

# KRITIČNI MATERIJALI U DVADESET PRVOM VEKU

Srećko R. Stopić, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University, Aachen, Germany

DOI: 10. 5937/vojtehg61-1762

OBLAST: materijali

VRSTA ČLANKA: pregledni članak

## Sažetak:

*Kritični materijali predstavljaju uglavnom metale koji imaju veliki značaj za budućnost privrede evropskih zemalja. Ove metale teško je zameniti nekim drugima. Zbog izuzetne primene raste potražnja za njima, a proizvodnja ne može da prati uvećanu potrošnju. Elementi „retke zemlje“ pripadaju kritičnim metalima. Oni sadrže 17 hemijskih elemenata, koji su usled njihove mineraloške strukture slični u pogledu njihovih hemijskih i fizičkih karakteristika (najpoznatiji od njih su lantan i torijum, koji je radioaktivan). Metali retkih zemalja podeljeni su u grupe elemenata sa nižom atomskom masom i one elemente sa višom atomskom masom. „Teži“ elementi pokazuju manje prisustvo u gornjim delovima Zemljine kore. U 2010. udeo proizvodnje u globalnoj svetskoj proizvodnji u Kini iznosio je 97%, što predstavlja jednu vrstu monopola. U različitim studijama mešaju se termini strategijski i kritični materijali. Strategijski materijali su bitni za vojnu industriju jedne zemlje (nikal), a kritični materijali za privredu zemalja u Evropi (platinski metali, retke zemlje, kobalt). Evropska komisija pripremila je strategiju razvoja u pogledu na kritične materijale za sledećih dvadeset godina.*

*Ključne reči: kritični metali, elementi „retke zemlje“, recikliranje, ekstrakcija, hidrometalurgija.*

## Uvod

**Z**a razvoj Evropske industrije su neophodni razni minerali. Nažalost rezerve minerala su smanjene, a zahtevi za njima su povećani. Ova tendencija će se nastaviti u sledećih dvadeset godina. Kao odgovor na smanjivanje prisustva nekih važnih minerala na globalnom tržištu Evropska komi-

\* ZAHVALNICA: Rad je nastao u znak sećanja na prof. Bratimira Đurkovića, koji je predavao Metalurgiju retkih metala na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu, i čija je knjiga, „Metalurgija retkih metala“, objavljena 1991, i dalje aktuelna, i pomaže svima nama koji se bavimo ovom interesantnom problematikom.

sija u Briselu je predložila strategiju „Evropa 2020“ u cilju poboljšanja efikasnosti korišćenja sirovina i snabdevanja za Evropske zemlje. Specijalni konkurs Evropske komisije za istraživanja je raspisan u 2011 sa temama „Novi prilazi procesiranju minerala u skladu sa zaštitom životne sredine“ i „Zamena kritičnih sirovina: povezivanje, specifikacija potreba za istraživanjem, razvojem i prioritetima“ (FP/NMP Working Document, 2012). Problem u snabdevanju sirovinama je eskalirao, pa su u martu 2012 Evropska Unija, Japan i Amerika optužile Kinu kod Svetske organizacije za posredovanje u Gentu da ne postupa korektno u korišćenju elemenata retkih zemalja (skandium, lantan, i prometium), koji se koriste u industriji kompjutera i telekomunikacija (Seltene Erden: EU verklagt China, 2012). Poznato je da Kina raspolaže sa oko 30% ukupnih svetskih resursa retkih zemalja, a da ima oko 97% svetske proizvodnje (Aus dem Ruder gelaufen, Sekundaerrohstoffe, 2011). Cilj ovog rada je da blize predstavi problem kritičnih materijala, koji ce u budućnosti najviše pogoditi Evropske zemlje. Kritični metali predstavljaju materijale, koje je teško zameniti neki drugim metalima, i reciklirati iz sekundarnih sirovina, a potreba za ovim metalima je u neprekidnom porastu. Borba za sirovine (Kampf um Rohstoffe, 2006), a posebno kritične metale je nešto sto odavno traje. Iako je mnogo vazna tema „kritičnih materijala“, malo je raspoloživih informacija.

