

VYUŽITIE METÓDY SSE PRI STANOVENÍ PRÍSTUPNÝCH FORIEM RIZIKOVÝCH PRVKOV V PÔDE Z HĽADISKA ICH PRÍJMU RASTLINAMI
APPLICATION OF SSE METHOD FOR ACCESSIBLE FORMS OF RISK ELEMENTS DETERMINATION IN SOLIS IN TERM OF THEIR INTAKE TO PLANTS

Tomáš Tóth, Juraj Čéry, Pavol Trebichalský, Ľuboš Harangozo, Juraj Tóth

ABSTRACT

Significant amount of by-product such as biosludge is gained by using of alternative energy sources. Biosludge, decayed sludge, is a product which is arisen by biogas production after continual cofermentation of animal excrements and plant remains. Thus gained biosludge is possible to applicate into soil as alternative fertilizer which has its characteristic properties, but also its risks. With the application of biosludge is connected also the possible risk of risk elements input into soil. Just the heavy metals content and the toxic elements limit the biosludge applicability as fertilizing substrate. By bioaccumulation the physical changes are often starting, e.g. reduction or oxidation of metals, but also to their metylation, by what the physiological effects are significantly changing. Soils must correspond with criterias, i.e. proper pH, sorption capacity, harmful compounds content in soil and in sludges, etc. On the base of gained results it could be stated, that in observed soils there is enhanced total content of Cd and Ni. Ni and Cd are the most represented in residual form to soil, which is not acceptable for plants. This fraction presents 75 % of total content in soil. Rate of acceptable form of Ni presents 6-11 % and Cd 11-13 % in soil. Application of biosolid has not significant effect on changes of individual fractions of Ni and Cd in soil.

Keyword : biosludge, heavy metals, mobility, SSE, cadmium

ÚVOD

Aplikácia biokalu v tekutej forme, alebo vo forme odvodnených kalov na ornú pôdu je možná, avšak je nutné zohľadniť nároky poľnohospodárskych plodín, ako aj pôdy musia vyhovovať určitým kritériám, t.j. vhodné pH, sorpčná kapacita, obsah škodlivín v pôde i v kaloch a pod. Jedným zo spôsobov pri využívaní alternatívnych zdrojov energie je aplikácia vyhnitého substrátu po kontinuálnej výrobe bioplynu a následne sledovanie jeho komplexného vplyvu na stav pôdnej hygieny so zreteľom na vstup ťažkých kovov. Patria sem čistiarenské odpadové kaly a dnové sedimenty vodných diel, ako aj biokal, získaný na kontinuálnej kofermentácii živočíšnych exkrementov. S aplikáciou biokalu súvisí aj možné riziko vstupu kadmia a olova, ako aj ďalších rizikových prvkov do pôdy. Ich množstvo a forma v súčinnosti s pôdnymi vlastnosťami môže predstavovať riziko ich vstupu do rastlinných komodít, pestovaných na týchto pôdach (Chlpík, Pospíšil, 2004). Mobilitu alebo imobilitu ťažkých kovov v pôde ovplyvňujú nasledovné vlastnosti: pôdna reakcia, organická hmota, minerálne zloženie, obsah oxidov...(Vollmannová et al., 2004). Mikroelementy zastúpené v kaloch môžu priaznivo ovplyvňovať ich zásobu v pôde. V praxi však predstavujú riziko, nakoľko obsah mikroelementov je často vysoký (Cu, Zn, Mo). To isté platí pre Pb, Cr, Ni, Hg, Cd a As. Práve obsah ťažkých kovov a toxických prvkov limituje použiteľnosť biokalov, ako hnojivého substrátu. Činnosťou mikroorganizmov v pôde dochádza k bioakumulácii kovov v rastlinách, cez krmoviny sa ťažké kovy následne dostávajú do živočíšnych organizmov (Petrová, 2005). Bioakumuláciou dochádza často k fyzikálnym zmenám, napríklad k redukcii alebo oxidácii prvkov (As, Mn, Se, Tc), ale aj k ich metylácii (Hg, Cd, Pb, Te), čím sa výrazne menia ich fyziologické účinky. V zmesiach sa toxické účinky jednotlivých kovov môžu navzájom zosilňovať (synergizmus Cd+Zn, Ni+Zn, Hg+Cu a ďalšie), ale tiež zoslabovať (antagonizmus Se+Cd, Se+Hg...). Príjem kadmia koreňmi rastlín je determinovaný jeho rozpustnosťou v pôde, pH pôdy, obsahom alkalických kovov a kovov alkalických zemín, ako aj prítomnosťou iných ťažkých kovov. Kadmium je prístupnejšie pre rastliny na kyslejších pôdach ako na pôdach s vyšším pH

