

VPLYV TOXICKÝCH LÁTOK NA ZDRAVIE A KVALITU PÔDY**THE INFLUENCE OF TOXIC ELEMENTS TO THE HEALTH
AND QUALITY OF SOIL***Lenka DEMKOVÁ¹ – Lenka BOBULSKÁ¹***ABSTRACT**

Nutrients content (Ca, Na, K, Mg) was determined in soil samples, sampled at three types of mining bodies – heaps of waste material, open mines and tailing pond. Activity of soil enzymes (urease, acid and alkaline phosphatase, FDA and β -glucosidase) was also determined at all sampling sites. Nutrient content analysis was carried out on an Agilent ICP-OES spectrometer 725 and the soil enzyme activity was determined according to valid methodologies under laboratory conditions. The aim of the study was to compare the nutrient content as well as the activity of soil enzymes between different types of mining bodies, to evaluate the total nutrient content on these environmentally loaded soils and also to analyse the relationship between nutrient content themselves and nutrient content and activity of soil enzymes. Comparing mining bodies types, the lowest values of urease and FDA was found at the heaps of waste material which were determined as the most acid. The values of nutrients ranged depend the sampling site. The highest values of Ca and Mg were found at the tailing pond sampling sites, the highest values of Na and Mg at the heaps of waste material.

KEYWORDS

nutrients, polluted soils, former mining areas, soil enzymes

Úvod

Zlá kvalita pôdy na území bývalých banských areálov, najmä v blízkosti banských diel je dlhodobou závažným environmentálnym problémom (ANTONIADIS et al., 2017; GUO et al., 2017). Predovšetkým vysoký obsah rizikových prvkov znižuje jej úrodnosť a v konečnom dôsledku ohrozuje nie len zdravie ekosystému aj ľudské zdravie (FAN et al., 2017; XIAO et al., 2017). Oblasť Slanských vrchov, v okolí obcí Zlatá Baňa, Červenica a tiež bývalej banskej osady Dubník, je veľmi bohatá z hľadiska výskytu banských diel, najmä početných otvorených banských štôlni a hald banského materiálu. Tie predstavujú hrozbu pre okolité prostredie, najmä z dôvodu uvoľňovania rizikových prvkov – ťažkých kovov, do pôdy, vody aj ovzdušia. Obec Nižná Slaná je pod neustálym vplyvom rizikových prvkov pochádzajúcich z odkaliska ležiaceho nad obcou. Kal, prachovej konzistencie, je pri silnejšom vetre prenášaný na väčšie vzdialenosti a zasahuje nie len svah pod odkaliskom, ale aj obec ležiacu pod ním. V početných štúdiách bolo zistené, že pôdy s vysokým obsahom rizikových prvkov majú nízky obsah živín a preto nie sú vhodné na poľnohospodárske účely (FAZEKAŠOVÁ a BOBULSKÁ, 2012). Zároveň bolo preukázané, že aj aktivita pôdných

¹ *Katedra ekológie, Fakulta humanitných a prírodných vied, Prešovská univerzita v Prešove, 17. novembra č. 1, 081 16 Prešov, e-mail: lenka.demkova@unipo.sk, lenka.bobulska@unipo.sk*

enzýmov veľmi rýchlo reaguje na environmentálny stres (HINOJOSA et al., 2008; KIZILKAYA et al., 2004). Práve z toho dôvodu je využívaná ako relatívne stabilný, vysoko senzitivný biochemický indikátor pôdneho znečistenia. Podľa ŠARAPATKU (2002) je enzymatická aktivita v úzkom vzťahu k dôležitým pôdnym charakteristikám vďaka čomu je ideálnym indikátorom kvality pôdy. Navyše je reakcia pôdných enzýmov na prítomnosť rizikových prvkov v pôde oveľa rýchlejšia v porovnaní s reakciou chemických a fyzikálnych pôdných parametrov (NANNIPIERI et al., 2002). Veľkou výhodou je aj finančná nenáročnosť, rýchlosť a efektivita pri ich stanovaní.