## Metalurgija „retkih“ elemenata

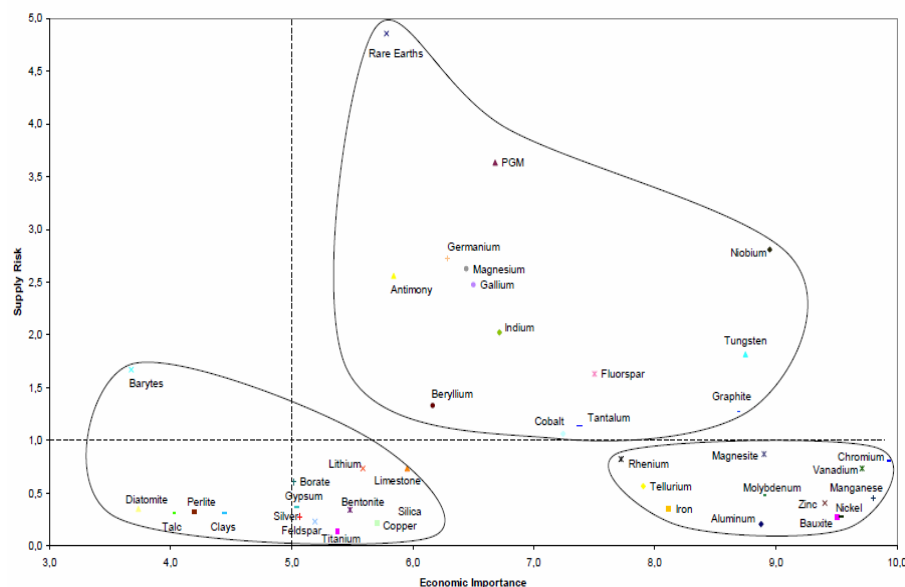
Dobijanje „retkih“ elemenata je oduvek pobuđivalo interesovanje naučnika. Devedesetih godina Dragica i Bratimir Đurković su u knjizi: „Metalurgija retkih zemalja“ ukazali na značaj i izvršili sistematizaciju retkih elemenata (Djurkovic, 1991, p. 465). Najviše eksperimentalnih istraživanja Đurković je imao na bazi zonalne rafinacije germanijuma i dobijanja teško topivih metala volframa i molibdena iz njihovih sirovina, što je opisano u njegovoj knjizi „Metalurgija retkih metala“. U ovoj knjizi u 17 poglavlja na 465 strana su opisane osnovne osobine metala, kao i pojava i klasifikacija retkih metala, osnovni procesi i metodi u metalurgiji retkih metala, a onda pojedinačno dobijanje teško topivih metala (volfram, molibden) i metala retkih zemalja (indijum,...).

*Tabela 1 – Sistematizacija retkih elemenata (Djurkovic, 1991)*  
*Table 1 – Systematization of the rare elements (Djurkovic, 1991)*

Grupa periodnog sistema elemenata	Elementi	Grupa elemenata po tehničkoj klasifikaciji
I II	Litijum, rubidijum, cezijum, berilijum	Laki
IV V VI VII	Titan, cirkonijum, hafnijum, vanadijum, niobijum, tantal, molibden, renijum	Teško topivi

Grupa periodnog sistema elemenata	Elementi	Grupa elemenata po tehničkoj klasifikaciji
III IV VI VII	Galijum, indijum, talijum germanijum, selen, telur	Rasejani
III	Skandijum, itrijum, lantan i lantanidi (14 elemenata od cerijuma do lutecijuma)	Retke zemlje
III VI II	Aktinijum i aktinoidi (torijum, protaktinijum, uran) i „zauranski elementi“ polonijum radijum	Radioaktivni

