Globálne existenciálne riziká / Global existential risks ´2014
Zborník z medzinárodnej konferencie, 11. december 2014, Bratislava
Proceedings of the International Conference, December 11, 2014, Bratislava, Slovakia
■ RUSKO,M.- KLINEC,I.[Eds.] ■ Žilina: STRIX/*Edícia ESE-21*, ISBN 978-80-89281-99-2 ■

KRITICKÝ VPLYV BANSKEJ ČINNOSTI NA KRAJINU

Ivan KRIŽÁNI – Jana DADOVÁ – Miroslav RUSKO

CRITICAL INFLUENCE OF MINING ON ENVIRONMENT

ABSTRAKT

Staré banské záťaže (haldy, odkaliská, kyslé banské vody) predstavujú jeden z významných zdrojov environmentálneho rizika. Obvykle majú komplexný negatívny vplyv na všetky krajinné zložky. Aj keď sa pohľad na ich obhospodarovanie v ostatných desaťročiach začína postupne meniť, stále sú v stredobode záujmu environmentalistov, ktorí prinášajú nové, vylepšené a komplexnejšie remediačné riešenia problémov, spojených s ich výskytom. Článok prináša prehľad rizík i najčastejšie používaných remediačných techník a inžinierskych postupov pri ozdravovaní a revitalizovaní krajiny.

Kľúčové slová: *bane, ťažba, haldy, remediácia*

ABSTRACT

Old mining waste (dumps, teilings, AMD) represent one of the most important sources of the environmental risk. They have usually complex negative influence on all components of the landscape. Although we can observe during last decades changes in the sense with respect to the old mining waste problem, i tis still in the sphere of interest of the environmentalists. They present still new, better and more complex solutions, remediation techniques. The article present the most important problems connected with the mining wastes and the most often utilised remediation technologies and environmental engineering porocesses used for tle landscape sanitation and revitalisation.

Key words: *mines, exploitation, dumps, remediation*

Úvod

Stáročia ťažby zanechali v teréne zreteľné stopy po dobývaní, úprave a spracovaní rúd. Najzreteľnejším prejavom ťažobných aktivít v baníckych regiónoch sú pozostatky banských háld (obr. 1), predstavujúcich skládky rozpojených hornín, jemne rozomletých rúd, chemických látok používaných pri ich dobývaní a úprave.

Obr. 1 Banská halda v Špani Doline
Obr. 2 Banská Štiavnica, Glanzenberg: systém starých banských diel (kavern)

Rozvoj osídlenia a priemyslu vyvolal tlak na skalné a nespevnené horniny ako stavebné materiály. Ťažobný a nadväzný priemysel zmenil prvotnú štruktúru krajiny. Spôsobil odlesnenie, zmenu druhového zloženia lesných porastov, vznik antropických a industriálnych foriem reliéfu, zmenu hydrologického a hydrogeologického režimu, zvýšenie dosahu a intenzity zvetrávacích procesov v podzemných banských dielach i depóniách odpadových produktov baníctva, úpravníctva a metalurgie. To sa odrazilo aj na zdravotnom stave endemického obyvateľstva prevažne postihnutím nervového a kardiovaskulárneho systému.

Pochopenie skrytých environmentálnych rizík je potrebné opierať o doterajšie poznanie geochemických procesov prebiehajúcich v hypergénnej zóne. Aj v antropicky nedotknutej krajine je zvetrávanie okrem geografickej pozície podmienené klímou, integritou horninového masívu a energiou reliéfu. Interakciu medzi tuhými, kvapalnými a plynnými reaktantmi sprostredkúva voda. Voda sama o sebe je veľmi intenzívnym rozpúšťadlom vďaka jej disociačnej schopnosti, ktorá umožňuje iniciačné iónovýmenné reakcie medzi tuhou a kvapalnou fázou. Prítomnosť ďalších látok rozpustených vo

vode (plynov, komplexov, solí a pod.) zvyšuje jej agresivitu o niekoľko poriadkov (Križáni et al., 2007).

Baníckymi aktivitami vznikla v podzemí priestorová sieť kavern (obr. 2), ktoré narušili stabilitu nadložného horninového masívu, spôsobili jeho deštrukciu a usmernili cirkuláciu vôd medzi povrchom a podzemím, aj odvádzanie plynov do atmosféry. Do banských diel priamo vstúpili vzdušniny a cudzorodé látky vnášané človekom (drevo, kovy, chemikálie). Vytvorené priestory, najmä opustené človekom, obsadili huby plesne hmyz, ba i stavovce (žaby, netopiere, mloky,...), ktoré doň vniesli produkty svojho metabolizmu i rozkladu vlastných odumretých organických tiel. Týmto spôsobom sa vytvorili optimálne podmienky pre život mikroorganizmov. Sústava reaktantov sa tak doplnila o látky organického pôvodu, ktoré sú pre horninové prostredie cudzorodé. Výsledkom je urýchlenie rozkladných reakcií a zvýšenie migračnej spôsobilosti prvkov (Križáni et al., 2007).

Horniny vylámané z otvárkových diel a podzemných komunikácií, ktoré boli v rovnováhe s nenarušeným horninovým prostredím sa náhle ocitli na povrchu a akumulovali sa v depóniách. Do depónií sa akumulovali aj v danom čase nekondičné rudniny, ktoré ich obohatili o vysokoreaktívne minerály (Križáni et al., 2007).

