

A bauxitban előforduló nyomelemek vizsgálatával az irodalom számos közleménye foglalkozik. Hasonlóképpen több tucatra becsülhető azoknak a dolgozatoknak a száma, melyek a magyar bauxitfajták összetételéről és elemeloszlásáról közölnek információt. Előadásomban a bauxit kísérőelemei közül a ritkafémek mennyiségével és kinyerhetőségével foglalkozom, összefoglalva az eddigi munkák főbb eredményeit és kiegészítve néhány újabb megállapítással.

Különböző szerzők vizsgálata alapján a hazai bauxitfajták átlagos ritkafém-tartalmát az 1. táblázatban állítottam össze. Az a mintegy 10 ritkafém, melyre jelenlegi ismereteink szorítkoznak, a bauxitban század- és ezred-százalék mennyiségben fordul elő.

1. táblázat

Magyar bauxit átlagos ritkafém-tartalma.

Elem jele	Átlagos koncentráció ‰	Timföld előállításakor vörösiszapba távozik ‰	Irodalom
Be	5 — 18 · 10 ⁻⁴	?	[1] [10]
Ti	1,3 — 1,9	100	[1] [6]
V	4,9 — 7,3 · 10 ⁻²	61 — 75	[1] [2] [5]
Ga	3,6 — 4,3 · 10 ⁻³	30	[1] [9]
Zr	3,4 — 5,4 · 10 ⁻²	100	[1] [7] [10]
Nb	3,5 — 7,7 · 10 ⁻³	?	[1]
Mo	1,9 — 3,2 · 10 ⁻³	50	[1] [3]
U	3,2 · 10 ⁻³	60	[4]
Th	4,5 — 5,0 · 10 ⁻³	100	[1] [4]
Se	1,1 · 10 ⁻³	100	[4]
RFF	8 — 10 · 10 ⁻³	100	[8] [10]

Megjegyzés: Az elemek átlagos koncentrációjára megadott két számadat az egyes lelőhelyekre érvényes átlagos értékek határértékei.

Újabb vizsgálataink ezekhez az adatokhoz képest legnagyobb eltérést a ritkaföldfém-tartalomban mutatnak. A korábbi értékkel szemben ma egy nagyságrenddel nagyobb ritkaföldfém-koncentrációt adhatunk meg: a ritkaföldfémek összege a magyar bauxitban a földkéreg átlagos értékének több, mint hatszorosa, vagyis bauxitjaink átlagosan 1200 ppm ritkaföldfémeket tartalmaznak.

Az átlagos koncentráción kívül a ritkafémek ásványos megjelenésére és eloszlási jellegére is rendelkezünk adatokkal. Teljesen egybehangzó vizsgálatok szerint a magyar bauxitban a vanádium és gallium jellegzetesen finomdiszperz eloszlásban van jelen. Ezért minden bauxit-telepünkben a vanádium és gallium a már ismert határértékek között várható. Ezzel szemben a cirkónium és a ritkaföldfémek önálló ásványokat alkotnak. A cirkónium cirkon ásványként van jelen a bauxitban. A ritkaföldfémek pedig

túlnyomórészt 1—20 mikrométer nagyságú monacit és xenotim szemcséket képeznek, kisebb részben a cirkonásványban izomorf beépülésként, illetve másodlagos ásványkiválásként jelennek meg.