Ureáza patrí do skupiny enzýmov hydroláz, ktorý katalyzuje hydrolyzu močoviny na oxid uhličitý a amoniak (HASAN, 2000). V prírode je veľmi rozšírená, vyskytuje sa ako produkt mikroorganizmov, rastlín aj živočíchov. Pôdne fosfatázy katalyzujú rozklad organického fosforu a zohrávajú kľúčovú úlohu v mineralizačných procesoch. Fosfatázy delíme na kyslé a alkalické, pričom ich výskyt je ovplyvňovaný pôdnou reakciou (KUMAR et al., 2011). FDA prebieha za účasti širokého spektra enzýmov, ako sú lipázy, esterázy a proteázy (GASPAR et al., 2001). Veľmi výrazne sa na jej aktivite prejavuje kontaminácia pôd. β -glukozidáza zasahuje do kolobehu uhlíka ako hydroláza. Vysoký obsah toxických prvkov v pôde má na jej aktivitu inhibičný účinok (GARCIA a HERNÁNDEZ, 2000).

Cieľom práce bolo porovnať obsah živín (Na, Mg, Ca,) na 3 typoch lokalít (banská štôlna, odkalisko, halda banského materiálu), stanoviť a porovnať aktivitu pôdných enzýmov medzi 3 typmi lokalít a zistiť závislosti medzi jednotlivými živinami navzájom ako aj ich vzťah k aktivite pôdných enzýmov.

MATERIÁL A METÓDY

Charakteristika výskumných lokalít

Za účelom výskumu boli vybraté bývalé banské areály, ktoré sú dodnes poznačené intenzívnou banskou činnosťou, ktorá tu prebiehala v minulosti. Opustené banské škôlne, haldy banského materiálu a odkaliská sú neustálym zdrojom rizikových prvkov. V obci Zlatá Baňa začala banská činnosť zameraná na ťažbu zlata už v 16. storočí. Následne bola prerušená a pokusy o jej obnovu v rokoch 1730-1861 a neskôr aj okolo roku 1989 neboli úspešné. O týchto pokusoch svedčia len početné vyhlbené štôlne, kde prebiehali prieskumné práce.

Dubnické opáľové bane boli známe vďaka drahému opálu, ktorý sa v nich ťažil už od konca 16. storočia. Až do objavenia nálezísk opálu v Mexiku a Austrálii v 19. storočí, boli Dubnické opáľové bane jediným náleziskom na svete (BUŤKOVIČ, 1970).

Nižná Slaná je stará banícka obec, v ktorej sa ťažilo najmä železo, drahé kovy a ortuť. Banské aktivity sa tu rozvinuli najmä počas 12. a 13. storočia, keď boli do obce uhorskými kráľmi pozývaní kolonisti – banskí špecialisti z Nemecka. V obci bola ťažba železnej rudy ukončená až v roku 2008 vďaka čomu je považovaná za posledné miesto na Slovensku, kde ťažba tejto rudy prebiehala.

