

Szegény gazdag ország...

Magyarország alig ismert stratégiai nyersanyagforrásai

Európa bányászata fontos mérföldköveket tett le a kontinens sok kitérővel, kanyarral tarkított történelmi országútjára. Több mint 7000 évvel ezelőtt jöttek létre az ausztriai Hallstatt sóbányái, hatezer éve nyílt meg a Skouriotissa rézércbánya Ciprus szigetén, Verespatak (egykor Alburnus Maior, ma Rosia Montana) ma is Európa legnagyobb aranyérclelőhelye, bár kitermelése még i. sz. 100-ban, Traianus császár hódításai előtt, a dákok királysága idején kezdődött. Mára ugyan a kontinens a világ egyik fejlett ipari központjává vált, de az ehhez szükséges nyersanyagforrások zöme már határain kívül esik. Az Európai Unió 2008-ban alakította ki azt az összetett középtávú nyersanyag-stratégiát, amellyel jelentősen változtatna az egyre fokozódó függőségén, és csökkentené az ennek következtében jelentkező gazdasági kockázatokat. A kritikus elemek és ásványok – antimon, kobalt, berillium, ritkaföldek, germánium, gallium, platinafémek, nióbium, tantál, wolfram, grafit, indium, fluorit, magnezit – nélkül ma sem elektronikai ipar, sem hibridhajtású autók, szélturbinák nem léteznének. Az egyik legfontosabb keresett csoport a ritkaföldek elemegyüttese. Számátalan alkalmazásuk közül a leggyakoribbakat a táblázat foglalja össze.

E stratégia hazai vonatkozásaira összpontosított a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kara által benyújtott és megnyert pályázat, az Új Széchenyi Terv keretében elindult a „Nemzetközi együttműködésben megvalósuló alapkutatás a kritikus nyersanyagok hazai gazdaságfejlesztő potenciáljának kiaknázására” című TÁMOP-4.2.2. alapkutatási projekt, amely a rövid CriticEl nevet kapta, és 2012–2014 között valósult meg. A földtudományi szakemberek és technológus mérnökök közös vállalkozása az ásványi nyersanyagok és a másod-nyersanyagok csoportjára egyaránt kiterjedt, és számos kutatási részprogramot kapcsolt össze. Közel félmilliárd forintos összköltségvetése hazai viszonylatban egyike volt az utóbbi idők-

	Név	Felhasználás
Könnyű ritkaföldfémek (LRFF)	Lantán	hibrid motorok, fémötvözetek
	Cérium	autókatalizátorok, olajfinomítás, fémötvözetek
	Prazeodimium	mágnesek
	Neodimium	autókatalizátorok, olajfinomítás, laptopok merevlemezei, mobiltelefonok, hibrid motorok
	Szamárium	mágnesek
	Európium	televíziók és monitorok vörös színe
Nehéz ritkaföldfémek (HRFF)	Terbium	lumineszcensésfoszforeszcens anyagok, állandó mágnesek
	Diszprózium	állandó mágnesek, hibrid motorok
	Erbium	lumineszcensésfoszforeszcens anyagok
	Ittrium	vörösszín, fluoreszcenslámpák, kerámiák, fémötvöző anyagok
	Holmium	üveg festékek, lézerek
	Túlium	orvosiröntgen-sugarasműszerek
	Lutécium	olajfinomításhoz katalizátorok
	Itterbium	lézerek, acélötvözetek
	Gadolínium	mágnesek

Táblázat. Ritkaföldfémek leggyakoribb alkalmazásai (Humphries 2012)

ben megvalósult legjelentősebb komplex tudományos programoknak. A kutatók az eredményeket többek között egy tizkötetes monográfiatorozatban ismertették. A monográfiák elektronikus példányai az internetről szabadon letölthetők.

Ásványi nyersanyagok

Mint más hasonló munkánál, a kutatások most is a korábbi ismeretek összegzésével kezdődtek. Adattárakból

előhívott több évtizedes információkat építettünk össze számítógépes szimulációs modellekkel.