Több bauxitmintában elektronmikroszkop segítségével a ritkaföldfémásványok morfológiai megjelenését visszavert elektronkép alapján vizsgáltuk, majd a karakterisztikus röntgensugárzás detektálása alapján ezeknek a ritkafémásványoknak a területi vagy adott vonal mentén megfigyelhető elemeloszlását tanulmányoztuk. Ha a képernyőre elemenként különböző színszűrőket teszünk, akkor az additív színkeverés szabályai szerint egyetlen színes fényképen két-három elem együttes jelenlétét demonstrálhatjuk. Ezzel a módszerrel mutattuk ki, hogy a cirkon ásványszemcsékben az itrium izomorf beépülésként fordul elő. Az egyes szemcsék egyedi ritkaföldfém elemeinek egymáshoz viszonyított arányát vizsgálva megállapítottuk, hogy a monacitban a ritkaföldfém-gyakoriság a Ce → Nd → Pr → Eu Gd Sm csökkenő koncentrációjú sorrendjét követi. A ritkaföldfém-tartalmú törmeléken ásványszemcsék és impregnációk eloszlásáról ma még nincs pontos képünk. Minthogy a különféle bauxitminták ritkaföldfém-tartalma meglehetősen széles határok között változik, lehetséges, hogy egyes helyeken ezek az ásványok jelentős „torlatszerű” feldúsulást mutatnak [11].

A ritkafémek ásványos megjelenésének és eloszlási jellegének vizsgálata után tekintsük át röviden a kinyerésükkel szerzett eddigi tapasztalatokat és vizsgáljuk meg, hogy milyen további lehetőség kínálkozik előállításukra. A bauxitban előforduló ritkafém nyomelemeket a Bayer rendszerű timföld-előállítási folyamatban tanúsított magatartásuk szerint három csoportba oszthatjuk (1. táblázat):

- ritkafémek, melyek a feltárás körülményei között változatlanok maradnak (Zr, Th, Sc, RFF);
- ritkafémek, melyek a feltáró lúggal reakcióba lépnek, a reakció végterméke azonban a rendszerben oldhatatlan vegyület (pl. Ti);
- ritkafémek, melyek feloldódva bekerülnek a lúgkőrfolyamatba, állandósult mennyiségüket azonban a hőmérséklet, a nyomás, az oldószer és oldott anyagok együttes koncentrációja szabja meg.

Az első két csoportba sorolt elemek teljes mennyiségükben a timföldelőállítás meddőanyagaként szereplő vörösiszapba kerülnek, ezért kinyerésük közvetlenül a vörösiszaptól vagy közvetve a vörösiszap feldolgozása során old-

ható meg. A harmadik csoport elemei a Bayer-folyamatban hozzáférhetővé válnak, a körfolyamatból a legalkalmasabb helyen beiktatott segédműveletek révén elvben kinyerhetők. Ezek az elemek a V, Ga, Mo, U és kémiai tulajdonságai alapján feltehetően a nióbium.

A vanádium és gallium üzemi előállítása hazánkban 1951., ill. 1958-ban vette kezdetét. Az üzemek berendezésén a jelenlegi magyar timföldtermelés mellett 1000 t feletti vanádium-mennyiség halad át évenként, ennek azonban csak kb. tizedrészét nyerjük ki. — Évenként feldolgozott beuxitjaink 50 tonna galliumot tartalmaznak, a kinyerés ennek a mennyiségnek csupán néhány százaléka. Igaz, hogy ez a látzólag szerény mennyiség a világtermelés 10 százalékát jelenti. Figyelembe véve azonban a galliumnak a korszerű iparban (híradás és számítástechnika) betöltött egyre növekvő szerepét, az előállító kapacitás további növelése nemcsak lehetőségként, hanem reális kívánságként vehető fel. Az eljárás gazdaságosságához csak annyit: a világtermelés több, mint 90 százaléka hasonló galliumtartalmú bauxitok feldolgozásából származik. — Közel azonos lehetőség áll előttünk a vanádium termelésének feltuttatására. Nincs még megoldva a bauxitfeltárásakor a vanádium nagyobb mérvű beoldásának problémája, sőt a rendszerbe bekerülő növelt kalciumtartalom hatása hátrányos a kinyerésre. Jelenlegi vanádiumtermelésünk úgy aránylik a világtermeléshez, mint amilyen helyet alumíniumiparunk foglal el a világ elsődleges alumíniumtermelésében. Vegyük azonban figyelembe, hogy a világon előállított vanádium zömét nem nagyobb koncentrációjú érc, ill. koncentrátum feldolgozása révén állítják elő, mint ami a timföldiparban rendelkezésünkre áll (2. táblázat). A vanádiumérc bányászati, dúsítási költségének nagy része nem merül fel az alumíniumiparban, ezért indokolt, hogy a világtermelésben elfoglalt helyzetünk vanádium—alumínium arányát a jövőben megjavítsuk.