(Bajčan et al., 2006; Tóth et al, 2006). Mnohí autori (Hegedúsová et al, 2006; Tomáš et al, 2005) zistili, že prídavok humínových látok výrazne imobilizoval rozpustné a výmenné formy niektorých ťažkých kovov. Koncentračné rozmedzie niklu v pôdach je široké a najčastejšie sa pohybuje od 1 do 300 mg.kg⁻¹. Priemerné hodnoty sa pohybujú medzi 30 – 80 mg.kg⁻¹. Môžu sa však vyskytovať aj extrémne vysoké obsahy Ni (100 – 7 000 mg.kg⁻¹) (Beneš, Pabianová, 1987; Makovníková, 2001). Pre hodnotenie vzťahu Ni a pH všeobecne platí, že rozpustnosť Ni je nepriamo úmerná hodnote pH, najviac je rozpustný v pôdach s pH 6,5 – 7,5. Prístupnejší je Ni v zamokrených pôdach (5 – 15 %) z celkového obsahu“ (Zaujec, 1999). Beneš a Pabianová (1987) uvádzajú, že organická hmota má veľkú schopnosť adsorbovať nikel. V ornici sa vyskytuje v organicky viazaných formách, z ktorých sa časť môže premieňať na ľahko rozpustné cheláty.

MATERIÁL A METODIKA

Frakcie a mobilitu kadmia a olova v pôde (po aplikácii biokalu získaného kontinuálnou kofermentáciou živočíšnych odpadov a energetických plodín) sme zisťovali v podmienkach poloprevádzkového pokusu na Výskumnej báze SPU v Kolíňanoch. Záujmová plocha je situovaná východne od obce Kolíňany na parcele „Letisko“. Severnou hranicou je štátna cesta Nitra – Zlaté Moravce, východnou hranicou letisko VPP a juhozápadnou hranicou je koryto miestneho potoka. Pôdny typ : hnedozem kultizemná. Počet variantov : 3 opakování pokusu : 4 (podľa plodín v oševnom postupe). Cieľom pokusu bolo zistiť vplyv aplikovaného biokalu na mobilitu kadmia a olova v pôde, ich príjem pestovanými plodinami a porovnať obsah týchto prvkov v pôde a rastlinných produktoch s legislatívnymi normami.

Varianty pokusu :

- Kontrola : bez aplikácie biokalu
- Variant 1 : aplikácia biokalu na jeseň – 50 t.ha⁻¹
- Variant 2 : aplikácia biokalu na jar – 50 t.ha⁻¹

V rámci poloprevádzkových pokusov sa na parcelách o veľkosti 18x100 metrov pestovali nasledovné plodiny : jačmeň jarný, cukrová repa, kukurica na siláž, slnečnica ročná. Medzi jednotlivými parcelami boli zaradené ochranné plochy o veľkosti 6x100 m. Pri odbere a úprave pôdnych vzoriek sme postupovali podľa „Závazných metodík rozborov pôd, ČMS – Pôda (Fiala, 1999). Pre hodnotenie pôdnej hygieny sme stanovili celkové obsahy ťažkých kovov (Cd a Ni) vo výluhu HNO₃+HClO₄+HF. Analýzy pôdnych mineralizátov sa uskutočnili metódou plameňovej atómovej absorpčnej spektrofotometrie v plameni acetylén – vzduch na základe charakteristickej absorpcie žiarenia na rezonančných čidlách týchto prvkov. Celkové obsahy ťažkých kovov zahrňajú ich všetky formy, ktoré sa v pôde nachádzajú a podľa Rozhodnutia MP SR o najvyšších prípustných hodnotách škodlivých látok v pôde č. 531/1994 sú určujúce pre hodnotenie pôdnej hygieny. Obsah kadmia a niklu v pôde sme určili aj podľa Zákona 220/2004 vo výluhu lúčavky kráľovskej. V záujme posúdenia bioprístupnosti ťažkých kovov sme sledovali distribúciu kadmia a niklu v jednotlivých pôdnych typoch metódou selektívnej sekvenčnej extrakcie (SSE) podľa metodiky Ziehena a Brümmera (1991) v hĺbke 0 – 0,1 m. V tejto hĺbke prebieha najaktívnejší príjem ťažkých kovov, a preto je hodnotenie ich bioprístupnosti najvýznamnejšie.

Metódou selektívnej sekvenčnej extrakcie sme stanovili nasledujúcich sedem frakcií :

1. **frakcia** : *mobilitné formy ťažkých kovov*, Extr. : 1 M NH₄NO₃
2. **frakcia** : *ľahko prístupné formy ťažkých kovov*, Extr. : 1 M NH₄OAc
3. **frakcia** : *ťažké kovy viazané na Mn – oxidy*, Extr. : 0,1 M NH₂OHHCl + 1 M NH₄OAc
4. **frakcia** : *kovy viazané na organickú hmotu*, Extr. : 0,025 M NH₄-EDTA

5. frakcia : kovy viazané na amorfné Fe – oxidy, Extr. : 0,2 M NH₄OAc

6. frakcia : kovy viazané na kryštalické Fe – oxidy, Extr. : 0,1 M kys. askorbová + 0,2M NH₄-oxalát

7. frakcia : reziduálna frakcia, Extr. : 65 % HNO₃, 72 % HClO₄

Analytická metóda stanovenia bola plameňová AAS (PYE UNICAM SP-9).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hodnotenie rizikových prvkov v aplikovanom biokale