Az egyik legteljesebb adatrekonstrukció az egykori fluoritbányáinkról készült, amit 1973-ban zártak be a Székesfehérvárhoz közeli Pátkán (Molnár 2014). A fluorit (CaF₂) nélkülözhetetlen a modern kohászati technológiákban és optikai iparban. Újrahasznosítása nem megoldott, forrásai több mint 75%-ban Kínában vannak, így az EU számára kritikus ellátási kockázatot jelent. A korabeli bányatérképek alapján tudtuk valószínűsíteni, hogy az egykor termelt fluorit teler a mélység felé egyre vastagabb. A legalsó bányabéli szint alatti zónát feltáró fűrészes kutatása jelentős új ásványvagyon megismerését tenné lehetővé. A felszínre lerakott egykori bányászati meddőanyagok vizsgálatával derült fény arra, hogy a nyersanyag az érceiből jó határfokkal leválasztható. Végül az új műszeres ásványtani vizsgálatok tárták fel, hogy az érc sokkal több egyszerű fluorit forrásnál – számos egyéb keresett kritikus elem – gallium, indium, germánium – ebbe épült be a vizsgált lelőhelyek között a legnagyobb mennyiségben. Kimutattuk az pátkai ércek korábban nem vizsgált jelentős arany- és ezüsttartalmát is.

Köztudott, hogy érintetlen barna- és feketeköszén ásványvagyonunk még mindig jelentős, bár kedvezőtlen bányászati adottságai miatt a hagyományos kitermelésük már szinte megszűnt. Számos új technológia lenne képes felhasználásukra, részben energiahordozóként használható gázok előállítására, részben

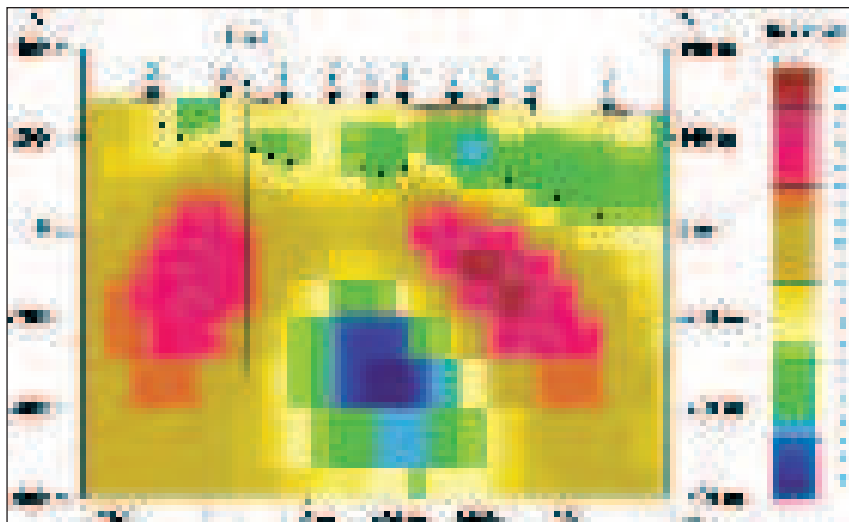


A CriticEl monográfiasorozat első kötetének címlapja

vegyipari alapanyagként történő feldolgozásra. Ezért felújítottuk a 40–50 éve erről született geokémiai ismereteket, és a mai legkorszerűbb eljárásokkal határoztuk meg az anyagok elemspektrumát. Fény derült arra, hogy a szenek egy része legalább annyi gazdasági lehetőséget nyújt kritikus elemek (Nb, Ta, ritkaföldek, Zr, Hf) forrásaként, mint hagyományos tüzelőanyagként. A kettő összefésülésével bizonyos hazai kőszének fajlagos értéke akár megduplázható.

A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet és a Rotaqua KFT kutatóival közösen körvonalaztunk egy igen jelentősnek ígérkező, de javarészt nagyobb mélységben várható előfordulást a Borsod-Abaúj-Zemplén megyei Cserehát területén, ami egyúttal országunk gazdaságilag leghátrányosabb vidéke. A korábbi kezdeti kutatási adatokra alapított program során meg tudtuk erősíteni, hogy a jelentős részben idős, metamorf palák alkotta kőzetsorozatok többféle, a jövő kutatásai számára nagy jelentőségű dúsulást tartalmaznak grafitból, ritkaföldekből, réz-arany ércesedés anyagából.

