

7. ábra. Jacques Alexandre César Charles, 1820 (Library of Congress)

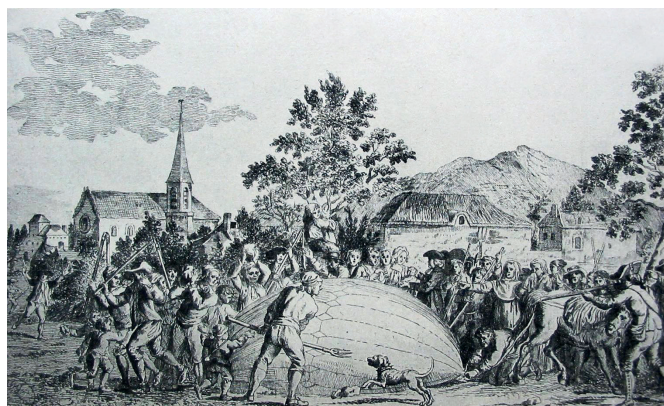
Néhány nappal Montgolfier-fivérek hőléggallosos bemutatója után, 1783. december 1-jén Jacques Charles és Nicolas-Louis Robert Párizs környékén kb. 550 méter magasba emelkedtek, majd egy mezőn landoltak. A parasztok úgy megijedtek, hogy megsemmisítették a léghajójukat (8. ábra).

IRODALOM

- [1] Simonyi K., A fizika kultúrtörténete. Gondolat Kiadó, Budapest, 1978. 303–319.
[2] Inzelt Gy., Kalandozások a kémia múltjában és jelenében. Vince Kiadó, Budapest, 2003. 83–134.
[3] Inzelt Gy., Természettudomány háborúban és békeidőben. Typotex Kiadó, Budapest, 2020. 42–46.
[4] Joseph Louis Gay-Lussac, Gázok kiterjedése hő hatására. Annales de Chimie (1802) 43, 137. (In: William Francis Magie: A Source Book in Physics, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1963.) <http://chemonet.hu/hun/olvaso/histchem/ho/gay-lussac.html>



8. ábra. Kortárs illusztrációk a felszálló léghajóról és a leszállás utáni eseményekről



- [5] Szabadváry E., Az analitikai kémia módszereinek kialakulása. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1960, 225–235.
[6] Inzelt Gy., Avogadro cikkének 200 éves évfordulójára. Természet Világa 2011. augusztus, Természettudományi Közlöny 142. évf. 8. füzet.

Braun Tibor

Aranybányászat mikrobákkal

Előszó

A biobányászat biotechnológiai eljárásnéven definiálható, mert ásványok oxidatív kioldását hozza létre mikroorganizmusokkal, például baktériumokkal és/vagy gombákkal, [1] amelyek katalizáló szerepet is betöltenek. A biobányászat megkönnyíti a nagy értékű fémek kinyerését ásványaikból. [2] A fémek kioldását lényegében a kémia és a mikrobiológia kombinációja valósítja meg. A kémia a fém feloldásának meghatározója, ami főleg a vas(III)-ion vagy sav hatása az ásványra, de segíti a feloldást a mikrobiológia is. A mikroorganizmusok felelősek a vas(III) és sav előállításért. [3]

A biobányászat két rokon mikrofolyamata a bakteriális kioldás, ami biokioldásnak is nevezhető, és a biológiai oxidálás. [4] A fémkationok mobilizálása oldhatatlan ásványokból biológiai oxidálással és komplexálási folyamatokkal is megoldható. [5] A biokioldási folyamat az ásványok bomlását eredményezi, ami a kinyerendő fém extrakciójához vezet. Számos fém általában biokioldással nyernek ki, például rezet, kobaltot, nikkelt, cinket és uránt. Például réz esetében a réz-szulfid réz-szulfáttá oxidálódik

mikrobiálisan, aminek eredményeként a fém átkerül a vizes fázisba, miközben szilárd anyag marad hátra. [6] Ezzel szemben a mikroorganizmussal való ásványi biooxidáláskor a fém marad a szilárd fázisban.