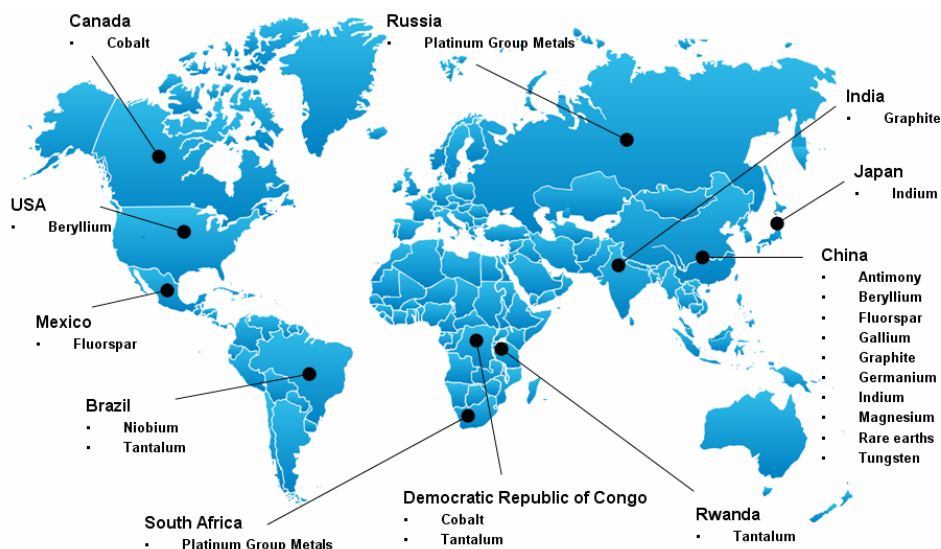
U gore navedenoj knjizi opisani su procesi i metode metalurške pripreme, koncentrisanja metala i njihovog dobijanja iz primarnih i sekundarnih sirovina, sto je za razliku od današnjeg ogromnog interesovanja, bilo tada manje istraživano. Posle dvadeset godina ova tema ponovo dobija na značaju, jer evropska privreda zavisi od uvoza raznih sirovina baziranih na kritičnim materijalima. Drnek (Critical raw materials for the EU, 2010) navodi da je u novembru 2008 Evropska komisija na osnovu raznih konsultacija usvojila i objavila materijal „Inicijativa za sirovinama – miting za nase kritične potrebe za rast i poslove u Evropi“, koji predlaže zajedničku strategiju evropskih zemalja i odgovor je na razne izazove u pogledu na pristup sirovinama i njihovoj preradi.



Slika 1 – Ekonomski značaj i rizik snabdevanja 41 materijala  
(Critical raw materials for the EU, 2010)  
Figure 1 – Economic importance and supply risk of 41 materials  
(Critical raw materials for the EU, 2010)

Istraživanje rezervi i potreba za kritičnim materijalima je pokazalo da proizvodnja materijala u nekim zemljama, kao i nemogućnost njihovog recikliranja i zamene, dovodi do velikog rizika za njihovim snabdevanjem u budućnosti i u sledećoj tabeli predstavljenoj od strane radne grupe Evropske Unije se nalaze ispitivani elementi (Critical raw materials for the EU, 2010).

Y-osa predstavlja pozicioniranje metala u pogledu na rizik njihovog snabdevanja. Posto je proizvodnja materijala u nekim zemljama povezana sa političkom i ekonomskom nestabilnošću, a takođe sa niskim stepenom recikliranja i mogućnosti da budu zamenjeni, sve ovo rezultira u visokom riziku snabdevanja. Rezultati su rangirani od vrlo niskog (za titan) do vrlo visokog rizika (za elemente retkih zemalja). Izdvojene su tri grupe od različitog značaja. Zbog velikog ekonomskog značaja i postojećeg rizika budućeg snabdevanja sledeći materijali su ubrojani u takozvane „kritične materijale“: elementi retkih zemalja (grupa lantanida, itrijum, skandijum), platinska grupa metala, germanijum, galijum, niobijum, magnezijum, antimon, indijum, volfram, kobalt, tantal, grafit, fluoriti. Visok rizik za snabdevanje ovih metala je usled činjenice da glavni deo njihove proizvodnje potiče iz Kine (antimon, fluoriti, galijum, germanijum, grafit, indijum, magnezijum, elementi retkih zemalja, volfram), Rusije (platinska grupa metala), Demokratske Republike Kongo (kobalt, tantal) i Brazila (niobijum i tantal). U ovo razmatranje se uključuju i mala mogućnost recikliranja ovih metala, kao i pronalaženje pogodnih elemenata, koji mogu njih da zamene.



