

## Poznatky o možnostiach aplikácie minerálnych biotechnológií pri spracovaní sulfidických rúd Slovenska

*Mária Kušnierová<sup>1</sup>, Helena Vašková<sup>1</sup> a Iveta Štyriaková<sup>1</sup>*

### Knowledge on possibilities of applying mineral biotechnology to treatment of Slovak sulphide ores

The summary of results from research aimed at possibilities to use biotechnological procedures for treatment of Slovak sulphide ores is presented in this study.

The object of the research is an extraction of valuable metals, undesirable admixtures and degradation of crystalline lattice of sulphides for subsequent chemical leaching processing of precious metals.

Further, the results of experiments on existence of biogenic processes in situ on waste dumps from exploitation containing residual sulphides are presented.

**Key words:** Thiobacillus ferrooxidans, biooxidation, bioleaching of sulphides.

### Úvod

Názvom minerálne biotechnológie sa vo všeobecnosti označujú všetky technologické postupy ťažobné, úpravnicke a spracovateľské, v ktorých sa pre dosiahnutie potrebnej kvalitatívnej zmeny anorganických, ale aj organických nerastných surovín a ich odpadov, využívajú mikroorganizmy (MO), alebo produkty ich metabolizmu. Klasický technologický trojzložkový systém, pevná fáza - kvapalná fáza - plynná fáza, je v prípade minerálnych biotechnológií rozšírený o štvrtú zložku - biofázu, ktorú tvoria spravidla chemolitotrófne mikroorganizmy, zriedkavejšie iba ich metabolity. Tieto MO zabezpečujú v prevažnej miere katalytický účinok v oxidačných a redukčných procesoch. Na prvý pohľad sa zdá, že ide o úplne nový rozmer technologických procesov, s hlavným rysom interdisciplinarity. S týmto hodnotením možno súhlasiť iba čiastočne. V podstate takýto štvorzložkový systém začal na Zemi fungovať už približne miliardu rokov pred ľudskou činnosťou a bol, a stále vo väčšej miere je, jedným z významných článkov kolobehu prvkov v litosfére, ako súčasťou biosféry. Hlavnou úlohou biogénnych procesov „in situ“ je udržanie environmentálnej rovnováhy v smere eliminácie nežiadúcich vplyvov. Možno teda konštatovať, že biotechnológie sú vlastne jedným z najstarších prírodných procesov, ale paradoxne je aj najmladších vedných odborov a odvetví priemyselnej výroby.

Z rozsiahleho súboru environmentálnych dejov, zúčastňujúcich sa prirodzeného materiálového cyklu, možno pri úprave a spracovaní surovín využiť predovšetkým procesy biolúhovania a biogenézy. Základom biolúhovacích postupov sú v prevažnej miere biooxidačné reakcie, ktoré prebiehajú

na princípe priamej alebo nepriamej oxidácie. V praxi sa často na lúhovacom procese zúčastňujú oba deje súbežne. Pri lúhovaní polykomponentných sulfidických substrátov zohráva dôležitú úlohu aj faktor selekcie procesu, ktorý je v priamom vzťahu k elektrickým vlastnostiam a galvanickému efektu, vznikajúcemu medzi jednotlivými zložkami lúhovaného substrátu.

Keďže biotechnológie podľa mnohých autorov predstavujú do budúcnosti jediný typ priemyselných výrob, ktoré sú schopné čeliť globálnym problémom ľudstva a Zeme, (nedostatku energie, potravín a poškodzovaniu životného prostredia), začalo sa s výskumom v tomto smere, síce s veľkým časovým sklzom, aj na našom ústave, a to vďaka aktivitám prof. dr. ing. F. Špaldona, DrSc., ako zakladajúceho člena výskumného tímu.

