

A megoldások beküldésére az alábbi útmutatás vonatkozik:

- A feleletválasztós, illetve gondolkodtató kérdéseket **egy-egy lapra**, a számolási példákat pedig **külön-külön lapokra** kérjük megoldani, kizárólag **kézzel, olvashatóan írt** megoldásokat fogadunk el.
- Minden lap jobb felső sarkában **jól látható** módon fel kell tüntetni a versenyző regisztrációkor kapott **azonosítóját** és **kategóriáját**, valamint a feladat számát. Fontos, hogy a neveteket ne írjátok rá a lapokra.
- Átláthatatlanul, vagy nem kellő alapossgal kidolgozott, illetve olvashatatlan megoldásokat jó végeredmény esetén sem fogadunk el.
- A megoldások beküldésére a verseny honlapján, a „Feltöltés” menüpontban van lehetőség, bejelentkezést követően. Kérjük a megoldásokat **.pdf formátumban** töltsétek fel.
- Kizárólag azok a feladatlapok kerülnek értékelésre, amelyek a határidő napján **23:59-ig** beérkeztek.

IV. kategória
Második forduló



V. Oláh György Országos Középiskolai Kémiaverseny

A feladatsorokat lektorálta:

Dóbiné Cserjés Edit

Együttműködő partnerek:



Támogatók:



iagnosticum Zrt.



RICHTER GEDEON

Leadási határidő: 2019. január 10.

E-mail cím: olahverseny@gmail.com

Honlap: olahverseny.ch.bme.hu

2./20

Feleletválasztós (10p)

Készíts egy táblázatot a feladatok számából és a hozzájuk tartozó helyes válasz betűjeléből, ezek egy külön lapra kerüljenek!

1. Melyik vegyület vizes oldatában NEM lehet feloldani az AgCl-ot?
 - a) HNO_3
 - b) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
 - c) NaCN
 - d) cc. HCl
2. Mennyi a mangán oxidációs száma a mangán-heptoxidban?
 - a) +2
 - b) +4
 - c) +7
 - d) +14
3. A csokoládé állás közben megfehéredik. Ez azért történik, mert
 - a) fehérje válik ki a felszínére.
 - b) megváltozik a csokoládé kristályszerkezete.
 - c) a felületére víz kondenzálódik.
 - d) a kakaóvaj kiválik a felületére.
4. Milyen szimmetriájú elemi cellák figyelhetők meg a hópehelyben?
 - a) köbös
 - b) tetragonális
 - c) rombos
 - d) hexagonális

-
5. A cellulóz eredete alapján lehet
- a) természetes
 - b) bakteriális
 - c) egyik sem
 - d) a) és b)
6. Az alábbiak közül melyik tartalmazza a legtöbb szénatomot?
- a) 1,5 mol ftálsav
 - b) 3,7 mol tejsav
 - c) 3,2 mol tetrahidrofurán
 - d) 1,9 mol ϵ -kaprolakton
7. Melyik magyar származású tudós NEM részesült kémiai Nobel-díjban?
- a) Oláh György
 - b) Avram Hersko (Herskó Ferenc)
 - c) Szent-Györgyi Albert
 - d) Hevesy György
8. Miből készülnek a „nejlonzacskók”?
- a) polietilénből
 - b) nejlónból
 - c) PVC-ből
 - d) polisztirolból



-
9. Milyen típusú növényvédőszer a réz-szulfát?
- a) Fungicid
 - b) Inszekticid
 - c) Rodenticid
 - d) Herbicid
10. Hogy nevezik az ammóniagyártás technológiáját?
- a) Solvay-eljárás
 - b) Haber-Bosch-eljárás
 - c) Ziegler-Natta-eljárás
 - d) van Arkel–de Boer-eljárás

Számolási feladatok (29p)

1. 1,750 g tömegű ún. technikai fenolból 100,0 cm³ törzsoldatot készítünk. Ennek 20,00 cm³-es részéhez 20,00 cm³ 0,2000 mol/dm³-es (faktor: 0,9945) savas kálium-bromát oldatot mérünk, majd 2,500 g kálium-bromidot adunk a rendszerhez. A keletkező bróm a fenollal szubsztitúciós reakcióba lép és tribrom-fenol keletkezik. Várakozás után feleslegben szilárd kálium-jodidot adunk az elegyhez, amivel a maradék bróm elreagál. A kivált jódtizede elszublimál a titrálás során. A maradék jódra 15,25 cm³ 0,2000 mol/dm³-es (faktor: 0,9340) nátrium-tioszulfát oldat fogy. **(11p)**
- Írd fel a lejátszódó reakciók egyenleteit! **(2p)**
 - Hány százalék szennyezést tartalmazott a fenol? **(8p)**
 - Rajzold fel a bromozott fenol szerkezeti képletét! **(1p)**
- (A szennyezés semmilyen reakcióba nem lép. A faktor az a szám, amely megmutatja, hogy 1 cm³ mérőoldat hány cm³ pontos koncentrációjú mérőoldatnak felel meg.)

2. A reakciósebesség (r) megadja, hogy egységnyi térfogatú reakcióelegyben időegység alatt mekkora anyagmennyiségű anyag alakul át.

