



Kriittiset metallit ja mineraalit sekä niiden alueellinen jakautuminen ja esiintymispotentiaali Suomen ja Fennoskandian alueilla

Susanna Kihlman ja Laura S. Lauri





GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

KUVAILULEHTI

Päivämäärä / Dnro

| | | | |
|--|----------------|--|-----------------------|
| Tekijät Susanna Kihlman ja Laura S. Lauri | | Raportin laji Arkistoraportti | |
| | | Toimeksiantaja Geologian tutkimuskeskus | |
| Raportin nimi Kriittiset metallit ja mineraalit sekä niiden alueellinen jakautuminen ja esiintymispotentiaali Suomen ja Fennoskandian alueilla | | | |
| Tiivistelmä Euroopan komissio laati vuonna 2008 raaka-ainealoitteen (Raw Materials Initiative), jossa tarkasteltiin EU:n asemaa maailman raaka-ainemarkkinoilla ja unionin talouteen vaikuttavia raaka-ainevirtoja. Aloitteen seurauksena komission kokoama työryhmä määritteli vuonna 2010 EU:n talouden kannalta kriittiset metallit ja mineraalit. Näitä olivat antimoni, beryllium, fluoriitti, gallium, germanium, grafiitti, harvinaiset maametallit (REE), indium, koboltti, magnesium, niobi, platinaryhmän metallit (PGM), tantaali ja volframi. Osaa kriittisistä raaka-aineista louhitaan tai jalostetaan Suomessa (koboltti, germanium, PGM) tai niiden tuotantoprojekteja suunnitellaan. Suomen kallioperä on potentiaalinen usean kriittisen metallin ja mineraalin esiintymiselle. Tässä raportissa tarkastellaan raaka-ainekohtaisesti kaikkia neljäätoista kriittistä metallia ja mineraalia, niiden käyttöä, tuotantoa ja varantoja maailmalla sekä esiintymispotentiaalia Suomessa ja lähialueilla (Ruotsi, Norja, Venäjän Karjala ja Kuola). Lähtöaineistoina on käytetty eri lähteistä saatuja tuotanto- ja varantotilastoja, GTK:n omia tietokantoja ja tutkimuksia sekä kansainvälisessä yhteistyössä laadittuja malmiesiintymäkartoja, tietokantoja ja raportteja. Raportti kuuluu TEKES:in rahoittamaan LowCFinPlat2050-hankekokonaisuuteen. | | | |
| Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) kriittiset metallit ja mineraalit, alueellinen jakautuminen, esiintymispotentiaali | | | |
| Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Suomi, Fennoskandia | | | |
| Karttalehdet | | | |
| Muut tiedot Väliraportti TEKES:in LowCFin2050Plat-hankekokonaisuuteen | | | |
| Arkistosarjan nimi | | Arkistotunnus 102/2013 | |
| Kokonaissivumäärä 18 sivua | Kieli suomi | Hinta | Julkisuus Julkinen |
| Yksikkö ja vastuualue Pohjois-Suomen yksikkö | | Hanketunnus 4121003 | |
| Allekirjoitus/nimen selvennys Susanna Kihlman | | Allekirjoitus/nimen selvennys Laura Lauri | |





Sisällysluettelo

Kuvailulehti

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | KRIITTISET METALLIT JA MINERAALIT | 1 |
| 2.1 | Antimoni (Sb) | 2 |
| 2.2 | Beryllium (Be) | 3 |
| 2.3 | Fluoriitti | 4 |
| 2.4 | Gallium (Ga) | 4 |
| 2.5 | Germanium (Ge) | 4 |
| 2.6 | Grafiitti (C) | 5 |
| 2.7 | Indium (In) | 5 |
| 2.8 | Koboltti (Co) | 6 |
| 2.9 | Magnesium (Mg) | 8 |
| 2.10 | Niobi (Nb) | 9 |
| 2.11 | PGM– platinaryhmän metallit (PGM; Ru, Rh, Pd, Pt, Ir, Os) | 9 |
| 2.12 | REE – harvinaiset maametallit (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y, Sc) | 10 |
| 2.13 | Tantaali (Ta) | 12 |
| 2.14 | Volframi (W) | 13 |
| 3 | YHTEENVETO | 13 |

KIRJALLISUUSLUETTELO



4.4.2013

1 JOHDANTO

Kaivosteollisuuden vähenemisen myötä Euroopan unionin teollisuus on lähes täysin riippuvainen metallien tuonnista. Euroopan komissio laati vuonna 2008 raaka-ainealoitteen (Raw Materials Initiative), jossa tarkasteltiin Euroopan unionin asemaa maailman raaka-ainemarkkinoilla ja unionin talouteen vaikuttavia raaka-ainevirtoja (<http://www.euromines.org/sites/default/files/content/files/raw-materials-initiative/raw-materials-initiative.pdf>). Raaka-ainealoitteessa määriteltiin kymmenen toimenpidettä Euroopan komissiolle, jäsenmaille ja teollisuudelle raaka-aineiden tuonti-riippuvuuden hallitsemiseksi ja vähentämiseksi.

Raaka-ainealoitteen seurauksena Euroopan komissio kokosi työryhmän, joka määritteli raportissaan Euroopan teollisuuden kannalta kriittiset metallit ja mineraalit (Critical raw materials for the EU, 2010; http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf). Työryhmä tarkasteli kaikkiaan 41 metallista ja mineraalista raaka-ainetta, joiden kriittisyyttä Euroopan taloudelle mitattiin niiden taloudellisen merkittävyyden, saantiriskien ja tuotantomaiden ympäristöriskien perusteella lasketuilla indekseillä. Kriittisiksi luettiin sellaiset raaka-aineet, joilla havaittiin sekä kohtalainen tai korkea taloudellinen merkittävyys että saantiriski, joka muodostui tuottajamaiden poliittis-ekonomisesta epätasapainosta, tuotannon keskittymisestä ja heikosta korvaus- ja kierrätyspotentiaalista. Kaikkiaan neljätoista raaka-ainetta täytti kriittisyyden kriteerit; näitä olivat antimoni, beryllium, fluoriitti, gallium, germanium, grafiitti, harvinaiset maametallit (REE), indium, koboltti, magnesium, niobi, platinaryhmän metallit (PGM), tantaali ja volframi.

Kriittisten metallien listalla on useita sellaisia metalleja ja mineraaleja, joita jo louhitaan tai jalostetaan Suomessa (koboltti, germanium, PGM) tai joiden tuotantoprojekteja suunnitellaan. Useiden kriittisten metallien ja mineraalien esiintymiä tunnetaan Suomen kallioperässä ja suurella osalla raaka-aineista on hyvä löytymispotentiaali uusille esiintymille.

2 KRIITTISET METALLIT JA MINERAALIT

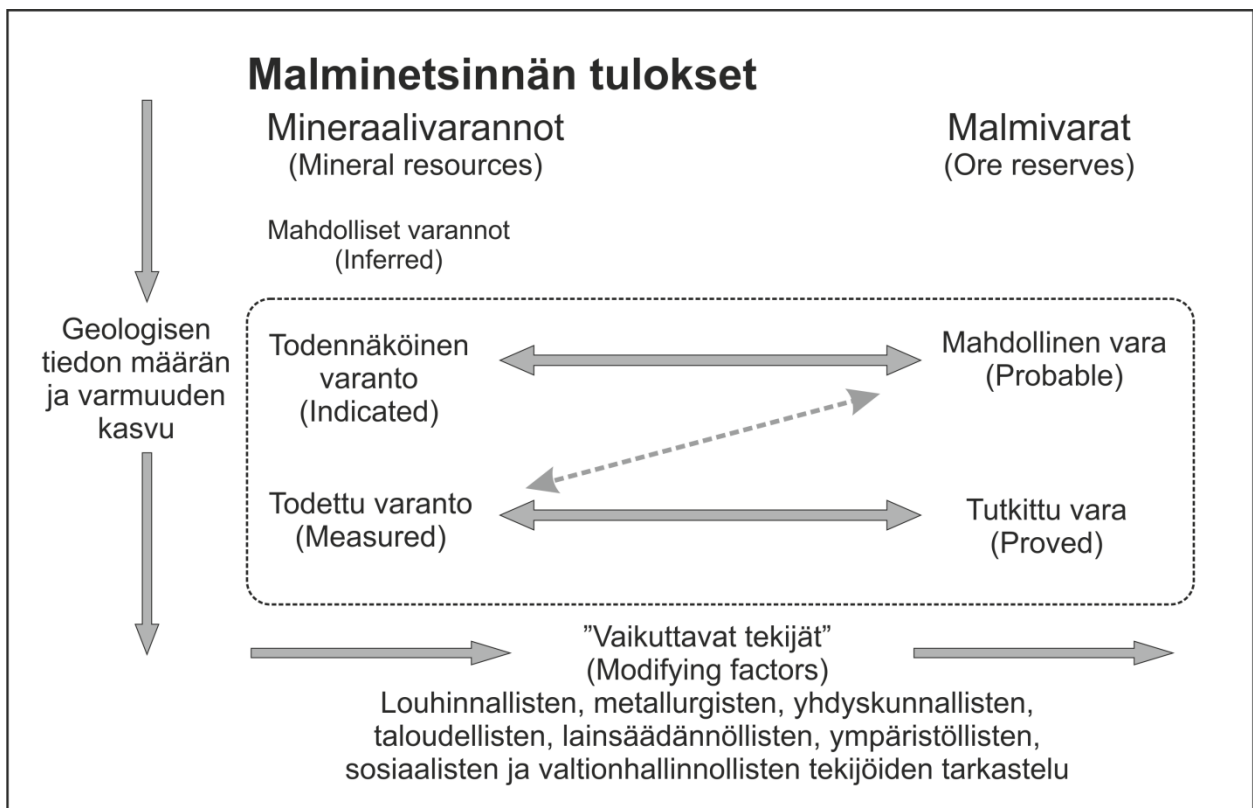
Seuraavassa osassa tarkastellaan metalli- ja mineraalikohtaisesti kaikkia kriittisiksi luokiteltuja metalleja ja mineraaleja, niiden käyttöä, tuotantoa ja varantoja maailmalla sekä esiintymispotentiaalia Suomessa ja lähialueilla (Ruotsi, Norja, Venäjän Karjala ja Kuola). Esiintymispotentiaaliarvio perustuu GTK:n omiin tietokantoihin ja tutkimuksiin sekä yhteistyössä Ruotsin geologisen tutkimuslaitoksen (SGU), Norjan geologisen tutkimuslaitoksen (NGU) ja venäläisten geologian alan instituuttien (Geological Institute, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences; Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences; SC Mineral, St. Petersburg) kanssa laadittuihin malmiesiintymäkarttoihin (Metallogenic Map of Fennoscandia, Ore Deposit Map of Fennoscandia), tietokantaan (Fennoscandian Ore Deposit Database FODD; <http://en.gtk.fi/informationsservices/databases/fodd/index.html>) ja raportteihin

(http://en.gtk.fi/informationsservices/databases/fodd/critical_metals.html). Ainekohtaiset tilastotiedot perustuvat pääosin Yhdysvaltojen geologisen tutkimuslaitoksen (USGS) vuonna 2012 julkaisemaan, vuosittain ilmestyvään yhteenvertaamoon mineraalimarkkinoista ja mineraalien vuosikirja-raportteihin (2010), Itävallan talous- ja työministeriön julkaisemaan World Mining Data 2012 -koosteeseen (WMD 2012) sekä Iso-Britannian geologisen tutkimuslaitoksen (BGS) julkaisemiin mineraalikohtaisiin raportteihin.

Raportissa käytetään esiintymä- ja tilastotietojen yhteydessä käsitteitä varannot ja varat. Mineraalivarannoiksi lasketaan esiintymät, joissa mineraalin pitoisuus on riittävän korkea ja sellaisessa muodossa, että sen hyödyntäminen on ajateltavissa. Varaksi kutsutaan sitä varannon osuutta joka nykyisessä teknistaloudellisessa tilanteessa on taloudellisesti hyödynnettävissä. Varojen ja varantojen rajat eivät ole pysyvät vaan niiden suhteisiin vaikuttavat monet tekijät, jotka on esitetty kuvassa 1. Kuva perustuu australialaiseen, malminetsinnän tulosten, mineraalivarantojen ja malmivarojen raportoinnin standardoimiseen pyrkivään säännöstöön (JORC 2012). Tässä raportissa esitetyt varantojen määrät vastaavat kuitenkin vain osin standardin asettamia vaatimuksia. Esimerkiksi useimpien FODD-tietokannassa olevien esiintymien resurssitiedot ovat geologisia in situ -arvioita, jotka eivät täytä moderneja malmivara- ja malmivarantostandardeja. Lisätietoja FODD-aineistosta löytyy Geologian tutkimuskeskuksen julkaisemasta tutkimusraportista (Eilu et al. 2007).



