

Analýza obsahu ťažkých kovov v Slovinskom potoku v Strednospišskej zatťaženej oblasti

Pavel HRONČEK, Vladimír ČECH, Juliana KROKUSOVÁ, Lenka DEMKOVÁ

Analysis of heavy metal content in Slovinský potok brook in Strednospišská burdened area

Abstract: *Strednospišská environmentally-burdened area represents the traditional mining and industrial area of Eastern Slovakia. These activities had and still have (after the closure all industrial and mining plants) negative impact on all landscape components, including water net. The aim of our work was to analyze the heavy metal content in the Slovinský potok brook based on the analysis of samples taken in four different years. Atomic emission spectrometry and atomic absorption spectrometry were used in laboratory. We processed these results by modern statistical methods in the program of R studio. The total content of heavy metals, after the closure of mining and processing plants in the water catchment area, decreased with the exception of two anomalies. Extremely high above limit value of arsenic at site 1 in all years is the result of a combination of anthropogenic activity and geochemical origin. Also, no correlation between arsenic and other observed toxic elements has been demonstrated, indicating its specific position. The results of the work complement the mosaic of analyses of water streams loadings of the Strednospišská burdened area with heavy metals. This extends the information about the burden on each landscape component in the area.*

Keywords: *Strednospišská burdened area, Slovinský potok brook, heavy metals, mining activity*

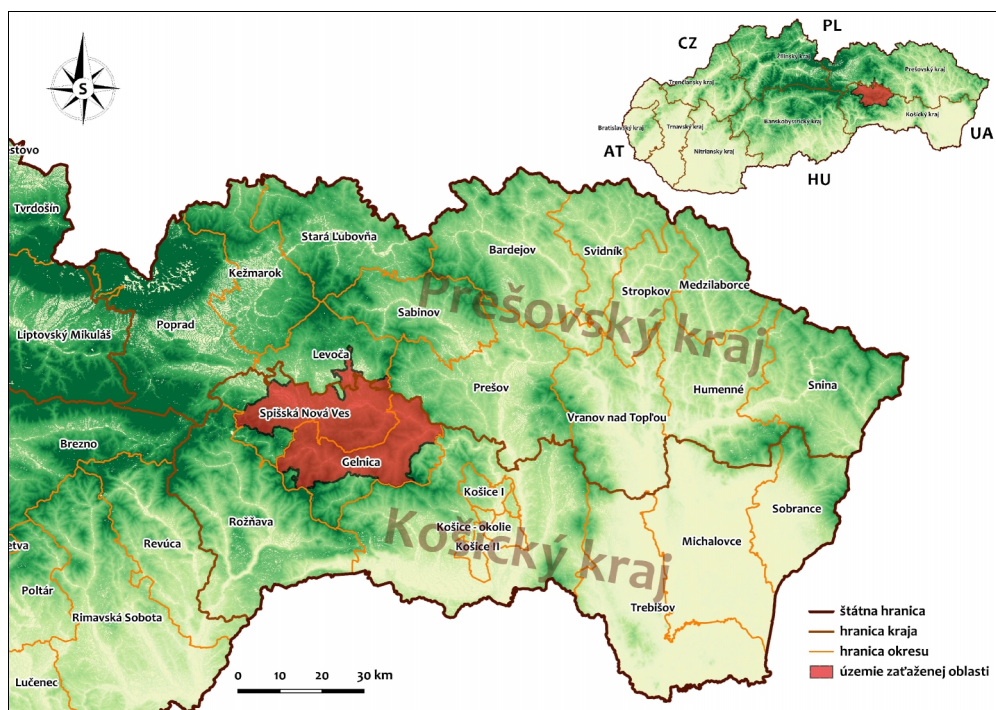
Úvod

S problematikou sledovania obsahu ťažkých kovov v environmentálne zatťažených oblastiach vplyvom banskej a následnej űpravárenskej činnosti je možné sa stretnúť v mnohých prácach z celosvetového, európskeho i slovenského priestoru. Ide pritom o výskumy z oblastí, kde takéto antropogénne aktivity ešte stále prebiehajú, ale viacero prác sa zaoberá výskumom v územiach, kde aktívna prevádzka ťažobných a priemyselných kapacít ustala, no zatťaženie jednotlivých zložiek krajiny je predpokladané aj po ich ukončení. Na území Slovenskej republiky je jednou z takých oblastí Stredný Spiš, ktorý je príkladom environmentálne zatťaženej oblasti vplyvom dlhoročnej ťažobnej a priemyselnej činnosti, ktorá bola už ukončená.

Strednospišská environmentálne zatťažená oblasť (známa z environmentálnej regionalizácie Slovenska aj ako Rudniansko-gelnická oblasť, alebo Spišský región s Rudnianskym okrskom) predstavuje tradičnú banskú a priemyselnú oblasť východného Slovenska (Obr. 1). Oblasť má rozlohu 357 km² a žije tu 52 000 obyvateľov. Nachádzajú sa tu bohaté zásoby nerastných surovín, predovšetkým medenej a železnej rudy. Rozvoj baníctva mal strategický význam pre rozvoj celého regiónu. Najväčší rozmach zaznamenalo baníctvo v 70. a 80. rokoch minulého storočia. Po roku 1989 sa začalo v regióne s űtlmom ťažobného a hutníckeho priemyslu. Za medzník sa považuje rok 1993, kedy v dôsledku čiastočného vyčerpania zásob a nerentabilnosti ťažby došlo v Rudňanoch a Slovinkách k zastaveniu ťažby a odstaveniu kritických prevádzok, ktoré sa najviac podieľali na znečistení životného prostredia. Samotná ťažba, ale aj jej ukončenie znamenali dopad na krajinu a ľudí, čo v nej žijú. Počas prevádzky

baní to bol negatívny vplyv na všetky zložky krajiny, zdravie ľudí, no predovšetkým baníkov. Zastavenie ťažby znamenalo stratu zamestnania a sociálnu neistotu pre veľké množstvo rodín nezamestnaných baníkov.

Aj v súčasnosti viac ako 24 rokov po ukončení ťažby, môžeme stále vnímať negatívne dôsledky ťažby a spracovania suroviny v krajine, najmä okolia Krompách, Rudnians, Sloviniek a Poráča. Vplyv banskej činnosti na krajinu a jej zložky predstavuje komplexný problém. Ťažba nerastných surovín zanechala nezvratné zmeny pod zemou, aj na povrchu. Na jednej strane ide o čiastočne nezvratné zmeny reliéfu v podobe banských antropogénnych foriem – poddolované územia, závaly, haldy a odkaliská. Ich rekultivácia je veľmi náročná. Na strane druhej ide o kontamináciu všetkých zložiek prostredia ťažkými kovmi (Demková et al. 2017). V okolí Rudnians ide o vysoké obsahy ťažkých kovov – Hg, Cu, Cd, Pb, Sb (Árvay et al. 2017). Odhaduje sa, že len za 60 rokov prevádzky starého závodu na tepelné spracovanie rúd uniklo do ovzdušia niekoľko tisíc ton Hg prevažne v kovovej forme. Z nového závodu sa dostalo do ovzdušia a následne do pôdy cca 142 ton kovovej Hg. Okolie Krompách a Sloviniek bolo zase kontaminované najmä As, Cu a Zn.



