

Vývoj kvality banských vôd na ložisku Smolník

Andrea Šlesárová¹, Josef Zeman² a Mária Kušnierová¹

The evolution of mine waters quality at the locality of Smolník

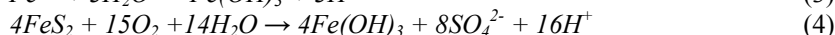
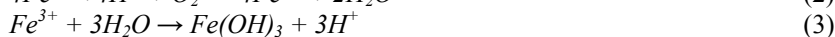
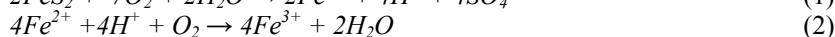
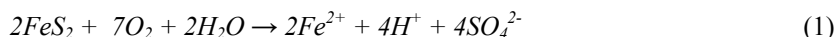
At the present time, acid mine drainage (AMD) is considered to be one of the worst environmental problems associated with the mining activity. AMD originates as a result of natural oxidation of sulphide minerals, mainly pyrite when exposed to the combined action of water and oxygen and negatively affects the whole ecology of aquatic environment. The article presents results of monitoring and trends in the evolution of acid mine drainage quality at the locality of Smolník from year 1986 till 2005 and the assumed geochemical processes occurring with the generation and evolution of acid mine drainage.

Key words: acid mine drainage, heavy metals, geochemical processes

Úvod

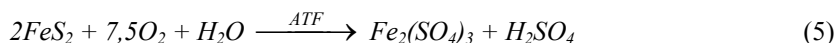
Medzi najčastejšie negatívne prejavy banskej činnosti patria okrem banských hald a odkalísk aj výtoky kyslých, vysoko mineralizovaných banských vôd, tzv. „Acid Mine Drainage“ – AMD. Vznik AMD je možné pozorovať takmer pri všetkých typoch ložísk s obsahom sulfidov, ako sú ložiská neželezných kovov, uránovej mineralizácie, alebo uhoľné ložiská. Obvyklými zdrojmi AMD sú hlbinné alebo povrchové banské diela, haldy po ťažbe sulfidov, odpad po úprave sulfidických rúd, ktoré môžu zostať aktívne desiatky alebo dokonca stovky rokov. AMD majú typickú hnedo – červenú farbu v dôsledku zvýšených koncentrácií Fe^{3+} a negatívne pôsobia na okolité životné prostredie (Kontopoulos, 1998).

Hlavnou príčinou vzniku AMD je oxidácia sulfidických minerálov, predovšetkým pyritu FeS_2 . Spravidla je to stabilný, nerozpustný minerál, kým sa v dôsledku banskej činnosti nedostáva do kontaktu s vodou a vzduchom, čím sa vytvárajú predpoklady na jeho chemickú oxidáciu, ktorú možno vyjadriť nasledujúcimi rovnicami (Postgase, 1959; Karavajko et al., 1972; Banks et al., 1997; Kontopoulos, 1998; Younger et al., 2002):



Jedným z dôležitých faktorov, ktoré treba pri oxidácii sulfidov zohľadniť, je aj činnosť baktérií. Proces oxidácie sulfidov „in situ“ na ložiskách sulfidických rúd je spravidla katalyzovaný činnosťou autochtónnych síru a železo oxidujúcich baktérií, ako je napr. *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans*, prípadne *Leptospirillum ferrooxidans* (Kušnierová a Fečko, 2001).

Priebeh biologicko-chemickej oxidácie pyritu je možné popísať sumárnou rovnicou (Postgase, 1959; Karavajko et al., 1972; Torma, 1987; Chaudhury et al., 1989):



Prostredníctvom oxidácie pyritu, prípadne ďalších sulfidov, vzrastá v AMD najmä koncentrácia Fe a prvkov ako sú Mn, Ni, Zn, Al, Cu, Co, As, U, Pb, atď. Ďalším dôsledkom oxidácie pyritu je zvyšovanie koncentrácií síranov, čo sa prejavuje zvyšujúcou sa mineralizáciou a poklesom hodnôt pH. Kyslé banské vody v dôsledku zvýšených obsahov ťažkých a toxických kovov negatívne ovplyvňujú celú ekológiu vodného prostredia v okolí banských závodov. V niektorých prípadoch, ohrozujú ťažké kovy obsiahnuté v AMD aj zásoby pitnej vody a predstavujú určité riziko v rámci transferu ťažkých a toxických kovov do potravinového reťazca cez zavlažovacie systémy. V oblastiach postihnutých pôsobením AMD sú náklady na ich remediáciu značne vysoké (Bethke, 1996; Younger et al., 2002).