4.4.2013



Muokattu: JORC 2012

Kuva 1. Mineraalivarantojen ja malmivarojen määrittyminen ja niihin vaikuttavat tekijät.

2.1 Antimoni (Sb)

Antimoni (järjestysluku = 51) on hopeanhohtoinen kova ja hauras alkuaine, joka luokitellaan alkuaineiden jaksollisessa järjestelmässä puolimetalleihin. Antimonin osuus maankuoresta on 0.0001 % ja se esiintyy yleensä antimonisulfidi- (esim. stibniitti Sb_2S_3 ja jamesoniitti $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$) tai antimonioksidimineraaleina (Sb_2O_3 , esim. senarmoniitti ja valentiniitti), joko yksin tai monimetallimalmeina joissa antimonin lisäksi arvoaineina on kuparia, lyijyä tai hopeaa. Antimoni ja sen yhdisteet ovat toisen luokan myrkyjä. Teollisuudessa antimonia käytetään pääasiassa oksidimuotoisena (Sb_2O_3) palonestoaineena tekstiileissä, muoveissa ja elektronisissa laitteissa. Muita käyttökohteita ovat lyijyakut, joissa antimonia lisätään lyijylevyihin niiden käyttöön pidentämiseksi, sekä lasiteollisuus, kemianteollisuus ja pigmentit. Tulevaisuudessa antimonia arvioidaan hyödynnettävän laajemmin puolijohdeteollisuudessa, ja sitä pidetään mahdollisena korvaavana aineena LCD-näyttöihin käytettävälle indiumtinaoksidille.

Antimonin maailmanlaajuinen tuotanto oli 167 kt vuonna 2010 (USGS 2012). Ylivoimaisesti suurin tuottaja on Kiina (87 %), muita tuottajia ovat Bolivia, Tadžikistan, Etelä-Afrikka ja Venäjä (<3 %). Muiden maiden osuus jää alle yhden prosentin. Pääosa tuotannosta (>98 %) tulee maailmanpankin luokituksen mukaan poliittiselta stabiilitteiltään kriittisistä maista (WMD 2012). Varoista ja varannoista suurin osa sijaitsee Kiinassa, Venäjällä, Boliviassa sekä Etelä-Afrikassa ja Meksikossa (USGS 2012). Antimonin kierrätys tapahtuu pääosin akkuteollisuuden sekä tuottamana että käyttämänä antimonipitoisena lyijynä. Viime vuosina kyseisen teollisuuden haaran antimonin kulutus on kuitenkin kokonaisuudessaan vähentynyt.

2.1.1 Antimonin esiintyminen Suomessa ja Fennoskandian alueella

Suomesta tunnetaan yksi varsinainen antimoniesiintymä, joka sijaitsee Nurmon Kalliosalossa Pohjanmaalla. Kalliosalon esiintymän löysi Geologinen tutkimuslaitos (nyk. GTK) 1970-luvun lopulla. Esiintymää tutkivat 1980-luvulla Myllykoski Oy ja Malmikaivos Oy, mutta tutkimukset eivät edenneet kaivostoimintaan asti. Kalliosalon esiintymässä on malmiarvion mukaan 1.04 Mt malmia, jonka keskimääräinen antimonipitoisuus on 0.41 % (Tyni 1983). Päämalmimineraalina on metallinen antimoni sekä vähäisemmissä määrissä esiintyvä stibniitti. Lisäksi esiintymässä on sivutuotteina kultaa ja hopeaa. Esiintymä on tällä hetkellä vallattu (Jouko Jylänki, valtauksen raukeamispäivä 29.3.2015).


GTK

4.4.2013

Ruotsissa on joitakin massiivisia sulfidiesiintymiä, joissa on mukana antimonia. Kaikkiaan Ruotsin antimonivarantojen arvioidaan olevan noin 25 000 t suuruisia (Hallberg 2012a). Norjasta tunnetaan joitakin esiintymiä (Reppen, Svenningdal ja Mikkel-fjord), joissa antimoni esiintyy yhdessä muiden metallien (kulta, hopea, lyijy) kanssa. Svenningdalin esiintymästä on louhittu hopeaa vuosina 1877–1899, mutta ei ole tiedossa, hyödynnettiinkö myös antimonia tuolloin.

2.2 Beryllium (Be)

Beryllium (järjestysluku = 4) on metallisista alkuaineista kevyimpiä. Se kuuluu jaksollisessa järjestelmässä maa-alkalimetallien ryhmään ja esiintyy luonnossa berylliumsilikaatteina (bertrandiitti $\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$, berylli $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$, krysoberylli BeAl_2O_4), joista kahta jälkimmäistä käytetään myös jalokivinä (erityisesti beryllin läpinäkyvät muodot akvamariini, morganiitti ja smaragdi). Metallinen beryllium on kevyttä, teräksenharmaata, haurasta ja erittäin myrkyllistä. Beryllium ja sen yhdisteet on luokiteltu ensimmäisen asteen karsinogeeniksi. Pääasiallisesti berylliumia käytetään seoksissa kuparin kanssa, berylliumoksidi-keraameissa ja metallimuotoisena tuotteissa, joita käytetään mm. autoissa, lento- ja avaruusteollisuudessa, tietokoneissa, lääketieteessä, ydinvoimatuotannossa, öljyn- ja kaasun porauksessa ja telekommunikaatioissa. Berylliumin hinta on korkea muihin materiaaleihin verrattuna, joten sitä käytetään vain sovelluksissa, joissa sen ominaisuudet ovat ratkaisevia. Yhdysvalloissa korkean puhtausasteen beryllium on määritetty sekä strategiseksi että kriittiseksi materiaaliksi. Berylliumin tuotanto oli 205 t vuonna 2010. Suurimmat tuottajat olivat Yhdysvallat (180 t) ja Kiina (22 t) (USGS 2012). Jonkin verran tuotantoa oli myös Mosambikissa ja muissa maissa. Maankuoressa berylliumin pitoisuus on alle 6 ppm. Berylliumvaroja ei ole maailmanlaajuisella tasolla määritelty riittävästi johdonmukaisten arviointien tekemiseksi. Tästä huolimatta niiden on kuitenkin arvioitu olevan suuremmat kuin 80 000 t, ja niistä n. 65 % sijaitsee Yhdysvalloissa (USGS 2012). Berylliumin kierrätys tapahtuu pääosin valmistuksen ohessa muodostuneen metallijätteen kierrätyksestä, eikä tarkkoja lukuja ole saatavilla. Arvio kierrätetyn aineksen osuudesta on 10 % kulutuksesta (USGS 2012).

2.2.1 Berylliumin esiintyminen Suomessa ja Fennoskandian alueella

Suomen ja Fennoskandian alueelta tunnetaan yhdeksän esiintymää, joissa beryllium on yksi mahdollisista arvometalleista. Näiden esiintymien yhteenlasketut berylliumvarannot ovat 127 Mt berylliummalma, jossa malmin berylliumpitoisuus vaihtelee esiintymästä riippuen 0.0053 % ja 0.27 % välillä. Tällä hetkellä berylliumia ei tuoteta Suomessa tai lähialueilla. Suomen pisimmälle tutkittu berylliumesiintymä on Kemiönsaaren Rosendalissa oleva pegmatiittijuoni, josta on louhittu kvartssia sekä pieniä määriä berylliä ja Nb-Ta-mineraaleja jo 1900-luvun alkupuolella (Alviola 1997). Rosendalin pegmatiitti on ainakin 500 m pitkä ja 5-15 m leveä juoni, joka koostuu albiitti-kvartsiapliittista. Tärkeimmät berylliummineraalit Rosendalin juonessa ovat krysoberylli ja berylli. Alustavan malmiarvion mukaan (Alviola 1997) juonessa on ainakin 1.3 miljoonaa tonnia apliittia, jonka keskimääräinen berylliumoksidipitoisuus on 392 ppm. Lisäksi Rosendalin juonessa on tantaalia. Rosendalin juonen ympäristössä on lisäksi ainakin kolmekymmentä pienempää berylliumpitoista pegmatiittijuonta. Suomesta tunnetaan berylliumpitoisia pegmatiittijuoniparvia Rosendalin lisäksi mm. Someron-Tammelán, Eräjärven, Heino-lan, Kaatialan ja Kiteen alueilla sekä Luumäen ja Kymen ympäristössä, missä pieniä määriä berylliä on louhittu jalokivituotantoon. Näillä esiintymillä ei kuitenkaan katsota olevan taloudellista merkitystä. Suomen lähialueilla on useita malmiesiintymiä, joissa beryllium on yksi mahdollisista arvometalleista. Norjan Høgtuvassa sijaitsevan esiintymän varannot ovat kaikkiaan 350 000 tonnia malma, jonka berylliumpitoisuus on 0.18 % (Wilberg 1989; Wilberg ja Lindahl 1991). Esiintymän päämalmimineraali on berylliumsilikaatti fenakiitti (Be_2SiO_4), minkä lisäksi esiintymästä tunnetaan useita muita berylliumpitoisia mineraaleja. Høgtuvan esiintymän muita arvometalleja ovat niobi, zirkonium ja uraani. Esiintymää ei ole toistaiseksi otettu tuotantoon. Venäjän alueelta Karjalasta ja Kuolan niemimaalta tunnetaan myös useita berylliumesiintymiä. Laatokan pohjoisrannalla olevan Jugo-Zapadnoe Lupikon esiintymän suuruus on 2.35 miljoonaa tonnia malma, jonka berylliumpitoisuus on 0.11 % (Mineral Resources of the Republic of Karelia 2005). Esiintymän pääasiallinen berylliummineraali on berylli, lisäksi esiintymässä on merkittäviä pitoisuuksia sinkkiä (2.94 %) ja tinaa (0.27 %). Kuolan niemimaan tunnetut berylliumesiintymät ovat Bol'shoi Lapot', Nyal'm-1, Polmost Tundra ja Kolmozerskoe. Bol'shoi Lapot' sijaitsee Murmanskin kaupungin itäpuolella Pohjois-Kuolassa. Esiintymässä lasketaan olevan 10.5 miljoonaa tonnia malma, jossa on berylliumin (keskipitoisuus 0.06 %) lisäksi litiumia (keskipitoisuus 0,005 %), niobia (keskipitoisuus 100 ppm) ja tantaalia (keskipitoisuus 50 ppm; Korovkin ym. 2003). Nyal'm-1-esiintymässä arvometalleina ovat kulta (6.7 ppm) ja beryllium (0.058 %), joskaan berylliumpitoisia mineraaleja ei ole mainittu esiintymäkuvauksessa (Pozhilenko ym. 2002). Polmost Tundra ja Kolmozerkoe esiintymissä on berylliumin (0.019-0.027 %) lisäksi litiumia (>0.5 %), niobia (70–110 ppm) ja tantaalia (32–75 ppm). Esiintymien varannoiksi on raportoitu kymmeniä miljoonia tonneja malma, mutta ne eivät toistaiseksi ole tuotannossa (Korovkin ym. 2003).



4.4.2013

2.3 Fluoriitti

Fluoriitti (CaF_2) on alkuaine fluorin (järjestysluku = 9) ja kalsiumin (järjestysluku = 20) muodostama mineraali, joka on pieninä määrinä verrattain yleinen monissa kivilajeissa. Alkuaineena fluori ei esiinny luonnossa vapaana reaktiivisuutensa vuoksi, sen sijaan fluoria ja sen yhdisteitä tuotetaan fluoriitista. Fluoriitin käyttökohde riippuu sen laadusta, eli CaF_2 pitoisuudesta ja epäpuhtauksien määrästä. Suurin osa (2/3) fluoriitista käytetään teollisuudelle tärkeän vetyfluoridin eli fluorivetyhapon (HF) valmistukseen. Vetyfluoridia käytetään kemianteollisuudessa ja metalliteollisuudessa (erityisesti alumiinisulatoissa) ja se toimii kaikkien fluoripitoisten yhdisteiden pohjana (BGS 2011).

Fluoriitin tuotanto oli vuonna 2010 noin 6 Mt (USGS 2012; WMD 2012), josta suurin osa tuli Kiinasta (56 %), Meksikosta (18 %) ja Mongoliasta (7 %). Varojen suuruudeksi on arvioitu 240 000 kt/100 % kalsiumfluoridia (USGS 2012). Suurimmat varat löytyvät Etelä-Afrikasta, Meksikosta, Kiinasta ja Mongoliasta. Tunnettuja varantoja on USGS:n arvion mukaan 500 Mt (2012), mutta fosfaattikiviin sitoutuneena oleva fluorimäärä on tätä huomattavasti suurempi. Fosfaattikivien varannot ovat 65 miljardia tonnia, joka vastaa 4,7 miljardia tonnia 100 % kalsiumfluoridia.

