

## BAKTÉRIUMOK SZEREPE A SZULFIDÉRCEK OXIDÁCIÓJÁBAN

Dr. SZOLNOKI JÁNOS—BOGNÁR LÁSZLÓ\*

(3 ábrával, 1 táblázzal)

**Összefoglalás:** A szulfidércsek oxidációját régebben tisztán kémiai folyamatnak tekintették. Az újabb vizsgálatok beigazolták, hogy ebben a folyamatban az élő mikroorganizmusok, főleg a kemoautotrof kénbaktériumok igen jelentős szerepűek. *Thiobacillus ferrooxidans*-sal végzett biooxidációs kísérleteink alapján megállapítható volt, hogy a vizsgált szulfidércsek oxidációja baktériumos kezelés hatására nagyságrendnyivel megnövekedett a steril kontrollhoz viszonyítva. A redukált kénvegyületek mikrobiológiai oxidációja az elméleti szempontok mellett — mint pl. a fémek migrációjának és bizonyos epigén üledékes érctelepek kialakulásának a kérdése — olyan közvetlen gyakorlati vonatkozásokban is, mint a szegény ércek dúsítása vagy a kéntelenítési eljárások, a jövőben fokozott érdeklődésre tarthat számot.

A szulfid ércek oxidációjának folyamatával számos értékes munka foglalkozik (Büchler és Gotschalk 1912, Szaukov 1950, Grasselly 1952, Garrels 1954, Szmirnov 1955, Sató 1960, Ginzburg et al. 1961 és mások). A szulfid ásvány oxidációját egészen a legutóbbi időig tisztán kémiai folyamatnak tekintették.

A szulfidásványok biológiai úton történő oxidációjára a savanyú bányavizek vizsgálata hívta fel a figyelmet. A kőszekenben a pirit vagy markazit oxidációjakor keletkező kénsav nagy károkat okoz egyes területeken, különösen az USA-ban.

A kérdés tanulmányozásának szempontjából nagy jelentőségű volt Colmer és Hinkle (1947) felfedezése, akik szénbányák savas vizéből egy addig ismeretlen kemoautotrof mikroorganizmust, a *Thiobacillus ferrooxidans*-t izolálták (Temple és Colmer, 1951). Erről a mikroorganizmusról beigazolódtott, hogy a pirit és a markazit oxidációját jelentősen meggyorsítja a steril kontrollhoz viszonyítva (Temple és Dechamps, 1953; Ljalikova, 1960 és mások). A baktériumok által katalizált biológiai oxidáció mértékére jellemző, hogy Ashmeed (1955) vizsgálatai szerint skóciai kőszénbányákban a képződött kénsav 4/5-öd része a szulfidásványok mikrobiológiai oxidációjának eredményeként jött létre. Ljalikova úgy találta (id. Kuznecov et al. 1962), hogy egyetlen degtjanszki ércbányában a baktériumos oxidáció hatására egy év alatt kb. 2500 t tömény kénsav képződik.

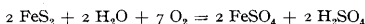
A *Thiobacillus ferrooxidans* tevékenysége nem csupán a redukált kénvegyületeknek kénsavvá történő oxidációjára szorítkozik, de képes arra is, hogy a ferro-vegyületeket ferrivé oxidálja. Így pl. Leathen, Kinsel és Braley (1956) megállapították, hogy a ferrovasat, amelyet a savanyú bányavíz 200 mg/l mennyiségben tartal-

\* Elhangzott a Magyarhoni Földtani Társulat Ásványtan-Geokémiai Szakcsoport 1964. márc. 23-i ülésén.

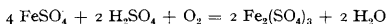
Kézirat lezárva 1964. X. 2.

mazott, ezek a mikrobák 3 nap alatt ferrivé oxidálták, míg a steril vasoldatnak a levegő oxigénjével történő pusztán kémiai oxidációjához a közeg ugyanolyan aktív savanyúsága mellett több mint két évre volt szükség. A vas savanyú közegben történő és vegyértéknövekedésben mutatkozó oxidációjának biokatalitikus jellegét — a mikrobiológiai kísérletek mellett — alátámasztja az a tény, hogy ez a reakció savas közegben tisztán kémiai oxidáció útján egyáltalán nem vagy csak alig megy végbe.

