tunnetut Hi-tech-metallien esiintymät 2011
(GTK)



Kuva 28: ***Tärkeimmät tunnetut hi-tech-metallien esiintymät Suomessa*** *(GTK, 2011)*

KYSELY SUOMALAISILLE TEOLLISUUSYRITYKSILLE

Maaliskuussa 2017 toteutetun verkkokyselyn tavoitteena oli kartoittaa kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden käyttöä ja kierrätystä suomalaisissa ja Suomessa toimivissa teollisuusyrityksissä. Kriittisyydellä viitataan metallien taloudelliseen merkitykseen yrityksen toiminnassa ja niiden saatavuuteen liittyviin riskeihin.

Tavoitteena oli luoda tilannekuvaa mm. seuraavista asioista:

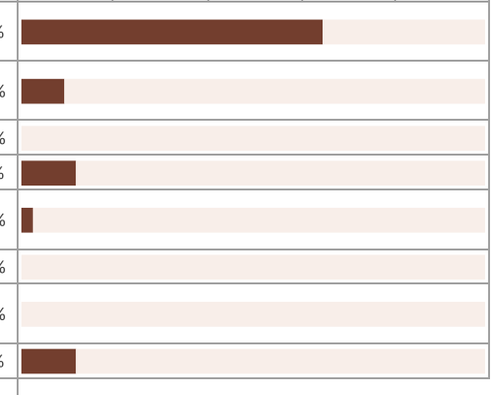
- onko yrityksissä tunnistettu kriittisiin metalleihin liittyvä riskit
- käytetäänkö yrityksissä kriittisiksi luokiteltuja materiaaleja (esim. harvinaiset maametallit)
- ostavatko yritykset itse suoraan näitä materiaaleja markkinoilta vai käyttävätkö valmiita komponentteja, jotka sisältävät kriittisiä metalleja ja metalliyhdisteitä
- mitkä ovat yrityksen toiminnan kannalta kriittiset metallit ja metalliyhdisteet
- millaiset tekijät voisivat vaikuttaa rajuimmin näiden metallien hintaan tai saatavuuteen
- onko yrityksissä pyritty korvaamaan näitä metalleja vähemmän kriittisillä materiaaleilla
- olisiko Suomessa syytä perustaa näille metalleille varmuusvarastoja
- mikä olisi paras tapa järjestää varmuusvarastointi Suomessa
- mitkä yritykset olisivat kiinnostuneita osallistumaan seurantaryhmän työskentelyyn esimerkiksi Huoltovarmuuskeskuksen poolitoiminnan puitteissa.

VERKKOKYSELYN TOTEUTUS

Verkkokysely toteutettiin 3.-17.3.2017 välisenä aikana. Kohderyhmän koko oli 374 henkilöä, jotka poimittiin Huoltovarmuuskeskuksen HUOVI-tietokannasta. Vastauksia saatiin 43 kappaletta ja vastausprosentti oli 11 %. Valtaosa yrityksistä toimi kone- ja metalliteollisuudessa (65 prosenttia vastaajista).

1. Mikä on yrityksenne tai organisaationne päätoimiala?

	Vastaus	Lukumäärä	Prosentti
1.	Kone- ja metallituoteteollisuus	28	65,12 %
2.	Elektroniikka- ja sähköteollisuus	4	9,30 %
3.	Tietotekniikka	0	0,00 %
4.	Metallien jalostus	5	11,63 %
5.	Suunnittelu ja konsultointi	1	2,33 %
6.	Tutkimuslaitos	0	0,00 %
7.	Julkisen sektorin toimija	0	0,00 %
8.	Muu toimiala, mikä?	5	11,63 %
	Yhteensä	43	100 %



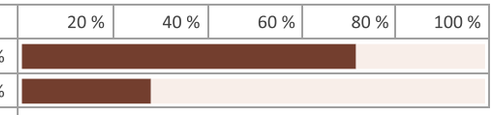
Kuva 29: Kyselyyn vastanneiden yritysten päätoimialat

KRIITTISTEN METALLIEN MARKKINOIDEN SEURANTA YRITYKSISSÄ

Kyselyyn vastanneista yrityksistä valtaosa (72 prosenttia) oli tunnistanut kriittisiin metalleihin ja metalliyhdisteisiin liittyvät haasteet ja riskit.

2. Onko yrityksessänne tunnistettu kriittisiin metalleihin ja metalliyhdisteisiin liittyvät haasteet ja mahdolliset riskit?

	Vastaus	Lukumäärä	Prosentti
1.	Kyllä	31	72,09 %
2.	Ei	12	27,91 %
	Yhteensä	43	100%



Kuva 30: Kriittisiin metalleihin liittyvien riskien tunnistaminen vastaajayrityksissä

Kriittiset metallit ja metalliyhdisteet ovat tärkeitä eri yrityksille eri syistä.
Tässä muutamia vapaissa kommenteissa esiin nousseita perusteluja:

- kriittisen raaka-aineen *(esim. tietty harvinainen maametalli)* osuus voi olla jopa 40–60 prosenttia lopputuotteen hinnasta
- kriittiset metallit vaikuttavat ratkaisevasti tuotteen ominaisuuksiin ja laatuun
- Kiinalla on käytännössä monopoliasema maametalleissa

- kestomagneettien takia seurattu neodyymin ja dysprosiumin markkinoita jo vuosia
- konfliktimateriaaleihin liittyvät haasteet *(EU:n uusi lainsäädäntö)*
- komponenttien saatavuuteen liittyviä riskejä tunnistettu.

Yrityksissä on myös pyritty huomioimaan kriittisiin metalleihin ja metalliyhdisteisiin liittyviä riskejä mm. seuraavilla tavoilla:

- ostopuolella tehdään jatkuvaa seosaineiden saatavuuden seurantaa
- kriittiset materiaalit huomioitu valmius- ja jatkuvuussuunnittelussa sekä yrityksen riskikartoituksessa
- metallituotteille on kartoitettu korvaavia toimittajia
- varauduttu ennusteilla pitkiin toimitusaikoihin
- toimittajat pitävät puskurivarastoa.