Výskumné práce tímu minerálnych biotechnológií, ktorý začal svoju vedecko výskumnú činnosť v roku 1987, t.j. pred 10-timi rokmi, boli po vyriešení a zvládnutí základných metodických aparátov zamerané hlavne na riešenie nasledovných problémov:

- zníženie obsahu As v Cu koncentrácii zo Sloviniek,

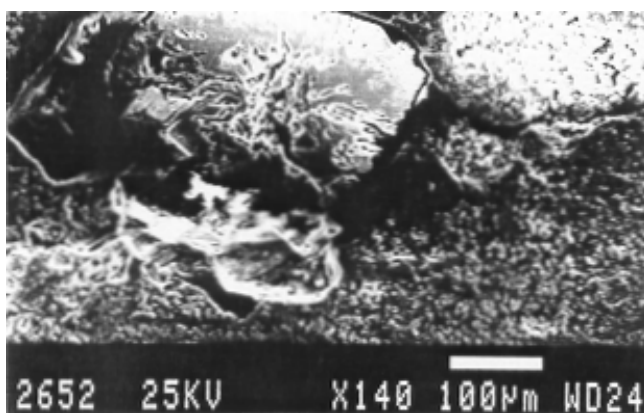
<sup>1</sup> Ing. Mária Kušnierová, CSc., Helena Vašková a Ing. Iveta Štyriaková. Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice (Recenzovali: Prof. Ing. František Špaldon, DrSc. a Doc. Ing. Edita Virčíková, CSc. Revidovaná verzia doručená 23.10.1997)

- desulfurizácia uhlia,
- biodegradácia kryštalickej mriežky arzenopyritu pre získavanie drahých kovov z Au-As-Fe-Sb koncentráta ložiska Pezinok,
- biolúhovanie tetraedritu,
- štúdium biogénnych procesov na skládke odpadov s obsahom sulfidov.

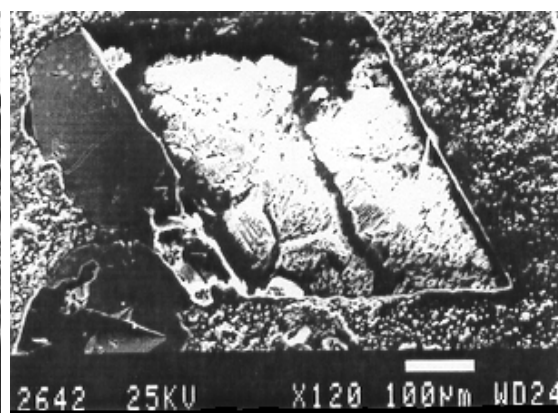
### Výsledky štúdia biooxidácie sulfidov

Výsledky v oblasti základného výskumu viedli k objasneniu niektorých aspektov priebehu biologicko - chemických oxidačných dejov a dôsledkov v sústave sulfidy - zmes sulfidov - sulfidná ruda a thionové baktérie *Thiobacillus ferrooxidans* (TF), *Thiobacillus thiooxidans* (TT), *Leptospirillum-ferrooxidans* (LF). Na základe zovšeobecnenia poznatkov, získaných štúdiom biotransformačných dejov na jednotlivých skúmaných sulfidoch a ich zmesiach, je možné konštatovať, že:

- proces biologicko - chemickej oxidácie sa prednostne aktivizoval v oblasti makroporúch štruktúry a v kontaktných zónach jednotlivých zŕn, resp. na stykových plochách so sprievodnými minerálnymi zložkami (obr. 1,2 ),