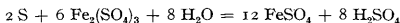
G r a s s e l l y (1952) szerint a fémszulfidok bonolyult kémiai oxidációjának többféle módja közül az egyik lehetőség az, hogy a savanyú bányavíz hatására a vasszulfidból ferroszulfát keletkezik, majd a vele párhuzamosan képződött kénsav hatására ferriszulfáttá alakul s ez oxidálja a még bomlatlan szulfidokat. A piritnek ferroszulfáttá való oxidálódása T e m p l e és D e c h a m p s (1953) szerint is tisztán kémiai úton zajlik le:



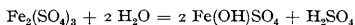
Ez után a ferroszulfát kénsavas közegben azonban már biológiai úton oxidálódik ferriszulfáttá, minthogy ez a reakció savanyú közegben tisztán kémiai úton csaknem egyáltalán nem megy végbe:



a továbbiakban a képződött ferriszulfát egy része a pirittel reagál, azt oxidálja, egyidejűleg pedig maga redukálódik:

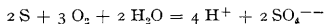


Az így keletkezett ferroszulfátot a baktériumok ismét feloxidálják. A ferriszulfát egy része bázisos vasszulfáttá vagy ferrihidroxiddá alakul és kicsapódik:



Gyakorlatilag a hidrolízis teljesen végbemehet ferrihidroxiddá. A hidrolízis mértéke függ a ferro-ferri aránytól, a szulfáttartalomtól, a közeg savanyúságától.

A reakció során képződött elemi kén gyakran nem lép reakcióba a ferriszulfáttal, hanem ugyancsak biológiai úton tovább oxidálódhat kénsavig (B r y n e r és J a m e r s o n, 1958; B e c k, 1960):



Az utóbbi reakciót a természetben egyébként más kemoautotrof kénbaktérium (pl. a *Thiobacillus thiooxidans*) képes katalizálni (Z o b e l l, 1963; I v a n o v 1964).

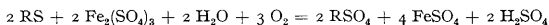
A ferrovasat ferrivé oxidáló *Thiobacillus ferrooxidans* a kemoautotrof kénbaktériumok közé tartozik, azaz olyan mikroorganizmus, amely csak ásványi anyagokat tartalmazó közegben, organikus anyagok felhasználása nélkül képes megélni, testét széndioxidból és ásványi sókból építi fel, az élettevékenységéhez szükséges energiát szervesen vegyületek oxidációjából nyeri, hatását aerob körülmények között fejti ki és igen alacsony  $p_{\text{H}}$ -t (2,0–4,5) képes elviselni. Az általa katalizált reakciókból látható, hogy élettevékenysége során maga teremti meg a fejlődéshez szükséges  $p_{\text{H}}$ -t. Ebből azonban nem szabad arra következtetni, hogy a *Thiobacillus ferrooxidans* egyáltalában semmi sze-

repet nem játszik a szulfidok oxidációjában természetes körülmények között olyan esetekben, amikor a közeg  $p_{\text{H}}$ -ja semleges. Erős lokális savanyúság jöhet létre egyes góccokban, ahol összpontosul a baktériumok oxidatív tevékenysége.