¹ Ing. Andrea Šlesárová, doc. Ing. Mária Kušnierová, PhD., Ústav geotechniky Slovenskej Akadémie Vied, Watsonova 45, 043 53 Košice, aslesar@saske.sk, kusnier@saske.sk

² doc. RNDr. Josef Zeman, CSc., Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd, Kotlářska 2, 611 37 Brno, Česká republika, jzeman@sci.muni.cz
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 18. 5. 2006)

Negatívne prejavy pôsobenia kyslých bankých vôd je možné pozorovať aj na území Slovenskej republiky v oblastiach ložísk s obsahom sulfidických rúd, ako je napr. Smolník, Hodruša, Pezinok, Slovinky, Rožňava, Rudňany. Ložisko Smolník predstavuje z hľadiska výskytu a tvorby AMD klasický príklad.

Pre návrh účinného a ekonomicky efektívneho spôsobu zamedzenia negatívneho vplyvu AMD z ložiska Smolník, na životné prostredie je nutné pochopenie príčin zmien v samotnom vývoji zloženia bankých vôd a reálny odhad ich dlhodobého vývoja, ktorý podporuje pravidelný monitoring kvality banskej vody, ktorý poskytuje údaje na zistenie trendu ich kvality.

V článku sú prezentované výsledky monitoringu kvality kyslej banskej vody na ložisku Smolník od roku 1986 do roku 2005. Údaje boli získané z archívnych údajov a expertíznych správ a od roku 2003 vlastného pravidelného monitoringu. Zo spracovania disponibilných dát vyplývajú poznatky, ktoré umožňujú pochopenie príčin zmien v tvorbe a vývoji AMD.

Trendy vo vývoji kvality kyslých bankých vôd na ložisku Smolník

Ložisko Smolník patrí k historicky najznámejším a najbohatším Cu-Fe rudným ložiskám Slovenska. Leží medzi obcami Smolník a Smolnícka Huta, v doline potoka Smolník, 11 km juhozápadne od obce Mníšek nad Hnilcom. Geomorfologicky patrí územie do celku Volovských vrchov Slovenského rudohoria. Z hľadiska geologickej stavby severozápadnú a severovýchodnú časť skúmaného územia budujú horniny súvrstvia Bystrého potoka a zvyšok horniny drnavského súvrstvia. Obe súvrstvia sú súčasťou gelnickej skupiny gemerika (Bajaník a Vozárová, 1983). Hlavnými minerálmi ložiska sú pyrit a chalkopyrit. Pôvodný reliéf a oblasť bývalého bankého závodu je poznamenaný stáročnou bankou činnosťou trvajúcou viac ako 735 rokov. Nachádza sa tu množstvo starých i novších hald a odvalov. V bočnom eróznom údolí SV od ložiska je vybudované rozsiahle odkalisko flotačných odpadov z úpravy rudy. Od roku 1326 do roku 1990 bolo na ložisku vyťažených okolo 19 Mt rudy, z ktorej sa získalo okolo 150 kt čistej medi. Na ložisku zostalo ešte asi 6 Mt rudy. Ložisko je rozfárané v dĺžke viac ako 3 km a vo východnej časti je vyťažené do hĺbky 360 m (Jaško et al., 1996; Rojkovič, 2003).

Hlavným recipientom územia ložiska je potok Smolník. Vytiekajúce kyslé banké vody extrémne ohrozujú kvalitu jeho vôd, pričom ich negatívny vplyv je pozorovateľný pozdĺž celého jeho toku až po sútok s riekou Hnilec.

V súčasnej dobe sa oblasť ložiska Smolník nachádza v správe Rudných Baní, š.p., Banská Bystrica. Od roku 1998 sú na ložisku monitorované len 3 oblasti: šachta Pech, odkalisko Smolnícka Huta a pyritová halda v západnej časti areálu bývalého závodu.

Šachta Pech predstavuje v súčasnosti najnižšie položené vyústenie systému zatopených bankých diel a prioritnú oblasť v rámci výskumu kvality AMD na ložisku Smolník, ktorý funguje ako hlavný odvodňovací prvok ich drenáže. Samotná šachta je v podzemí spojená s rozfáraným bankým systémom a funguje na princípe spojených nádob (Jaško et al., 1998). Priemerný prietok na šachte Pech je 5 až 9 l.s⁻¹ banskej vody, ktorá vyteká priamo do potoka Smolník. Kvalita banskej vody (tab. 1) a situácia na lokalite je neustále kritická.