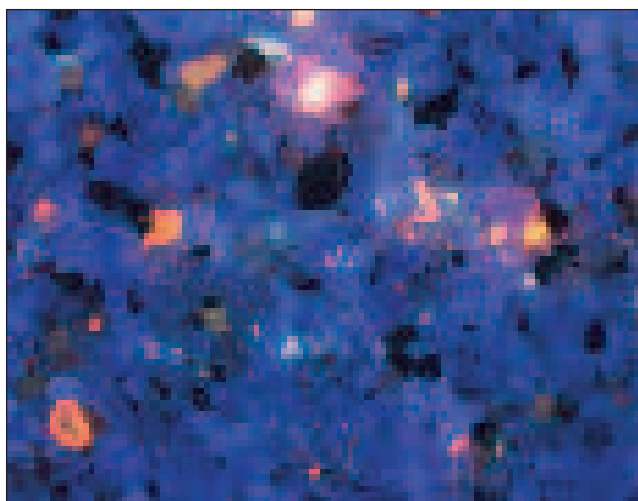
A még jelenleg is futó geofizikai mérésorozat a felszín alatt kutatásokkal elérhető mélységben olyan jelentős ható kőzettömeget mutatott ki, amelynek részben nagy mágnesezhetősége van (bizonyos szulfid ércesedésekre, vagy magnetitre jellemző módon), illetve jelentős a vezetőképessége is (ezt grafit, illetve fémes vezetők, ércek okozhatják). Egy



A függőleges metszeten a hideg színek a magas vezetőképességet, a meleg színek az alacsony vezetőképességet jelentik. Mintegy 500 m mélységben a szelvény központi részén grafitként vagy érces anyagként értelmezhető jelentős kőzettömeg rajzolódik ki, amely körül – valószínűleg az ércesedés okozta kőzet elváltozások hatására egy nagyobb látszólagos ellenállású kőzetköpeny jött létre. Fv-1 = Felsővadász 1 mélyfúrás (Madarasi és Rádi 2014)

ilyen, a földi mágneses erőtér és áramtér kőzetek okozta változásait mutató ún. magnetotellurikus szelvényt mutatunk be az alábbi ábrán.

A kiemelt három kutatási program csak ízelítő a vizsgált tucatnyi geokémiai dúsulás közül. Jelentős új eredmények várnak feldolgozásra a recski Cu-Au érctelep együttes, az úrkúti mangánérccek, a Nagybörzsöny Pb-Zn-Ag előfordulása, a mecseki fonolitok, a Velencei-hegység-



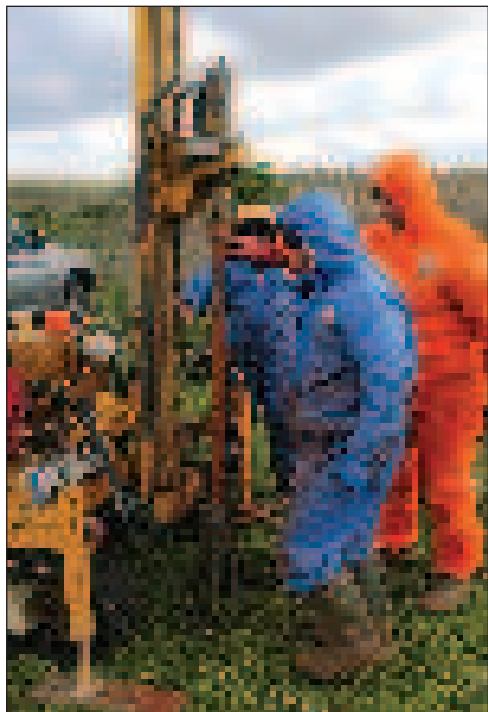
Pátkai fluorit dúsítmány mikroszkóp alatt UV-fényben – a szemcsék jelentős fluoreszcenciát mutatnak

gi alkáli ultrabázitok, a dunántúli bauxitok területéről. Kiaknázatlan elemkinyerési lehetőségeket jelenthetnek egyes ásványvizeink is (Less 2014, Szakáll 2014)