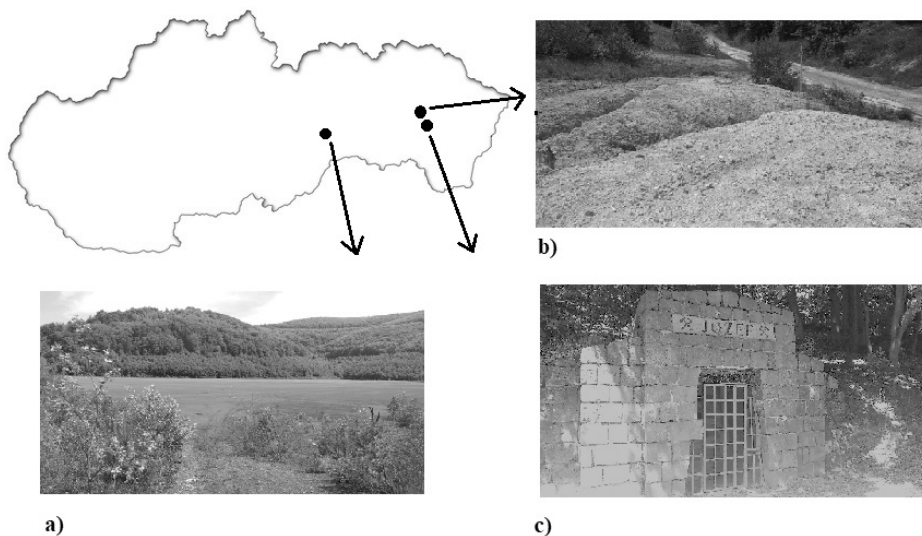
Odber a spracovanie materiálu

Vzorky pôdy (0-10 cm) boli odobrané v letných mesiacoch v roku 2017 z 27 lokalít nachádzajúcich sa v okolí banských oblastí v katastrálnom území obce Zlatá Baňa,

Červenica a Nižná Slaná (Východné Slovensko). Vzorky boli odobrané z odkaliska a jeho okolia (n=9) (Obrázok 1), z otvorených banských štôlni (cca 1 m od vstupu, smerom do vnútra štôlne) (n=9) a z hald banského materiálu (n=9) (Obrázok 1).

Na každej z vybraných lokalít bolo odobraných cca 500 g pôdy z plochy 1m². Pôda bola umiestnená do plastového vrečka a premiestnená do laboratórnych podmienok. Následne bola pôda ručne očistená od odumretých častí rastlín, vysušená pri laboratórnej teplote, preosiata (<2mm), zhomogenizovaná a uskladnená do analýzy (-20°C).

Pôdna reakcia (pH) bola stanovená vo všetkých vzorkách nasledovne: 5g pôdy bolo vpravených do 50mL plastovej nádoby, doplnené 25mL 0,01M roztokom CaCl₂. Po hodine miešania bolo merané pH pomocou prístroja InoLab pH 720-WTW. Obsah živín bol stanovený pomocou prístroja ICP-OES Agilent 720 (Agilent Technologies, Germany). Aktivita kyslej (KF) a zásaditej fosfatázy (ZF) bola stanovená podľa GREJTOVSKÉHO (1991), aktivita pôdnej ureázy (URE) podľa KHAZIEVA (1976), aktivita pôdnej glukozidázy (BG) podľa EIVAZI a TABATABAI (1988) a FDA podľa GREENA et al. (2006). Všetky štatistické operácie boli vykonané v programe STATISTICA 12 (©TIBCO Statistica™). Obsah živín ako aj obsah rizikových prvkov bol stanovený na spektrometri Agilent ICP-OES 725 (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA) s axiálnou plazmovou konfiguráciou a s automatickým vzorkovačom SPS-3 (Agilent Technologies, GmbH, Nemecko).



Obrázok 1. Lokalizácia výskumných lokalít. a) Odkalisko Nižná Slaná, b) Halda banského materiálu v katastri obce Zlatá Baňa, c) Vstup do bane v lokalite Dubník. (Foto: Lenka Demková.)

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Obsah rizikových prvkov stanovených na jednotlivých typoch lokalít spolu s limitnými hodnotami určenými zákonom NR SR č. 220/2004 Z.z je uvedený

v Tabuľke 1. Obsah As dosahoval najvyššie hodnoty na odkalisku, pričom limitná hodnota As bola prekročená aj na haldách banského materiálu. Obsah Cd bol prekročený na všetkých hodnotených lokalitách. Najvyššia hodnota Cd, ktorá 36 krát prekročovala povolený limit bola zistená vo vzorkách pôdy v okolí odkaliska Nižná Slaná. Priemerný obsah medi dosahoval nadlimitné hodnoty na odkalisku aj na haldách banského materiálu, a priemerný obsah zinku prekročoval limitnú hodnotu len na halde banského materiálu.