Obr. 1. Poloha Strednospišskej environmentálne zaťaženej oblasti

Jedným z prvkov v krajine, vykazujúcim stopy po environmentálnom zaťažení sú vodné toky a plochy. Aj v priestore Slovenska existuje pomerne pestré penzum prác, venovaných tejto oblasti – napr. na modelovanie priestorovej distribúcie environmentálnych premenných na vodných plochách pri výskume montánnej krajiny boli zamerané napr. práce Kubinského et al. (2014, 2015), podobného charakteru sú aj práce Lepešku (2010, 2013, 2016). Analýzou obsahu vybraných ťažkých kovov na haldových plochách, podobných aké sa nachádzajú v povodí Slovinického potoka sa napr. zaoberá Andráš et al. (2013) a Franková et al. (2012). Potrebné je spomenúť aj práce pojednávajúce o danej problematike v priebehu histórie, napr. Jesenský (2016).

V priestore Strednospišskej zaťaženej oblasti sú rieka Hornád a jej najväčšie prítoky (Rudniansky potok, Slovinský potok a Smolník) znečistené v dôsledku dlhoročnej banskej a úpravárenskej činnosti (Angelovičová a Fazekašová 2014). Prejavuje sa to ich dlhodobým zaťažením ťažkými kovmi. Kvalita vody v skupine mikropolutantov sa vďaka ukončeniu banskej činnosti v regióne výrazne nemení, čo naznačuje nezvyšovanie obsahu ťažkých kovov. Avšak koncentrácie ťažkých kovov – Al, Ba, Cu, Hg, Zn vo vodných tokoch v uvedenej oblasti sú ešte vždy veľké.

Najvýznamnejšími pretrvávajúcimi negatívnymi environmentálnymi vplyvmi v týchto lokalitách sú nestabilita horninového masívu spôsobujúca závaly nad vydobýtmimi priestormi a banskými dielami a kontaminácia povrchových tokov výtokmi banských vôd, priesakmi z hald a odkalísk. Drenážnym účinkom banských diel dochádza k odvodňovaniu horninových komplexov a vzniku sústredených výtokov banských vôd na povrch. Ich chemické zloženie často negatívne ovplyvňuje kvalitu povrchových tokov. Pozostatkom ťažby sú akumulácie veľkého množstva zostatkových materiálov s obsahom kontaminantov na haldách a odkaliskách a s tým súvisiaca kontaminácia povrchových a podzemných vôd (Demková et al. 2017).

Voda vytekajúca z banských diel je kontaminovaná vysokými obsahmi ťažkých kovov a spôsobuje napr. úhyn rýb (Neetu et al. 2016). Vznik a úprava kyslých banských vôd (AMD – acid mine drainage) je jedným z najväčších environmentálnych problémov týkajúcich sa banskej a úpravárenskej činnosti v celosvetovom meradle (Singovszka et al. 2017). Ložiská sulfidických minerálov predstavujú počas ťažby, najmä po uzatvorení baní, potenciálne „prírodné bioreaktory“ produkujúce AMD, ktoré fungujú na princípe biogénnej katalýzy chemickej oxidácie primárnych aj sekundárnych sulfidických minerálov. Vznik kyslých banských vôd interakciou pyritu s vodou a/alebo kyslíkom je hlavným zdrojom zhoršenia kvality vôd v rudných a banských regiónoch (Bálintová et al. 2009).

Aj napriek ukončenej ťažbe sú jednotlivé banské lokality v regióne stredného Spiša v pravidelných intervaloch monitorované a výsledky monitoringu sú každoročne uvedené v Správe o stave životného prostredia SR. Podrobnejšie výskumy sú zamerané na vplyv ťažby nerastných surovín na jednotlivé zložky životného prostredia (Hudáček et al. 2000, Bajtoš a Záhorová 2007, Liščák et al. 2011). Veľmi prínosné sú výskumy zamerané na geologické a chemické hodnotenie odkalísk a ich vplyv na kvalitu povrchových a podzemných vôd (Hudáček 1998, Čech et al. 2011, Petrák et al. 2011, Šottník et al. 2011, Jurkovič et al. 2012, Kučerová et al. 2013, Tóth et al. 2013, Čech a Krokusová 2017).

Cieľom našej práce bola analýza obsahu ťažkých kovov v Slovinskom potoku na základe rozboru odobraných vzoriek v štyroch rôznych rokoch a spracovanie týchto výsledkov štatistickými metódami. Sekundárnym cieľom práce bola ich komparácia s podobnými analýzami, ktoré boli realizované na iných vodných tokoch v Strednospišskej zaťaženej oblasti ako aj komparácia s obdobím aktívnej prevádzky banských a úpravárenských zariadení v povodí Slovinského potoka (rok 1986).

Pre potreby spracovania a dosiahnutia cieľa tejto práce sme identifikovali 5 výskumných otázok (hypotéz), ktoré sú v diskusnej časti verifikované. Prvou je predpoklad, že obsah ťažkých kovov nameraný roku 1986 (počas aktívnej banskej činnosti) bude vyšší ako v rokoch 2010, 2011 a 2013, teda po ukončení tejto činnosti. Komparácia obsahu ťažkých kovov na tých istých odberných miestach so stavom počas aktívnej prevádzky baní nebola zatiaľ riešená v rámci povodia Slovinského potoka. Druhou hypotézou je predpoklad, že najvyššie hodnoty obsahu ťažkých kovov budú vo všetkých rokoch namerané na lokalite 1 (výtok banských vôd do Slovinského potoka), keďže ide o najväčší zdroj kontaminantov v povodí. S podobnou hypotézou sme sa zatiaľ v prácach z uvedenej zaťaženej oblasti nestretli. Tretou hypotézou je predpoklad, že z hľadiska konkrétnych ťažkých ko-

vov budú mať najväčšie zastúpenie As a Cu, ktoré sú na základe viacerých štúdií dominantnými prvkami, zaťažujúcimi jednotlivé zložky krajiny v povodí Slovinského potoka. Výberom tejto hypotézy sme sa snažili potvrdiť výsledky viacerých prác iných autorov z oblasti Strednospišskej zaťaženej oblasti. Ďalšou hypotézou je predpoklad, že obsah toxických prvkov v Slovinskom potoku bude v porovnaní s inými tokmi Strednospišskej oblasti – Smolník a Rudniansky potok (Bálintová et al. 2009, Angelovičová a Fazekašová 2014) nižší, keďže aj počet zdrojov kontaminácie ako aj úroveň ich aktivity je v povodí Slovinského potoka nižšia. Výber tejto hypotézy bol podmienený existenciou podobných prác na iných vodných tokoch v Strednospišskej zaťaženej oblasti a snahou o komparáciu týchto výsledkov. Poslednou hypotézou je predpoklad, že pri štatistickom hodnotení (Spearmanov korelačný koeficient, klastrová analýza) vzťahov medzi vybranými toxickými prvkami, ktoré poukazujú na ich podobný/odlišný pôvod bude mať arzén v skupine hodnotených prvkov špecifické postavenie (napr. nebude s ostatnými kovmi signifikantne korelovať). Túto hypotézu sme stanovili na základe skutočnosti, že uvedené štatistické postupy ešte neboli pri hodnotení zaťaženia Slovinského potoka ťažkými kovmi použité.