2.3.1 Fluoriitin esiintyminen Suomessa ja Fennoskandian alueella

Vaikka joissakin kivilajeissa (esim. rapakivigraniitit, alkalikivet) esiintyy yleisesti fluoriittia, ovat pitoisuudet niin pieniä, ettei Suomen alueelta tunneta yhtään varsinaista fluoriittiesiintymää. Fennoskandian alueella tärkeimmät tunnetut esiintymät ovat Norjassa ja Ruotsissa (Gautneb 2012a). Norjan alueelta tunnetaan n. 30 fluoriittiesiintymää. Suurin näistä on Lassedalen, jossa arvioidaan olevan n. 4 miljoonaa tonnia malmia, jonka keskipitoisuus on 29 % fluoriittia. Ruotsin Storumanin fluoriittiesiintymä on Fennoskandian suurin, sen malmiarvio on 28 miljoonaa tonnia malmia, jossa on keskimäärin 10.2 % fluoriittia (Tertiary Minerals plc Annual Report 2012). Esiintymän haltija Tertiary Minerals plc tutkii parhaillaan Storumanin esiintymää ja selvittää, olisiko kaivostoiminnan aloittaminen mahdollista. Sama yhtiö omistaa oikeudet myös Lassedalenin esiintymään. Venäjän Karjalasta tunnetaan myös muutama fluoriittiesiintymä (Kitelä, Hopunvaara ja Uksinskoe), mutta esiintymät eivät ole tuotannossa eikä niiden varannoista ole saatavilla tarkempaa tietoa.

2.4 Gallium (Ga)

Gallium (järjestysluku = 31) on pehmeä ja hauras metalli, jolla on hyvin alhainen sulamispiste (29.77 °C). Sulamispiste on yksi Kansainvälisen lämpötila-asteikon 1990 (ITS-1990) kalibrointipisteistä (Preston-Thomas 1990). Gallium esiintyy luonnossa bauksiitti- (alumiini) ja sinkkimalmien yhteydessä, hivenaineena bauksiitin savimineraalien ja sinkkivälkkeen hilassa. Suurin osa galliumista prosessoidaan galliumarsenidi- tai galliumnitridimuotoon, joita käytetään puolijohdeteollisuudessa. Älypuhelimet, joiden kysyntä on viime vuosina jatkuvasti kasvanut, sisältävät galliumarsenidia jopa kuusi kertaa enemmän kuin tavalliset matkapuhelimet. Galliumnitridiä käytetään pääasiassa elektronioptisissa sovelluksissa, kuten laserdiodeissa ja LED-komponenteissa. Vähäisempiä määriä galliumia käytetään alhaisen lämpötilan sulamispisteen metalliseoksissa, joita käytetään mm. lämpömittarisovelluksissa ja juotteissa.

Koska suurin osa galliumista tuotetaan alumiinin- ja sinkintuotannon yhteydessä, on tarkan tuotantodatan keräys haastavaa ja perustuu pitkälti erilaisiin arviointeihin. Vuoden 2011 jalostetun galliumin tuotannoksi arvioitiin noin 310 tonnia, mikä käsittää sekä arvioidun primäärituotannon (216 t), että metallijätteestä jalostetun aineksen (USGS 2012). Ylivoimaisesti suurin galliumin tuottaja on Kiina, jonka tuotanto käsitti vuonna 2010 yli puolet maailman kokonaistuotannosta. Muita merkittäviä galliumin tuottajia ovat Saksa, Kazakstan ja Etelä-Korea (Jaskula 2012). Kierrätystuotanto on toistaiseksi vähäistä ja koostuu lähinnä galliumyhdisteiden tuotannon yhteydessä syntyvän jätteen uudelleenprosessoinnista.

Galliumvarojen arviointi on huomattavasti epätarkempaa moniin muihin mineraaleihin verrattaessa, koska sivutuotteena tuotettava aine esiintyy hyvin pieninä pitoisuuksina bauksiitissa ja sinkkimalmeissa ja vain osa galliumista on kannattavasti louhittavissa. Bauksiitin galliumpitoisuus on keskimäärin 50 ppm, joten pelkästään bauksiittiin sidottujen varantojen on arvioitu olevan yli miljardi tonnia, joskin näistä arvioiduista varannoista vain pieni osa on taloudellisesti hyödynnettävissä (USGS 2012).

Galliumpitoisia esiintymiä ei tunneta Suomen tai Fennoskandian alueelta.

2.5 Germanium (Ge)

Germanium (järjestysluku = 32) on kova, hauras hopeanvalkoinen puolimetalli ja puolijohde. Kemiallisesti se muistuttaa tinaa. Germanium esiintyy hivenaineena monissa malmimineraaleissa, yleisimmin sinkkivälkkeessä ja wurtziitissa, ja vain harvemmin kuparimineraaleissa kuten kuparikiisussa. Suurin osa tuotetusta germaniumista saadaankin sinkin sulatuksen sivutuotteena. Kaupallisesti merkittävät pitoisuudet ovat kuitenkin harvinaisia ja niiden esiintyminen rajoittuu vain muutamaani mineraaleihin. Jonkin verran germaniumia saadaan hiiltä polttoaineena käyttävien voimalaitosten lentotuhkasta. Germaniumin tar-



4.4.2013

keimmät käyttökohteet ovat kuituoptiikassa, infrapunaoptiikassa, katalysaattorina muoviteollisuudessa, elektroniikassa ja aurinkokennoissa. Elektroniikassa aine oli ensimmäinen kaupallisesti tärkeä puolijohde, joka on nykyään korvautunut lähinnä piillä.

Germaniumin jalostamotuotanto oli 118 t vuonna 2010 (USGS 2012). Suurimmat tuottajat ovat Kiina (54 %), Ukraina (34 %), Yhdysvallat (8 %) ja Venäjä (3 %) (WMD 2012). Keskimäärin 30 % prosenttia maailmanlaajuisesti käytetystä germaniumista on kierrätettyä. Koska germanium on sinkin jalostuksen sivutuote, on sen tuotanto voimakkaasti riippuvaista jalostamoiden kiinnostuksesta sen talteenottoon, mikä taas on aineen kysynnän ja hinnan säätelystä. Tiedot germaniumvaroista ovat rajalliset. Yhdysvalloissa varat on arvioitu 450 000 tonnin suuruisiksi (ei sis. lentotuhkaa lähteenä), muista maista numerotietoa ei ole saatavilla (USGS 2012). Maailmanlaajuiset varannot ovat liitoksissa tietynlaisiin, sulfidisiin sinkki- ja lyijysinkkimalmiin.

Suomessa OMG Kokkola Chemicals Oy jalostaa germaniumoksidia ja metallista germaniumia kobolttituotannon sivutuotteena, germaniumipohjaisten tuotteiden vuosituotannoksi on ilmoitettu 25 tonnia (Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2009). Tuotantoprosessin raaka-aineena käytetään Kongon demokraattisessa tasavallassa tuotettua metalligranulia, sekä erilaisia kobolttipitoisia välituotteita. Suomen osuus germaniumin globaalista tuotannosta on 5 % (Oakdene Hollins 2012).

Germaniumipitoisia esiintymiä ei tunneta Suomen tai Fennoskandian alueelta.

2.6 Grafiitti (C)

Grafiitti on alkuaine hiilen (järjestysluku = 6) yleisin ilmenemismuoto, pehmeä, metallikiiltainen, tahraava mineraali, jonka väri vaihtelee harmaasta mustaan. Grafiitin sulamispiste (3 927 °C) on kaikista alkuaineista korkein. Grafiitti on erittäin tulenkestävä, kemiallisesti reagoimaton, ominaispainoltaan matala, hyvän lämmön- ja sähkönjohtavuuden omaava epämetalli. Ominaisuudet ovat seurausta grafiitin rakenteesta, joka koostuu päällekkäisistä hilatasoista, joissa hiiliatomit ovat järjestäytyneet kuusikulmioista koostuvaksi heksagoniseksi rakenteeksi. Yhden atomin paksuisena kerroksena ainetta kutsutaan grafeeniksi, joka on tällä hetkellä intensiivisen tutkimuksen ja kehityksen kohteena ja on tällä hetkellä vahvin tunnettu aine. Luonnossa grafiitti esiintyy kolmessa eri muodossa: amorfisena, hiutaleisena, sekä juonina. Amorfinen grafiitti on näistä yleisin ja heikkoa laatuinen muoto, kun taas hiutaleinen muoto on harvinaisempi ja esiintyy erillisinä kiteytyneinä hiutaleina metamorfisissa kivistä. Grafiittia käytetään monissa eri sovelluksissa sulatoissa, rauta- ja terästeollisuudessa, tulenesto- ja voiteluaineena, kynissä ja akuissa.

Grafiitin kokonaistuotanto oli n. 1 000 kt vuonna 2010 (USGS 2012; WMD 2012). Suurin tuottajamaa on Kiina (73 %) ja muita tuottajia ovat mm Intia, Brasilia ja Etelä-Korea (8-9 %) sekä Kanada ja Venäjä (<3 %) (WMD 2012). Grafiittivarat on arvioitu 77000 kt suuruisiksi; näistä suurin osa sijaitsee Kiinassa (55 000 kt). Globaalien varantojen on arvioitu olevan 800 Mt hyödynnettäväksi kelpavaa grafiittia (USGS 2012). Tietoa kierrätetyn grafiitin määrästä ja arvosta ei ole saatavilla, mutta käytännössä grafiitin hyvä saatavuus markkinoilla hidastaa kierrätyksen yleistymistä.

2.6.1 Grafiitin esiintyminen Suomessa ja Fennoskandian alueella

Suomesta ei tunneta grafiittiesiintymiä, vaikka grafiittia esiintyy myös Suomen kallioperässä. Sen sijaan Ruotsissa, Norjassa ja Venäjän Karjalassa sekä Kuolan niemimaalla on useita tunnettuja ja osin tuotannossa olevia esiintymiä. Norjan Skagaland on läntisen Euroopan ainoa hiutaleimaista grafiittia tuottava kaivos, jonka vuosituotanto on 7000 t (Gautneb 2012b). Norjan alueelta tunnetaan n. 70 erikokoista grafiittiesiintymää. Ruotsissa kehitetään kahta grafiittiesiintymää (Kringelen ja Nunasvarra) mahdollista tuotannon aloittamista varten. Venäjän Karjalasta tunnetaan laajoja ns. shungiitti-tyyppin grafiittiesiintymiä, joiden yhteenlasketut varannot on arvioitu n. 6.4 miljoonaksi tonniksi (Raw Mineral Base 2005). Ainakin kaksi shungiittiesiintymää (Zazhoginskoe ja Maksovo) on tuotannossa tällä hetkellä, mutta tarkempia tuotantolukuja ei ole saatavilla.

2.7 Indium (In)

Indium (järjestysluku= 49) on erittäin pehmeä, hopeanvärinen, kiiltävä metalli, joka esiintyy hivenaineena perusmetallisulfideissa, etenkin sinkkivälkkeessä, kuparikiisussa ja stanniinissa. Indiumin omat mineraalit ovat verrattain harvinaisia ja niitä tunnetaan alle 10 kappaletta. Sinkkivälke on yleisin indiumin lähde ja suurin osa siitä saadaankin sinkkijalostuksen sivutuotteena. Indiumin pääasiallinen käyttökohde ovat ohuet LCD-näytöt, joihin käytetään yli puolet primäärisestä tuotannosta. Indiumin jalostamotuotanto oli 609 tonnia vuonna 2010, tästä yli puolet tuli Kiinasta (USGS 2012). Muita tuottajia ovat mm. Japani, Etelä-korea ja Kanada. Arvion mukaan maailmanlaajuisesti louhitusta indiumista (1500 t) vain noin 30 % päätyy jalostetuksi metalliksi (Mikolajczak 2009). Mantereisen maankuoren indium keskিপিতisuus on arvioitu 0.05 ppm suuruisiksi. Vaikka indium esiintyy yhdessä muiden perusmetallien kanssa, on suurin osa esiintymistä taloudellisesti käyttökeltottomia.



4.4.2013

Indium Corporation on arvioinut olemassa olevien sinkki- ja kuparikonsentraateissa olevien indiumvarojen suuruudeksi 50 000 t, minkä lisäksi rikastusjätteistä ja -jäämistä olisi lisäksi saatavissa 15 000 t indiumia.

Indiumin kierrätys tapahtuu pääosin indiumoksidin kautta ja kierrätetyn materiaalin osuus on kasvanut selvästi ja nopeammin kuin primäärisen indiumin kulutus (USGS 2012).

2.7.1 Indiumin esiintyminen Suomen ja Fennoskandian alueella

Varsinaisia indiumesiintymiä ei tunneta Suomesta tai lähialueilta. Indium esiintyy tyypillisesti hivenmetallina perusmetallisulfidimalmeissa, joten on luultavaa, että esim. Suomen ja Fennoskandian alueen sinkkiesiintymissä on merkittäviä indiumvarantoja (Hallberg 2012b).

