

A KRITIKUS NYERSANYAGOKRÓL

Magyar Tamás¹, Gombkötő Imre²

tanszéki mérnök¹, egyetemi docens, intézeti tanszékvezető²

Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

ABSTRACT

Recently, there is a growing demand for raw materials and this is driven by the growth of developing economies and new emerging technologies. On the other hand the worldwide production of some materials mainly comes from a handful of countries, for example: China - Rare Earths Elements (REE), Russia, South Africa - Platinum Group Elements (PGE), Democratic Republic of Congo – Cobalt, etc. In the EU as well as inside in Hungary the importance of the so called 14 critical elements has been recognized. In the TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0005 project, the Institute of Raw Materials Preparation and Environmental Process Engineering in cooperation with the Institute of Mineralogy and Geology of the University of Miskolc work on the exploration of the primary and secondary raw critical material sources in Hungary. Furthermore our main task is the development of the process techniques and technologies for the prospective sources. This paper is going to introduce the 14 critical raw material and their technologic and economic importance.

I. BEVEZETÉS

A megfelelő mennyiségű és minőségű nyersanyag megléte alapvető fontosságú az európai és a magyar gazdaság számára. Ennek tükrében az olaj és földgáz, illetve szénkészletek jelentősége állandóan a köztudatban forog, míg a nem energiahordozó nyersanyagok, mint az ércek és egyéb ásványi anyagok stratégiai hordereje sokszor a háttérbe szorul. A legismertebb elemek, mint a réz vagy alumínium jelentőségével gyakran mindenki tisztában van ugyan, de kevesen tudják, hogy egyes egyéb elemek szintén alapvető fontosságúak modern életünkben, a mai gyártástechnológiai alkalmazásokban [7]. A fluor például nélkülözhetetlen kelléke a TV és számítógép képernyőknek, de egyes ún. "high-tech" elemek szintén nélkülözhetetlenek a modern személygépjárművek, lapos képernyők, okos telefonok esetén, amelyek megszámlálhatatlan sora épül olyan elemekből készült anyagok alkalmazására, mint az antimon, kobalt, lítium, tantál, volfrám vagy molibdén. Egy másik anyagcsoport nélkül nem létezhetnek az ún. "zöld technológiák", mint a hibrid személygépjárművek, azok katalizátorai vagy egyszerűen a könnyű szerkezetekből történő építés gondolata mentén alkotott erős, de mégis alacsony fajsúlyú ötvözetek a jobb és környezetkímélőbb közlekedés érdekében. Ide kell sorolni a napelemek és szélturbinák által képviselt technológiákat, illetve az egyre nagyobb kapacitású és hosszabb élettartamú elemeket, akkumulátorokat is. Ezen technológiák rendszeresen alkalmaznak lítiumot, ritka fémeket, a platina csoport elemeit. Összességében elmondható, hogy elsősorban a jelentős gazdasági potenciállal bíró high-tech ipar, a megújuló energiaforrásokat kiaknázó technológiák és a hadiipar a jelentős felhasználói ezen kritikus fontosságú elemek alkotta anyagoknak.

Napjainkban gyökeres gazdasági és politikai átalakulások időszakát éljük. Az eddig a fejlett országok csoportjába tartozó régiók (pl. Európa, Egyesült Államok, Japán) több válság folyamat ismétlődő hatását szenvedik el, miközben a korábban fejlődők közé sorolt, és GDP tömeg szempontjából az első tíz közé tartozó ún. CRIB országok csoportja (Kína, Oroszország, Brazília, India) gazdasági fejlődésének üteme nő [60]. A válságjelenségek egyik fő oka az energia és nyersanyag források fölötti rendelkezés eddigi egyensúlyának meg bomlása, az eddig könnyen elérhető import megdrágulása és bizonytalanná válása.

Az EU az e téren mutatkozó jelentős elmaradások felismeréséhez a 2000-es évtized végén jutott el. Az EU SECC(2008)2741 számú kommunikációjában [56] mutatott irányt arra vonatkozóan, hogy az Európai Unió országaiiban újra kell indítani a stratégiai fontosságú ásványi nyersanyag készletek felmérését, feltárását és értékelését. Teret, sőt elsőbbséget kell biztosítani a nyersanyag kitermelési és feldolgozási technológiákkal foglalkozó képzéseknek. Át kell tekinteni a környezet- és természetvédelem szabályozásának azon részeit, amelyek módosítása a környezeti fenntarthatóságot még nem veszélyeztető módon a kitermelést az EU belső forrásaiból serkenthetik (pl. a Natura 2000 területek szabályozása). A stratégiai alapidokumentum megszületése után kezdődő munka egyik jelentős eredménye az a jelentés, amelyet az EU Bizottság mellett szerveződött RawMaterials Group

adott ki 2010-ben [55].

A jelentés az Európai Unió tagországain belül várható ipari igények és a lehetséges beszerzési források szerint rangsorolva 14 olyan nyersanyagfajtát nevez meg (1. táblázat), amelyekből a 2030-ra Európa jelentős mértékben behozatalra szorulhat, majd a felsorolt nyersanyagok kitermelési volumenének ütemét, az azokra vonatkozó trendeket. Az említett nyersanyagok elérhető elsődleges forrásainak koncentrációja az Unió számára egyúttal komoly kockázatot, bizonytalanságot is jelent.

Kritikus nyersanyagok	
Antimon	Indium
Berillium	Magnézium
Kobalt	Nióbium
Fluor	Platina csoport elemei
Gallium	Ritka földfémek
Germánium	Tantál
Grafit	Volfrám

1. táblázat: Kritikus nyersanyagok.

Az Európai Unió megbízásából készült tanulmány eredményei jól megmutatják, hogy az új technológiákban jelentkező nyersanyag igény hogyan hat az egyes nyersanyagok kritikusságának megítélésére [5]. A 2. táblázatban összehasonlító adatokat láthatunk a fenti tanulmányban elemzett nyersanyagok jelenlegi globális kitermelési rátája és a jelenlegi, illetve az érintett iparágakban jelentkező jelenlegi és a 2030-as évben becsült felhasználási igény esetére. A táblázat tartalmaz egy olyan kereslet/termelés indikátort is, amely a jelenlegi és jövőbeni felhasználási igényt hasonlítja össze a jelenlegi termelési adatokkal. Jól látható, hogy ez az indikátor például gallium esetén közel 4, indium esetén 3,3, amely gallium esetén 20-szoros igénynövekedést jelent világviszonylatban.

Nyersanyag	Termelés [tonnában] 2006	Igény [tonnában] 2006	Igény [tonnában] 2030	Indikátor [-] 2006	Indikátor [-] 2030
Gallium	152	28	603	0,18	3,97
Indium	581	234	1.911	0,40	3,29
Germánium	100	28	220	0,28	2,20
Neodímium	16.800	4.000	27.900	0,23	1,66
Platina	255	csekély	345	0	1,35
Tantál	1.384	551	1.410	0,40	1,02
Kobalt	62.279	12.820	26.860	0,21	0,43
Palládium	267	23	77	0,09	0,29
Titán	7.211.000	15.397	58.148	0,08	0,29
Ruténium	29 4	0	1	0	0,03
Nióbium	44.531	288	1.410	0,01	0,03
Antimon	172.223	28	71	<0,01	<0,01

2. táblázat: Egyes nyersanyagok termelési és igényelt mennyiségének összehasonlítása [54].

II. A KRITIKUS ELEMEEK

II.1. ANTIMON (Sb)

A világ jelentősebb (primer) **antimon** forrásai Bolíviában, Kínában, Mexikóban és Dél-Afrikában találhatóak (3. táblázat) [33], de jelenleg is zajlanak olyan kutatások Olaszországban és Szlovákiában, amelyek az antimon keresésére irányulnak. Habár az EU teljesen importfüggő antimon tekintetében, a 2007-es adatok alapján az EU antimon felhasználása a világ termelésének csak a 0,5 %-a (792 tonna) volt. Az adatok alapján az is megállapítható, hogy a világ antimon termelésének kevesebb, mint 1 %-a történik az EU-n belül (Európán belül kizárólag Törökország mutat csekély jelentőségű antimon termelést) [8]. A 2008-2009 közötti időszakban a világ antimon termelése 5 %-al csökkent.