Általános formája: $r = k \cdot [A]^\alpha [B]^\beta [C]^\gamma \dots$, ahol:

- r a reakciósebesség [$\text{mol} \cdot (\text{dm}^3)^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$],
- k a reakciósebességi állandó [mértékegysége függ a reakciósebességi egyenlettől],
- $[A]$, $[B]$, $[C]$ a reaktánsok koncentrációja [$\text{mol} \cdot (\text{dm}^3)^{-1}$],
- α , β , γ a reakció részrendjei.

A reakció rendje a részrendek (α , β , γ) összege.

Rendűség szempontjából általában az alábbi kategóriákba soroljuk a reakciókat:

- Nulladrendű reakció: a reakciósebesség nem függ a reaktáns koncentrációjától (gyakran előfordul katalitikus reakciónál).
- Elsőrendű reakció: a reakciósebesség 1 reaktáns koncentrációjától függ.
- Másodrendű reakció: a reakciósebesség 2 reaktáns koncentrációjától függ.

Egy szakaszos, izoterm reaktorban ($T_{\text{reaktor}}=50^{\circ}\text{C}$) egy $A \rightarrow B$ típusú exoterm reakció játszódik le. A reakció nulladrendűnek tekinthető, vagyis a reakciósebesség nem függ a reaktáns koncentrációjától. A reaktor térfogata 2 m^3 , benne a nulladik időpillanatban az „A” komponens koncentrációja $[A]_{t=0}=5 \text{ kmol/m}^3$. A reakciósebességi együttható $k=9,62 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot (\text{dm}^3)^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, a reakció reakcióhője -152 kJ/mol , a reakciót 82,5 %-os konverziónál megállítjuk. **(9p)**

- Mekkora anyagmennyiséget fog tartalmazni a reakcióelegy a reakció lezajlódása után az A és B komponensekből? **(3p)**
- Mennyi ideig fut a reakció? **(3p)**

Mivel a reakció exoterm, a reaktort hűteni kell. Mekkora hőátadó felület szükséges, ha a hőátbocsátási tényező értéke $h=350 \text{ W} \cdot (\text{m}^2)^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, valamint az átlagos logaritmikus középhőmérséklet-különbség $\Delta T_{\text{log}}=27,42^{\circ}\text{C}$

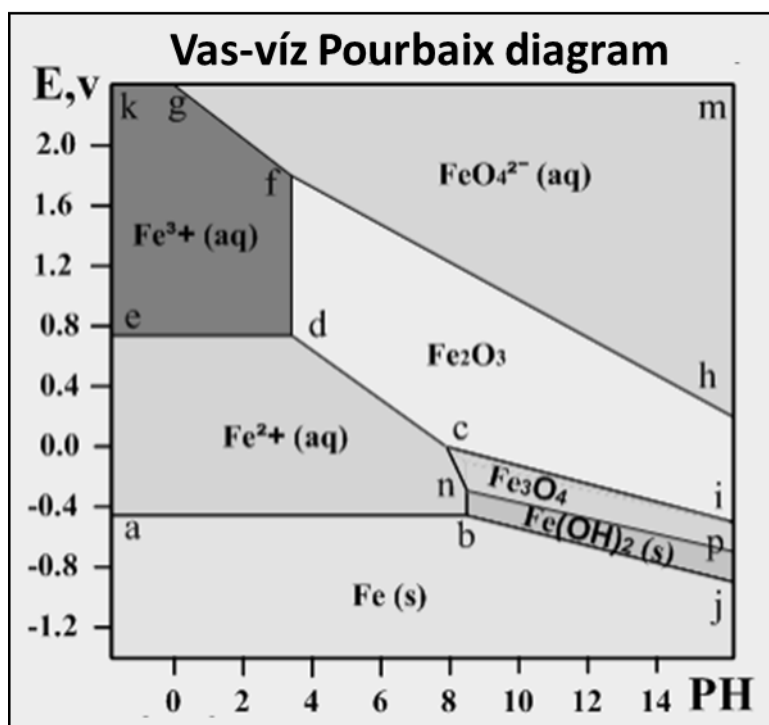
- Mekkora hőátadó felületre van szükség, ha $\dot{Q} = h \cdot A \cdot \Delta T_{\text{log}}$? (Ahol \dot{Q} hőáramot jelenti, ami az egységnyi idő alatt áthaladt hőmennyiség.) **(3p)**

3. Egy üvegben hex-1-én és benzol ismeretlen arányú keveréke található. Az üvegből $0,9960 \text{ g}$ mintát veszünk, és $1,54 \text{ cm}^3$ brómot, valamint katalitikus mennyiségű FeBr_3 -ot adunk hozzá (mennyisége végig elhanyagolható). Az elegyet enyhén melegítjük és kevertetjük. Néhány óra elteltével a maradék brómot hangyasavval elbontjuk. Ezt egy automata titrálóberendezéssel végezzük, ami a szén-dioxid fejlődését követi. A berendezés $0,68 \text{ cm}^3$ hangyasavat használ fel erre a célra. Ezután ugyanezt az elegyet $1,5 \text{ M}$ (metanolos) nátrium-hidroxiddal tovább titráljuk, melyből $25,33 \text{ cm}^3$ fogy a mérés során. **(9p)**

