

ÚJ BIOBÁNYÁSZATI MÓDSZEREK FEJLESZTÉSE HAZÁNKBAN – HONNAN LESZ FÉMÜNK A JÖVŐBEN?

SZERZŐ: DR. FLEIT ERNŐ, projektvezető
CasterBronz Kft.
1211 Budapest Transzformátorgyár u. 3/a.
office@casterbronz.hu

BEVEZETÉS

A biohidrometallurgia (BHM) technológiája a fémek kivonását jelenti mikroorganizmusok felhasználásával ezek különböző ásványos formáiból, függetlenül attól, hogy a szilárd fázisú anyag érc, meddő, salak, esetleg valamilyen szilárd hulladék. A BHM fogalmát gyakran szűkítik le a pirites/szulfidos ásványos anyagokból történő fémkinyerésre, amely mikroorganizmusok közvetítésével zajlik, vizes közegben és aerob körülmények között. Az angol nyelvű szakirodalom megkülönböztet továbbá biológiai kimosást (bioleaching) és az ehhez kapcsolódó biooxidációs folyamatot is (biooxidation), mely utóbbinál azonban nemcsak a célként meghatározott fém (pl. a réz), hanem más egyéb fémek is oldatba kerülnek, vagy kerülhetnek.

Mindezeket a folyamatokat azonban környezeti kármentesítési célokra is alkalmazhatjuk, így például alkalmasak lehetnek toxikus nehézfémekkel szennyezett fölös iszapok megtisztítására is, megkönnyítve a jövőben a szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezését.

A biológiai kimosás, ami lényegében a biohidrometallurgiai technológiák zömét alkotja, a réz, nikkel, cink és urán bányászatára használatos, míg a biooxidáció (szulfidos ásványokból történő kivonás) Napjainkra elmondható, hogy a 2000-es évektől kezdődően már nagyléptékű BHM alkalmazásokkal találkozhatunk szerte a világban. Ezek során különböző módszereket alkalmaznak. Jellemzően az évezred elején a világ legnagyobb rézexportőre (Chile) a rézkitermelésének több, mint 10%-át már a BHM alapú technológiákkal érte el.

Magas réztartalmú vizek, illetve bánya eredetű csurgalékok felhasználása fémkinyerésre már az ókori Kínában, Cipruson és az Ibériai félszigeten is említést nyert. A folyamat lényegét azonban, hogy tudniillik ezt mikrobiológiai háttérhez köthetjük, csupán a II. Világháborút követően ismerték fel. A kezdeti kiindulást azt adta, hogy rájöttek, vannak olyan baktériumok, amelyek képesek a vasszulfidokat oxidálni és ferri-szulfátot, illetve kénsavat termelni (ami aztán oxidálja és kioldja a réz-szulfid tartalmú anyagokat az ércekből) vezetett a ma is használatos mikrobiológiai taxon nevekhez: ferrooxidans illetve thiooxidans.

Üzemi léptékben a BHM technológiának több típusát is alkalmazzák, kezdve a hagyományosnak tekinthető atmosztatós rendszereken, a prizmákba rakott érceken át, egészen a különböző kevert tartályreaktoros technikákig.

A közvetlen bányászati alkalmazásokon túlmenően az elmúlt évtizedekben erősödött meg a BHM technológia környezetre meddiációs célú (kármentesítés) alkalmazása. Ennek elsődleges célterületei az elhagyott meddők, salakterek, szennyezett édesvízi és tengeri üledékek, amelyek nagy (a környezeti határértéket sokszorosan meghaladó) koncentrációban tartalmaznak különböző fémeket, illetve toxikus nehézfémeket is. A 2018-ban indult A „Fémek visszanyerése hulladékokból biohidrometallurgiai eszközökkel” elnevezésű hazai projektben az egyik vizsgálni kívánt terület éppen ezért a szennyezett földtani közegek, üledékek rehabilitációjának/kármentesítésének módszerfejlesztése volt.