Antimon (Sb) Országok	Tartalékok		Termelés		EU import	
	[1.000 tonnában] 2010	[%]	[1.000 tonnában] 2009	[%]	[tonnában] 2007	[%]
Bolívia	310	14,7	4,5	2,4	608	76,8
Kína	790	37,4	170	91,2	122	15,4
Oroszország (újrahasznosítható)	350	16,6	3	1,6	-	-
Dél-Afrika	44	2,1	3	1,6	-	-
Tadzsiszisztán	50	2,4	2	1,1	-	-
Thaiföld	420	19,9	-	-	-	-
Japán	-	-	-	-	14	1,8
Peru	-	-	-	-	48	6,1
Egyéb	150	7,1	4	2,1	-	-
Összesen	2.114		186,5		792	

3. táblázat: Az antimon (Sb) tartalékok, a termelés és az EU import adatai [27].

A gyakorlatban az antimon visszanyerését főleg az elhasznált savas ólom akkumulátorok újrahasznosításával oldják meg, azonban az új technológiával gyártott savas ólom akkumulátorokból visszanyerhető antimon mennyisége már lényegesen kevesebb. Az elérhető információk alapján az akkumulátorokból visszanyerhető antimon aránya 3-20 % közötti. A másodlagos nyersanyagforrásból visszanyerhető antimon jelentős hányadát antimonos ötvözetekből forgatják vissza, amelyeket az akkumulátor ipar termel.

Az elmúlt néhány évben az ipari trendek megváltoztak, amely a másodlagos antimon termelés csökkenésével járt, ugyanis a kevés karbantartást igénylő akkumulátorok megjelenése felborította az antimon fogyasztás egyensúlyát, amely egyre inkább a kalcium tartalmú adalékanyagok irányába változik meg, ezzel helyettesítve az antimont [54].

II.2. BERILLIUM (BE)

A világon fellelhető **berillium** készletek becsült összértéke 80 ezer tonna, amelynek jelentős hányada, mintegy 65 %-a az USA területén található [34]. A berillium stratégiai fontosságú elem a hadiipar számára, éppen ezért a készletekről kapott adatok és az alkalmazása is nagymértékben korlátozott.

A berillium kereslet igen korlátozott a magas árak miatt. Az Európai Gazdasági Területen (EEA) belül jelenleg nincs ismert, a berillium bányászat. A globális, becsült tartalékokról szóló adatok és az éves szintű felhasználás alapján azonban úgy tűnik, hogy az USA területén található ércekben előforduló berilliumból bőséges kínálat van. A jelenlegi igény mellett az adatokból megállapítható, hogy a tartalékok fedezni tudják az EU és világ berillium szükségletét az elkövetkezendő 100 évben [54].

Jelenleg a berillium fogyasztás közel 19 %-a másodlagos nyersanyagokból forgatják vissza, amelyből megközelítőleg 50 % egy elsődleges feldolgozás, majd egy másodlagos aktív feldolgozás során exportálásra és újra olvasztásra kerül [4]. A másodlagos nyersanyagok feldolgozása során a berillium tartalom közel 90 %-anyerhető vissza ötvözetként már az elsődleges feldolgozás során. A visszanyerési folyamat viszonylag egyszerű, nem igényel speciális eszközöket és technológiákat sem.

A berillium magas ára

miatt az alkalmazása csak ott jöhet szóba, ahol az kritikus fontosságú, éppen ezért nagyon nehezen helyettesíthető elem. Ennek ellenére mégis léteznek olyan fém mátrixok és szerves kompozitok, mint például a nagy szilárdsággal rendelkező alumíniumok, pirolitikus grafitok, karbidok (fémek szénal alkotott vegyületei), az acél vagy a titán, amelyek bizonyos esetekben helyettesíthetik az egyébként kulcsfontosságú berilliumot. A fent említettekén kívül még számos lehetséges helyettesítő anyag létezik, azonban ezek alkalmazása a helyettesítő anyag rosszabb tulajdonságai nem feltétlen célszerű.

II.3. KOBALT (CO)

A **kobalt** jellemzően a rézhez vagy a nikkellez társul az ásványokban, emiatt a világ kobalt termelésének a 85 %-a a nikkellez (~50 %) és a réz- (~35 %) kitermelési, gyártási folyamata során keletkezik. A világ kobalt termelésének mindössze 15 %-a származik közvetlen kobaltkohászatból. A primer források uralkodó többsége Afrikában található, de számottevő készletek vannak az amerikai és az ausztrál térségekben is (4. táblázat). Az Európai térségben jelenleg nincs ismert kobalt kitermelés [29]. A kobalt készletek becslésére vonatkozóan a CDI (Kobalt Fejlesztési Intézet) végzett el kutatásokat, amelyek eredményeként megállapították, hogy a világ kobalt készletének becsült értéke 7,1 millió tonna. A világ kobalt termelése 1995 óta jelentősen megugrott, majdnem megnégyszereződött.

Kobalt (Co)	Tartalékok		Termelés		EU import	
	[1.000 tonnában]	[%]	[1.000 tonnában] 2008	[%]	[1.000 tonnában] 2007	[%]
Kongói Köztársaság	3.400	51,5	31	40,8	18,6	70,3
Ausztrália	1.500	22,7	6,1	8	-	-
Kuba	500	7,6	3,2	4,2	-	-
Zambia	270	4,1	6,9	9,1	-	-
Oroszország	250	3,8	6,2	8,2	5	19,1
Új-Kaledónia	230	3,5	1,6	2,1	-	-
Kanada	120	1,8	8,6	11,3	-	-
Kína	72	1,1	6	7,9	0,05	0,2
USA	33	0,5	0	0	-	-
Brazília	29	0,4	1,2	1,6	0,5	2
Marokkó	20	0,3	1,7	2,2	-	-
Egyéb	180	2,7	3,4	4,5	2,2	8,4
Összesen	6.604		75,9		26,5	

4. táblázat: A kobalt (Co) tartalékok, a termelés és az EU import adatai [29].

A CDI értékelése szerint a fémként vagy koncentrátumként (amelyek további finomítást igénylő kobalt tartalmú anyagokból keletkeznek) keletkező kobalt mennyisége 2008-ban 56.400 tonna volt, amelyből 18 % az EU-ban keletkezett [59].

A kobalt másodlagos nyersanyagokból történő visszaforgatása gazdasági okok (áringadozás, magas költségek) és a kínálat geopolitikai struktúrája (a közép-afrikai országok dominanciája) miatt indokolt. Az ötvözetekből és a fémkarbid szekunder forrásokból (általában szuperötvözet és fém-karbid tartalmú eszközökből) a kobaltot ötvözetként vagy valamilyen keverék formájában nyerik vissza. Néhány kobalt tartalmú karbid anyagot is visszaforgatnak a kobaltgyártás ipari technológiáján keresztül, a katalizátorokban és az akkumulátorokban lévő mennyiség visszanyerése is megoldott, szintén a gyártási technológiába történő visszaforgatással. Ezek az elhasznált termékek egyre értékesebb források az EU számára, amellyel csökkenthető az ipar számára nélkülözhetetlen, teljes mértékben importált kobalt mennyisége. A kobalt pigmentekből, festékekből, üvegekből történő visszanyerése nem lehetséges. Az UNEP vizsgálata alapján megállapítható, hogy a kobaltra vonatkozó elhasznált termékek visszaforgatási aránya 68 %, amely lényegesen magasabb, mint a legtöbb fémé, viszont a visszanyert kobalt mennyiség aránya csak 32 %.

A kobalt helyettesíthetőségét folyamatosan kutatják, főleg a fém árának ingadozása miatt, azonban az egyedülálló, speciális tulajdonságai miatt a lehetőségek korlátozottak. A kutatások alapján az egyik potenciális helyettesítési terület a mágneses alkalmazásoknál lehetséges, az akkumulátorokban történő helyettesítés vizsgálatait szintén folynak [54].

II.4. FLUOR (F)

A világ **fluor** készletei megoszlának mind az öt kontinensen [17]. A fellelhető, becsült fluor készletek mennyiségét 500 millió tonnára teszik. A fluor készletek széles körű megoszlása ellenére, a világ vezető fluor kitermelője Kína (5. táblázat).