2.8 Koboltti (Co)

Koboltti (järjestysluku = 27) on siirtymämetalleihin kuuluva kova, hopeanvalkoinen metalli. Se on raudan tavoin magneettista. Koboltti esiintyy yleisesti muiden metallien, kuten nikkelin ja kuparin kanssa monimetallimalmeissa, ja suurin osa tuotannosta saadaan nikkelin sivutuotteena. Tärkeitä malmimineraaleja ovat mm. kobolttihohde (CoAsS) ja kobolttipentlandiitti (Co₉S₈). Koboltin tärkeimmät käyttökohteet ovat ladattavat akkubaristot ja kovametalliseokset, joita käytetään mm. lentokonemootoreissa. Kobolttia käytetään myös katalyyttinä öljy- ja kemianteollisuudessa, kovametallina, maalien ja vernissojen kuivausaineena, väriaineena ja magneetteina.

Koboltin maailmanlaajuinen tuotanto oli yli 100 000 t vuonna 2010 (WMD 2012) mutta arvio vaihtelee jonkin verran lähteestä riippuen. Edellisuuteen verrattuna kasvua oli yli 60 %. Tuotannosta yli 65 % sijoittuu Kongon Demokraattiseen Tasavaltaan ja muita tuottajia ovat mm. Sambia (8 %), Kiina (7 %), Australia ja Kanada (<5 %). Merkittävä osa koboltista kierrätetään. Maailman kobolttivarat on arvioitu 7 500 000 t suuruisiksi (USGS 2012). Suurin osa varoista sijaitsee Kongossa (3 400 kt) ja mm. Australiassa ja Kuubassa. Maailman kobolttivarantojen on arvioitu olevan noin 15 Mt, joista suurin osa on nikkelpitoisissa lateriittiesiintymissä ja nikkeli- ja kuparipitoisissa sulfidiesiintymissä Australiassa, Kanadassa ja Venäjällä sekä sedimenttissä kupariesiintymissä Kongossa ja Sambiassa (USGS 2012).

2.8.1 Koboltin esiintyminen ja tuotanto Suomessa ja Fennoskandian alueella

Suomen tunnetut kobolttiesiintymät voidaan jakaa neljään päätyyppiin: (1) Magmaattisiin nikkeli-kupari-platinametalliesiintymiin (mm. Kevitsa, Hitura, Kotalahti), (2) Orogeenisiin kulta-kupari-kobolttiesiintymiin (mm. Kuusamon Juomasuo), (3) VMS-esiintymiin (mm. Kittilän Pahtavuoma) ja (4) Polygenettisiin esiintymiin (mm. Talvivaara, Outokumpu, Kylylahti). Tyyppiin 1 kuuluvia esiintymiä tunnetaan myös Ruotsista, Norjasta ja Venäjän Karjalasta. Suomesta ja lähialueilta löytyvät varat ovat 260 000 t kobolttia. Varantojen suuruudeksi on arvioitu n. 450 000 t kobolttia.

Suomi oli vuonna 2010 Kiinan jälkeen maailman toiseksi suurin koboltinjalostaja (USGS 2012). Suuri osa OMG Kokkola Chemicals Oy:n käsittelemästä materiaalista louhitaan muualta kuin Suomesta, mm. Kongon demokraattisesta tasavallasta ja Venäjältä. Tällä hetkellä kotimaisia koboltin tuottajia (Taulukko 1) 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 kaivos alkaa myös tuottaa kobolttia vuoden 2013 aikana ja Dragon Mining Oy:n hallitsema Juomasuon esiintymä Kuusamossa sisältää yhtenä arvoaineena kobolttia. Koboltin kierrätys on myös tehokasta, sillä noin neljäsosa teollisuuden tarvitsemasta koboltista tuotetaan romumetallista.



4.4.2013

Taulukko 1. Kobolttia ja platinaryhmän metalleja tuottavat ja suunnitteilla olevat kaivokset Suomessa. Varantojen ainemäärä arviot perustuvat kussakin tapauksessa saatavissa oleviin tietoihin.

| Kaivos (Kunta) | Yritys (Emoyhtiö) | Tuotetut, kriittiset arvoaineet | Lisätietoja: |
|-------------------------------------|--|---------------------------------|--|
| Toiminnassa olevat kaivokset | | | |
| Hitura (Nivala) | Belvedere Mining Oy (Belvedere Resources Ltd) | Co, Pt, Pd | Co-, Pt- ja Pd-pitoinen Ni-rikaste lähetetään sulattoon Kiinaan (Jinchuan Group, Pohjois-Kiina), joka on Kiinan suurin Ni, Co ja PGM tuottaja Varannot (4,81 Mt): Pt 190 kg (pitoisuus 0,04 ppm, FODD) Pd 140 kg (pitoisuus 0,03 ppm, FODD) Co 960 t (pitoisuus 0,02 %, FODD) Lähteet: GTK, FODD, Belvedere Resources Third Quarter 2012 Management Discussion and Analysis (http://www.belvedere-resources.com) |
| Talvivaara (Sotkamo) | Talvivaara Sotkamo Oy (Talvivaara Kaivososake-yhtiö Oyj) | Co | Suunniteltu Co-tuotanto täydessä mittakaavassa 1800 tonnia/vuosi Varannot (1304,5 Mt): Co 261 000 t (pitoisuus 0,02%) Metallit, myös koboltti erotetaan myytäviksi metallisulfideiksi saostamalla. Co- (ja Ni-)tuotteet myydään Harjavaltaan Vuonna 2011 liikevaihto Nikkeli-kobolttisulfidi 205 837 000€ Myyty: 400 t kobolttia (2011), 355 t (2012) Lähteet: GTK, Talvivaara vuosikertomus 2011, (http://www.talvivaara.com/), |
| Kylylahti (Polvijärvi) | Kylylahti Copper Oy (Altona Mining Ltd) | Co | Kaupallinen tuotanto alkoi heinäkuussa 2012 Ensi vaiheessa malmista hyödynnetään kupari ja kulta, osin myös sinkki. Kobolttin ja nikkelin osalta mietitään vielä hyödyntämiskeinoja, Co-Ni rikaste väliaikaisesti säilössä. Cu-Au rikaste myydään Boliden AB:lle Suunniteltu tuotanto: 80 000 t/vuosi Co-Ni rikaste; 1,2 % Co 940 t/vuosi, 0,57 % Ni 450 t/vuosi Varat: 12 350 t kobolttia Varannot: 19 100 t kobolttia Lähteet: GTK, Altona mining Ltd: Quarterly report December 2012 (http://www.altonamining.com/) |
| Kevitsa (Sodankylä) | Kevitsa Mining Oy (First Quantum Minerals Ltd.) | Pt, Pd, Co | Kaupallinen tuotanto alkoi elokuussa 2012 Tuotanto 2012 (¾ vuodesta): Platina 7685 unssia/218 kg Palladium 6764 unssia/192 kg Varannot (275 Mt): Pt 55 000 kg (0,2 ppm) Pd 41 000 kg (0,15 ppm) Ni-Co-PGE-rikaste (~ 12 % Ni) ja Cu-PGE-Au rikastetta (~28 % Cu), Malmin pitoisuudet: Co 0.01 %, jalometallien 0.14-0.3 g/t Tuotantoarvio: PGE pitoista nikkeli-rikastetta n. 85 000 t/vuosi (80 000-160 000 t/vuosi), Kupari-rikastetta 60 000 (-120 000) t/vuosi Lähteet: FODD, Kevitsa Mining Oy Ympäristölupa 2009, Kevitsan kaivoksen laajennus YVA-ohjelma 2010, , First Quantum Minerals Ltd: Financial report, Third Quarter – September 30, 2012 (http://www.first-quantum.com/) |

4.4.2013

| Kaivos (Kunta) | Yritys (Emoyhtiö) | Tuotetut, kriittiset arvoaineet | Lisätietoja |
|---------------------------------------|--|---------------------------------|---|
| Suunnitteilla olevat kaivokset | | | |
| Suhanko (Ranua, Tervola) | Gold Fields Arctic Platinum Oy (Gold Fields) | Pd, Pt | Suunnitteilla, toteutettavuustutkimusvaihe Varannot 2011 (112,5 Mt): Pt 40 500 kg (0,36 ppm) Pd 153 000 kg (1,48 ppm) Vuosittain 150 000–200 000 t rikastetta Tuotetun rikasteen pitoisuus on noin 50–100 g/t platinaryhmän metalleja ja kultaa, Toiminta-aikana kaivos tuottaa yhteensä noin 4 miljoonaa unssia platinaa, palladiumia ja kultaa Lähteet: GTK, Ympäristölupa 2005, Gold Fields: Exploration – Technical Short Form Report 2011 |
| Juomasuo (Kuusamo) | Dragon Mining Ltd | Co | Suunnitteilla (louhinta 100–500 kt/vuosi) Varannot: 7500 t Co Lähteet: GTK, Dragon mining: Quarterly activities report December 2012 (http://www.dragon-mining.com.au) |

2.9 Magnesium (Mg)

Magnesium (järjestysluku = 12) on suhteellisen pehmeä, hopeanvalkoinen, kaikista metalleista kevyin alkuaine. Magnesium on maankuoren kahdeksanneksi yleisin alkuaine, joka esiintyy monissa mineraaleissa ja muodostaa keskimäärin 2 % magmakivien ja 0,13 % meriveden painosta (BGS 2004). Magnesiumia käytetään sekä teollisuusmineraalina että metallina. Teollisuudessa ainetta käytetään pääasiassa magnesiumoksideina tulenkestävyyttä vaativissa tuotteissa, kuten masuunien pinnoitteissa ja valupadoissa, mutta etenkin tuotteissa joissa keveys on erityisen tärkeää, yhdessä alumiinin kanssa seoksissa tai sitä korvaavana ainesosana.

Vielä viime vuosisadan loppupuoliskolla magnesiumista yli 50 % saatiin merivedestä, ja merivesi onkin edelleen tärkeä magnesiumoksidin lähde monissa maissa. Kiinan tuotanto-osuuden kasvun myötä suurin osa magnesiumista on nykyään kuitenkin peräisin mineraalivarannoista (BGS 2004). Kiinan tuotannon tärkein magnesiumin lähde on dolomiitti $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, jota tuottavat Kiinan lisäksi Kanada, Brasilia ja Serbia. Dolomiitin lisäksi maailmanlaajuisesti tärkeitä magnesiumin lähteitä ovat vesipitoinen magnesiumsuola karnalliitti ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$); pääasiassa Venäjän esiintymät, myös Kiina), suolajärvet ja magnesiitti MgCO_3 , joka esiintyy yleisesti dolomiitin kanssa mutta jonka esiintymät ovat tyypillisesti liian pieniä ja epäpuhtaita teolliseen tuotantoon.

Maailman magnesium tuotanto oli 757 kt vuonna 2010, josta Kiinan osuus oli 670 kt (88,5 %) (USGS 2012). Muita tuottajia ovat Venäjä, Israel, Kazakstan ja Brasilia. Tunnetut varat riittävät nykyisiin ja tuleviin vaatimuksiin ja suolajärvien vesi voidaan rajoitetusti laskea uusiutuviksi varannoiksi. Yleisesti ottaen magnesium varannot ovat suuret, laajalle levinneet ja käytännössä katsoen rajoittamattomat. Jo pelkästään dolomiitteihin ja magnesiumpitoisiin evaporiitteihin sitoutuneet varat ovat arviolta miljardeja tonneja (USGS 2012).

2.9.1 Magnesiumin esiintyminen Suomessa ja Fennoskandian alueella

Magnesiumia tuotetaan useista erityyppisistä mineraaliesiintymistä (dolomiitti $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, oliviini $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$, magnesiitti MgCO_3 , periklaasi MgO ja brusiitti $\text{Mg}(\text{OH})_2$), joita on Suomen ja Fennoskandian alueella runsaasti (Shchiptsov 2012). Myös joidenkin metallikaivosten jätekivistä voidaan tuottaa magnesiumia. Suomessa on kymmenen tällä hetkellä toiminnassa olevaa dolomiittilouhosta ja -kaivosta, kaksi suljettua kaivosta sekä kolme esiintymää, jotka eivät ole tuotannossa (GTK julkaisemat). Suurimmat tuotannossa olevat esiintymät (>50 000 000 t) ovat Punola, Kalkkimaa, Rantamaa ja Ryytimaa.

Norja on maailman suurin oliviinin tuottaja (60 %). Tuotannossa on tällä hetkellä kaksi oliviiniesiintymää (Åheim ja Skrednakken) ja neljä dolomiittiesiintymää (Seljeli, Løvgavlen, Hammerfall Dolomitbrudd ja Hekkelstrand), jotka ovat verrattain pieniä (<500 000 t). Norjassa on joitakin suljettuja dolomiitti- ja oliviinikaivoksia sekä useita dolomiitti-, oliviini- ja magnesiittiesiintymiä, jotka eivät ole tuotannossa. Ruotsissa tuotetaan dolomiittia neljästä esiintymästä (Björka/Glanshammar, Djupvik, Larsbo/Fanthytan ja Tistbrottet), jotka ovat kooltaan >5 000 000 t. Suljettuja dolomiitti- ja oliviinikaivoksia Ruotsissa on useita. Maasta tunnetaan lisäksi useita dolomiitti-, magnesiitti- ja oliviiniesiintymiä, jotka eivät ole tuotannossa.