A BHM technológiák térnyerése az elmúlt néhány évtizedben annak volt köszönhető, hogy az alacsony fémtartalmú ércekből (néhány ppm fémkoncentráció mellett is) lehetséges a folyamat gazdaságos megvalósítása. A globális fémtartalékok gyors ütemben fogynak (több fémspeciesz előbb fog elfogyni, mint a fosszilis tüzelőanyagok), és a könnyen, a hagyományos bányászati, érc-kohászati eszközökkel gazdaságosan kitermelhető fémtartalékok még ennél is gyorsabb ütemben fognak kimerülni. Jó példa erre a kobalt, amelyet a világon csak néhány helyen bányásznak nagyobb mennyiségben (Kongó, Kína), vagy a lítium, amely a gépjármű üzemanyag cellák elterjedésével gyorsan fogyni kezdett (Ausztrália, Kanada).

A BHM technológiák térhódításában nem utolsó szempont az sem, hogy lényegesen környezetkímélőbb eljárások, mint a hagyományos olvasztásos fémkinyerési módszerek, amelyek nemcsak nagy mennyiségű energiát igényelnek, hanem környezetszennyezők is (légszennyezés, ÜHG gázok kibocsátása, potenciálisan toxikus fémeket tartalmazó szilárd maradványok kezelési és elhelyezési költségeinek megjelenése, stb.).

Az egyre megszorítóbb környezetvédelmi előírások, a hulladékgazdálkodásban megfigyelhető erősödő törvényi szigor jelentősen megnövelték a hagyományos bányászati módszerekkel történő fémkinyerés költségeit. Ezért a szakmai és a befektetői figyelem egyaránt az alternatív módszerek felé fordul, mint amilyen a BHM technológia.

A BHM technológia korlátai között említhető, hogy önmagában, közvetlenül nem alkalmas a nemesfémek (arany, ezüst) kinyerésére, illetve az olyan ércek esetében, amelyeknek alacsony a szulfid tartalma, vagy a képződő szulfátokat bizonyos komponensei megkötik, akkor a BHM technológia nem, vagy csak korlátozottan – és lassan – lesz alkalmazható. A nemesfémeknél még érdekes tudnivaló, hogy az arany kinyerése arzenopiritből bakteriális lépésekkel indulhat, amelyet követően egy cianid extrakciós (komplexálási) stáció is. A cianidos kivonási technológiát ma már csak kevés helyen alkalmazzák, mivel munkaegészségügyileg és környezetvédelmileg is jelentős aggályokat vet fel, ahogyan azt a sajnálatos nagybányai (Románia) esemény is bizonyította a 2000. évben.

A globális piacon tapasztalható növekvő igény a réz esetében már ma is odavezetett, hogy a réz világpiaci ára meredek emelkedésbe kezdett, melynek következtében

a rézbányászati, mind pedig a rézkohászati módszerek is átalakultak.

A BHM módszerekben bekövetkezett legnagyobb változást az jelentette, amikor a spontán zajló folyamatokat (a réztelérekből származó savas csurgalékokban megjelenő különböző oxidációs fokú rézásványok felhasználását kohászati folyamatokban), felváltották azok az in-situ bányák, ahol a mikroorganizmusok felhasználása tervezetten, és a mikrobiológiai kényszerfeltételek (hőmérséklet, redoxipotenciál viszonyok, stb.) tudatos manipulációjával zajlott. Előbbire példa a Kennecott Bingham Rézbánya, Salt Lake City (Utah állam) mellett, míg utóbbira az egyik korai példa a Dennison Urán Bánya Ontario provinciában (Kanada).

A korai BHM próbálkozások után a fejlesztések a réz, arany, urán, a platinacsoport elemei és a ritkaföldfémek felé fordultak, elsősorban a folyamatok mikrobiológiai alapjainak jobb megértésével és a különböző fejlettebb reaktortechnológiai folyamatok és reaktorkonfigurációk kísérleti bevezetésével. A legújabb kutatások már a nanotechnológiai és géntechnológiai eszközök felhasználásáról is beszámolnak BHM célokkal.

Azt is megfigyelhetjük, hogy a BHM technológiákban különösen „erős” országok mellé (pl. Ausztrália, Dél-Afrikai Köztársaság, USA), ma már újabb régiók (pl. Kína, India) is felzárkózni igyekeznek, és nem utolsósorban az Európai Unió is. Ez utóbbi ugye a gazdaságosan kibányászható bányái kimerülése miatt függő viszonyba került a fémtermelő országoktól. Ezért az EU már az FP7, és újabban a HORIZON2020 program keretében is kiemelt, nagyprojektekben kutatja a BHM technológiák alkalmazási lehetőségeit, illetve a nagymélységű bányák (1500 m

alatti területek) kitermelésének mikrobiológiai módszereit.

