

THE STATISTICAL PARAMETERS OF HEAVY METALS TRANSFER IN SOIL – PLANT SYSTEM

Radovan Stanovič, Július Árvay, Ján Jobbágy

ABSTRACT

Our research work was focused on statistical evaluation of transfer of risky elements by system soil-plant under diametrically conditions, what includes contamination of soil environment and soil traits affecting mobilization and behaviour of risky elements in soil environment. For model conditions the site in locality Dudince was chosen due to typical high level of geogenic and anthropic soil contamination, with high risk of transfer of monitored elements into production organs of grown agricultural crops. In contrary, the site from locality of southern Slovakia – Komárno was quite different due to very low rate of contamination (if any), what is confirmed also by achieved results of measurements. Also physico- chemical traits of soil positively affect the revealed state in surveyed locality.

Keywords: heavy metals, soil, humus, mobility, statistical analysis,

ÚVOD

Perzistencia a kumulácia ťažkých kovov v životnom prostredí veľmi úzko súvisí s ich intenzívnym používaním v modernej spoločnosti, pričom neustále prispievajú ku sume ich obsahu v biosfére (Kakkar – Jaffery, 2005), čo sa automaticky nepriaznivo prejaví na všetkých úrovniach potravinového reťazca, kvalite pôdy a celého životného prostredia (Gray et al., 2006). Od počiatku priemyselnej revolúcie dochádzalo k dramatickému zvyšovaniu úrovne kontaminácie biosféry ťažkými kovmi. S pomedzi množstva zdrojov sa v najväčšej miere na kontaminácii pôdy podieľa metalurgický priemysel. Vo väčšine vyspelých krajín je v súčasnosti prvoradou úlohou starostlivosť o kontaminovanú pôdu z dôvodu perzistencie ťažkých kovov v životnom prostredí a negatívneho pôsobenia na prostredie a ľudské zdravie (Cui et al., 2005). Environmentálna politika Európskej únie sa za posledné roky výrazne zmenila v smere zlepšenia prístupu ku kontaminácii pôdy a zdrojom znečistenia. Pôda ako konglomerát minerálnej zložky, organického materiálu – humusu, živých organizmov, vody a vzduchu je životne dôležitá pre zdravú a životaschopnú populáciu. V súčasných urbanistických oblastiach je pôda silne narušená. Medzi najviac postihnuté oblasti patria cesty a ich prilahlé plochy. Antropogénny materiál (výfukové plyny, reziduá olejov, čiastočky pneumatík, zvetrané súčasti plôch ciest) spolu s prírodným biogénnym materiálom (opadané lístie a iný rastlinný materiál) môžu na svoj povrch adsorbovať prach a tak predstavovať možný vektor kontaminácie väčšieho územia (Omar et al., 2007). Atmosférická depozícia súvisí s vyčisťovaním atmosféry suchou alebo mokrou cestou. Je jednou z najvýznamnejších zdrojov kontaminácie pôdy. Územie Slovenska má nevýhodu v tom, že vzdušné masy prinášajú emisie zo západnej Európy a tie najmä cestou mokrej depozície zvyšujú úroveň pôdnej kontaminácie. Atmosférická depozícia kontaminantov (ťažkých kovov) pochádzajúcich z atmosféry sa koncentruje a kumuluje hlavne vo vrchnej vrstve pôdy. Je veľmi náročné rozoznať množstvo ťažkých kovov prijatých koreňovou sústavou a listovou plochou, hlavne u olova (Hovmand et al., 2008). Transport rizikových prvkov do rastlín pri výžive sa

stáva limitujúcim pre kvantitu, ale i kvalitu produkcie, ktorá je určujúca pre skladbu potravín. Túto skutočnosť je treba patrične zhodnotiť, mať ju pod kontrolou a zákonite s ňou spájať zdravie populácie.

	Ciele pôsobenia - dôsledky	Toxicita pre ľudí	ZOO toxicita	FYTO toxicita
Cd	Nefropatia, poruchy dýchania, rakovina pľúc, poruchy močovo- pohlavného ústrojenstva, zvýšené riziko kardiovaskulárnych onemocnení	+	+	++
Pb	Poškodenie mentálneho vývoja, u dospelých spôsobuje znižovanie krvného tlaku, pečene a reprodukčného aparátu,	+	+	++
Zn	Zasahuje do metabolizmu vápnika, zoslabuje imunitu. Pri jeho nedostatku dochádza k celkovému zhoršeniu zdravotného stavu	-	-	++
Cu	Primárne sa kumuluje v krvi, avšak pre ľudí nie je veľmi toxická	+	+	+

Table 1 Možné vplyvy sledovaných rizikových prvkov v pôde na rôzne skupiny organizmov

Rastliny sú dôležitou súčasťou ekosystému. Práve oni prenášajú všetky elementy z abiotického prostredia do

biotického a sú prvým článkom reťazca pre vyššie organizmy. Primárnymi zdrojmi týchto prvkov pre rastliny sú vzduch, voda a pôda. Medzi prvky, ktoré v najväčšej miere kontaminujú potravinový reťazec, patria Cd, Pb a Hg. Súčasne sem patria aj niektoré mikroživiny (Cu, Cr, Ni a Zn), ktoré sú toxické vo vysokých koncentráciách pre rastliny a živočíchy (McLaughlin et al., 1999).