Fluor (F)	Tartalékok		Termelés		EU import	
	[1.000 tonnában] 2010	[%]	[1.000 tonnában] 2009	[%]	[1.000 tonnában] 2007	[%]
Országok						
Kína	21.000	9,3	3.000	58,8	192	26,9
Kenya	2.000	0,9	45	0,9	44	6,1
Mexikó	32.000	14,1	925	18,1	170	23,8
Mongólia	12.000	5,3	280	5,5	1,6	0,2
Marokkó	-	-	40	0,8	13,9	2
Namíbia	3.000	1,3	60	1,2	112,6	15,7
Oroszország	-	-	210	4,1	-	-
Dél-Afrika	41.000	18,1	180	3,5	180,3	25,2
Spanyolország	6.000	2,6	110	2,2	-	-
Egyéb	110.000	48,5	250	4,9	-	-
Összesen	227.000		5.100		715	

5. táblázat: A fluor (F) tartalékok, a termelés és az EU import adatai [26].

2007-ben a fluor felhasználás 25 %-át az EU tagállamai állították elő, főként Spanyolország, Németország és az Egyesült Királyság [58]. A legnagyobb mennyiségek importálása Kínából, Dél-Afrikából és Mexikóból történt. A Franciaországban, 2006-ban beszüntetett fluor gyártás miatt az előállított fluor mennyisége radikálisan lecsökkent. A nagymértékű kínai import-függőség jelentősen megemelte a fluor fajlagos árát, éppen ezért kezdődtek meg a fluor utáni kutatások Bulgáriában (2009) [54].

Az elmúlt néhány évben, a másodlagos forrásokból visszanyert (urán dúsításából és rozsdamentes acélok felületkezeléséből származó anyagok) fluor mennyisége mindössze néhány ezer tonna volt az USA-ban [36]. A teljes felhasznált mennyiséghez képest, ez az érték csak pár százalékos visszaforgatási arányt jelent. A szakértők szerint a visszaforgatás aránya az EU-n belül kevesebb, mint 1 %, amellyel kapcsolatban az előrejelzések szerint sem várható változás. Az alumínium gyártók többsége visszaforgatja a HF és a fluorid tartalmú vegyületeket az olvasztási folyamatokba. A HF visszaforgatása a kőolaj alkilezési folyamata során is kivitelezhető [35].

A fluor helyettesíthetősége korlátozott, kizárólag a foszfor gyártás során keletkező fluoro-kovaszav alkalmazható az alumínium-fluorid gyártásban helyettesítő anyagként. A fluor folyósítószerként történő alkalmazása során az alábbi vegyületek jöhetnek szóba helyettesítőként: alumínium-olvasztási

salak, borax, kalcium-klorid, vas-oxidok, mangán ércek, kvarchomok és a titán-dioxid. A foszforsav gyártás során, annak melléktermékeként keletkező fluoro-kovasav használható az alumínium-fluorid és a HF gyártásnál, de ezek jelentősége igen csekély, mert az előállításukhoz 5-ször, illetve 6-szor több energia szükséges, mint a fluor előállítási folyamatához [53].

II.5. GALLIUM (GA)

2009-ben a világ **gallium** termelése 78 tonna volt, 30 %-al kevesebb, mint az azt megelőző évben (2008), amikor 111 tonnás értéket mutatott. A fő termelő országok közé Kína, Németország, Kazahsztán és Ukrajna tartozik, itt azonban meg kell említeni azokat az országokat is, amelyek csekélyebb előállítási mennyiséggel rendelkeznek: Magyarország, Japán, Oroszország, valamint Szlovákia. A finomított gallium gyártás során közel 118 tonna galliumot állítanak elő, amely magába foglalja a szekunder forrásokból visszanyerhető anyagmennyiséget is. Kína, Japán és az USA a fő előállítói a finomított galliumnak [37]. A 2003-as adatok alapján 60 ismert gallium gyártót tartottak számon 18 országból, amelyből 17 cég az EU területén található [16]. Habár a gallium meglehetősen széles körben elterjedt a földkéregben, mégsem fordul elő jelentősebb, feldolgozható koncentrációkban. Esetenként a cink ércekben és a bauxitban is megtalálható nagyon kis koncentrációkban. A gallium további forrásai közé sorolhatóak a szén égetése során keletkező erőműi pernyék is, amelyekben a gallium mennyiségét a szakértői jelentések 1,5 % körüli értékre teszik. A foszfát is tartalmaz nyomokban galliumot [10]. 2009-ben az USA az éves gallium felhasználásának 67 %-át az integrált áramkörök (IC), 31 %-át az optoelektronikus eszközök előállítására fordította. Csupán az éves fogyasztás 2 %-át használták fel másfajta célokra.

Jelenleg, a gallium még nem visszanyerhető a szekunder (elhasznált) forrásokból. Az elhasznált gallium tartalmú források még nem elérhetőek (nem használták el) az új technológiák közelmúltban történő megjelenése és alkalmazása miatt. Ezek, a még nem felhasználható források lényeges mennyiséget tesznek ki a GaAs alapú eszközökben.

Manapság, a technológia fejlődésével egyre inkább teret nyernek a szerves anyagok segítségével felépülő folyadékkristályos kijelzők. A kutatók folyamatosan a szerves bázisú LED-ek fejlesztésén dolgoznak, amelyek GaAs hozzáadásával egészülhetnek ki a jövőben [11]. Az infravörös lézer diódákban az indium-foszfid tartalmú komponensek GaAs-el történő helyettesítése egyszerűen megoldható, habár csak néhány különleges hullámhosszal rendelkező eszköznél. A napelemekben lévő GaAs legfőbb versenytársa a szilícium. A GaAs egyedülálló tulajdonságai miatt számos, a védelemmel kapcsolatos alkalmazása ismert (IC). Ezen eszközöknél nincs olyan elem, amely képes lenne hatékonyan helyettesíteni a speciális tulajdonságokkal rendelkező galliumot [54]. A GaAs bipoláris tranzistorokban történő alkalmazását a szilícium-germánium tartalmú anyagok helyettesíthetik a jövőben, azonban a helyettesíthetőség vizsgálatai még jelenleg is folynak.

II.6. GERMÁNIUM (GE)

A **germánium** elsődlegesen ásványaiból (germanit, renierit, argirodit) nyerhető ki, de másodlagos nyersanyagforrásként a szén égetése során az erőműi pernyékben is megtalálható. A germánium kizárólag más fémekhez kötött bányászat során, azoknak melléktermékeként állítható elő (réz, ólom, cink). A kereskedelmi germániumot a leginkább finomítókból dúsítják [48]. A germánium tartalékok a cink- és a cink- ólom- réz-szulfid ércekhez társulnak [40]. A germánium tartalékokra vonatkozó mennyiségi adatok korlátozottan elérhetőek (6. táblázat). Az EU területén belül jelenleg nincs germánium kitermelés, a kitermelt anyag az EU-n kívüli ércbányákban kerül finomításra majd exportálásra, főként Kínából [38].

Germánium (Ge)	Tartalékok		Termelés		EU import	
	[tonnában] 2010	[%]	[tonnában] 2009	[%]	[tonnában] 2007	[%]
USA	450	-	4,6	3,3	5,8	18,6
Kína	-	-	100	71,6	22,5	72,3
Hong Kong	-	-	-	-	2,2	7,1
Dél-Korea	-	-	-	-	0,2	0,6
Japán	-	-	-	-	0,2	0,6
Szingapúr	-	-	-	-	0,2	0,6
Oroszország	-	-	5	3,6	-	-
Egyéb	-	-	30	21,5	-	-
Összesen	-	-	139,6	-	31,1	-

6. táblázat: A germánium tartalékok, a termelés és az EU import adatai [25].

A világ germánium felhasználásának közel 30 %-a másodlagos nyersanyagokból kerül visszaforgatásra. A legtöbb optikai eszköznél, a gyártás során a felhasznált germánium, több mint 60 %-a kerül rutinszerűen visszaforgatásra a ma már elhasznált eszközökből. A germánium szintén visszanyerhető az üzemén kívüli tankok és egyéb katonai járművek alkatrészeiből. 2009-ben, a germánium tartalmú fémhulladékok hozzáférhetőségének csökkenésével az optikai szálak gyártásának technológiai fejlesztései is jelentősen lecsökkentek [39].

