

Výsledky dlouhodobého výzkumu kontaminace výsypkových antropozemí a skrývkových zemin mostecké pánve rizikovými stopovými prvky

RNDr. Michal Řehoř, Ph.D.¹, Ing. Petr Čermák, CSc.², Ing. Pavel Schmidt¹

¹Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most; rehor@vuhu.cz

²Mšenská 323/6, Praha 182 00

Přijato: 25. 4. 2014, recenzováno: 22. a 23. 5. 2014

Abstrakt

Na nejstarších a pedologicky významných antropozemích výsypek mostecké pánve byl v letech 1998 – 2013 realizován dlouhodobý výzkum zatížení těchto nových půd rizikovými stopovými prvky. Dle dosažených výsledků lze považovat jejich zatížení za málo významné. Problematickým prvkem u půdních profilů rekultivovaných k zemědělským účelům se stává v některých částech hodnocené oblasti pouze nadlimitní obsah As. Druhým problémovým okruhem bylo hodnocení výskytu rizikových stopových prvků v zeminách břehu a svahů jezera Most v letech 2012 – 2013. Zde nebyly zjištěny nebezpečně zvýšené hodnoty obsahu těchto prvků. Třetím výzkumným problémem byl výskyt rizikových stopových prvků ve skrývkových zeminách dolu Libouš, hodnocený na základě analýz vzorků z nadložního masivu. Výsledky přinesly zajímavé informace o výskytu zájmových stopových prvků v závislosti na hloubce uložení vzorku.

The results of long-term research of anthropogenic and overburden soils of the Most basin by risk trace elements

A long-term research focused on the contamination of new soils of the oldest and most important anthropogenic dumps in the Most basin by risk trace elements was carried out in the years 1998 -2013. According to the obtained results this contamination can be considered as low significant. The content of arsenic higher than the limit is the most problematic for several earth profiles in the studied area remediated for the agricultural utilization. The evaluation of the soil contamination of the Most Lake coast and slopes was the second topic of this study carried out in the years 2012 - 2013. No dangerous higher contents of this risk elements were found for this areas. The third research area was focused on the risk element content in the overburden soils of the Libouš mine evaluated by the analysis of the samples from the overburden massif. The results of this research provided interesting information about the distribution of the studied trace elements in relation with the depth of the sampled horizon.

Ergebnisse von Langzeituntersuchungen der Kontamination von anthropogenen Kippen- und Abraumböden des Moster Beckens durch Risikospurenelementen

Auf den ältesten und bodenkundlich bedeutenden anthropogenen Böden der Kippen im Moster Becken wurde in Jahren 1998 – 2013 eine Langzeituntersuchung der Belastung dieser neuen Böden durch Risikospurenelementen realisiert. Nach den erreichten Ergebnissen lässt sich Belastung dieser Böden für wenig bedeutend betrachten. Zu einem problematischen Punkt bei den zu den landwirtschaftlichen Zwecken rekultivierten Bodenprofilen wird in einigen Bereichen des zu beurteilenden Gebietes nur der den Grenzwert überschreitende As-Gehalt. Der zweite Problemkreis war die Bewertung des Vorkommens von Risikospurenelementen in Böden des Ufers und der Böschungen des Sees Most in Jahren 2012 – 2013. Hier wurden keine gefährlich erhöhten Werte des Gehaltes dieser Elemente festgestellt. Das dritte Forschungsproblem war das Vorkommen von Risikospurenelementen in Abraumböden des Tagebaus Libouš, welches auf Basis der Analysen der Proben aus dem Deckgebirge bewertet wurde. Die Ergebnisse brachten interessante Informationen zum Vorkommen der Interessenspuren-elemente mit, in Abhängigkeit von der Tiefe der abgenommenen Probe.

Klíčová slova: rizikové stopové prvky, antropozemě, rekultivace.

Keywords: risk trace elements, anthropogenic soil, reclamation.

1 Úvod

Povrchová těžba hnědého uhlí spolu s rozvinutou průmyslovou činností v oblasti mostecké pánve byla zejména v minulosti provázána rozsáhlou devastací krajiny a s tím souvisejícím zhoršeným životním prostředím. Při zahlazování báňské činnosti jsou realizovány rozsáhlé rekultivační práce, jejichž výsledkem je i vznik nových půd, určených pro zemědělské i lesnické účely.