Rastlina môže byť kontaminovaná cez koreňový systém z pôdy a cez nadzemné orgány zo znečistenej atmosféry. Práve znečistené ovzdušie má významný podiel na kontaminácii nadzemných častí rastlín. Vo veľa prípadoch sú rastliny kontaminované práve cestou atmosférickej depozície, pričom touto cestou sú ťažké kovy prijímané pokožkou listu a následne translokované do iných, neexponovaných orgánov rastliny. Podobnou štúdiou sa zaoberali Xiangyang et al., (2009), ktorí zistili, že zrno a listy kukurice siatej sú vo veľkej miere kontaminované olovom hlavne cestou atmosférickej depozície, zatiaľ čo k celkovému obsahu kadmia vo všetkých častiach plodiny prispel najmä jeho príjem cez koreňový systém. Pre pochopenie správania sa ťažkých kovov v systéme pôda – rastlina je dôležité poznať ich pravdepodobnostné modely, ktoré sú určené deskriptívnou štatistickou analýzou (minimum, maximum, medián, aritmetický priemer a štandardná odchýlka (Templ et al., 2008). Avšak pre obrovskú rôznorodosť všetkých faktorov, ktoré viac či menej vplyvávajú na správanie sa rizikových ťažkých kovov v pôdnom prostredí je potrebné vykonávať analýzy na úrovni vyššej štatistiky (regresná analýza, Pearsonov korelačný koeficient, analýzy rozptylu a pod.) (Filzmoser et al., 2009).

MATERIAL AND METHODOLOGY

V predkladanej práci sme sa zamerali na zhodnotenie prechodu rizikových prvkov (Cd, Pb, Zn a Cu) systémom pôda - rastlina na dvoch, čo sa taký kontaminácie, diametrálne odlišných pozemkoch za použitia deskriptívnej a regresnej štatistickej analýzy. Obsahy sledovaných prvkov sme sledovali na pozemkoch *Suché lúky* z lokality Dudince (n = 12), ktorá je charakteristická vysokou úrovňou kontaminácie orniceového horizontu spomínanými prvkami a na pozemku *Školský majetok 01* z lokality Komárno (n = 27) (obsah prvkov na úrovni klarkových obsahov, s pôdnymi vlastnosťami, ktoré vytvárajú podmienky na elimináciu mobility a biopristupnosti pre rastliny). Všetky získané výsledky obsahu mobilných frakcií sledovaných rizikových prvkov vo vzorkách pôdy a obsahy tých istých prvkov v technologicky využívaných anatomických častiach pestovaných plodín sme podrobili štatistickým analýzám na úrovni deskriptívnej štatistiky (aritmetický priemer, medián, minimum, maximum, štandardná odchýlka). Pre presnejšie zhodnotenie sme použili korelačnú a regresnú analýzu, kde grafickým výstupom boli bodové grafy s regresnými krivkami.