A *Thiobacillus ferrooxidans*-nak a természetben való elterjedését és oxidációs tevékenységét vizsgálva Temple és Dechamps (1953) azt tapasztalták, hogy bányában, rögtön a réteg feltárása után vizsgálva az anyagot, a frissen fejtett részben a víz reakciója semleges volt és a *Thiobacillus* hiányzott, de már néhány nap múlva ebből a részből sok *Thiobacillus ferrooxidans* volt kimutatható és a víz erősen savas lett. Ivanov et al. (1958) megállapították, hogy a hányón heverő érc is oxidálódik biológiai úton és maga a kőzet is mélyreható változásokon megy át. Hasonló eredményekhez jutottunk mi magunk is a Gyöngyösorszi ércbánya anyagának vizsgálatakor, amikor is azt tapasztaltuk, hogy míg közvetlenül a bányából származó frissen fejtett anyagban egyáltalán nem vagy elvétve találtunk *Thiobacillus ferrooxidans*-t, a meddő hányóról vett mintában ez az organizmus igen nagy számban volt kimutatható, maga a kőzet pedig erősen mállozott volt. Kuznecov et al. (1962) szerint ennek a mikroorganizmusnak a tevékenységét ott lehet felfedezni, ahol a szulfidok a felszín közelébe kerülnek, vagy ahol oxigénben gazdag víz hatol be a kőzetbe. Szmirnov (1955) azt tartja, hogy a szulfid lelőhelyek oxidációs zónája az oxigéntartalmú talajvíz behatolási mélységéig terjed. Mivel ez a mélység függ a kőzet vízáteresztő képességétől, repedezettségétől és egyéb tényezőktől, mindezek befolyásolják az ércásványok baktériumos oxidációját a lelőhelyen. Corrick és Sutton (1960), valamint Ljalikova (1959, 1960, 1961) különböző kőszén- és érclelőhelyekről izolálták a *Thiobacillus ferrooxidans*-t

A felület és szemcsenagyság ugyancsak befolyásolja az oxidáció mértékét. Ginsburg et al. (1961) 0,074 mm átmérőnél kisebb szulfidörleményt vizsgálva kimutatták, hogy a tisztán kémiai oxidáció sebessége a szabad felülettel arányosan a mértani sornak megfelelően növekszik.

A pirit biológiai oxidációja során képződött ferriszulfát erős oxidáló és oldó hatást gyakorol az egyéb szulfidokra is, miközben önmaga ferroszulfáttá redukálódik, amit a baktériumok ismét ferriszulfáttá oxidálnak. Ilyen módon egy folyamat-ciklus következik be, melynek eredményeként a fémszulfidok oldhatókká válnak, szulfátok formájában. Ez a folyamat a következők szerint megy végbe:



ahol R valamilyen fém. A ferriszulfátnak ez az oxidáló és kilúgozó hatása már régóta ismeretes a dúsítással foglalkozó szakemberek előtt. Alkalmazása azonban — az eljárás eléggé költséges lévén — nem terjedt el szélesebb körben. Amennyiben azonban a ferroszulfátnak baktériumos oxidációval történő regenerálása olcsón megoldható, az eljárás ipari méretekben is alkalmazhatóvá látszik. Szmirnov (1955) ugyancsak rendkívül nagy jelentőséget tulajdonít a ferriszulfát szerepének a szulfidérc oxidálásában.

A pirit hozzáadása pozitív hatással van az egyéb szulfidásványok biológiai oxidációjára is. Pirit és kalkopirit együttes biológiai oxidációs vizsgálata azt mutatta, hogy 37 nap alatt a steril kontrollnál kb. kilencszer több réz ment oldatba baktériumos hatásra (Ljalikova, 1959).

A *Thiobacillus ferrooxidans* azonban nemcsak a piritet tudja oxidálni, hanem képes közvetlen oxidatív hatást gyakorolni a többi fémszulfidra is. Ljalikova (1961) úgy véli, hogy ezekben az esetekben a baktériumok az energiát a kisvegyértékű kén szulfáttá oxidálásából nyerik. Amerikai kutatók 1954-ben kalkopiritet, kovellint, kalkozint, bornitot és tetraedritet oxidáltattak *Thiobacillus ferrooxidans*-sal és megállapították, hogy a baktériumos kezelés hatására 42 nap alatt 3–10-szeres mennyiségű fém ment.

oldatba a különböző ásványokból a steril kontrollal összehasonlítva. A különböző szulfidásványok természetesen különböző mértékben oxidálhatók.