A fémek és nemesfémek érceiből történő kivonását mikroorganizmusok segítségével a Rawlings és Johnson (2007) által javasolt nomenklatúra nyomán gyakran nevezik bio-bányászatnak (biomining) is. Az elemzésünkben BHM-ként nevezett technológia azonban, szemben az egyéb széleskörűen alkalmazott biotechnológiai eljárásokkal, mint amilyenek például a fermentációs technológiák, a gyógyszeripari alkalmazások, stb., nem alkalmaz speciálisan szelektált, BHM célokra kitenyésztett baktérium, gomba vagy élesztőtörzseket, hanem a spontán módon jelenlévő ubikvitermikroflóra tevékenységét hasznosítja. Ezért, az újabb BHM kutatásokban már azt célozzák, hogy a speciálisan a fémkioldási célokra fejlesztett mikroorganizmusok alkalmazásával, és a környezeti körülmények szabályozásával a fémkitermelés hatékonyságát igyekeznek megemelni.

Ez egyben körvonalazza a jövő kutatási prioritásait is, nevezetesen, hogy olyan robotizált BHM rendszereket kell terveznünk és működtetnünk, ahol – bár ha csupán közvetett eszközökkel is – de szabályozni tudjuk a mikrobiális fémkioldási folyamatokat és azokat a környezeti tényezőket, amelyek alapvetően befolyásolják a folyamat hatékonyságát.

A BIOHIDROMETALLURGIA RÖVID TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE

Hagyományos metallurgiai módszerekkel gazdaságosan nem hasznosítható, gyenge minőségű ércek és koncentrátumok feldolgozására egyre gyakrabban alkalmaznak biológiai rendszerekre épülő technológiákat

(Johnson, 2014). Ezekkel a módszerekkel gyenge minőségű alapanyagok felhasználása során is hatékony fémkinyerés valósítható meg (Brierley, 2008).

A fémek kinyerése szilárd szerkezetéből biológiai folyamatok segítségével bioleaching (biológiai kioldás), vagy biomining (biobányászat) néven ismert a nemzetközi szakirodalomban. Mivel a mikroorganizmusok életműködése által katalizált elektrokémiai (oxidációs-redukciós) folyamatok eredményeként megvalósuló fémkkioldás vizes közegben játszódik le, a metallurgián belül ezeket az eljárásokat a biohidrometallurgia (biohydrometallurgy) csoportjába sorolják. A biológiai folyamatok által történő fémkkioldás hatékonyan alkalmazható remediációs célokra is (Gadd, 2000).

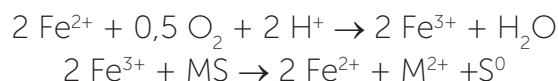
Annak ellenére, hogy az ókori görögök, rómaiak és kínaiak már az időszámításunk előtt biohidrometallurgiai módszereket alkalmaztak, amikor a bányavizekből rezet nyertek ki, mindössze ~70 éve ismert tény, hogy az érctelepek és bányák vizeiben tapasztalt fém-feldúsulásért elsősorban baktériumok felelősek (Bosecker, 1997). A felfedezés azért váratott magára egészen a XX. század közepéig, mert a baktériumok létezésének megismerésére csak a XVII. század közepén került sor, Anton van Leeuwenhoek munkássága révén. A mikrobiológiai vizsgálatokat célzó analitikai technikák rohamos fejlődése az ezt követő évszázadokban lehetőséget biztosított a baktériumok és egyéb mikroszkopikus élőlények széleskörű vizsgálatára.

MIKROBIOLÓGIAI FOLYAMATOK

A biohidrometallurgia nagy áttörése az 1950-es évek elején történt, amikor Colmer, Temple

és Hinkle a mélyművelésű szénbányák bányavizének savas jellegét a feketekőszénben lévő pirit zárványok bakteriális oxidációjaként írták le (Colmer és mtsai., 1950; Temple és Colmer, 1951). A pirit oxidációja aerob és vizes közegben játszódott le, *Acidithiobacillus ferrooxidans* baktériumok életműködésének köszönhetően. Nem sokkal ezt a felismerést követően világszerte számos tanulmány készült a fémek biológiai kioldásának lehetőségeiről. Számos külszíni fejtéssel működő rézbánya bányavizében izoláltak *Acidithiobacillus* baktériumokat, továbbá laboratóriumi vizsgálatokkal bizonyították, hogy az *A. ferrooxidans* képes réz-szulfid, cink-szulfid, molibdén-szulfid, nikkel-szulfid és ólom-szulfid kioldására különböző ásványokból (Bryner és. Jameson, 1958).