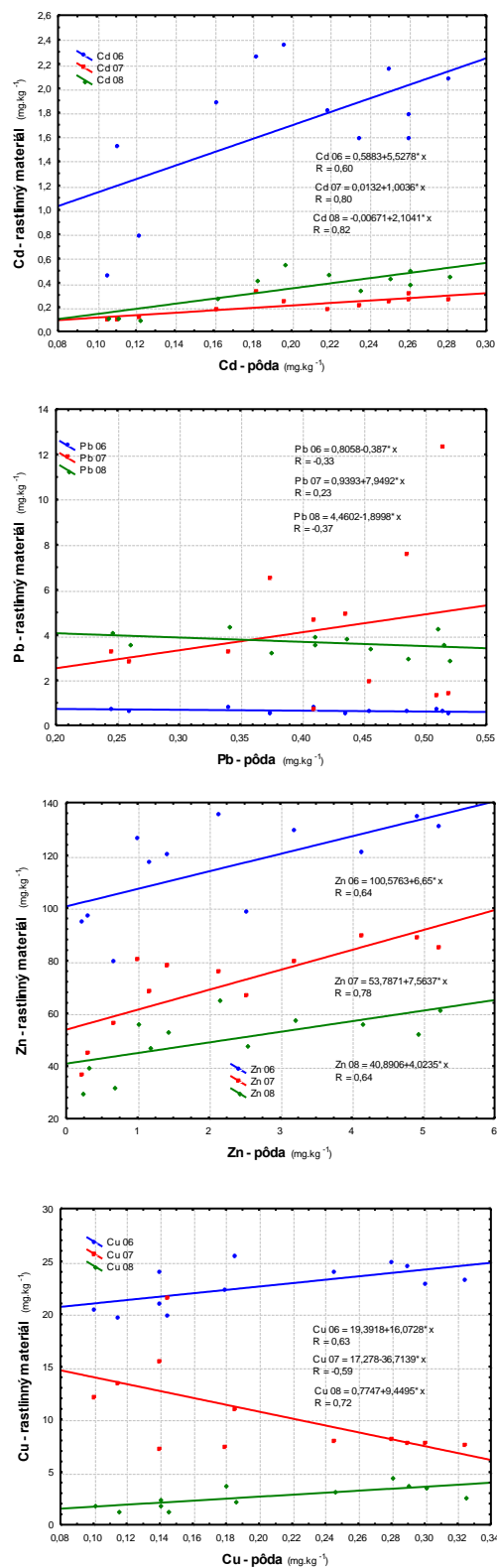
RESULTS AND DISCUSSION

Najväčší vplyv na stupeň kontaminácie poľnohospodárskych plodín ťažkými kovmi má najmä pôda. Z hľadiska prechodu rizikových prvkov systémom pôda – rastlina sa najvyššie nároky kladú na ich obsah v anatomických častiach, ktoré majú pre potravinársky priemysel najväčší význam. Pôda je štartovacím miestom vstupu všetkých rizikových látok do potravinového reťazca, a preto sa kladú vysoké požiadavky na elimináciu rizika mobilizácie ťažkých kovov. Z odbornej literatúry je známy fakt, že najväčšie riziko pre reálnu hrozbu kontaminácie poľnohospodárskych plodín predstavujú mobilné frakcie kontaminantov, teda tie, ktoré sa nachádzajú voľne disociované v pôdnom roztoku a koreňový systém pre ne nepredstavuje v dostatočnej miere účinnú bariéru (Fargašová, 2008). Z toho dôvodu je možné na nekontaminovanej pôde dopestovať hygienicky problematickú potravinársku surovinu a naopak. V roku 2006 sa na pozemku *Suché lúky* pestovala slnečnica ročná, ktorá ako olejníka translokuje a kumuluje extrémne vysoké množstvá ťažkých kovov v nažkách. Obsah kadmia sa v oplodia zbavených nažkách pohyboval na úrovni $1,80 \pm 0,57 \text{ mg.kg}^{-1}$. Obsah kadmia v nažkách prekročil celoplošne NPM pre olejníny ($0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$) a to až 17 násobne (pri maximálnej koncentrácii až 22,6 násobne). Korelačný koeficient prechodu kadmia systémom pôda – rastlina (nažky) bol $R = 0,60$. V roku 2007 sa na pozemku pestoval jačmeň jarný (dvojradowý). Koncentrácia Cd v zrne sa pohybovala na úrovni $0,23 \pm 0,08 \text{ mg.kg}^{-1}$. Pri porovnaní získaných údajov koncentrácie Cd v zrne s NPM ($0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$) sme zistili prekročenie NPM o 1,3 násobok (max. o 2,2 násobok). Korelačný koeficient sa pohyboval na úrovni $R = 0,80$. V porovnaní s kumuláciou kadmia do pozberových zvyškov jačmeňa sme zaznamenali vyššiu kumuláciu do pozberových zvyškov slnečnice, čo korešponduje s výsledkami Madejon et al., (2003). V roku 2008 sa na pozemku pestovala kapusta repková – pravá, ktorá ako olejníka má vyššiu tendenciu ku kumulácii polutantov do technologických častí plodiny. Obsah Cd sa v semene pohyboval na úrovni $0,40 \pm 0,16 \text{ mg.kg}^{-1}$, pričom sme zaznamenali minimálne trojnásobné celoplošné prekročenie NPM ($0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$). Pomerne vysoké prekročenie NPM naznačuje aj korelačný koeficient $R = 0,82$. Vo všetkých troch prípadoch kumulácie Cd do technologických častí pestovaných plodín sme zaznamenali vzostupnú tendenciu regresných priamok, pričom všetky tri korelačné koeficienty sú štatisticky významné na hladine spoľahlivosti $\alpha = 0,05$. Obsah olova sa v nažkách slnečnice pohyboval v menších množstvách ako v jačmeni, resp. repke. V roku 2006 sme zaznamenali koncentrácie olova v nažkách na úrovni $0,65 \pm 0,11 \text{ mg.kg}^{-1}$. Zo získaných výsledkov je možné konštatovať, že ani v jednom prípade sme nezaznamenali prekročenie NPM ($1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), pričom korelačný koeficient bol - 0,33 a regresná priamka mala klesajúci charakter. Zaujímavosťou je fakt, že štatisticky významne pozitívny vplyv na príjem olova mali kadmium a zinok (antagonisti olova). V zrne jačmeňa sa obsah olova pohyboval na úrovni $3,25 \pm 3,31 \text{ mg.kg}^{-1}$. Vysoké hodnoty smerodajných odchýlok poukazujú na nerovnomernosť plošného rozloženia koncentrácie sledovaného faktora. Na úrovni mediánu sme zaznamenali prekročenie NPM pre obilniny ($0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$) viac ako 15 násobne (max. 60,5 násobne), pričom sme zaznamenali celoplošné prekročenie NPM. Korelačný