A *Thiobacillus ferrooxidans*-nak különös sajátossága, hogy igen kevésbé érzékeny a rézzel és egyéb nehéz fémekkel szemben. Így L j a l i k o v a (1959) *Thiobacillus ferrooxidans*-t talált olyan bányavízben, melynek rézkoncentrációja 7,5 g/l volt. Z i m m e r l e y et al. (1958) vizsgálatai beigazolták, hogy ezeknek a mikroorganizmusoknak a nehézfémekkel szembeni ellenállása fokozható az olyan tápközegeken való sorozatos tenyésztéssel, melyek mind nagyobb koncentrációban tartalmazzák ezeket a fémeket. Fokozatos hozzáféréssel olyan törzsűt sikerült kitenyészteniük, amely 17 g/l cinket viselt el. A réz tőrése 12 g/l-ig volt fokozható.

A baktériumoknak azt a képességét, hogy a fémeket oxidációs úton oldatba tudják vinni, már régen hasznosították anélkül azonban, hogy a folyamat mikrobiológiai jellegével tisztában lettek volna. Így Spanyolországban a Rio Tinto bányában nagyon hosszú idő óta kitermelik a rezet a bányavízből vason való kiválasztás útján. K u z n y e c o v et al. (1962) közlése szerint a degtjanszki ércbánya vizének réztartalma eléri az 1,27 g/l-t. A réznek a bányavízből való kinyerése céljából speciális cementációs be rendezést helyeztek üzembe.

Az utóbbi időben világszerte felfigyelték ezeknek a mikrobáknak a szulfidásványokat oxidáló képességére és most már céltudatosan igyekeznek felhasználni őket a fémek dúsításában. Így különösen az USA-ban (A r g a l l, 1963), Kanadában és Mexikóban az eljárást már ipari méretekben alkalmazzák. 1958-ban az USA-ban szabadalmat fogadtak el ércek kilúgozásának biológiai módszerére (Z i m m e r l e y et al., 1958). A módszernek egyelőre hátránya a kilúgozási ciklus viszonylagos lassúsága, bár az utóbbi években jelentős előrehaladás történt ezen a téren is (R a z z e l l, 1962).

A Szovjetunióban ugyancsak széleskörű munka folyik a mikrobiológiai ércdúsítási eljárások részletes kidolgozására (I v a n o v, 1961; L j a l i k o v a, 1961). Mindenesetre már az eddigi adatokból is megállapítható, hogy a mikrobiológiai módszerek az ércek dúsításában igen nagy jövőjű eljárásoknak mutatkoznak, melyek megérdemlik a szakemberek figyelmét. Különösen alkalmasnak látszik a mikrobiológiai módszer a ritka fémek dúsításánál és az ércfeldolgozó ipar még viszonylag sok színesfém-tartalmazó meddőanyagainak felhasználásánál.

Nem kétséges, hogy a kemoautotrof kénbaktériumok igen jelentős szerepet játszanak a kőzetek mállásában és a fémek migrációjában is. Már B a s t i n (1926) is feltételezi a baktériumok részvételét a fémek mobilizációjában és az üledékes ércelemek kialakulásában. Az ezekkel a kérdésekkel kapcsolatos vizsgálataink folyamatban vannak.

A szulfidásványokat oxidáló kénbaktériumok az ércdúsításon kívül felhasználhatók még egyéb gyakorlati és ipari vonatkozású területeken is. Így pl. eredményesen alkalmazhatók a kéntelenítési eljárások esetében, amikor a közegben levő pirit zavaráná a további ipari feldolgozást. Z a r u b i n a et al. (1959) baktériumos kezeléssel a kőszénből a kén 25%-át távolították el. A biológiai úton történő kéntelenítéssel kapcsolatos saját vizsgálataink során mi is hasonló eredményeket kaptunk (S z o l n o k i, 1964).

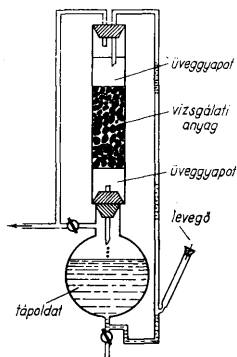
A fenti adatok alapján kísérleteket végeztünk egyes szulfidásványok és szintetikusan előállított fémszulfid biológiai oxidációjával kapcsolatban laboratóriumi körülmények között.