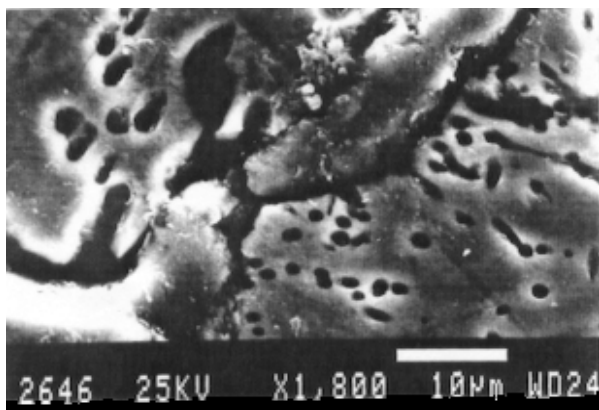


Obr.1. Počiatočné štádium biooxidácie vtrúseného zrna arzenopyritu

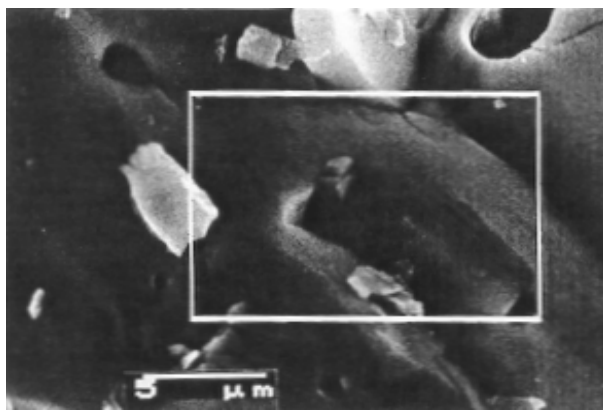


Obr.2. Biooxidačným procesom selektívne odlúhované zrna arzenopyritu.

- následne proces biologicko - chemickej oxidácie pokračoval tvorbou leptacích kaverien, ktorých orientácia mala priamy vzťah ku kryštalografickej orientácii leptanej plochy v štruktúre minerálu (obr. 3, 4),



Obr.3. Kaveriny na hladkej ploche arzenopyritu po 15 dňoch biooxidácie.

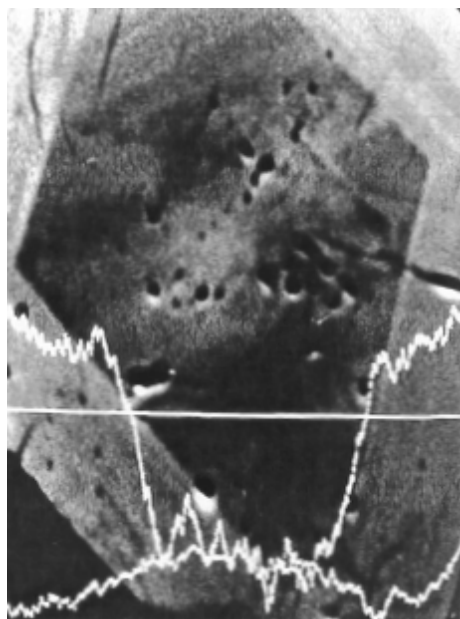


Obr.4. Kaveriny na hladkej ploche tetraedritu po 10 dňoch biooxidácie.

- proces biologicko - chemickej oxidácie neprebíhal spontánne na celom dostupnom povrchu zŕn, ale výberovo na určitých kryštalografických plochách ; tak napríklad u pyritu boli prednostne

biooxidačným procesom degradované plochy s orientáciou, charakterizovanou Millerovým indexom (111),

- pre biologicko - chemickú oxidáciu v priamom deji je limitujúcim faktorom stredný rozmer zrna  $d_{50}$ , ktorý by nemal byť menší než 10  $\mu\text{m}$ ,



Obr.5. Biooxidácia zonálnej štruktúry arzenopyritu.

- k selekcii procesu dochádza aj na princípe geochemického zloženia, v prípade zonálnych štruktúr (obr. 5),
- v dôsledku biologicko - chemickej oxidácie sledovaných sulfidov dochádzalo aj v podmienkach diskontinuálneho procesu k postupnej degradácii ich štruktúry, napokon k jej úplnému rozkladu a následnému vzniku sekundárnych zlúčenín na báze oxidov, hydroxidov, síranov a elementárnych prvkov predovšetkým síry (tab. 1),
- charakter a chemické zloženie novo vzniknutých štruktúr je závislé od prvkového zloženia substrátu, v ktorom proces biologicko - chemickej oxidácie - degradácie až transformácie prebiehal (obr. 6, 7),
- pre procesy biologicko - chemickej oxidácie sulfidických suspenzií v dynamických podmienkach je nevyhnutné použiť fyziologicky adaptované (priemyselné) kmene TF, ktoré sú rezistentné voči abrazívnemu účinku pevnej fázy a zvýšenej koncentrácii extrahovaných kovových iónov (Cu, As, Fe, Zn...).