Na odkalisku Smolnícka Huta bolo uložených 3 milióny ton flotačných odpadov z úpravy rudy (Lintnerová et al., 2004). Voda vytekajúca z odkaliska (tab. 1) je skoro neutrálna (pH 6,36) a obohatená o sírany, železo, arzén a iné kovy. Kvalita tejto vody je oproti banskej vode vytekajúcej zo šachty Pech lepšia.

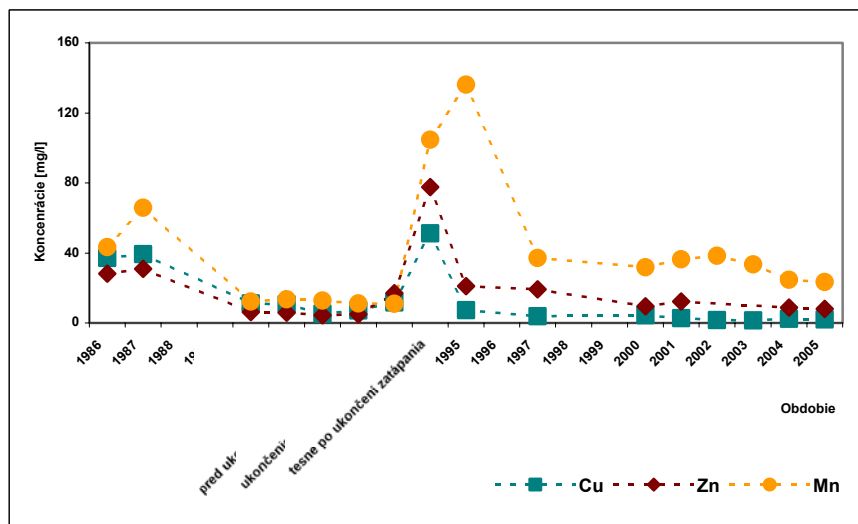
Tab. 1. Priemerné hodnoty ukazovateľov kvality bankých vôd na ložisku Smolník v roku 2005.

Tab. 1. The average values of quality characteristics of mine waters at the locality of Smolník in 2005.

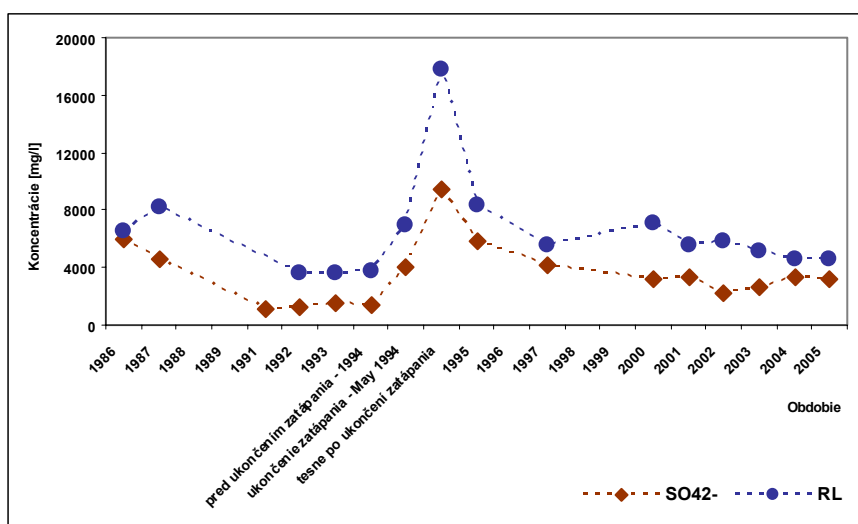
Ukazovateľ	šachta Pech	odkalisko Smolnícka Huta	pyritová halda
pH	3,8	6,36	2,75
RL mg/l	4 652	1 210	2 794,96
SO ₄ ²⁻ mg/l	3 162,8	727,5	1 999,33
Fe ²⁺ mg/l	281,7	7,54	41,63
Cu ²⁺ mg/l	2,1	0,16	5,51
Zn ²⁺ mg/l	8	0,18	3,46
Al ³⁺ mg/l	62,4	< 0,4	43,52
Mn ²⁺ mg/l	23,5	10	7,58
Mg ²⁺ mg/l	298,6	102,7	169,4
As ³⁺ mg/l	0,049	0,151	0,074

Pyritová halda začala byť podrobnejšie sledovaná až od roku 2002, kedy sa začali spod nej vo veľkej miere objavovať priesaky do potoka Smolník. Analýzy vôd odobratých z vrtu pri päte haldy poukazujú na to, že oxidácia pyritového materiálu tu prebieha veľmi intenzívne (tab. 1). Najkritickejšie sú hodnoty pH a medi, vzrastajúcu tendenciu majú hodnoty rozpustných látok a síranov. Halda predstavuje pre danú oblasť ďalšiu výraznú rizikovú zložku, a preto naďalej pokračuje monitoring hodnôt jednotlivých ukazovateľov kvality vody, aby mohol byť vytvorený model jej ďalšieho vývoja.