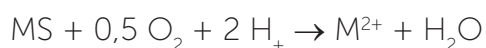
A fémek szulfidos ércekből történő biológiai kioldásának fő folyamata a fém összetevők mobilizálása, amely mikroorganizmusok életműködése által elősegített oxidáción keresztül valósul meg. Silverman és Ehrlich (1964) a bakteriális folyamatok által katalizált oxidáció indirekt és direkt módját különböztette meg. Az indirekt oxidáció során a Fe^{3+} az oxidálószer, míg a direkt oxidáció esetében az O_2 tölti be ezt a szerepet. Az indirekt oxidáció során lejátszódó reakciók a következők:



Az indirekt oxidáció esetén a mikroorganizmusok legfontosabb szerepe a Fe^{2+} ionok Fe^{3+} ionokká alakítása és „regenerálása”, miközben a fém szulfidokból (MS) divalens fém ionok keletkeznek (M^{2+}). A Fe^{2+} oxidálása mellett az *Acidithiobacillus* baktériumok részt vesznek a kén oxidációjában is:



Silverman és Ehrlich egy másik oxidációs mechanizmust is feltételeztek, mely során a folyamatban résztvevő baktériumok a fém-szulfidok felszínéhez kapcsolódnak és azt enzimátikus úton oxidálják, azaz elektronokat továbbítanak az ásványok redukált részeiről. Ezt a modellt nevezték el direkt oxidációnak.



A direkt oxidáció mechanizmusának részleteiből leírására csak később került sor, miután egyértelmű bizonyítást nyert, hogy az *Acidithiobacillus* baktériumok megfelelően képesek kapcsolódni a fém-szulfidok felszínéhez. A későbbiekben Sand és mtsai. (1995) feltárták, hogy a fentebb ismertetett két mechanizmus között nincs különbség, mivel a Fe^{3+} ionokhoz köthető a fém-szulfidok oxidációja mindkét esetben. Sand és munkatársainak elmélete hangsúlyozza a Silverman és Ehrlich által bevezetett indirekt és direkt modelljeinek hasonló kémiáját.

A korai tanulmányokban a fémek biológiai kioldásért felelős szervezeteknek kizárólag az *A. ferrooxidans* baktériumokat jelölték meg és csak a későbbi munkákban írtak le az *A. ferrooxidans*-hozfilogenetikailag nem kapcsolódó, a fémek biológiai kioldásában aktív szerepet betöltő egyéb szervezeteket. Ezek között nem csak autotróf, vagy mezofil szervezetek fordulnak elő, hanem heterotróf, vagy termofil szervezetek is megtalálhatók (Bacelar-Nicolau és Johnson, 1999). A fémek biológiai kioldásáért felelős élőlények közös jellemzője, hogy acidofilek és Fe^{2+} oxidálók. A legújabb tanulmányok arra utalnak, hogy

a különböző baktériumok, gombák, vagy protozoák alkotta közösségek hatékonyabban a fémek kioldásában, mint a baktériumok egyedül alkalmazva (Latorre és mtsai., 2016).

A BIOLÓGIAI FÉMKIOLDÁS MÓDSZEREI

A fémek biológiai kioldása egyszerű és hatékony módszer a szulfidos ércek feldolgozására. Ezek kémiai és ásványtani összetételén túl, a fémek kioldásának mértéke nagymértékben függ a mikroorganizmusok hatékonyságától. Magas hozamok a baktériumok optimális növekedési körülményeinek megteremtésével valósíthatók meg. Általánosan elmondható, hogy az optimális állapot előfeltétele a megfelelő mennyiségű szerves tápanyag jelenléte (pl. foszfát), megfelelő oxigénellátás, valamint a kémhatás és hőmérséklet. A technológia ipari léptékű alkalmazása elsősorban a réz és az urán kiaknázásában valósult meg, azonban számos egyén fém kinyerésére folynak kutatások laboratóriumi és félüzemi léptékben (Zhuang és mtsai., 2015).