Vizsgálataink első részében a pirit és a kalkopirit mellett különösen a szfalerit biológiai oxidációját tanulmányoztuk, mivel ezen ásvány biogén oxidációjáról ez ideig kevés adat áll rendelkezésre.

A második vizsgálatcsoport a kémiai úton előállított szintetikus réz (II) szulfid, valamint kalkozin és bornit biológiai oxidációjával foglalkozott.

## Kísérleti anyag és módszerek

I. Kísérleteink első részében — közelebbi lelőhely meghatározása nélkül — tömeges piritet, kalkopiritet, valamint Nagylipótról (Mátra) származó jólkristályos szfaleritet használtunk fel. Az ásványi anyagot megtörtük, szitáltuk és a 2,0–0,5 mm szemmagyság közé eső frakciót használtuk. A tárolás során történt esetleges oxidációs termékek eltávolítása céljából az anyagot 0,1 n HCl-val mostuk mindaddig, amíg a mosófolyadék szulfátra már nem volt pozitív. Az ilyen módon előkészített anyagból 40–40 g-ot mértünk be aeroliftes perkolátorokba (1. ábra).



1. ábra. Aeroliftes perkolátor  
Fig. 1. Aerolifting percolator

A perkolálást I, e a t h e n et al. (1956) által javasolt tápoldattal végeztük (edényenként 200 ml). A tápoldat kezdeti  $p_{\text{H}}$ -ja 3,0 volt. A kísérleti anyagokat olyan *Thiobacillus ferrooxidans* tenyésztéssel oltottuk be, melyet a padragi kőszénbánya erősen piritos barnakőszénéből és kísérő kőzetéből izoláltunk, és melyet előzően három átváltáson keresztül szfalerit tartalmú tápoldaton tenyésztve passzáltunk. A kezdeti sejtszám  $3-4 \times 10^4/\text{ml}$  volt. A kontroll minták sterilítéséről antiszeptikum (1 : 1000 fenol) adagolásával gondoskodtunk. A perkolálás szobahőmérsékleten történt 14 napon át.

A kísérlet befejeztével a perkoláló folyadékot, illetve annak aliquot részét infra lámpa alatt bepároltuk és mértük a bepárlási maradék súlyát. A bepárolt anyagot 1 : 1 arányban grafitporral hígítottuk (belső standardként önt használva) és Q24. kvarcspektrográffal mennyiségi színképelemzést végeztünk rézre és cinkre. Az összehasonlító anyaghoz a tápoldat összetételének megfelelő sókat is hozzákevertük. Kiértékelésnél a Cu:3273,96 Å, az Sn: 3262,63 Å és a Zn: 3345,02 Å vonalait fotometráltuk.

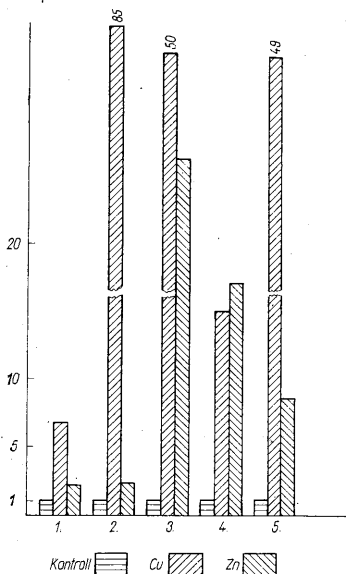
II. A kísérletek második részében kénhidrogénnel leválasztott kémiai úton előállított CuS-ot, illetve Dognácskáról származó kalkozint és bornitot használtunk fel. Az anyagokat 0,06 mm-es szitán átszitáltuk és 1–1 g-ot mértünk be 500 ml-es Erlenmeyer-lombikokba. Edényenként 300 ml 9K. tápoldatot adtunk hozzá és előzetesen passzált, mosott és dúsított *Thiobacillus ferrooxidans* tenyésztéssel oltottuk be (S z o l n o k i és B o g n á r, 1964). A kontrollok sterilítésát 1 : 1000 fenol adagolásával biztosítottuk.