Úprave rúd predchádzalo ďalšie otvorenie reakčného povrchu minerálov. V procese flotačnej úpravy sa do sústavy voda – tuhá – plynná fáza vniesli látky regulujúce zmáčateľnosť: xantáty, kyanidy, oleje; dispergátory (vodné sklo) a peniče. pH sa upravovalo pridávaním vápenného mlieka, alebo kyselín. Žiadúce kovonosné minerály sa extrahovali do peny a nežiadúce sa potlačili do odpadu. Jemnozrnný odpad sa v suspenzii dopravil do úložísk (odkalísk), v ktorých sa separovala tuhá a kvapalná fáza a deponoval jemný až koloidný odpad. Zhutňovanie vyberanej rudy, alebo koncentrátov spotrebúvalo troskotvorné prísady, tavivá, žiaruvzdorné materiály a tepelnú energiu. Odpadovými produktmi metalurgického procesu boli trosky a pecný výmet, ktoré sa deponovali v troskových haldách. Tento materiál obsahoval častice vyredukovaných kovov, ktoré neprešli do zliatku (Križáni a Andráš, 2006).

Z uvedeného vidieť, že s hĺbkou prepracovania sa depóniá odpadových produktov ďalej obohatili o látky, ktoré neboli vlastné pôvodnému horninovému prostrediu. Tie umožnili introdukciu aeróbnych mikroorganizmov, kvasiniek, húb, plesní, rias, lišajníkov (obr. 3). Depóniá teda predstavujú multikomponentný abioticko-biotický systém s veľkým reakčným medzifázovým povrchom. Spúšťačom medzifázových reakcií je zrážková voda a roztoky, ktoré vznikli chemickými reakciami. Depóniá preto možno chápať ako biogeochemické reaktory. O mobilite produktov medzifázových reakcií, prebiehajúcich v depóniách existujú doposiaľ len neúplné informácie, vychádzajúce z výsledkov experimentálnej mineralógie. Všeobecnou príčinou migrácie kovov a iných prvkov v procese zvetrávania je transformácia minerálov s vysokou energiou mriežky, stabilných v podmienkach primárneho vzniku (endogénnych procesov) na minerály s nízkou energiou mriežky, stabilných v subaerickom, resp. subaquatickom prostredí (exogénnych podmienkach).

Obr. 3 Ľubietová: machy a lišajníky na opustenom banskom poli Podlipa
Obr. 4 Rozetážované odkalisko na ložisku Bolesławiec, Poľsko

Najčastejšími ochoreniami, ktorými trpeli baníci v minulosti boli podľa G. K. Zechentera Laskomerského, kremnického banského lekára v roku 1868, reumatizmus, tuberkulóza, prieduškový katar, zápalová katarálna angína, emfyzém (rozdutie) pľúc, žalúdočný a črevný katar, bolesti nôh a kŕčové žily, hernie, zápaly a poškodenia očí, celková slabosť a opotrebovanosť organizmu. Dotazníkový prieskum (Rusko a Rusková 2001) zdravotného stavu endemického obyvateľstva Špane Doliny (výber 22 obyvateľov z celkového počtu 153, s priemerným vekom 74 rokov a s celoživotným pobytom v obci) s ohľadom na najdlhší vplyv prostredia zaťaženého banskou činnosťou poukázal na to, že najčastejšie sa vyskytujú príznaky ochorení, nervového systému (64 % respondentov), kardiovaskulárneho systému (59 % respondentov), tráviacej sústavy (32 %), porúch sluchu (32 % respondentov) a dýchacej sústavy, alergie, ochorenia kože (18 % respondentov). Na základe získaných výsledkov je možné predpokladať, že na území obce môžu participovať na zvýšenom počte niektorých ochorení obyvateľov i environmentálne záťaže generované banskou činnosťou. Nesmieme však zanedbať fakt, že vzhľadom k vysokému priemernému veku ľudí v skúmanej skupine, sa na ochoreniach môžu podieľať i iné faktory ako napríklad staroba a vysoká opotrebovanosť organizmu, zamestnanie (prípadné pracovné expozície), životospráva, životný štýl a pod.(Rusková, 2002, 2003).

Posudzovanie toxicity iba na základe výsledkov chemickej analýzy bez zohľadnenia oxidačného stupňa sledovaných prvkov, formy ich výskytu (anorganické formy, metylované formy a pod.), mineralogických foriem môže byť zavádzajúce.

Názorným príkladom je forma väzby a mobility As a Hg. Sulfidické formy väzby oboch prvkov sú v hypergénnej zóne (zóne zvetrávania) prakticky stabilné (Andráš, 2008).

Banskými vodami a priesakovými vodami z depónií sú vynášané spravidla v sulfidickej forme a pri vodnom transporte sa iba mechanicky zjemňujú. Usadzujú sa spravidla v blízkosti zdroja. Na najväčšie vzdialenosti sú povrchovými vodami transportované najmä Fe, Mn, Cu, Al, Sb vo forme roztokov a koloidov. Na geochemických bariérach iónové a komplexné roztoky flokulujú a gély koagulujú, čím sa dostávajú do sedimentov.