Metodika

V prvej fáze sme sa sústredili na zber a spracovanie údajov týkajúcich sa hodnotenej problematiky. Zdrojom informácií nám boli predovšetkým Správy o stave životného prostredia v Slovenskej republike v jednotlivých rokoch, čiastkové monitorovacie správy vydávané Ministerstvom ŽP SR a Geologickým ústavom Dionýza Štúra a vedecké štúdie.

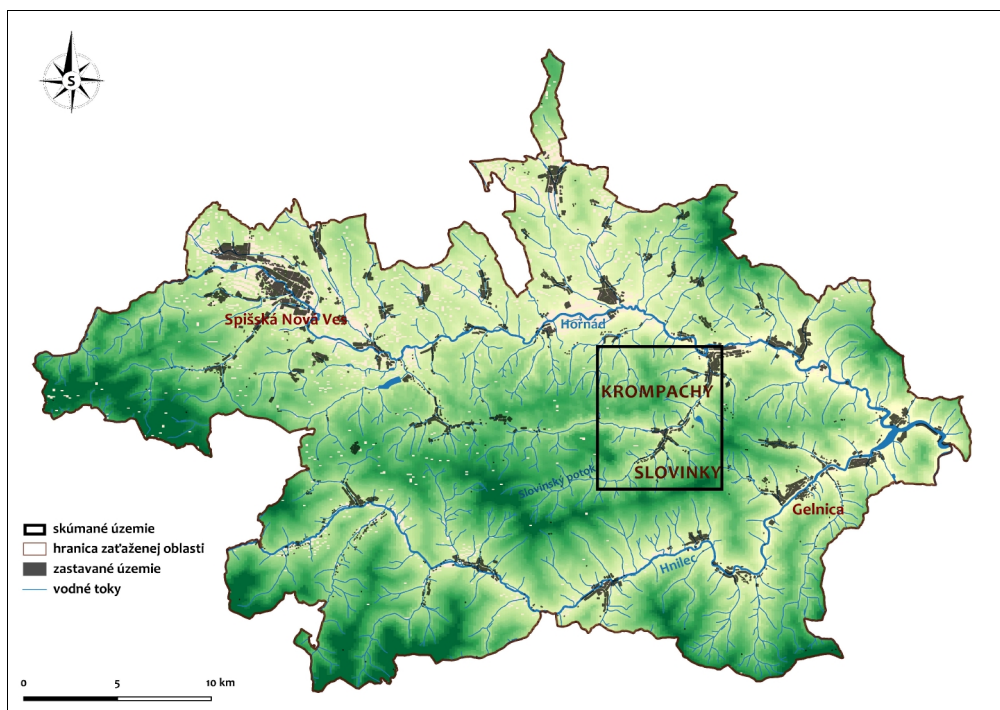
Prípravná fáza terénneho výskumu bola zameraná na vhodný výber odberových miest a určenie techniky odberu a výber skúmaných kovov. Pri odbere vzoriek vôd sme sa riadili metodikou uvedenou v STN EN ISO 5667-6: Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 6: Pokyny na odber vzoriek z riek a potokov. Túto normu sme použili, spoločne s ISO 5667-1, ISO 5667-2 a ISO 5667-3, ktoré sa zaoberajú návrhmi programov odberu vzoriek, technikami odberu, konzerváciou vzoriek a manipuláciou s nimi.

Počas terénnej fázy výskumu boli odobraté vzorky vody Slovinského potoka v piatich odberových miestach, ktoré sme si vytypovali v prípravnej fáze. Rozbor vzoriek bol vykonaný v akreditovanom skúšobnom laboratóriu MŽP SR pre geológiu a ŽP – Štátny geologický ústav Dionýza Štúra – Geoanalytické laboratórium Spišská Nová Ves, podľa STN EN ISO/IEC 17025:2005. Pri rozbere boli použité tieto akreditované skúšky – atómová emisná spektrometria a atómová absorpčná spektrometria. Kontrola správnosti laboratórnych techník v laboratóriu je okrem internej kontroly pravidelne zabezpečovaná systémom externej kontroly formou medzilaboratórnych porovnávacích skúšok s úspešnosťou viac ako 90 % z celého rozsahu pre všetky typy vôd. Jednotlivé odberové miesta boli zameriavané prenosným GPS v súradnicovom systéme WGS 84 a prepočítavané do systému JTSK.

V záverečnej fáze prebehlo spracovanie a analýza prevzatých a nových údajov, ich následná komparácia a sumarizácia výsledkov. Všetky štatistické operácie boli realizované v štatistickom programe R (R core team 2012), v užívateľskom rozhraní R studio. Za účelom zistenia vzťahov medzi kovmi bol vypočítaný korelačný koeficient. Pomocou klastrovej analýzy boli vytvorené skupiny ťažkých kovov na základe podobnosti. Jednofaktorová analýza rozptylu spolu s Tukeyho testom bola využitá pri testovaní rozdielov v koncentráciách ťažkých kovov medzi hodnotenými odbernými miestami na hladine významnosti $P < 0.05$ a $P < 0.01$. Štatistické dáta boli pred analýzou logaritmicky transformované. Pri záverečnom hodnotení boli použité aj grafické a digitalizačné metódy (využitie GIS produktu ArcView verzia 3.2x a podporných nadstavieb – X-Tools a ImageWarp).

Vymedzenie a charakteristika povodia Slovinského potoka

Podľa hydrologického členenia patrí oblasť Slovinského potoka do čiastkového povodia 4-32 Hornád a základného povodia 4-32-01 Hornád pod Hnilec (Obr. 2). Podľa typu režimu odtoku (Šimo a Zafko 1980) patrí do stredohorskej oblasti so snehovo-dažďovým typom režimu odtoku (akumulácia: XI-II, vysoká vodnosť: III-V, $Q_{max.}$: IV, $Q_{min.}$: I-II, IX-X, s mierne výrazným podružným zvýšením vodnosti koncom jesene a začiatkom zimy).