Osalle vastanneista yrityksistä tilanne kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden osalta oli helpompi mm. seuraavista syistä:

- yritys käyttää perusmateriaaleja, joita saa useilta eri valmistajilta/toimittajilta
- yrityksen tuotteissa tai prosesseissa ei käytetä harvinaisia maametalleja
- yritys käyttää komponentteja ja materiaaleja, jotka ovat ”hyllytavaraa”, eikä ole suoraan itse tekemisissä raaka-aineiden kanssa

Osassa yrityksistä kriittisiä metalleja ei lueta isoihin tai potentiaalisiin riskeihin, joten niiden suhteen ei ole ryhdytty toimenpiteisiin.

Noin 42 prosenttia kyselyyn vastanneista yrityksistä seuraa EU:n komission tai muiden tahojen työtä kriittisiin materiaaleihin liittyen. Seuraavassa esimerkkejä siitä, miten seuranta tapahtuu käytännössä:

- yksittäiset henkilöt seuraavat markkinatilannetta satunnaisesti
- hankinnan puolella seurataan tilannetta raaka-aineryhmittäin
- seurataan julkaisuja, kuten EU-komission raportit, lehdet jne.
- tietoa saadaan Teknologiateollisuus ry:n ja muiden alan järjestöjen kautta
- konsernitasolla seurataan raaka-ainemarkkinoita
- kriittisten metallien markkinoita seurataan osana tuotekehitys-, tuotanto- ja kansainvälistä ostotoimintaa.

KRIITTISTEN METALLIEN HANKINTA

Kyselyyn vastanneista yrityksistä 40 prosenttia ostaa kriittisiä metalleja tai metalliyhdisteitä markkinoilta. Tyypillisin tapa on hankkia näitä materiaaleja ulkomaiselta valmistajalta Euroopasta (71 %). Niitä hankitaan myös suoraan kotimaisilta valmistajilta (58 %) ja välittäjiltä (53 %). Aasialaisilta valmistajilta kriittisiä metalleja ja metalliyhdisteitä hankitaan vähemmän (24 %).

Valtaosa kyselyyn vastanneista yrityksistä (58 %), jotka eivät osta kriittisiä metalleja tai metalliyhdisteitä markkinoilta, toimii kokoonpanoteollisuudessa ja ostaa valmiita komponentteja. Kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden hinta- ja saatavuuskysymykset koskevat näitä yrityksiä välillisesti esim. alihankkijoiden kautta.

SUOMALAISILLE YRITYKSILLE KRIITTISET METALLIT

Kyselyssä pyydettiin yrityksiä poimimaan listalta itselleen kriittisiä metalleja ja materiaaleja. Kyselyssä käytetty aineluettelo perustui EU:n kriittisten materiaalien top 20 -listaan vuodelta 2014, jota oli laajennettu muilla kriittisillä metalleilla.

Kyselyn perusteella yritysten välillä on suuri hajonta siinä, mitkä metallit tai metalliyhdisteet ovat kriittisiä eri yrityksille. Selkeä ykkönen listalla oli kromi, jonka nimesi kriittiseksi yhdeksän yritystä.

Taulukkoon 2 on koottu kaksitoista vastauksissa eniten mainintoja saanutta metallia. Taulukkoon on koottu myös lyhyet kuvaukset metalleista, niiden tyypillisistä käyttökohteista sekä tärkeimmistä tuottajamaista. Tähdellä (*) merkityt metallit ovat mukana EU:n kriittisten materiaalien listalla vuodelta 2014.

Yksittäisiä mainintoja saivat myös seuraavat metallit ja metalliyhdisteet:

- alumiini
- beryllium
- ferromolybdeeni (FeMo)
- gallium
- germanium
- indium
- kupari
- nikkeli
- molybdeeni
- pii
- platina
- tantaali
- terbium.

Metallien ja metalliyhdisteiden lisäksi myös grafiitti ja magnesiitti saivat mainintoja.

Aine	Kuvaus ja käyttökohteet	Esiintymis-alueet
Dysprosium (Dy) (*)	Puhtaana metallina dysprosiumilla ei ole käyttöä, koska se hapettuu nopeasti ilmassa. Sen sijaan dysprosiumin, neodyymin, raudan ja boorin seoksesta valmistetaan laadukkaita kestomagneetteja. Terfenol-D on dysprosiumia sisältävä magnetostriktiivinen metalliseos, joka magneettikentässä pitenee tai lyhenee silminnähtävästi. Sitä käytetään kaikuluotaimissa ja mikromekaanisissa moottoreissa. Dysprosiumin ja halogeenien yhdisteitä, varsinkin dysprosiumin jodidia ja bromidia käytetään monimetalli-lampuissa. Nämä yhdisteet hajoavat lähellä lampun kuumaa osaa vapauttaen yksittäisiä dysprosium-atomeja, jotka re-emittoivat fotoneja spektrin vihreässä ja punaisessa osassa tuottaen kirkasta valoa. Dysprosiumia hyödynnetään myös radioaktiivista säteilyä mittaavissa annosmittareissa sekä eräissä lasereissa. *(Wikipedia, 12.4.2017)*	Kiina, Venäjä, Brasilia, USA, Australia, Intia
Hopea (Ag)	Puhdas hopea on valkoinen jalometalli, joka on kultaa kovempaa mutta kuparia pehmeämpää. Hopeaa käytetään elektronisten laitteiden komponenteissa.	Australia, Filippiinit, Kanada, Kongo, Meksiko, Nicaragua, Peru, Sambia, Uzbekistan
Koboltti (Co) (*)	Suomi oli vuonna 2010 Kiinan jälkeen maailman toiseksi suurin koboltinjalostaja (USGS 2012). Suurin osa Kokkolassa käsiteltevästä materiaalista louhitaan muualta kuin Suomesta. Koboltin kierrätys on tehokasta, sillä noin neljäsosa teollisuuden tarvitsemasta koboltista tuotetaan romumetallista *(Kihlman & Lauri, 2013)*.	Kongo, Venäjä
Kromi (Cr) (*)	Kromi kuuluu metalleihin ja on väriltään harmahtava, kiiltävä ja kova. Kromia käytetään eri metallien pinnoittamiseen. Sillä saadaan metalliesineiden pinnat säilymään hapettumattomina ja kirkkaina, minkä vuoksi pinnoitusta on käytetty korvaamaan läpikotaisin ruostumattomasta teräksestä valmistettuja tuotteita. Kromipinnoitteet jaotellaan kahteen eri luokkaan: kovakromaukseen ja kiiltokromaukseen. Kovakromauksessa pinta on todellakin kromia ja se muodostaa kovan kulutusta kestävän pinnan. Kovakromausta käytetään muun muassa metallinmuokkaustyökalujen pinnoitteina. Kiiltokromauksen tyypillisiä sovelluksia ovat esimerkiksi auton puskurit. Kromi on pääseosaine ruostumattomissa teräksissä. Teräkseen sitä seostetaan ferrokromin muodossa puhtaan metallin sijasta. Suomessa ferrokromia tuottaa Outokumpu Oyj:n tehdas Torniossa. Kromimalmin sinne louhii tytäryhtiö Outokumpu Chrome Oy läheisestä Elijärven kaivoksesta Keminmaalta. *(Lähde: Wikipedia, 12.4.2017)*	Albania, Bosnia ja Hertsegovina, Etelä-Afrikka, Iran, Kazakstan, Makedonian tasavalta, Syyria, Uusi-Kaledonia