Slika 2 – Proizvodnja kritičnih materijala (Critical raw materials for the EU, 2010)  
Figure 2 – Production of critical materials (Critical raw materials for the EU, 2010)

Grupa materijala predstavljena na slici 1 u desnom uglu označava materijale sa visokim ekonomskim značajem, ali je znatno nizi rizik snabdevanja (renijum, magnezit, hrom, vanadijum, telur, molibden, mangan, cink, nikal, železo, cink, aluminijum, boksit). Ipak ova podela nije stroga, jer pod određenim uslovima elementi, kao što su renijum i telur, mogu da se lako nađu u grupi kritičnih metala (veliki ekonomski značaj zbog primene, a raste rizik za dalje redovno snabdevanje). Materijali koji su pozicionirani u subklasteru na levoj strani su materijali, koji nisu od velikog ekonomskog značaja, a i rizik za njihovim snabdevanjem je nizak (srebro, titan, litijum, gips, bakar, bentonit, silicijum oksid,...). U evropskoj studiji (Critical raw materials for the EU, 2010) su predstavljeni i globalni zahtevi za tehnologije i sirovine kritičnih metala, što je predstavljeno u tabeli 2.

*Tabela 2 – Globalni zahtev za tehnologije i sirovine kritičnih metala  
(Critical raw materials for the EU, 2010)*

*Table 2 – Global demand for the technologies/ raw materials of critical metals  
(Critical raw materials for the EU, 2010)*

Raw material	Production 2006 (t)	Demand for emerging technologies 2006 (t)	Demand for emerging technologies 2030 (t)
Ga	152	28	603
In	581	234	1.911
Ge	100	28	220
Nd	16.800	4.000	27.900
Platinum (PGM)	255	very small	345
Ta	1.384	551	1.410
Ag	19.051	5.342	15.823
Co	62.279	12.820	26.860
Pd (PGM)	267	23	77
Ti	7.211.000 2)	15.397	58.148
Cu	15.093.000	1.410.000	3.696.070

Dobijeni rezultati pokazuju da će potrebe za kritičnim materijalima do 2030. biti uvećane i do osam puta.

Steinbach i saradnici (Steinbach, et al, 2011, pp. 213–216) su objasnili ciljeve Nemačke agencije za mineralne resurse, koja predstavlja centralni informacioni centar za dobijanje raznih informacija o sirovinama i konsultacije

u vezi metala, minerala energetskih resursa. Poseban deo rada je posvećen analizi kritičnih metala, i analizi postojeće proizvodnje u Nemačkoj, kao i zavisnost proizvodnje od uvoza. Mnogi planirani projekti su povezani sa kompanijama u nemačkoj industriji, kao i stranim partnerima.

Drnek (Drnek, 2011, pp. 31–35) je obrazložio strategiju Evropske Komisije preko Inicijative o mineralnim sirovinama zasnovanu na tri vazna principa:

1. Osigurati posten pristup sirovinama na Evropskom tržištu.
2. Planirano održivo snabdevanje sirovinama iz izvora u evropskim zemljama.
3. Uvećanje efikasnosti postojećeg dobijanja i promovisanje recikliranja metala.

## Elementi retkih zemalja REE

Elemente retkih zemalja čini 17 elemenata, od kojih 15 elemenata pripadaju grupi lantanida, a uz njih dolaze još itrijum i skandijum. Međusobno razdvajanje i selektivno dobijanje lantanoida najviše komplikuje činjenica da su oni hemijski veoma slični. Zato je potrebno pronaći pogodan hemijski proces za razdvajanje različitih lantanoida, ne samo od drugih metala, već i od metala iste grupe. Za dobijanje elemenata retkih zemalja se obično koristi mineral monazite – La (La, Ce, Nd, Pr)PO<sub>4</sub>. Nienhaus i saradnici (Nienhaus, et al, 2012., pp. 126–131) su razmatrali uticaj razvoja tržišta elemenata retkih zemalja na ekonomiju zemalja i zaštitu životne sredine. Povećano interesovanje za ovim elementima je korišćenje ovih elemenata u svakodnevnom životu i u nekim proizvodima. Cene ovih elemenata su znatno porasle i u martu 2011. su imale sledeće vrednosti:

*Tabela 3 – Cene izabranih elemenata retkih zemalja (Mart 2011) i njihova primena*

*Table 3 – Prices of selected rare earth elements (March 2011) and a list of their applications*

Element	Price (USD/kg)	Use
Lanthanum	91	Hybrid engines, metal alloys
Cerium	91	Auto catalyst, petroleum refining, metal alloys
Praseodymium	136	Magnets
Neodymium	147	Auto catalyst, petroleum refining, hard drives in laptops, headphones, hybrid engines
Samarium	91	magnets
Europium	91	Red colour for television and computer screens
Gadolinium	98	magnets
Terbium	740	Phosphorus, C
Dysprosium	450	Permanent magnets, hybrid engines
Yttrium	106	red color, fluorescent lamps, ceramics, metal alloy agent