Obr. 2. Strednospišská zaťažená oblasť a skúmané územie v rámci povodia Slovinského potoka

Slovinský potok pramení v nadmorskej výške 1050 m n. m. na východnom svahu masívu Bukovca (1128 m n. m.), najvyššieho bodu Hnileckých vrchov. Plocha povodia Slovinského potoka dosahuje 78,59 km². Vodný tok je autochtónneho typu, od prameňa tečie najprv smerom na východ, v centre intravilánu obce Slovinky sa otáča na severovýchod a pokračuje do mesta Krompachy, kde v nadmorskej výške 367 m n. m. ústí do Hornádu. Na celej svojej dĺžke 16,1 km príberá prevažne krátke, málo výdatné prítoky bočných svahových dolín. Najvýznamnejším ľavostranným prítokom je v centre intravilánu Sloviniek Poráčsky potok. V intraviláne mesta Krompachy bol potok z časti umelo preložený v prvej polovici 20. storočia a zregulovaný kamennou dlažbou.

Riečna sieť Slovinského potoka je odrazom geologických, geomorfologických a klimatických pomerov v povodí. Jej vlastnosti determinujú odtokové pomery v povodí (základné charakteristiky riečnej siete sú uvedené v tabuľke 1). Popri ploche povodia je dôležitým parametrom, ktorý charakterizuje usporiadanie riečnej siete, tzv. fiktívna šírka povodia (alebo vyvinutosť riečnej siete), ktorá sa vyráta ako pomer plochy povodia a dĺžky povodia. V tomto prípade má hodnotu 4,88. Tvar povodia sa vyráta ako pomer fiktívnej dĺžky povodia a dĺžky údolia. Táto hodnota je pre územie Slovinského potoka 0,3 čo poukazuje na pomerne pretiahnuté povodie s menšou zbernou plochou. Ďalšími dôležitými parametrami povodia sú

výškové a sklonitostné pomery povodia. Nadmorská výška rozhoduje o veľkosti a rozdelení zrážok, teplote vzduchu a pod. Sklon ovplyvňuje pomer odtečenej vody, veľkosť zásob v povodí, rýchlosť povrchového odtoku a pod. (jednotlivé parametre sú uvedené v tabuľke 2). Najvhodnejšími ukazovateľmi bilancie povodia Slovinského potoka je priemerný odtok z plochy povodia a zrážky, ktoré tento odtok spôsobili (Tab. 3). Z ďalších charakteristík sú v tabuľke 3 uvedené: odtokový koeficient ϕ (podiel výšky odtoku vody a výšky príslušných zrážok spôsobujúcich tento odtok), špecifický odtok q^a (objem odtoku vody z jednotky plochy povodia za jednotku času) a priemerný prietok Q_a , ktorý udáva celkový potenciál povrchového odtoku. Vodomerňa stanica na Slovinskom potoku sa nachádza v katastrálnom území mesta Krompachy, 500 m od jeho ústia do Hornádu v nadmorskej výške 367,5 m n. m. Dlhodobé priemerné mesačné prietoky sú základnou režimovou charakteristikou vodnosti v priebehu roka. V tabuľke 4 sú uvedené dlhodobé priemerné mesačné prietoky a ročný prietok za obdobie 1931 – 1980. Vysoké prietoky sú od marca do mája, čo svedčí o značnom podiele odtoku z topiaceho sa snehu. Veľmi výrazné sú minimá na toku v januári a v septembri a októbri, kedy ukazovatele klesajú na 49 – 57 % celoročného priemeru.

Tab. 1. Charakteristiky povodia Slovinského potoka

tok profil	plocha povodia v km ² (A)	dĺžka údolia v km (L)	vyvinutosť riečnej siete (A.L ⁻¹)	charakteristika tvaru povodia (A.L ⁻²)
Slovinský potok	78,59	16,1	4,88	0,3

Zdroj: Lehotský et al. 2002

Tab.2. Výškové a sklonitostné pomery povodia Slovinského potoka

tok profil	plocha povodia v km ² (A)	dĺžka údolia v km (L)	najvyšší bod povodia v m n. m.	výška prameňa v m n. m.	najnižší bod povodia v m n. m.	spád v m	sklon v %
Slovinský potok	78,59	16,1	1127	1050	367	683	4,24

Zdroj: Lehotský et al. 2002

Tab.3. Bilančné charakteristiky povodia Slovinského potoka v Krompachoch za obdobie 1931-1980

tok profil	plocha povodia v km ² (A)	zrážky v mm	odtok v mm	rozdiel v mm	odtokový koeficient ϕ	špecifický odtok q^a v l.s ⁻¹ .km ⁻²	priemerný prietok Q_a v m ³ s ⁻¹
Slovinský potok	78,5	855	197	658	0,23	6,23	0,49

Zdroj: Lehotský et al. 2002

Tab.4. Dlhodobé priemerné mesačné prietoky a ročný prietok v m³.s⁻¹ v Krompachoch za obdobie 1931-1980

tok	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	Rok
Slovinský potok	0,44	0,33	0,24	0,30	0,71	0,99	0,72	0,6	0,53	0,43	0,28	0,27	0,49