Rozbor aplikovaného biokalu sa uskutočnil po jeho aplikácii do pôdy. Analýza obsahu sledovaných rizikových prvkov v aplikovanom biokale preukázala, že medzná hodnota stanovená zákonom pre maximálny obsah kadmia a niklu v pôde nebola prekročená ani u jedného zo sledovaných prvkov (tab.1)

Tabuľka 1 Obsah kadmia a niklu v aplikovanom biokale a porovnanie s medznými hodnotami (podľa Zákona 188/2003 Z.z.) v mg.kg⁻¹

	Popol %	Sušina %	Ni	Cd
vstup	27,31	4,72	9,7	0,74
výstup	47,98	7,12	10,5	1,41
medzná hodnota			300	10

Vstup – nevyhnutý substrát *Výstup* – vyhnitý substrát

V substráte, získanom po kontinuálnej výrobe bioplynu sme zistili, v procese „vyhňovania“ prišlo k nárastu podielu popola a sušiny. V prípade rizikových prvkov sme zistili, že obsah niklu a kadmia bol vo vyhnitom substráte vyšší, ako vo vstupnom substráte. Uvedené obsahy sledovaných rizikových prvkov sú rádovo nižšie, ako je medzná hodnota pre ich obsah uvedený v zákone. Priemerný obsah niklu predstavuje 3,36 % podiel z limitnej (medznej) hodnoty pre jeho obsah definovaný legislatívou. Priemerný obsah kadmia v biokale predstavuje 10,75 % podiel z medznej hodnoty. Ako z vyššie uvedeného vyplýva, aplikovaný biokal spĺňal legislatívne stanovené limitné hodnoty pre obsah niklu a kadmia a je vhodný na aplikáciu do poľnohospodárskej pôdy.

Hodnotenie obsahu niklu a kadmia v pôde

Pri hodnotení obsahu sledovaných ťažkých kovov v pôde vychádzame z dvoch legislatívnych noriem týkajúcich sa ich hodnotenia a limitných hodnôt ich obsahov v pôde. Vyhláška MP SR č. 531/1994 – 540 hodnotí stav pôdnej hygieny na základe zistení celkového obsahu rizikového prvku v pôde a v porovnaní s limitnou (klarkovou) hodnotou, ktorá sa stanovuje rozkladom pôdnej vzorky zmesou kyselín HCl + HF + HNO₃ a stanovení potencionálne mobilnej formy prvku v pôde stanovenou vo výluhu 2M HNO₃. Zákon č. 220/2004 predpisuje stanovenie obsahu rizikového prvku v pôde rozkladom lúčavkou kráľovskou (HCl + HNO₃ v pomere 3:1). Obe metodiky majú svoje výhody aj nevýhody, preto sme sa rozhodli pri analýzach použiť oba spôsoby stanovenia. Z výsledkov stanovení celkových obsahov niklu a kadmia v pôde vyplýva, že obsah niklu v pôdach je vyšší, ako je legislatívne stanovená hodnota (35 mg.kg⁻¹) vo všetkých vzorkách s výnimkou vzorky P1. Priemerný obsah Ni za analyzovaný súbor je 39,76 mg.kg⁻¹, čo predstavuje prekročenie limitnej hodnoty o 13,14 %

Celkový obsah kadmia v pôdach vo všetkých analyzovaných vzorkách je vyšší, ako je limitná hodnota (0,8 mg.kg⁻¹) pre obsah Cd v pôdach. Priemerný celkový obsah kadmia v celom sledovanom súbore je 1,46 mg.kg⁻¹, čo je prekročenie limitnej hodnoty o 43,12 %. Z hľadiska celkového hodnotenia možno konštatovať, že sledované pôdy sú z hľadiska obsahu kadmia a niklu rizikové. Aplikácia biokalu nemala významný vplyv na zvýšenie, resp. zníženie obsahu kadmia a niklu v pôde. Ako z tabuľky 2 vyplýva, obsah sledovaných prvkov v pôde s porovnaním s kontrolnými variantmi sa výrazne nezmenil. Výsledky stanovení celkových obsahov Ni a Cd

v kontrolnom variante poukazujú na skutočnosť, že sledované pôdy majú prirodzene zvýšený obsah kadmia a niklu. Aplikácia biokalu nemala za následok relevantné zmeny v obsahu sledovaných prvkov v pôde.

Tabuľka 2 Celkový obsah niklu a kadmia v pôde a porovnanie s limitnými hodnotami (podľa Vyhlášky MP SR 531/1994-540) v mg.kg^{-1}

			Ni	Cd
P1	kontrola	opakovanie 1	32,80	1,18
P2	kal jeseň		35,60	1,08
P3	kal jar		36,40	1,04
P4	kontrola	opakovanie 2	38,40	1,16
P5	kal jeseň		38,00	1,20
P6	kal jar		40,00	1,04
P7	kontrola	opakovanie 3	40,00	1,20
P8	kal jeseň		38,40	1,16
P9	kal jar		42,40	1,20
P10	kontrola	opakovanie 4	38,00	1,24
P11	kal jeseň		38,80	1,16
P12	kal jar		36,80	1,08
Limitná hodnota			35	0,8