Az edényeket kétszer átfúrt gumidugókkal zártuk és az egész kísérlet folyamán aszeptikusan átbuborékolatva levegőztettük, gondoskodva az elpárolgó víz pótlásáról. Az inkubálást 28 C°-on végeztük. A kísérlet 42 napon át tartott. A tápoldatokból hetenként mintát vettünk és az oxidáció eredményeként szulfát formájában oldatba ment réz (Ginzburg et al. (1961) által alkalmazott és Ulrich E. által módosított módszerrel, Na-ditilditiokarbammittal fotometrikan határoztuk meg.

### Az eredmények értékelése

Amint a 2. és 3. ábrából látható, baktériumos kezelés hatására minden esetben több fém ment oldatba, mint a steril kontrollok esetében. Ez a különbség nagyságrendnyit is kitesz. Megállapítható az is, hogy a *Thiobacillus ferrooxidans* a vizsgált szulfidok mindegyikét képes oxidálni. Tevékenységével a fémek oldatbavételét jelentős mértékben fokozza és elősegíti.

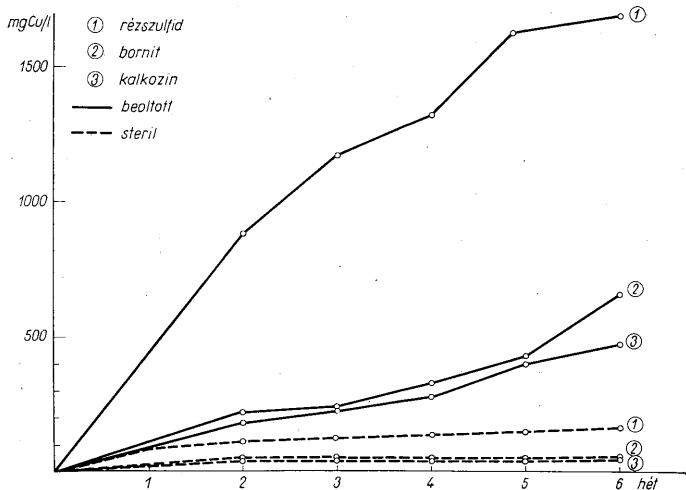
Az I. kísérletnél felhasznált anyagok mindegyikében mutatkozott réz és cink is, mivel ezek az ásványok természetes körülmények között a fő (kémiai képletben szereplő) fémeken kívül még egyéb fémeket is tartalmaznak. Ércmikroszkópos vizsgálat alapján azonban a nevezett ásvány dominál.



2. ábra. 14 nap alatt oldatba ment fém mennyisége a steril kontrollra, mint egységre vonatkoztatva  
Fig. 2. Amount of metal dissolved during 14 days with reference to the sterile check sample as per unit

Baktériumos kezelés hatására 14 nap alatt oldatba ment fém mennyisége  
Amount of metal dissolved during 14 days of bacterial treatment

Anyag	mg/l	
	Cu	Zn
1. pirit	57,2	6,3
2. kalkopirit	33,6	2,3
3. pirit+kalkopirit	4,9	22,7
4. szfalerit	5,6	50,6
5. pirit+szfalerit	84,2	183,0



3. ábra. 42 napos inkubáció során oldatba ment réz mennyisége  
Fig. 3. Amount of copper dissolved during 42 days of incubation

Az I. sz. kísérletben az oldatba ment réz abszolút mennyiségének alacsony volta (I. táblázat) azzal magyarázható, hogy a kísérleti berendezésben az oldatból feloxidált vas csapódott ki, amelyet kvantitatíve elkülöníteni nem tudtunk. A kivált vas egy részéből mennyiségi vizsgálatot végeztünk és annak réztartalma sokszorosan több volt, mint az oldaté. Feltehető, hogy az eredetileg oxidatív hatásra oldatba ment réz egy része a vasra kivált. Ez magyarázza, hogy abszolút mennyiségét tekintve a legkevesebb réz a pirit + kalkopirit perkolációs tápoldatából volt kimutatható annak ellenére, hogy a sterilhez képest ötvenszeres dúsulást észleltünk (2. ábra).