koeficient ako jediný pri olove, mal kladnú hodnotu ($R = 0,23$), čo svedčí o zvýšenej kumulácii olova jačmeňom v porovnaní s ostatnými plodinami. V roku 2008 sa obsah olova v semene repky pohyboval na úrovni $3,60 \pm 0,48 \text{ mg.kg}^{-1}$. Porovnaním získaných údajov s NPM ($1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) sme zaznamenali prekročenie hygienického limitu o 2,6 násobok. Korelačný koeficient ma pomerne nízku hodnotu ($R = -0,37$) z čoho vyplýva, že obsah olova v pôde má nepriamoúmerný vplyv na jeho obsah v semene repky. Avšak štatisticky významný vplyv na jeho príjem mala koncentrácia mobilných foriem zvyšných troch prvkov.

Obsah zinku sa v nažkách slnečnice ročne pohyboval v najvyššej koncentrácii v porovnaní s nasledujúcimi plodinami, ktoré boli pestované na záujmovom pozemku v nasledujúcich rokoch. Jeho obsah sa pohyboval na úrovni $120,85 \pm 18,47 \text{ mg.kg}^{-1}$. Podľa staršej legislatívy došlo k prekročeniu NPM (80 mg.kg^{-1}) pre Zn v nažkách slnečnice 0,51 násobne, čo definuje dopestovanú produkciu za celoplošne kontaminovanú. Korelačný koeficient sa pohyboval na úrovni $R = 0,64$, pričom túto hodnotu je možné považovať za štatisticky významnú. V zrne jačmeňa, dopestovaného v roku 2007, varíroval obsah Zn na hodnote $76,78 \pm 17,07 \text{ mg.kg}^{-1}$. Situácia týkajúca sa kontaminácie zrna jačmeňa je o niečo priaznivejšia, avšak aj v tomto prípade sme zaznamenali väčšinovú kontamináciu plochy pozemku. Korelačný koeficient prechodu zinku do zrna bol vyšší ako v prípade slnečnice ($R = 0,78$), pričom táto hodnota je štatisticky významná. V porovnaní so slnečnicou sme zaznamenali radikálne zníženie obsahu zinku, čo je pravdepodobne spôsobené zníženou schopnosťou príjmu zinku koreňovým systémom (Pedas et al., 2009). Poslednou plodinou je kapusta repková – pravá, ktorá do semena kumulovala najmenej zinku. Jeho obsahy sa pohybovali na úrovni $52,60 \pm 11,08 \text{ mg.kg}^{-1}$. Ku kontaminácii semena došlo na najmenšej ploche pozemku. Identickú úroveň prechodu so slnečnicou potvrdil aj korelačný koeficient ($R = 0,64$).

Obsah medi v technologicky využívaných častiach pestovaných plodín prekročil NPM (25 mg.kg^{-1}) iba v jednom prípade. V roku 2006 sa obsah sledovaného prvku v nažkách slnečnice pohyboval na úrovni $23,03 \pm 2,04 \text{ mg.kg}^{-1}$. Korelačný koeficient bol 0,63, čo poukazuje štatisticky významný vplyv prechodu medi systémom pôda – rastlina. V roku 2007 bola situácia, týkajúca sa kontaminácie Cu priaznivejšia. Koncentrácia Cu v zrne sa pohybovala na úrovni strednej hodnoty v rozsahu $8,03 \pm 4,44 \text{ mg.kg}^{-1}$ (max. $21,4 \text{ mg.kg}^{-1}$). Zaujímavosťou je fakt, že iba pri zrne jačmeňa sme zaznamenali negatívnu koreláciu medzi obsahom medi v pôdnom roztoku a jej obsahom v zrne ($R = -0,59$). Iba v prípade obsahu mobilného olova sme zaznamenali pozitívnu koreláciu vo vzťahu k jej príjmu jačmeňom. Najnižšiu úroveň príjmu medi sme zaznamenali v roku 2008, kedy sa obsah Cu v semene repky pohyboval na úrovni $2,60 \pm 1,05 \text{ mg.kg}^{-1}$. Korelačný koeficient sa pohyboval na úrovni $R = 0,72$, čo znamená, že v roku 2008 bol prechod medi z pôdy do semena štatisticky významný na hladine spoľahlivosti $\alpha=0,05$.