Másod-nyersanyagok

Ha valamiből egy terméket készítünk, hulladék is létrejön. Így nevezünk minden olyan anyagot, amire nincs szükségünk, de a gyártás, kitermelés, előállítás, használatbavétel során keletkezik. Csak gond van vele, helyet foglal, bizonyos fajtái ártalmasak vagy veszélyesek, ártalmatlanítására, kezelésére akár évtizedekig gondot és pénzt kell fordítani. Mindez nincs, ha a hulladékot lehetséges nyersanyagként tekintjük, és anyagában, vagy más termékbe beépítve, bekeverve, stb. hasznosítjuk. Ezeket másod-nyersanyagoknak nevezzük. Az ilyen hasznosítási technológiák iránti igény ma robbanásszerűen nő, és az anyagfajták számos változatra kiterjed.

Az egyik legnagyobb tömegben termelődő hulladékfajta a bányászat során kitermelt, vagy az előkészítési technológia során leválasztott meddő, bányászati hulladék. Még a hasznos anyagot legnagyobb arányban tartalmazó ásványi nyersanyagok (pl. kőszén, vasérc, bauxit) is a kitermelt kőzetek 40–60%-a hulladék, más anyagok – pl. nemesfém ércek – esetében ez az arány akár 99,999% is lehet. Az ilyen anyagok hasznosítása a vállalati szempontokon is túlmutató közösségi érdek. Vizsgáltuk a szénfűtésű hőerőművek éghetetlen szállóporaként leválasztott per-



Az ajkai vörösiszap hányó mintavétele, az anyag maró hatása miatt vegyvédelmi munkaruhában

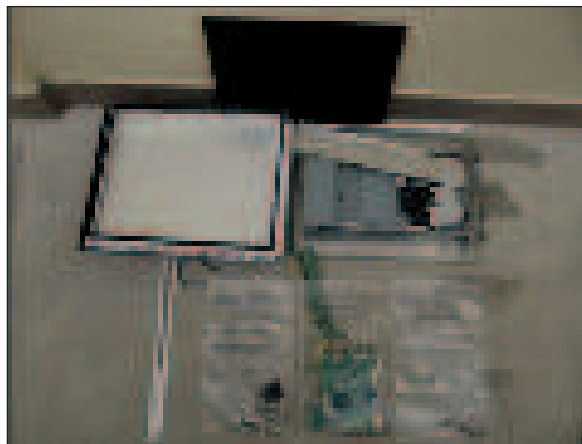
nyék hasznosíthatóságát, melyből jelenleg is évi 2 millió tonna keletkezik. Azt találtuk, hogy a már szenekben is felismert kísérőelem-dúsulások a pernyékben továbbdúsulva megjelennek. Így bizonyos szenekhez kapcsolt égetőművek környékén lerakott pernyetárolók ma – a technológia megfelelő adaptálásával, feldolgozó létesítmények kialakítása után – akár önállóan hasznosítható minősülnek több kritikus elemre, míg a fennmaradó pernyeanyagból építőanyagként, befoglaló anyagként használható ún. geopolimer állítható elő (Mucsi 2014). A bauxitból történő timföldgyártás során vörösiszap keletkezik, ez ebben a formájában ártalmas, veszélyes, és nagy költséggel üzemeltetett tárolást igénylő hulladék. Megfordítva a gondolkodást ez jelentős mennyiségben rendelkezésre álló alapanyag lehet nátronlúg, titánszivacs, ritkaföldek, vanádium, vaspigment gazdaságos előállítására (Szépvölgyi és Kótai 2012).

A hulladékok másodnyersanyagként történő hasznosítása érdekében, a projekt kiemelt eredményének tartjuk, hogy olyan országos katasztert készítettünk, ami mennyiségi és területi prognózist tesz lehetővé a kritikus nyersanyagokat tartalmazó hulladékok időbeli és területi, mennyiségi megoszlásáról. Ez az információ rendkívül fontos olyan üzleti döntések meghozatalában amelyekkel magas hozzáadott értékű terméket előállító ipari beruházást készítünk elő.

A kritikus nyersanyagok terén kiemelkedő jelentőségűek az életciklusuk végén lévő gépjárművek, az elektronikus és elektronikai hulladékok, hiszen e termékek gyártásához és előállításához használják a legnagyobb volumenben ezeket az elemeket, illetve ezen ipari szektorban rendkívül magas az innováció mértéke így munkánkat elsősorban ezekre koncentráltuk.