Aine	Kuvaus ja käyttökohteet	Esiintymis-alueet
Kulta (Au)	Hyvän sähkönjohtavuuden takia kultaa käytetään elektroniikkateollisuudessa mm. liitin- ja kytkinpinnoissa.	Kiina, Australia, USA, Venäjä, Etelä-Afrikka, Peru, Kanada
Litium (Li)	Litium on kevyin kaikista metalleista. Keveytensä vuoksi litiumia käytetään kovissa ja kevyissä metalliseoksissa. Yksi tärkeimmistä litiumin yhdisteistä on litiumkarbonaatti, jota käytetään muun muassa emalien valmistuksessa, metallurgiassa fluksina eli esimerkiksi alentamaan alumiinin sulamispistettä ja muiden litiumyhdisteiden valmistuksessa. Teollisuudessa käytetään paljon litiumpohjaisia voiteluaineita, jotka kestävät korkeitakin lämpötiloja eivätkä kovetu kylmissä lämpötiloissa. Litiumia käyttävä litiumioniakku on hyvin yleinen akkutekniikka. Siinä katodina on esimerkiksi litiumkobolttioksidi.	**Tuotanto:** Chile, USA, Australia, Kiina, Argentiina **Varannot:** Chile, Bolivia, Kongo, Portugali, Suomi
Magnesium (Mg) (*)	Magnesiumia käytetään pelkistimenä valmistettaessa muita metalleja, lisäksi se on ainesosana monissa metalliseoksissa. Magnesium kestää hyvin korroosiota bensiinissä ja monissa öljyissä, mutta ei kloridi-pitoisissa liuoksissa eikä mineraalihapoissa. Myös magnesiumseosten korroosionkesto on heikko, joten ne on suojattava pinnoitteella. Muiden metallien rinnalla magnesiummetallit toimivat anodeina. Seostamalla magnesiumin sekaan muita metalleja saadaan parannettua sen lujuusominaisuuksia. Hyvin magnesium-pitoisissa metalliseoksissa yhdistyvät lujuus ja keveys, ja siksi ne ovat tärkeitä esimerkiksi lentokoneteollisuudessa sekä monissa instrumenteissa. *(Lähde: Wikipedia 12.4.2017)*	Australia, Kiina, Pohjois-Korea, Ukraina, Venäjä
Neodyymi (Nd) (*)	Neodyymi (Nd) on lantanoideihin kuuluva alkuaine. Sitä käytetään mm. lasin himmentämiseen hitsausmaskeissa, voimakkaissa magneeteissa ja lasereissa. Neodyymistä tuotetaan 97 % Kiinassa, joka on haluton viemään sitä ulkomaille matalasti jalostettuna.	**Tuotanto:** Kiina (97%)
Niobi (Nb) (*)	Niobi on valkohohtoinen, joustava, siirtymämetalleihin kuuluva alkuaine. Sen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet ovat samankaltaiset kuin tantaalilla, minkä vuoksi ne usein ryhmitetäänkin yhteen. Molemmat aineet ovat tyypillisesti erittäin hyviä johteita, korroosionkestäviä ja niillä on erittäin korkeat sulamispisteet. Noin 89 % maailman niobituotannosta on ferroniobia, jota käytetään erikoislujan ja niukkaseosteisen teräksen valmistuksessa, sekä muissa seoksissa, kemikaaleissa ja kovametalleissa. *(Kihlman & Lauri 2013, USGS 2012)*	**Tuotanto:** Brasilia (> 90%), Kanada **Varannot:** Brasilia (n. 97 %)
Rikki (S)	Rikki on yleinen, mauton ja hajuton, väriltään keltainen epämetalli. Luonnossa rikkiä esiintyy sekä vapaana alkuaineena että erilaisina yhdisteinä. Suurin osa rikistä on luonnossa erilaisina yhdisteinä. Nämä ovat pääasiassa rikin ja metallin yhdisteitä. Rikkiä saadaan metallinjalostuksen sivutuotteena, kun metalleja erotetaan näistä yhdisteistä.	USA, Kanada, Meksiko, Venezuela, Intia