Obrázok 1 Bodový graf (n = 12) závislosti prechodu rizikových prvkov z pôdy do zrna dopestovanej produkcie v priebehu rokov 2006 (slnečnica – modrá priamka); 2007 (jačmeň – červená priamka); 2008 (repka – zelená) na pozemku Suché lúky. Získané údaje sú preložené regresnou priamkou so znázornením

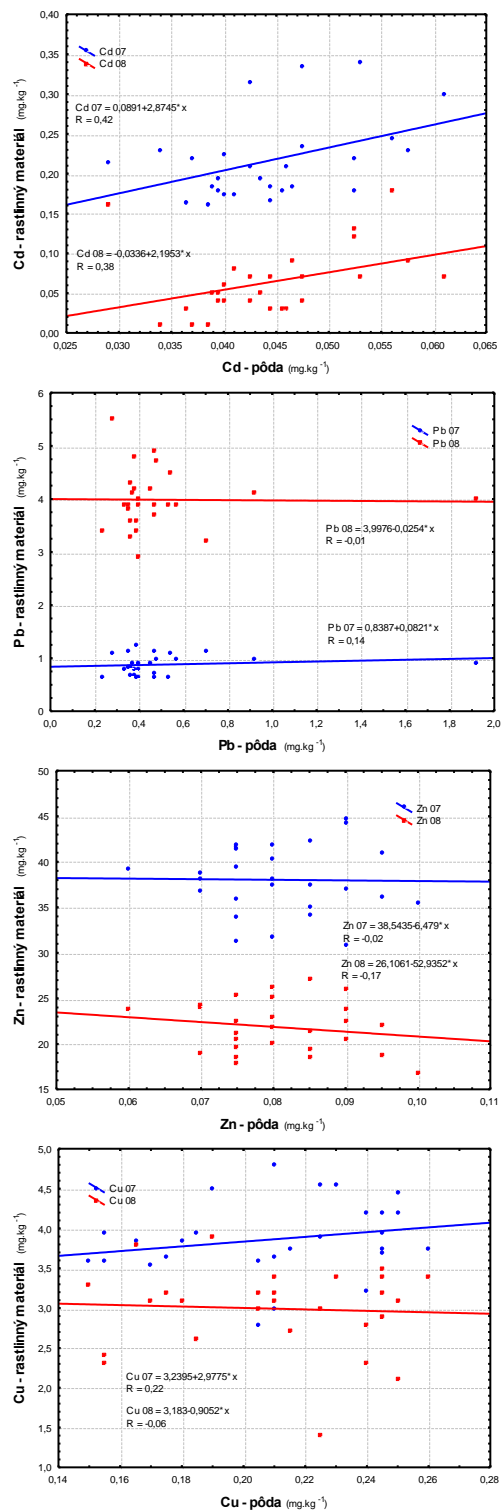
regresnej rovnice a korelačného koeficientu pri hladine spoľahlivosti $p < 0,05$

Kvalita dopestovaných plodín na pozemkoch z Podunajskej nížiny sa vo všeobecnosti výrazne líšila od kvality plodín z lokality Dudince. Tento fakt je spôsobený výrazne nižšou, resp. takmer žiadnou (resp. lokálnou) úrovňou kontaminácie sledovaného územia ťažkými kovmi. Úroveň prechodu ťažkých kovov je výrazne znížená aj základnými faktormi, ktoré ovplyvňujú prechod kovov systémom pôda – rastlina. Medzi tieto vlastnosti pôdy patria: pôdna reakcia, obsah humusových látok, obsah a zloženie ílovej frakcie pôdy a taktiež rastlinný druh, ktorého koreňový systém predstavuje viac menej účinnú bariéru pre kontaminanty nachádzajúce sa v pôde. Na všetkých pozemkoch z tejto oblasti sme sledovali obsahy ťažkých kovov v dopestovanej produkcii po dobu dvoch rokov (2007 a 2008).

Na pozemku *ŠM – 01* sa v prvý rok sledovania pestovala kapusta repková – pravá. Obsah kadmia sa v semene repky pohyboval na úrovni $0,20 \pm 0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$. Najvyššie prípustné množstvo stanovené pre Cd v semene repky je $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$, čo naznačuje na jednonásobné prekročenie hygienickej normy. Korelačný koeficient pôda – semeno je najvyšší na pozemku ($R = 0,42$), čo je možné zdôvodniť ľahkým prechodom a kumuláciou Cd do semena repky. V roku 2008 sa na pozemku pestovala pšenica letná f. ozimná, ktorá vo všeobecnosti kumulovala kadmium v menšej miere ako repka. Jeho obsah v zrne sa pohyboval na úrovni mediánu $0,05 \pm 0,04 \text{ mg.kg}^{-1}$. Korelačný koeficient vo vzťahu pôda – zrno bol pomerne vysoký ($R = 0,38$), avšak ani v jednom roku neprekročil zvolenú hladinu významnosti. Podobné výsledky dosiahli aj **Jamali et al. (2009)**, ktorí zistili silnú štatistickú závislosť medzi obsahom ťažkých kovov v pôde a ich obsahom v zrne pšenice.