V tabuľke 3 sú uvedené obsahy sledovaných ťažkých kovov stanovených vo výluhu 2M HNO_3 , čo predstavuje tzv. **potenciálne mobilizovateľné formy** ťažkých kovov a zahrňuje rôzne frakcie prvkov z hľadiska ich rozpustnosti v pôdnom roztoku. Extrakcia zriedenou 2M HNO_3 sa používa k posúdeniu možnej kontaminácie pôd niektorými rizikovými kovmi v rámci limitných hodnôt rizikových prvkov. Analytická metóda stanovenia je plameňová AAS podľa metodiky VÚPOP (Fiala, 1999). Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že hľadiska obsahu niklu a kadmia v pôde možno konštatovať, že analyzované pôdne vzorky nemajú vyšší obsah sledovaných prvkov ako povoľuje legislatívna norma. Priemerný obsah niklu v celom súbore sledovaných vzoriek pôdy je $4,73 \text{ mg.kg}^{-1}$ a priemerný obsah kadmia vo vzorkách pôdy je $0,212 \text{ mg.kg}^{-1}$. Stanovené obsahy predstavujú 47,73 % úrovne limitnej hodnoty (10 mg.kg^{-1}) pre obsah niklu a 70,66 % úrovne limitnej hodnoty ($0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$) pre obsah kadmia v pôdach. Kvantitatívne zmeny obsahu niklu a kadmia v pôde v dôsledku aplikácie biokalu nie sú preukazné, zvýšenie, resp. zníženie obsahu rizikových prvkov sú len nepatrné, k výrazným zmenám nedošlo ani v jednom prípade. Stanovené obsahy sú bezpečne pod limitnou hodnotou a reálne riziko kontaminácie pôd a vstupu týchto prvkov do potravinového reťazca nízke.

Tabuľka 3 Obsah potenciálne mobilizovateľných foriem ťažkých kovov v pôde a porovnanie s limitnými hodnotami (podľa Vyhlášky MP SR 531/1994-540) v mg.kg⁻¹

			Ni	Cd
P1	kontrola	opakovanie 1	4,72	0,210
P2	kal jeseň		4,48	0,202
P3	kal jar		4,42	0,222
P4	kontrola	opakovanie 2	4,54	0,190
P5	kal jeseň		4,84	0,208
P6	kal jar		4,88	0,228
P7	kontrola	opakovanie 3	5,44	0,246
P8	kal jeseň		4,74	0,202
P9	kal jar		4,70	0,214
P10	kontrola	opakovanie 4	4,80	0,216
P11	kal jeseň		4,30	0,182
P12	kal jar		4,96	0,232
Limitná hodnota			10	0,3

Priemerné obsahy potenciálne mobilizovateľných foriem Ni a Cd za celý sledovaný súbor analyzovaných ťažkých kovov v porovnaní s limitnými hodnotami a vyjadrenie percentuálneho podielu z limitnej hodnoty je uvedené v tabuľke 4. Z hľadiska celkového obsahu a obsahu potenciálne mobilných foriem rizikových prvkov je dôležitá skutočnosť, že hoci je limitná hodnota pre celkový obsah niklu a kadmia prekročená, ide o formy prvkov, ktoré nie sú pre rastliny prijateľné. To dokumentuje práve ich obsah stanovený vo výluhu 2 M HNO₃; tj. obsah prístupných foriem týchto prvkov je nižší ako je legislatívna limitná hodnota a riziko ich vstupu do rastlinnej produkcie je nízke.

Tabuľka 4 Obsah potenciálne mobilizovateľných foriem ťažkých kovov v pôde v mg.kg⁻¹ a porovnanie s limitnými hodnotami (podľa Vyhlášky MP SR 531/1994-540)

parameter	Ni	Cd
priemerná hodnota	4,73	0,212
limitná hodnota	10,00	0,30
% z limitnej hodnoty	47,73	70,66

Ak hodnotíme stav pôdnej hygieny podľa zákona č. 220/2004, tak je zrejmé, že aj podľa týchto kritérií sa viac problematickým javí kadmium ako nikel. Výsledky stanovení obsahu rizikových prvkov v lúčavke kráľovskej je uvedený v tabuľke 5. Aplikáciou biokalu na jeseň prišlo k miernemu zvýšeniu obsahu kadmia v pôde, aplikácia biokalu na jar mala opačný účinok a obsah kadmia v pôde mierne poklesol. Zvýšenie ani zníženie obsahov rizikových prvkov v pôde však nie je také výrazné, že by bolo možné vysloviť jednoznačné závery, či je to priamy dôsledok aplikácie biokalu. Hodnota priemerného obsahu kadmia v pôde je vyššia o 4,5 % ako je limitná hodnota pre tento prvok. Hodnota priemerného obsahu niklu v pôde (33,2 mg.kg⁻¹) je nižšia o 33,6 % ako je limitná hodnota pre tento prvok.