Az arany biobányászata

A biooxidálást általában előkezelésként használják. Az eredeti ásványok mikrobiológiai oxidálásánál a nagy értékű fémek az ásványokban jelen lévő más fémekkel együtt koncentrálnak, de nem kerülnek át az oldatba, hanem oldhatatlan formában maradnak. Példa erre az arany kinyerése arzenopirit ásványokból, ahol az arany a szilárd maradványokban marad a biooxidálás után, de a kinyerés megnövelhető ciánózással, ami a következő lépés. [7,8] A biooxidálást főleg a nehezen oldódó (úgynevezett *refraktor*) aranyásványok kezelésére alkalmazzák. [9]

Az aranyásványokat különböző módon lehet osztályozni. Egyrészt a használt extrakciós módszer szerint, másrészt a geológiai környezet alapján. [10] Az alkalmazott lehetőség szerint az aranyásványok a szabad órléses vagy a nehezen oldódó típusba



sorolhatók. [11] A szabad őrléses ásványok általában könnyen kezelhetők, és belőlük jelentős aranykivonás érhető el (több mint 90%) köznap aranybányászati eljárásokkal, például cianozással. A refraktor-aranyásványok bonyolultabban kezelhetők, ugyanis a kinyerés 90%-nál, bizonyos esetekben 50%-nál is kevesebb lehet. [10] A refraktorásványok tehát alacsony aranykinyerést tesznek csak lehetővé, vagy elfogadható aranykinyerés lényegesen több reagenssel vagy bonyolultabb előkezeléssel valósítható csak meg. Az arany jelentős hányada gyakran olyan ásványokban található, amelyekben sokféle eloszlik az ásványkomplexben. A refraktorásványok hidrotermikus eredetűek, és külső forrásból rakódtak le meleg vizes oldatokból.



A hidrotermikus oldatok különböző oldott ásványi összetevőket, például szulfidokat, telluridokat és arzeniteket tartalmaznak. A refraktor-aranyásványt tartalmazó komponensek csökkentik az aranyásvány alkalmasságát konvencionális extrakciós eljárásokhoz. A refraktor fogalmat így akkor alkalmazzák, amikor az arany jelentős aránya nem nyerhető ki konvencionális gravitációs dúsítással, vagy közvetlen cianozással még finomőrléssel sem, mert a felület mérete ilyenkor nem jobbítja az extrakciót. [10] A kivonható refraktorarany csökkenése nagymértékben függ az aranyásvány összetételétől. [11] Bizonyos esetekben cianidkomplex, $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ képződik, de előbb eltávolítják a szulfidokat, szilikátokat és széntartalmú anyagokat. [12]

Bizonyos anyagok jelenléte „aranyrögzítést” hoz létre az ásványban nehezíti téve az arany kinyerését mechanikai úton. A szulfid- vagy szénmátrix miatt a cianid elfogy az aktuális extrakció előtt. [13] Az ilyen refraktor-aranyásványok előkezelésre szorulnak. Az aranyásvány előkezelése bomlasztja a társult ásványokat, és megnyitja a molekuláris szerkezetet úgy, hogy a feloldó reagens jobban extrahálhassák az aranyat. [12] Az előkezelési folyamatot passzívalja vagy hatékonyságát jelentősen csökkenti egyes ásványok jelenléte. A refraktorarany előkezelésében használt konvencionális módszerek: pörkölés, nyomás, nyomásos oxidálás és klórozás.

A bakteriális oxidálás a konvencionális előkezelési módszerek zöld változataként működik. Népszerűsége, növekedése oka az aranyat tartalmazó szulfidásványok alacsony költsége és más környezeti előnyeik.

Baktériumok a biobányászatban

A legfontosabb ásványoldó mikroorganizmusok a vas- és kén-oxidáló kemolitoautotrófok, amelyek autotrofikusan növekednek, szén-dioxidot megkötve a levegőből. Eltérően az autotrofikus szervezetektől, amelyek a sugárzó energiát a napsugárból veszik fel, a kemolitoautotrófok szervesen vegyületek oxidálásából nyerik az energiát.