Diametrálne odlišnú situáciu sme zaznamenali pri kontaminácii technologicky významných častí pestovaných plodín olovom v priebehu oboch rokov. V semene repky sa obsah sledovaného prvku pohyboval na úrovni $0,87 \pm 0,18 \text{ mg.kg}^{-1}$. Korelačný koeficient je $0,14$, avšak pri pohľade na regresnú priamku je vidieť zhlukovú kontamináciu s jednou extrémnou hodnotou v prípade oboch ročníkoch (obr. 2). Obsah Pb v zrne sa pohyboval na úrovni $3,90 \pm 0,56 \text{ mg.kg}^{-1}$. V prípade zrna sme zaznamenali pomerne veľkú celoplošnú kontamináciu olovom, pričom na úrovni mediánu sme zistili $18,5$ násobné prekročenie NPM pre obilniny ($0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$). Korelačný koeficient sa pohyboval na úrovni $-0,10$, čo poukazuje na mierne negatívnu koreláciu (takmer žiadny vplyv) medzi obsahom olova v pôde a v zrne pšenice. Na sledovanom pozemku sme nezaznamenali žiadny štatisticky významný vplyv akéhokoľvek štatisticky hodnoteného faktora na príjem olova do zrna pšenice pri hladine spoľahlivosti $\alpha = 0,05$.

Obsah zinku v rastlinnom materiáli najviac reflektoval na obsah jeho mobilných foriem počas obidvoch sledovaných rokov. Koncentrácia v semene repky sa pohybovala na úrovni $39,01 \pm 3,77 \text{ mg.kg}^{-1}$.



Obrázok 2 Bodový graf ($n = 27$) závislosti prechodu rizikových prvkov z pôdy do zrna dopestovanej produkcie v priebehu rokov 2007 (repka – modrá priamka); 2008 (pšenica – červená priamka) na pozemku *ŠM - 01*. Získané údaje sú preložené regresnou priamkou so znázornením regresnej rovnice a korelačného koeficientu pri hladine spoľahlivosti $p < 0,05$

Zaujímavosťou je zistenie, že iba v prípade Zn (zanedbateľne v prípade Cu) sme zaznamenali vyššiu kumuláciu sledovaného kovu v semene ako vo vegetatívnej biomase. Korelačný koeficient poukazuje na takmer nulový vplyv obsahu Zn v pôde na obsah v semene ($R = -0,02$). V roku 2008 bola situácia priaznivejšia. Obsah Zn v zrne sa pohyboval na úrovni $21,9 \pm 2,84 \text{ mg.kg}^{-1}$. V porovnaní s predchádzajúcim rokom sme zaznamenali takmer 50 % zníženie obsahu Zn v zrne. Tento stav je možné pripísať ku zvýšenej kumulácii Zn na lipidy v porovnaní s bielkovinami zrna pšenice (Pedas et al., 2009). Korelačný koeficient prechodu je $R = -0,17$, čo zároveň naznačuje na veľmi nízky vplyv obsahu Zn v pôde na jeho prechod do plodiny.

Posledným sledovaným prvkom je meď. V semene repky sa jej obsah pohyboval na úrovni $3,84 \pm 0,74 \text{ mg.kg}^{-1}$. Na pozemku sme ani v jednom prípade nezaznamenali prekročenie NPM (25 mg.kg^{-1}). V prípade repky sme zaznamenali kladnú koreláciu na úrovni $R = 0,22$. Naproti tomu, v zrne pšenice sme zaznamenali negatívnu koreláciu ($R = -0,06$). Obsah medi sa v zrne pohyboval na úrovni $3,10 \pm 0,54 \text{ mg.kg}^{-1}$, pričom sme podobne ako pri semene repky nezaznamenali prekročenie NPM ani na jednom odbornom mieste. V roku 2008 sme zaznamenali rovnomernejšie rozloženie kontaminácie zrna pšenice meďou v porovnaní so semenom repky.

CONCLUSION

Z prezentovaných výsledkov obsahov sledovaných ťažkých kovov v pôde (mobilné frakcie) a v dopestovanej rastlinnej produkcii je možné konštatovať, že na priechodnosť rizikových prvkov z pôdy, resp. pôdneho roztoku do technologicky využívaných častí pestovaných poľnohospodárskych plodín má vplyv pomerne veľa faktorov, ktoré definujú pôdu na úrovni fyzikálno – chemických ale i chemických vlastností (Tomáš a kol., 2009). Ako najdôležitejší faktor je možné považovať samotnú kontamináciu pôdy (teda obsah prvkov v pôdnom roztoku, na čo má veľký vplyv pôdna reakcia, obsah organickej zložky – humusu a zrnitostné zloženie, resp. obsah ílových častíc), čo potvrdili aj korelačné koeficienty, ktoré boli vo väčšine prípadov na úrovni štatistickej významnosti a to najmä na pozemku *Suché lúky* z lokality Dudince, ktorá je charakteristická vysokou úrovňou kontaminácie rôzneho charakteru. Opozitom tohto pozemku bola parcela *ŠM – 01* z lokality Komárno, ktoré sa nevyznačuje takmer žiadnou metalickou kontamináciou, čo sa následne prejavilo aj na veľmi nízkej, resp. žiadnej kontaminácii dopestovanej produkcie, čo charakterizujú aj štatistické ukazovatele, ktoré, až na jeden prípad, neboli štatisticky významné na zvolenej hladine spoľahlivosti.