4.4.2013

Venäjän Karjalasta tunnetaan seitsemän dolomiittiesiintymää, joista tuotannossa on Ruskela Sortavalan alueella. Oliiviini- ja magnesiittiesiintymiä on sekä Karjalan että Kuolan alueella, mutta esiintymät eivät ole tuotannossa.

2.10 Niobi (Nb)

Niobi (Järjestysluku=41) 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. Niobipitoisuus maankuoressa on keskimäärin suhteellisen alhainen (8 ppm). Luonnossa niobi esiintyy erilaisissa taloudellisesti merkittävässä oksidimineraaleissa kuten kolumbiitti $(\text{Fe, Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6$, eukseniitti $(\text{Y, Ca, Ce})(\text{Nb, Ta, Ti})_2\text{O}_6$, lueshiitti NaNbO_2 ja pyrokloori $[(\text{Na, Ca})_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH, F})]$. Noin 89 % maailman niobituotannosta on ferroniobia, jota käytetään erikoislujan ja niukkaseostaisen teräksen valmistuksessa, sekä muissa seoksissa, kemikaaleissa ja kovametalleissa. Niobin kierrätysmääriä ei ole tiedossa, mutta ne saattavat olla n. 20 % kulutuksesta (USGS 2012).

Niobin maailmanlaajuinen tuotanto vuonna 2010 oli 62 900 t, josta yli 90 % tuotettiin Brasiliassa (USGS 2012). Muita tuottajia on mm. Kanada. Vastaavasti maailman niobivarat on arvioitu 3 000 000 t suuruisiksi, ja niistä n. 97 % sijaitsee Brasiliassa. Suurin osa tunnetuista varannoista on sitoutunut karbonaateissa oleviin pyroklooriesiintymiin ja ne katsotaan riittäviksi kattamaan arvioidut tarpeet.

2.10.1 Niobin esiintyminen Suomessa ja Fennoskandian alueella

Suomen ja Fennoskandian alueella lasketaan olevan niobivarantoja yhteensä n. 2300 tonnia (Klucharev 2012a). Tunnetut niobiesiintymät jaetaan kolmeen päätyyppiin: (1) alkalikivikompleksit, (2) karbonaattit ja (3) graniittiset kompleksipegmatiitit. Suomen suurin tunnettu niobiesiintymä on tyyppiin 2 kuuluva Savukosken Soklin karbonaatti-intruusio, joka on osa Kuolan devonikautista (380 Ma) alkalikiviprovinssia (Vartiainen 1980). Soklin esiintymä löydettiin 1970-luvulla Rautaruukki Oy:n malmitutkimusten yhteydessä. Soklissa on arvioitu olevan n. 250 Mt malmia, jonka niobipitoisuus on keskimäärin 0.21 % (Hugg ja Heiskanen 1983). Soklin tärkein niobimineraali on pyrokloori, jonka hilassa on myös tantaalia ja uraania (Lindqvist ja Rehtijärvi 1979). Soklin esiintymän tärkein malmimineraali on fosforimineraali apatiitti, jonka hyödyntämistä esiintymän nykyinen omistaja, norjalainen Yara, parhaillaan harkitsee. Soklin niobivarantoja ei ole toistaiseksi aiottu ottaa käyttöön, vaikka fosforikaivostoiminta käynnistyisikin.

Toinen Suomen tunnetuista niobiesiintymistä sijaitsee Otanmäen Katajakankaalla Kainuussa. Katajakankaan esiintymä on metasomaattinen alkaligneissi, jossa on niobia, yttriumia ja harvinaisia maametalleja. Esiintymän löytyi GTK:n uraanitutkimusten yhteydessä vuonna 1982, minkä jälkeen esiintymää tutki vuoteen 1985 asti Rautaruukki Oy (Hugg ja Heiskanen 1985). Otanmäen alueelta tunnetaan kaksi Nb-REE-esiintymää (Katajakangas ja Kontioaho), joiden yhteenlaskettu malmiarvio on n. 4.5 Mt malmia, jonka Nb_2O_5 -pitoisuus vaihtelee välillä 0.12–0.76 %. Pääasiallisia niobimineraaleja Katajakankaalla ovat fergusoniitti $(\text{Y, Er, Ce, Fe})(\text{Nb, Ta, Ti})\text{O}_4$ ja kolumbiitti FeNb_2O_6 . Katajakankaan esiintymä on tällä hetkellä Tasman Metals Ltd. -yhtiön hallussa.

Suomen graniittisissa kompleksipegmatiiteissa tiedetään esiintyvän niobimineraaleja, mutta määrät ovat niin pieniä, ettei niitä katsota varsinaisiksi varannoiksi.

Norjassa on ollut pienen mittakaavan niobintuotantoa Oslon länsipuolella sijaitsevasta Søyen kaivoksesta vuosina 1953–65 (FODD 2013). Esiintymästä louhittiin 1.15 Mt niobimalmia, josta tuotettiin 4100 t niobioksidia. Pääasiallinen malmimineraali Søyen esiintymässä oli pyrokloori (Bergstøl ym. 1960). Norjasta tunnetaan myös toinen toistaiseksi louhimaton niobiesiintymä, Sæteråsen, jossa arvioidaan olevan 8 Mt varanto Nb-Zr-REE-malmia. Sæteråsenin esiintymän tärkeimmät Nb-mineraalit ovat pyrokloori ja eukseniitti $(\text{Y, Ca, Ce, U, Th})(\text{Nb, Ta, Ti})_2\text{O}_6$. Malmin keskimääräiseksi niobipitoisuudeksi on arvioitu 0.245 % (FODD 2013).

Fennoskandian suurimmat tunnetut niobivarannot ovat Venäjällä Kuolan ja Karjalan alueilla, mistä tunnetaan yhteensä 12 erikokoista esiintymää. Tuotannossa on tällä hetkellä yksi esiintymä, Kuolan niemimaalla sijaitseva Karnasurt, jossa tärkein niobimineraali on lopariitti $(\text{Ce, Na, Ca})(\text{Ti, Nb})\text{O}_3$. Karnasurtin malmivaroiksi arvioidaan 23.7 Mt malmia, jonka niobipitoisuus on keskimäärin 0.35 % (State Balance of rare-metal reserves of Russian Federation up to 01.01.2007). Karnasurtin vieressä olevan Umbozeron lopariittikaivoksen malmivarat ovat vielä suuremmat (180 Mt malmia, 0.19 % Nb), mutta kaivos on ollut suljettuna vuonna 2004 sattuneesta sortumasta asti.

2.11 PGM– platinaryhmän metallit (PGM; Ru, Rh, Pd, Pt, Ir, Os)

Platinaryhmä on kuuden alkuaineen ryhmä, johon kuuluvat ruteeni, rhodium ja palladium (järjestysluvut = 44–46) sekä osmium, iridium ja platina (järjestysluvut = 76–78). Platinaryhmään kuuluvat metallit ovat kemiallisesti hyvin samankaltaisia, mut-



4.4.2013

ta niiden fysikaaliset ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti. Platina, iridium ja osmium ovat metalleista tiheimpiä, platina ja palladium taas ovat erittäin kuumuuden- ja korroosionkestäviä, pehmeitä ja joustavia ja siten helpommin työstettäviä, kuin muut ryhmän aineista. Platinaryhmän metallit ovat harvinaisia. Maankuoren platina- ja palladiumpitoisuudet ovat arviolta 0.0005 g/t; ryhmän muut jäsenet ovat jopa niitä harvinaisempia pitoisuuksien jäädessä n. 0.0001 g/t (BGS 2009). Luonnossa platinaryhmän alkuaineet esiintyvät enimmäkseen perusmetallien sulfidimineraaleissa kuten magneettikiisussa, kuparikiisussa ja pentlandiitissa tai lukuisissa aksessorisissa mineraaleissa, jotka sisältävät platinaryhmän metalleja (BGS 2009). Ultramafisissa kivilajeissa, kuten peridotiitissa, platina- ja palladiumpitoisuudet saattavat olla 0.0010–0.0020 g/t (BGS 2009). Kaikkia ryhmän jäseniä käytetään yleisesti metalliseoksissa, ja ne toimivat katalyytteina useissa teollisissa sovelluksissa ja päästöjen hallintajärjestelmissä. Platinan ja palladiumin ohella ryhmän jäsenistä kaupallisesti tärkein on rhodium. Tärkeimpiä sovelluskohteita ovat päästöjen myrkyllisyyttä vähentävät autokatalyysaattorit, joiden kysyntä on kasvanut 1970-luvulta lähtien. Vuonna 2008 yli puolet platinan, palladiumin ja rhodiumin tuotannosta käytettiin niiden valmistukseen (BGS 2009). Autokatalyysaattorien lisäksi etenkin platinaa käytetään runsaasti koruissa ja palladiumia elektroniikassa. Platinaryhmän metallien tuotantoluvut vaihtelevat hieman lähteen mukaan, mutta vuonna 2010 rhodiumia tuotettiin noin 23 t, palladiumia 192 t ja platinaa 190–202 t (USGS 2012; WMD 2012). Platinan, palladiumin ja rhodiumin tuotannosta suurin osa tulee Etelä-Afrikasta, ainoastaan palladiumin osalta Venäjä oli suurin tuottaja vuonna 2010 (WMD 2012). Rhodiumin tuotannosta 86 % tuli Etelä-Afrikasta, platinan tuotannosta 78 % ja palladiumin tuotannosta 42 %. Muita platinaryhmän metallien tuottajamaita ovat mm. Venäjä, Zimbabwe, Kanada ja USA. Ryhmän metallien maailmanlaajuiset varat on arvioitu 66 miljoo- nan kg suuruisiksi, joista yli 95 % sijaitsee Etelä-Afrikassa. Varantojen määrän on arvioitu olevan enemmän kuin 100 miljoo- naa kg (USGS 2012) World Mining Datan (2012) mukaan Suomen platinatuotanto oli 300 kg vuonna 2010, mikä oli 0.16 % koko maailman tuotan- nosta. Tämän mukaan platinan tuotanto on laskenut 57 % vuosien 2006–2010 aikana. Suomen kaivoksista platinaryhmän me- talleja sisältävät Kevitsa, Hitura ja toteutettavuustutkimusvaiheessa oleva Suhanko (Taulukko 1). Näistä Hitura lähettää plati- na- ja palladiumpitoisen rikasteen jatkojalostukseen Kiinaan. Myös Boliden Harjavalta tuottaa kuparielektrolyysin sivutuotte- na platina-palladiumrikastetta. Lähtöaineeksena olevat kuparirikasteet tosin tuodaan lähinnä Portugalista ja Etelä-Amerikasta (Boliden 2012).

2.11.1 Platinaryhmän metallien esiintyminen Suomessa ja Fennoskandian alueella

Suomen ja Fennoskandian alueella on runsaasti platinametalliesiintymiä. Tunnettujen varantojen määrä on 555 t palladiumia, 244 t platinaa ja 0.79 tonnia rhodiumia (Törmänen 2011). Suomen löytymättömien varantojen määräksi on arvioitu jopa 12000 t palladiumia ja 5600 t platinaa (Rasilainen ym. 2010). Kaikki Suomen tällä hetkellä tunnetut platinametalliesiintymät sijaitse- vat Itä- ja Pohjois-Suomessa. Tuotannossa on tällä hetkellä vain Kevitsa, jonka malmiarvio on 274.8 tonnia malmia, jossa on keskimäärin 0.15 ppm palladiumia ja 0.21 ppm platinaa (First Quantum Minerals 2011). Kevitsan päätuotteet ovat nikkeli ja kupari, ja platinaryhmän metallien lisäksi kaivos tuottaa sivutuotteina kultaa ja kobolttia. Platinametallit esiintyvät yleisesti nikkeli- ja kuparimalmien yhteydessä. Suomen tunnetuista platinametalliesiintymistä tähän tyyppiin kuuluvat Kevitsan lisäksi Kuhmon Peura-aho ja Hietaharju, Ranuan Vaaralampi, Rovaniemen Kilvenjoki ja Sodankylän Lomalampi. Gold Fields-yhtiön Arctic Platinum Project valmistelelee Ranualla Portimon kerrosintruusiokompleksiin liittyvien platina- ja palladiumesiintymien mahdollista tuotantoon ottamista lähivuosina. Toinen päämalmityyppi on emäksisiin kerrosintruusiioihin liittyvä kerrosmyötäi- nen platinametallimalmi, johon saattaa liittyä kromiittimalmi. Outokumpu Oy louhi Tervolan Sompujärvellä koeluonteisesti kerrosintruusioon liittyvää platinametallimalmia, jossa platinapitoisuus oli keskimäärin 5 ppm ja palladiumpitoisuus 3 ppm (Eerola ym. 1990). Kerrosintruusiioihin liittyviä malmiesiintymiä tunnetaan melko runsaasti Pohjois-Suomesta Kemin, Tervolan, Rovaniemen, Ranuan, Taivalkosken, Posion, Savukosken ja Sodankylän alueilta. Osaan kerrosintruusiioihin liittyvistä pla- tinametalliesiintymistä liittyy myös nikkelin ja kuparin rikastumista. Norjasta tunnetaan muutamia platinametalliesiintymiä, joista yhdessä (Fæøy) on ollut historiallista tuotantoa vuosina 1896– 1922 (Boyd ja Nixon 1985). Venäjällä Kuolan ja Karjalan alueilla on myös useita platinametalliesiintymiä, joista monet liitty- vät saman ikäisiin kerrosintruusiioihin, joita esiintyy myös Suomen puolella.