Popisná štatistika vyjadrujúca obsah živín na jednotlivých typoch lokalít a aktivitu pôdných enzýmov je uvedená v Tabuľke 2. Hodnoty pH sa pohybovali od 3,6-7,4 v banských štôľňach, od 3,3-3,4 na haldách banského materiálu a od 6,1-7,5 v okolí odkaliska. Podľa klasifikácie ČURLÍKA a ŠEFČÍKA (1999) patria pôdy z banských štôľni medzi extrémne kyslé až alkalické, pôdy na haldách banského materiálu medzi extrémne kyslé a pôdy v okolí odkaliska medzi slabokyslé až alkalické. Bolo niekoľkokrát preukázané, že na zafažených pôdach s vysokým obsahom toxických elementov dochádza k poklesu pôdnej reakcie (ALOWAY, 2010; HOHL a VARMA 2010). Najvyššie priemerné hodnoty Ca, K a Mg boli zistené na odkalisku a v jeho okolí. V porovnaní s výsledkami FRAC et al. (2016), ktorí sledovali obsah týchto živín v kale z odkaliska, kde sa priemerné hodnoty Ca, Mg a K pohybovali od 4110-4560 mg.kg⁻¹, 6610-6900 mg.kg⁻¹ a 10310-12510 mg.kg⁻¹, v tomto poradí, boli nami získané hodnoty Ca a Mg v okolí odkaliska boli podstatne vyššie, pričom priemerná hodnota K bola viac ako o polovicu nižšia. Najvyššie hodnoty dusíka boli zaznamenané na haldách banského materiálu. V porovnaní s nezaťaženými pôdami, majú znečistené pôdy málo živín, čo sa automaticky negatívne prejavuje na rastlinnej produkcii (ZHANG et al., 2011).

Bolo niekoľkokrát preukázané, že vysoký stupeň kontaminácie prírodného prostredia sa negatívne prejavuje aj na aktivite pôdných enzýmov (OLIVEIRA a PAMPULHA, 2006; WANG et al., 2008). Aktivita pôdných enzýmov bola na všetkých hodnotených lokalitách veľmi nízka, najmä na haldách dosahovala extrémne nízke hodnoty. V porovnaní s haldami banského materiálu na území stredného Spiša, kde sa hodnoty ureázy pohybovali od 0.02-0.57 mg NH₄⁺ -Ng⁻¹ 24⁻¹, hodnoty kyslej fosfatázy od 26-148 mg P g⁻¹ 3h⁻¹ a hodnoty zásaditej fosfatázy od 19-106 mg P g⁻¹ 3h⁻¹ (ANGELOVIČOVÁ et al., 2014), boli nami zistené hodnoty nižšie. Na haldách banského materiálu boli tiež zistené najnižšie priemerné hodnoty FDA a β-glukozidázy.

Tabuľka 1. Priemerné hodnoty rizikových prvkov stanovených na troch typoch hodnotených lokalít a limitná hodnota pre stredne ťažké pôdy Slovenska.

	Banská štôlna	Halda	Odkalisko	Limitná hodnota*
As	16,6	213	668	25
Cd	7,25	10,9	25,2	0,7
Cu [mg kg ⁻¹]	14,6	22,7	82,9	60
Pb	14,81	216	74,7	70
Zn	43,34	58,5	62,0	150

*Zákon NR SR č. 220/2004 Z.z

Tabuľka 2. Popisná štatistika vyjadrujúca obsah živín a aktivitu pôdnych enzýmov (URE-ureáza, KF-kyslá fosfatáza, AF-alkalická fosfatáza, FDA, BG -β-glukozidáza) na troch rôznych banských dielach.

Živiny/enzýmy		banská štôlna	halda	odkalisko
Ca	min-max	344-3605	308-2365	2967-79973
(mg kg ⁻¹)	priemer±sm.odch.	1328±1322	1272±844	24835±21223
Na	min-max	211-409	260-736	120-436
(mg kg ⁻¹)	priemer±sm.odch.	299±77,1	529±199	231±109
K	min-max	1012-2327	2065-9534	3211-6328
(mg kg ⁻¹)	priemer±sm.odch.	1881±511	5015±3244	4509±931
Mg	min-max	631-1081	1464-4191	5916-24514
(mg kg ⁻¹)	priemer±sm.odch.	895±188	2614±1153	11195±5843
URE	min-max	0,37-0,73	0,07-0,22	0,06-0,72
(mg NH ₄ ⁺ -Ng ⁻¹ 24 ⁻¹)	priemer±sm.odch.	0,53±0,16	0,13±0,06	0,43±0,18
KF	min-max	42,8-241	29,1-105	9,95-181
(mg P g ⁻¹ 3h ⁻¹)	priemer±sm.odch.	118±77,7	74,7±32,8	81,9±64,0
AF	min-max	28-169	32,8-96,6	18,1-213
(mg P g ⁻¹ 3h ⁻¹)	priemer±sm.odch.	71,9±56,6	63,5±26,1	88,6±58,8
FDA	min-max	8,9-57,4	0-2,44	0,00-51,6
(µg FS / g soil h)	priemer±sm.odch.	21,5-20,8	0,81±1,15	19,8±16,8
BG	min-max	11,7-158	38,7-86,6	6,56-364
(µg p NP / g soil . 1h)	priemer±sm.odch.	113±59,4	61,7±19,6	124±109