REFERENCES

CUI, Y. J., ZHU, Y. G., ZHAI, R. H., HUANG, Y., QIU, Y., LIANG, J. Z. 2005. Exposure to metal mixtures and human health impacts in a contaminated area in Nanning, China, In: Environment International, vol. 31, 2005, pp. 784–790

DAVYDOVA, S. 2005. Heavy metals as toxicants in big cities. In: Microchemical journal, vol. 79, 2005, pp. 133 – 136

FARGAŠOVÁ, A. 2008. Environmentálna toxikológia a všeobecná toxikológia. Vydavateľstvo ORMAN, Bratislava, 2008, 348 s., ISBN: 789-80-969675-6-8

FILZMOSER, P., HRON, K., REIMANN, C. 2009. Univariate statistical analysis of environmental (compositional) data: problems and possibilities. Sci. Total Environ., vol. 407, pp. 6100–6108

GRAY, C. W., DUNHAM, S. J., DENNIS, P. G., ZHAO, F. J., MCGRATH, S. P. 2006. Field evaluation of in situ remediation of a heavy metal contaminated soil using lime and red-mud. In: Environmental pollution, vol. 142, 2006, pp. 530 – 539

HOVMAND, M. F., KEMP, K., KYSTOL, J., JOHNSEN, I., RIIS-NIELSEN, T., PACYNA, J. M. 2008. Atmospheric heavy metals deposition accumulated in rural forest soil of southern Scandinavia. In: Environmental Pollution, soil 10.1016/j.envpol.2008.01.047

JAMALI, M. K., KAZI, T. G., ARAIN, M. B., AFRIDI, H. I., JALBANI, N., KANDHRO, G. A., SHAH, A. Q., BAIG, J. A. 2009. Heavy metal accumulation in different varieties of wheat (*Triticum aestivum*, L.) grown in soil amended with domestic sewage sludge. In: Journal of Hazardous Materials, vol. 164, 2009, pp. 1386 – 1391

KAKAR, P., JAFFERY, F. N. 2005. Biological markers for metal toxicity. In: Environmental Toxicology Pharmacy, vol. 19, 2005, pp. 335 – 349

MADEJON, P., MURILLO, J. M., MARANON, T., CABRERA, F., SORIANO, M. A. 2003. Trace element and nutrient accumulation in sunflower plants two years after the Aznalcollar mine spill. In: Science of Total Environment, vol. 307, 2003, pp. 239 - 257

MASSÁNYI, P., LUKÁČ, N., UHRIN, V., TOMAN, R., PIVKA, J., RAFAY, J. 2007. Female reproductive toxicology of cadmium. In: Acta Biologica Hungarica, vol. 58, 2007, pp. 287 - 299

MCLAUGHLIN, M. J., PARKER, D. R., CLARKE, J. M. 1999. Metals and micronutrients – food safety issues. In: Field Crop Resources, vol. 60, 1999, pp 143 – 163

MERIAN, E., ANKE, M., IHNAT, M., STOEPLER, M. 2004. Elements and their compound in the environment – vol. 2: Metals and their compounds. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2004

OMAR, N.Y.M.J., ABAS, M. R. B., RAHMAN, N. A., TAHIR, N. M., RUSHDI, A. I., SIMONEIT, B. R. T. 2007. Levels and distributions of organic source tracers in air and roadside dust particles of Kuala Lumpur, Malaysia. In: Environmental Geology, vol. 52, 2007, pp. 1485–1500

PEDAS, P., SCHJOERRING, J. K., HUSTED, S. 2009. Identification and characterization of zinc-starvation-induced ZIP transporters from barley roots. In: Plant Physiology and Biochemistry, vol. 47, 2009, pp. 377 – 383

TEMPL, M., FILZMOSER, M., REIMANN, C. 2008. Cluster analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities. Appl. Geochem., vol. 23, pp. 2198–2213

TOMÁŠ, J., ÁRVAY, J., TÓTH, T., SZABOVÁ, G., HARANGOZO, E. 2009. Obsah ťažkých kovov v pôde a dopestovanej produkcii z metalicky zaťaženej pôdy. In: Potravinárstvo, roč. 3, číslo 4, 2009, s. 74 – 79. ISSN 1338 - 0230

XIANGYANG, B., XINBIN, F., YUANGEN, Y., XIANGDONG, L., GRACE, P. Y. S., FEILI, L., GUANGLE, Q., GUANGHUI, L., TAOZE, L., ZHIYOU, F. 2009. Allocated and source attribution of lead and cadmium in maize (*Zea*

mays,L.) impacted by smelting emissions. In: Environmental Pollution 2009, doi: 10.1016/j.envpol.2008.11.013

ZHANG, W., PANG, F., HUANG, Y., YAN, P., LIN, W. 2008. Cadmium exerts toxic effects on ovarian steroid hormone release in rats. In: Toxicology Letters, vol. 182, 2008, pp. 18 - 32

Acknowledgments:

This article was part of the international project VEGA 1/0030/09.

Contact address:

Radovan Stanovič, Department of Chemistry, Faculty of Biotechnology and Food Science, Slovak University of Agriculture, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra Slovakia, Email: radovan.stanovic@uniag.sk.