Aine	Kuvaus ja käyttökohteet	Esiintymis-alueet
Titaani (Ti)	Titaani on kiiltävä ja hopeinen metalli, jonka sulamispiste on korkea (1 668 °C). Titaanin tiheys on suhteellisen pieni, mutta sillä on hyvät mekaaniset ominaisuudet. Alumiinin ja tinan kanssa yhdistetyn lejeeringin voimakkuus-massa-suhde on hyvin korkea. Muita yleisiä lejeerinkimetalleja ovat rauta, vanadiini, kupari, koboltti ja mangaani. Teräksen korroosion kestävyyttä voidaan parantaa lisäämällä titaania seokseen. Titaania käytetään moottoreissa, mutta sen tärkein käyttökohde on ilmailuteollisuudessa. Lentokoneisiin ja avaruusaluksiin käytetäänkin kaksi kolmasosaa tuotetusta titaanista. Titaania käytetään tekonivelissä sekä luunmurtumien korjaamisessa tarvittavissa levyissä ja ruuveissa. Titaania käytetään panssareissa ja muissa suojissa. Titaania käytetään myös rakennusteollisuudessa, urheiluvälineissä, tietokoneissa ja kelloissa. Laivateollisuus hyödyntää titaanin hyvää korroosion kestävyyttä laivojen rungoissa ja potkureissa. Petrokemian ja kemian teollisuus käyttää titaania putkistoissa ja tuotantovälineissä. Noin 95 % kaikesta käytetystä titaanista käytetään titaanioksidina. Titaanioksidia käytetään maali-, muovi- ja paperiteollisuudessa. Titaanioksidi antaa maaleille valkoisen värin ja sillä on korvattu myrkyllinen lyijykarbonaatti. Titaanioksidia käytetään myös paperi- ja muoviteollisuudessa tekemään materiaaleista läpinäkymättömiä. Titaanioksidi ei läpäise valoa, ja sitä käytetään myös aurinkovoiteissa. Suomessa titaanioksidia valmistaa Porin titaanioksiditehdas. Titaania käytetään katalyyttinä alkeenien polymeroinnissa. *(Lähde: Wikipedia: 12.4.2017)*	Kanada, USA, Skandinavia, Australia, Malesia
Volframi (W) (*)	Volframi on erittäin tiheä, kiiltävä, hopeanvalkea, metallinen alkuaine, jonka sulamispiste (3 423 °C) on toiseksi korkein kaikista sekoittamattomista metalleista. Ainoastaan hiilen sulamispiste on korkeampi. Volframilla on monia ainutlaatuisia ominaisuuksia, minkä seurauksena se on usein olennainen osa monissa kaupallisissa, teollisissa ja sotilaallisissa sovelluksissa. Korkean sulamispisteen ja tiheyden lisäksi volframi on erittäin vahvaa, kulutusta ja venytystä kestävää, sillä on matala laajenemiskerroin ja hyvä lämmön- ja sähkönjohtokyky. Tärkeitä käyttökohteita on mm. rakentamisessa, kaivostyössä, metallintyöstössä sekä öljy- ja kaasuteollisuudessa käytettävien kovametallien valmistuksessa (volframikarbidi). Terästeollisuudessa volframi on tärkeä seosaine ja siitä valmistetaan monenlaisia tuotteita, kuten lankoja, koskettimia ja elektrodeja eri käyttötarkoituksiin. Volframikemikaaleja käytetään mm. katalysaattoreiden valmistuksessa, ruosteenestopäällysteissä, väriaineissa ja pigmenteissä. Volframi on yksi kaikkein kierrätetyimpiä metalleja, kierrätysaste 35–40 prosenttia. *(Kilhman & Lauri 2013)*	**Tuotanto:** Kiina (85%), Venäjä (3%), Bolivia (2%) **Varannot:** Kiina (>60%), Kanada, Kazakstan, Venäjä, USA

SUOMALAISYRITYSTEN KOHTAAMIA HAASTEITA

Useat kyselyyn vastanneet yritykset olivat kohdanneet toiminnassaan kriittisiin metalleihin liittyviä haasteita. Seuraavassa esimerkkejä, miten ongelmat ovat konkretisoituneet ja miten niihin on reagoitu:

- asiaan törmätty saatavuuden ja kustannusten kautta: magneeteissa nähtiin joitain vuosia sitten valtava hintahyppy, jonka vaikutus oli kyseiselle yritykselle useita miljoonia euroja
- komponenttien saatavuuteen ja toimitusaikoihin liittyvät haasteet
- yrityksessä on käytetty vuosia kestomagneetteja ja seurattu neodyymin ja dysprosiumin markkinatilannetta
- yrityksen alihankkijat ovat erittäin riippuvaisia kriittisistä metalleista, jolloin yrityksen oma tuotanto riippuu välillisesti kriittisistä materiaaleista
- omaa varastointia kasvatettu tilanteen mukaan
- hankittu pieni varmuusvarasto (ei kuitenkaan riittävä).

RAJUN HINNANNOUSUN VAIKUTUKSET YRITYKSILLE

Yrityksiltä kysyttiin, miten niiden toimintaan vaikuttaisi, jos jonkin niille kriittisen metallin hinta nousisi yllättäen kymmen- tai satakertaiseksi (kuva 31).

	Vastaus	Lukumäärä	Prosentti	20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
1.	Tiettyjen tuotteiden valmistus ja/tai myynti loppuisi.	14	33,33 %					
2.	Tuotekehitys korvaisi kriittisen metallin toisella materiaalilla.	11	26,19 %					
3.	Nykyiset toimitussopimuksemme takaavat vakaan hintatason.	4	9,52 %					
4.	Siirtäisimme raaka-aineiden hinnannousun asiakashintoihin.	26	61,90 %					
5.	Ei vaikuttaisi mitenkään.	8	19,05 %					
6.	Muita mahdollisia vaikutuksia?	5	11,90 %					
	Yhteensä							

Kuva 31: Rajun hinnannousun vaikutukset ja siihen reagointi

Valtaosa kyselyyn vastanneista yrityksistä siirtäisi kriittisten metallien hinnannousun asiakashintoihin (61,9%). Haastatteluissa yritykset totesivat, että tilannetta helpottaa, jos hintashokki koskee koko toimialaa, jolloin myös kilpailijat joutuvat nostamaan hintojaan.

Yritykset pitivät myös mahdollisena, että tiettyjen, runsaasti kriittisiä materiaaleja sisältävien tuotteiden valmistus ja/tai myynti loppuisi (33,3%). Tällaista kehitystä on jo yrityksissä tapahtunut 2010-luvun alun harvinaisten maametallien rajun hinnannousun jälkeen.