2.12 REE – harvinaiset maametallit (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y, Sc)

Harvinaiset maametallit (rare earth elements, REE) on ryhmä, joka koostuu 17 samankaltaisesta, metallisesta alkuaineesta. Lantanidien (järjestysluku = La 57–71 Lu) lisäksi harvinaisiin maametalkeihin luetaan usein kemiallisilta ja fysikaalisilta omi- naisuuksiltaan 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.



4.4.2013

Luonnonoloissa harvinaiset maametallit eivät esiinny metallisessa muodossa, vaan ne korvaavat muita ioneja monissa erityyppisissä mineraaleissa, kuten karbonaateissa, halideissa, fosfaateissa ja silikaateissa. Tärkeimmät malmimineraalit ovat bastnäsiitti ($(\text{Ce},\text{La})\text{CO}_3\text{F}$), lopariitti $(\text{Ce},\text{Na},\text{Ca})(\text{Ti},\text{Nb})\text{O}_3$ ja monatsiitti $(\text{Ce},\text{La},\text{Pr},\text{Nd},\text{Th},\text{Y})\text{PO}_4$. Lisäksi hyödynnettäviä malmeja on lateriittisissa ioniadsorptiosavissa, joita hyödynnetään Kiinassa (Gambogi ja Cordier 2012). Kemiallisen samankaltaisuuden vuoksi harvinaiset maametallit korvaavat toisiaan helposti ja siten esiintyvät samoissa mineraaleissa, minkä vuoksi ryhmän aineiden jalostaminen puhtaiksi metalleiksi on hankalaa. Suurin osa tuotetuista harvinaisista maametalleista käytetään magneetteihin, öljyteollisuuden katalyytteinä, kiillotusjauheissa ja akuissa. Muita käyttökohteita ovat mm. metallurgiset sovellukset ja autojen katalysaattorit. Jokaisella aineella on ominaisuuksiensa vuoksi omat sovelluskohteensa ja niiden korvaaminen toisella harvinaisella maametallilla ei useinkaan ole mahdollista.

Nimestään huolimatta harvinaiset maametallit ovat melko yleisiä maankuoressa, tosin yksittäisten aineiden pitoisuuksien välillä on suurta vaihtelua. Suhteellisesta yleisyydestään huolimatta harvinaisten maametallien louhittavissa olevat pitoisuudet ovat kuitenkin harvinaisempia kuin monien muiden malmien kohdalla. Harvinaisten maametallien kokonaistuotanto ilman skandiumia oli 133 kt (REO, oksideina) vuonna 2010 (USGS 2012). Tuotannosta 98 % tulee Kiinasta, muita tuottajia ovat mm. Venäjä ja Brasilia. Harvinaisten maametallien maailmanlaajuiset varat ovat 110 Mt, joista puolet sijaitsee Kiinassa (USGS 2012). Myös Yhdysvalloilla on huomattavat varat (13 000 kt) kuten myös Venäjän ja osan neuvostoliiton neuvostotasavaltojen muodostaman liiton alueella (USGS 2012). Suurin osa maailmanlaajuisista taloudellisista varannoista muodostuu Yhdysvaltojen ja Kiinan bastnäsiittiesiintymistä, joissa on erityisesti kevyitä REE-alkuaineita (La, Ce, Nd). Toiseksi suurimmat varannot liittyvät monatsiittiesiintymiin joita on mm. Australiassa, Brasiliassa, Kiinassa ja Intiassa. Monatsiittiesiintymien hyödyntämistä haittaa mineraalin toriumpitoisuus, mikä tekee prosessijätteestä radioaktiivista. Loput varannot ovat sitoutuneet mm. apatiittiin ja fosforiitteihin. Tuntemattomien varantojen määrä arvellaan olevan erittäin suuria oletettuun kysyntään verrattuna (USGS 2012).

Skandiumia tuotetaan sivutuotteena Kiinassa, Kazakstanissa, Venäjällä ja Ukrainassa. Se esiintyy monissa malmeissa hivenaineena, mutta esiintymistä ei ole löydetty riittäviä pitoisuuksia päätoimiseen louhimiseen. Maankuoressa skandium esiintyy pääosin rauta-magnesiummineraaleissa.

2.12.1 Harvinaisten maametallien esiintyminen Suomessa ja Fennoskandian alueella

Harvinaisia maametalleja on tuotettu Suomessa jo 1960–70-luvulla Typpi Oy:n lannoitetehtaalla Oulussa (Lounamaa ja Hämälä 1969; Lounamaa 1972). Raaka-aineena käytettiin ensin Kuolan niemimaalta tuotettua apatiittia, mutta pian siirryttiin kotimaiseen raaka-aineeseen, joka oli Korsnäsin lyijykaivoksesta sivutuotteena saatava lantanidirikaste. Outokumpu Oy louhi Korsnäsisistä lyijymalmia vuosina 1959–71. Malmien sivutuotteena saatiin kaikkiaan 36 000 t lantanidirikastetta. Korsnäsin esiintymän pääasialliset lantanidimineraalit ovat apatiitti CaPO_4 , jossa on monatsiittisulkeumia $[(\text{Ce},\text{La},\text{Nd},\text{Th})\text{PO}_4]$ sekä allaniitti $(\text{Ce},\text{Ca},\text{Y})_2(\text{Al},\text{Fe})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$. Korsnäsin esiintymä on tällä hetkellä Tasman Metals Ltd. -yhtiön hallussa.

Suomesta tunnetaan Korsnäsin lisäksi muutamia esiintymiä, joissa on harvinaisia maametalleja. Tärkein näistä on jo edellä kuvattu Katajakankaan esiintymä, jossa on harvinaisten maametallien lisäksi niobia (Hugg ja Heiskanen 1985). Katajakankaan esiintymässä on arviolta 0.46 Mt malmia, jossa on keskimäärin 2.4 % lantanideja (Hugg 1985a). Esiintymän tärkeimmät REE-mineraalit ovat fergusoniiitti $(\text{Y},\text{Er},\text{Ce},\text{Fe})(\text{Nb},\text{Ta},\text{Ti})\text{O}_4$ ja allaniitti. Katajakankaan vieressä olevan Kontioahon Nb-REE-esiintymä on malmitonniääriltään noin kymmenkertainen, mutta siinä keskimääräinen lantanidipitoisuus jää n. 0.5 % tuntumaan (Hugg 1985b). Katajakankaan ja Kontioahon alueen valtausoikeudet ovat tällä hetkellä Tasman Metals Ltd. -yhtiön hallussa.

Kuusamon alueen kulta-kupari-kobolttiesiintymistä on raportoitu pieniä määriä harvinaisia maametalleja. Juomasuon kulta-kobolttiesiintymässä harvinaisten maametallien kokonaispitoisuudet (REE_{tot}) vaihtelevat 300 ppm:n molemmin puolin (Dragon Mining 2013). Kuusamon esiintymiä hallussaan pitävä Dragon Mining-yhtiö selvittää lehdistötiedotteensa mukaan harvinaisten maametallien hyödyntämistä Juomasuon kultamalmin sivutuotteena (Dragon Mining 2012).

GTK on tutkinut Suomen kallioperän harvinaisten maametallien esiintymispotentiaalia vuosina 2009–2012 toimineessa Hi-tech-metallit -hankkeessa. Hanke aloitettiin määrittelemällä GTK:n olemassa olevan kallio- ja maaperägeologisen aineiston perusteella ne alueet, joilta olisi mahdollista löytää harvinaisia maametalleja. Alueiden rajaamisessa käytettyjä aineistoja olivat koko Suomen kattavat alueellinen moreenigeokemian tietokanta (1 näyte/4 km²), litogeokemiallinen RGDB-tietokanta (Rock Geochemical Database of Finland; Rasilainen ym. 2007, 2008), Fennoskandian malmiesiintymätietokanta (FODD 2013) ja kairasydänrekisteri. Aineistojen perusteella Suomen kallioperässä on sellaisia kivilajialueita, joissa harvinaisia maametalleja esiintyy suhteellisen korkeina taustapitoisuuksina. Tällaisia alueita ovat esim. Etelä-Suomen rapakivigraniittialueet, Länsi-Lapin alue, jossa on runsaasti apiniittisiä intrusioita ja Pohjois-Lapin Tana Belt-vyöhyke. Paikallisia anomaloita havaittiin myös joidenkin tietyn tyyppisten kivilajien, kuten karbonaattien ja alkalikivien päällä. Maastotutkimuksiin valittiin useita kohteita eri puolilta Suomea. Maastotutkimusten lisäksi tunnettuihin harvinaisten maametallien esiintymiin (mm. Katajakankaan, Korsnäs, Sokli) ja muihin potentiaalisiksi katsottuihin esiintymiin kairatut kairasydämet tarkistettiin ja niistä otettiin uusia



4.4.2013

näytteitä mineralogisia analyyseja varten. Elektronimikroskooppitutkimusten perusteella useasta kohteesta löytyi harvinaisia maametalleja sisältäviä mineraaleja (Al-Ani ja Sarapää 2009a, b, 2010a, b, c; Al-Ani ym. 2009, 2010a, b; Al Ani ja Grönholm 2011; Al Ani ja Torppa 2011; Al Ani ja Sarapää 2011a, b, 2012; Al Ani ym. 2011; Al Ani 2012). Potentiaalisimpia kohteita harvinaisten maametallien esiintymiselle ovat GTK:n tutkimusten perusteella karbonatiitit ja alkalikivet. GTK jatkaa vuosina 2013–2015 uudessa hankkeessa mm. seuraavien potentiaalisiksi osoittautuneiden kohteiden tutkimista: (1) Savukosken Soklin karbonatiitti-intruusion reunoilla olevat myöhäiset karbonatiittijuonet, joissa esiintyy REE-karbonaatteja, (2) Kuusamon Iivaaaran alkalikivi-intruusio, (3) Pyhännän Lamujärven alkalikivi-intruusiot, (4) Nummi-Pusulan Kovelan monatsiittipitoinen graniitti. Rapakivigraniiteista, Länsi-Lapin appiniiteista tai Tana Belt-vyöhykkeeltä ei GTK:n tutkimuksissa paikallistettu yhtään harvinaisten maametallien rikastumaa korkeista taustapitoisuuksista huolimatta, joten näissä kohteissa tutkimukset päätettiin lopettaa.

Ruotsissa tärkein tunnettu harvinaisia maametalleja sisältävä esiintymä on Norra Kärrin alkalikivi-intruusio, jossa Tasman Metals Ltd. -yhtiö tekee tutkimuksia kaivoksen avaamista varten (Tasman Metals 2012). Norra Kärrin esiintymässä on sekä zirkoniumia (1.7 %) että harvinaisia maametalleja (0.59 %). Esiintymästä tekee erityisen mielenkiintoisen se seikka, että yli puolet harvinaisten maametallien kokonaismäärästä on raskaan pään alkuaineita, kuten europiumia ja dysprosiumia. Pääasialliset malmimineraalit Norra Kärrin esiintymässä ovat eudialyytti $\text{Na}_{15}\text{Ca}_6(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})_3\text{Zr}_3[\text{Si}_{25}\text{O}_{73}](\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_3(\text{OH}, \text{Cl})_2$ ja katapleiiitti $\text{Na}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, joista molemmat sisältävät harvinaisia maametalleja. Tasman Metals Ltd. -yhtiöllä on Ruotsissa toinenkin REE-projekti, Olserum, joka sijaitsee n. 100 km Norra Kärristä itään. Olserumin esiintymässä tärkeimmät REE-mineraalit ovat ksenotiimi YPO_4 , monatsiitti, apatiitti ja allaniitti (www.tasmanmetals.com). Ruotsin kolmas tunnettu harvinaisia maametalleja sisältävä esiintymä sijaitsee Täsjössa, missä ordivikikautisiin liuskeisiin on rikastunut sekä uraania (0.02 %) että harvinaisia maametalleja (0.11 %) (Gustafsson 1979).