Vytváření těchto antropozemí na různých geologických substrátech je provázáno i rizikem jejich potenciální kontaminace nežádoucími látkami z těchto substrátů a melioračních hmot používaných k rekultivačním účelům. Při úpravě půdních

vlastností svrchního horizontu byly využívány živinami bohaté kaly, elektrárenské popele pro vylehčování terciérních jíílů, průmyslová hnojiva a komposty. Tyto látky mohou představovat potenciální další zdroj nárůstu kontaminace zejména: As, Cd, Hg, Pb, Cu, Cr, Ni a Zn [3]. Zvýšené zatížení antropozemí škodlivými látkami může vést až k jejich znehodnocení a proto je nezbytné věnovat i této problematice v průběhu prováděné technické a biologické rekultivace zvýšenou pozornost. V průmyslově intenzivně využívané krajině patří k dalším negativním vlivům i imise, pocházející z energetického a chemického průmyslu. Pozornost je třeba věnovat i přirozenému geologickému pozadí zemin objevujících se na rekultivovaných lokalitách.

Nejrozšířenějšími horninami vyskytujícími se na povrchu rekultivovaných lokalit jsou tercierní jíly a dále i selektivně skrývané a navážené ornice, sprašové hlíny a slínovce.

V tomto příspěvku jsou stručně hodnoceny výsledky dlouhodobého výzkumu zemědělsky a lesnický rekultivovaných ploch hlavních výsypek mostecké pánve, výsledky výzkumu svahu a břehů jezera Most a výsledky analýz rostlých vzorků z nadloží v předpolí povrchového dolu Libouš.

2 Metodika terénních prací a laboratorních analýz

V případě hodnocení lesnické a zemědělské rekultivace na významných starých výsypkách mostecké pánve se uskutečnilo pedologické mapování lokalit, na jehož základě byly vybrány typické zeminy lesnických a zemědělských rekultivací jednotlivých výsypek a proběhl odběr vzorků z povrchového horizontu 0 – 0,4 m. V případě zemin jezera Most bylo na základě pedologického mapování vybráno 9 sond o hloubce 0,6 m s charakteristickými zeminami pro dlouhodobé vzorkování a nalezeno 15 drobných sterilních a fytotoxických ploch. Z těchto stanovišť byly odebrány vzorky pro stanovení obsahu rizikových stopových prvků.

V obou případech byly stanoveny obsahy rizikových stopových prvků As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn, Hg, které byly porovnány s limitním pozadím požadovaným pro půdy náležející do zemědělského půdního fondu dle vyhlášky MŽP ČR č. 13/1994 Sb. [1]. Limitní hodnoty rizikových prvků u lesních půd nejsou pro podmínky ČR stanoveny. Porovnáním obsahu rizikových prvků v jednotlivých horizontech lesních půd lze částečně odvodit původ zátěže (geologické pozadí, imisní, smíšená). Vzorky půdy byly analyzovány v akreditovaných laboratořích VÚMOP, v.v.i. Po provedení rozkladu půd lučavkou královskou a ve výluhu 2 mol.l⁻¹ HNO₃ byly v extraktu stanoveny kovy na atomových absorpčních spektrometrech firmy VARIAN (Austrálie) v rozsahu: VARIAN AA 240Z-ETA - elektrotermická atomizace se Zemanovou korekcí pozadí (stanovení Cd, V, Be), VARIAN AA 240-FAAS - plamenová techni-

ka (stanovení Cu, Co, Cr, Ni, Pb, Zn) a VARIAN AA 240-VGA - hydridová technika (stanovení As). Stanovení Hg bylo provedeno přímo na rtuťovém analyzátoru AMA 254 firmy Altec [2].

V případě třetího problémového okruhu byla metodika odběru vzorků a laboratorních analýz poněkud odlišná. Pro řešení bylo využito odběru vzorků z jádrového vrtu, který byl vybrán tak, aby pokrýval celý nadložní horizont povrchového dolu Libouš, včetně uhelné sloje. Při odběru bylo nadloží rozčleněno na intervaly cca 3 m, s přihlédnutím k dílčím stratigraficky odlišitelným horizontům. Při cca 100 m mocnosti nadložních vrstev zemin nad uhelnou slují bylo odebráno 35 vzorků zemin. Analytické rozbory byly provedeny v akreditovaných laboratořích VÚHU a.s. Byly realizovány analýzy rizikových stopových prvků As, Cd, Cr celk., Hg, Ni, Pb, V, Sn, Ag, Cu, Zn, Co, Mn, Be, Ni, Ba. Měření bylo doplněné o difrakční mineralogickou analýzu práškových vzorků.

3 Dosažené výsledky výzkumu

3.1 Výsledky analýz vzorků z ploch zemědělské a lesnické rekultivace na jednotlivých výsypkách mostecké pánve

Výzkum proběhl na vybraných lokalitách, kde byly vzorkovány typické plochy se starou zemědělskou a lesnickou rekultivací.