- Írd fel a lejátszódó reakciók egyenleteit! **(4p)**
- Milyen tömegarányú benzol-hex-1-én elegy volt az üvegben? **(5p)**
($\rho_{\text{bróm}}: 3,12 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{\text{hangyasav}}: 1,22 \text{ g/cm}^3$)

Gondolkodtató kérdések (8p)

1. A mutarotáció jelensége azt jelenti, hogy egy optikailag tiszta anyagot vízben feloldva spontán megváltozik az optikai forgatóképessége. Például mutarotációra képes a D-glükóz. Ha α -D-glükózt, vagy β -D-glükózt vízben oldunk egy idő után mindkét esetben körülbelül 66 % β -D-glükózt, 33 % α -D-glükózt, valamint 1 % nyíltlancú formát fog tartalmazni a vizes oldat. Képes-e mutarotációra az IPTG (izopropil- β -D-tiogalaktopiranozid), ha képes miért, ha nem képes miért nem? (2,5p)
2. A Pourbaix diagram egy olyan speciális fázisdiagram, amely a kémhatás és elektródpotenciál függvényében mutatja meg a jelen lévő vegyületeket, egyensúlyi állapotokat. Az alábbi ábrán a vas-víz rendszer Pourbaix diagramját láthatod. A diagram alapján írd fel az összes lehetséges folyamat egyenletét vagy félcella-reakcióját! Jelezd, hogy az egyes folyamatok redoxi reakciók-e, és hogy függnék-e a pH-tól! A folyamatok azonosítására használd a vonalak metszéspontjaiban található betűjelzéseket! (5,5p)



Leadási határidő: 2019. január 10.

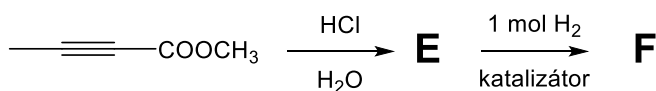
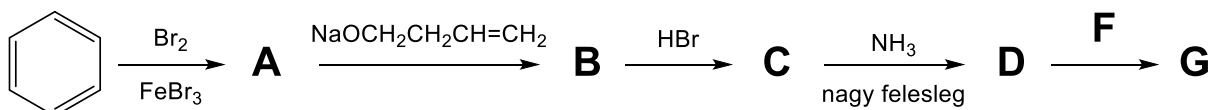
E-mail cím: olahverseny@gmail.com

Honlap: olahverseny.ch.bme.hu

8./20

Gondolatkísérlet (12p)

Rajzold fel az A, B, C, D, E, F és G vegyületek képletét! Hol és milyen izoméria lép fel?
Hányféle szerkezettel írható fel a G jelű vegyület?



Esettanulmány (11p)

Mikroorganizmusok szerepe és alkalmazása fémek kioldására ércekből

Braun Tibor

Fontosnak tartjuk már a legelején megemlíteni, hogy a mikroorganizmusok a legnagyobb számban jelen levő élőlények a Földön (például 1 milliárd egy teáskanálnyi talajban).

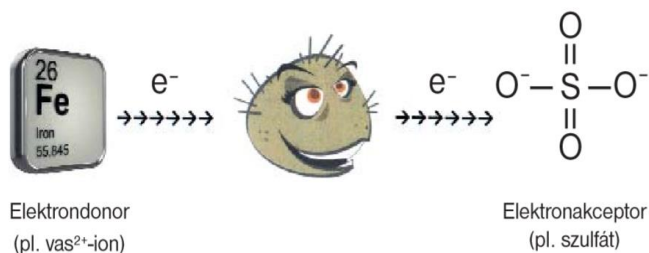
Elsősorban néhány fogalmat és elnevezést szeretnénk tisztázni, főleg abból a szempontból, ahogyan azokat az angol és a magyar nyelvben alkalmazzák. A biomining-ot például bioleachingként, biooxidation-ként, biobenefication-ként is használják az angol nyelvű szakirodalomban. Általában bioleaching-nek azt a folyamatot nevezik, amelyben fémek kioldását kívánják ásványi forrásaikból, ércekből természetben előforduló mikroorganizmusokkal megoldani, vagy mikroorganizmusokat elemek helyének megváltoztatására használnak úgy, hogy az érintett elemek vízzel, vagy/és savakkal kioldhatók, elválaszthatók legyenek. Járulékosan ugyanezt biooxidation-ként is használják.

Biobenefication-nek tekintik a folyamatot, amelyben szilárd anyagokat kezelnek mikroorganizmusokkal a bennük lévő nem kívánt szennyezések eltávolítására. A biomining és a bioleaching lényegében hasonló mikrobiális folyamatokat jelent vizes közegben. Ezek interdiszciplináris területként működnek, amikben együttesen jelennek meg a mikrobiológia (elsősorban geomikrobiológia), ásványtan, geológia, kémia, vegyészmérnöki és bányamérnöki szakterületek. Előfordul az is, hogy biogeotechnology-t használnak biohydrotechnology helyett. A hydrometallurgy-t úgy definiálják, mint „ércet és fémeket tartalmazó anyagok vizes folyamatokkal való feldolgozása főleg ipari méretekben”.