A jövőben a germánium szilíciummal való helyettesítése viszonylag könnyen megoldható lesz néhány elektronikus eszközben, már ma is léteznek ilyesfajta helyettesítések, például a tranzistorokban. Mindazonáltal a germánium még mindig a legmegbízhatóbb anyag a nagy frekvenciás eszközökben történő alkalmazásoknál. Valójában a germánium alkalmazása a LED-ekben még mindig sokkal gazdaságosabb, mint a helyettesítő elemeké [54]. Az infravörös alkalmazásoknál a germánium cink-szeleniddel történő helyettesíthetősége kivitelezhető, ha bizonyos tulajdonságok romlása (gyengülése)

még elfogadható az eszközzel szemben. A jövőben a titán potenciális katalizátorként jelenhet meg a polimerizációk folyamatában.

II.7. GRAFIT

A természetes **grafit** fém és nem fém tulajdonságokkal is rendelkezik, amely számos ipari eszköznél indokolja az alkalmazhatóságát. A fém tulajdonságai közé tartozik az elektromos- és hővezető képesség. A nem fém tulajdonságok közé a magas hőállóság, az inertség és a kenhetőség tartozik. A grafit számos hasznos tulajdonsággal rendelkezik, amelyek teret adnak a széleskörű alkalmazhatóságnak (30 különböző alkalmazás, több száz formában).

A természetes grafit három típusú előfordulása ismert: vénás (erezetes) grafit (1 %-os piaci részesedés), pelyhes (réteges) grafit (38 %-os piaci részesedés) és mikrokristályos grafit (61 %-os piaci részesedés). A csúcscategóriás ipari alkalmazások a pelyhes (réteges) grafitra fókuszálnak. A felmérések alapján a grafit tartalékok bőségesek, a kereskedelemben azonban az uralkodó szerep mégis Kínáé (7. táblázat) [28].

Grafit Országok	Tartalékok		Termelés		EU import	
	[1.000 tonnában]	[%]	[1.000 tonnában] 2008	[%]	[1.000 tonnában] 2007	[%]
Kína	55.000	77,5	810	72,3	90	74,1
India	5.200	7,3	140	12,5	1	0,9
Mexikó	3.100	4,4	10	0,9	-	-
Brazília	360	0,5	77	6,9	9	7,7
Egyéb	7.340	10,3	83	7,4	21	17,3
Összesen	71.000		1120		122	

7. táblázat: A grafit tartalékok, a termelés és az EU import adatai [28].

Habár, több mint 5 millió tonna igazolt készlet (tartalék) található Norvégiában, Svédországban, Ausztriában, Németországban és a Cseh Köztársaságban, az EU országainak grafit termelése mégis csekély jelentőségű, amelynek következménye, hogy a régió 95 %-a grafit importfüggőségben szenved. A kitermelés fejlődésével, 2008-ra a természetes grafit világtermelése jelentősen megnőtt, mintegy 11,2 millió tonna volt, ellentétben az 1995-ös év 7,5 millió tonnás értékével.

Az acélgégyártásból visszamaradt jó minőségű pelyhes (réteges) grafit visszanyerése technikailag megoldható, de jelenleg még nem bevett gyakorlat. A világpiac grafit bősége jelentősen gátolja a növekvő, másodnyersanyagokból történő visszanyerésre irányuló erőfeszítéseket. A másodnyersanyagokból visszanyert grafit mennyiségére és értékére vonatkozóan nem találhatóak adatok a szakirodalomban [54].

II.8. INDIUM (IN)

Az **indium** széles körben elterjedt a földkéregben, azonban igen kis koncentrációkban található meg. Az indium termelés az ólom-cink tartalmú ércek bányászatához kötődik, éppen ezért a jelentős részét a szfalerit nevű ásványból (ólom-cink-szulfid) nyerik ki [41]. 2007-ben a felmérések szerint, -amely jelentősen hozzájárult az indium árának növekedéséhez-, az indium tartalékok becsült összege nagyjából 6.000 tonna volt (8. táblázat). Az új lelőhelyek azonosításával, valamint gazdaságossá válásával az indium tartalékok mennyisége már nem olyan mértékben kritikus, mint annak előtte. Valójában, az indium gyártó vállalatok által meghatározott -az azonosítható alap fém ércek (ólom-cink ércek) készleteiből becsült (igazolt és várható, mért és jelzett, következtetett)- indium világkészlet közel 50.000 millió tonna, amelyből 26.000 millió tonna a világ nyugati részein, a 23.000 millió tonna nagy része pedig Kína és a korábbi Szovjetunió területén helyezkedik el. Mindezek ellenére az indium fajlagos ára még mindig nagyon magas. Az indium bizonyos szempontokból egy jelentéktelen fém, amelyre nem irányul konkrét (csak az indium miatti) bányászat. Annak érdekében, hogy a bányászati adatokat egyszerűsítsük, és ésszerű áttekintést kapjunk az indium termelésről, csak az ólom és a cink bányászathoz kötődő indium termelés adatait célszerű áttekinteni [9].

- Ólom érc bányászat: az EU országai közül 12 ország járult hozzá a világtermeléshez (2007-es adatok alapján), 269.300 tonna ólom termelésével, amely mintegy 7,5 %-ot tesz ki a világ össztermeléséből. Összességében az EU országait figyelembe véve elmondható, hogy jelentős mennyiségű ólom importálására van szükség az igények kielégítéséhez.
- Cink érc bányászat: 2007-ben az EU országai közül 11 ország járult hozzá a világtermeléshez, 945.000 tonna cink termelésével, amely mintegy 8,6 %-ot tesz ki a világ össztermeléséből. Összességében véve elmondható, hogy, jelentős mennyiségű cink importálására van szükség az igények kielégítéséhez.

A fenti adatok alapján megállapítható, hogy az EU az indium érceinek tekintetében importfüggő, amelynek egyenes következménye, hogy magából az indiumból is importálásra szorul. Ezt a megfigyelést erősíti az a tény is, hogy az EU országai közül egyedül Belgium mutat aktivitást az indium finomítása és gyártása terén.

Az indium kinyerés problémáinak fő okai:

- Az ércek 30 %-ának indium koncentrációja nem éri el a megfelelő, kohászat számára szükséges indium tartalmat, azért az indium tartalom egy része továbbra is elveszik.
- Az ércekben lévő indium tartalom 70 %-ának (amely eléri a kohászathoz szükséges indium tartalmat) a végső kinyerés során elért átlagos kizozatali aránya is csupán 50 %.

Indium (In)	Termelés		EU import	
	Országok	[tonnában] 2008	[%]	[tonnában] 2006
Belgium	30	5,3	-	-
Kanada	50	8,8	-	-
Kína	330	58,1	47,3	81,3
Japán	60	10,6	0,5	0,9
Korea	50	8,8	-	-
Peru	6	1,1	1,5	2,6
Oroszország	12	2,1	1,6	2,7
Hong Kong	-	-	2,3	4
Norvégia	-	-	0,6	1
USA	-	-	2,2	3,8
Szingapúr	-	-	2,2	3,8
Svájc	-	-	-	-
Egyéb	30	5,3	-	-
Összesen	568		58	

8. táblázat: Az indium (In) termelés és az EU import adatai [24].

Az indium másodlagos nyersanyagokból történő visszanyerése igen korlátozott. Az indium visszanyerését másodlagos nyersanyagokból főleg az indium-ón-oxidot (ITO) tartalmazó eszközökből (LCD kijelzők) lehet megoldani, azonban a visszaforgatás aránya itt kevesebb, mint 1% [18]. Az ITO feldolgozásából származó indium visszanyerése gazdaságtalan. A kohászati cégek hatalmas mennyiségű, indium tartalmú meddőket halmoztak és halmoznak fel az évek során. Ezen indium tartalmú meddők kezelése bonyolult és nehézkes, azonban az indium tartalom kinyerhető belőlük, ha szükséges vagy a világszerte ár gazdaságossá teszi azt. Egy újabb felmérés szerint, az összes, meddőkben tárolt indium tartalom közel 15.000 millió tonna világszerte, amely 500 millió tonna indium tartalmú meddővel gyarapodik évente. A felmérés arra enged következtetni, hogy a bányászati tartalékok (100 éven át 500 millió tonna tiszta indium évente) és a meddőkben lévő tartalékok (30 éven át 500 millió tonna évente), valamint a folyamatos fejlesztések alatt lévő visszanyerési technológiák segítségével az indium még hosszú időn keresztül elérhető lesz az ipar számára.