Norjan Sæteråsenin Nb-esiintymään liittyy myös harvinaisten maametallien rikastumista (FODD 2013). Pohjois-Norjasta tunnetaan lisäksi Biggejav'rin pieni U-Sc-REE-esiintymä, jossa on keskimäärin 0.15 % harvinaisia maametalleja (FODD 2013). Fennoskandian suurimmat harvinaisten maametallien varannot sijaitsevat Kuolan niemimaalla, jossa devonikautisiin alkalikivi-intruusioihin ja karbonatiitteihin liittyy valtavia malmeja. Tällä hetkellä tuotannossa on Karnasurtin esiintymä, jossa tuotetaan sekä niobia että harvinaisia maametalleja lopariitti-mineraalista $[(\text{Ce}, \text{Na}, \text{Ca})(\text{Ti}, \text{Nb})\text{O}_3]$. Fennoskandian alueen kaikista tunnetuista harvinaisten maametallien varannoista (yli 17 Mt) valtaosa sijaitsee Kuolassa (Hallberg 2012c)

2.13 Tantaali (Ta)

Tantaali (järjestysluku = 73) on kemiallisilta ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan niobin kaltainen siirtymämetalli (hyvä johtavuus, korroosionkestävyys, korkea sulamispiste), jonka pitoisuus maakuoressa on keskimäärin 0.7 ppm. Luonnossa tantaali ei esiinny metallimuotoisena, vaan oksidimineraaleina, jotka ovat taloudellisten esiintymien pääasiallinen mineraalityyppi. Tantaalin ylivoimaisesti suurin käyttökohde on metallijauheena elektrolyytissä kondensaattoreissa, jotka ovat perusosia nykyisissä tietoteknisissä laitteissa kuten matkapuhelimissa, kannettavissa tietokoneissa ja digitaalisissa kameroissa. Lisäksi tantaalia käytetään erilaisissa metalliseoksissa kuten lentokoneen moottoreissa ja höyryturbiineissa kuumuuden sietokyvyn ja vahvuuden takia, sekä lääketieteellisissä sovelluksissa sen myrkyttömyyden vuoksi.

Tantaalin tuotanto oli 681 tonnia vuonna 2010 (USGS 2012). Suurimmat tuottajamaat olivat Brasilia (26 %), Mosambik (17 %) ja Ruanda (16 %). Tunnetut tantaalivarat ovat 120 000 t, ja määrä koostuu pääosin Brasilian ja Australian arvioista. Mosambikilla on arvioitu olevan joitain varoja, muiden maiden osalta tietoa ei ole saatavilla. Myös varannoista suurin osa sijaitsee Australiassa ja Brasiliassa ja niiden on arvioitu olevan riittävät ennustettuihin tarpeisiin nähden (USGS 2012)

2.13.1 Tantaalin esiintyminen Suomessa ja Fennoskandian alueella

Suomesta tunnetaan neljä esiintymää, jossa tantaali on yksi arvometalleista. Kaikkien tunnettujen esiintymien isäntäkinä ovat graniittiset pegmatiitit. Kemiön Rosendalin berylliesiintymässä on tantaalia keskimäärin 210 ppm (Alviola 1997). Tärkeimmät tantaalimineraalit ovat tapioliitti $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6$ ja tantaliitti FeTa_2O_6 . Tammelan Kietyönmäen pegmatiitissa on litium-esiintymä, jonka tantaalipitoisuus on keskimäärin 30 ppm (Alviola 1993). Pohjanmaan Leviäkankaan ja Längän litiumpegmatiiteista löytyy myös tantaalimineraaleja (Ahtola ym. 2010; FODD 2013). Pohjanmaan pegmatiittien keskimääräinen tantaalipitoisuus on 50–60 ppm.

Fennoskandian suurimmat tantaalivarannot löytyvät Venäjän Karjalasta ja Kuolan niemimaalta, missä alkalikivikomplekseihin ja graniittisiin pegmatiitteihin liittyy suuria tantaalivarantoja. Tärkeimmät esiintymät ovat Kuolan niemimaan Karnasurt, Kedykvyrpakh, Alluav, Umbozero ja Kolmozerskoe sekä Karjalan Muzilampi (Klucharev 2012b).



4.4.2013

2.14 Volframi (W)

Volframi on erittäin tiheä, kiiltävä, väritään harmaanvalkoisesta teräksenharmaaseen vaihteleva metalli (järjestysluku = 74). Sen sulamispiste (3422 °C) on toiseksi korkein kaikista sekoittamattomista metalleista, ja ainoastaan hiilen sulamispiste on korkeampi. Tärkeimmät volframimineraalit ovat monotungstaaatteja, kuten yleisimmin esiintyvä scheeliitti (kalsiumvolframaatti CaWO_4), stolziitti (lyijyvolframaatti PbWO_4) ja volframiitti $(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$. Sulfidisista volframimineraaleista yleisin on tungsteniitti (WS_2). Keskimääräinen volframipitoisuus maankuoressa on 1.25–1.50 ppm.

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 kestävä, 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, ruosteenes-topäällysteissä väriaineissa ja pigmenteissä (BGS 2011c).

Volframin kokonaistuotanto oli n. 79 kt vuonna 2010 (WMD 2012). Selvästi suurin tuottaja oli Kiina (85 %), muita tuottajia ovat mm. Venäjä (3 %) ja Bolivia (2 %). Maantieteellisesti volframin tuotanto on hajaantunut laajalle, ainetta tuotetaan 20 maassa (BGS 2011c). Volframivarat on arvioitu 3.1 Mt suuruisiksi, joista yli 60 % (1.9 Mt) sijaitsee Kiinassa (USGS 2012). Varantojen suuruudeksi on arvioitu 7 Mt (BGS 2011c) ja Kiinan lisäksi merkittäviä varantoja löytyy myös Kanadasta, Kazakstanista, Venäjältä ja Yhdysvalloista (USGS 2012). Volframin kierrätys on tärkeä osa sen saatavuutta maailmalla ja Euroopan komission mukaan (European Commission 2010) 35–40 % on kierrätettyä. Volframi onkin yksi kaikkein kierrätetyimpiä metalleja.

2.14.1 Volframin esiintyminen Suomessa ja Fennoskandian alueella

Suomen ja lähialueiden volframiesiintymät voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: (1) karsi- eli kalkkisilikaattiesiintymiin ja (2) juoni/juoniverkostoiesiintymiin. Suomen alueelta tunnetaan neljä volframiesiintymää (karsi-tyyppin Hieronmäki, juoni/juoniverkostotyyppin Kuskoiva, Ahvenlammi ja Ylöjärvi), joista viimeksi mainitusta on louhittu kultahopea-kupari-volframimalmia vuosina 1943–66 (Himmi ym. 1979). Ylöjärven kaivoksesta louhittiin yhteensä n. 4 miljoonaa tonnia malmia, jonka volframipitoisuus oli 0.11 %. Tärkein volframimineraali malmissa oli scheeliitti. Muissa Suomen esiintymissä ei ole ollut tuotantoa. Ahvenlammin varannoiksi on laskettu 1.12 Mt malmia, jonka volframipitoisuus on 0.16 % (Lindmark 1987) ja esiintymän tärkein volframimineraali on scheeliitti (Luukkonen 1994). Kuskoiva ja Hieronmäki ovat pieniä, vain n. 0.6 Mt suuruisia esiintymiä, joita on tutkittu Outokumpu Oy:n toimesta 1980-luvulla (Vuotovesi 1985a; Kinnunen 1988). Rautaruukki Oy ja Outokumpu Oy tekivät samoihin aikoihin volframitutkimuksia myös Rovaniemen Olkkajärven ja Kuluskairan alueella, mutta tulokset jäivät vaatimattomiksi (Vuotovesi 1985b).

Ruotsissa on ollut lukuisia volframikaivoksia, joista on louhittu yhteensä n. 25000 tonnia malmia 1940–80-luvuilla (Hallberg 2012d). Pohjois-Ruotsin alueella on myös muutama pieni esiintymä, joissa ei ole ollut tuotantoa. Norjan alueella on yksi vanha volframikaivos (Laksådal), joka oli tuotannossa vuosina 1917–45. Venäjän Karjalasta tunnetaan muutama vaatimaton volframiaihe Laatokan luoteispuolelta Suomen rajan tuntumasta. Kaikkiaan Suomessa ja lähialueilla arvioidaan olevan volframivarantoja n. 10000 tonnia (Hallberg 2012d).

3 YHTEENVETO

Kriittisiä metalleja ja mineraaleja tarvitaan enenevässä määrin, mutta EU:n riippuvuus tuonnista tuskin tulee häviämään lähi-vuosina. Kaivosteollisuusmaana Suomen tilanne raaka-aineiden saannin suhteen on keskimäärin parempi, kuin monien muiden Euroopan maiden, mutta teollisuuden kannalta on tärkeää selvittää, miten paljon potentiaalia kallioperässämme on kriittisten raaka-aineiden esiintymiselle. Useilla kriittisillä metalleilla ja mineraaleilla on tämänhetkisen tiedon perusteella hyvä esiintymis-potentiaali Suomen ja Fennoskandian kallioperässä. Euroopan komissio päivittää kriittisten metallien ja mineraalien listaa jälleen vuoden 2013 aikana, jolloin on luultavaa, että listalle nousee lisää raaka-aineita.



4.4.2013

KIRJALLISUUSLUETTELO

- Ahtola, T., Kuusela, J., Koistinen, E., Seppänen, H. Hatakka, T., Lohva, J., 2010.** Report of investigations on the Leviäkangas lithium pegmatite deposit in Kaustinen, Western Finland. Geological Survey of Finland, Report M19/2323/2010/32.
- Al-Ani, T., Sarapää, O., 2009a.** Geochemistry and Mineralogy of REE in Virtasalmi kaolin deposits, SE Finland. 20 s. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, M19/3231/2009/33.
- Al-Ani, T., Sarapää, O., 2009b.** Rare earth elements and their mineral phases in Jammi carbonatite veins and fenites on the south side of Sokli carbonatite complex, NE Finland. 24 s., 2 liites. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, M19/4723/2009/34.
- Al-Ani, T., Sarapää, O., Johanson, B., 2009.** Concentration and residence of rare earth elements (REE) in kaolin and weathered rocks of Virtasalmi, Taivalkoski and Puolanka deposits, eastern Finland. 21 s. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, M19/3231,3232,3441,3533/2009/32.
- Al-Ani, T., Sarapää, O., Torppa, A., 2010a.** Petrography and mineralogy of REE-bearing minerals of Iivaara, Otanmäki and Korsnäs alkaline rocks. 22 s. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, M42/2010/15.
- Al-Ani, T., Konnunaho, J., Sarapää, O., 2010b.** Microprobe analysis on REE-minerals of Enontekiö (Palkiskuru and Palovaara) and Kuusamo (Honkilehto) hydrothermal mineralizations and Kortejärvi-Laivajoki carbonatite, Northern Finland. 20 p., + 5 app. pages. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, M42/2010/66.
- Al-Ani, T., Sarapää, O., 2010a.** Mineralogy and Geochemistry of REE-bearing minerals of Uuniniemi carbonatite, Vanttaus appinitic diorite and Mäkärä arkosic gneiss, Northern Finland. 17 p. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, M42/2010/68.
- Al-Ani, T., Sarapää, O., 2010b.** REE-mineralogy of Suhuvaara appinite, Inari, Northern Finland. 7 p., 3 appended p. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, M42/2010/67.
- Al-Ani, T., Sarapää, O., 2010c.** Microprobe studies of REE-rich accessory minerals from alkaline, appinitic and metamorphic rocks, Central and Northern Finland. 43 p. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, M42/2010/69.
- Al Ani, Thair, Sarapää, O., 2011a.** Petrographic and mineralogical study of Vanttaus appinitic diorite, Northern Finland. 19 p. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, 59/2011.
- Al Ani, T., Sarapää, O., 2011b.** REE Geochemistry and Mineralogy of Tin-bearing Greisens and Wall Rocks in Eurajoki Rapakivi granite, SW Finland. 44 s. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, 23/2011.
- Al Ani, T., Heikura, P., Sarapää, O., 2011.** REE-mineralogy and geochemistry of selected drillcores from southern side of Sokli Carbonatite Complex, NE-Finland. 25 s. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, 24/2011.
- Al Ani, T., Sarapää, O., 2012.** REE-mineralogy of arkosic gneisses from Mäkärä-Vaulo area, Tana Belt, Northern Finland. 36 s. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, 74/2012.
- Al Ani, T., 2012.** Detailed SEM study on REE-bearing minerals of paragneisses Mäkärä and Vaulo, Northern Finland. 57 s. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, 73/2011.
- Al Ani, T., Torppa, A., 2011.** REE-Nb Mineralogy in Katajakangas and Lamujärvi alkaline rocks, Central Finland. 40 s. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, 60/2011.
- Al Ani, T., Grönholm, S., 2011.** Ore mineralogy of REE potential Kovala Th-granite in Nummi-Pusula, Southern Finland. 34 s. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, 49/2011.