Joissain tapauksissa tuotekehitys korvaisi kriittisen metallin toisella materiaalilla (26,2%). Haastatteluissa yritykset tosin totesivat, että tämä on hankala vaihtoehto, koska kriittisten metallien korvattavuus on heikko, ja toisaalta pitkälle optimoitujen tuotantoprosessien muuttaminen on pitkä ja raskas tie.

TODENNÄKÖISIMMÄT SYYT MARKKINAHÄIRIÖILLE

Kyselyssä pyydettiin yrityksiä arvioimaan todennäköisimpiä syitä markkinahäiriöille (kuva 32).

	Vastaus	Lukumäärä	Prosentti	20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
1.	Maailmanpolitiikka (USA-Kiina-EU-Venäjä-suhteet)	33	76,74 %					
2.	Poliittinen vakaus keskeisissä maissa (Afrikka, Venäjä, Turkki, Kiina jne.)	24	55,81 %					
3.	Luonnonmullistukset (tulvat, maanjäristykset, tsunami jne.)	14	32,56 %					
4.	Ympäristölainsäädännön tiukentuminen (kemikaalirajoitukset, lyijyakkujen kielto jne.)	20	46,51 %					
5.	Sota tai muu vakava kriisi	26	60,47 %					
6.	Sähköisen liikenteen voimakas kasvu ja sen vaikutus kriittisten metallien kysyntään.	8	18,60 %					
7.	Uudet energiaratkaisut (tuulivoima, aurinkoenergia) ja niiden vaikutus kysyntään.	3	6,98 %					
8.	Muu syyt, mitkä?	1	2,33 %					
	Yhteensä							

Kuva 32: Kriittisten metallien markkinahäiriöiden mahdollisia aiheuttajia

Todennäköisimpänä syynä häiriöille kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden markkinoilla nähtiin ongelmat maailmanpolitiikassa (USA-Kiina-EU-Venäjä-suhteet). Seuraavaksi todennäköisimpinä syynä pidettiin sotaa tai muuta vakavaa kriisiä. Haastatteluissa nousi esiin, että sotilaskäyttöön tarkoitettujen laitteiden valmistuksessa käytettävien metallien saatavuus voi häiriintyä nopeastikin, jos sotilaallinen konflikti syntyy.

Myös ongelmat poliittisessa vakaudessa keskeisissä tuottajamaissa (Kongo, Venäjä, Turkki, Kiina jne.) voi aiheuttaa häiriöitä kriittisten metallien markkinoilla. Esimerkiksi talouskasvun heikentyminen ja sitä seuraava pankkikriisi Kiinassa voisi aiheuttaa eräiden haastateltujen yritysten näkemyksen mukaan levottomuutta, joka heijastuisi myös raaka-ainemarkkinoille.

Myös EU:n ympäristölainsäädännön tiukentuminen nähtiin yhtenä potentiaalisena tekijä, joka vaikuttaa markkinoihin. Parhaillaan tarkastelussa olevat lyijy- ja kobolttikiellot heijastuisivat toteutuessaan voimakkaasti raaka-ainemarkkinoille. Esimerkiksi autojen lyijypohjaisten käynnistysakkujen korvaaminen vaihtoehtoisilla akkuteknologioilla, kuten litiumioni- tai nikkelimetallihydridi-akuilla, aiheuttaisi kovaa painetta maailman koboltti- ja litium-markkinoille.

Sen sijaan kysyntäpuolen muutoksia, kuten sähköisen liikenteen tai uusien energiaratkaisujen yleistyminen, ei pidetty kovin todennäköisinä syinä markkinahäiriöille. Tämä näkemys poikkeaa useiden asiantuntijoiden arvioista. Esimerkiksi Saksan ympäristöministeriön laskelmissa maan Energiewende-ohjelman on laskettu vaikuttavan merkittävästi monien keskeisten raaka-aineiden hintoihin.

RISKIENHALLINTASUUNNITELMAT PUUTTUVAT

Kyselyn mukaan vain viidenneksellä vastanneista yrityksistä on olemassa riskienhallintasuunnitelma kriittisten metallien saatavuus- tai hintariskin varalle. Osa yrityksistä arvioi, että vaikka suunnitelma on, ei sen kattavuus ole riittävä.

Joissain yrityksissä kriittisten metallien riskienhallinta on osa varautumissuunnitelmaa, jollainen vaaditaan myös kaikilta alihankkijoilta. Myös yritysten liiketoiminnan jatkuvuussuunnittelussa hankinnalla on suuri rooli, ja sitä kautta kriittiset metallit ovat mukana jatkuvuuden varmistamisessa.

Yritykset pyrkivät pitämään useita eri toimittajia samalle raaka-aineelle ja harrastavat metallien hedge-toimintaa keinona hallita riskiä.

KRIITTISTEN METALLIEN KORVAAMINEN VAIKEAA

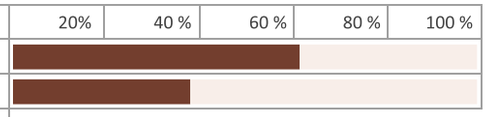
Noin joka viides yritys on pyrkinyt korvaamaan kriittisiä metalleja ja metalliyhdisteitä vähemmän riskialttiilla materiaalilla. Korvaavia aineita etsitään osana perustutkimusta, mutta kovin nopeita muutoksia ei sillä saralla ole odotettavissa. Materiaalien korvattavuutta arvioidaan tapauskohtaisesti, mutta se on pääsääntöisesti vaikeaa. Yritykset pyrkivät jatkuvasti alentamaan riskitasoa.

TARVITAANKO SUOMESSA VARMUUSVARASTOJA?

Yrityksiltä kysyttiin myös, pitäisikö suomalaisen teollisuuden varautua kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden markkinahäiriöihin ja perustaa niille varmuusvarastoja. Lähes kaksi kolmasosaa vastaajista piti varmuusvarastojen perustamista hyvänä vaihtoehtona.

11. Pitäisikö suomalaisen teollisuuden varautua kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden markkinahäiriöihin ja perustaa niille varmuusvarastoja?