Antropické formy reliéfu v banských rajónoch menia krajinný obraz len v rámci exploatovaných banských polí. Sú schopné začleniť sa spontánne do krajiny v priebehu niekoľkých stoviek rokov. V súčasnosti sa presadzujú snahy o ich rekultiváciu. Z histórie však vieme, že obdobia rozkvetu, útlmu až prerušenia ťažby sa v obidvoch hlavných rajónoch vystriedali niekoľkokrát. Epizódy útlmu – prerušenia trvali aj dve storočia. Skúsenosti zo sveta zas ukazujú na pomerne vysokú pravdepodobnosť návratu k opätovnej exploatácii baníckych regiónov, najmä v prípade politických a ekonomických tlakov v globálnom meradle. Navyše pravdepodobnosť objavenia aj ďalších surovín na mieste vyčerpaných ložísk je vždy väčšia ako v neporušenej krajine. Teda ani súčasné prerušenie baníckych aktivít nemusí byť konečné.

Pri dostatočnom množstve a hĺbke potrebných informácií o deponovanom odpade sa tento môže stať zdrojom druhotných surovín (napríklad získavanie kovov či výroba stavebných hmôt). Dnes už existujú progresívne technológie, ktoré účinne pasivujú vysoko reaktívne minerálne fázy.

V minulosti sa na viacerých medených ložiskách (Smolník, Špania Dolina, Piesky) intenzívne využívali banské a priesakové vody aj na extrakciu úžitkových cenných kovov cementáciou – predovšetkým meď. Ako príklad môžeme uviesť každoročné získavanie 1500 kg malachitu z piesockých baní a následne jeho elektrolytickou úpravou v Banskej Bystrici 600 kg čiernej katódovej medi (Rýs 2000). Pri dnešnej úrovni poznania a oveľa lepších technických možnostiach by bolo možné dosiahnuť ekonomický prínos lokálneho významu s možnosťou oživenia a rozvoja umeleckých remesiel.

Všeobecne platí, že najstaršie banské haldy z plytkých šachiet (najmä v rudných revíroch) majú prevažne tvar kužela s vrcholovou depresiou a sú málo objemné. Dominantnou zložkou ich substrátu je „jalová“ výplň pripovrchových častí rudných žíl. Mladšie haldy sú už k východom rudných žíl posunuté v smere ich sklonu a sú v nich hojnejšie zastúpené okoložilné horniny. Najmladšie depóniá sú najobjemnejšie, často aj viacetážové (obr. 4) a vyznačujú sa veľmi pestrým materiálovým zložením. V krajine vystupujú ako antropické morfoštruktúrne dominanty. Jemnozrnné odpady najstarších úpravní sa rozptyľovali do sedimentov aluviálnych nív miestnych potokov. Ojedinele sa naakumulovali v zrušených umelých vodných nádržiach. Odkaliská sa cielene budovali až od druhej polovice 20. Storočia.

Ťažké kovy a rôzne iné polutanty, ktoré sa uvoľňujú v procese zvetrávania depónií, znečisťujú povrchové i podzemné vody. Ich substrát je ďalej roznášaný do okolia jednak vetrom a jednak antropicky. Uvoľnené ťažké kovy a iné chemické látky vstupujú do potravného reťazca živočíchov a človeka prostredníctvom rastlín a vody (Andráš, 2008a).

Uvedené procesy zasahujú flóru i faunu v kontaminovanom biotope (obr. 6). Prejavuje sa to zmenou druhového zloženie rastlinného krytu háld a ich okolia, nahrádzaním menej odolných rastlín rezistentnejšími druhmi, postupným ústupom vegetácie až jej úplným vymiznutím v oblastiach najvýraznejšieho environmentálneho zaťaženia. V haldách dochádza k populačnej explózii niektorých chemolitotrofných baktérií, pliesní, húb a rias. V konečnom štádiu dochádza k mutáciám a vymieraniu vyšších organizmov (Križáni et al., 2007).

Záver každej banskej činnosti je zameraný na oddelenie žiaducich zložiek od nežiaducich a ich následne uskladnenie. Za tým účelom banské podniky budujú haldy a odkaliská. V tejto činnosti sa banské podnikanie priamo dotýka ďalších oblastí života a to najmä vplyvu na životné prostredie a ukladanie odpadov. V poslednej dobe po niekoľkých haváriách (obr. 5, 6) s výrazným vplyvom na životné prostredie sa v niektorých európskych krajinách sa začína problematike bezpečného ukladania banského odpadu venovať zvýšenú pozornosť európskych inštitúcií. Pre štátnu banskú správu Slovenska to nie je nová problematika, pretože do jej kompetencie patrí aj haldové hospodárstvo a riešenie problematiky odkalísk ako súčasti úpravárenského procesu. Spoločným znakom háld a odkalísk je to, že obe obsahujú v súčasnosti nevyužiteľné horninové zložky. Rozdiel je v tom, že na haldy sa nevyužiteľné horniny ukladajú priamo, do odkalísk sa obyčajne privádzajú pomocou vodného média a tu sedimentujú. Osobitná pozornosť sa potom venuje vypúšťaným vodám z odkalísk Andráš, 2008a).