Zemědělsky rekultivované výsypky představují nepřímou rekultivaci výsypkových substrátů, kde dochází ke vzniku antropozemí humózních (převrstvení ornici o celkové mocnosti do 0,3 m) a antropozemí hluboko humózních (převrstvení ornici o celkové mocnosti více jak 0,3 m, nejčastěji 0,5 m). Dnes již málo využívanou variantu představují technologie vytváření půdních profilů vícevrstevných, tzn. že dochází nejprve k překryvu povrchu výsypky sprašovou hlínou nebo slinitými horninami (v minulosti byly pro tyto účely použity i bentonity) a potom teprve ornici o vhodné mocnosti [4].

Hodnocené lesnický rekultivované antropozemě představují nejběžnější přímý způsob rekultivace nadložních zemin (zpra-

Tab. 1: Obsah rizikových prvků v povrchovém půdním horizontu (0 – 0,2 m) u zemědělsky rekultivovaných ploch na výsypkách.

Lokalita	Obsah ve vzorku [mg.kg ⁻¹]											
	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	MO	Ni	Pb	V	Zn	Hg
Březno	17,0	4,7	0,18	14,9	16,4	23,5	0,82	31,9	38,1	94,6	40,6	0,14
Merkur I.	10,9	4,5	0,16	14,3	14,8	22,3	0,80	33,3	37,2	35,5	67,8	0,11
Merkur II.	26,5	6,5	0,18	17,2	20,2	26,7	0,84	29,0	84,4	49,4	49,4	0,12
Elizabeth	7,7	2,5	0,19	16,3	21,6	17,3	0,48	30,6	24,3	53,2	19,0	0,04
Hornojřetínská výsypka	33,6	4,2	0,19	26,2	26,3	24,6	0,63	67,3	32,4	46,0	99,2	0,16
Kopisty I.	30,9	2,3	0,14	12,6	12,2	17,4	0,64	16,6	28,2	57,4	29,3	0,11
Kopisty II.	11,3	2,7	0,13	13,1	14,9	11,1	0,44	19,4	15,1	28,6	21,3	0,08
Rudolice	7,1	2,6	0,11	15,4	9,9	13,9	0,93	20,3	19,1	48,3	28,3	0,27
Třískolupy	6,8	2,1	0,16	16,0	21,1	17,1	0,75	27,9	23,7	72,2	23,4	0,10
Střimice I.	26,7	2,7	0,25	16,3	18,7	24,6	1,21	28,6	31,6	56,1	40,0	0,10
Želenky	13,9	2,3	0,27	12,6	19,1	13,0	0,50	14,9	28,8	52,6	39,8	0,10
Úžín I.	29,3	1,4	0,32	17,6	20,5	27,6	1,53	42,4	48,8	88,1	71,0	0,45
Úžín II.	20,1	3,0	0,23	18,1	23,9	27,0	0,76	49,2	37,1	70,4	75,9	0,25
Vyhláška č. 13/1994	30,0	7,0	1,0	50,0	200	100,0	5,0	80,0	140	220	200	0,8

Tab. 2: Obsah rizikových prvků v povrchovém půdním horizontu (0 – 0,2 m) u lesnický rekultivovaných ploch na výsypkách.

Lokalita	Obsah ve vzorku [mg.kg ⁻¹]											
	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	MO	Ni	Pb	V	Zn	Hg
Merkur	17,5	2,1	0,27	16,9	50,1	27,2	0,52	36,9	27,3	86,3	115	0,06
Šverma	39,8	2,3	0,35	15,2	50,8	27,4	0,58	35,5	29,9	93,2	104	0,07
Velebudice	25,7	1,6	0,45	11,6	105,8	21,8	1,71	31,3	24,5	91,4	70,8	0,21
Střimice svahy	8,7	2,0	0,25	58,8	437,1	65,9	0,70	302	5,0	182	130	0,07
Střimice I.	7,0	1,4	0,07	6,8	45,5	11,1	0,67	16,7	11,5	50,8	40,8	0,04
Větrák	9,9	4,5	0,32	49,6	210,4	71,3	1,31	117	10,2	197	261	0,07
Lotta Marie	9,4	1,9	0,51	13,5	65,6	17,6	0,77	23,9	17,4	60,6	121	0,08
Václav	10,5	2,6	0,20	16,1	86,4	18,4	0,87	38,8	22,9	98,4	80,5	0,09
Úžín	17,2	1,6	0,69	16,5	33,8	33,8	1,02	30,7	37,9	62,5	131	0,09
Lom bentonitů	5,9	<0,1	0,14	69,2	359,2	192,7	0,74	217,0	<5,0	197	112	0,01
Vyhláška č. 13/1994	30,0	7,0	1,0	50,0	200,0	100,0	5,0	80,0	140	220	200	0,8

vidla šedých miocenních jílu) založených na povrch výsypek. Výjimkou jsou pouze svahy výsypky Střimice I, kde došlo v důsledku půdního sesuvu k náročnější rekultivační úpravě výsypkových zemí bentonity [5]. V následujícím textu jsou charakterizovány zeminy hlavních lokalit a stáří provedené rekultivace.