Feltehető, hogy a szfaleritből oldatba ment nagy mennyiségű cink részben a cink elem oxikalkofil jellegénél fogva (Sz á d e c z k y - K a r d o s s, 1955), részben pedig a szfalerit ásvány kitűnő hasadása miatt a kísérleti anyagunk a többi ásványhoz viszonyítva relative nagyobb felületet képviselvén, mobilisabbnak mutatkozott, mint más ásványok.

Összehasonlítva a táblázat eredményeit Ginzburg et al. (1961) eredményeivel, akik szintetikusan előállított szulfidásványok tisztán kémiai oxidációját vizsgálva oxigénáramban szfalerit és pirit keverékéből 1500 óra (62,5 nap) alatt 230 mg/l cinket oldottak ki, megállapítható, hogy a mi esetünkben 14 nap alatt csak szfaleritből 156,6 mg/l, a pirit + szfaleritből pedig 83,0 mg/l oldatba ment cink intenzív baktériumos tevékenység eredménye.

A II. sz. kísérletnél kizárólag a réz oldatbamenetét vizsgáltuk. Ezért összehasonlítottuk az általunk előállított rézszulfid oxidálhatóságát a természetes ásványokéval. A mesterséges rézszulfid esetében 42 nap alatt az eredetileg bevitt rézmennyiségnek 76,0%-a ment oldatba baktériumos hatásra, szemben a steril kontrollnál mért 7,4%-kal. Bár a baktériumosan kezelt és a steril minták között az oldat réztartalmában mutakozó relatív különbség csaknem ugyanakkora (3. ábra), a frissen előállított mesterséges rézszulfid laza szerkezete következtében az oldatba ment réz abszolút mennyisége ebben az esetben sokkal nagyobb volt, mint a természetes ásványoknál.

A két kísérletsorozatban oldatba ment réz mennyisége közötti különbségek valószínű oka, a kísérleti anyagok eltérő volta mellett, a szemcseméret csökkenésével párhuzamosan hatványozottan növekedő felületnagyság, a hőmérsékleti differencia (Argall 1963), a dúsított és mosott baktérium oltóanyag alkalmazása (Beck, 1960) és a második kísérletnél használt tápoldat megfelelőbb volta.