U pogledu na statistiku u Kini ukupni zahtevi u 2009. su iznosili oko 73 hiljade tona oksida elemenata retkih zemalja, pri čemu je proizvodnja iznosila oko 58%. Primena elemenata retkih zemalja je prisutna u keramici, permanentnim magnetima, katalizatorima, kao i legurama izuzetnih svojstava i fosforoscentim materijalima. Za turbine, koje koriste snagu vetra za proizvodnju električne energije potrebni su oksidi retkih zemalja, a posebno neodijum.

Castor i Hedrick (Castor, Hedrick, 2003, pp. 769–792) su opisali istoriju proizvodnje elemenata retkih zemalja, njihove minerale, geološka nalazišta, a posebno pripremu mineralnih sirovina, kao i njihovo procesiranje nakon obogaćivanja magnetnom separacijom i gravitacionim tehnikama. Rastvaranje minerala monacita obično se vrši korišćenjem koncentrovanih baza na 140°C and 150°C. Posle hlađenja hidroksidi elemenata retkih zemalja su filtrirani, a torijum je odvajanjem rastvaranjem i selektivnom precipitacijom. Monacit je tretiran rastvorima sumporne kiseline na 150°C i daljim rastvaranjem sa vodom da ukloni fosfate. Selektivna precipitacija je takođe vršena u cilju odvajanja torijuma,

Humpries (Humpries, 2010) je pripremio izveštaj za globalne lance snabdevanja elementima retkih zemalja u Americi. On je istakao da ne postoji rudarska proizvodnja elemenata retkih zemalja u Americi. Postoje ovi elementi koriste u proizvodnji raznih komunikacionih sistema, zemaljski navođenih satelita sa Zemlje, antiraketnih sistema, vrlo je bitno analizirati njihovo snabdevanje u budućnosti. On smatra da će potrošnja za permanentnim magnetima na bazi neodijuma porasti od 10 do 16 procenata u 2012, a u katalizi u automobilskoj i petrohemijskoj industriji od 6 do 8% u svakoj godini.

Korišćenje oksida retkih zemalja je povezano sa problemima njihove radioaktivnosti, jer torijum prati nalazišta ovih metala. Bastnaesite, je posle monazita, drugi važni izvor retkih zemalja, i predstavlja uglavnom fluorkarbonat od lakih elemenata retkih zemalja, koji sadrži od 0.1 do 0.3 masenih procenata torijuma (Zhang, et al, 2004, pp. 217–221). Obično je ovaj mineral tretiran kalcinacijom i daljim rastvaranjem sa mineralnim kiselinama ili samo direktnim tretiranjem sa kiselinama, imajući u vidu da se torijum koncentriše u otpadnim vodama i šljaki, i to u koncentracijama većim od propisanim. Goldschmidt proces za tretiranje bastnaesite se izvodi između 1000°C and 1200°C hlorovanjem sa gasovitim hlorom i korišćenjem ugljenika kao redukcionog sredstva. Torijum se sakuplja kao gasoviti produkt.

## Osnovni procesi i metode u metalurgiji retkih metala

U procese dobijanja metala se ubrajaju razne metode, koje predstavljaju hemijsko-metalurške procese, kojima se podvrgava metalonosna sirovina, sa glavnim ciljem da se korisne komponente prisutne u njoj odvoje od osnovne mase jalovine i prevedu u oblik pogodan za dalju preradu do metala, ili mešavine raznih metala, koji se dalje koristi u razne metalurške svrhe.

Procesi pripreme mineralnih sirovina obuhvataju uglavnom usitnjavanje, flotaciju, magnetnu separaciju u cilju obogaćivanja sirovine. Dalja prerada obuhvata pirometalurški tretman (topljenje polaznih sirovina sa odgovarajućima solima i selektivno isparavanje i sublimaciju) i hidrometalurški tretman (luženje pri atmosferskom i visokom pritisku u autoklavu), (Stopić, Friedrich, 2011, pp. 29–44), (Stopić, 2011, pp. 282–293).