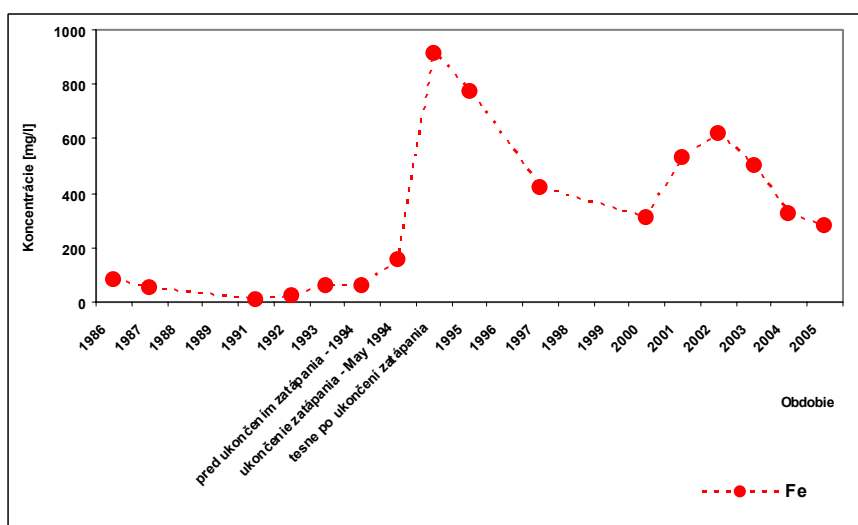
a)



b)



c)



Obr. 1. Vývoj zmien priemerného chemického zloženia banských vôd na ložisku Smolník v rokoch 1986 - 2005:

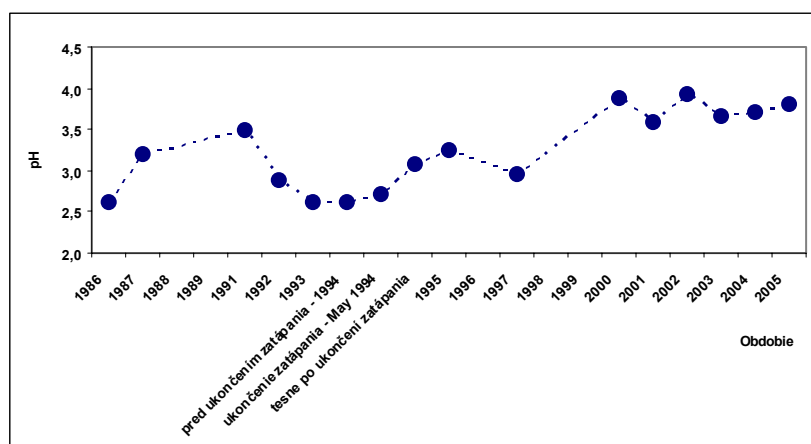
- a) vývoj Mn, Cu a Zn;
b) vývoj SO₄²⁻ a RL;
c) vývoj Fe.

Fig. 1. The evolution of average chemical composition of acid mine drainage at the locality of Smolník in 1986 - 2005:

- a) the evolution of Mn, Cu and Zn;
b) the evolution of SO₄²⁻ and TDS;
c) the evolution of Fe.