- Merkur – antropozem pelická, zastoupeny jsou tercierní montmorilloniticko-illiticko-kaolinitické jíl s obsahem fyzikálního jílu 75 - 80 %. Stáří rekultivace 30 let.
- Velebudice – antropozem pelická, zastoupeny jsou tercierní illiticko-kaolinitické jíl s obsahem fyzikálního jílu 40 - 50 %. Stáří rekultivace 45 let.
- Šverma – antropozem pelická, zastoupeny jsou tercierní illiticko-kaolinitické jíl s obsahem fyzikálního jílu 40 - 50 %. Stáří rekultivace 25 let.
- Střimice I svahy – antropozem překrytá, byla zde realizována rekultivace texturně lehčích výsypkových substrátů bentonity v dávce 3 000 t/ha. Stáří rekultivace 20 let.
- Střimice I – antropozem částečně arenická, zastoupen je heterogenní substrát tvořený výsypkovými zeminami písčitymi až písčitohlinitými často s podílem vypálených jílu a zemí uhelné sloje. Stáří rekultivace 20 let.
- Větrák – antropozem pelická, zastoupen je heterogenní substrát tvořený jíly, sprašovými hlínami, vypálenými jíly, bentonity a zeminami uhelné sloje. Stáří rekultivace 45 let.
- Lotta Marie – antropozem, zastoupena je heterogenní směs jílovitých písků a sprašových hlín. Stáří rekultivace 50 let.
- Václav – antropozem pelická, zastoupena je heterogenní směs tercierních jílu a jílovitých písků. Stáří rekultivace 40 let.
- Úžín – antropozem, zastoupeny jsou tercierní montmorilloniticko-illiticko-kaolinitické jíl s obsahem fyzikálního jílu 20 - 25 %. Stáří rekultivace 45 let.

Tabulky č. 1 a 2 ukazují obsah rizikových stopových prvků na zemědělsky a lesnický rekultivovaných plochách jednotli-

vých lokalit. Graf č. 1 ukazuje obsah arzenu (As) na jednotlivých lokalitách v závislosti na hloubce odběru.

Zjištěné obsahy rizikových stopových prvků byly porovnány s limitním pozadím požadovaným pro půdy náležející do zemědělského půdního fondu dle vyhlášky MŽP ČR č. 13/1994 Sb.).

- *Arzen*: Zatížení tímto prvkem je výjimečně i nadlimitní, u zemědělsky rekultivovaných výsypek dosahuje 23 - 112 % a u lesnických 24 - 133 %.
- *Beryllium*: Zatížení tímto prvkem je podlimitní, u zemědělsky rekultivovaných výsypek dosahuje 20 - 91 % a u lesnických 20 - 64 %.
- *Kadmium*: Zatížení tímto prvkem je podlimitní, u zemědělsky rekultivovaných výsypek dosahuje 11 - 32 % a u lesnických 7 - 69 %.
- *Kobalt*: Zatížení tímto prvkem je podlimitní, u zemědělsky rekultivovaných výsypek dosahuje 25 - 52 % a u lesnických 14 - 34 % (výjimku mohou představovat pouze antropozemě ovlivněné bentonity, kde byl zaznamenán nárůst obsahu až na 102 %).
- *Chrom*: Zatížení tímto prvkem je podlimitní, u zemědělsky rekultivovaných výsypek dosahuje 5 - 13 % a u lesnických 17 - 53 % (výjimku mohou představovat pouze antropozemě ovlivněné bentonity, kde byl zaznamenán nárůst obsahu až na 218 %).
- *Měď*: Zatížení tímto prvkem je podlimitní, u zemědělsky rekultivovaných výsypek dosahuje 11 - 28 % a u lesnických 11 - 34 % (výjimku mohou představovat pouze antropozemě ovlivněné bentonity, kde byl zaznamenán nárůst obsahu až na 71 %).
- *Molybden*: Zatížení tímto prvkem je podlimitní, u zemědělsky rekultivovaných výsypek dosahuje 1 - 30 % a u lesnických 1 - 35 %.
- *Nikl*: Zatížení tímto prvkem je podlimitní, u zemědělsky rekultivovaných výsypek dosahuje 19 - 84 % a u lesnických 21 - 50 % (výjimku mohou představovat pouze antropozemě ovlivněné bentonity, kde byl zaznamenán nárůst obsahu až na 310 %).
- *Olovo*: Zatížení tímto prvkem je podlimitní, u zemědělsky

rekultivovaných výsypek dosahuje 10 - 60 % a u lesnických 4 - 27 %.

