

Problematika kvality banských vôd na vybraných slovenských lokalitách

Andrea Šlesárová¹

Problems of the mine water quality at selected Slovak localities

At the present time, acid mine drainage (AMD) is considered to be one of the most frequent environmental problems associated with the mining activity. The attenuation of mining activity in Slovakia ended by an extensive flooding of deposits, whereby the suitable conditions for AMD generation mainly at the localities after the mining of sulphide ores and raw materials containing sulphides were formed. The article presents monitoring results of the mine water quality at the selected Slovak localities.

Key words: Acid mine drainage, sulphide mineralization, heavy metals

Úvod

Banská činnosť a jej útlm sú spojené s mnohými negatívnymi prejavmi v okolitom životnom prostredí. Jeden z nich predstavujú aj výtoky kyslých, vysoko mineralizovaných banských vôd, známych aj pod názvom *Acid Mine Drainage* (ďalej AMD), ktoré možno pozorovať takmer vo všetkých typoch ložísk s obsahom sulfidov, ako sú ložiská neželezných kovov, uránovej mineralizácie, alebo uhoľné ložiská. Tieto vody hlavne v dôsledku nízkeho pH (2 – 5), zvýšených obsahov ťažkých a toxických kovov negatívne ovplyvňujú celú ekológiu vodného prostredia v okolí banských závodov. V oblastiach postihnutých pôsobením AMD sú náklady na ich remediáciu značne vysoké (Bethke, 1996; Younger et al., 2002).

Kyslé banské vody vznikajú ako výsledok oxidácie sulfidických minerálov, predovšetkým pyritu (FeS₂), v dôsledku ich kontaktu s vodou, atmosférickým kyslíkom a baktériami. V procese oxidácie pyritu a iných sulfidických rúd sa uplatňujú ako chemické, tak aj biologicko – chemické procesy (Kontopoulos, 1998; Pitter, 1990). Biologicko – chemická oxidácia „*in situ*“ na ložiskách sulfidických rúd je spravidla katalyzovaná činnosťou autochtónnych síru a železo oxidujúcich baktérií, ako je napr. *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans* (Kušnierová a Fečko, 2001). Oxidáciu pyritu je možné vyjadriť nasledujúcou sumárnou rovnicou (Pitter, 1990):



Prostredníctvom oxidácie pyritu, prípadne ďalších sulfidov, vzrastá v banských vodách najmä koncentrácia Fe a prvkov ako sú: Mn, Ni, Zn, Al, Cu, Co, As, U, Pb, atď. Ďalším dôsledkom oxidácie sulfidov je zvyšovanie koncentrácií síranov, čo sa prejavuje zvyšujúcou sa mineralizáciou a poklesom hodnôt pH (Bethke, 1996).

Banská činnosť má na území Slovenskej republiky stáročnú tradíciu. Útlm rudného baníctva hlavne na začiatku a v polovici dvadsiateho storočia vyústil do rozsiahleho uzatvárania ložísk a ich zatápania, čím sa vytvorili vhodné podmienky pre vznik AMD. Negatívne prejavy ich pôsobenia je možné pozorovať hlavne v oblastiach po ťažbe sulfidických rúd a surovín obsahujúcich sulfidické minerály. V článku sú prezentované výsledky monitoringu kvality vytekajúcich banských vôd na vybraných slovenských lokalitách, na ktorých mineralogické pomery umožňujú predpokladať vznik AMD, alebo kde sa už prejavujú dôsledky pôsobenia AMD. Jedná sa o lokality Pezinok, Šobov, Rudňany, Slovinky, Rožňava a Smolník.

Materiál a metódy

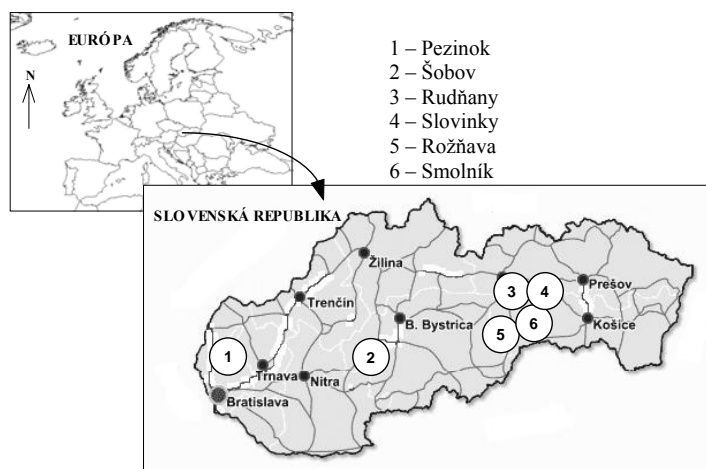
Monitoring kvality banských vôd bol na lokalitách Pezinok, Šobov, Rudňany a Slovinky realizovaný v roku 2004 a na lokalite Rožňava v roku 2006. Existujúce archívne údaje a údaje zo štúdií a expertíznych správ realizovaných v rámci sledovania kvality banskej vody na ložisku Smolník v rokoch 1986 - 2003 sú od roku 2004 v rámci vlastného štúdia kvality banských vôd sústavne doplňané.