2. táblázat

Ritkafémek tájékoztató ára különböző termékekben.

1970. N. Y.

Elem jele	Mennyisége (ércben v.) koncentrátumban	Átlagos ár \$/kg elem		
		(Ércben v.) koncentrátumban	Előállított oxidban	Színfém alakban
Be	4	~1	—	150
Ti	36	0,1	1	3*
V	(0,1—0,3)	(1,2)	7	100
Zr	48	0,16	4,5	14*
Mo	57	3,8	4,2	9*
Nb	0,1—0,3	3,6	—	49
U	(0,1—0,2)	14,5**	—	—
Th	4	—	26	33
Ritkaföldfém	~50	0,4—1,5	~2	10

Megjegyzés: () ércre vonatkozó adat

* szivacs

** kémiai koncentrátum

Általánosságban elmondható, hogy a timföldtermelés folyamán beoldódó ritkafémek kinyerésére mindaddig célszerű törekednünk, amíg a timföld és a ritkafém-előállítás együttes paramétere az optimális gazdaságosságot mutatják.

Vegyük szemügyre azoknak az elemeknek a kinyerhetőségét, melyek teljes mennyiségükben a vörösizapba kerülnek. Természetesen egy termék gazdaságos előállíthatósága csak — több tényező együttes hatását figyelembe vevő — részletes számítás alapján dönthető el, gazdaságossági becslést azonban egy ritkafémre a különböző gyártásközi termékek világpiaci ár-elemzése alapján — bármikor könnyen elvégezhetünk. A 2. táblázat \$/kg egységben néhány ritkafém árát adja meg, különböző gyártásközi termékekben. A ritkafém ércben vagy koncentrátumban megjelenő átlagára magában foglalja a bányászati és ásványelőkészítési műveletek költségeit, ezért melléktermékként ilyen költséggel hasonló fémtartalmú termékének előállítása gazdaságos. A ritkafém oxidjában és koncentrátumában megjelenő átlagára közötti különbség a kémiai-metallurgiai folyamat lejárásának költségtényezőjét rejti magában. Végül az oxid és színfém ár közötti különbség a színesítés költségeit tükrözi. Vörösizapból tehát olyan módszerrel tudunk gazdaságosan titánt vagy cirkóniumot kinyerni, ha a kinyerésnek a ritkafém 1 kg tömegére számított költsége Ti esetén 10, ill. Zr esetén 16 cent alatt marad. A „kinyerés” alatt pedig annak a terméknek az előállítását értjük, melyből 0,9 ill. 4,3 \$ költséggel technikailag tiszta oxid állítható elő.