- **Vanad:** Zatížení tímto prvkem je podlimitní, u zemědělsky rekultivovaných výsypek dosahuje 13 - 43 % a u lesnických 23 - 45 % (výjimku mohou představovat pouze antropozemě ovlivněné bentonity, kde byl zaznamenán nárůst obsahu až na 90 %).
- **Zinek:** Zatížení tímto prvkem je podlimitní, u zemědělsky rekultivovaných výsypek dosahuje 9 - 50 % a u lesnických 20 - 60 % (výjimku mohou představovat pouze antropozemě ovlivněné bentonity, kde byl zaznamenán nárůst obsahu až na cca 100 %).
- **Rtuť:** Zatížením tímto prvkem je podlimitní, u zemědělsky rekultivovaných výsypek dosahuje 5 - 50 % a u lesnických 5 - 30 % [6].

3.2 Výsledky analýz vzorků zemin břehu a svahů jezera Most

Hydrická rekultivace bývalého lomu Ležáky/Most dnes představuje v České republice unikátní rekultivační projekt. Detailní výzkum oblasti jezera byl umožněn řešením výzkumného úkolu zadaného Technologickou agenturou České republiky (TA ČR). Součástí pedologické problematiky je i hodnocení výskytu rizikových stopových prvků. Pro zachování kontinuity výzkumu byla zachována metodika hodnocení sedimentů mostecké pánve využívaná již od 90. let 20. století (viz kapitola 2).

V rámci pedologického výzkumu byla oblast břehu a svahů rozčleněna na 3 relativně homogenní oblasti, v nichž bylo vyloubeno 9 stálých sond pro dlouhodobé vzorkování (viz obrá-

zek č. 1). V rámci detailního mapování bylo zatím nalezeno 15 drobných fytotoxických a sterilních plošek. Tyto lokality byly v letech 2012 – 2013 využity k odběru vzorků pro analýzy na rizikové stopové prvky [7].

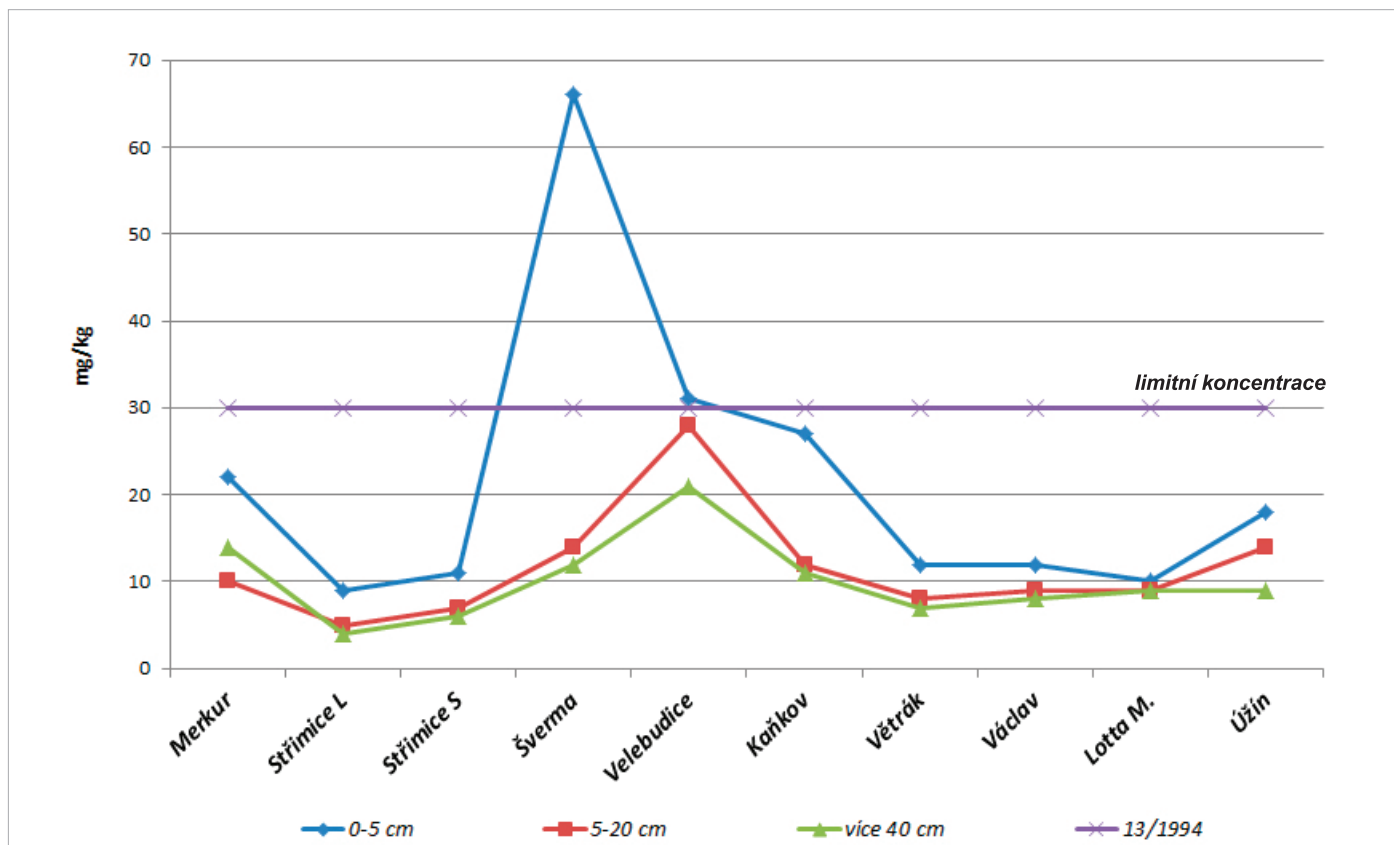
Obsahy rizikových stopových prvků zjištěné v zeminách stálých odběrných sond jsou velmi nízké i ve srovnání se starými rekultivacemi hodnocenými v kapitole 3.1. Jde o kaoliniticko-illitické jílovce relativně nedávno přemístěné na povrch terénu. Poněkud vyšší obsahy rizikových stopových prvků byly zjištěny u fytotoxických plošek nalezených mapováním. Výsledky analýz u 6 z nich ukazuje tabulka č. 3.