Výsledky štúdia biogénnych procesov na vybraných skládkach odpadov po bansko-úpravárenskej a hutníckej činnosti potvrdili predpoklady, že skúmané depónie v prírodnom prostredí nie sú prvkoovo stabilné, a že aj v nich dochádza, prípadne možno predpokladať, že v určitom časovom horizonte bude dochádzať, aj k biogénnym procesom.

Niektoré z nich, ako napríklad halda odpadu z ťažby kremenca so zbytkovým obsahom sulfidov v Šobove už v súčasnosti fungujú ako prírodné geobioreaktory, so značným devastáčnym dopadom na biotop skládky, nakoľko perkolačné vody sú veľmi agresívne a ich pH sa pohybuje od 1 do 2,6.

Tieto poznatky iniciovali záujem o možnosť porovnania dôsledkov biogénnych procesov „in situ“ na sulfidných ložiskách a v podmienkach intenzívnej laboratórnej biokontaminácie sulfidov. Skúmané boli všetky základné sulfidy slovenských ložísk: chalkopyrit, tetraedrit, arzenopyrit, pyrit, antimonit, galenit, sfalerit. Výsledky laboratórnych testov (tab.1) sú porovnané s údajmi, získanými „in situ“ z odpadných depónií v Pezinku, Šobove, ale predovšetkým s literárnymi údajmi, uvádzanými v popise environmentálnych zvetrávacích procesov (Šalát et al, 1966; Ramsdorf, 1969; Babčan, 1980).



Obr.6. Sekundárny produkt biooxidácie arzenopyritu v karbonatickej hornine - sádrovec.



Obr.7. Sekundárny produkt biooxidácie tetraedritu - ihličky stefanitu.

V tabuľke 1 sú uvedené výsledky kvalitatívno-štrukturálnych premien sulfidov, spôsobených biooxidačnými dejmi pôvodných sulfidov za aktívnej činnosti baktérií TF. Pre porovnanie sú v tabuľke uvedené aj produkty prírodných zvetrávacích procesov týchto minerálov, ako sú uvádzané v literatúre.

Tab. 1. Biotransformácia vybraných sulfidov.