A ritkaföldfémek vörösizapból történő kinyerhetőségének megítélésekor kiindulhatunk abból az adatból, hogy a világpiacon 50% ritkaföldfém-tartalmazó koncentrátumban a ritkaföldfémek egységnyi tömegének értéke 0,4—1,5 \$ határok között mozog. Kinyerésére szóba jöhetnek tehát mindazok az eljárások, melyekkel a ritkaföldfém-kinyerést 1 \$ körüli költséggel meg lehet oldani. A bauxitok ritkaföldfém-tartalmának ismertetésekor láttuk, hogy a ritkaföldfémek nagyrészt monacit jellegű ásványszemekként vannak jelen. Ismeretes az irodalomból, hogy monacitos ritkaföldfém-lelőhelyeket az USA-ban gazdaságosan művelnek minimálisan 0,03% ritkaföldfém-tartalom esetén is, vannak azonban olyan érckészletek, melyekben 20—25% maximális ritkaföldfém-tartalom van jelen. A művelhetőségi határt ebben az esetben az érc fizikai és kémiai dúsíthatósága jelentősen befolyásolja. Bauxitjaink ritkaföldfém-tartalma megütheti ugyan a minimális ipari koncentrációt, figyelembe kell azonban vennünk, hogy a vörösizap finom szemnagysága nem kedvező az ásványelőkészítési műveletek számára. Ennek ellenére leszögezhetjük, hogy ha egy-egy ritkafém kinyerése szempontjából a vörösizap nem is éri el a gazdaságosan feldolgozható nyersanyag kritériumát, az összes ritkafém együttes előállítása ma is rentábilis feldolgozás reményével kecsegtet. Különösen kedvező a helyzet, ha a vörösizap komplex feldolgozhatósága szempontjából vizsgáljuk a kérdést, vagy pedig olyan módszereket alkalmazunk, melyek

nem a vörösiszap teljes tömegét, hanem az értékes ritkafém-tartalmát szelektíven mobilizálják. Ritkaföldfémek kinyerhetőségére még egy lehetőséget célszerű megvizsgálni. Minthogy a bauxit a ritkaföldfémeket vagy azok nagy részét nagy törmelékű ásványi szemcsék alakjában tartalmazza, őrlés előtt kimelő mechanikai feltárás után a ritkaföldfémek mechanikai módszerekkel történő dúsítása adhat gazdaságos eredményt.

A ritkafémek mennyiségéről és kinyerhetőségéről felvetett néhány gondolat talán tükrözi azt a meggyőződésünket, hogy sem minőségben, sem pedig mennyiségben nem merítettük még ki a bauxitban rejlő ritkafém vizsgálati és előállítási lehetőségeket.

Végül még egy — a bauxitból előállított rit-

kafémről kívánok említést tenni. Ez a tiszta (vagyis nagy tisztaságú) alumínium. Ismeretes, hogy hazánkban kialakult gyakorlat szerint ritkafémnek nevezünk minden fémeket, melynek egységára nyers felhasználásra kész formában kilogrammonként a 200 Ft (vagyis mintegy 3—4 \$) értéket meghaladja. Az előállított fémek ára ugyanis a természetben való előfordulástól a felhasználásig minden jelentős tényezőt (természetes gyakoriság és koncentráció, érckészlet, termelt fémmennyiség, kereslet, előállítási technológia, minőség stb.) magában foglal, és ezért a relatív ritkaság mértékéül használhatjuk. A nagy tisztaságú alumínium nem nyersanyagfüggő, értékét kizárólag az előállítási technológia, ill. ezáltal kapott különleges minőség biztosítja (3. táblázat).

3. táblázat

Néhány elem relatív ritkaságára ható tényezők

Elem	Természetes gyakoriság %	Művelhetőségi határ %	Készlet 10 ⁶ t	Termelés t/év	Kereslet** növekedése %/év	Ár \$ kg
Al	~9	35—50	19 · 10 ³ ***	12,5 · 10 ⁶	5—10	0,6—30 *****
V	1,5 · 10 ⁻²	~2	10,1	1,7 · 10 ⁴ ****	5	10—200 *****
Ga	1,8 · 10 ⁻³	(0,005)	0,2—1,2 *****	15	25—50	300—1600 *****
RFF *	1,2 · 10 ⁻²	(0,1)	7	2,4 · 10 ⁴ ****	3—4	10—100 ***** (6) *****

Megjegyzés: * ritkaföldfémek

2* 1980-ig becsült érték (elsősorban kap. országok)

3* D kategóriájú bauxit

4* kapitalista országok

5* ferrovanádium és duktilis fém

6* technikai és nagy tisztaságú

7* egyedi oxidok (> 99,9%); leggyakoribbak 10, közepesek 100, ritkák (pl. Eu) 1000