Obsahy rizikových stopových prvků jsou v zeminách fytotoxických ploch vyšší nežli v případě základních odběrných sond. Poměrně výrazný rozdíl byl zjištěn mezi fytotoxickými ploškami s uhelnou hmotou (plochy 2 a 4) a plochami sterilními se zvýšeným obsahem sideritu (plochy 1, 3, 5, 6). Zvýšené obsahy rizikových stopových prvků v zeminách s uhelnou hmotou pravděpodobně způsobují přítomné sulfidy železa a produkty jejich rozpadu.

V žádném hodnoceném vzorku nebyly zjištěny nebezpečné obsahy rizikových stopových prvků. Veškeré zjištěné výsledky uvádějí dílčí výzkumné zprávy projektu TA ČR [8].

3.3 Výsledky analýz vzorků zemin odebraných z nadložních vrstev povrchového dolu Libouš

Tato část výzkumu byla oproti předcházejícím problémovým okruhům zásadně odlišná. Hodnocené vzorky byly odebrány z jádra vrtu vybraného tak, aby procházel celým nadložním



Graf 1: Závislost obsahu arzenu v zeminách výsypkových lokalit na hloubce odběru vzorku.

Tab. 3: Obsah rizikových prvků v zeminách fyto toxických a sterilních plošek (svahy jezera Most).

Prvek	Obsah ve vzorku [mg.kg ⁻¹]					
	plocha 1	plocha 2	plocha 3	plocha 4	plocha 5	plocha 6
As	3,1	10,5	5,3	14,1	4,1	1,9
Be	1,53	1,32	0,75	1,65	0,95	0,11
Cd	0,64	0,43	0,30	0,83	0,43	0,08
Co	14,9	16,1	19,1	21,3	9,9	4,2
Cr	44,5	48,9	21,5	55,4	36,2	8,1
Cu	33,8	44,2	26,1	53,2	32,8	4,6
Hg	-	-	-	-	-	-
Mo	2,66	3,01	1,98	3,25	1,66	0,18
Ni	31,4	28,6	16,4	33,6	18,3	6,25
Pb	28,6	35,2	22,5	46,8	32,8	9,3
V	23,9	28,6	9,7	31,5	18,6	8,5
Zn	63,2	88,5	23,6	86,2	24,7	11,2

masivem povrchového dolu Libouš. Metodiku odběru vzorků, analýz i výběr rizikových stopových prvků uvádí kapitola 2. Limitní hodnoty vycházejí i v tomto případě z vyhlášky MŽP ČR č. 13/1994 Sb. pro zemědělské půdy.