Vzorky vody pre chemickú analýzu boli odoberané do 1,5 l PVC fľaš a následne boli stabilizované koncentrovanou HNO₃. Oxidačno – redukčný potenciál, pH a teplota boli merané *in situ*. Katióny boli stanovené atómovou absorpčnou spektrometriou (AAS). Sírany boli v jednotlivých vzorkách stanovené nefelometrickou metódou a rozpustné látky (RL) gravimetrickou metódou.

¹ Ing. Andrea Šlesárová, Ústav geotechniky Slovenskej Akadémie Vied, Watsonova 45, 043 53 Košice, aslesar@saske.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 13. 12. 2006)

Výsledky a diskusia

Lokality, ktoré boli vybrané na monitoring kvality banskej vody sú zobrazené na obr. 1.



Obr. 1. Zobrazenie vybraných slovenských lokalít na mape Slovenska.
Fig. 1. Display of selected Slovak localities on the map of Slovakia.

Ložisko Pezinok v Malých Karpatoch je situované v takzvanom pezinsko-perneckom kryštaliniku. Odber vzoriek v rámci monitoringu AMD bol vykonaný v oblasti výskytu epigenetickej Sb-Au mineralizácie na Kolárskom vrchu. Hlavnými minerálmi zrudnenia sú zlatonosný arzenopyrit a pyrit, antimonit, berthierit, gudmundit, kermezit, kremeň a karbonáty (Andráš et al., 2004a). V roku 2004 mali vytekajúce banské vody pH v rozmedzí 4 – 6 a obsahovali zvýšené koncentrácie síranov a železa (tab. 1). Vzhľadom na polymetalické zrudnenie ložiska je možné vysloviť predpoklad, že oxidácia sulfidického materiálu pokračuje, a preto možno ložisko zaradiť medzi potenciálne zdroje AMD. Vysoký podiel karbonátov v okolitých horninách pravdepodobne spôsobuje neutralizáciu vznikajúcej acidity, a tým zabraňuje intenzívnejšej tvorbe AMD. Ktoré boli opísané len z oblastí výskytov metamorfných synsedimentárnych pyrit-pyrotínových rúd (napr. pri ústí štôlne Augustín) (Andráš et al., 2004b).

Veľmi kritickú oblasť predstavuje lokalita Šobov, ktorá sa nachádza v tesnej blízkosti mesta Banská Štiavnica. Ide o povrchové ložisko kremencov, kde je pyrit spolu s ílovitým odpadom deponovaný na haldu (Lintnerová, 2002). Spod haldy vyteká kyslá voda tmavočervenej až fialovej farby, ktorej pH je cca 2 (údaj z roku 2004) a ktorá obsahovala vysoké koncentrácie všetkých sledovaných zložiek (tab. 1). Vytekajúca AMD výrazne poškodzuje celý okolitý biotop. V ostatných desaťročiach sa tu realizovali rôzne remediačné opatrenia na zamedzenie negatívneho vplyvu týchto vôd, avšak bez výraznejšieho úspechu. Jednalo sa napr. aj o pilotný projekt systému mokradí (wetlands) (Šottník a Šucha, 2001). Aby sa aspoň čiastočne zabránilo negatívne pôsobeniu AMD, systém povrchových kanálov zbiera vytekajúcu AMD a sústreďuje ju do retenčnej nádrže, odkiaľ je potom presmerovaná do opustených banskoštiavnických baní (Lintnerová, 2002).

Medzi ložiská, ktoré môžu byť zohľadnené ako potenciálne zdroje AMD patria ložiská Rudňany a Slovinky v oblasti Spišsko – gemerského rudohoria.