Vysoké náklady na ťažbu a úpravu suroviny spôsobili, že v roku 1990 bola prevádzka na ložisku Smolník definitívne zastavená. Banské priestory boli postupne zatápané vodou od decembra 1990 až do roku 1994. Prvé výrazné zmeny nastali už krátko po ukončení zatápania v máji 1994. Už v júni 1994 došlo k náhlej zmene zloženia vytekajúcich bankských vôd a bol nahlásený úhyn rýb v potoku Smolník. Prudké zvýšenie koncentrácií síranov, rozpustných látok, železa, mangánu, medi a zinku malo za následok výrazné zhoršenie celkovej ekologickej situácie. Po strmom náraste koncentrácií jednotlivých sledovaných zložiek dochádzalo postupne k ich poklesu rôznou rýchlosťou. Trendy vývoja kvality banskej vody na ložisku Smolník, vývoj koncentrácií jednotlivých sledovaných zložiek ilustruje na obr. 1. Koncentrácia Zn, Cu a Mn (obr. 1a) po zatopení najprv prudko vzrástla a skoro okamžite prudko poklesla na prakticky dnešné hodnoty. Koncentrácie síranov a rozpustných látok (obr. 1b) vzrástli a následne poklesli menej výrazne v porovnaní so zinkom a meďou. V súčasnosti je u síranov a rozpustných látok sledovaný mierny nárast koncentrácií. U železa (obr. 1c) došlo po poklese v rokoch 2001-2002 k opätovnému prudšiemu nárastu koncentrácií, ktorý je sledovaný súčasným poklesom.

V prípade sledovania hodnôt pH (obr. 2), po vybudovaní drenáže na šachte Pech a jej zasypaní drťou karbonátov začiatkom roku 1998 (Jaško et al., 1998), začali hodnoty pH postupne stúpať z 2,6 nad 3. V posledných piatich rokoch sa hodnoty pH pohybujú v rozmedzí 3,5 – 4, čo síce signalizuje určitú ustálenosť stavu, ale zároveň hodnoty pH vypovedajú o tom, že vytekajúce vody sú stále veľmi kyslé a situácia je naďalej kritická.



Obr. 2. Vývoj pH na ložisku Smolník v rokoch 1986 – 2005.
Fig. 2. The evolution of pH at the locality of Smolník in 1986 – 2005.

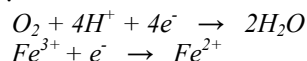
Príčiny zmien chemického zloženia kyslých bankských vôd

Na základe dlhodobého štúdia problematiky vývoja chemického zloženia kyslých bankských vôd je možné predpokladať, že prezentované správanie sa systému je pravdepodobne spôsobené vznikom stratifikácie rôzne koncentrovaných vrstiev bankských vôd. V krátkom období po nastúpaní banskej vody na úroveň dedičnej štôlne nastáva ešte vymývanie vrstvy s nízko koncentrovanými vodami. Veľmi skoro je však táto vrstva vytlačená a ďalej už vytekajú len vysoko koncentrované vody.

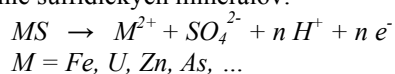
V bankských vodách pravdepodobne prebiehajú nasledujúce geochemické procesy:

V období aktívnej banskej činnosti dochádza k oxidačnému rozpúšťaniu rudných a horninotvorných minerálov. Hlavným oxidantom je kyslík, oxidačne však pôsobí aj trojmocné železo podľa nasledujúcej schémy (Zeman a Kopriva, 2002):

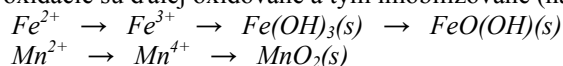
- redukcia oxidantov:



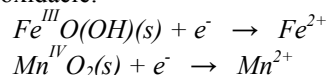
- oxidačné rozpúšťanie sulfidických minerálov:



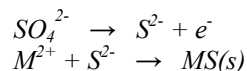
Niektoré produkty oxidácie sú ďalej oxidované a tým imobilizované (napr. železo a mangán):



Po zatopení ložiska vedie zvyšovanie hladiny bankských vôd k zmene oxidačno-redukčných podmienok a pôvodne oxidované partie ložiska sa dostávajú do redukčnej zóny. Tým začne dochádzať k redukčnému rozpúšťaniu produktov oxidácie:



a k prudkému zvyšovaniu koncentrácií pôvodne imobilizovaných zložiek a k uvoľňovaniu zložiek sorpcie a koprecipitácie (ťažké kovy). Zároveň nastáva redukčná imobilizácia niektorých pôvodne mobilných zložiek podľa schémy:



a k postupnému návratu zloženia podzemných vôd do stavu pred zahájením banskej činnosti.