Kemolitoautotrofikus baktériumok

A kemolitoautotrofikus baktériumok olyan, nem fotoszintetikus, autotrofikus mikroorganizmusok, amelyek energiájukat szervesen redukált vegyületek oxidálásából nyerik, például szulfidokból, elemi kénből és tioszulfátból, vas(II)-ből vagy hidrogénből. Ezek

a vas- és kén-oxidáló mikroorganizmusok csak szervesen vegyületeken tudnak nőni, és sejtsejtes termékeikhez a légkör szén-dioxidját használják fel. A kemolitoautotrofikus baktériumok oldási folyamataikat általában savas közegben (pH 1,5–3,0) végzik, amikor a legtöbb fémion oldatban marad. A kemolitoautotrofikus baktériumok tovább oszthatók mezofilekre, enyhén termofilekre és extrém termofilekre. A mezofilek körülbelül 27–37 °C hőmérsékleten szaporodnak. A mezofil osztály többségének baktériumai az *Acidithiobacillus* és a *Leptospirillum* nemhez tartoznak. Ezek a baktériumok köznapinak tűnnek, és olyan helyekről választódnak el, amelyek megfelelő környezetet nyújtanak a növekedésükhöz (pl. kénforrások) a világ számos pontján. Az *Acidithiobacillus*ok főleg azért ismeretesek, mert oxidálják az elemi

ként és ként tartalmazó vegyületeket, de a szükséges feltételek, például a pH és hőmérséklet a különböző fajták fiziológiájától függenek. Az *Acidithiobacillus* baktériumok általában szigorúan aerobok és vagy kötelező, illetve fakultatív kemolitotrópok, vagy mixotrópok. A *Leptospirillum* hasonlóak az *Acidithiobacillus*okhoz, mert szintén erősen savtűrőek (pH 1,5–1,8); ezek gramm-negatív kemolitoautotrofikus baktériumok. A legtöbb vonatkozásban azonban ezek nagyon különbözőek. A *Leptospirillum* képesek csak vas(II)-t használni elektronodonorként, és nagy az affinitásuk a vas(II)-höz. A *Leptospirillum* az oxigént használják elektronakceptoroként, ezért aerobok. A *Leptospirillum*et széleskörűen alkalmazták biooxidálási folyamatokban, általában kombinációkban kén-oxidáló baktériumokkal. A termofil baktériumok egyes változatai, különösen a *Sulfolobus* fajták biokiolódó környezetekből kerültek elválasztásra [15, 16]. Általában a termofil baktériumok kemolitotrófiailag növekednek vasat, elemi ként vagy szulfidot felvéve.

Bizonyos osztályba tartozó baktériumok fakultatív autotrófok: kis mennyiségű ciszteint, glutationt és élesztőextraktumot igényelnek a növekedéshez. A termofil baktériumok fakultatív autotrófok, amelyekben a baktériumnövekedést ösztönzik a nyomnyi mennyiségű (0,01–0,05% w/v) élesztőkivonat, de 0,1 % (w/v) élesztőextraktum már inhibáló hatású. A termofil vas- és kén-oxidáló baktériumok főbb nemei a *Sulfolobus*, *Acidianus*, *Metallosphaera* és *Sulfurococcus*. [1]

IRODALOM

- [1] Y. Yang, The effect of microorganisms on the surface properties of chalkopyrit, School of Chemical and Physical Sciences, Flinders University, 2014.
- [2] G. J. Olsen, J. A. Prierley, C. L. Prierley, J. Appl. Microbiology and Biotechnol. (2003) 63, 249.
- [3] X. Qi, A. S. Mujungdar, J. Minerals, Metals, Materials Technol. (2007) 12, 45.
- [4] H. Tao, L. Dongwes, Biotechnol.Rep. (2014) 4, 107.
- [5] D. E. Rawlings, D. B. Johnson, Microbiology (2011) 153, 315.
- [6] D. Mishra et al., Waste Management (2008) 2, 333.
- [7] K. Novaczky et al., Polish J.Environ.Stud. (1998) 7, 307.
- [8] A. Thosar, B. Satpathy, T. Nahya, Internat.J., Lett.Sci.Res. (2014) 5, 624.
- [9] N. Dopson, B. A. Lindstrom, Appl.Environ. Microbiol. (1999) 2, 36.
- [10] K. J. Afidenyo, Microbial pre-treatment of double refractory gold ores, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, 2008.
- [11] G. Z. Qiu et al., Transactions of Nonferrous Materials Soc. China (2008) 6, 1295.
- [12] X.Xie et al., BioMed.Res.Internat. (2013) 9, 36.
- [13] R. Shahverdi et al., J.Sci.Iran (2001) 12, 43.
- [14] J. Meier, A. Piva, T. Fortyn, FEMS, J.Microbiol. Ecol. (2012) 79, 69.
- [15] B. D. Johnson, B. M. Graul, K. B. Alberg, Minerals (2013) 349.
- [16] H. Brandl, Microbial.Leaching.Met. (2001) 97, 114.