Jelenleg, az indium áringadozása és a szükséges ellátás aggodalma miatt az indium antimon-ón-oxiddal történő helyettesíthetősége érdekessé válhat az LCD kijelzőkben. A szén nanocsöves fedőrétegek alkalmazása alternatívát kínál a kijelzőkben, a napelemekben és az érintőképernyőkben. Számos, más anyag is létezik az indium-ón-oxid helyettesítésére, amelyek természetesen nagyban függenek a helyettesítő anyag alkalmazásának céljaitól is. Az indium helyettesíthető gallium-arseniddal a félvezető gyártásával készült termékekben, valamint hafniummal a nukleáris reaktorokat szabályzó rudak ötvözeteiben [54].

II.9. MAGNÉZIUM (MG)

A USGS adatai szerint, a **magnézium** tartalmú primer források gyakorlatilag széles körben fellelhetőek világszerte. A világ azonosítható magnezit ($MgCO_3$ – magnézium-karbonát) készlete mintegy 13 billió tonna (9. táblázat), amelyhez még hozzáadódik a néhány millió tonna brucit (magnézium-hidroxid) készlet. Ezek együttesen alkotják a magnézium kinyerésének fő forrásait. A dolomit-, a forsterit-, a magnézium tartalmú evaporit-, illetve a magnézium tartalmú sóoldat készletek is számottevőnek mondhatóak, együttes mennyiségük több billió tonnás értéket tesz ki. A magnézium-hidroxid a tengervízből is kinyerhető.

Magnezit ($MgCO_3$) Országok	Tartalékok		Termelés		EU import	
	[1.000 tonnában]	[%]	[1.000 tonnában] 2009	[%]	[1.000 tonnában] 2006	[%]
USA	10.000	0,4	-	-	-	-
Ausztrália	100.000	4,4	130	2,6	-	-
Ausztria	15.000	0,7	200	4	-	-
Brazília	99.000	4,4	100	2	-	-
Kína	400.000	17,7	2.800	56,1	1.156	81,5
Görögország	30.000	1,3	100	2	-	-
India	14.000	0,6	100	2	-	-
Észak-Korea	450.000	19,9	50	1	-	-
Oroszország	650.000	28,9	350	7	44	3,1
Szlovákia	36.000	1,6	270	5,4	-	-
Spanyolország	10.000	0,4	130	2,6	-	-
Törökország	49.000	2,2	600	12	-	-
Egyéb	390.000	17,3	160	3,2	218	15,4
Összesen	2.253.000		30.190		1.418	

9. táblázat: A magnezit ($MgCO_3$) tartalékok, a termelés és az EU import adatai [22].

A táblázat a magnezit kitermelés adatait és nem az előállított tiszta magnéziumra vonatkozó adatokat szemlélteti. Egy másik felmérés becslései adatai szerint a világtermelés mértéke 570.000 tonna magnezit volt 2009-ben, amelynek az uralkodó részét, hozzávetőleg 470.000 tonnát Kína állított elő.

A magnézium másodlagos nyersanyagforrásokból történő visszanyerésének aránya 33 %. A legtöbb fémre, így a magnéziumra is elmondható, hogy a szekunder forrásokból történő visszanyerése csökkenti az energiaköltségeket és az importfüggőséget is. A becslései adatai extrapolálása alapján megállapítható, hogy a 33 %-os visszaforgatási arány a közeljövőben emelkedni fog.

A magnézium helyettesítésére -főleg az öntvényekben és a kovácsoltvas termékekben- az alumínium és a cink alkalmas. Néhány hőálló alkalmazásnál a magnéziumoxidot kromittal és kovással helyettesíthetik [54].

II.10. NIÓBIUM (NB)

A **nióbiium** a föld számos pontján megtalálható, de csak ritkán fordul elő gazdaságosan kitermelhető koncentrációkban. A nióbiium földkéregben való átlagos koncentrációját tekintve a 33. helyen áll (24 ppm) az elemek között. Jelenleg, körülbelül 60 nióbiium tartalmú ásványt tartanak számon világszerte, amelyek közül a piroklór ((Na,Ca)₂Nb₂O₆(OH,F)) és a kolumbit (Fe(NbTa)₂O₆) a legfontosabbak [49]. A piroklórból (90 %) és a kolumbitből (7,5 %) kinyert nióbiium a világ kínálatának majdnem a 100 %-át adja. A világ nióbiium forrásainak mennyisége több mint, a várható kereslet. A nióbiium termelés világszerte vezetője Brazília (10. táblázat) [43].

Nióbiium (Nb)	Tartalékok		Termelés		EU import	
	[1.000 tonnában] 2010	[%]	[1.000 tonnában] 2009	[%]	[tonnában] 2006	[%]
Brazília	2.900	98,4	57	92,4	16,6	84,1
Kanada	46	1,6	4,3	7	3,1	15,8
Oroszország	-	-	-	-	0,009	0,05
Egyéb	-	-	0,4	0,6	-	-
Összesen	2.946		61,7		19,7	

10. táblázat: A nióbiium (Nb) tartalékok, a termelés és az EU import adatai [20].

Az import fő forrása Brazília, kisebb mennyiségben pedig Kanada. Az EU országai is exportálnak kisebb mennyiségben nióbiiumot, habár az EU területén nem történik előállítás. A 2007-es adatok szerint, a Morella Salles csoport adta a nióbiium termelés 85 %-át, amelyet az amerikai Angelo PLC (8 %) és a Lamgold (7 %) vállalatok követnek.

A nióbiium visszanyerhető másodlagos nyersanyagokból is, például a nióbiium tartalmú acélokból és a szuperötvözetekből. Az elektronikai hulladékokból történő visszanyerés, a visszanyerhető, kevés nióbiium tartalom miatt elhanyagolható. A szekunder nyersanyagokból történő nióbiium visszanyerésére vonatkozóan nem állnak rendelkezésre adatok, azonban egyes becslések ezt az értéket 20 % körülire teszik [42]. Habár a nióbiium helyettesítése megoldható más elemekkel, a helyettesítés magába foglalja a magasabb költségeket, csakúgy, mint a helyettesítő elem eltérő tulajdonságaiból adódó teljesítmény csökkenést [54]. A nióbiium helyettesítésére az alábbi elemek lehetnek alkalmasak:

- A molibdén és a vanádium, mint ötvöző elem a nagy szilárdságú acélokból.
- A tantál és a titán, mint ötvöző elem a rozsdamentes és nagy szilárdságú acélokból.
- A kerámiák, molibdén, tantál és a volfrám a magas hőmérsékletű alkalmazásoknál.

II.11. PLATINA CSOPORT ELEMEI (PGM)

A **platina csoport elemei (PGM)** nagyon ritkán, kis koncentrációkban fordulnak elő a földkéregben. A platina és a palládium átlagos, a természetben előforduló koncentrációja megközelítőleg 5 ppm, míg a ródiumé, az irídiumé és a ruténiumé 1 ppm körül van [1]. A platina csoport elemeire nem irányul közvetlen bányászat az EU-ban [2], habár néhány ország csekély platina és palládium termelést produkált a 2007-es adatok alapján [52]. Az EU országai közül csak Finnország és Lengyelország járult hozzá kis mértékben a világ platina termeléséhez. Finnország termelése 800 kg volt, ami a világtermelés 0,39 %-át jelenti, Lengyelországé pedig mindössze 10 kg. A jelentések szerint palládium termelést egyedül Lengyelország mutat, 20 kg előállított palládiummal, ami 0,01 %-ot tesz ki a világtermelésből. A platina csoportban lévő elemek tartalékainak 90 %-a Dél-Afrikában található, éppen ezért nem meglepő, hogy Dél-Afrika a világ, vezető platina kitermelője (11. táblázat) [44]. A természetben előforduló platina csoport elemei minden esetben más elemekkel összekapcsoltan jelennek meg. Ezekben a társulásokban a leggyakoribb fémes alkotóelem a platina és a palládium, átlagosan a ródium és a ruténium, míg a legalacsonyabb előfordulással az irídium és az ozmium jelenik meg. A platina csoport elemeihez kapcsolódóan további elemek társulása is jellemző, ilyen a nikkel, a réz és az arany. Míg a Dél-Afrikában, a Zimbabweben és az USA-ban található készleteket kizárólag a platina csoport elemei miatt bányásszák, addig az Oroszországban és a Kanadában található készletekből a platina csoport elemeinek előállítása a nikkel bányászat melléktermékeként jelentkezik. A platina csoport elemeire jellemző társulások miatt a ródium, a ruténium, az irídium és az ozmium kínálata nagyban függ a platinára és a palládiumra irányuló bányászattól, mindeközben Oroszországban és Kanadában a kínálatot jellemzően a nikkel bányászata határozza meg [14].