Forma primárneho výskytu	Produkty prírodného zvetrávacieho procesu	Produkty experimentálnej biooxidácie TF
Pyrit FeS <sub>2</sub>	jarozit K Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ).OH <sub>4</sub> pseudomorfózy limonit FeOOH .n.H <sub>2</sub> O hydrogeohit FeOOH.2H <sub>2</sub> O	jarozit Fe hydrooxydy amarantit FeSO <sub>4</sub> (OH) <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O limonit
Arzenopyrit FeAsS	pharmakosiderit BaFe <sub>4</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .(OH) <sub>3</sub> skorodit Fe(AsO <sub>4</sub> ).2H <sub>2</sub> O jarozit K Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ).OH <sub>4</sub>	arzenosiderit Ca <sub>3</sub> Fe <sub>4</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> jarozit K Fe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .OH <sub>6</sub> hydrojarozit Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> OH <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O síra S angelelit Fe <sub>4</sub> As <sub>2</sub> O <sub>2</sub> arzenolit As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> buttlerit Fe(OH)SO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O (parabuttlerit)
Tetraedrit Cu <sub>12</sub> (As.Sb) <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	chalkocit Cu <sub>2</sub> S cuprit Cu <sub>2</sub> O covellin CuS azurit Cu <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> limonit FeOOH.n.H <sub>2</sub> O malachit Cu <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> )(OH) <sub>2</sub> *	pharmakosiderit BaFe <sub>4</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> antimonit Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> jarozit K Fe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> OH <sub>6</sub> malachit Cu <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> )(OH) <sub>2</sub> stephanit Ag <sub>3</sub> SbS <sub>4</sub> chalkocit Cu <sub>2</sub> S
Chalkopyrit CuFeS <sub>2</sub>	bornit Cu <sub>2</sub> FeS <sub>4</sub> chalkantit CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O covellit CuS azurit Cu <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> cuprit Cu <sub>2</sub> O	chalkantit CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O malachit Cu <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> )(OH) <sub>2</sub> síra S
Sfalerit ZnS	smitsonit Zn(CO <sub>3</sub> ) hydrozinkit ZnCO <sub>2</sub> .22(OH) <sub>2</sub> hemimorfit Zn <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ).H <sub>2</sub> O willemmit Zn <sub>3</sub> SiO <sub>4</sub>	zinok Zn willemmit Zn <sub>2</sub> S jarozit K Fe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .OH <sub>6</sub>
Galenit PbS	anglesit Pb(SO <sub>4</sub> ) krokoit Pb(CrO <sub>4</sub> ) cerusit Pb(CO <sub>3</sub> ) pyromorfit Pb <sub>5</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> Cl wulfenit Pb(MoO <sub>4</sub> )	seadhillit Pb <sub>4</sub> (SO <sub>4</sub> )(CO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> minium Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> plumbojarozit PbFe <sub>4</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> .(OH) <sub>12</sub> cerusit Pb(CO <sub>3</sub> ) anglesit Pb(SO <sub>4</sub> )
Antimonit Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	valentinit Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> senarmontit Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> servantit Sb <sub>2</sub> O <sub>4</sub> kermezit Sb <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O	kermezit Sb <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O valentinit Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> síra S onoratoit Sb <sub>2</sub> O <sub>11</sub> Cl <sub>2</sub> antimón Sb

ak je vysoký obsah Hg - môže vznikat' cinabarit a elementána Hg

V prírodných zvetrávacích procesoch dochádza k odbúraníu síry zo sulfidov, ktoré sa postupne môžu meniť na sírany, hydroxydy, oxidy, prípadne aj iné oxidické zlúčeniny, v závislosti od minera-logických a hydrogeologických pomerov prostredia, v ktorom tieto deje prebiehajú. Ako je zrejmé z výsledkov v tabuľke 1, aj v procese experimentálnej biooxidácie dochádzalo ku vzniku zlúčenín, zhodných s produktami prírodných zvetrávacích procesov. Ide hlavne o štruktúry jarozitov, malachitu, chalkocitu, smitsonitu, anglezitu, cerusitu, kermezitu a valentitu. Zaujímavé sú výsledky biotransformácie tetraedritu, kde okrem produktov oxidácie dochádzalo aj k vzniku sekundárnych sulfidov stephanitu, antimonitu a chalkocitu, ktoré sú výsledkom následných redukčných procesov v prírode, charakteristických pre oblasť zón supergénneho obohatenia sulfidických ložísk.

O tom, že v skúmanom systéme dochádzalo okrem biooxidácie aj k redukčným dejom, svedčí aj identifikácia elementárnej síry, antimónu a zinku v laboratórnych bakteriálnych lúžencoch. Vznik sekundárnych štruktúr v skúmaných podmienkach bol ovplyvnený iónovým zložením bioextrakčných roztokov, ktoré úzko súviselo s mineralogickým zložením základného substrátu. Tak napríklad biotransformáciou arzenopyritu v prostredí karbonatickej horniny dochádzalo k vzniku a kryštalizácii sádrovca (obr.6). Dôkazom toho sú aj štruktúry stefanitu, chalkocitu, antimonitu pri biotransformácii tetraedritu s prímiesou iných sulfidov.