	Vastaus	Lukumäärä	Prosentti
1.	Kyllä	26	61,90 %
2.	Ei	16	38,10 %
	Yhteensä	42	100 %



Kuva 33: Lähes kaksi kolmasosaa vastaajista piti varmuusvarastojen perustamista hyvänä vaihtoehtona.

Vaikka varmuusvarastot nähtiin hyvänä ratkaisuja, nousi vastauksissa esille myös varmuusvarastointiin liittyviä haasteita:

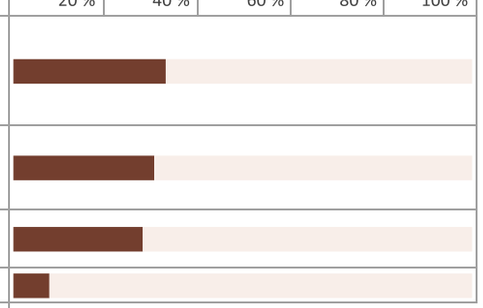
- pitäisi analysoida tärkeimmät metallit ja niiden käyttömäärät, ja sitä kautta määrittää varmuusvarastot
- auttavatko varmuusvarastot, jos Suomella ei ole raaka-ainetta käyttävää elektroniikkateollisuutta
- miten varmuusvarastojen kustannukset katettaisiin
- komponenttivalmistus on globaalia toimintaa – vaikka Suomessa olisi raaka-aine-varastoja, ei sillä voisi taata komponenttien saatavuutta.

VARMUUSVARASTOINNIN JÄRJESTÄMINEN

Yrityksiltä kysyttiin myös, miten kriittisten metallien varmuusvarastointi olisi järkevintä järjestää *(kuva 34)*.

12. Mikä olisi paras tapa järjestää varmuusvarastointi?

	Vastaus	Lukumäärä	Prosentti
1.	Keskitetty malli esimerkiksi Huoltovarmuuskeskuksen alaisuudessa.	13	33,33 %
2.	Hajautettu malli, jossa kukin yritys hoitaa itse turvavarastoinnin.	12	30,77 %
3.	Yhteispohjoismainen varmuusvarastointi.	11	28,21 %
4.	Jokin muu malli, mikä?	3	7,69 %
	Yhteensä	39	100 %



Kuva 34: Kriittisten metallien varmuusvarastojen järjestäminen

Vastauksien perusteella keskitetty malli esimerkiksi Huoltovarmuuskeskuksen alaisuudessa *(33,3 %)*, hajautettu malli *(30,8%)* ja yhteispohjoismainen malli *(28,2%)* olivat kaikki lähes yhtä suosittuja.

Haastatteluissa hajautettua mallia, jossa kukin yritys hoitaa itse varmuusvarastoinnin, pidettiin käytännön tasolla järkevänä, koska silloin yrityksillä on tarkka tietoa, mitä materiaaleja varmuusvarastossa on. Lisäksi materiaalit pysyvät paremmin kurantteina, kun ne kiertävät tuotannossa.

OMIEN TUOTTEIDEN KIERRÄTYS

Yhtenä keinona kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden saatavuus- ja hintariskin hallintaan nähdään näiden materiaalien kierrätys. Vain vajaa 30 % vastaajista ottaa vastaan omia tuotteitaan uudelleenkäyttöä tai kriittisten metallien kierrätystä varten.

Esimerkiksi sähkö- ja elektroniikkaromu (SER) myydään edelleen kierrättäjille, jotka murskaavat romun ja myyvät sen eteenpäin ulkomaille jatkokäsiteltäväksi. Harvinaisia maametalleja ei nykyisissä käsittelyprosesseissa oteta käytännössä juuri lainkaan talteen. Sen sijaan perinteiset metallit, kuten kupari ja kulta kiertävät hyvin.

Yksi suomalaisen teollisuuden haaste on, että suurin osa tuotteista menee vientiin eri puolille maailmaa. Koneita ja laitteita palaa Suomeen kunnostusta ja uudelleenvalmistusta varten, mutta kierrätystä varten ei niiden rahtaaminen Suomeen ei ole taloudellisesti tai ympäristösyistä järkevää.

OSALLISTUMINEN KRIITTISTEN METALLIEN SEURANTAAN

Kyselyn lopuksi kysyttiin yritysten kiinnostusta osallistua kriittisten metallien ja metalliyhdistelmien käyttöön ja kierrätykseen keskittyvään seurantaryhmään, jos sellainen perustettaisiin Suomeen huoltovarmuustoiminnan yhteyteen.

Vastaajista lähes kolmannes oli kiinnostunut osallistumaan tämän alueen seurantaryhmään, jos sellainen olisi tarjolla.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden hinta ja saatavuus vaikuttavat laajasti suomalaiseen teollisuuteen. Kriittisten metallien (harvinaiset maametallit, jalometallit, koboltti) saatavuuden varmistaminen raaka-ainemarkkinoiden mahdollisissa häiriötilanteissa on Teknologiapoolin jäsenyritysten ja koko huoltovarmuuden kannalta strateginen kysymys. Näiden raaka-aineiden kysyntää kasvattavat voimakkaasti mm. uudet energiamuodot (tuuli- ja aurinkovoima) sekä esimerkiksi sähköautojen ja LED-valaistuksen yleistyminen. Eri skenaarioiden mukaan vuoteen 2030 mennessä tulee pulaa useista kriittisistä metalleista.

Esiselvityksen haastattelujen ja verkkokyselyn perusteella yritykset ovat pääosin tietoisia kriittisten metallien saatavuuteen liittyvistä riskeistä, kuten materiaalien varantojen ja valmistuksen voimakkaasti keskittymiseen tiettyihin maihin. Haasteena on, että vaikka riskeistä ollaan tietoisia, yritykset näyttävät olevan liiankin luottavaisia kriittisten metallien saatavuuteen. Kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden varmuusvarastointi nähdään järkevänä tavoitteena, mutta käytännön toteutus pitää suunnitella huolella.