V tomto případě šlo o rostlé vzorky nadložních zemin. Zatímco u lokalit hodnocených v kapitolách 3.1 a 3.2 byla kontaminace odebraných vzorků způsobena kombinací přirozeného geologického pozadí a antropogenních vlivů, tyto vzorky nejsou lidskou činností nijak dotčeny a veškerá kontaminace pochází z přirozeného geologického pozadí.

Vzhledem k rozsahu analýz a faktu, že interpretace dat stále probíhá, nelze v rámci tohoto příspěvku uvést veškeré výsledky. U většiny hodnocených prvků se zjištěné obsahy pohybují pod limitními hodnotami a překračují je pouze v ojedinělých případech. Podle očekávání byla zjištěna extrémní koncentrace barya v oblasti výskytu crandallitového proplásku. Specifická je problematika As.

Zjištěné výsledky obsahu prvku As se v ojedinělých případech pohybují nad limitní koncentrací, zejména pak v hloubkové úrovni do 50 m. Výrazněji zvýšená je zjištěná průměrná kon-



Obr. 1: Situace kopaných sond na břehu jezera Most.

(Zdroj: Palivový kombinát Ústí, státní podnik; úprava RNDr. Michal Řehoř, Ph.D.).

centrace u reprezentativního hloubkového horizontu 9 – 12 m. Jde přitom o hloubku, kde jsou již vzhledem k charakteru zemin (prakticky nepropustné jílovce) antropogenní vlivy vyloučeny.

Ve vazbě na zjištěné výsledky výskytu prvku As v nadložních zeminách lokality lomu Libouš se potvrzuje fakt, že výskyt tohoto kovu není vázán zejména v oblasti mostecké pánve pouze na uhelnou hmotu, ale prakticky na celý nadložní i povrchový horizont. Poněkud zvýšené obsahy As v horizontu cca 0 – 50 m mohou souviset s blízkostí Krušných hor, pozoruhodná je i korelace poklesu obsahu As s úbytkem montmorillonitu. Tyto problémy budou předmětem dalšího výzkumu.

Závislost obsahu arzenu na hloubce odběru vzorku ukazuje graf č. 2.

4 Možné zdroje kontaminace rizikovými stopovými prvky

Jednoznačné určení zdrojů stopových prvků v zeminách mostecké pánve představuje velmi náročný úkol. Na základě dosud realizovaných výzkumných prací lze předběžně definovat následující zdroje kontaminace:

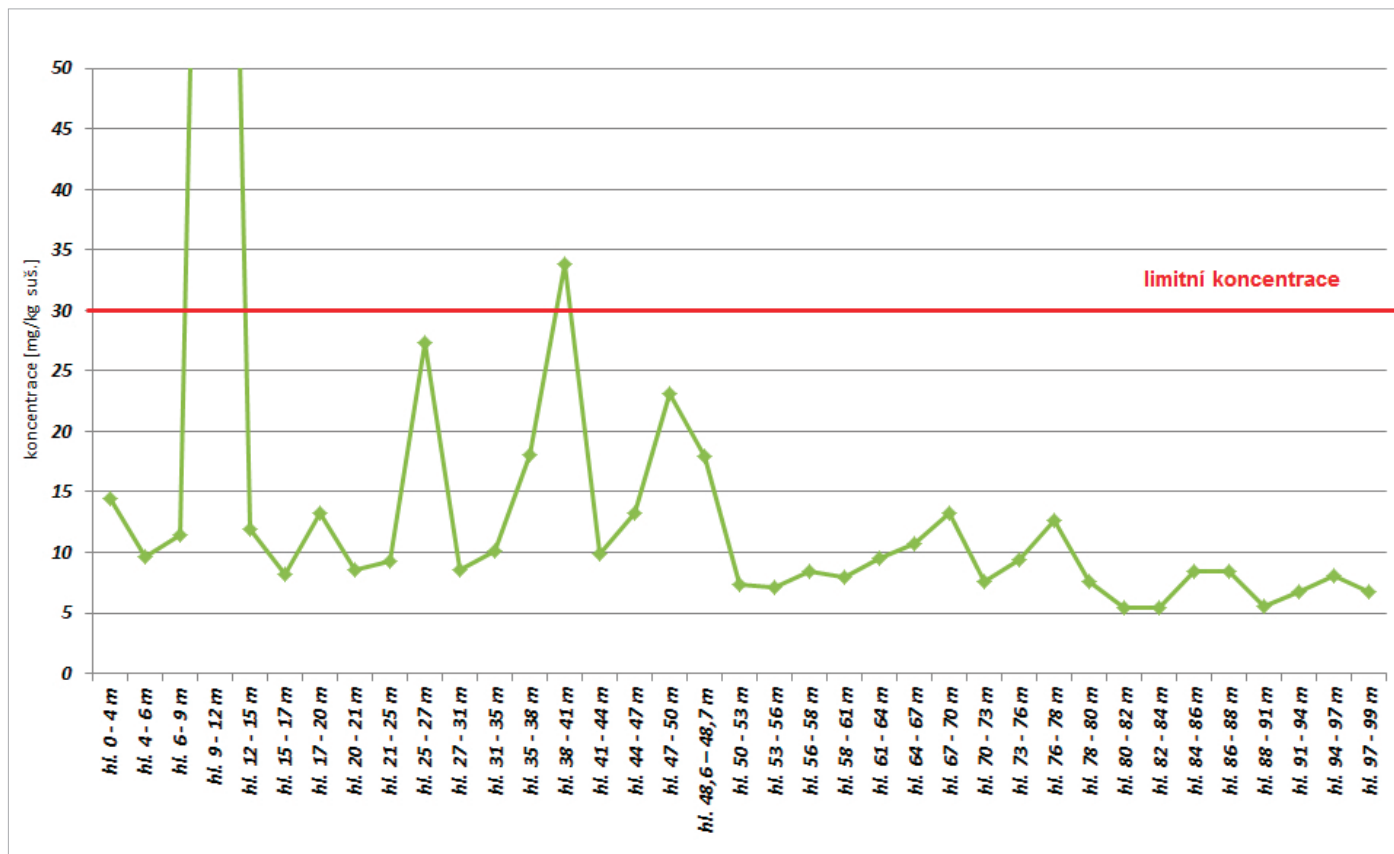
- *Transfer toxických látek vznikajících při spalování uhlí z atmosféry do pedosféry* - v podmínkách průmyslových aglomerací v mostecké pánvi jde o logický a jednoznačný zdroj. Uplatňuje se však pouze při povrchu terénu a zatím zjištěné koncentrace nejsou příliš významné. Tento zdroj je jednoznačně antropogenního původu.
- *Materiály využívané pro zlepšení rekultivační využitelnosti hornin* - na lokalitách mostecké pánve připadají v úvahu zejména slínovce, spraše, bentonity, celulózy