Jednofaktorovou analýzou variancie (Ona-way ANOVA) boli preukázané štatisticky významné rozdiely v hodnotách živín medzi hodnotenými typmi lokalít (Tabuľka 3). Signifikantne najvyššie hodnoty Ca boli zistené v okolí odkaliska ($p < 0,01$) a najnižšie hodnoty K v banských štôlnach ($p < 0,01$). Štatisticky významný rozdiel v obsahu Mg bol zistený medzi všetkými hodnotenými typmi lokalít. Signifikantný rozdiel v hodnotách Na bol preukázaný medzi lokalitami odkaliska a haldami banského materiálu, kde dosahovali podstatne vyššie hodnoty. Aktivita pôdnych enzýmov sa

signifikantne líšila medzi lokalitami len v prípade ureázy a FDA. Hodnoty ureázy a FDA sú sigifikantne najnižšie na haldách banského materiálu. V prípade pH boli štatisticky preukázané signifikantné rozdiely medzi všetkými hodnotenými typmi lokalít.

Tabuľka 3. Výsledky jednofaktorovej analýzy variancie (One-way ANOVA) vyjadrujúce štatisticky významné rozdiely v množstve živín, aktivite pôdných enzýmov a pH medzi tromi typmi hodnotených lokalít.

faktor	df	f	p
Ca	2	19,57	0,00012**
Na	2	4,125	0,041*
K	2	7,541	0,0067**
Mg	2	42,41	2.e10 ^{-6**}
URE	2	4,707	0.029*
KF	2	0,485	0.626
AF	2	0,124	0.884
FDA	2	5,129	0.0228*
GLUK	2	0,053	0.948
pH	2	27.68	2.e10 ^{-5**}

Spearmanov korelačný koeficient bol využitý za účelom zistenia signifikantných závislostí medzi hodnotenými premennými (Tabuľka 4). Hodnota pH signifikantne pozitívne korelovala s obsahom Ca ($p < 0,01$) a Mg ($p < 0,01$). TAYLOR et al. (2002) vo svojej práci zaznamenal negatívnu koreláciu medzi pH a všetkými hodnotenými enzýmami. V našom prípade sa tento trend potvrdil len v prípade pH-KF a pH-AF. V práci zameranej na hodnotenie vlastnosti pôdy v metalicky zaťaženom regióne (ANGELOVIČOVÁ et al., 2014) bola zistená pozitívna závislosť medzi K a aktivitou pôdnej ureázy, čo sa v našom prípade nepotvrdilo.

MASOOD a BANO (2016) vo svojej práci potvrdili, že prítomnosť draslíka v pôde sa pozitívne prejavuje na mikrobiálnych aktivitách v pôde. V našom prípade bola medzi K a enzýmami preukázaná pozitívna, aj keď nie signifikantná závislosť. Signifikantná negatívna závislosť bola zistená medzi obsahom Na a aktivitou pôdnej ureázy ($p < 0,05$). Signifikantná pozitívna korelácia bola zistená medzi KF a AF. FDA signifikantne pozitívne korelovala s URE ($p < 0,01$), KF ($p < 0,01$) a AF ($p < 0,01$). TOLEDO et al. (2017) súhlasne s našimi výsledkami potvrdila signifikantnú pozitívnu koreláciu medzi FDA a URE, ale na rozdiel od nášho výskumu zistila aj signifikantnú pozitívnu závislosť medzi FDA a BG, čo nebolo v našom prípade potvrdené.