Tabuľka 5 Obsah ťažkých kovov v pôde a porovnanie s limitnými hodnotami (podľa Zákona č. 220/2004) vo výluhu lúčavky kráľovskej v mg.kg^{-1}

variant		Ni	Cd
P1	kontrola	33	0,78
P2	kal jeseň	34	0,8
P3	kal jar	32,6	0,6
limitná hodnota		50	0,7

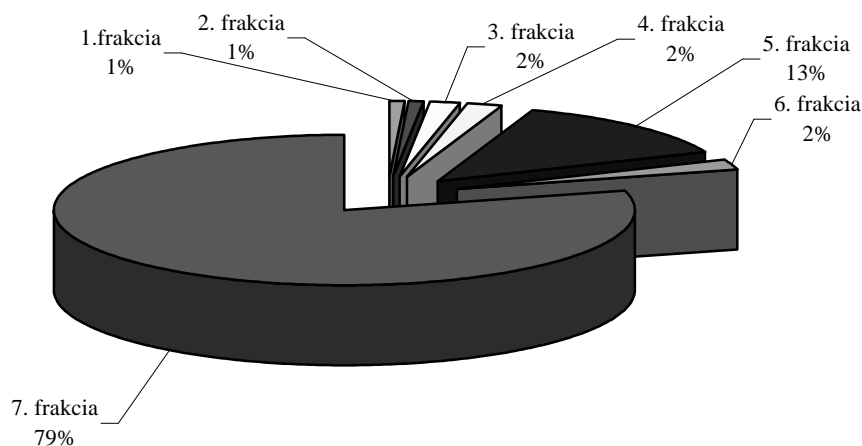
Stanovenie obsahu ťažkých kovov metódou selektívnej sekvenčnej extrakcie (SSE)

Posúdenie bioprístupnosti ťažkých kovov sme sledovali distribúciou ťažkých kovov v jednotlivých variantoch metódou selektívnej sekvenčnej extrakcie (SSE) podľa metodiky Zieheha a Brümmera v hĺbke 0 – 0,1 m.

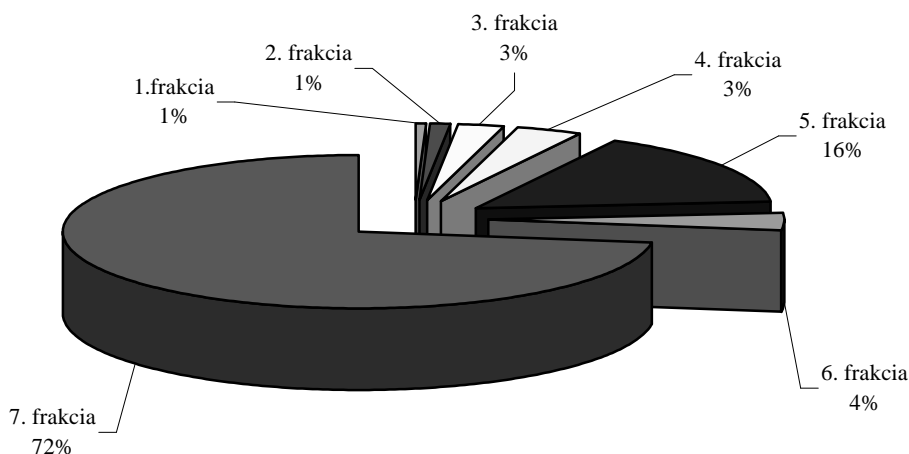
Stanovili sme nasledujúcich sedem frakcií :

1. frakcia : *mobilmé formy ťažkých kovov*
2. frakcia : *ľahko prístupné formy ťažkých kovov*
3. frakcia : *ťažké kovy viazané na Mn – oxidy*
4. frakcia : *kovy viazané na organickú hmotu*
5. frakcia : *kovy viazané na amorfné Fe – oxidy*
6. frakcia : *kovy viazané na kryštalické Fe – oxidy*
7. frakcia : *reziduálna frakcia*

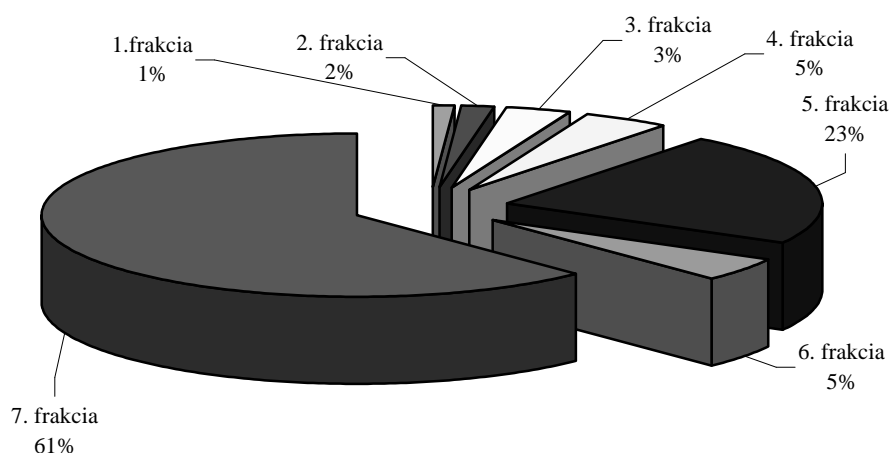
Frakcie 1,2 a 3 predstavujú tie formy rizikových prvkov, ktoré sú pre rastliny v danom pôdnom type prístupné; tieto formy predstavujú najväčšie riziko pre vstup daného prvku do rastlinnej produkcie. Frakcie 4,5 a 6 reprezentujú tie formy prvkov v pôde, ktoré prakticky nie sú rastlinou prijateľné, ale za určitých okolností (zmena pH, zlý pomer fulvokyselín a humínových kyselín v pôde, nízka zásoba živín, extrémne vysoký obsah niektorého rizikového prvku v pôde,...) sa môžu transformovať na prijateľnú formu. Ide o formy, ktoré sú potenciálne mobilné, s nízkym rizikom ich vstupu do rastlinných orgánov. Frakcia 7 predstavuje tie formy prvkov, ktoré nie sú rastlinou prijateľné, sú viazané na ílovité minerály, na silikáty, nachádzajú sa v chelátovej forme. Prvky v takejto forme nepredstavujú žiadne reálne riziko pre ich príjem rastlinou. Na obrázkoch 1- 6 sú uvedené podiely jednotlivých frakcií sledovaných ťažkých kovov podľa realizovaných variantov.