Platina csoport elemei (PGM)	Tartalékok (PGM)		Palládium termelés		Platina termelés	
	[tonnában] 2010	[%]	[tonnában] 2009	[%]	[tonnában] 2009	[%]
USA	900	1,3	12,5	6,4	3,8	2,1
Kanada	310	0,4	9	4,6	5	2,8
Oroszország	6.200	8,7	80	41	20	11,2
Dél-Afrika	63.000	88,5	79	40,5	140	78,7
Zimbabwe	-	-	4,8	2,5	6	3,4
Egyéb	800	1,1	9,8	5	3,2	1,8
Összesen	71.210		195,1		178	

11. táblázat: A platina csoport elemeinek (PGM) tartalékai, a palládium termelés- és a platina termelés adatai [44].

Az EU számára szükséges, főbb importforrások Dél-Afrikában (megközelítőleg 60 %) és Oroszországban (több mint 30 %) találhatóak [32]. A platina árának fajlagos növekedése az elmúlt 20 évben számos új terület felfedezéséhez és a már előzőleg gazdaságtalannak minősített előfordulások újraértékeléséhez vezetett. Ezen területek közé sorolható a grönlandi Skaergaard-, az amerikai Duluth- és a finn Penikat- és Keivitsa-komplexumok [3].

A platina csoport elemei megtalálhatóak a réz palás előfordulásaiban is. Az alapanyagok árának növekedésével az EU területén található üledékes kőzetek kitermelése egyre inkább gazdaságossá válik, amely számos új forrást jelent a platina csoport elemeinek bányászatában. Jelenleg Európában 7 projekt ismert a platina csoport elemeinek bányászatához kapcsolódóan, amelyből 1 már a megvalósítás fázisába lépett. A világ platina kereskedelmének 70 %-át a Norilsk Nikkel Bányászati és Metallurgiai vállalat, az Angelo American PLC és az Impala Platinum Holding Ltd. uralja.

A platina csoport elemeinek fajlagosan magas ára miatt a másodlagos nyersanyagforrásból történő visszaforgatásuk igen gazdaságos, főleg azokban az ipari folyamatokban, ahol katalizátorként alkalmazzák, valamint az üvegiparban a PGM tartalmú eszközökből [15]. Ezen alkalmazásokhoz az eredetileg felhasznált platina csoport elemeinek 90 %-át másodlagos nyersanyagforrásból forgatják vissza. A legtöbb ipari felhasználó igyekszik magánál tartani a PGM vagyont, amelyet másodlagos nyersanyagforrásból történő visszanyeréssel oldanak meg, egy zárt körfolyamaton keresztül. A jelentések alapján megállapítható, hogy a kőolaj finomításhoz és az üvegiparhoz szükséges PGM felhasználás adatai nettó számok, amelyek a bruttó keresletnek csak egy töredékét fejezik ki. Jelenleg nincs univerzális eljárás az elhasznált másodnyersanyagokból (elektronikai összetevők, ékszerek, autóiipari katalizátorok) történő PGM visszanyerésére. Az autóiipari katalizátorok különösen fontos forrásai a másodnyersanyagokból visszanyert platina csoport elemeinek, a visszaforgatott PGM mennyisége várhatóan emelkedni fog a katalizátorral felszerelt gépjárművek elhasználódásával. A globális adatokat tekintve az autóiiparban felhasznált platina csoport elemeinek mintegy 50-60 %-át forgatják vissza a termelési folyamatba, Európában ez az arány jóval 50 % alatt van, főleg az elhasznált gépjárművek magas export árai és a nem megfelelő visszanyerési eljárások miatt. Az EU országaiban az elhasznált gépjárművekből kötelezően eltávolítják a katalizátorokat, növelve ezzel a másodnyersanyagokból visszaforgatott PGM arányát, azonban ez nem érinti azokat a gépjárműveket, amelyeket az EU területéről exportálnak.

A platina csoport elemeinek más fogyasztási felhasználásokból eredő visszaforgatási aránya lényegesen rosszabb, mint a már fentebb említett autóiipari katalizátorokból történő visszaforgatás aránya. Az elhasznált elektronikai alkalmazásokból visszanyert PGM aránya a 10 %-ot sem éri el. A platina csoport elemeinek másodnyersanyagokból (autóiipari katalizátorokból és más felhasználásokból) történő visszanyerésében a PGM tartalmú hulladékok szelektív gyűjtése, majd a fém feldolgozási folyamatba történő visszaforgatása a kihívás. A fém feldolgozási folyamatba történő

visszaforogatás elég hatékony, amely hozzájárul a platina csoport elemeinek közel 95 %-os visszaforogatási rátájához [13].

A platina csoport elemeinek felhasználása egy bizonyos mértékig disszipatív (veszteséggel járó) úton történik, amely gazdasági- és technikai kihívásokat is jelent a másodnyersanyagokból történő visszaforogatásban. A ruténium a merevlemezekben (manapság a ruténium felhasználás 80 %-a itt történik), a platina a szilikonokban és a szenzorokban, míg az irídium a gyújtógyertyákban használatos összetevő. A platina csoport elemeinek a felhasználása nélkülözhetetlen az orvosi alkalmazásokban is. Az ékszerkészítés- és a pénzverés folyamatához felhasznált PGM gyakran örök életre gyártott termékekbe kerül. Ezen alkalmazásoknál gyakorlatilag nincs, vagy alig van elhasználódás, illetve PGM tartalmú hulladékképződés.

Általánosságban elmondható, hogy a platina csoport elemei egymással jól helyettesíthetőek a hasonló kémiai és fizikai tulajdonságaik miatt [54]. Az autóiipari katalizátorokban a platina gyakran helyettesíthető a palládiummal, azonban az általános helyettesítésre irányuló erőfeszítések jelentősen megemelik a fajlagos árakat. A palládium fajlagos ára mindig alacsonyabb, mint a platináé, amelynek következményeként az autóiipar az uralkodóan palládium összetevőjű katalizátorok alkalmazására váltott. Viszont a dízel gépjárművek európai fellendülése további platina szükségletet generált, ugyanis az eredeti dízel katalizátorok működéséhez nélkülözhetetlen a platina összetevő jelenléte. Jelenleg, az új technológiák alkalmazása megengedi a platina, palládiummal történő részleges helyettesítést, azonban még így is a platina marad az uralkodó összetevő a dízel katalizátorokban. A ródium alkalmazása a katalizátorokban nem szükséges, de gyakran alkalmazzák helyettesítő elemként, kombinálva a platinával és a palládiummal is. A többrétegű kerámia kondenzátorokban lévő ezüst-palládium pasztákban, a palládium helyettesítése alap fémekkel (nikkel, réz) is megoldható. A csúcstechnológias elektronikai eszközökben lévő többrétegű kerámia kondenzátorokban azonban még mindig a palládiumot alkalmazzák a leggyakrabban [44]. Az autóiipari felhasználás során az új technológiával készülő katalizátorokban már sokkal kevesebb a felhasznált PGM mennyisége, mint a régebbi katalizátorok esetében.

II.12. RITKAFÖLDFÉMEK (REE)

A világ **ritkaföldfémek** készletének (kivéve a Szkandiumot) becsült értéke kb. 99 millió tonna (12. táblázat). A világ ritkaföldfém termelésének 97 %-át Kína állítja elő, habár a világkészletek mindössze egyharmada található az ország területén belül [45].