Na základe uvedených výsledkov je možné konštatovať, že štúdiom biogénnych procesov vo vhodne modelovaných podmienkach laboratórnych experimentov je možné získať určitú základnú bázu prognostických údajov pre vývoj dlhodobých biogénnych procesov na reálnych skládkach odpadov po ťažbe a spracovaní sulfidov. Vyvinutý metodický aparát môže v pomerne krátkej dobe objasniť iniciačné prvky biogénnej katalýzy environmentálnych procesov a v niektorých prípadoch aj pomôcť riešiť environmentálne problémy vhodným ovplyvnením skutkovej podstaty.

Výsledky experimentov, realizovaných na reálnych priemyselných koncentrátoch, zameraných na riešenie konkrétnych problémov potvrdili vo väčšine prípadov možnosť ich riešenia pomocou metód biologicko-chemického lúhovania.

Ako prvý príklad uvedieme problém riešenia vysokého obsahu arzénu v Cu koncentráte zo Slovínok. Samotnému riešeniu predchádzali etapy štúdia selekcie biologicko-chemických procesov, výberu vhodnej bakteriálnej kultúry a napokon pomerne zdĺhavé procesy fyziologickej adaptácie buniek na technologicky reálne podmienky koncentrácie Cu, As a pevnej fázy.

Výsledky experimentov zameraných na zníženie obsahu arzénu v Cu chalkopyritovom koncentráte zo Slovínok potvrdili možnosť selektívneho prednostného biolúhovania arzenopyritu. Po 10.-tich dňoch biolúhovania došlo k zníženiu obsahu As v koncentráte z 2,4 % na 0,96 %, čo prakticky vyhovuje norme pre následné pyrometalurgické spracovanie koncentráta. Samozrejme, že s predĺžením doby biolúhovania dochádza k ďalšiemu znižovaniu obsahu As (po 15. tich dňoch na 0,56 %). Tu je treba uviesť, že zavedením kontinuálneho, riadeného režimu lúhovania je možné podstatne zlepšiť kinetické parametre biolúhovacieho procesu a výrazne skrátiť dobu lúhovania (Špaldon et al., 1992).

K selekcii dochádza v biooxidačnom proce aj v prípade arzenopyrit-antimonit-pyritového koncentráta z Pezinka. Prednostná biooxidácia až biodegradácia štruktúry arzenopyritu umožňuje sprístupnenie polôh zlata, pôvodne uzavretých v jeho štruktúre. Selekcia v tomto prípade má aj značný technologický a ekonomický efekt, nakoľko arzenopyrit je hlavným nosným minerálom zlata v koncentráte. Z výskumu vplyvu stupňa biodegradácie štruktúry sulfidov na výťažnosť zlata vyplynulo, že pre zvýšenie výťažnosti Au nad 90 % postačuje približne 60 %-ná biodegradácia štruktúry arzenopyritu a 40 %-ná biodegradácia štruktúry pyritu. Aplikáciou biolúhovacieho procesu, ktorý viedol k deštrukcii štruktúry sulfidov a prakticky nahradil proces klasického praženia pred lúhovaním zlata, sa dosiahlo zvýšenie jeho výťažnosť z 4,3 % na 85 % v kyanidovom lúhovaní a z 8,1 % na 93,0 % v thiomocovinovom lúhovaní ( Kušnierová, 1993). Pri aplikácii postupu na vzorkách s vyšším obsahom Sb bolo dosiahnuté zvýšenie výťažnosti Au zo 4,6 % na 89,5 %. Po predlúhovaní Sb v Na<sub>2</sub>S,

pred procesom biodegradácie, sa výťažnosť Au v následnom thiomocovinovom lúhovaní zvýšila na 98,9 % (Kušnierová, 1996). Na základe dosiahnutých výsledkov a publikovaných poznatkov sa pre spracovanie uvedeného typu koncentrátov javí ako výhodnejšia kombinácia biodegradácie a thiomocovinového lúhovania. Okrem dosiahnutia vyššej výťažnosti Au je v tomto prípade nespornou technologickou výhodou fakt, že oba lúhovacie cykly prebiehajú v kyslom prostredí, čo umožňuje vylúčiť proces neutralizácie, nevyhnutný pre kyanizáciu Au. Podľa Spencera (1990), náklady na neutralizáciu predstavujú cca 35 % operatívnych nákladov na prevádzku kombinovanej biologicko - kyanidovej technológie získavania Au z arzenopyrit - pyritových koncentrátov.