A laboratóriumi vizsgálatok során leggyakrabban folyamatosan kevert tartályreaktorokat alkalmaznak, illetve a perkolációs lúgozást (Bosecker, 1997). A perkolációs lúgozás során a nagyobb ércdarabokat tartalmazó tartályokat baktériumokkal oltott és tápanyagokkal ellátott oldatokkal öntözik. A csurgalékvizet visszaforgatják és újra az ércre juttatják, ami által a kívánt fémek feldúsulnak az oldatban. A perkolációs lúgozás során az oxigénellátás gyakran nem megfelelő és a fajlagos felület is kicsi. Emiatt a fémek kinyerése ezzel a módszerrel általában rendkívül lassú, hónapokat vesz igénybe. Ezzel szemben a folyamatosan kevert tank reaktorokban finom

szemcseméretű (<100 µm) ércet alkalmaznak és kevertetéssel tartják lebegésben. Emellett a levegőztetés és az egyéb paraméterek pontosabban állíthatók be a perkolációs lúgozáshoz képest. Mindez hatékonyabb fémm kioldást eredményez és az eljárás időigénye jelentősen rövidül. Mindkét módszer ipari méretben is hatékonyan alkalmazható (Watling, 2015). A K+F projekt során ilyen reaktor-típusokat alkalmaztunk mi is munkánkban.

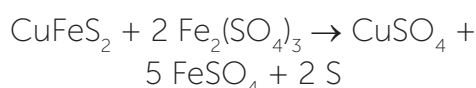
Az iparban biológiai módszereket az általában 0,5%-nál (w/w) kevesebb fémet tartalmazó ércek esetén alkalmaznak. A leg-egyszerűbb megoldás, hogy a halmokba rendezett ércet baktériumokkal oltott vízzel öntözik (vagy elárasztják), az átszivárgó oldatot recirkuláltatva (dumpleaching, heapleaching). A csurgalékvíz visszaforgatására a lassú kioldási folyamat miatt szükséges, hogy az oldat megfelelően feldúsuljon a kívánt fémmel (Bosecker, 1997). A fémeket a feldúsulást követően hagyományos módszerekkel extrahálják. További lehetőségek jelen-tenek a felhagyott bányák, melyeket el lehet árasztani. Az elárasztást követően a bánya alsó szintjein összegyűlt csurgalékvizet addig szivattyúzzák vissza a felsőbb szintekre, amíg a kiaknázandó fém nem éri el a megfelelő koncentrációt. Hasonló módszerrel aknáz-hatók ki a gyenge minőségi ércet tartalma-zó területek is, ahol korábban nem történt bányaművelés. Ebben az esetben a baktéri-umokkal oltott vizet fúrásokat követően jut-tatják a kőzetbe. Az oldatok áramlása a ku-tak szivattyúzásával oldható meg. Az utóbbi két módszer során a kőzetnek megfelelő áteresztőképesség kell rendelkeznie a haté-kony fémm kinyerés érdekében. Az imént be-mutatott módszerek kiválóan alkalmasak réz és urán kinyerésére (Groudev és Groudeva,

1993; Zaynitdinova és mtsai., 2016), de arany, nikkel és cink esetében is hatékonyak lehet-nek (Logan és mtsai., 2007; Lizama és mtsai., 2003).

A BIOLÓGIAI FÉMKIOLDÁS IPARI ALKALMAZÁSAI

Réz biológiai kioldása

A biohidrometallurgia modern ipari alkalma-zásának története az 1950-es években kez-dődött az USA-beli Salt Lake City közelében lévő Bingham Canyon-nál, ahol nagy meny-nyiségű réz kitermelése zajlott biológiai kiol-dással. Az első ipari léptékű alkalmazást kö-vetően világszerte számos helyen létesültek hasonló üzemek. A technológia napjainkban is alacsony költségű módszert biztosít a réz kinyerésére. Az eljárás során az A.ferrooxi-dans vizes közegben és levegő jelenlétében a vas(II)-szulfátot vas(III)-szulfáttá oxidálja, ami a kalkopirittal reakcióba lépve réz-szulfátot eredményez:



A réz-szulfátból a tiszta fémet a további fel-dolgozás során nyerik ki, például elektrolízis-sel. A körfolyamat úgy zárul, hogy a meg-maradt vas(II)-szulfátot az A.ferrooxidans újra vas(III)-szulfáttá oxidálja, a kén pedig kénsavvá alakul.