Tabuľka 4. Korelačné závislosti medzi jednotlivými živinami, aktivitou pôdných enzýmov a pôdnou reakciou.

	Ca	Na	K	Mg	URE	KF	AF	FDA	BG
pH	0,84**	-0,42	0,18	0,68**	0,29	-0,35	-0,06	0,26	0,05
Ca		-0,35	0,39	0,88**	-0,12	-0,54*	-0,19	-0,07	0,17
Na			0,08	-0,41	-0,50*	0,11	0,04	-0,22	-0,42
K				0,47*	0,16	0,030	0,28	0,09	0,05
Mg					-0,17	-0,39	-0,11	-0,12	0,11
URE						0,18	0,17	0,61**	0,29
KF							0,81**	0,61**	0,10
AF								0,69**	-0,05
FDA									-0,03

ZÁVER

Vysoké obsahy rizikových prvkov v pôdach bývalých banských areálov negatívne ovplyvňujú kvalitu a zdravie pôdy. To sa prejavuje najmä ich zníženou úrodnosťou. Porovnaním obsahov rizikových prvkov na troch typoch lokalít, obsah rizikových prvkov klesal v poradí odkalisko > haldy banského materiálu > banské štôlnie. Napriek tomu, že haldy banského materiálu neboli najviac znečistené, všetky hodnotené enzýmy tu dosahovali najnižšie priemerné hodnoty. Štatistickým testovaním boli potvrdené signifikantne najvyššie hodnoty Ca na odkalisku a najnižšie hodnoty K v banských štôlniach. Pôdna reakcia (pH) signifikantne pozitívne korelovala s obsahom Ca ($p < 0,01$) a Mg ($p < 0,01$). Enzým FDA signifikantne pozitívne koreloval so všetkými ostatnými hodnotenými enzýmami okrem β -glukozidázy.

POĎAKOVANIE

Výskum bol podporený projektom Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky VEGA 1/0326/18.

LITERATÚRA

- ALOWAY, J.B., 2010. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Springer, Dordrecht, Heidelberg and New York:
- ANGELOVIČOVÁ, L. - BOBUŠKÁ, L. - FAZEKAŠOVÁ, D., 2014. Chemické a biologické vlastnosti pôdy ako indikátory znečistenia pôdneho prostredia vplyvom ťažkých kovov. Acta universitatis Prešovensis Folia Oecologica, 11:11-19.
- ANTONIADIS, V. - SHAHEEN, S.M. - BOERSCH, J.- FROHE, T. - LAING, G.D. - RINKLEBE, J., 2017. Bioavailability and risk assessment of potentially toxic elements in garden edible vegetables and soils around highly contaminated former mining area in Germany. Journal of Environmental Management, 196(2): 192-200
- BUTKOVIČ, Š., 1970. História slovenského drahého opálu z Dubníka. Košice: Technické múzeum.
- ČURLÍK J. - ŠEFČÍK P., 1999. Geochemický atlas SR, časť V. Pôdy, MŤP, Bratislava, 99 pp.
- EIVAZI, F. - TABATABAI, M.A., 1988. Glucosidases and galactosidases in soils. Soil Biology and Biochemistry, 20: 601-606.
- FAN, Y. - ZHU, T. - LI, M. - HE, J. - HUANG, R., 2017. Heavy Metal Contamination in Soil and Brown Rice and Human Health Risk Assessment near Three Mining Areas in Central China. Journal of Healthcare Engineering, doi.org/10.1155/2017/4124302.