Július Árvay, Department of Chemistry, Faculty of Biotechnology and Food Science, Slovak University of Agriculture, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra Slovakia, Email: julius.arvay@gmail.com.

Ján Jobbágy, Department of Machines and Production systems, Faculty of Engineering, Slovak University of Agriculture, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra Slovakia, Email: jan.jobbagy@uniag.sk.

Charakteristika vzorky	Prvok	Štatistické ukazovatele							
		min. (mg.kg ⁻¹)	max. (mg.kg ⁻¹)	\bar{x} (mg.kg ⁻¹)	medián (mg.kg ⁻¹)	s (±)	R	R ²	regresná rovnica
Pôda NH ₄ NO ₃ (c = 1 mol.dm ⁻³)	Cd	0,11	0,28	0,02	0,21	0,06	–	–	–
	Pb	0,25	0,52	0,41	0,42	0,09	–	–	–
	Zn	0,24	5,23	2,25	1,78	1,77	–	–	–
	Cu	0,10	0,33	0,20	0,18	0,08	–	–	–
Snečnica ročná (<i>H. annuus</i> , L.) 2006	Cd	0,46	2,36	1,69	1,8	0,57	0,60*	0,36	y=0,5583+5,5278*x
	Pb	0,50	0,80	0,65	0,65	0,11	-0,33	0,11	y=0,8058-0,378*x
	Zn	79,4	135,6	115,51	120,85	18,47	0,64*	0,41	y=100,576+6,65*x
	Cu	19,65	25,5	22,67	23,03	2,04	0,63*	0,40	y=19,392+16,073*x
Jačmeň jarný (<i>H. vulgare</i> , L.) 2007	Cd	0,10	0,32	0,21	0,23	0,08	0,80*	0,64	y=0,0132+1,0036*x
	Pb	0,70	12,3	4,23	3,25	3,31	0,23	0,05	y=0,9393+0,949*x
	Zn	36,4	89,6	70,77	76,78	17,07	0,78*	0,61	y=53,787+7,564*x
	Cu	7,25	21,6	10,61	8,03	4,44	-0,59*	0,35	y=17,278-36,714*x
Kapusta repková (<i>B. napus</i> , L.) 2008	Cd	0,10	0,56	0,35	0,40	0,16	0,82*	0,67	y=-0,00671+2,104*x
	Pb	2,90	4,40	3,68	3,60	0,48	-0,37	0,14	y=4,460-1,8998*x
	Zn	30,2	65,6	49,93	52,6	11,08	0,64*	0,41	y=40,891+4,0235*x
	Cu	1,30	4,50	2,70	2,60	1,05	0,72*	0,52	y=0,7747+9,4495*x

* - označené korelácie sú štatisticky významné na hladine významnosti p < 0,05

Tabuľka 2 Sledované štatistické ukazovatele v pôde a dopestovanej rastlinnej produkcii na pozemku *Suché lúky* v rokoch 2006 - 2008.

Charakteristika vzorky	Prvok	Štatistické ukazovatele							
		min. (mg.kg ⁻¹)	max. (mg.kg ⁻¹)	\bar{x} (mg.kg ⁻¹)	medián (mg.kg ⁻¹)	s (±)	R	R ²	regresná rovnica
Pôda NH ₄ NO ₃ (c = 1 mol.dm ⁻³)	Cd	0,029	0,061	0,044	0,04	0,007	–	–	–
	Pb	0,06	0,10	0,49	0,08	0,31	–	–	–
	Zn	0,06	0,10	0,081	0,08	0,009	–	–	–
	Cu	0,15	0,26	0,21	0,21	0,03	–	–	–
Kapusta repková (<i>B. napus</i> , L.) 2007	Cd	0,16	0,34	0,22	0,20	0,05	0,42*	0,18	y=0,0891+2,875*x
	Pb	0,65	1,25	0,88	0,87	0,18	0,14	0,02	y=0,8387+0,083*x
	Zn	30,84	44,82	38,02	39,01	3,77	-0,02	0,003	y=38,544-6,479*x
	Cu	2,80	4,80	3,87	3,84	0,47	0,22	0,048	y=3,239+2,978*x
Pšenica letná (<i>T. aestivum</i> , L.) 2007	Cd	0,01	0,18	0,06	0,05	0,04	0,38	0,144	y=-0,0336+2,195*x
	Pb	2,90	5,50	3,99	3,90	0,56	-0,01	–	y=3,9976-0,0254*x
	Zn	16,7	27,2	21,82	21,9	2,84	-0,17	0,029	y=26,106-52,935*x
	Cu	1,40	3,90	2,99	3,10	0,54	-0,06	0,004	y=3,183-0,9052*x

* - označené korelácie sú štatisticky významné na hladine významnosti p < 0,05

Tabuľka 3 Sledované štatistické ukazovatele v pôde a dopestovanej rastlinnej produkcii na pozemku *ŠM - 01* v rokoch 2007 - 2008.