Dalje prečišćavanje rastvora i njegovo obogaćivanje se vrši procesima jonske izmene i ekstrakcije organskim rastvaračima. Na kraju dobijanja metala iz vodenih rastvora korisnih komponenata se vrši postupcima kristalizacije, hemijskog taloženja, cementacije i redukcije vodonikom ili nekim drugim gasovitim reducentom. U zavisnosti od primenjenog postupka definišu se karakteristike dobijenih metalnih prahova. U najvećem broju dobijanja metala radi se o kombinovanju raznih procesa i operacija, koje obrazuju nove tehnologije. Prilikom gore navedenog tretmana nastaju i razni međuprodukti (obično čvrst ostatak), koji sadrže i mali deo kritičnih metala (indijum, germanijum, galijum), pa se dalje tretira u cilju njihovog dobijanja.

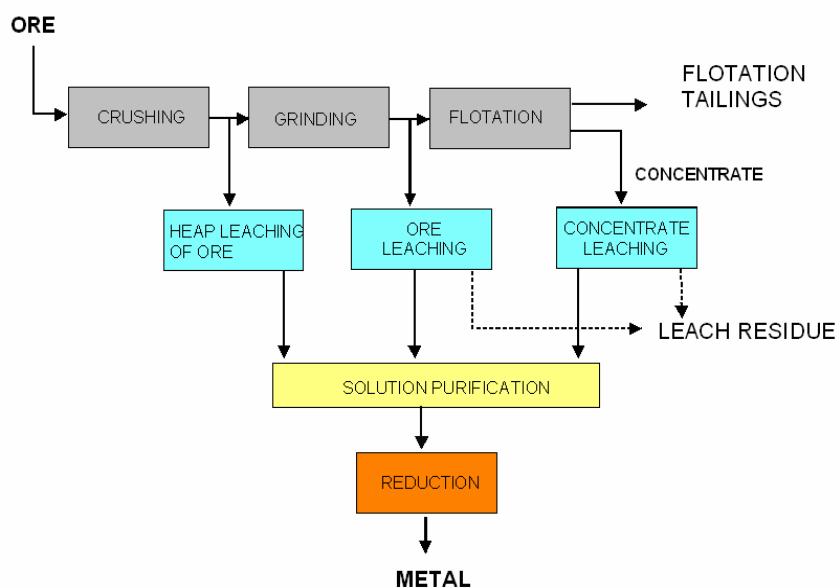


Figure 3 – From ore to metal using metallurgical processes (Knuutila, 2009, p.142)  
Slika 3 – Dobijanje metala iz rude korišćenjem metalurških procesa (Knuutila, 2009, p.142)

## Metalurgija indijuma

Indijum pripada grupi lakotopivih elemenata retkih zemalja, čijim dodavanjem se povećava čvrstoća, tvrdoća, i koroziona otpornost legura. Najveći proizvođači indijuma se nalaze u Belgiji, Kanadi, Rusiji, Francu-



skoj i Japanu. Koristi se za prevlake na metalima radi zaštite od korozije odgovornih delova izloženih teškim radnim uslovima, u poluprovodničkoj tehnici za izradu dioda. Javlja se kao međuprodukt nakon pirometalurškog i hidrometalurškog tretmana sulfidnih sirovina (Alfantazi, Moskalyk, 2003, pp. 687–694). Indijum može biti pridružen i sa drugim korisnim metalima, kao što su vanadijum, talijum, galijum, germanijum, ali i kadmijum. Prevlake indijuma se nanose elektrolitičkim putem na površinu.

## Metalurgija itrijuma

Itrijumova jedinjenja se primenjuju u mnogim područjima. Posebno se koristi za proizvodnju superprovodnika, u superlegurama nikla i kobalta, kao i za gorivne ćelije čvrstih oksida. Itrijum oksid ima visoku tačku topljenja, i njegovo korišćenje je posebno prisutno u keramici. Jedinjenja itrijuma se koriste takođe kao katalizatori. Porast industrijskih primena elemenata retkih zemalja vodi ka potrebi pronalaženja tehnologija za dobijanje retkih zemalja. Selektivno rastvaranje itrijuma od lantana i drugih elemenata se vrši korišćenjem amonijum-karbonata (Vasconcellos, 2006, pp. 200–203).