Obr. 5 Pretrhnutá hrádza odkaliska s červeným kalom v Aike (Maďarsko) roku 2010
Obr. 6 Kyslými banskými vodami zdevastovaná krajina v okolí Cu-ložiska São Domingos (Portugalsko)

Pri otvárke, príprave a dobývaní ložiska je nutné vydobyť časť sprievodných hornín. Tieto sa dočasne, alebo trvalo ukladajú v priestoroch vytvorených na tento účel (haldy). Podobne je nutné uskladňovať vedľajšie produkty úpravárenských procesov (odkaliská). Spôsob nakladania s nimi má osobitný význam z ekologického hľadiska. Z viacerých hald sa vhodná rúbanina využíva pre stavebné účely, resp. materiál môže slúžiť pre zakladanie vyrúbaných priestorov. Napriek výraznému útlmu ťažobného priemyslu, od roku 1990 možno pozorovať len minimálne zmenšenie celkového počtu a objemu háld - doprevádzané taktiež nepatrným zmenšením plošného záberu týchto háld.

Medzi tzv. „staré ekologické záťaže horninového prostredia" okrem starých skládok odpadov, starých banských diel a iných objektov starej banskej činnosti a pod. patria aj haldy, ktoré môžu byť významným zdrojom znečistenia podzemnej a povrchovej vody, horninového prostredia a ovzdušia, cez ktoré môže byť ohrozené zdravie človeka a zvierat (Andráš, 2008).

Remediácia banských háld a odkalísk

V prípade veľkoobjemových háld alebo odkalísk s mimoriadne nepravidelným reliéfom je potrebná povrchová úprava ich morfológie. V minulosti tak často uplatňovaná aplanácia (*„rozprestretie haldy“* do väčšej plochy a zníženie jej výšky) sa dnes nepovažuje za optimálny postup. Spravidla vytvára podmienky pre zintenzívnenie vodnej erózie dlhých svahov. Efektívnejšie je rozetážovanie (obr. 4), ktorým sa dĺžka spádnic podstatne skracuje a plošiny etáží opatrené zbernými jarkami významne redukujú dynamickú energiu vodného prúdu.

Pokiaľ je na halde *„divoká skládka,“* táto sa v závislosti od charakteru a objemu odpadu za istých okolností môže inkorporovať do haldy a prekryť haldovým materiálom (napr. odkalisko Lintich, Banská Štiavnica).

Remediácia háld sa často realizuje aj ich zavážaním stavebným odpadom, čistiarenskými kalmi, zeminou z výkopov a pod. Takto prikrytá halda sa osádza vybranými drevinami (breza, borovica, agát...) a osieva trávovými zmeskami. Vegetácia má okrem estetizujúceho účinku aj pomôcť stabilizovať skládku proti erózii. Vo väčšine prípadov sa takýto postup neosvedčil (napr. Špania Dolina – Piesky), pretože navezená *„kultúrna vrstva“* nedokáže zabezpečiť dostatok živín pre stabilnú vegetáciu a preto sa pomerne rýchlo zo svahov splaví. Obyčajne halda *„zazelená“* a v priebehu niekoľkých rokov začne dochádzať k odumieraniu pokryvnej vegetácie. Okrem iného to spôsobuje aj vzlínanie solí z podložia, ktoré obsahujú vysoké koncentrácie kontaminantov.

Pokiaľ skládka, halda alebo odkalisko obsahuje výrazne kontaminované materiály, ktorých objem a charakter umožňujú ich odvoz alebo izoláciu od okolitej krajiny, tieto sa buď dislokujú alebo sa vytvárajú podmienky na ich pasiváciu (napr. obklopujú sa nepriepustnými materiálmi (hliny) a sorpčnými vrstvami (bentonit, zeolity).

Jednou z techník protieróznej ochrany svahov je aj rozprestretie protieróznych kovových alebo plastových sietí, prípadne geotextílií. Ďalšou možnosťou je vytvorenie zábran z drevených kolov prepletených prútím a inštalovaných v smere vrstevníc. Protierozívne opatrenia sa niekedy kombinujú zavážaním svahov trávovými drnmi, ktoré obvykle tvoria účinnejšiu ochranu ako vysievanie trávových zmesiek.

Remediácia kyslých banských vôd (AMD)

Remediačné postupy pri úprave kyslých banských vôd (obr. 6-8) možno rozdeliť a) na systémy určené na elimináciu acidity a b) na systémy na odstránenie ťažkých kovov z AMD. Obidva tieto postupy umožňujú využiť aktívne a pasívne inžinierske systémy.

Obr. 7 Kyslými banskými vodami zdevastovaná krajina v okolí Cu-ložiska São Domingos (Posrtugalsko)
Obr. 8 Kyslé banské vody na povrchu haldopvého poľa v Nistru (Rumunsko)

Systémy na elimináciu acidity

Acidifikáciu vody spôsobujú najčastejšie oxidácia rudných minerálov a kyslé dažde spôsobené emisiami SO_4 a NO_x (Šottník 2006). Systémy na elimináciu acidity vôd sa najčastejšie využívajú na neutralizáciu kyslých banských vôd (AMD – acid mine drainage), ktoré nepriaznivo vplývajú na pôdu, povrchové i podzemné vody a vegetáciu. Acidifikácia ochudobňuje pôdu o Ca a Mg a zároveň mobilizuje ťažké kovy (aj Al), znižuje sorpčnú schopnosť humusového horizontu a spôsobuje jeho postupnú likvidáciu (Šottník, 2006).

Aktívne systémy

Aktívne remediačné technológie úpravy kyslej banskej vody (AMD) alebo kyslých horninových výtokov (acid rock drainage - ARD) spočívajú v pridávaní chemikálií do kyslej vody. Cieľom tohto postupu je vyzrážať z vody kovy a neutralizovať jej aciditu. Pridáva sa vápno, sóda, popol alebo amoniak. Takéto postupy sú však mimoriadne nákladné a v súčasnosti (približne od roku 1990) sa od nich upúšťa.