A ritkaföldfémekre nem irányul közvetlen bányászat az Európai Unión belül, azonban a Svédországban lévő ismert előfordulások mennyiségileg mintegy 500.000 tonnát tesznek ki [51]. 2007-ben megközelítőleg 17.600 tonna (a világtermelés 14 %-a) ritkaföldfémeket importált az EU,

amely még így is 14 %-al kevesebb, mint az azt, egy évvel megelőző (2006-os) adat. Az import fő forrása Kína, kisebb mennyiségben Oroszország.

Ritkaföldfémek (REE)	Tartalékok		Termelés		EU import	
	Országok	[1.000 tonnában] 2009	[%]	[1.000 tonnában] 2009	[%]	[tonnában] 2007
USA	13.000	13,2	-	-	-	-
Ausztrália	5.400	5,5	-	-	-	-
Brazília	48	<0,1	0,65	0,5	-	-
Kína	36.000	36,5	120	97	15,8	89,7
India	3.100	3,1	2,7	2,2	0,07	0,4
Malajzia	30	<0,1	0,38	0,3	-	-
Kazahsztán	-	-	-	-	0,1	0,6
Oroszország	-	-	-	-	1,6	9,2
Vietnám	-	-	-	-	0,01	0,1
Egyéb	41.000	41,6	-	-	-	-
Összesen	98.578		123,7		17,6	

12. táblázat: A ritkaföldfémek (REE) tartalékai, a termelés és az EU import adatai [31].

Az előrejelzések alapján megállapítható, hogy Kína a közeljövőben a saját ritkaföldfém termelését teljes mértékben fel fogja használni, éppen ezért számos, a ritkaföldfémek kinyerésére irányuló projekt indult el nemrégiben. Ezek közül, a két legjelentősebb az amerikai Mountain Pass-ban és az ausztráliai Weld-hegységben található.

A ritkaföldfémek másodlagos nyersanyagokból történő visszaforgatásának aránya igen alacsony, körülbelül 1 %, amelyet főként az elhasznált permanens mágnesekből nyernek vissza [54].

A ritkaföldfémek más elemekkel történő helyettesíthetősége megoldható, de számolni kell az eltérő fizikai és kémiai tulajdonságokból adódó teljesítmény csökkenéssel.

II.13. TANTÁL (TA)

A **tantál** gyakran a nióbiummal együtt lelhető fel, ennek ellenére a tantál átlagos, a természetben előforduló koncentrációja (2,1 ppm) kevesebb, mint a nióbiium koncentrációjának (24 ppm) a tizede [50]. A tantál tartalmú ásványok (tantalit - $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6$, wodginit - $\text{MnSnTa}_2\text{O}_8$, mikrolit - $(\text{Na}, \text{Ca})_2\text{Ta}_2\text{O}_6(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$) szinte bárhol megtalálhatóak, de csak nagyon ritkán fordulnak elő jelentősebb tantál koncentrációval. A tantál előállítható az ón olvasztási folyamatának melléktermékeként is [19].

A világ vezető tantál termelői Brazília és Ausztrália (itt találhatóak a főbb tantál készletek is), kisebb mennyiségben a Kongói Köztársaság is állít elő tantál koncentrátumokat (13. táblázat) [46].

Tantál (Ta) Országok	Tartalékok		Termelés		EU import	
	[tonnában] 2010	[%]	[tonnában] 2009	[%]	[tonnában] 2006	[%]
Ausztrália	40.000	38,1	560	48,3	-	-
Brazília	65.000	61,9	180	15,5	-	-
Kanada	-	-	40	3,4	-	-
Kongói Köztársaság	-	-	100	8,6	-	-
Ruanda	-	-	100	8,6	-	-
Kína	-	-	-	-	17	13
Japán	-	-	-	-	78	60
Kazahsztán	-	-	-	-	35	27
Egyéb	-	-	180	15,5	2	-
Összesen	105.000		1.160		131	

13. táblázat: A tantál (Ta) tartalékok, a termelés és az EU import adatai [21].

A fentebb lévő, összegzett táblázat kereskedelmi adatai az adatok korlátozottsága miatt nem a koncentrátumokra, hanem a megmunkálatlan tantálra vonatkoznak. A jelenlegi tantál kínálat főleg primer (ásványi) forrásokból (65 %-a a tantál tartalmú ásványokból, 13 %-a az ön feldolgozása során visszamaradt salakokból) tevődik össze, azonban a kínálat több, mint 20 %-át szekunder nyersanyagokból forgatják vissza [47]. Az EU tantál ipara mindössze néhány céget foglal magában, amelyek főként tantál-oxidot, fémport és karbidot állítanak elő, mintegy 250-300 tonna éves termelési teljesítménnyel. A cégek a tantál előállításához szükséges teljes nyersanyagot az EU-n kívülről importálják, ebből következik, hogy az EU gyakorlatilag teljesen függ a nemzetközi piac nyersanyagforrásaitól (az EU piacán belül csak kis mennyiségű tantál tartalmú hulladék áll rendelkezésre, a másodnyersanyagokból történő visszaforgatás számára).

A tantál másodnyersanyagokból történő visszaforgatása főként a cementált karbidot és az ötvözeteket gyártó ágazatokban megoldott. A feldolgozási eljárások során a tantál tartalmú végterméket ötvözet formájában nyerik vissza a hulladékokból. A kondenzátorok a fő szekunder nyersanyagforrásai a tantál másodnyersanyagokból történő visszanyerésének. A kondenzátorokból történő tantál visszanyerési folyamata igen bonyolult és gazdaságtalan. A másodnyersanyagokból visszanyerhető tantál tartalom változó, a kevesebb, mint 1 %-tól egészen a 9 %-ig ingadozhat [12].

A tantál kondenzátorokban történő helyettesíthetőségével kapcsolatban számos erőfeszítés történt a közelmúltban, amelynek során megállapították, hogy a leginkább megfelelően funkcionáló helyettesítő elem az alumínium. A nióbiummal történő helyettesítés a karbidokban és az üvegekben megoldható, míg a platina, a titán és a cirkónium használata a korrózióálló alkalmazásokban válthatja ki a

szükséges tantált. A hafnium, az irídium, a molibdén, a nióbium, a rénum és a volfrám helyettesítő anyagként való alkalmazása főként a magas hőmérsékletű eszközökben lehet indokolt. A tantál helyettesítésével számolni kell a helyettesítő elem eltérő fizikai és kémiai tulajdonságaiból adódó hatékonyság csökkenésével [54].

II.14. VOLFRÁM (W)

A világ **volfrám** készletei földrajzilag széles körben oszlanak meg a Földön. Kína rendelkezik a világon a legbőségesebb forrásokkal és tartalékokkal, azonban Kanadában, Kazahsztánban, Oroszországban és az USA-ban is jelentős készletek találhatók (14. táblázat). A világ volfrám termelésének 78 %-át Kína adja, de a Kínából történő export korlátozott, mert a volfrám tartalmú nyersanyagok kizárólag ammónium-paravolframát (APT) és oxid formában hozzáférhetőek [2]. Európa a világ volfrám termelésének a 26 %-át importálja (~2.500 tonnát érc formájában, ~2.100 tonnát APT formájában és ~4.000 tonnát oxidok formájában), az adatok alapján megállapítható, hogy az EU jelentősen importfüggő ebben a tekintetben.

Volfrám (W) Országok	Tartalékok		Termelés		EU import	
	[1.000 tonnában]	[%]	[tonnában] 2008	[%]	[tonnában] 2006	[%]
USA	140	5,1	-	-	-	-
Ausztria	10	0,4	1.100	2	-	-
Bolívia	53	1,9	1.100	2	352	6,6
Kanada	110	4	2.300	4,1	22	0,4
Kína	1.800	65	43.500	77,8	19	0,4
Portugál	4	0,2	850	1,5	-	-
Oroszország	250	9	3.000	5,4	4.026	75,6
Egyéb	400	14,5	4.100	7,3	910	17,1
Összesen	2.767		55.950		5.329	

14. táblázat: A volfrám (W) tartalékok, a termelés és az EU import adatai [30].