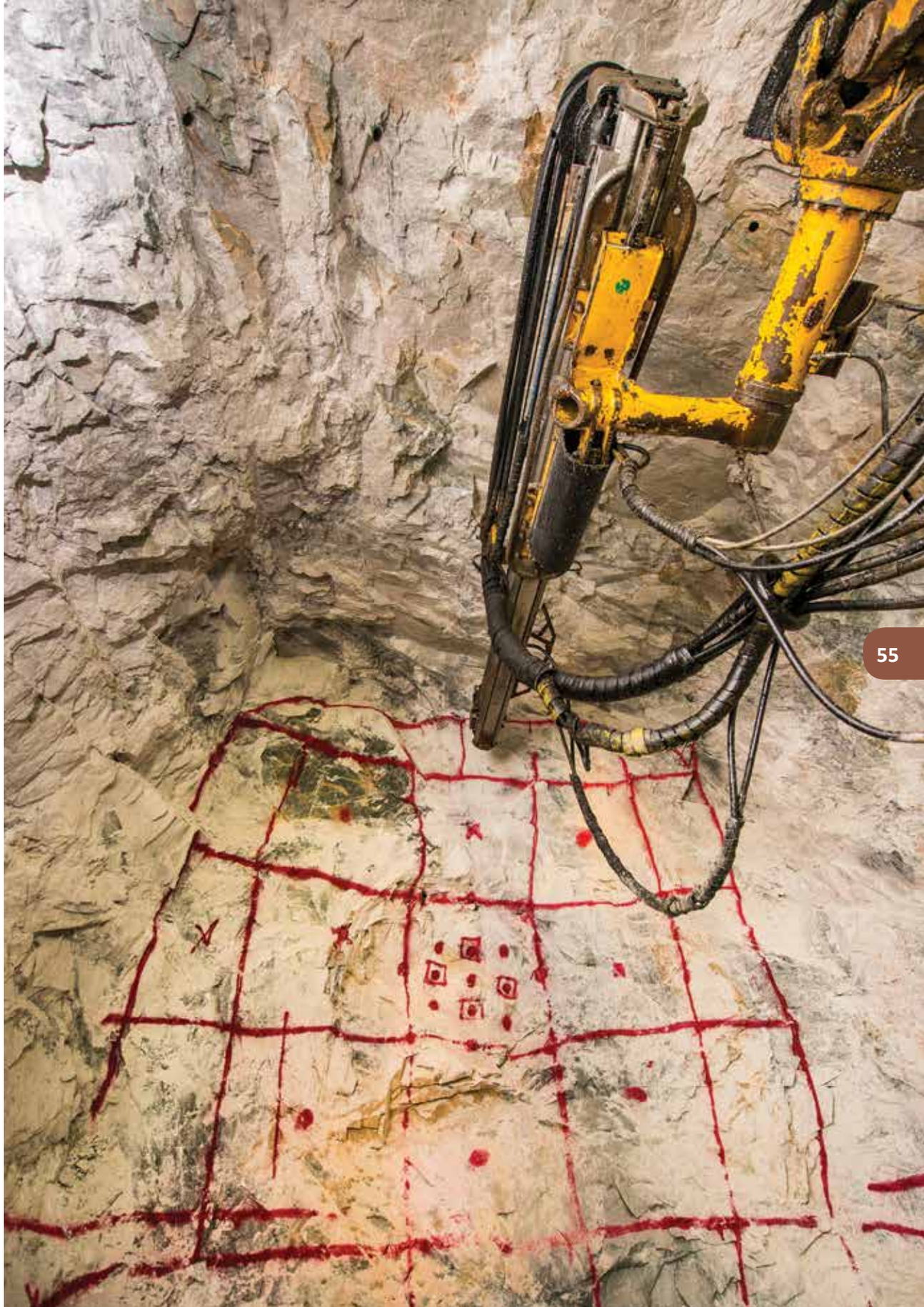
Kiinan ylituotannon ja matalien markkinahintojen vuoksi kriittisten metallien uusiin kierrätysratkaisuihin ei tällä hetkellä juurikaan investoida, vaikka esimerkiksi Euroopan unioni on korostanut kierrätyksen merkitystä. Kiertotalouden myötä raaka-aineiden talteenotto erityisesti sähkö- ja elektroniikkaromusta on kasvussa.

> *”…koska unioni on riippuvainen raaka-aineiden tuonnista ja koska huomattava määrä luonnonvaroja on lyhyellä aikavälillä nopeasti ehtymässä, keskeisenä haasteena on ottaa unionissa talteen mahdollisimman paljon resursseja ja tehostaa siirtymistä kohti kiertotaloutta.” (Schaldemose, 2017)*

Huoltovarmuuskeskuksella voisi olla tässä kentässä merkittävä rooli uusien toimintamallien kehittäjänä, yritysten verkostoijana ja tietämyksen lisääjänä.

Ensimmäisenä käytännön askeleena voisi olla **kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden seurantaryhmän perustaminen** Huoltovarmuuskeskuksen sateenvarjon alla. Haastatteluissa ja verkkokyselyssä tunnistettiin joukko johtavia suomalaisia teollisuusyrityksiä, jotka olisivat kiinnostuneita osallistumaan tällaiseen toimintaan.

Seurantaryhmän ensimmäisenä tehtävänä voisi olla tarkemman **tilannekuvan** luominen kriittisten metallien käytöstä ja merkityksestä suomalaiselle teollisuudelle. Tämän pohjalta ryhmä voisi laatia eri sidosryhmien kanssa yhteistyössä Suomelle kriittisten metallien ja metalliyhdisteiden strategian toimenpide-ehdotuksineen.