Zdroj: Lehotský et al. 2002

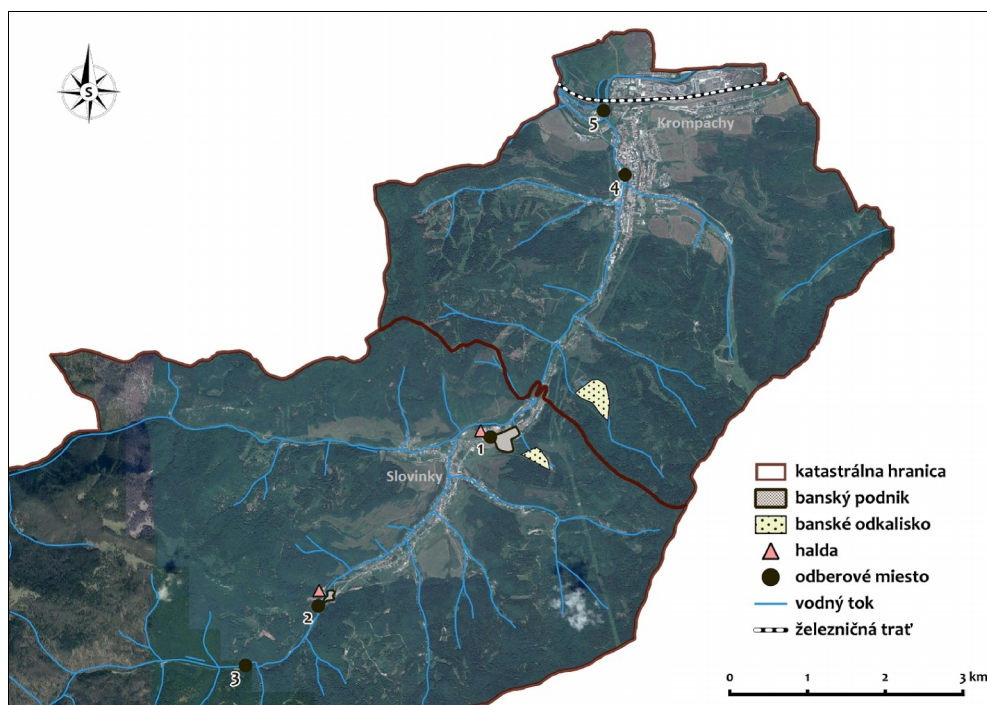
Výsledky

Hodnoty ťažkých kovov stanovené na 5 hodnotených lokalitách (Tab. 5) počas 4 rôznych rokov sú uvedené v Tabuľke 6. Hodnoty Cd, Ni, Cr a Co na všetkých hodnotených miestach počas celej doby výskumu neprekračovali limitnú hodnotu. Hodnoty Cu, Pb a Fe prekračovali povolený limit iba v roku 2011 a iba na lokalite č. 3. V roku 2011 bola pôda v okolí odbernej lokality č. 3 narušená z dôvodu ťažby dreva, čo spôsobilo uvoľnenie ťažkých kovov z hald umiestnených v okolí tejto lokality (Angelovičová a Fazekašová 2014).

Extrémne vysoká a nadlimitná hodnota As bola zistená vo všetkých hodnotených rokoch na lokalite č. 1. Limit prekračujúce hodnoty arzénu boli zistené v rokoch 2011 a 2013 na lokalitách č. 4 a č. 5. Vysoké obsahy arzénu nemusia byť nevyhnutne spojené s banskou činnosťou v regióne. Hronec et al. (1992) zistili, že stúpajúce hodnoty arzénu na území stredného Spiša môžu mať geochemický pôvod. Pri porovnaní priemerných obsahov ťažkých kovov (priemerná hodnota zo všetkých odberných miest) medzi rokmi 1986 a 2013 bolo zistené, že hodnoty Cu, As, Cd, Ni, Fe a Co klesli 1.6; 1.35; 1.16; 3.1; 5.2 a 3 krát, v tomto poradí. Priemerná hodnota Pb sa medzi týmito rokmi zvýšila 1.16 krát.

Tab. 5. Parametre odberových miest

odberové miesto	1	2	3	4	5
nadmorská výška	449 m n. m.	527 m n. m.	558 m n. m.	382 m n. m.	357 m n. m.
zemepisná šírka	48° 52' 961"	48° 51' 803"	48° 51' 397"	48° 54' 741"	48° 55' 201"
zemepisná dĺžka	20° 51' 038"	20° 49' 163"	20° 48' 402"	20° 52' 425"	20° 52' 236"
popis miesta	výtok z bane	baňa Dorotea	nad vodárňou	Lorencova ulica	sútok Slovinského potoka a Hornádu



Obr. 3. Poloha odberových miest na Slovinskom potoku

Tab. 6. Hodnoty ťažkých kovov stanovené na 5 odberových miestach Slovinského potoka počas 4 rokov

rok	hodnotená lokalita	Cu [µg/l]	As [µg/l]	Cd [µg/l]	Pb [µg/l]	Ni [µg/l]	Cr [µg/l]	Fe [mg/l]	Co [µg/l]
1986	1	14	251	0.3	5	7	2	0.57	7
2010		0,5	176	0.3	5	2	2	0.19	3
2011		4	237	0.3	16	2	2	0.634	2
2013		2	168	0.5	9	2	2	0.104	2
1986	2	10	12	0.4	5	13	2	0.6	7
2010		3	3	0.3	5	2	2	0.059	2
2011		6	3	0.3	5	2	2	0.06	2
2013		3	1	0.3	5	2	2	0.02	2
1986	3	2	2	0.3	5	2	2	0.03	2
2010		2	1	0.3	5	2	2	0.067	2
2011		148	2	1.2	95	3	2	6.56	2
2013		4	1	0.3	5	2	2	0.013	2
1986	4	2	16	0.3	5	6	2	0.08	3
2010		3	14	0.3	5	2	2	0.092	3
2011		7	33	0.3	5	2	2	0.085	2
2013		4	26	0.3	5	2	2	0.057	2
1986	5	2	21	0.8	5	3	2	0.04	11
2010		4	14	0.4	5	2	2	0.103	2
2011		5	26	0.3	5	2	2	0.1	2
2013		5	27	0.4	5	2	2	0.049	2
limitná hodnota*		20	20	1.5	20	20	10	2	5

*Zákon č. 269/2010 Z.z.

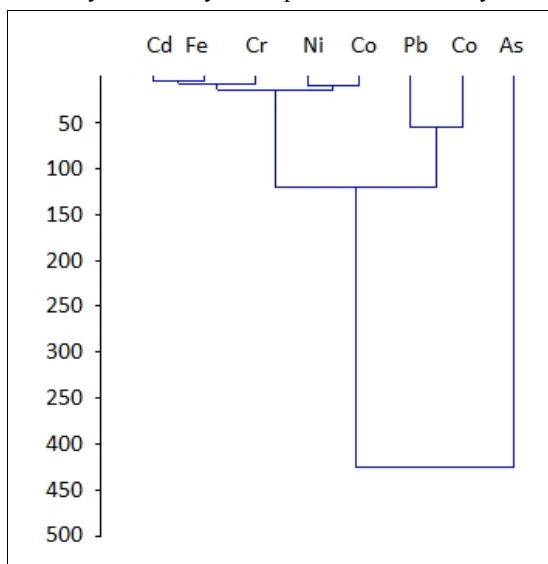
Bolo niekoľkokrát preukázané, že signifikantná pozitívna korelácia medzi ťažkými kovmi indikuje ich rovnaký pôvod (Yi et al. 2011, Li et al. 2008). Arzén signifikantne pozitívne koreloval len s Fe na hladine významnosti $P < 0.05$. Cd, Pb, Ni a Cr medzi sebou navzájom signifikantne pozitívne korelovali. Fe korelovalo so všetkými sledovanými kovmi s výnimkou Cd a Cr. Signifikantná pozitívna závislosť bola zistená medzi Co-Pb ($p < 0.01$) a Co-Ni na hladine významnosti $P < 0.01$. Ako bolo vyššie uvedené, je náročné rozoznať či pôvod arzénu je geochemického alebo antropogénneho pôvodu. Navyše, podľa klastrovej analýzy boli ťažké kovy rozdelené do troch skupín (Obr. 4), kde jedna skupina zahŕňala iba arzén, čo indikuje, že jeho vzťah s ostatnými kovmi je odlišný. Podľa štúdie zameranej na hodnotenie kontaminácie pôdy v strednospišskej oblasti nebola preukázaná žiadna korelačná závislosť medzi arzénom a ostatnými sledovanými toxickými prvkami, čo opäť poukazuje na jeho špecifické postavenie (Demková et al. 2017).