Dôležitú úlohu v uvedených oxidačných procesoch zohrávajú aj autochtónne síru a železo oxidujúce baktérie. Táto všeobecná schéma procesov je pravdepodobne príčinou podobného správania sa bankských vôd bez ohľadu na typ a geologickú pozíciu ložiska. Vzťah medzi časom, keď bankské vody dosiahnu povrch a časom, keď sa prejaví prudký nárast koncentrácií rizikových zložiek, je závislý na mocnosti vrchnejšej zriedenejšej vrstvy stratifikovaných bankských vôd a na dobe za ktorú je táto vrstva vytlačená zo zvodne. Samozrejme tu existuje závislosť na konkrétnych geologických a hydrogeologických podmienkach a na charakteristikách pravidelných sezónnych zmien danej lokality (Zeman a Kopriva, 2002).

Záver

Kvalita bankských vôd na ložisku Smolník je naďalej veľmi nepriaznivá. Ako vykazujú doterajšie trendy vývoja kvality jednotlivých sledovaných parametrov za posledné tri roky, je síce vývoj, hlavne v prípade medi, zinku a mangánu mierne ustálený, ale trend vývoja pH, síranov a rozpustených látok poukazuje na to, že procesy oxidácie sulfidického materiálu prebiehajú naďalej intenzívne a k výraznému zlepšeniu celkovej situácie zatiaľ nedochádza. Bez výraznej zmeny môžeme aj v ďalších rokoch očakávať pokračovanie negatívneho vplyvu AMD na okolité životné prostredie. Preto bude vhodné aj naďalej realizovať monitoring kvality kyslých bankských vôd na tomto ložisku. V nadväznosti na to realizovať aj geochemické modelovanie pomocou vhodného geochemického modelovacieho softvéru na detailné porozumenie procesom prebiehajúcim v rámci ložiska.

Výsledky monitoringu spolu s využitím moderných metód vyhodnocovania a modelovacích nástrojov umožnia ako dlhodobú tak aj zároveň sezónnu predpoveď vývoja kvality kyslých bankských vôd na lokalite Smolník. Na základe týchto štúdií bude potom možné navrhnúť odpovedajúce metódy remediácie.

Pod'akovanie: Práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-51-027705 a vznikla v rámci riešenia grantovej úlohy č. 2/5148/5 grantovej agentúry VEGA.

Literatúra - References

- Bajaník, Š., Vozárová, A.: Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského rudohoria, východná časť. *GÚDŠ Bratislava*, 1983.
- Banks, D., Younger, P. L., Arnesen, R-T., Iversen, E. R., Banks, S. B.: Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly. *Environmental Geology*, 32, 3, 1997.
- Bethke, C. M.: Geochemical Reaction Modeling. *Oxford University Press, USA*, 1996.
- Chaudhury, G. R., Sluka, L. B., Das, R. P.: Utilization of Low-Grade Pyrites through Bacterial Leaching. *Int. Journal of Mineral Processing*, 26, 3/4, 1989.
- Jaško, V. et al.: Smolník - komplexné hydrogeologické a hydrochemické posúdenie ložiska Cu - Fe rúd. *Expertízna správa, Aquipur a.s. Bratislava*, 1996.
- Jaško, V. et al.: Smolník - monitoring vývoja kvality vôd ložiska Cu-S rúd. *Ročná záverečná správa, Aquipur a.s. Bratislava*, 1998.
- Karavajko, G. I., Kuznecov, S. I., Golomzik, A. I.: Roľ mikroorganizmov vyščelačivanií metlov iz rud. *Nauka, Moskva*, 1972.
- Kontopoulos, A.: Acid mine drainage control, Effluent treatment in the mining industry. *University of Concepción - Chile*, 1998.

- Kušnierová, M., Fečko, P.: Minerálne biotechnológie I. v ťažbe a úprave sulfidických ložísk. *VŠB – TU Ostrava, 2001.*
- Lintnerová, O., Šottník, P., Šoltés, S.: Vznik kyslých banských vôd a toxických riečnych sedimentov v okolí opustenej bane Smolník. *Geochémia 2004, Bratislava, 2004.*
- Postgase, J.: Sulfate reduction by bacteria. *Ann. Rev. Microbiology, 13, 1959.*
- Rojkovič, I.: Rudné ložiská Slovenska. *UK Bratislava, 2003.*
- Torma, A. E.: Impact of Biotechnology on Metal Extractions. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 2, 1987.*
- Younger, P. L., Banwart, S. A., Hedin, R. S.: Mine Water: Hydrology, Pollution, Remediation. In: Alloway, B.J., Trevors, J.T. (Eds.): *Environmental Pollution, Vol.5, Kluwer academic Publishers, Dordrecht, 2002.*
- Zeman, J., Kopřiva, A.: Geochemický vývoj vod po uzavření a zatopení dolů. *Geochémia 2002, Bratislava, 2002.*