#### IRODALOM — REFERENCES

- Argall, G. O., (1963): Leaching dumps to recover more South-west copper at lower cost. Mining World, 25., 22-27. — Ashmeed, D., (1955): The influence of bacteria on the formation of acid mine waters. Coll. Guard., 190., 694-712. — Bastin, F. S., (1926): The presence of sulphate reducing bacteria in oil field waters. Science, 63., 21-24. — Beck, J., (1960): A ferrous-oxidizing bacterium. I. Isolation and some general physiological characteristics. J. Bacteriol., 79., 502-509. — Bryner, L. C. — Jamerson, A. K., (1958): Microorganisms in leaching sulfide minerals. Appl. Microbiol., 6., 213-226. — Bühler, A. A. — Gotschalk, U. N., (1921): Oxidation of sulphides. Econ. Geol., 7., 412-421. — Colmer, A. — Hinkle, M. E., (1947): The role of microorganisms in acid mine drainage. Science, 106., 253-256. — Corrick, J. D. — Sutton, J. A., (1960): Three chemosynthetic autotrophic bacteria important to leaching operations at Arizona copper mines. Int. Bu. of Mines., P. G. H. P. A., 2077., 1-8. — Garrels, R. M., (1954): Mineral species as functions of pH and oxidation-reduction potentials. Geochim. Cosmochim. Acta, 5., 153-168. — Ginzburg, U. U. — Olsanszkij, Ja. U. — Beljackij, V. V., (1961): Eksperimentalnuije issledovanija po oksizleniju szulfidov Tr. i In. ta I. G., I. G. R. M. P. M. I. P., 59. — Grasselly Gy., (1952): Quantitative chemische Untersuchungen an sulfidischen Erzanschliffen. Acta Geol. Hung., 1., 79-94. — Ivanov, V. I., (1961): O primenenii bakteriálnih metodov v obogascenii rud cvetnih metallov. Tr. In. Mikrobiol., 9., 144-146. — Ivanov, M. V., (1964): Rol mikrobiologicseskijh processzov v geneziszse mesztorozsdenij szamorodnoj szeri. Moszkva. — Ivanov, M. V. — Ljalikova, N. N. — Kuznyecov, Sz. I., (1958): Rol tionsiovih bakterij v vuvetirvanii gornih porod i szulfidnih rud. Izv. A. N. SzSzsZr. szer. biol., 2., 183-192. — Kuznyecov, Sz. I. — Ivanov, M. V. — Ljalikova, N. N., (1962): Vvegvemije v geologicseskujju mikrobiologiju. Moszkva. — Leathen, W. — Kinsel, N. — Braley, S., (1956): Ferrobacillus ferroxidans, a chemosynthetic autotrophic bacterium. J. Bacteriol., 72., 700-704. — Ljalikova, N. N. (1959): Fiziologija i ekologija Thiobacillus ferroxidans v svjazii sz ego rolju v oksizlenii szulfidnih rud. Dissz. biol. nauk. A. N. SzSzsZr. — Ljalikova, N. N., (1960): Ucsaszitje Thiobacillus ferroxidans v oksizlenii szulfidnih rud na kolcsedannih mesztorozsdenijh Szrednego Urala. Mikrobiologija, 29., 473-479. — Ljalikova, N. N., (1961): Rol bakterij v oksizlenii szulfidnih rud. Tr. In. ta Mikrobiobull., 9., 127-134. — Raszell, W. E., (1962): Bacterial leaching of metallic sulphides. Can. Min. a Metall. Bull., 45., 135-136. — Sato, M., (1960): Oxidation of sulfide ore bodies. II. Oxidation mechanism of sulfide minerals at 25°C. Econ. Geol., 55., 1202-1231. — Szádeczky-Kardoss E., (1955): Geokémia. Budapest. — Szaukov, A. A., (1950): Geokhímija. Moszkva. — Szmirnov, Sz. Sz., (1955): Zona oksizlenija szulfidnih mesztorozsdenij. Moszkva. — Szolnoki J., (1964): A kőszén mikrobiológiai oxidációja. Földt. Köz., 94., 371-378. — Szolnoki J. — Bognár L., (1964): Experiments on the biogenic oxidation of some sulphide ores. Acta Geol. Hung., 8., 169-190. — Temple, K. — Colmer, A., (1951): The autotrophic oxidation of iron by a new bacterium Thiobacillus ferroxidans. J. Bacteriol., 62., 605-611. — Temple, K. — Dechamps, E., (1953): Autotrophic bacteria and the formation of acid in bituminous coal mines. Appl. Microbiol., 1., 255-258. — Zarubina, Z. M. — Ljalikova, N. N. — Smuk, E. I., (1959): Issledovanije mikrobiologicseszkoj oksizlenija pirita uglja. Izv. A. N. SzSzsZr. szer. techn., 1. — Zimrley, S. — Wilson, D. — Prater, J., (1958): Cyclic leaching process employing iron oxidizing bacteria. U. S. Patent., No. 2829964. — Zobel, C. E., (1963): Organic geochemistry of sulfur. Intern. Ser. of Monogr. on Earth Sci., 16., 543-578.



**On the role of Bacteria in the oxidation of sulphide ores**

Dr. J. SZOLNOKI—L. BOGNÁR

According to literature, chemoautotrophic sulphur bacteria have played an important role in the oxidation of sulphide minerals. The authors carried out experiments to determine the possibility of oxidation by *Thiobacillus ferrooxidans* of pyrite, sphalerite, chalcocite, bornite and artificial copper sulphides. On bacterial treatment the sulphide ores oxidized considerably faster than the sterile check samples. The rate of oxidation increased when the experiment was run with a greater initial number of cells and decreasing grain size.

*Thiobacillus ferrooxidans* markedly accelerated the process of oxidation of metals. In experiments where sphalerite was attacked by the above bacterium, the concentration of Zn in the solution was found to be very high. The copper content increased, on the average, by one order of magnitude in almost all the experiments, as compared to the sterile check sample.