Az EU területén jelenleg két volfrám termelő bánya működik, az egyik Portugáliában, a másik Ausztriában található, azonban az ausztriai termelés igen kötött. Az ITIA (Nemzetközi Volfrám Ipari Egyesület) által készített jelentés külön kiemeli, hogy a másodnyersanyagokból történő volfrám visszanyerés jelentős tényezővel bír a világkínálatot figyelembe véve [57]. A volfrám feldolgozó iparágak képesek majdnem minden volfrám tartalmú hulladékból a volfrám visszanyerésre. A volfrám tartalmú hulladékok az ércekben lévő volfrám koncentrációk többszörösével rendelkeznek, éppen ezért értékes másodnyersanyagai a volfrám előállításának. A másodnyersanyagokból történő visszaforgatás számos országban magas aránnyal történik, azonban a világ átlagát nézve csak 35-40 %-os

visszaforгатási rátával számolhatunk, amely nagyban függ a gazdasági feltételektől is [6]. A szennyezett, cementált, volfrám tartalmú karbid hulladékokat leőrlik és a por formában kapott anyagot oxidálják, majd kémiai eljárások segítségével nyerik vissza belőlük az értékes volfrámot. A karbidokból történő volfrám visszanyerése mellett, ha szükséges a kobalt, a tantál és a nióbbium visszanyerése is megoldható különböző szeparációs eljárásokkal. Az egyéb, volfrám tartalmú hulladékokból és maradványanyagokból történő volfrám visszanyeréshez a különböző eljárások módosítása szükséges. A tiszta, cementált karbid betéteket és tömörítvényeket szintén por formába alakítják a cink feldolgozási folyamata során (olvadt cinkkel kezelik, amely a kobalt fázisában oldódik, ezután desztillálják, végül egy szivacsos anyagot kapnak végtermékként, ami könnyen szétzúzható és aprítható). Az így kapott port adják vissza a gyártási folyamatba. Az említett eljárással nem csak a volfrám-karbidból, hanem a tantál-karbidból és a kobalt-karbidból is visszanyerhető az értékes fém. Másrészt, a szakirodalomból az is megállapítható, hogy bizonyos alkalmazásokban a felhasznált volfrám visszanyerhetősége teljes mértékben korlátozott, ilyen alkalmazás például az izzószálakban, valamint a hegesztő elektródákban történő volfrám felhasználás.

A cementált volfrám-karbidok potenciális helyettesíthetősége a következő anyagokkal lehetséges: molibdén-karbid, titán-karbid, kerámiák, valamint fém-kerámia kompozitok. Más alkalmazásoknál lehetséges volfrám helyettesítések:

- Bizonyos malomipari termékekben és az acélok adalékanyagaként a molibdén.
- A fény alapú alkalmazásoknál a szénszálas nanocsövek és a LED-ek.
- A páncéltörő lövedékek alkalmazásánál a karbidokban és az ötvözetekben a kimerült urán.

A felsorolt helyettesítési lehetőségek általában nagyobb költségekkel járnak, mérgező hatásúak és kevésbé környezetbarát alternatívákat kínálnak [54].

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV -2012-0005 jelű projekt részeként, a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ tevékenységének részeként az Új Széchenyi Terv keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] BGS Commodity Summaries (2009): *Platinum*.
- [2] BGS European Mineral Statistics (2003-2007).
- [3] BGS Profile (2010): *PGMs*, p. 22.
- [4] Civic (2009).

- [5] Critical raw materials for the EU (2010).
- [6] Dirk Kotze (2009): *The outlook to 2013 with a focus on China*. Presentation ITIA-meeting, CRU Strategies.
- [7] EU Raw Materials Initiative (2008).
- [8] European Mineral Statistics (2003-2007), BGS.
- [9] European Mineral Statistics (2008), BGS.
- [10] Feneau (2002).
- [11] Fraunhofer Institut Für System und Innovationsforschung and Institut Für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (2009): *Rohstoffe für Zukunftstechnologien*. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- [12] Graedel T. et al. (upcoming UNEP): *The Recycling of Metals: A Status Report*, Report of the Global Metal Flows Group to the International Panel for Sustainable Resource Management.
- [13] Hagelüken (2007): *Challenge of open cycles*.
- [14] Hagelüken (2006): *Markets of PGMs*.
- [15] Hagelüken (2006): *Precious metals process catalysts*.
- [16] Moskalyk (2003).
- [17] Ullmann's Encyclopedia of Chemical Technology (2006): *Fluorine Compounds, inorganic*. Wiley-VCH Verlag, Weinheim.
- [18] Ullmann's Encyclopedia of Chemical Technology (2006): *Indium and Indium Compounds*. Wiley-VCH Verlag, Weinheim.
- [19] Ullmann's Encyclopedia of Chemical Technology (2006): *Tantalum and Tantalum Compounds*. Wiley-VCH Verlag, Weinheim.
- [20] USGS (2010): *ComExt (CN 7202 93 00, Ferro-Niobium)*.
- [21] USGS (2010): *ComExt (CN 8103 20 00)*.
- [22] USGS (2010): *ComExt (CN 8104 19 00 & CN 8104 11 00)*.
- [23] USGS (2010): *ComExt (CN 8112 12 00)*.
- [24] USGS (2010): *ComExt (CN 8112 92 81)*.
- [25] USGS (2010): *ComExt (CN 8112 92 95)*.
- [26] USGS (2010): *Trade data provided by BGS based on EU ComTrade (HS 252921 & HS 252922)*.
- [27] USGS (2010): *Trade data provided by BGS based on EU ComTrade (HS 261710)*.
- [28] USGS (2010): *Trade data provided by BGS based on UN ComTrade (HS 2504)*.
- [29] USGS (2010): *Trade data provided by BGS based on UN ComTrade (HS 2605)*.
- [30] USGS (2010): *Trade data provided by BGS based on UN ComTrade (HS 2611)*.
- [31] USGS (2010): *Trade data provided by BGS based on UN ComTrade (HS 280530, HS 284610, HS 284690)*.

- [32] USGS (2010): *Trade data provided by BGS based on UN ComTrade (HS 711011 & HS 711021)*.
- [33] USGS Mineral Commodity Summaries (2009): *Antimony*.
- [34] USGS Mineral Commodity Summaries (2010): *Beryllium*.
- [35] USGS Mineral Commodity Summaries (2009): *Fluorspar*.
- [36] USGS Mineral Commodity Summaries (2010): *Fluorspar*.
- [37] USGS Mineral Commodity Summaries (2009): *Gallium*.
- [38] USGS Mineral Commodity Summaries (2006): *Germanium*.
- [39] USGS Mineral Commodity Summaries (2009): *Germanium*.
- [40] USGS Mineral Commodity Summaries (2010): *Germanium*.
- [41] USGS Mineral Commodity Summaries (2009): *Indium*.
- [42] USGS Mineral Commodity Summaries (2009): *Niobium*.
- [43] USGS Mineral Commodity Summaries (2010): *Niobium*.
- [44] USGS Mineral Commodity Summaries (2010): *Platinum Group Metals*.
- [45] USGS Mineral Commodity Summaries (2010): *Rare Earths*.
- [46] USGS Mineral Commodity Summaries (2010): *Tantalum*.
- [47] Roskill (2005): *The Economics of Tantalum*, Ninth Edition.
- [48] Römpf Online (2007): *Germanium*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- [49] Römpf Online (2006): *Niob*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- [50] Römpf Online (2007): *Tantal*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- [51] Sveriges Geologiska Undersökning (2010).
- [52] World Mining Data (2009).

INTERNETES HIVATKOZÁSOK

- [53] ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/lvic_bref_0907.pdf,
EU BREF *Large Volume Inorganic Chemicals*.
- [54] http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/documents/index_en.htm,
European Commission (30 July 2010): *Annex V to the Report of the Ad-hoc Working Group on defining Critical Raw Materials*.
- [55] http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf,
European Commission (30 July 2010): *Report of the Ad-hoc Working Group on defining Critical Raw Materials*.
- [56] http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/metals-minerals/files/sec_2741_en.pdf,
Commission of the European Communities (2008): *The Raw Materials Initiative*.

- [57] <http://www.itia.info>,
ITIA (International Tungstein Industry Association).
- [58] <http://www.roskill.com>,
Roskill Market Report (2009): *The Economics of Flourspar*, 10th Edition.
- [59] <http://www.thecdi.com>,
CDI (Cobalt Development Institute).
- [60] <http://www2.goldmansachs.com/our-thinking/brics/index.html>.