Ak vezmeme do úvahy pozitívne výsledky regenerácie thiomocoviny, publikované Gašparom (1994), možno konštatovať, že pre aplikáciu biologicko-chemickej technológie spracovania zlatonosných koncentrátov z Pezinka existujú reálne predpoklady.

Z výsledkov výskumu vplyvu biolúhovania na výťažnosť striebra z tetraedrit-chalkopyritových koncentrátov a ich výpražkov vyplynulo, že pre extrakciu Ag z týchto substrátov je vhodnejším lúhovacím činidlom thiomocovina. Keďže striebro je čiastočne uzavreté v štruktúre nosného minerálu - tetraedritu, jeho biodeštrukcia mala pozitívny vplyv na výťažnosť Ag, ktorý sa prejavil zvýšením výťažnosti z 34,9 % na 68,4 %. Pri aplikácii procesu biolúhovania a následného lúhovania striebra z výpražkov došlo k zvýšeniu výťažnosti Ag zo 63,8 % na 96,5 % (Kušnierová et al., 1996).

Experimentálne práce, zamerané aj na štúdium vplyvu selektívnej adhézie buniek na povrch sulfidov, boli zamerané na overenie možnosti využitia tohto fenoménu ako regulačného agensu pri flotácii ťažko oddeliteľných sulfidov zlatonosného arzenopyritu, sprievodného pyritu a antimonitu

z kolektívneho flotačného koncentráta ložiska Pezinok. Z výsledkov vyplynulo, že bunky TF sa prednostne adherovali na povrch arzenopyritu, čím došlo k jeho pasivácii. V následnej flotácii došlo k selektívnemu rozdeleniu kolektívneho koncentráta na produkt penový s majoritným obsahom pyritu a antimonitu a celový, s majoritným obsahom zlatonosného arzenopyritu. I keď nešlo o optimalizovaný postup, aj tak bol dosiahnutý efekt nezanedbateľný. Pri nezmenenej výťažnosti Au došlo k zníženiu obsahu síry v následne spracovávanom produkte z 25,85 % na 12,34 %, čo je veľmi významné v prípade následného pyrometalurgického spracovania koncentráta pred kyanidizáciou Au. Reálne to predstavovalo cca 50 %-né zníženie emisií zlúčenín síry (Kušnierová, 1994).

Ako posledný uvedieme príklad možnosti využitia biologicko-chemických metód pri riešení problému vysokého obsahu sulfidickej síry v českom hnedom uhlí. Realizovaný experimentálny plán sledoval dve línie, a to priamu biologicko-chemickú desulfurizáciu uhlia za využitia buniek TF, TT a zmesnej kultúry a líniu nepriamej aplikácie buniek TF v procese regenerácie chemického desulfurizačného média na báze síranu železitého.

Najlepší výsledok bol dosiahnutý v priamom lúhovaní pri aplikácii zmiešanej bakteriálnej kultúry oboch druhov thionových baktérií (TF+TT). Po 15 dňovom cykle lúhovania došlo k zníženiu obsahu sulfidickej síry zo 6,98 % na 1,07 % . Pri riešení problému desulfurizácie uhlia bola paralelne skúmaná aj možnosť využitia buniek baktérií TF v nepriamom procese, biologickej regenerácie lúhovacej reagentie na báze  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . Okrem nepriameho procesu spätnej oxidácie lúhovacej reagentie sa tu uplatnila aj iná forma prejavu činnosti bakteriálnej kultúry TF, ktorá je často označovaná aj ako „bioznečisťovanie“. Jedná sa o adhéziu buniek na vhodnú priepustnú maticu, ktorá plní funkciu imobilizovaného regeneračného reaktora. Z porovnania dosiahnutého stupňa odsírenia uhlia pri aplikácii čerstvej a v 1 až 3 cykloch regenerovanej lúhovacej reagentie vyplynulo, že použitý bioregeneračný systém bol účinný a aj s regenerovanou reagentiou bol dosahovaný rovnaký stupeň odsírenia uhlia ( Turčániová et al., 1994).