A fenti fogalmak és definíciók címszavanként is megtalálhatók adatbázisokban, például: biomining, bioleaching, biooxidation, biohydrometallurgy, biogeotechnology, biolixiviation, biobenefication.

Bár a fémek kioldása vízzel, illetve savakkal, mint ahogyan azt a római író, Gaius Plinius Secundus (i. e. 2379) tette közzé Historia Naturalis című könyvében, valamint Georgius Agricola (1494–1555) német fizikus és ércszakértő publikálta De Re Metallica című, 12 kötetes munkájában, már több mint ezer évvel ezelőtt ismert volt. A mikroorganizmusok alkalmazását a fémek biobányászatára első ízben csak 1922-ben javasolták.

1947-ben a *Thiobacillus ferrooxidans*-t azonosították a savas bányavizek mikrobiális közösségének tagjaként. Ez utóbbi és számos más közleményre építve jelen szerző véleménye szerint fémek vízzel való kioldása már a fent említett Gaius



1. ÁBRA A VAS ION MIKROBIOLÓGIAI BIOKIOLDÓDÁSÁNAK
DONOR-AKCEPTOR ALAPMECHANIZMUSA

Plinius és Agricola idejében mikroorganizmusok hozzájárulásával is történhetett anélkül, hogy nevezettek tudtak volna róla, mert abban az időben még a mikroorganizmusok léte sem volt ismert, hiszen azokat Antonie van Leeuwenhoek németalföldi zoológus csak 1674-ben fedezte fel. A baktériumoknak az oxidálás tulajdonképpen munkát jelent. Egész sor kémiai reakció játszódik le, amelyekhez a baktériumok oxigént és savas közeget igényelnek. Ehhez a baktériumok elektronokat vonnak el az ércekből megkötött fémekből. Ezáltal ezek oldhatóvá válnak, és az ércekből a vízbe kerülnek. A bioleachinghez szükségesek a szervesetlen elektrondonorok, például a vas, amelyek elektronjait a kénoxidáló baktériumok felveszik (1. ábra). Ilyen baktériumok például az *Acidithiobacillus* és a *Leptospirillum*, amelyek „vasoxidáló” mikroorganizmusok. Ezek Gram-negatív, aerob, kemolitotróf, acidofil baktériumok. Az ilyen baktériumok biokioldó képessége a savban oldhatatlan fémek elektronos oxidálásán (tioszulfát mechanizmus), illetve a savban oldható fémek protonos támadásán (poliszulfid mechanizmus) nyugszik. Mindkét mechanizmus a nehézfémek kioldásához vezet az ércből (2. ábra).



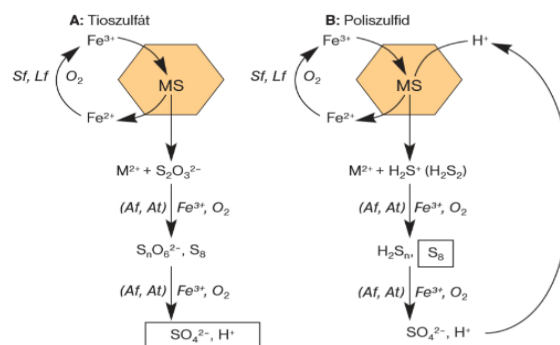
2. ÁBRA ÉRCMINTA MIKROBIOLÓGIAI OLDÓDÁS ELŐTT ÉS UTÁN

Mint láttuk, a biobányászat, a biokioldás és a felsorolt szakterületek lényegében a bányászat kifejezéssel foghatók össze. Ez a terület olyan hatalmas szakirodalommal rendelkezik, hogy lehetetlen lett volna ebben a dolgozatban összefoglalni. Ezért úgy véljük, hogy bizonyos részterületektől el kell határolódnunk. Példának emlíjtük, hogy amikor valaki a bányászat kifejezést hallja, óhatatlanul nagy, széles és mély lyukakra, gödrökre, hatalmas gépekre és liftekkel a mélybe induló bányászokra gondol, akik a föld alatti folyosókban termelik ki és hozzák a felszínre az érceket. Le szeretnénk szögezni, hogy a bányászat ezen, nevezzük műszaki-technológiai változatával itt egyáltalán nem foglalkozunk. Amit körbe szeretnénk járni, az az angol bioleaching, amit mi biokioldásnak fordítottunk, és ami arra vonatkozik, illetve azzal foglalkozik, ami a mélyből felhozott ércek kémiai, biológiai feldolgozására és a nehézfémek kinyerési elveire vonatkozik alapvetési szinten.

A bakteriális biokioldás (bioleaching) mechanizmusa

Hova kerül az értékes fém a kioldási folyamat után? A biokioldás során a kívánt fémet kioldják az ércből.