4.4.2013

- Alviola, R., 1993.** Tutkimustyöselostus Tammelan kunnassa, valtausalueella Kietyönmäki 1, kaiv. rek. N:o 3991/1, suoritetuista teollisuusmineraalitutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M06/2024/-93/1/85, 7s.
- Alviola, R., 1997.** Tutkimustyöselostus Dragsfjärdin kunnassa, valtausalueella Rosendal 1, kaiv. rek. N:o 4556/1, suoritetuista tutkimuksista vuosina 1986-1997. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M06/2012/97/1/85, 11 s.
- Bergstøl, Sveinung; Svinndal, Sverre 1960.** Description of mines and deposits. Søve Niobium Mine, Fen area. Norges geologiske undersøkelse, NGU; Mines in south and central Norway. International Geological Congress; XXI session. EKSKURSJONSGUIDE; TIDSS.
- BGS 2004.** Commodity profiles: Magnesium. 4 p.
<http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/mineralProfiles.html>
- BGS 2009.** Commodity profiles: Platinum group elements. 32 p.
<http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/mineralProfiles.html>
- BGS 2011a.** Commodity profiles: Fluorspar. 18 p.
<http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/mineralProfiles.html>
- BGS 2011b.** Commodity profiles: Niobium-tantalum. 27 p.
<http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/mineralProfiles.html>
- BGS 2011c.** Commodity profiles: Tungsten.
<http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/mineralProfiles.html>
- Boliden 2012.** <http://www.boliden.com/>. Sivulla vierailtu 26.2.2013.
- Boyd, R., Nixon, F., 1985.** Norwegian nickel deposits: a review. In: Papunen, H., Gorbunov, G.I. (Eds.), Nickel-copper deposits of the Baltic Shield and Scandinavian Caledonides. Geol. Surv. Finland, Bull. 333, 363–397.
- Dragon Mining, 2012.** Press release 9 October, 2012.
- Dragon Mining, 2013.** Press release 24 January, 2013.
- Eilu, P., Hallberg, A., Bergman, T., Feoktistov, V., Korsakova, M., Krasotkin, S., Lampio, E., Litvinenko, V., Nurmi, P.A., Often, M., Philippov, N., Sandstad, J.S., Stromov, V. & Tontti, M. 2007.** Fennoscandian Ore Deposit Database – explanatory remarks to the database. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti – Geological Survey of Finland, Report of Investigation 168, 19 pages, 7 tables.
- Eerola, P., Reino, J., Vaajoensuu, K., Seppänen, A., 1990.** Kivaloiden alueen PGE-Au-Cu-Ni-esiintymien hyödyntämismahdollisuuksista. Outokumpu Mining Services, Report 090/2543,2544,3613/90.
- European Commission 2010.** Critical raw materials for the EU. Annex V. 220 p.
http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/annex-v-b_en.pdf
- Fennoscandian Ore Deposit Database (FODD), 2013.**
<http://en.gtk.fi/information/services/databases/fodd/index.html>.
- First Quantum Minerals, 2011.** Press release 30 March, 2011.
- Gambogi, J., Cordier, D.J., 2012.** 2010 Minerals Yearbook, Rare earths. USGS.
http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earth/myb1-2010-raree.pdf
- Gautneb, H., 2012a.** Critical commodity report – Fluorspar. Critical Metals and Minerals in Fennoscandia – Raw Materials for the 21 Century.
(http://en.gtk.fi/export/sites/en/information/services/databases/fodd/Critical_metals_report_fluorspar.pdf)



4.4.2013

- Gautneb, H., 2012b.** Critical commodity report – Graphite. Critical Metals and Minerals in Fennoscandia – Raw Materials for the 21 Century.
(http://en.gtk.fi/export/sites/en/informationsservices/databases/fodd/Critical_metals_report_graphite.pdf)
- Gustafsson, B., 1979.** Uranuppslag inom Norrbotten och Västerbotten 1979. SGU, brap79056.
- Hallberg, A., 2012a.** Critical commodity report – Antimony. Critical Metals and Minerals in Fennoscandia – Raw Materials for the 21 Century.
(http://en.gtk.fi/export/sites/en/informationsservices/databases/fodd/Critical_metals_report_Sb.pdf)
- Hallberg, A. 2012b.** Critical commodity report – Indium. Critical Metals and Minerals in Fennoscandia – Raw Materials for the 21 Century.
(http://en.gtk.fi/export/sites/en/informationsservices/databases/fodd/Critical_metals_report_In.pdf)
- Hallberg, A. 2012c.** Critical commodity report – Rare earth elements (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Sc, Y). Critical Metals and Minerals in Fennoscandia – Raw Materials for the 21 Century.
(http://en.gtk.fi/export/sites/en/informationsservices/databases/fodd/Critical_metals_report_REE.pdf)
- Hallberg, A. 2012d.** Critical commodity report – Tungsten. Critical Metals and Minerals in Fennoscandia – Raw Materials for the 21 Century.
(http://en.gtk.fi/export/sites/en/informationsservices/databases/fodd/Critical_metals_report_W.pdf)
- Himmi, R., Huhma, M., Häkli, T. A. 1979.** Mineralogy and metal distribution in the copper-tungsten deposit at Ylöjärvi, Southwest Finland. *Econ. Geol.* 74, 1183-1197.
- Hugg, R., 1985a.** Katajakangas, geologinen malmiarvio. Rautaruukki Oy, raportti OU 12/85.
- Hugg, R., 1985b.** Kontioaho, geologinen malmiarvio. Rautaruukki Oy raportti OU11/85.
- Hugg, R., Heiskanen, V., 1983.** Suomen rautamalmiesiintymät, malmiutummat ja malmiviitteet. Rautaruukki Oy OU 2/79, RAETSU Report 8.2.1983.
- Hugg, R., Heiskanen, V., 1985.** Otanmäen alueen niobi-lantaniditutkimukset, tilanne 31.12.1985. Rautaruukki Oy, raportti OU 28/85.
- Jaskula, B.W., 2012.** 2010 Minerals Yearbook, Gallium. USGS.
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/gallium/myb1-2010-galli.pdf>
- JORC, 2012.** Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code) [online]. Available from: <<http://www.jorc.org>> (The Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia).
- Kinnunen, A. 1988.** Kaivoslain 19§:n mukainen tutkimustyöselostus, Hattula, Hieronmäki, kaivosrekisterinumero 3298/1. Outokumpu Oy, raportti 080/2132 07/AAK/1998, 4 p.
- Klucharev, D., 2012a.** Critical commodity report – Niobium. Critical Metals and Minerals in Fennoscandia – Raw Materials for the 21 Century.
(http://en.gtk.fi/export/sites/en/informationsservices/databases/fodd/Critical_metals_report_Nb.pdf)
- Klucharev, D., 2012b.** Critical commodity report – Tantalum. Critical Metals and Minerals in Fennoscandia – Raw Materials for the 21 Century.
(http://en.gtk.fi/export/sites/en/informationsservices/databases/fodd/Critical_metals_report-Ta.pdf)
- Korovkin V.A., Turyleva L.V., Rudenko D.G., Juravlev A.V., Kluchnikova G.N., 2003.** Mineral resources of the Northwest Russian Federation. Saint-Petersburg, VSEGEI Cartographic Factory.
- Lindmark, B. 1987.** Volframitutkimukset Kangasalan Ahvenlammin alueella vuosina 1983-1985. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M 19/2142/-87/1/10, 45 s.



4.4.2013

- Lindqvist, K. ja Rehtijärvi, P., 1979.** Pyrochlore from the Sokli carbonatite complex, northern Finland. Bull. Geol. Soc. Finland 51, 81-93.
- Lounamaa, N., 1972.** Utvinning av lantanider. Kemisk Tidskrift 5, 40-42.
- Lounamaa, N., Hämälä, S., 1969.** Lantanidien tuotanto ja käyttö. Kemian Teollisuus 2, 115-118.
- Luukkonen, A. 1994.** Main geological features, metallogeny and hydrothermal alteration phenomena of certain gold and gold-tin-tungsten prospects in southern Finland. Geol. Surv. Finland, Bull. 377, 153 p.
- Mineral Resources of the Republic of Karelia, 2005.** Petrozavodsk, Karelia press.
- Mikolajczak, C. 2009.** Availability of indium and gallium. Indium Corporation.
http://www.commodityintelligence.com/images/2010/jan/11%20jan/availability_of_indium_and_galliumwhite_papermikolajczak_sept09.pdf
- Oakdene Hollins 2012.** Study of by-products of copper, lead, zinc and nickel. Joint study group report. 135 p.
- Pozhilenko V.I., Gavrilenko B.V., Zhironov D.V., Zhabin S.V., 2002.** Geology of Murmansk Oblast (Region) ore districts. Apatity: Kola Science Center of Russian Academy of Sciences press.
- Preston-Thomas, H., 1990.** The International Temperature Scale of 1990 (ITS-1990). Metrologia 27, 3-10.
- Rasilainen, K., Lahtinen, R., Bornhorst, T.J., 2007.** The Rock Geochemical Database of Finland Manual. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 164, 38 s.
- Rasilainen, K., Lahtinen, R., Bornhorst, T.J., 2008.** Chemical characteristics of Finnish bedrock – 1:1 000 000 scale bedrock map units. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 171, 94 s.
- Rasilainen, K., Eilu, P., Halkoaho, T., Iljina, M., Karinen, T., 2010.** Quantitative mineral resource assessment of platinum, palladium, gold, nickel, and copper in undiscovered PGE deposits in mafic-ultramafic layered intrusions in Finland. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 180, 338 p.
- Raw Mineral Base of the Republic of Karelia. Nonmetallic Economic Minerals, 2005.** Vol. 2, Publishing House Karelia, Petrozavodsk. (in Russian)
- Shchiptsov, V., 2012.** Critical commodity report – Magnesium. Critical Metals and Minerals in Fennoscandia – Raw Materials for the 21 Century.
(http://en.gtk.fi/export/sites/en/informationsservices/databases/fodd/Critical_metals_report_Mg.pdf)
- State Balance of rare-metal reserves of Russian Federation up to 01.01.2007.** Moscow, 2007.
- Tasman Metals, 2012.** Preliminary Economic Assessment NI 43-101 Technical Report for the Norra Kärr (REE -Y-Zr) Deposit, Gränna, Sweden. <http://www.tasmanmetals.com/i/pdf/Tasman-Metals-PEA-May-2012.pdf>
- Tertiary Minerals Annual Report, 2012.** (<http://www.tertiaryminerals.com/uploads/Tertiary-Minerals-plc-%20Annual%20Report%202012-website%20.pdf>)
- Tyni, M., 1983.** Nurmon Kalliosalon antimoni-kultaesiintymän malmiarvio. Myllykoski Oy, raportti, 9 s.
- Törmänen, T., 2011.** Critical commodity report – platinum-group metals. Critical Metals and Minerals in Fennoscandia – Raw Materials for the 21 Century.
(http://en.gtk.fi/export/sites/en/informationsservices/databases/fodd/Critical_metals_report_PGE.pdf)
- USGS 2012.** Mineral commodity summaries 2012. U.S. Geological Survey, 198 p.
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcs2012.pdf>
- Vartiainen, H. 1980.** The petrography, mineralogy and petrochemistry of the Sokli carbonatite massif, northern Finland. Geol. Surv. Finland, Bull. 313, 126 p.



4.4.2013

- Vuotovesi, T. 1985a.** Kaivoslain 19§ mukainen tutkimustyöselostus. Lapin Malmi Oy, Raportti 080/4714/TV/85/10, 4 p.
- Vuotovesi, T., 1985b.** Kaivoslain 19§ mukainen tutkimustyöselostus, Pitkäperä 1, kaiv. rek. Nro 3342/1. Lapin Malmi Oy, raportti 080/3612/TV/85/3.
- Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2009.** OMG Kokkola Chemicals Oy:n ympäristöluvan lupamääräysten tarkistaminen ja lupa jätemateriaalien käyttämiseksi tehtaalla syntyvän rautasakkajätteen stabiloinnissa, Kokkola. Lupapäätös Nro 56/2009/1. Dnro LSY-2007-Y-60
- Wilberg, R. 1989.** Økonomisk mineralogi i Bordvedåga beryllium-forekomst, Rana, Nordland, Norges geologiske undersøkelse, NGU-rapport, FAGRAPPORT, 89.083, 114 p.
- Wilberg, R. ja Lindahl, I. 1991.** Bordvedåga beryllium-forekomst, Rana kommune, Nordland. Samplerapport., Norges geologiske undersøkelse, Rapport, FAGRAPPORT, 91.180, 38 p.
- WMD 2012.** World Mining Data 2012. L. Weber, G. Zsak, C. Reichl, M. Schatz. Volume 27. Minerals Production. Wien 2012. 305 p.