- FAZEKAŠOVÁ, D. - BOBUESKÁ, L., 2012. Soil Organisms as an Indicator of Quality and Environmental Stress in the Soil Ecosystem. *Životné prostredie*, 46(2): 103 – 106.
- GARCÍA, C. - HERNÁNDEZ, M.T., 2000. Research and perspectives of soil enzymology in Spain, San Francisco, 352 pp.
- GASPAR, M.L. - CABELLO, M.N. - POLLERO, R., 2001. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of fungal biomass in soil. *Current microbiology*, 42(5): 339-344.
- GREEN, V.S.- STOTT, D.E. - DIACK, M., 2006. Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: optimization for soil samples. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 693-701.
- GREJTOVSKÝ, A., 1991. Influence of soil improvers on enzymatic activity of heavy alluvial soil (in slovak). *Plant Soil Environment*, 37:289-295.
- GUO, L.- ZHAO, W.- GU, X.- ZHAO, X.- CHEN, J.- CHENG, S., 2017. Risk assessment and source identification of 17 metals and metalloids on Soils from the Half-Century Old Tungsten Mining Areas in Lianhuashan, Southern China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12): 1475.
- HASAN, H.A.H., 2000. Ureolytic microorganisms and soil fertility: A review. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 31(15-16): 2569-2589.
- HINOJOSA, M.B. - CARREIRA, J.A. - RODRIGUES-MOROTO JM, GARCIA-RIUZ R. 2008. Effects of pyrite sludge pollution on soil enzyme activities: ecological dose-response model. *Science of Total Environment*, 396:89-99.
- HOHL, H. - VARMA, A., 2010. Soil: the living matrix. In: SHERAMETI, I. -VARMA, A. (Eds.), *Soil Heavy Metals*. Springer Verlag Berlin Heidelberg, London New York, pp. 1–19.
- KHAZIEV, F.K., 1976. Soil enzyme activity (in Russian). Nauka, Moskva.
- KIZILKAY, R. - ASKIN, T. - BAYRAKI, B. - SAGLAM, M., 2004. Microbial characteristics of soil contaminated with heavy metals. *European Journal of Soil Biology*, 40: 95-102.
- KUMAR, S. - CHAUDHURI, S. - MAITI, S.K., 2011. Phosphate activity in natural and mined soil – A review. *Indian Journal of Environmental Protection*, 31(11): 955-962.
- MARTÍNEZ-TOLEDO, Á. - MONTES-ROCHA, A. - GONZÁLES-MILLE, D.J. - ESPINOSA-REYES, G. - TORRES-DOSAL, A. - MEJIA-SAAVEDRA, J.J. - ILLIUALITURRI-HERNÁNDEZ, C.A., 2017. Evaluation of enzyme activities in long-term polluted soils with mine tailing deposits of San Luis Potosí México. *Journal of Soils and Sediments*, 17(2): 364-375.
- MASOOD, S. – BANO, A., 2016. Mechanism of Potassium Solubilization in the Agricultural Soils by the Help of Soil Microorganisms. In: MEERA, V. – MAURYA, B. – BERMA, J. – MEENA, R. (Eds.). *Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture*. Springer, New Delhi.
- NANNIPIERI, P. - KANDELER, E. -REGGIERO, P., 2002. Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil. In: BURNS, R.G. - DICK RP. (Eds). *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications*. New York: Marcel Dekker, pp.1-33.
- OLIVEIRA, A. - PAMPULHA M.E., 2006. Effects of long-term heavy metal contamination on soil microbial characteristics. *Journal of Bioscience and Bioenergy*, 102(3):157-161
- ŠARAPATKA, B. 2002. Možnosti využitia aktivity enzýmu jako indikátoru produktivity a kvality systému. *Biologické indikátory kvality pud*. Brno: MZLU, pp.62-71.
- XIAO, R. - WANG, S. - LI, R.- WANG, J.J. - ZENGQUIANG, Z., 2017 Soil heavy metal contamination and health risks associated with artisanal gold mining in Tongguan, Shaanxi, China. *Ecotoxicology and environmental Safety*, 141: 17-24.
- WANG, Y.P. - LI, Q.B. - Shi, J.Y. – Lin, Q. – Chen, X.C. – Wu, W. – Chen, Y.X., 2008. Assessment of microbial activity and bacterial community composition in the rhizosphere of a copper accumulator and a non-accumulator *Soil Biology and Biochemistry*, 40(5): 1167-1177.
- Zákon NR SR č. 220/2004 Z.Z O ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy. Národná rada Slovenskej republiky, Bratislava.
- ZHANG, X. - YANG, L. - LI, Y. - LI, H. - WANG, W. - YE, B., 2010. Impact of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(4): 2261-2273.