A biooxidáció vagy biobenefikáció (biobenefication) során viszont a nem kívánt fémeket és más vegyületeket oldják ki az ércből. A továbbiakban a pirit (FeS_2) biokioldását ismertetjük példaként. Mint említettük, a bakteriális kioldásnak általában két válfaját alkalmazzák. A közvetlen (3. ábra) bakteriális kioldásban közeli kapcsolat áll fenn a bakteriális sejt (például *T. ferrooxidans*) és az érc, például a szulfidérc-kristályok



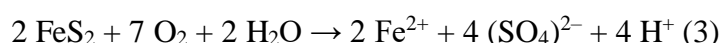
3. ÁBRA FÉM SZULFIDOK BIOKIOLDÓDÁSÁNAK MECHANIZMUSA

MS: fém-szulfid, M: fémkation, Af: *Acidithioballius ferrooxidans*
Lf: *Leptospirillum ferrooxidans*, At: *Acidithiobacillus thiooxidans*

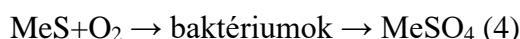
felülete között, és a szulfáttá való oxidálás különböző enzimatikusan katalizált lépésekként történik. Például egy ilyen folyamatban a piritet vas(III)-szulfáttá oxidálják:



A pirit közvetlen bakteriális oxidálását összefoglalva a (3) reakció mutatja:



Tudományos kutatások kimutatták, hogy például más fémszulfidok: kovelit (CuS), kalkocilit (Cu₂S), szfalerit (ZnS), galenit (PbS), molibdenit (MoS₂), sztibnit (Sb₂S₃) és kobaltit (CoS) közvetlen reakcióban oxidálhatók a *T. ferrooxidans* baktérium által:



A tapasztalatok azt mutatták, hogy biokioldásnál a baktériumoknak, mint említettük, közvetlen kapcsolatuk kell legyen az érc felületével. Erre a biofilmek kialakulásának kapcsán a továbbiakban még visszatérünk.

A közvetett bakteriális kioldás során a baktériumok egy biokioldószert (lixiviant) hoznak létre, ami kémiai oxidálja a szulfidércet. Savas oldatban ez a vas(III)ion, így a fém feloldását az (5) reakció írja le:



Annak érdekében, hogy elég vas maradjon az oldatban, a vasszulfidok kémiai oxidálása savas közegben, pH = 5 alatti értéken kell történjen. Az ebből a reakcióból származó vas(II) *T. ferrooxidans* vagy *L. ferrooxidans* baktériumokkal vas(III)-má reoxidálható, és mint ilyen, újból részt vehet az oxidálási folyamatban.

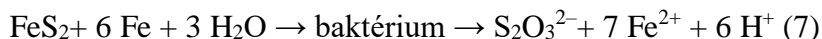
A közvetett kioldás során a baktériumoknak nem kell közvetlen kapcsolatban lenniük az érc felületével. Nekik csak katalitikus hatást kell gyakorolniuk a baktérium nélküli, különben rendkívül lassú vas(III)-reakció reoxidálásában. Mint kimutatták, baktériumok jelenlétében

pH = 2–3 közötti oldatban a vas(II) oxidálása vas(III)-má 105-106-szor gyorsabb, mint a vas(II) kémiai oxidálása. Ugyanis a párhuzamosan képződött kén kénsavvá oxidálódik (6), ezáltal a *T. ferrooxidans* által és a *T. thiooxidans* által okozott oxidálás, ami gyakran jár együtt a *T. ferrooxidans* általival, nagyságrendekkel gyorsabb:

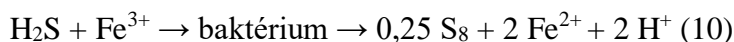
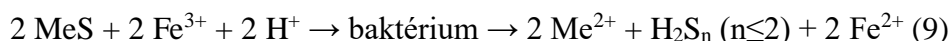


A *T. thiooxidans* szerepe az oldódás során nyilvánvalóan abban áll, hogy a vas(II)-t oxidáló baktériumoknak a vas(III)-mennyiség növekedéséhez kedvező feltételeket hozzon létre a *T. ferrooxidans* és az *L. ferrooxidans* által. Lényegében klasszikus szinten a biooldódás biológiai és kémiai folyamatok együtthatásának következményeként jön létre. Mint említettük, különös figyelmet érdemel a vas(II) – vas(III) ciklus. A biokioldási alkalmazásban mindkét mechanizmust, a közvetlen és közvetett kioldást is használják.

Meg kell még említsük, hogy az érc biokioldási reakciója nem azonos minden fém-szulfid esetében, illetve előfordul, hogy más szulfidok oxidálása közvetítőkön keresztül történik (**3. ábra**). Egy tioszulfátos és egy poliszulfidos mechanizmust is javasoltak például a pirit (FeS_2) és molibdenit (MoS), a szfalerit (ZnS), kalkopirit (CuFeS_2) és galenit (PbS) esetében:



A poliszulfidos mechanizmus esetében a poliszulfid és a kén a fő közvetítők a galenit, szfalerit, kalkopirit, hauerit és realgar (arzén-szulfid) oxidálásában. A vas(III) jelenléte fontos az érc bomlásához. Mint már említettük, savban oldódó fém-szulfid oldódása a vas(III) és a protonok kombinált támadásából áll elemi kén közvetítésével. Az elemi kén ugyanis aránylag labilis szulfáttá oxidálható olyan kénoxidáló mikrobákkal, mint *Acidithiobacillus thiooxidans* vagy *Acidithiobacillus caldus*:





A (8) és (9) reakciók által képzett vas(II) vas(III)-má reoxidálható *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum*, illetve *Sulfobacillus* baktériumokkal:



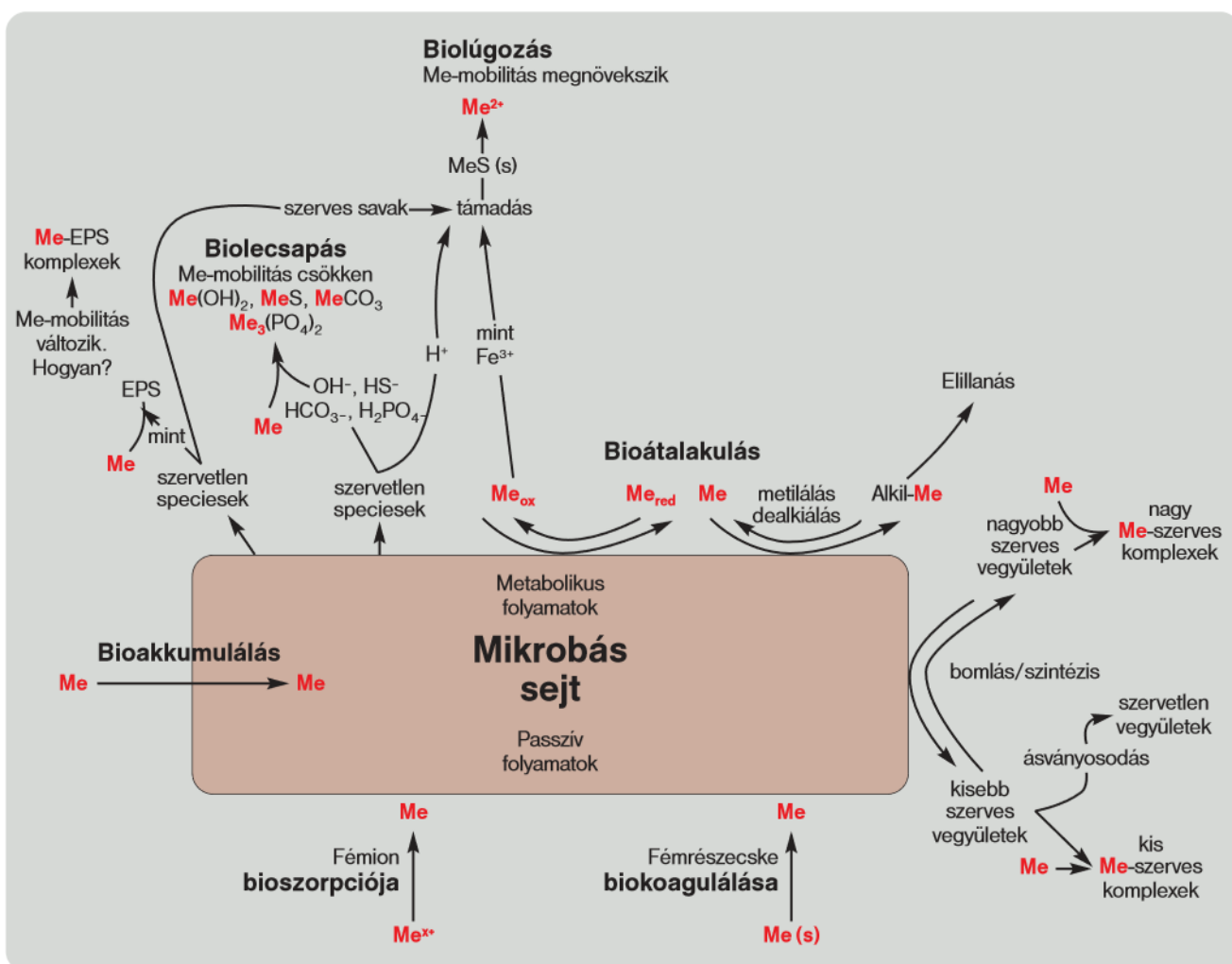
Biokioldási mikroorganizmusok

A biobányászatban általában a mikroorganizmusok az extrofilek csoportjához tartoznak, mivel azok extrém savas környezetben (pH: 1–3) és nagy mennyiségű, toxikus nehézfém-koncentrációk jelenlétében is megélnek. A mikroorganizmusok aránylag nagy része képes létezni és növekedni olyan környezetben, ami biokioldási műveleteket tesz lehetővé. A legvizsgáltabb baktériumok az *Acidithiobacillus* génuszhoz tartoznak. *Acidobacillus ferrooxidans* és *A. thiooxidans* acidofil mezofilekkel és a nagyon enyhén termofil *A. Caldu*-szal a Gram-negatív és γ -protobaktériumokkal rokoníthatók. Az *A. ferrooxidans* a vas(II)-ből és az elemi kénből vagy részben oxidált komponensekből nyeri energiáját. A *Leptospirillum* génusz tagjai másik fontos biokioldó baktériumokhoz tartoznak, amelyeket egy új, Nitrosporabaktérium osztályhoz sorolnak. Néhány Gram-pozitív biobányászati baktérium az *Acidimicrobium* génuszhoz tartozik. A *Ferrimicrobium* és *Sulfobacillus* baktériumokat is használják.