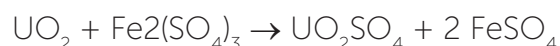
A réz fontos szerepet játszik az iparban, az iránta való kereslet folyamatosan nö-vekszik. Mivel a magas minőségű, gazda-ságosan kitermelhető ércek kimerülőben vannak, egyre nagyobb figyelem fordul

az alacsonyabb minőségű rézforrásokra. Az ilyen alapanyagok kiaknázására nyújt kiváló lehetőséget a fentebb bemutatott folyamat. A Chilében működő Quebrada Blanca rézbánya kiváló példa a réz biohidrometallurgiai módszerekkel történő bányászatára. A Quebrada Blanca rézbányában évente több tízezer tonna rezet termelnek ki annak ellenére, hogy a 4 400 méterrel a tengerszint felett létesült üzem éghajlata nem ideális a baktériumok számára (hűvös és az oxigén parciális nyomása alacsony). A kifejtett ércet 9 mm-es apró darabokra zúzzák, majd 6-6,5 m magas halmokba rendezik, továbbá kénsavat és meleg vizet adagolnak hozzá (Schnell, 1997). A bakteriális aktivitást többek között légzéstestekkel monitorozzák a helyszínen és a vizsgálatok eredményeinek függvényében szabályozzák azt, a halmok alatt elhelyezett légbefúvókkal. A Quebrada Blanca bányán kívül Chilében több, biohidrometallurgia módszerrel alkalmazó rézbánya üzemel, mint például az Andacollo, Cerro Colorado, Zaldivar stb. A világ legnagyobb rézkitermelőjén, Chilen kívül, számos más országban termelnek ki rezet biológiai módszerekkel, például Kínában (pl. Dexing), Ausztráliában, Mianmarban, Peruban (Cerro Verde), és Bulgáriában.

Urán biológiai kioldása

Az urán bányászata biohidrometallurgiai módszerekkel alacsony minőségű ércekből hasonlóan hosszú múltra tekint visszacsakúgy, mint a biológiai rézbányászat. Az első üzemek az 1960-as években létesültek, melyek közül a legismertebbek a Kanadában lévő Elliot Lake környéki bányák voltak. Az urán

bányászata során az A..ferrooxidans baktériumok vas(III)-szulfát segítségével az urán-dioxidot uranil-szulfáttá oxidálják. Ezt követően a vízben oldódó uranil-szulfát urántartalmát extrahálják, majd kicsapatják.



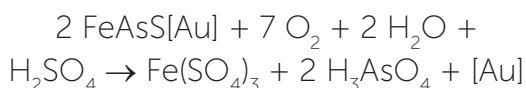
A World Nuclear Association 2018 januárjában frissített listája szerint 440 atomerőmű üzemel Földünk 31 országban, amely a teljes villamos energia szükséglet 11%-át fedezi. A jelenleg építés alatt álló 50 reaktor közül 14-et terveztek átadni 2018 évben és 16-ot 2019-ben. A közeljövőben jelentős számban üzembe helyezni kívánt új nukleáris létesítmények, valamint az üzemelő erőművek korszerűsítése és élettartam-hosszabbítása arra engednek következtetni, hogy a hasadóanyag iránti igény növekedni fog. Az uránérc árának várható növekedését számos munkában taglalják a szakemberek (Chen és mtsai., 2017). Az urán piacának felélénkülésének következményeként teret nyerhetnek az olcsó bányászati technológiák, mint a biohidrometallurgiai módszerek.

Arany biológiai kioldása

A fémek biológiai módszerekkel történő kinyerése szulfidos ércekből ugyan nagy figyelmet kapott az 1950-es és 1960-as években, a magas fokú fémkinyeréshez szükséges hosszú reakcióidő miatt azonban a kutatás-fejlesztés ezen a területen lassan a háttérbe szorult. Az 1980-as évek közepén viszont az A.ferrooxidans felhasználásával gazdaságosan nyertek ki aranyat gyenge minőségű, hagyományos módszerekkel gazdaságosan

feldolgozhatatlan ércekből, ami ismét helyezte a térképre a biohidrometallurgiai módszereket.