Tab. 7. Korelačné závislosti medzi hodnotenými ťažkými kovmi

	As	Cd	Pb	Ni	Cr	Fe	Co
Cu	0.08	0.29	0.30	0.40	0.33	0.43*	0.01
As		0.05	0.16	0.07	0.03	0.44*	0.27
Cd			0.55*	0.50*	0.44*	0.37	0.07
Pb				0.48*	0.48*	0.63*	0.79**
Ni					0.46*	0.46*	0.53*
Cr						0.33	0.30
Fe							0.31

*p<0.05; **p<0.01

Jednofaktorová analýza rozptylu bola použitá za účelom zistenia rozdielov v hodnotách ťažkých kovov medzi hodnotenými lokalitami. Výsledky sú uvedené v tabuľke 8. Podľa výsledkov je zrejmé, že hodnoty toxických prvkov medzi jednotlivými odbernými lokalitami neboli signifikantne odlišné, teda môžeme konštatovať, že miera znečistenia je na celom hodnotenom toku podobná. Preukázané boli signifikantné rozdiely v obsahu arzénu, a to medzi všetkými hodnotenými lokalitami. Využitím Tukeyho testu bolo zistené, že hodnoty arzénu na lokalite č. 1 boli významne vyššie v porovnaní s ostatnými lokalitami.



Obr. 4. Klastrová analýza ťažkých kovov stanovených vo vzorkách vody

Tab. 8. Výsledky jednofaktorovej analýzy rozptylu znázorňujúce rozdiel v hodnotách ťažkých kovov medzi hodnotenými lokalitami

	faktor	Df	F-hodnota	p-hodnota
Cu	hodnotená lokalita	4	0.886	0.49
As		4	0.893	5.76e ⁻¹⁰ ***
Cd		4	0.743	0.57
Pb		4	0.932	0.47
Ni		4	0.512	0.72
Cr		4	1	0.43
Fe		4	0.851	0.51
Co		4	0.473	0.75

***p<0.001

Diskusia

Prvou stanovenou hypotézou bol predpoklad, že obsah ťažkých kovov nameraný na piatich odberných miestach na Slovinskom potoku bude v roku 1986, teda počas aktívnej prevádzky banských a spracovateľských kapacít, vyšší ako v rokoch 2010, 2011 a 2013, teda viac ako 17 rokov po vyťažení posledného vagónu s rudou z bane a po útlme aj hutníckej činnosti v povodí Slovinského potoka. Tento predpoklad sa v prevažnej miere potvrdil na lokalitách 1, 2, 3, čo poukazuje na kumulatívny efekt obsahu ťažkých kovov vo vodnom toku vplyvom antropogénnej činnosti a geochemického pôvodu. Anomálie boli namerané v prípade Cu, Pb a Fe v roku 2011 v relatívne zachovanom lesnom prostredí na lokalite Nad vodárňou (lokalita 3). Enormné zvýšenie hodnoty týchto prvkov v tejto lokalite pripisujeme najmä začiatku rozsiahlej lesohospodárskej činnosti nad touto lokalitou a zdokumentovanému pohybu mechanizmov v blízkosti ako aj priamo vo vodnom toku Slovinského potoka, čo zrejme obnažilo aj skalný podklad a spôsobilo vyplavenie materiálu s neďalekých hál. Na lokalitách 4 a 5, na dolnom toku Slovinského potoka v intraviláne mesta Krompachy bol obsah Cu, As, Fe v rokoch 2010, 2011 a 2013 vyšší ako v roku 1986. Tento stav je spôsobený antropogénnou činnosťou človeka (vznikom divokých skládok odpadu v blízkosti vodného toku, úpravou brehov) a eróziou a vyplavovaním materiálu s hál a násypov v povodí nad lokalitami 4 a 5.

Druhou hypotézou bol predpoklad, že najvyššie hodnoty obsahu ťažkých kovov budú vo všetkých rokoch namerané na lokalite 1 (výtok banských vôd do Slovinského potoka), keďže ide o najväčší zdroj kontaminantov v povodí. Tento predpoklad sa v plnej miere potvrdil s výnimkou spomínanej anomálie v prípade Cu, Pb a Fe v roku 2011 na lokalite 3. Výtok banských vôd na povrch tak predstavuje výrazný kontaminačný faktor pre povrchové vodné toky aj po útlme banskej činnosti. Vznik kyslých banských vôd interakciou pyritu s vodou a/alebo kyslíkom je hlavným zdrojom zhoršenia kvality vôd v rudných a banských regiónoch (Bálintová et al. 2009).

Treťou hypotézou bol predpoklad, že z hľadiska konkrétnych ťažkých kovov budú mať najväčšie zastúpenie As a Cu, ktoré sú na základe viacerých štúdií dominantnými prvkami, zaťažujúcimi jednotlivé zložky krajiny v povodí Slovinského potoka. Tento predpoklad sa v plnej miere potvrdil na všetkých sledovaných lokalitách, čo poukazuje jednak na geochemický pôvod a jednak na dominantné zastúpenie týchto prvkov v haldách, vyplývajúce zo zrudnenia horninových komplexov s obsahom týchto prvkov. As a Cu boli vo výraznej miere počas aktívnej prevádzky vedľajšími produktmi spracovateľského priemyslu pri výrobe medi, unikajúcimi do ovzdušia, vôd a pôdy z továrenských prevádzok (Krokusová et al. 2013).

Štvrtou hypotézou bol predpoklad, že obsah toxických prvkov v Slovinskom potoku bude v porovnaní s inými tokmi Strednospišskej oblasti – Smolník a Rudniansky potok (Bálintová et al. 2009, Angelovičová a Fazekašová 2014) nižší, keďže aj počet zdrojov kontaminácie ako aj úroveň ich aktivity je v povodí Slovinského potoka nižšia. Tento predpoklad sa nám potvrdil v prípade jednej lokality potoka Smolník (Bálintová et al. 2009). S výnimkou As sú hodnoty väčšiny ostatných prvkov na potoku Smolník podstatne vyššie v okolí výtoku banských vôd šachty Pech, čo svedčí o vyššom obsahu kovov v kyslých banských vodách uvedenej lokality. Hodnoty ťažkých kovov na ostatných lokalitách potoka Smolník sú porovnateľné s hodnotami na Slovinskom potoku. Hodnoty ťažkých kovov na Rudnianskom potoku sú nižšie (Angelovičová a Fazekašová 2014).

Poslednou hypotézou bol predpoklad, že pri štatistickom hodnotení (Spearmanov korelačný koeficient, klastrová analýza) vzťahov medzi vybranými toxickými prvkami, ktoré poukazujú na ich podobný/odlišný pôvod bude mať arzén v skupine hodnotených prvkov špecifické postavenie (napr. nebude s ostatnými kovmi signifikantne korelovať). Výsledky korelačnej analýzy poukázali na signifikantné závislosti medzi kovmi, ktoré sa do prostredia dostali ako výsledok dlhodobej banskej činnosti v regióne zameranej najmä na produkciu a spracovávanie medi (Lastincová et al. 2003, Wilcke et al. 2001). Michaeli a Boltiziar (2010) uvádzajú, že pri produkcii medi sa do prostredia ako sprievodný materiál dostávajú aj reziduá iných kovov ako nikel, železo, olovo alebo zinok. Klastrová analýza potvrdila blízky vzťah týchto kovov. Naopak v prípade arzenu bola preukázaná závislosť len so železom.