Extrém termofil archeonok, amelyek képesek vas(II) és kén oxidálására, évek óta használatosak biokioldásra. Ezek főleg a *Sufolobus*, *Acidians*, *Metallosphaera* és *Sulphurisphaera* génuszokhoz tartoznak. Nagyon érdekesek azok a kutatások, amelyekben egyedi baktériumok helyett baktériumkonzorciumokat használnak.

A fent említett mikroorganizmusok számos módon befolyásolhatják a kémiai állapotot, a változatok kialakulását és ezáltal a fémek biomobilitását. Ezek a néha komplex mechanizmusok közvetlen folyamatokból származhatnak, mint például fémátalakulás és intracelluláris felvétel, vagy közvetett lépésekből, amik olyan vegyületeket hoznak létre, amelyek a fémeket többé-kevésbé biomobilissá teszik. Mikrobiálisan befolyásolt fémátalakulások fázisváltozást is létre-

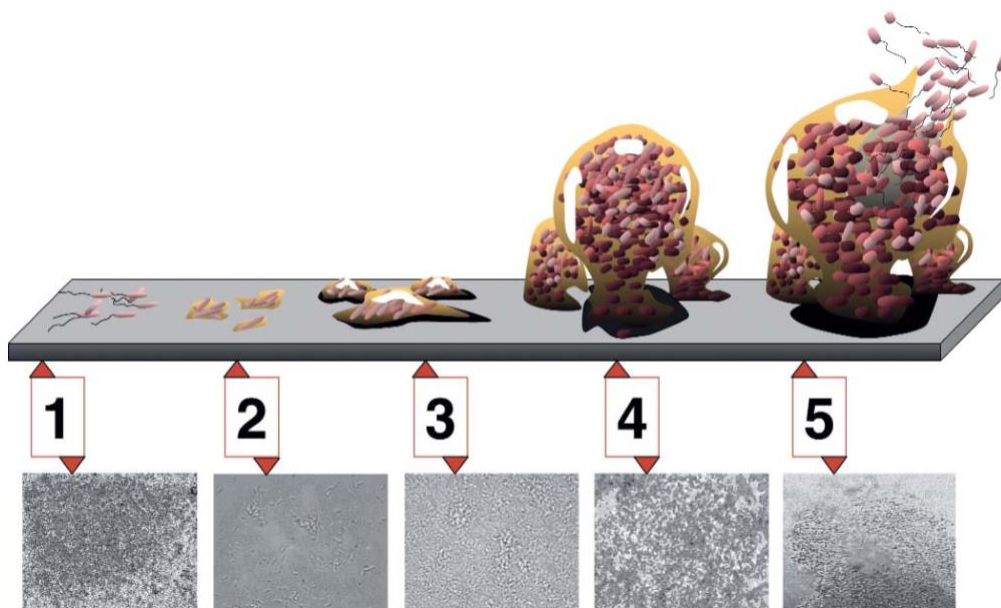
hozhatnak, és felelősek lehetnek a fémek körforgásáért az ökoszisztémákban. Ezeket és más hasonló változásokat prokarióták és eukarióták hoznak létre. Számos mikrobiálisan megkönnyített érc–fém átalakuláshoz és a reakció mechanizmusához olyan különböző jelenségek is hozzájárulhatnak, mint az adszorpció, az ásványosodás, az oldódás és a lecsapás, az oxidálás és reoxidálás, a metilálás és a dealkilálás. A 4. ábra megkísérli összefoglalni ezeket a mikrobiális folyamatokat.



4. ÁBRA MIKROBÁS SEJTEK ÁLTAL ELŐSEGÍTETT ÁTALAKULÁSOK

Biofilmek kialakulása

Az előbbieken említésre került, hogy a biokioldás közvetlen mechanizmusa során közeli kapcsolatnak kell kialakulnia a bakteriális sejt és az érc között. Ennél a mechanizmusnál az érc és a baktériumok együttese biofilm kialakulásához vezet az érc-kristályok felületén. Ez gyakorlatilag 5 lépésben történik. Az első lépésben a baktériumok diffúzióval, konvekcióval és aktív mozgással közelítik meg a kristályszemcsék felületét. A következő lépést a baktériumok kezdeti csatlakozása vagy szorpciója képezi. Úgy tekintik, hogy ezt a folyamatot fizikokémiai és elektrosztatikai, valamint hidrofób erők uralják a részecskék és a felületek között. A baktériumok szorosabb csatlakozása a kristályfelületekhez képezi a harmadik lépést. A felülethez tapadt baktériumok olyan speciális szerkezeteket képezhetnek, mint lineáris biopolimerek, poliszaharidok, amik még szorosabban kötődnek a felülethez. A negyedik lépésben a kristályfelületek teljes befedése baktérium mikrodomének és biofilmek kialakulásához vezet. Ötödik lépésként a baktériumok és váladékaik stabilisan növekednek a felületen, ami biofilmek tartós diszperziójához vezet. A biofilmek megvédik a mikroorganizmusokat a ragadozók támadásaitól (5. ábra).