Obrázok 1 Frakcionácia niklu – kontrolný variant



Obrázok 2 Frakcionácia niklu – variant : aplikovaný kal na jeseň

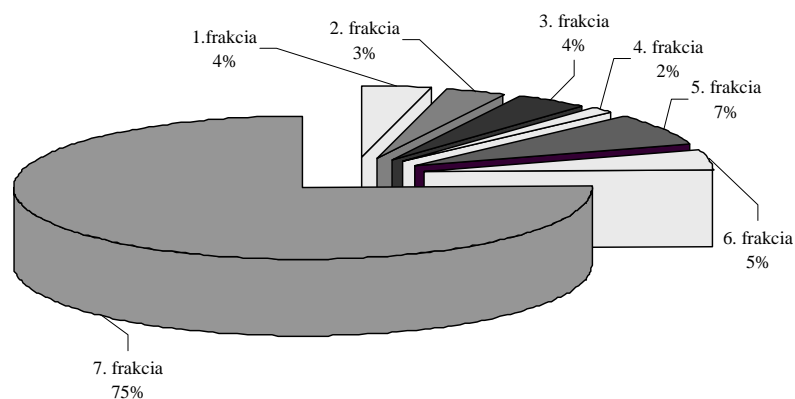


Obrázok 3 Frakcionácia niklu – variant : aplikovaný kal na jar

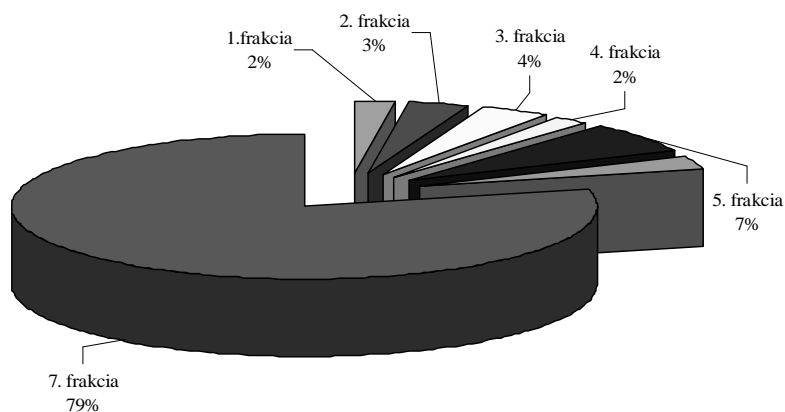
Metódou selektívnej sekvenčnej extrakcie (SSE) sme stanovili formy (frakcie) sledovaných rizikových prvkov v pôde.

Celkový obsah niklu v pôde je podľa hodnotenia Vyhlášky MS SR č. 531/1994-540 vyšší ako je limitná hodnota o 13 %. Preto je dôležité metódou SSE stanoviť jednotlivé frakcie so zameraním sa na prijateľné formy tohto prvku. Pomocou metódy SSE sme zistili (obr. 1 - 3), že nikel sa v pôde nachádza prevažne v reziduálnej frakcii s percentuálnym zastúpením 61-79 %, frakcie 5 a 6 tvoria rozpätie 15-28 % a prijateľné formy (frakcia 1-4) tvoria len 8 – 11 % podiel z celkového obsahu Ni v pôde. Táto skutočnosť a zistenie je dôležité, a predpokladá nízky príjem niklu rastlinami napriek jeho vysokému celkovému obsahu v pôde.