Ako už bolo vyššie uvedené znečistenie zložiek prostredia arzénom na území stredného Spiša nie je spôsobené len antropogénnym vplyvom, ale má aj geochemický pôvod (Čurlík a Ševčík 1999). V štúdiách zameraných na hodnotenie kontaminácie pôdy sa taktiež nepotvrdili korelačné závislosti medzi arzénom a ďalšími hodnotenými kovmi (Demková et al. 2017).

Záver

V práci sme predstavili analýzu obsahu ťažkých kovov na 5 odberových miestach počas 4 rokov na vodnom toku Slovinského potoka v Strednospišskej zaťaženej oblasti. Celkový obsah ťažkých kovov sa po útlme banských a spracovateľských prevádzok v povodí vodného toku znížil s výnimkou dvoch anomálií, popísaných a zdôvodnených v texte práce. Extrémne vysoká nadlimitná hodnota arzenu na lokalite 1 vo všetkých rokoch je výsledkom kombinácie antropogénnej činnosti a geochemického pôvodu. Takisto nebola preukázaná žiadna korelačná závislosť medzi arzénom a ostatnými sledovanými toxickými prvkami, čo poukazuje na jeho špecifické postavenie.

Výsledky práce dopĺňajú mozaiku analýz zaťaženia vodných tokov Strednospišskej oblasti ťažkými kovmi. Rozširujú tak penzum informácií o miere zaťaženia jednotlivých zložiek životného prostredia tejto oblasti. Sú využiteľné pre potreby samosprávy a relevantných štátnych inštitúcií pri plánovaní rozvoja a revitalizačných aktivít povodia Slovinského potoka. Komparácia výsledkov s obdobím aktívnej prevádzky banských a úpravárenských kapacít doposiaľ v tejto oblasti nebola realizovaná, použitie štatistických operácií umožnilo pochopiť vzájomnú závislosť a vzťahy medzi jednotlivými ťažkými kovmi. Vzhľadom na stav všetkých zložiek životného prostredia je nevyhnutné vykonávať v oblasti pravidelný monitoring, ktorý by včas odhalil prípadné ohrozenie a umožnil tak prijať adekvátne opatrenia na nápravu tohto stavu.

Na zistené skutočnosti v práci je možné nadviazať vo viacerých oblastiach. Plánujeme rozšíriť výskum obsahu ťažkých kovov na ďalších vodných tokoch v Strednospišskej zaťaženej oblasti, ako aj pokračovať vo výskume na samotnom Slovinskom potoku. Na tomto území sa chceme zamerať aj na analýzu obsahu ťažkých kovov v samotných riečnych sedimentoch vodného toku ako aj v pôde v povodí Slovinského potoka, za účelom získania komplexnejšieho pohľadu na zaťaženie územia ťažkými kovmi.

Literatúra

- ANDRÁŠ, P., KRŇÁČ, J., KHARBISH, S., DIRNER, V. 2013: Distribúcia vybraných ťažkých kovov na haldových poliach Cu ložiska Ľubietová. In: *Mineralia Slovaca*, 45, 213-224.
- ANGELOVIČOVÁ, L., FAZEKAŠOVÁ, D. 2014: Contamination of the soil and water environment by heavy metals in the former mining area of Rudňany (Slovakia). *Soil and Water Research*, 9, 1, 18-24.
- ÁRVAY, J., DEMKOVÁ, L., HAUPTVOGL, M., MICHALCO, M., BAJČAN, D., STANOVIČ, R., TOMÁŠA, J., HRSTKOVÁ, M., TREBICHALSKÝ, P. 2017: Assessment of environmental and health risks in former polymetallic ore mining and smelting area, Slovakia. Spatial distribution and accumulation of mercury in four different ecosystems. *Ecotoxicology and environmental safety*, 144, 236-244.
- BAJTOŠ, P., ZÁHOROVÁ, E. 2007: *Monitoring vplyvov na životné prostredie v rizikových oblastiach ťažby magnезitu, mastenca a rudných ložísk, Čiastková správa za rok 2007*. Spišská Nová Ves: MŽP SR a ŠGÚ DŠ, 1-35.
- BÁLINTOVÁ, M., JUNÁKOVÁ, N., SINGOVSKÁ, E. 2009: Hodnotenie kvality vody v potoku Smolník ovplyvnenej starými banskými záťažami. In *12th International Scientific Conference*, Brno: AN CERM, 14-27.
- ČECH, V., KROKUSOVÁ, J. 2017: Utilisation of environmentally degraded area by mining activity: a case study of Slovinky tailing impoundment in Slovakia. *Acta Montanistica Slovaca*, 22, 2, 180-192.
- ČECH, V., KROKUSOVÁ, J., KUNÁKOVÁ, L. 2011: Odkalisko Slovinky pri Krompachoch (geografické aspekty environmentálnej záťaže). *Folia geographica*, 52, 17, 64-81.