## Zaključak

Evropska komisija je u 2010. procenila 14 elemenata, koji će biti od izuzetnog značaja za privredu u evropskim zemljama u budućih 20 godina, i nazvala ih kritičnim metalima. To su elementi retkih zemalja (grupa lantanida, itrijum, skandijum), platinska grupa metala, germanijum, galijum, niobijum, magnezijum, antimon, indijum, volfram, kobalt, tantal, grafit, fluorite. Elementi retkih zemalja imaju retka magnetna svojstva, otporni su na toplotu i svetle u mraku, pri čemu se primenjuju u proizvodnji efikasnih magneta, fosfora, optičkih materijala, delova za baterije, keramiku i specijalne abrazivne praškove. Zbog izuzetne primene za turbine, koje koriste energiju vetra, katalizatore za automobilsku industriju, motore za električna i hibridna vozila, ravne ekrane sočiva za kamere, industrijske baterije, medicinsku opremu, njihov značaj je porastao, pa se postavlja pitanje njihovog stalnog snabdevanja. Oko 90% legura elemenata retkih zemalja proizvodi se u Kini. Kina je postepeno uvodila restrikcije na izvoz lantanida tako što je povećavala takse za izvoz i drastično smanjivala izvozne kvote što se odrazilo na rast cena ovih retkih sirovina. To je izazvalo proteste u evropskim zemljama i Americi. Cena po kojoj Kina prodaje elemente retkih zemalja izvoznicima u Evropi je mnogo veća u poređenju sa cenama za domaće proizvođače. Različit spektar metalurških procesa preko pirometalurških i hidrometalurških procesa nudi razne mogućnosti da se selektivno dobiju elementi retkih zemalja.

## References

- Alfantazi, A., Moskalyk, R., (2003), Processing of indium: a review, *Minerals Engineering*, pp. 687–694.
- Castor, S, Hedrick, J., (2003), Rare earth elements, *Industrial Minerals and Rocks*, pp. 769–792.
- Djurkovic, B., Djurkovic, D., (1991), *Metalurgija retkih metala*, Izdavač: Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu, p. 465.
- Drnek, T., (2011), European Union policy approaches to secure raw materials availability, *RHI Bulletin*, 2, pp. 31–35.
- Humpries, M., (2010), *Rare Earth Elements: The global supply chain*, Congressional Research Service Report, 15.
- Knuutila, K., (2009): The Role of Hydrometallurgy in the winning of Non-Ferrous Metals, *World of Metallurgy-ERZMETALL* 62, 3, p.142.
- Nienhaus, K., Mavroudis, F., Pankert, M., (2012), Economic and environmental consequences of the global rare earth market development, *Erzmetall-World of metallurgy*, 65, 2, pp. 126–131.
- Steinbach, V., Graupner, T., Klimesch, L., Wilkend, H., (2011), *Deutsche Rohstoffagentur- DERA, Tasks and goals of the German Mineral Resources Agency- Economic and environmental consequences of the global rare earth market development*, *Erzmetall-World of metallurgy*, 65, 64, 4, pp. 213–216.
- Stopić, S., Friedrich, B., (2011), Hidrometalurgija pri visokim pritiscima – nova šansa za procese koji ne zagađuju životnu sredinu, *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, Vol. 59, No. 3, pp. 29–44.
- Stopić, S., (2011), Šesta Evropska konferencija o metalurgiji EMC 2011, *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, Vol 59, No.4, pp. 282–293.
- Vasconcellos, M et al., (2006): Enrichment of yttrium from rare earth concentrate by ammonium carbonate leaching and peroxide precipitation, *Journal of Alloys and Compounds*, 418, pp. 200–203.
- Zhang, L., Wang, Z., Tong, S., Lei, P., Zou, W., (2004): Rare extraction from Bastnaesite concentrate by stepwise carbochlorination- chemical vapour transport oxidation, *Metallurgical and Materials Transaction B*, 35 B, pp. 217–221.
- Aus dem Ruder gelaufen, *Sekundaerrohstoffe*, 6, 2011, pp. 21–24.
- Critical raw materials for the EU, Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, EU-Commission, DG Enterprise and Industry, Brussels, 2010, p. 85.
- FP/NMP Working Document 2012, Theme 4, Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and new production technologies.
- Kampf um Rohstoffe, *Spiegel*, Deutschland, 5, 2006.
- Seltene Erden: EU verklagt China, *Wirtschaft*, 63, 23 (14. 03. 2012).