Pasívne systémy

Otvorené vápencové kanály a drenáže (open limestone channel - **OLC**). Sú to obyčajné otvorené kanály naplnené úlomkami vápenca (obr. 9). Pri pretekaní kyslých banských vôd cez vápenec, tento sa pomaly postupne rozpúšťa a tak sa znižuje acidita vody (pH stúpa). Tento spôsob remediácie je vhodné použiť len pre malé prietoky vody, pretože v dôsledku precipitácie predovšetkým Fe a Al sa tvoria na úlomkoch vápenca povlaky a reakcia sa spomaľuje (Skousen 2001).

Obr. 9 Otvorený vápencový kanál (OLC) na elimináciu acidity AMD
Obr. 10 Kremnica, Horná Ves, anaerobný mokraďový systém (historická forografia z roku 2001)

Anoxické vápencové drenáže (anoxic limestone drain - **ALD**). V týchto drenážach je vápenec v priekopách prekrytý ílom alebo plastickými fóliami, aby sa zabránilo prístupu kyslíka. Kyslé banské vody pretekajú týmito drenážami a vápenec sa rozpúšťa, pričom znižuje aciditu vody. Aby nedochádzalo ku vzniku povlakov na jeho povrchu v dôsledku precipitácie Fe a ďalších kovov, prietok vody by mal byť malý a voda by nemala obsahovať mnoho kyslíka. Ak voda obsahuje veľa kyslíka,

je potrebné ju predpripraviť prietokom cez mokrade, v ktorých ho organický materiál odstráni (Wieder a Lang, 1982; Skousen, 2001).

Oddeľovacie cely. Kyslé banské vody alebo časti vody sa odvádzajú do oddeľovacích ciel, prípadne dlhých kontajnerov, naplnených drveným vápencom (Skousen, 2001). Rýchly prietok zvíri vápenec a odstraňuje tak vyzrážané povlaky z jeho povrchu. Tento systém si vyžaduje častú výmenu reaktantu (vápenca).

Vápencový piesok. Brehy toku sú pokryté jemnými časticami mletého vápenca alebo je tento umiestnený priamo na dno toku. Tento remediačný systém je vhodný len pre kyslé banské vody s nízkym obsahom kovov. Piesok je premiestňovaný, rýchlo ho odplavuje tok vody, takže aspoň raz ročne ho treba znovu do toku dopĺňať (Wieder a Lang, 1982).

Systémy na odstraňovanie ťažkých kovov z kyslej banskej vody

Aktívne systémy

Odčerpávaním znečistenej povrchovej i podzemnej vody je značne nákladné a teda málo efektívne. Hlavne pri koncentráciách kontaminantov pod 1 $mg.l^{-1}$ je ich odstraňovanie veľmi pomalé a nákladné. Podobne, používanie rôznych chemických činidiel, slúžiacich na iniciovanie precipitácie kovov z roztokov je nákladné a pracné.

Pasívne systémy

S cieľom remediácie ťažkými kovmi znečistených vôd sa najčastejšie používajú pasívne systémy založené na využívaní prírodných alebo zakladaní umelých mokradí. Ich využitie má viacero predností: a) môžu pomôcť iniciovať vznik a precipitáciu kovových hydrooxidov, b) podmieňujú vznik menej rozpustných sulfidických zlúčenín kovov, c) možňujú organické komplexné reakcie, ktoré pomáhajú fixovať ťažké kovy, d) umožňujú iónovýmenné reakcie - výmenu jedných katiónov za iné katióny (na negatívne nabitých iónoch) a e) umožňujú ich využívať aj na priamu fytoextrakciu.

Využitie ***aerobných mokradí*** sa osvedčilo v prípade alkalickej vody. Aerobné mokrade sa používajú na spomalenie vodných tokov a aby tak umožnili predĺžiť čas účinkovania rôznych remediačných činidiel a postupov, aby došlo k oxidácii kovov, čo zase urýchľuje ich precipitáciu. Počas procesu oxidácie precipitujú napr. Fe a Mn a ich precipitáty sú zadržiavané v mokradi alebo odnášané vodným prúdom. Aerobné mokrade sú pomerne plytké nádrže, ktoré sa budujú tak, aby pod 2 – 8 cm vody bola približne 30-90 cm hrubá vrstva sedimentu, pozostávajúceho z pôdy, ílu a organickej hmoty. V mokradiach sa často vysádzajú rôzne rastliny. Ich časť slúži pri fytoextrakcii kovov (napr. *Typha latifolia - pálka širokolistá; Juncus articulatus - sitina článkovaná; Scirpus sp. - druh škripina*), ďalšia časť dodáva do systému organický materiál a iné zase môžu byť vysádzané aj z rýdzo estetických dôvodov (Wieder a Lang 1982).

Anaerobné mokrade sú vždy hlbšie ako 30 cm (obr. 10). Ich dno tvoria permeabilné, pôdu obsahujúce sedimenty, kompost, piesok, prach, organické zmesy podložené alebo premiešané s vápencom, balmi sena, slamou a rašelinovými machmi. Vysádzajú sa v nich rôzne rastliny (napr. *Typha latifolia – pálka širokolistá*) a huby.