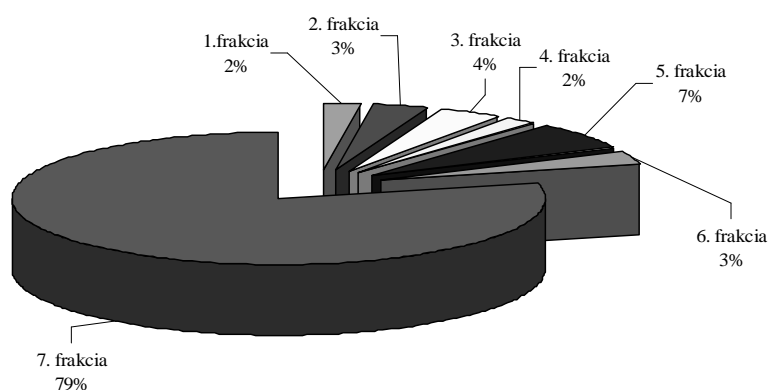
Z porovnania jednotlivých variantov hnojenia vyplýva, že aplikácia biokalu nemala vplyv na sledované formy niklu v pôde v porovnaní s kontrolným variantom. V porovnaní variantov pokusu bolo zastúpenie sledovaných frakcií niklu pomerne vyrovnané, bez výraznejších zmien. Aplikáciou biokalu na jar (obr. 3) prišlo k nárastu podielu zastúpenia 5. frakcie (Ni viazaný na amorfné oxidy železa v pôde), a to na úkor reziduálnej frakcie v porovnaní s kontrolným variantom. Väzba Ni na oxidy železa v pôde predstavuje stabilné zlúčeniny pôdneho sorpčného komplexu v pôde, ktoré pri dostatočnej zásobe živín nie sú pre rastliny prístupné, to znamená, že nikel v tejto forme je pre rastliny neprijateľný.



Obrázok 4 Frakcionácia kadmia – kontrolný variant



Obrázok 5 Frakcionácia kadmia – variant : aplikovaný kal na jeseň



Obrázok 6 Frakcionácia kadmia – variant : aplikovaný kal na jar

Frakcionáciou kadmia sme zistili, že aplikáciou biokalu do pôdy sa podiel jednotlivých frakcií zmenil len v minimálnej miere. Podiel jednotlivých frakcií vo všetkých sledovaných variantoch je uvedený v obrázkoch 3 až 6. Zastúpenie frakcií 1 až 4, predstavujúcich rastlinami prijateľné formy kadmia, je v jednotlivých variantoch 11-13 %. Tento poznatok je dôležitý vzhľadom na

to, že celkový obsah kadmia v pôde je vyšší o 48 % ako je jeho limitná hodnota pre tento prvok a z hľadiska jeho obsahu v pôde sa tieto pôdy považujú za rizikové. Najväčšie zastúpenie má reziduálna frakcia, a to v rozpätí 75 až 79 %. Z uvedeného vyplýva, že 72 až 79 % kadmia v pôde sa nachádza vo formách, ktoré nie sú pre rastliny prijateľné a nepredstavujú riziko ich zvýšeného príjmu.

Ak porovnáme podiel sledovaných frakcií stanovených metódou selektívnej sekvenčnej extrakcie v sledovaných variantoch pokusu, tak môžeme konštatovať, že aplikovaný biokál nemal vplyv na zastúpení frakcií kadmia v pôde ani v jednom variante. Zaujímať všetkých frakcií vo variantoch je porovnateľné, bez výrazných rozdielov.

ZÁVER

Sumárne možno konštatovať, že sledované pôdy sú z hľadiska celkových obsahov sledovaných ťažkých kovov rizikové z dôvodu zvýšeného obsahu niklu a kadmia v pôde. Rizikovosť pôd vyplýva na základe hodnotenia pôdnej hygieny podľa Vyhlášky MS SR 531/1994-540, kde z hľadiska celkového obsahu Ni a Cd je zrejmé prekročenie legislatívne stanovenej medznej hodnoty u oboch sledovaných prvkov. Hodnotenie obsahu Ni a Cd vo výluhu 2M HNO₃ však poukazuje na skutočnosť, obsah potenciálne mobilizovateľných foriem niklu a kadmia v pôde je nízky, neprekračujúci limitné hodnoty, čo znamená, že napriek vysokému celkovému obsahu sledovaných prvkov v pôde, podiel rastlinou prijateľných foriem Ni a Cd je nízky a predpokladá len malé riziko vstupu týchto prvkov v pôdy do biomasy pestovaných plodín.

Ak hodnotíme rizikovosť pôd podľa zákona 220/2004 Z.z., tak výsledky poukazujú na skutočnosť, že limitná hodnota pre obsah kadmia v pôde bola prekročená v dvoch variantoch. Tieto stanovišťa z tohto pohľadu patria medzi rizikové. Obsah niklu v pôde je podľa uvedenej legislatívy nižšia ako je stanovená limitná hodnota. Aplikácia biokalu nemala preukazný vplyv na zníženie alebo zvýšenie celkového obsahu rizikových prvkov v pôde.

Metódou SSE sme zistili, tak v prípade niklu, tak aj v prípade kadmia má najväčšie zastúpenie reziduálna frakcia, ktorá reprezentuje tie formy prvkov v pôde, ktoré nie sú pre rastliny prijateľné. Táto skutočnosť je dôležitá, ak berieme do úvahy vysoký celkový obsah kadmia a niklu v pôde, na základe ktorého tieto pôdy radíme medzi pôdy rizikové. Výsledky SSE poukazujú na to, že cca 75 % všetkého kadmia a niklu v pôde je rastlinou nevyužiteľné a neprijateľné. Podiel prijateľných foriem Ni a Cd v pôde je nízky, u niklu to predstavuje 6 – 11 % z jeho celkového obsahu v pôde a u kadmia je tento podiel 11-13 % v závislosti od variantu pokusu. Aplikácia biokalu nemala výrazný vplyv na zmeny v zastúpení jednotlivých frakcií niklu a kadmia v pôde.