5. ÁBRA BIOFILM KIALAKULÁSÁNAK LÉPÉSEI

A biooldódást befolyásoló tényezők

A biooldódás eredményessége nagymértékben függ a mikroorganizmusok hatékonyságától és a kioldandó érc kémiai és ásványi összetételétől. Maximális hatékonyság csak akkor érhető el, ha a biooldódási feltételek megfelelnek a baktériumok következő növekedési feltételeinek.

Tápanyagok

A fémek biokioldása a szulfidércekből kemolitoautotrofikus baktériumoktól függ, ezért csak szerves vegyületek szükségesek a növekedéshez. Általában az ásványi tápanyagokat a környezetből és az oldandó ércből nyerik. A vas- és kénvegyületek legkedvezőbb növekedését ammónium-, foszfát- és magnéziumsók egészíthetik ki.

O₂ és CO₂

Oxigén megfelelő adagolása szükséges a biokioldó baktériumok megfelelő növekedéséhez és magas aktivitásához. A CO₂ jelenléte is szükséges, de a mechanizmus nem igényel külső CO₂-hozzáadást.

pH

A helyes pH-érték beállítása döntő jelentőségű a fémek kioldásához. 2,0–2,5 pH-értékek optimálisak a vas(II) és a szulfid biooxidálásához. 2,0 pH-érték alatt a *T. ferrooxidans* jelentős inhibíciója következik be, de sav hozzáadásával a *T. ferrooxidans* adaptálható alacsonyabb pH-értékekhez is.

Hőmérséklet

A *T. ferrooxidans* által vas(II) és szulfid oxidálására az optimális hőmérséklet a 28–30 °C közötti. Alacsonyabb hőmérsékletnél a fémkioldás csökken, de még 4 °C-nál bakteriális oldódást figyeltek meg a kobalt, nikkelt és cink esetében. Magas hőmérsékletnél (50–80 °C) termofilikus baktériumok használata ajánlott. A biokioldási közeg ásványi összetétele elsőrendű fontosságú. Magas karbonáttartalomnál a kioldó folyadék pH-ja növekszik, és inhibi-

álás vagy a bakteriális tevékenység teljes megszűnése következik be.

Az érc jellege

A biokioldó közeg ásványi összetétele elsőrendű fontosságú. Az érc nagy karbonáttartalmánál a biokioldó pH növekedni fog, és inhibíció, vagy a bakteriális tevékenység teljes elnyomása következik be. A biokioldó baktériumok szükséges növekedéséhez alacsony pH-értékek külső sav hozzáadással érhetőek el, de ez nem okozhatja a kalcium-szulfát képződését és kicsapódását. A biokioldás sebessége a komponens (szubsztrátum) teljes felületétől is függ. A részecskeméretnek csökkenése a teljes felület növekedéséhez vezet, ezért magasabb fémkitermelés érhető el a részecskék össztömegének változtatása nélkül. A 42 µm-es részecskeméret optimálisnak tekinthető.

Nehézfémek

A fém-szulfidok biokioldását a fémkoncentráció növekedése kíséri az oldatban. Általában a biokioldó mikroorganizmusok, különösen a Thiobacillusok nagy tűrőképességgel rendelkeznek nehézfémekkel szemben. Bizonyos fajták még 50 g/l Ni, 55 g/l Cu vagy 112 g/l Zn mennyiséget is tűrnek.

Felületaktív anyagok és szerves oldószerek

A folyadékextrakcióban alkalmazott felületaktív anyagok és szerves vegyületek gátló hatást gyakorolnak a biokioldó baktériumokra, főleg a felületi feszültség és az oxigén tömegtranszferje csökkenésével.

Utószó

Jelen írásban a kémia, a biológia és a bányászat interdiszciplináris jellegét szerettük volna néhány kiválasztott példára építve bemutatni. A biobányászati irodalom mérete miatt természetesen nem törekedhettünk monografikus ismertetésre még a kiválasztott példák (vas-szulfidok) esetében sem. Valószínűnek tartjuk, hogy a biobányászat és biokioldás kutatása

jelentős jövő előtt áll. A fejlődés főleg az egyre újabb mikroorganizmusok és gombák, valamint penészek használatára terjed ki. Jelentős előrehaladás várható még a mikroorganizmus-konzorciumok alkalmazásából is.

Forrás: MKL LXXIII. évfolyam 1. szám (2018. január)

KÉRDÉSEK

1. Hogyan teszik oldhatóvá a baktériumok az ércek fémtartalmát? **(1p)**
2. Mit jelentenek a következő kifejezések, melyekkel a szöveg különböző baktériumokat jellemez: Gram-negatív; aerob; kemolitotróf; acidofil? **(2p)**
3. Mi a különbség a biooxidáció (biobenefication) és a bioleaching közt? **(2p)**
4. Magas karbonáttartalmú oldatnál hogyan változik a pH oldás közben? Miért? **(1p)**
5. Milyen ásványi savakban oldódik a vas? **(1p)**
6. Mi a különbség a közvetlen és a közvetett bakteriális kioldás között? **(2p)**
7. Kiváltható-e teljes mértékben a hagyományos bányászati munka a biokioldással? **(2p)**