A lapos képernyős folyadékkristályos kijelző panelek több generációja jelenik már meg az elektronikai hulladékokban, amelyek feldolgozásával hatékony technológiai megoldást dolgoztunk ki *plazma kijelzők szinporának hatékony és olcsó mechanikai úton történő feldolgozásával* való visszanyerésére. Az *LCD-kijelzők indiumtartalmának komplex mechanikai-kémiai úton történő visszanyerésére* szintén eljárást dolgoztunk ki, amelyre alapozva ipari partnereinkkel nagyberuházást készítettünk elő. Legalább ilyen jelentőségű az a szintén kombinált mechanikai-kémiai eljárás, amely lehetővé teszi *NiMH akkumulátorok hatékony feldolgozását* (Csöke 2014).

Szabadalmaztatott eljárást dolgoztunk ki a nyomtatott áramkörök feldolgozására, amihez kapcsolódó eszköz prototípusa a Műszaki Földtudományi Kar laboratóriumában megtekinthető. Ígéretes előrelépést tettünk mind *LED fényforrások és tantál kondenzátorok feldolgozására* vonatkozó eljárások fejlesztésével is.



LCD panel szétszedett állapotban, az egyes rétegek feldolgozásra előkészített anyagával

Összegzés

A számos kutatási program tanulságait egy mondatban összegezzük: Magyarország nem szegény a kritikus elemeket hordozó stratégiai nyersanyag forrásokban, de ezek felismerése és fejlesztése,

hasznosítása nagyrészt még előttünk áll. Ehhez további befektetések szükségesek, de még jelentősebb közép- és hosszú távú gazdasági hasznot kínálnak.

Ezzel egyenrangú haszna a projektnek az, hogy BSc, MSc, PhD- és posztdoktorális szinten számos fiatal vonhattunk be több egyetemről és kutatási intézményből, vállalattól és kutatási feladatokba, érezhették ennek ízét, részt vehettek hazai és külföldi konferenciákon, eredményeiket hazai és külföldi folyóiratokban, monográfiákban közzétehték. Nyitva áll előttük a kapu az eredmények sok évre elhúzódó nagyigényű feldolgozásához.

Az érdeklődők részletes információkat találhatnak a projekt zárása után is nyitva tartó honlapunkon: <http://www.kritikuselemek.uni-miskolc.hu>

FÖLDESSY JÁNOS-
CSÖKE BARNABÁS-GOMBKÖTŐ
IMRE-ZAJZON NORBERT

Irodalom

- Csőke B. (szerk) 2014: Elektronikai hulladékok előkészítése a stratégiai elemek visszanyerése érdekében. CriticEl Monográfia Sorozat IX., Milagrossa Kft., Miskolc 155 p.
- Humphries M. 2012: Rare Earth Elements: The Global Supply Chain. Congressional Research Service, 31 p.
- Less Gy (szerk) 2014: Stratégiai fontosságú ásványi nyersanyagok II. CriticEl Monográfia Sorozat II., Milagrossa Kft., Miskolc, 167 p.
- Madarasi A., Rádi, K. 2013: Jelentés a 6.3 Mélyszerkezeti kutatások MT módszerrel projekt keretében végzett munkáról. Kézirat, MFGI Adattár.
- Molnár J. (szerk) 2014: A Pátka-Szűzvár egykori fluorit- és ércelőfordulásunk újraértékelése. CriticEl Monográfia Sorozat III., Milagrossa Kft., Miskolc, 171 p.
- Mucsi G. (szerk) 2014: Erőműi pernye komplex hasznosítása – CriticEl Monográfia Sorozat VI, Milagrossa Kft., Miskolc, 219 p.
- Szakáll S. (szerk) 2014: Ritkaföldfémek magyarországi geológiai képződményekben. CriticEl Monográfia sorozat V., Milagrossa Kft., Miskolc, 210 p.
- Szépvölgyi J., Kótai L. 2012: Az ajkai vörösiszap ömlés. Második rész. A vörösiszap hasznosítási és feldolgozási lehetőségei. Magyar Kémikusok Lapja. 67. 362-368.