Zvýšený obsah kadmia a niklu v pôde nie je možné hodnotiť ako dôsledok aplikácie biokalu, ale naopak možno konštatovať, že aplikáciou biokalu sa do pôdy pridala organická hmota, čo je významným faktorom z hľadiska blokovania mobility rizikových prvkov v pôde. Z hľadiska odporúčaní bude potrebné napriek vyššie uvedeným zisteniam, venovať zvýšenú pozornosť týmto prvkom.

LITERATÚRA

- BAJČAN D., LAHUČKÝ L., STANOVIČ R., TREBICHALSKÝ P., TIMORACKÁ M. 2006. Rizikové látky v poľnohospodárskych plodinách Ipeľského regiónu. In: Výživa a potraviny pre tretie tisícročie „ Výživa a nádorové ochorenia“. Nitra: SPU Nitra, 2006, pp. 18-21 ISBN 80-8069-775-2
- BENEŠ S., PABIANOVÁ J. 1987. Přirozené obsahy, distribuce a klasifikace prvků v půdách. Praha: VSŽ, 1987. 205 s.
- FIALA K. 1999. Závazné metody rozborov pôd. Čiastkový monitorovací systém – pôda. Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy v Bratislave, Edičné stredisko VÚPOP, 142 s., ISBN 80 – 85361 – 55 – 8.
- HEGEDŮSOVÁ A., HEGEDŮS O., MUSILOVÁ J. 2006. Riziká kontaminácie pôd kadmium. Monografia. Vyd. Fakulta prírodných vied UKF v Nitre, 1. vydanie. 2006. 89 s. ISBN 80-8094-047-9

- CHLPÍK J., POSPIŠIL R. 2004. Plošná charakteristika mechanických a chemických vlastností pôdy na Výskumnej báze Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre, lokalita Kolíňany. In : Acta fytotechnica et zootechnica, roč. 7, 2004, č 1., s. 6-10.
- MAKOVNÍKOVÁ J. 2001. Distribúcia kadmia a olova v hlavných pôdnych predstaviteľoch Slovenska. In: Poľnohospodárstvo, roč. 47, 2001, č. 12, s. 903-911
- PETROVÁ J. 2005. Vplyv kalov z ČOV a vyfermentovaného produktu pri výrobe bioplynu na úrodu kukurice siatej. Dizertačná práca. SPU (2005)
- TOMÁŠ J., BAJČAN D., VOLLMANNOVÁ A., ZAUJEC A., JOMOVÁ K. 2005. Rizikové prvky okolia Rudnian a Krompách. In : Zborník z 57. zjazdu chemických spoločností. Tatranské Matliare, sept. 2005. ChemZi, Vol. 1/1, s. 103, ISSN 1336-7242
- TÓTH T., TOMÁŠ J., LAZOR P., BAJČAN D., LAHUČKÝ L. 2006. Vplyv biokalov získaných kontinuálnou kofermentáciou živočíšnych odpadov na stav pôdnej hygieny a kvalitu dopestovaných plodín. In: Chemické listy : časopis pro průmysl chemický. - ISSN 0009-2770. - Roč. 100, č. 8 (2006), s. 718-719.
- TÓTH T., VOLLMANNOVÁ A., MUSILOVÁ J., BYSTRICKÁ J., HEGEDUSOVÁ A., JOMOVÁ K. 2006. Rizikové prvky antropogénneho pôvodu v pôdach stredného Spiša. In: Chemické listy : ISSN 0009-2770. - Roč. 100, č. 8 (2006), s. 701-702.
- VOLLMANNOVÁ A., LAHUČKÝ L., LAZOR P., HEGEDUSOVÁ A. 2004. Kumulácia ťažkých kovov bôbom vo vzťahu k obsahu ich potenciálne bioprístupných foriem v pôde. In: Chemické Listy 98 (8), 2004, s.532
- ZAUJEC A. 1999. Cudzorodé látky a hygiena pôd. Nitra: SPU, 1999. 103 s. ISBN 80-7137-567-5
- ZIEHEN H., BRUMMNER G. W. 1991. Ermittlung der Mobilität und Bindungsformen von Schwermetallen in Boden mittels sequentieller Extraktionen. Mitt. Dtsch. Gesl. 66, 1991, s. 439 – 442

Pod'akovanie

Práca bola vypracovaná za podpory grantov VEGA č. 1/4414/07 a KEGA č. 3/4282/06.

Kontaktná adresa :

doc. RNDr. Ing. Tomáš Tóth, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, FBP, KCH, Tr. A. Hlinku 2, 949 01 Nitra, tel. : 037 641 4342, e-mail : tomas.toth@uniag.sk