Zrudnenie ložiska Rudňany, resp. rudnianskeho rudného poľa patrí k typu sideritovo – sulfidickej žilnej mineralizácie rozšírenej v celom Spišsko – gemerskom rudohorí. Rudné pole je charakterizované sideritovo – barytovo – sulfidickým (Cu a Hg sulfidy) typom žíl. Hlavnými minerálmi sú kremeň, siderit, baryt, ankerit, chalkopyrit, tetradrit a hematit, pričom dôležité sú aj pyrit, rumelka a turmalín (Rojkovič, 2003). V roku 2004 bol na ložisku zaznamenaný len zvýšený obsah síranov (tab. 1). Ložisko je zatiaľ zatopené len z časti, pričom bude zaujímavé sledovať kvalitu vody po ukončení zatápania ložiska, hlavne z hľadiska obsahov železa, ortuti a iných ťažkých kovov.

Zrudnenie ložiska Slovinky, resp. slovinského rudného poľa je podobne ako v Rudňanoch tvorené hydrotermálnou sideritovo - sulfidickou žilnou mineralizáciou. V predmetnom rudnom poli sa výraznejšie uplatnila kremeňovo – sulfidická mineralizácia, pričom siderit a ankerit sú podradnejšie ako kremeň. Zo sulfidických minerálov sú najviac zastúpené: chalkopyrit, tetradrit, pyrit a arzenopyrit (Rojkovič, 2003). Vo vode vytekajúcej z dedičnej štôlne Alžbeta bol v roku 2004 zaznamenaný zvýšený obsah síranov a železa (tab. 1). Ložisko bolo zatopené až koncom 20. storočia. Vývoj sledovaných parametrov indikuje urýchľovanie procesu oxidácie a vznik AMD.

Na obidvoch uvedených lokalitách Rudňany a Slovinky nie sú ešte prejavy tvorby a vplyvu AMD veľmi intenzívne. Proces oxidácie sulfidického materiálu môže byť neutralizovaný aj karbonátmi, ktoré tvoria súčasť rudoносného horninového komplexu.

Ako výrazný zdroj AMD v oblasti Spišsko – gemerského rudohoria sa začína prejavovať rožňavské rudné pole, ktorého zrudnenie patrí k tomu istému typu mineralizácie, ako je opísané na ložiskách Rudňany a Slovinky. Prevláda v ňom siderit a len v niektorých žilách vystupuje aj kremeňovo – sulfidická minerálna asociácia. Hlavnými žilnými minerálmi sú siderit a kremeň. Na niektorých žilách je hojný aj albit a ankerit. Z rudných minerálov sú najčastejší pyrit, tetradrit a chalkopyrit (Rojkovič, 2003). Tetradrit a chalkopyrit sú časté aj na žile Mária, na oblasť ktorej bol orientovaný monitoring kvality bankých vôd. V okolí Mária bane boli v prvej polovici roku 2006 zaznamenané výrazné priesaky bankých vôd s pH 2,8 a zvýšenými koncentraciami síranov, železa a medi (tab. 1). Na základe hodnôt sledovaných parametrov sa dá konštatovať, že v danej oblasti má proces tvorby AMD vzostupný charakter.

Tab. 1. Vybrané ukazovatele kvality bankých vôd z vybraných slovenských lokalít.

Tab. 1. Selected characteristics of mine waters quality from selected Slovak localities.

Lokalita (rok odberu vzoriek)	pH	SO ₄ ²⁻	Fe _{celk}	Cu ²⁺	Zn ²⁺	As ³⁺
		[mg/l]				
Pezinok (2004)	6,5	400	31,2	<0,02	0,12	0,005
Šobov (2004)	2,2	-	2 226	6,15	6,47	0,5
Rudňany (2004)	6,9	1 340	<0,05	<0,02	0,03	<0,005
Slovinky (2004)	7,3	1 240	3,76	<0,02	0,04	<0,005
Rožňava (2006)	2,8	940	66,3	0,44	0,09	<0,005

Najväčšia pozornosť bola v rámci monitoringu venovaná oblasti ložiska Smolník. Vplyv AMD na okolité životné prostredie je na tomto ložisku najviditeľnejší a zároveň tu bol v posledných rokoch realizovaný najkomplexnejší monitoring kvality vytekajúcich bankých vôd. Ložisko sa nachádza v oblasti Spišsko – gemerského rudohoria a patrí k historicky najznámejším a najbohatším rudným ložiskám Slovenska. Tvoria ho stratiformná sulfidická mineralizácia. Centrálnu časť rudných telies tvoria masívne pyritové rudy s chalkopyritom (Rojkovič, 2003). Vedľajšími minerálmi sú: sfalerit, galenit, markazit, pyrotín, tetradrit (Grecula, 1995). AMD vytekajú priamo do potoka Smolník a ich negatívny vplyv je viditeľný pozdĺž celého jeho toku až po sútok s riekou Hnilec.