Systém **SAPS** (successive alkalinity producing wetlands) kombinuje anoxické vápencové drenáže (ALD) a mokrade. Okysličená voda je predpripravená organickou hmotou, ktorá z nej odstráni kyslík a Fe(III). Takáto anoxická voda potom preteká cez ALD v bazálnej časti systému. Sústava je doplnená celami s vápencovou drvinou (Kepler a McCleary 1994).

Nazýva sa aj ***vertikálnym prietočným mokraďovým systémom*** (prietočným reaktorom - *vertical flow reactor* - **VFR**). Kombinuje kompostovú mokraď s anoxickou vápencovou drenážou. Pri pretekaní vody mokraďou odstráni kompost z vody kyslík a kovy sa vyzrážajú v drenáži, pričom v dôsledku precipitácie kovov môže dôjsť k tvorbe krusty na vápenci.

Aluminátor je to v podstate vápencová drenáž určená pre prípad poruchy. Pracuje len pri vysokom stave obsahu hliníka. Jeho podstatou je podporovať precipitáciu Al v drenáži a je zostrojený tak, aby umožňoval pružné odstraňovanie vyzrážaného Al. Takýto drén je potrebné obvykle čistiť aspoň dvakrát mesačne.

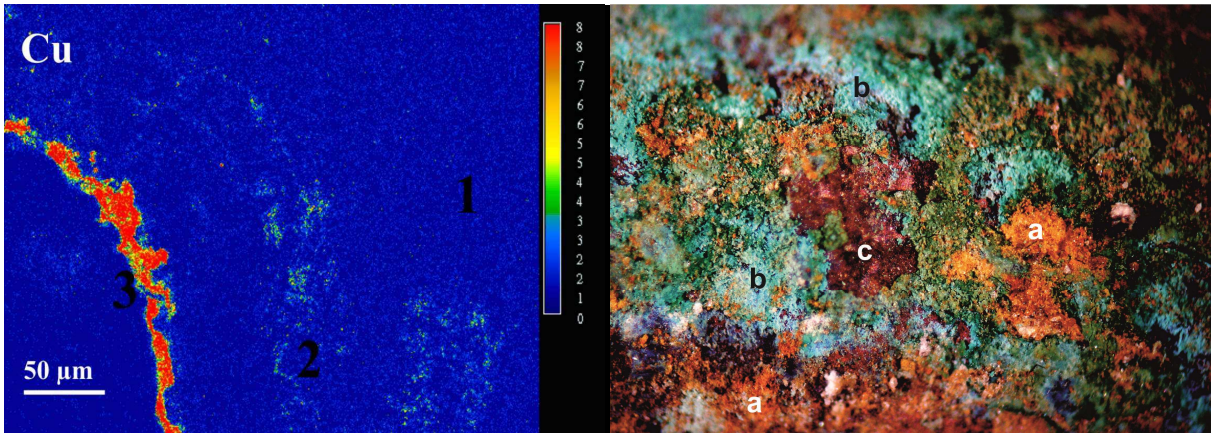
V početných prípadoch boli ***oxidačné rybníky*** skonštruované v kombinácii s vápencovými drenážami, aby zadržiavali vodu, spomaľovali jej prietok a tak vytvorili dostatočný časový priestor na oxidáciu a precipitáciu kovov (Wieder a Lang 1982).

Podstata ***geochemických bariér*** spočíva vo vytvorení prostredia, v ktorom na rôznych sorbentoch a reduktantoch dochádza k precipitácii kovov do stabilných väzieb. Ako ***sorbenty na fixáciu kovov*** možno použiť aj početné iné látky, napríklad termicky upravený dolomit (žíhaný pri 700 – 800 °C. O čosi menšiu sorpčnú schopnosť majú (v klesajúcom poradí od najlepších sorbentov k menej efektívnym): vápenec → dolomit → bentonit → zeolit → diatomit. U termicky upraveného dolomitu, dolomitu a vápenca sa uplatňuje predovšetkým chemosorpcia, pri bentonite a zeolite je dominantným procesom iónová výmena medzi roztokom a pevnou fázou, kým diatomit sa vyznačuje hlavne fyzikálnym procesom adsorpcie (Kozáč 1996). Výbornými anorganickými sorbentmi sú aj ílové minerály, sekundárne oxidy a hydroxidy Fe, Mn a Al (Čurlík 2003), aktívne uhlie, čierna bridlica (pokiaľ neobsahuje vysoké koncentrácie ťažkých kovov a disponuje teda voľnou sorpčnou kapacitou) a iné.

Pretože ílové minerály majú záporné povrchové náboje, môžu sorbovať katióny Ca(II), Mg(II), K(I), Na(I), Al(III), Mn(II), ťažkých kovov, niektoré oxidy s pozitívnym nábojom (napr. $Al(OH)^{2+}$). Tieto katióny môžu byť nahradené inými. V tejto súvislosti možno hovoriť o ***katiónovej výmennej kapacite***, ktorá je definovaná ako kapacita ílových minerálov schopná adsorbovať a vymieňať katióny a je vyjadrená v $cmol.kg^{-1}$ minerálu. Je funkciou merného povrchu a povrchového náboja: **KVK = S . σ**, kde KVK je katiónová výmenná kapacita, S je merný povrch a σ povrchová hustota náboja (Čurlík 2003).