## CRITICAL MATERIALS IN THE 21 CENTURY

FIELD: Materials

ARTICLE TYPE: Review Paper

### Abstract:

*Critical materials represent mostly metals having a big importance for the future of the economy in the European countries. It is very difficult to replace these critical metals by other metals. Because of their wide application, the demand for these metals is increased, but the production cannot follow their growing consumption. Rare earth elements (REE) belong to critical materials. They include 17 elements, very similar in terms of their chemical and physical properties due to their mineralogical structure (the best-known are lanthanum and thorium, which is radioactive). REE are divided into elements with a lower atomic mass and elements with a higher atomic mass. Heavier metals show a significantly lower presence in the upper earth crust. In 2010, the share of the REE production in China in the global production amounted to 97%, constituting a near-monopoly in the world market. In different studies, the term „Strategic“ is often used instead „of „critical“ materials. The materials for military application are called „Strategic“ (nickel). In comparison to strategic metals, critical materials have a big importance for the national economies of European countries (platinum group of metals, rare earth elements, cobalt). The European Commission prepared a strategic development plan for critical materials in the next twenty years.*

### The rare earth elements

*The rare earth elements include 15 elements (Z=57 through 71) and Yttrium (Z=39) and scandium. Because of their reactivity and similarity, the REEs were found to be difficult to obtain.. Lanthanide elements with a low atomic number are generally more abundant in the earth crust than those with high atomic numbers. World demand for rare earth elements is estimated by Humphries (CRS Report for Congress) at 134.000 tons per year, with the global production of around 114.000 tons annually. Humphries has reported in 2010 that there is no rare earth mine production in the United States. The major uses for rare earth elements include applications in auto catalysts, petroleum refining, metal alloys, cell phones, portable DVDs, etc. Permanent magnets containing neodymium, gadolinium and dysprosium are used in numerous electrical components and generators for wind turbines. The primary defense application (underwater mine detection, satellite power and communication systems, radar systems, etc.) use new materials: Neodymium Iron Boron, Samarium Cobalt. REEs extraction from monazite is performed by dissolution in a hot concentrated base or acid solutions. After cooling, the hydroxides of REEs and thorium are recovered by filtration, and thorium is separated by dissolution and selective precipitation.*

#### Metallurgy of indium

*Indium belongs to the group of rare earth elements with a low melting point. Some addition of indium increases the strength, hardness and corrosion resistance of alloys. The most known producers are situated in Belgium, Canada, Russia, France and Japan. Indium is used as coating on metals applied in difficult operation conditions, and in semiconductor techniques for the production of diodes.*

*It is formed as a semi-product after pyrometallurgical and hydrometallurgical treatment of sulphidic raw materials. Indium can be used with other valuable metals such as vanadium, thallium, gallium, germanium, and cadmium. The coating process based on Indium is performed by an electrolytic treatment on the surface.*

#### Metallurgy of yttrium

*Yttrium compounds found interesting application in many fields. In particular, yttrium is used in the manufacture of superconductors, in super alloys of nickel and cobalt, and solid oxide fuel cells. Yttrium oxide has a high melting point and is used in ceramics. The compounds of yttrium are also used as catalysts. The growing industrial application of the rare earth elements led to a growing interest in finding new technologies for their recoveries. The selective dissolution of yttrium from lanthanum is performed by ammonium carbonate leaching.*

#### Conclusion

*The EU Raw materials Initiative was decided to identify a list of critical raw materials at the EU level. The EU-report describes a selection of 41 minerals and metals. Then, 14 elements were chosen as critical materials for the economy of the European countries in the next twenty years. The future use of REEs is expected to be increased in the European countries. About 90% of metal alloys are produced in China. The price of rare earth elements is reduced for the consumers in China in comparison to some companies in the USA and Europe. Therefore, the European countries and the USA have protested against this situation. The selective winning of rare earth elements is the most important aim in the processing of raw materials. The combination of pyrometallurgical and hydrometallurgical methods might be a new way of solving this problem in the European countries.*

*Key words: Critical metals, rare earth elements, extraction, hydrometallurgy*

Datum prijema članka/Paper received on: 01. 04. 2012.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/

Manuscript corrections submitted on: 10. 05. 2012.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 12. 05. 2012.