Z výsledkov uvedených v tabuľke 2 vyplýva, že v posledných troch rokoch je v porovnaní s rokom 1997 vo vývoji koncentrácií jednotlivých sledovaných zložiek možno pozorovať pomerne ustálený stav. Na druhej strane však hodnoty pH, síranov a železa poukazujú na intenzívne procesy oxidácie sulfidického materiálu. Situáciu na lokalite Smolník preto možno aj naďalej považovať za kritickú.

Tab. 2. Priemerné hodnoty ukazovateľov kvality bankých vôd na ložisku Smolník v rokoch 1997 – 1. polrok 2006.

Tab. 2. The average values of quality characteristics of mine waters at the locality Smolník in years 1997 – 1st half of the year 2006.

Rok odberu	pH	SO ₄ ²⁻	RL	Fe _{celk}	Mn ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺
		[mg/l]						
1997	3,0	4 133,0	5 569,0	421,4	37,2	3,9	19,2	149,0
2003	3,6	2 680,5	5 160,5	501,0	33,5	1,5		83,5
2004	3,7	3 397,7	4 634,7	325,9	24,8	2,4	8,4	73,7
2005	3,8	3 162,8	4 652,0	281,7	23,5	2,1	8,0	62,4
1. polrok 2006	3,9	2 750,0	3 973,3	242,7	21,6	2,5	7,1	58,7

Záver

Problematika kyslých bankých vôd a všeobecne bankých odpadov je rozsiahla a v súčasnej dobe, kedy prakticky neustále dochádza k útlmu a zatápaniu stále väčšieho množstva bankých diel aj mimoriadne aktuálna. Negatívne prejavy pôsobenia AMD možno vidieť aj na početných lokalitách Slovenska. Situácia je mimoriadne kritická v oblasti Šobova a Smolníka. Výraznú hrozbu z hľadiska rizikovosti pre okolité životné prostredie predstavuje hlavne Šobov. V prípade pretrvávania doterajšieho stavu môže dôjsť k zhoršeniu celkovej situácie a k následnej ekologickej katastrofe. Aj na ložisku Smolník je kvalita vytekajúcich bankých vôd naďalej nepriaznivá. Bez výraznejšieho zásahu sa dá aj v ďalších rokoch očakávať pokračovanie negatívneho vplyvu týchto vôd na zložky životného prostredia v okolí bývalého bankého závodu. Na ostatných sledovaných lokalitách (Pezinok, Rudňany, Slovinky a Rožňava), nie je priebeh vývoja

a vplyvu AMD taký výrazný ako v Smolníku a na Šobove, aj napriek tomu možno tieto lokality zaradiť medzi výrazné potencionálne zdroje AMD.

Podakovanie: 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

- Andráš, P., Milovská, S., Kušnierová, M., Adam, M., Šlesárová, A., Chovan, M., Hajdučková, L., Lalinská, B.: Environmental hazards at the Sb-Au-S deposit Pezinok (Slovakia) in relation to the chemical and biological-chemical oxidation processes. In: *7th International Symposium on Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development, Helsinki a Espoo, 2004a*.
- Andráš, P., Križáni, I., Kušnierová, M., Adam, M.: Problémy kyslých banských vôd na ložisku Pezinok. In: *Odpady 2004, Spišská Nová Ves, 2004b*, s. 44-47.
- Bethke, C. M.: *Geochemical Reaction Modeling. Oxford University Press, USA, 1996, 397 s.*
- Grecula, P. et al.: Ložiská nerastných surovín Slovenského rudohoria, Zväzok 1. *Geokomplex Bratislava, 1995*.
- Kontopoulos, A.: Acid mine drainage kontrol. In: *Castro, S. H., Vegara, F., Sánchez, M. A. (Eds.): Effluent treatment in the mining industry, University of Concepción – Chile, 1998, s. 57-118*.
- Kušnierová, M., Fečko, P.: Minerálne biotechnológie I. v ťažbe a úprave sulfidických ložísk. *VŠB – TU Ostrava, 2001, 143 s.*
- Lintnerová, O.: Vplyv ťažby nerastných surovín na životné prostredie. *UK Bratislava, 2002, 160 s.*
- Pitter, P.: Hydrochemie. *SNTL Praha, 1990, 565 s.*
- Rojkovič, I.: Rudné ložiská Slovenska. *UK Bratislava, 2003, 107 s.*
- Šottník, P., Šucha, V.: Možnosti úpravy kyslého banského výtoku ložiska Banská Štiavnica – Šobov. *Mineralia Slovaca, 33, 1, 2001, s. 53-60*.
- 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, 442 s.*