Vápenec je výborným sorpčným médiom pre Pb(II), Cu(II) a Fe(III), pomerne dobre sorbuje aj Zn(II) a Cd(II). ***Dolomit*** sa prejavuje ako vynikajúci sorbent Pb(II) a Fe(III). Pomerne dobre sorbuje aj Cu(II). ***Bentonit*** je osvedčený veľmi dobrý sorbent Pb(II), Fe(III) a pomerne dobrý sorbent Cu(II), Cd(II), Ni(II) a Zn(II). Na ***zeolit*** sa najlepšie sorbuje Pb(II),

menej dobre Cu(II) a Cd(II) a čiastočne aj Fe(III) a Zn(II). Slabo dokáže sorbovať aj Ni(II) a Mn(II). Hg sa na vyššie uvedené sorbenty neviaže (Kozáč 1996).



Obr. 11 Oxidmi Fe pokrytý povrch klinca a precipitovaná cementačná meď; plošná distribúcia Cu (1 – oceľ, 2 – oxidy Fe, 3 – cementačná meď).
Obr. 12 Precipitovaná cementačná meď na povrchu oceľového klinca (a – oceľ, b – oxidy Fe, c – cementačná meď).

Najznámejšou technickou geochemickou bariérou je ***Fe-bariéra***. V jej prípade sa konštruuje kazeta, ktorá sa napĺňa železnými stružlinami alebo pilinami. Cez tieto preteká kontaminovaná voda a Cu, As a početné ďalšie kovy sa na železe v dôsledku takzvaného cementačného procesu vyzrážavajú.

Cementácia je elektrochemický proces („vnútorná elektrolýza“) vytesnenia kovov z roztoku založený na elektrochemickej reakcii medzi kovom - cementátorom a iónmi precipitujúceho kovu (Annamalai a Murr 1978; Karavasteva 1996), resp. na reakcii vytesňovania ušľachtilejšieho kovu z roztoku kovom menej ušľachtilým. Vo všeobecnom tvare ho možno znázorniť reakciou:

$$Me^{z+} + M^{o} \leftrightarrow Me^{o} + M^{z+}$$

kde Me^{o} je ušľachtilejší kov, M^{o} je menej ušľachtilý kov, Me^{z+} je ión ušľachtilejšieho kovu, M^{z+} je ión menej ušľachtilého kovu (Fisher 1986; András et al. 2007; obr. 11).

Keď akýkoľvek kov ponoríme do roztoku soli ušľachtilejšieho kovu, kov so zápornejším elektródovým potenciálom vytesní z roztoku kov s kladnejším elektródovým potenciálom a sám prejde do roztoku (Stefanowicz et al. 1997). Napríklad, ak do roztoku síranu meďnatého ponoríme železo, bude sa na ňom vylučovať meď a železo prejde do roztoku podľa reakcie:

$$CuSO_4 + Fe \leftrightarrow FeSO_4 + Cu$$

Železo uvoľnené do roztoku v procese cementácie možno ďalej vyzrážať ***feritizáciou*** (procesom precipitácie vo forme „feritu“ – minerálu so spinelovou väzbou, do ktorého vstupujú aj ostatné zbytkové kovy z roztoku). Na dosiahnutie tohto efektu sa do roztoku pridáva vápenné mlieko.

Metóda Fe-bariéry (obr. 12) je výhodná aj z finančného pohľadu, pretože použité železo možno pomerne ľahko recyklovať, ba i precipitáty sa dajú využiť priamo (ako farbivá) alebo po prepracovaní elektrolýzou zúžitkovať ako čisté kovy (András et al. 2007).

Diskusia

Rozsah článku neumožňuje vymenovať početné ďalšie remediačné technológie, využívané pri rekultivácii a ozdravovaní terénov so starou banskou záťažou. Zámerom príspevku je len naznačiť rozmanitosť možných účinných inžinierskych postupov. Pri výbere vhodných riešení je potrebné ku každej lokalite pristupovať individuálne, aby sa použité finančné prostriedky, pracovné nasadenie a úsilie nevynakladali neefektívne. Príkladom takýchto chybných postupov možno nájsť mnoho.

Tak napríklad v ostatnom desaťročí sa na haldových poliach v Špianej Doline realizoval pokus o čiastočnú remediáciu týchto technických pamätníkov dávnej banskej činosti. Haldy boli pokryté „kultúrnou“ vrstvou, osiate trávou a na plošinách háld boli vysadené ihličnaté stromy (zväčša borovice). Prvé dva roky po tomto zásahu haldy pokryla vegetácia a na prvý pohľad sa zdalo, že krajinu sa podarilo znovu „*zazeleniť*.“ Postupne však dážď a soliflukcia viedli k erózii až postupne došlo k obnaženiu strmých svahov háld. Kapilárne vzlínanie viedlo k zasoleniu zbytku navezeného pôdneho krytu, čo zase viedlo k odumieraniu vysadených stromov. Dnes, niekoľko rokov po tejto nepremyslenej remediačnej aktivite, možno povedať, že vynaložené (nemalé) finančné prostriedky vyšli nazmar.