LÄHDELUETTELO

Aalto-yliopisto, 17.12.2015. Kriittisten katalyyttimateriaalien tutkimukselle rahoitusta Horisontti 2020 -ohjelmasta. Saatavilla verkossa os. *http://www.aalto.fi/fi/current/news/2015-12-17-005/*

Bailey Grasso, V. (2012). Rare Earth Elements in National Defence: Background, Oversight Issues, and Options for Congress. Saatavilla verkossa os. *http://china.usc.edu/sites/default/files/legacy/AppImages/crs-2012-rare-earths-national-defense.pdf*

Bakas, I. et al. (2016). Critical metals in discarded electronics – Mapping recycling potentials from selected waste electronics in the Nordic region. TemaNord 2016:526. Saatavilla verkossa os. *http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:936670/FULLTEXT02.pdf*

Blagoeva, D.T. et al. (2016). Assessment of potential bottlenecks along the materials supply chain for the future deployment of low-carbon energy and transport technologies in the EU. Wind power, photovoltaic and electric vehicles technologies, time frame: 2015 – 2030. European Commission. JRC Science for Policy Report. Saatavilla verkossa os. *https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/assessment-potential-bottlenecks-along-materials-supply-chain-future-deployment-low-carbon*

Buchert, M. et al. (2012). Recycling critical raw materials from waste electronic equipment. Oeko-Institut e. V., Freiburg, Germany.

"China to cap annual rare earth mining". Shanghaidaily.com, 19.10.2016. Saatavilla verkossa os. *http://www.shanghaidaily.com/business/energy/China-to-cap-annual-rare-earth-mining/shdaily.shtml*

Desjardins, J. (2017). Cobalt: A Precarious Supply Chain. Visual Capitalist, 9.1.2017. Saatavilla verkossa os. *http://www.visualcapitalist.com/cobalt-precarious-supply-chain/*

European Commission (2014). Report on critical raw materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials. May 2014. Saatavilla verkossa os. *http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/10010/attachments/1/translations/en/renditions/pdf*

European Commission (2016). Raw Materials Scoreboard. European Innovation Partnership on Raw Materials. Saatavilla verkossa os. *file:///C:/Users/doctor/Downloads/raw_materials_scoreboard_2016.pdf*

Gasdia-Cochrane, M. (2016). Rare Earths Update. Thermo-Fisher Scientific. Saatavilla verkossa os. *https://www.thermofisher.com/blog/mining/rare-earths-update/*

Gandon, S. (2017). No cobalt, no Tesla? TechCrunch, 1.1.2017. Saatavilla verkossa os. *https://techcrunch.com/2017/01/01/no-cobalt-no-tesla/*

GTK (2011). Hi-tech-metalli esiintymät Suomessa. Saatavilla verkossa os. *http://www.gtk.fi/export/sites/fi/geologia/luonnonvarat/kartat/GTK_hi_tech_metalliesiintymat.pdf*

Hagelüken, C. & Buchert, M. (2008). The mine above ground – opportunities & challenges to recover scarce and valuable metals from EOL electronic devices. Presentation at the IERC, Salzburg, 17.01.2008.

Home, A. (2017). If you thought lithium was exciting, try cobalt. Saatavilla verkossa os. *http://www.reuters.com/article/us-cobalt-market-ahome-idUSKBN17D034*

Ider, K. (2015). Recapture strategic value chains in the rare earth market. A Contemporary Market Analysis Of Rare Earths And Their Economic Implications. Bachelor of Arts. Berlin School of Economics and Law.

Kilhman, S. & Lauri, L.S. (2013). Kriittiset metallit ja mineraalit sekä niiden alueellinen jakautuminen ja esiintymispotentiaali Suomen ja Fennoskandian alueilla. Geologian tutkimuskeskus, 102/2013.

Kulomäki, Suvi (2016). Piirilevyjen koostumuksesta ja kierrätyksestä. Pro gradu -tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos.

Morrison, W.M. & Tang, R. (2012). China's Rare Earth Industry and Export Regime: Economic and Trade Implications for the United States. Congressional Research Service, R42510. Saatavilla verkossa os. *https://fas.org/sgp/crs/row/R42510.pdf*

Raw Materials Scoreboard. European commission, 2016. Saatavilla verkossa os. *https://bookshop.europa.eu/en/raw-materials-scoreboard-pbET0416759/*

Reuters (2010). China's dream for rare earths rests on grim costs. November 3, 2010. Saatavilla verkossa os. *http://www.reuters.com/article/us-china-rareearths-idINTRE6A13B520101103*

Sarapää et al., 2010. Hi-tech metallien globaalit varannot, tuotanto ja käyttö sekä Suomen potentiaali. Geologian tutkimuskeskus. Saatavilla verkossa os. *http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m10_1_2010_36.pdf*

Schaldemose, C. (2017). Lausuntoluonnos, Euroopan parlamentti, 8.3.2017, (PE595.378v01-00) tuotteiden käyttöiän pidentämisestä: kuluttajien ja yritysten saama hyöty. (2016/2272(INI)).

Tiihonen, A. (2014). Harvinaisista maametalleista ja niiden erotusmenetelmistä. Pro gradu -tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos.

UNEP (2011a). Metal stocks & recycling rates. Assessing mineral resources in society.

UNEP (2011b). Recycling rates of metals – A Status Report. A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. Graedel, T.E., Allwood, J., Birat, J-P., Reck, B.K., Sible, S.F., Sonnemann, G., Buchert, M., Hagelüken, C.

UNEP (2013). Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. Reuter, M. A.; Hudson, C.; van Schaik, A.; Heiskanen, K.; Meskers, C.; Hagelüken, C.

USGS (2012). Mineral commodity summaries 2012. U.S. Geological Survey. Saatavilla verkossa os. *http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcs2012.pdf*

USGS (2016). U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2016. Saatavilla verkossa os. *https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/mcs-2016-raree.pdf*

LIITE 1. HAASTATELLUT YRITYKSET JA MUUT ORGANISAATIOT

1. ABB
2. AGCO / VALTRA
3. EATON
4. EIT RAW MATERIALS
5. EKOKEM
6. HUOLTOVARMUUSKESKUS
7. JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
8. KONE
9. KUUSAKOSKI
10. MILLOG / SENOP
11. NEOREM MAGNETS
12. NESTE
13. NOKIA
14. PLANMECA
15. PUOLUSTUSVOIMAT
16. SISU AUTO
17. TEKNOLOGIATEOLLISUUS
18. UMICORE

HUOLTOVARMUUSKESKUS
FÖRSÖRJNINGSBEREDSKAPSCENTRALEN
NATIONAL EMERGENCY SUPPLY AGENCY