- ČURLÍK, J., ŠEFČÍK, P. 1999: *Geochemical Atlas of the Slovak Republic*. Part V: Soils. Bratislava: Ministry of Environment.
- DEM KOVÁ, L., ÁRVAY, J., BOBULSKÁ, L., TOMÁŠ, J., STANOVIČ, R., LOŠÁK, T., HARANGOZO, L., VOLLMANNOVÁ, A., BYSTRICKÁ, J., MUSILOVÁ, J., JOBBÁGY, J. 2017: Accumulation and environmental risk assessment of heavy metals in soil and plants of four different ecosystems in a former polymetallic ores mining and smelting area (Slovakia). *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. 52, 479-490.
- DEM KOVÁ, L., JEZNÝ, T., BOBULSKÁ, L. 2017: Assessment of soil heavy pollution in former mining area – before and after the end of mining activities. *Soil and Water Research*, in press.
- FRANKOVÁ, H., ČMIELOVÁ, L., KLIMKO, T., LACKOVÁ, E., ANDRÁŠ, P., 2012: Comparative study of Cu, As and Sb toxicity between dump-fields of abandoned Cu-deposits Lúbetová and Špania Dolina (Central Slovakia). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7, 4, 79-88.
- HRONEC, O., TOTTH, J., HOLOBRADÝ, K. 1992: *Exhaláty vo vzťahu k pôdam a rastlinám východného Slovenska*. Bratislava: Príroda, a. s.
- HUDÁČEK, J. 1998: *Komplexné geologické zhodnotenie útlmového ložiska Rudňany*. Bratislava: MŽP SR a Geologická služba SR.
- HUDÁČEK, M., ANTAL, B., ZLOCHA, M. 2000: Vplyv banskej činnosti na vybrané zložky životného prostredia v oblasti stredného Spiša. *Podzemná voda*, 2, 198-209.
- JESENSKÝ, M. 2016: *Dějiny alchymie v Českých zemích, v Polsku a na Slovensku*. Bratislava: CAD Press.
- JURKOVÍČ, L., ŠOTTNÍK, P., LALINSKÁ-VOLEKOVÁ, B., VOZÁR, J., PETRÁK, M., TÓTH, R. 2012: Identifikácia environmentálnych rizík z antropogénnych sedimentov (Odkalisko-Slovinky). *Sanační technologie*, 15, 125-127.
- KROKUSOVÁ, J., ČECH, V., KUNÁKOVÁ, L., BLAHÚT, M. 2013: Impact of air pollution on the environment in the Krompachy town (Slovakia). In: *13th international multi-disciplinary scientific geoconference SGEM 2013*, 651-658.
- KUBINSKÝ, D., WEIS, K., LEHOTSKÝ, M., FUSKA, J., POKRÝVKOVÁ, J. 2015: Volumetric and landscape-ecological diachronic analysis of a historical artificial water reservoir Evička in Slovakia. *Jordan journal of earth and environmental sciences*. 7, 2, 95-102.
- KUBINSKÝ, D., WEIS, K., LEHOTSKÝ, M. 2014: Changes in ecosystems and retention characteristics of the Belianska water reservoir and surrounding area. *Geografický časopis*, 66, 161-175.
- KUČEROVÁ, G., OZDÍN, D., LALINSKÁ-VOLEKOVÁ, B. 2013: Primárny nízkotermálny delafossit (CuFeO₂) z odkaliska Slovinky (Slovensko). *Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze*, 21, 1, 78-83.
- LASTINCOVÁ, J., POSPIŠILOVÁ, L., MATUSKOVA, L., KADEROVA, E., BEINROHR, E. 2003: Determination of total contents of Cd, Pb, Cr, Ni, As, Cu, Zn, Co, V, Mo in some Slovak soils. *Chemical Papers*, 57, 131-135.
- LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A., HANUŠIN, J. 2002: *Hydroekologický plán povodia Hornádu. Ekologické hodnotenie pre časť „C“ – ochrana vodného bohatstva*. Bratislava: Ekovid.
- LEPEŠKA, T. 2010: *Integrovaný manažment povodí v horských a podhorských oblastiach*. Zvolen: TU vo Zvolene.
- LEPEŠKA, T. 2013: Hydric potential of selected river basins in Slovakia. *Ecology & Hydrobiology*, 13, 201-209.
- LEPEŠKA, T. 2016: The Impact of Impervious Surfaces on Ecology and Health in Urban Ecosystems of Banská Bystrica (Slovakia). *Soil & Water Research*, 11, 1, 29-36.
- LI, W., ZHANG, X., WU, B., SUN, S., CHEN, Y., PAN, W., ZHAO, D., CHENG, S. 2008: A comparative analysis of environmental quality assessment methods for heavy metal-contaminated soils. *Pedosphere*, 18, 3, 344-352.

- LIŠČÁK, P., KLUKANOVÁ, A., JÁNOVÁ, V. 2011: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky, Vplyv ťažby na životné prostredie. Bratislava: ŠGÚ DŠ.
- MICHAELI, E., BOLTIŽIAR, M. 2010: Selected localities of environmental loads in environmentally loaded areas in Slovakia. *Geographical Studies*, 52, 638-643.
- NEETU, S., DEBAJIT, S., JYOTI, P., PARTHA, D., DANDADHAR, S. 2016: Impact of acid mine drainage on hematological, histopathological and hemotoxic effects in golden mahaseer, *Tor putitora*. *Journal of Environmental Biology*, 37, 4, 509-515.
- PETRÁK, M., KUČEROVÁ, G., TÓTH, R., LALINSKÁ-VOLEKOVÁ, B., ŠOTTNÍK, P., JURKOVIČ, Ľ., VOZÁR, J., HILLER, E. 2011: Mineralogické a geochemické hodnotenie materiálu odkaliska Markušovce. *Mineralia Slovaca*, 43, 4, 395-408.
- R CORE TEAM R., 2012: *A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- SINGOVSKÁ, E., BÁLINTOVÁ, M., DEMČÁK, S., PAVLIKOVA, P. 2017: Metal pollution indices of bottom sediment and surface water affected by acid mine drainage. *Metals*, 7, 8, 284.
- ŠIMO, E., ZAŤKO, M. 1980: Typy režimu odtoku. Mapa 1:500 000. In Mazúr, E., ed. *Atlas Slovenskej socialistickej republiky*. Bratislava: SAV a SÚGK.
- ŠOTTNÍK, P., JURKOVIČ, Ľ., VOZÁR, J., LALINSKÁ-VOLEKOVÁ, B. 2011: Geochemical and mineralogical evaluation of Slovinky tailing impoundment material (Slovakia). In *11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2011*, 375-380.
- TÓTH, R., HILLER, E., PETRÁK, M., JURKOVIČ, Ľ., ŠOTTNÍK, P., VOZÁR, J., PETKOVÁ, P. 2013: Tailings impoundments Markušovce and Slovinky: Application of the methodology for evaluation of impoundment sediments from ore processing on the model impoundments. *Mineralia Slovaca*, 45, 125-130.
- WILCKE, W., KRAUSS, M., KOBZA, J., ZECH, W. 2001: Quantification of anthropogenic lead in Slovak forest and arable soils along a deposition gradient with stable lead isotope ratios. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164, 303-307.
- YI, Y., YANG, Z., ZHANG, S. 2011: Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution*, 159, 10, 2575-2585.

Príspevok je súčasťou riešenia Grantového projektu KEGA č. 027PU-4/2017.

Adresy autorov:

PaedDr. Pavel Hronček, PhD.
Technická univerzita v Košiciach,
Fakulta BERG, Ústav zemských zdrojov,
Oddelenie montážneho a geoturizmu,
Nemcovej 32, 042 00 Košice
Slovensko
pavel.hroncek@tuke.sk

RNDr. Vladimír Čech, PhD.
Prešovská univerzita,
Fakulta humanitných a prírodných vied,
Katedra geografie a aplikovanej
geoinformatiky,
Ulica 17. Novembra 1, 081 16 Prešov
Slovensko
vladimir.cech@unipo.sk

RNDr. Juliana Krokusová, PhD.
Prešovská univerzita,
Fakulta humanitných a prírodných vied,
Katedra geografie a aplikovanej
geoinformatiky,
Ulica 17. Novembra 1, 081 16 Prešov
Slovensko
juliana.krokusova@unipo.sk

RNDr. Lenka Demková, PhD.
Prešovská univerzita,
Fakulta humanitných a prírodných vied,
Katedra ekológie,
Ulica 17. Novembra 1, 081 16 Prešov
Slovensko
lenka.demkova@unipo.sk