8* mischmetall

9* bauxitban és szfaleritben

Hazánkban már több, mint 10 éve állítunk elő 30—40 \$/kg értékű tiszta alumíniumot. Piacát a korszerű elektronikai ipar növekvő kereslete biztosítja. Az elért eredmények elismeréséül foghatjuk fel, hogy ez évben a KGST-országok nagy tisztaságú alumíniumigényének kielégítésére vállalkozhatunk, vagyis termelésére szakosodunk.

A tiszta alumínium, vanádium, gallium és ritkaföldfémek előállításán kívül még számos kísérlet történt a bauxitból egyéb ritkafém (Zr, Mo, Ti stb.) kinyerésére. Ezek a próbálkozások azonban hasznos tapasztalatszerzésen kívül nem vezettek gazdaságos megoldáshoz [10]. Az elmondott néhány gondolatot, mely elsősorban a további feladatok kijelölésére irányul, azzal a következtetéssel szeretném lezárni, hogy a magyar alumíniumipar kezdettől elsőnek vette ki részét a hazai ritkafémkohászat fejlesztéséből, és ezzel a hazai nyersanyagforrás komplex kihasználása és az új különleges anyagok előte-

remtése révén nyújtott hathatós segítséget népgazdaságunknak.

IRODALOM

- [1] Dudich E., Siklósi I.: A Comparative Geochemical Study of Some major and minor Elements in Four Bauxite Deposits of Transdanubia, Hungary. Annales Instituti Geologici Publici Hungarici, V. 54. Fasc. 3. 319—345.
- [2] Klug O., Gál V., Molnár L.: A Bayer körfolyamat V mérlegének felvétele és a vanádiumbeoldódás mértékére vonatkozó következtetések. FKI Közleményei 10. (1971) 45.
- [3] Papp E., Lovasi J., Tomcsányi L., Zsindely S.: Kis mennyiségű Mo és Zn a Bayer-féle körfolyamatban. FKI Közleményei. 10. (1971) 217.
- [4] Miskei M., Bujdosó E.: Az urán, tórium és szkandium meghatározása bauxitban és vörösiszapban neutronaktivációs elemzéssel. FKI Közleményei. 10. (1971) 229.
- [5] Zámbo J., Sotymár K.: A magyar bauxitok ipari értékelésének szempontjai. Timföldgyártási Anket. Almásfüzitő. (1970) 213—223.

- [6] *Hazainé, Borsiczky V., Solymár K.*: A bauxitok TiO_2 -tartalmának szerepe a Bayer-rendszerű timföldgyártásban. *BKL, Kohászat*, 101 (1968) 187—193.
- [7] *Logomerc V. G.*: The Distribution of Rare-Earth and Minor Elements in some Bauxite and Red Mud Produced. Proceeding of the Second International Symposium of ICSOBA Vol. 3. 383. 1971.
- [8] *Zámbó J.*: A magyar bauxitok ritkafém-tartalmának hasznosítása. I. Országos Ritkafém Konferencia. Miskolc, 1972. 161—167.
- [9] *Horváth Z. és tsai*: Bauxit-Timföld-Aluminium termékek galliummérlege. Az RTKB megbízásából az NME Fémkohászattani Tanszéke által készített tanulmány. 1974.
- [10] *Papp E.*: Möglichkeiten der Gewinnung seltener Elemente aus Bauxiten bei der Tonerdeherstellung nach dem Bayer-Verfahren. *Freiberger Forschungshefte*. 1962. Bd. 67. 117—130. Freiberg.
- [11] *Pantó Gy., Bárdossy Gy., Várhegyi Gy.*: Rare Metals of Hungarian Bauxites and Conditions of their Utilization. International Conference of ICSOBA. Dubrovnik, 1975. (to be published).