### Záver

Stručne prezentované tézy a výsledky výskumu, realizovaného tímom minerálnych biotechnológií, aj keď so značným časovým skizom oproti svetu, potvrdili opodstatnenosť tohto výskumného zamerania, s možnosťou priamej aplikácie poznatkov aj pre :

- komerčné využitie pri spracovaní slovenských sulfidických rúd,
- objasnenie a riešenie problémov starých ekologických záťaží po ťažbe týchto surovín,
- monitoring, zistenie existencie a prognózovanie vývoja biogénnych dejov v podmienkach uzatvorených - zatápaných banských diel, v rámci realizácie útlmového programu banskej činnosti.

V neposlednom meradle je treba uviesť, že thionové baktérie, ktoré nás o svojej aktívnej činnosti a efektívnom priemyselnom využití presvedčujú už minimálne 40 rokov, predstavujú pravdepodobne iba „špičku ľadovca“, t.j. časť biogenetického potenciálu chemolitotrófnych baktérií, podieľajúcich sa na formovaní a udržiavaní environmentálnej rovnováhy na Zemi. Rada druhov, z ktorých možno spomenúť napr. ropné a silikátové baktérie je v štádiu intenzívneho výskumu, ale už aj komerčného využitia a podstatne väčšia časť čaká ešte na objasnenie ich úlohy a možnosti využitia v prospech zlepšenia kvality života tejto planéty.

*Táto práca vznikla v rámci riešenia grantových úloh Grantovej agentúry Vega č.4 / 138 / 92 a č. 2 / 2009 / 95.*

### Literatúra

- Babčan, J.: Základy fyzikálnej geochemie mineralogických procesov. *PfUK, Bratislava, 1980.*
- Gašpar, V.: Elektrolýtická precipitácia Au z thiomocovinových roztokov. *In.: Biohydrometallurgy III., ÚGT SAV, Košice, 1994, s.70 - 73.*
- Kušnierová, M., Šepelák, V. & Briančin J.: Effect of Biodegradation and Mechanical Activation on Gold Recovery by Thiourea Leaching. *Journal of minerals, metals, materials., Vol.45, December.1993 p.54 - 56.*
- Kušnierová, M.: Neextrakčné metódy využitia mikroorganizmov pri spracovaní As-Sb-Au rúd. *Mineralia Slovaca, 26, 1994, s. 445-446.*
- Kušnierová, M. & Bálintová, M.: Vplyv biodegradačných procesov na výťažnosť Au a Ag zo sulfidických koncentrátov slovenských ložísk. *Mineralia Slovaca, 28, 1996, s. 228-232.*
- Ramsdorf, P.: The ore minerals & their intergrowths. *Pergamon Press, Oxford, 1969.*

Spencer, P., Budden, J. & Barret, J.: Pilot-plant bio-oxidation of gold bearing arsenopyrite concentrates. *In.: World-gold 90, 1990, (Editor: Cairns), p. 59-64.*

Šalát, J., Ončáková, N.: Mineralógia II. VŠT Košice, 1966.

Špaldon, F., Kušnierová, M. & Kupka, D.: Mikrobielle Auslaugung des Arsens aus arsenhaltigem Chalkopyrit-Konzentrat. *Erzmetall, 9, 1992, s. 456-458.*

Turčániová, L., Kušnierová, M. & Štyriaková, I.: Chemická a biologická desulfurizácia hnedého uhlia. *In.: Biohydrometalurgia III., ÚGt SAV Košice, 1994, s. 95-98.*