Závery

Na záver je potrebné spomenúť, že v ostatných dvadsiatich rokoch sa mení princíp pohľadu na haldy a lomy ako na „*jazvy v životnom prostredí.*“ Už nejde o to zakryť ich a vysadiť brezami či borovicami. Začína sa im prisudzovať štatút nového

prvku krajiny alebo sa vnímajú ako technické pamiatky. Prestávame sa na ne pozerať ako na zničené územia ale práve naopak, ako na budúcu prírodnú oázu, ktorá sa často vyznačuje vysokou biodiverzitou. V lomoch sa ponechávajú vertikálne steny a väčšina územia sa ponecháva prirodzenej sukcesii. Zavážanie a aplanácia háld sa začínajú vnímať ako *„protiprirodzené zásahy"* (Cílek 2006). V priestore krajiny sa začínajú haldy vnímať ako nová estetická hodnota. Haldy majú určitý stupeň *„samočistiacej schopnosti."* Veľká časť ťažkých kovov a kontaminantov v nich býva zachytená v poréznych hmotách ako je popolček, škvára a v hydroxidoch železa. Pri otváraní háld môže dôjsť k masívnemu uvoľňovaniu takto fixovaných ťažkých kovov a kontaminantov, preto sa narušovanie háld neodporúča.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

ANDRÁŠ, P. - JELEŇ, S. - KRIŽÁNI, I. 2007. Cementačný účinok drenážnej vody z haldového poľa Ľubietová-Podlipa, *In: Mineralia Slovaca*, 39, 4, s. 334-341

ANDRÁŠ, P. 2008: Geochémia pre environmentalistov. Banská Bystrica : Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela, ISBN 978-80-8083-583-5, 106 s.

ANNAMALAI, V. - MURR, L. 1978. Effects of the source of chloride ion and surface corrosion patterns on the kinetics of the copper-aluminum cementation system. *In: Hydrometallurgy* 3, s. 163-180

CÍLEK, V. 2006. Tsunami je stále s nami. Alfa Publishing, Praha, 343 s.

ČURLÍK, J. 2003. Pôdna reakcia a jej úprava. Jaroslav Suchoň Publ., Bratislava, 249 s.

FISHER, W. W. 1986. Copper Cementation in a Revolving-Drum Reactor, A Kinetic Study. *In: Hydrometallurgy* 16, s. 55-67

KARAVASTEVA, M. 1996. The effect of certain surfactants on the cementation of copper by suspended zinc particles. *In: Hydrometallurgy* 43, s. 379-385

KEPLER, D. A. - MCCLEARY, E. C. 1994. Successive Alkalinity-Producing Systems (SAPS) for the Treatment of Acidic Mine Drainage. p. 195-204. *In: Proceedings of the International Land Reclamation and Mine Drainage Conference, Pittsburgh, PA. April 24-29*

KOZÁČ, J. 1996. Nerastné suroviny ako sorbenty katiónov ťažkých a toxických kovov a základná zloížka čistiacich prostriedkov. *In: Mineralia Slovaca, Geovestník*, 28, 6, s. 5-7

KRIŽÁNI, I. - KUŠNIEROVÁ, M. - ANDRÁŠ, P. - JELEŇ, S. 1994. Šobov Dump-Spontaneous geological-biological reactor. *In: Hydrometalurgy III. - Abstracts (Košice)* s. 50-55

KRIŽÁNI, I. - ANDRÁŠ, P. 2006. Ťažké kovy z depónií odpadov po ťažbe a úprave polymetalických rúd v prostredí neovulkanitov Štiavnických vrchov – procesy a produkty zvetrávania. *In: Mineralia Slovaca, 38*, 4, s. 283-302

KRIŽÁNI, I. - ANDRÁŠ, P. - LADOMERSKÝ, J. 2007. Banícke záťaže Štiavnických vrchov. Monografia, TU Zvolen, 100 s.

RUSKOVÁ, J. 2002. Vplyv baníckej činnosti na zdravie obyvateľov v modelovom území Špania Dolina. *In: Ďurža, O., Rapant, S. Eds.Geochémia 2002*, GÚDŠ Bratislava, s. 90

RUSKOVÁ, J. 2003. *Vplyv baníckej činnosti na zdravie obyvateľov v obci Špania Dolina. In: Acta Universitatis Matthiae Belii, Séria environmentálna ekológia, IV./V., 1*, Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Fakulta prírodných vied, s. 22

SKOUSEN, J. 2001. Passive Treatment of Acid-Mine Drainage with Vertical-Flow. Virginia cooperative extension. *In: Knowledge of the Common Wealth*. 2, 460-133

STEFANOWICZ, T. - OSINSKA, M. - NAPIERALSKA-ZAGOZDA, S. 1997. Copper recovery by the cementation method. *In: Hydrometallurgy* 47, s. 69-90

ŠOTTNÍK, P. 2006. Podporné materiály pre projektové vyučovanie. Pasívne čistenie kyslých banských vôd. *In: Zvyšovanie kvality odbornej prípravy v oblasti environmentálneho rizika odpadov ťažobného priemyslu. Európsky sociálny fond*. Bratislava, 13 s.

WIEDER, R K. - LANG, G. E. 1982. Modification of Acid Mine Drainage in a Freshwater Wetland. *In: Proceedings of the Symposium on Wetlands of the Unglaciated Appalachian Region. Morgantown, WV*, s. 43-53.

ADRESY AUTOROV:

RNDr. Ivan Križáni, Geologický ústav Slovenskej akadémie vied, Ďumbierska 1, 974 01 Banská Bystrica

RNDr. Jana Dadová, PhD., Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká republika, jana.ruskova72@gmail.com

doc. RNDr. Miroslav Rusko, PhD. Materiálovotechnologická fakulta Slovenskej technickej univerzity v Trnave, Paulínska 16, 917 24, Trnava; mirorusko@cemtrum.sk

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU
Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS
Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.