A biológiai módszerek alkalmazását az arany kitermelése során az teszi lehetővé, hogy a pirit és az arzenopirit zárványként gyakran tartalmaz aranyat. Az *A. ferroxidans* – valamint számos egyéb mikroorganizmus – képes oxidálni és oldatba vinni az említett ásványokat és közben a kristályszerkezetében lévő aranyat „kiszabadítani”.



Az aranyat ezután hagyományos kohászati módszerekkel nyerik ki, például komplexálják.

Az arany kiaknázása ércekből és koncentrátumokból folyamatosan kevert tartályreaktorok alkalmazásával, vagy perkolációval egyaránt hatékonynak bizonyult számos laboratóriumi és ipari léptékű alkalmazás során. A folyamatosan kevert tank reaktorok elterjedtebben alkalmazták az elmúlt évtizedekben, annak ellenére, hogy magasabb bekerülési és üzemeltetési költséggel jár a perkolációs módszerhez képest. A magasabb költségű módszer alkalmazását az indokolja, hogy a ezen technika esetében nem megoldott minden technológiai részlet. Jelenleg világszerte számos országban alkalmaznak biológiai módszereket arany kinyerésére, például Ghánában (Ashanti), Dél Afrikai Köztársaságban (Fairview), Oroszországban (Olimpiada). Az oroszországi Olimpiada a világ egyik legnagyobb aranybánya, ahol 2016-ban 26 t aranyat termeltek ki. 2001 óta a technológiai sorában kemiautotróf baktériumokat

alkalmaznak a nemesfém kitermelésére (Belyi és mtsai.,2017).

ÚJ IRÁNYVONALAK

A globális gazdasági növekedés és egyes iparágak, mint az elektronika, korábban soha nem tapasztalt növekedési tempója jelentős mértékben növelte a fémek iránti keresletet. A különböző iparágakban felhasznált anyagmennyiségek növekedése és számos nyersanyag esetében az ellátás rendkívül egyenlőtlen földrajzi eloszlása miatt (pl. ritkaföldfémek, platina csoport elemei) előtérbe kerültek a különböző hulladékok hasznosításra irányuló törekvések. A hulladékokból történő fémkinyerés területén intenzív kutatások és fejlesztések folynak, beleértve a nagy potenciállal bíró biohidrometallurgiai eljárásokat is. Biológiai módszerekkel a 2,000 – 20,000 mg/kg fémet tartalmazó pernyéből az alumínium, mangán és cink kinyerése 80% és 100% közötti értékeket mutatott, a réz és az ólomé 60-70% között volt, míg a vasat alacsonyabb, 30% lehetett kinyerni (Wu és Ting, 2006). Pathak és munkatársai által összegyűjtött adatok alapján hasonlóan magas arányban nyerhetők ki a nehézfémek a szennyvíziszapból (Pathak és mtsai., 2009). Számos tanulmányban számoltak be arról is, hogy a vörösiszapból hatékonyan aknázhatók ki a ritkaföldfémek (Abhilash és mtsai.,2014). Az elmúlt évek szakirodalmát vizsgálva, nagy számban található biohidrometallurgiával foglalkozó tanulmány, melyek többek között katalizátorokat, elemeket, nyomtatott áramköröket és egyéb elektronikai hulladékokat céloznak meg az ipar számára értékes fémek

visszanyerése szempontjából (Pradhan és Kumar, 2012).

A „Fémek visszanyerése hulladékokból bioteknológiai eszközökkel” elnevezésű hazai projektben ezeket a trendeket felismerve vizsgáltuk meg néhány hazai erőművi pernye, folyami üledék, ipari hulladékok, vörösiszap, meddőhányó fémtartalmát és fémkioldási lehetőségeit. Az elvégzett munka alapján kezünkben van az a módszertan, amelynek felhasználásával ezekből az anyagokból

fémeket, ritkaföldfémeket és egyéb értékes fémes elemeket lehet visszaforgatni az ipari felhasználásba.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott eredmények A KFI_16-1-2017-0471 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a VÁLLALATI KFI_16 pályázati program finanszírozásában valósultak meg.

► IRODALOMJEGYZÉK