kaly a některá hnojiva. Potenciálně by mohlo jít o velmi významný zdroj stopových prvků. I tento zdroj je antropogenního původu.

- *Přítomnost uhelné hmoty a na ni vázaných minerálů, např. sulfidů železa* - jde o významný zdroj stopových prvků v zeminách, určených pro rekultivační účely. Tuto skutečnost je nezbytné při plánování rekultivačních prací vzít v úvahu. Zdroj sice tvoří přirozené geologické pozadí, na povrch terénu se však dostává zpravidla báňskou činností.
- *Přítomnost montmorillonitu v bentonitech* - způsobuje určité anomálie v nadlimitním obsahu některých rizikových prvků (Co, Cr, Cu, Ni, V – viz kap. 3.1). Zdroj je málo významný. Jde o přirozené geologické pozadí, bentonit však byl využíván při rekultivačních pracích.
- *Splachy z metamorfittů Krušných hor* - zdroj se projevuje pouze místně na některých lokalitách v blízkosti svahů Krušných hor. V určitých oblastech (např. sedimenty Komořanského jezera) je však nabožení především As jiným způsobem velmi obtížně vysvětlitelné. Potvrzen byl zvýšený výskyt As ve svahových hlínách v blízkosti Krušných hor. Rovněž poněkud zvýšený výskyt As v hodnoceném vrtu je pravděpodobně vysvětlitelný tímto způsobem. Jde o přirozené geologické pozadí, které není ovlivněno antropogenními vlivy.

5 Závěr

Příspěvek stručně shrnuje výsledky dlouhodobého výzkumu rizikových stopových prvků v zeminách a rekultivačních substrátech oblasti mostecké pánve. V jednotlivých kapitolách je



Graf 2: Závislost obsahu arzenu na hloubce odběru vzorku.

porovnána situace starých zemědělských a lesnických rekultivací na různých lokalitách a stanovištích, situace mladé rekultivace na kaoliniticko-illitických jílovcích (jezero Most) a situace rostlých nadložních zemin předpolí povrchového dolu Libouš.

Kontaminace zemědělských a lesnických rekultivací na starých výsypkách je málo významná. Poněkud problematickým prvkem u půdních profilů rekultivovaných k zemědělským účelům se stává na některých plochách pouze nadlimitní obsah As. Určité anomálie v nadlimitním obsahu některých rizikových prvků (Co, Cr, Cu, Ni, V) u antropozemí rekultivovaných k lesnickým účelům se objevují na zeminách rekultivovaných bentonity. Na nepřevrstvených zeminách uhelné sloje lokálně stoupá obsah As. Vzhledem ke stáří rekultivací se zde významně uplatňuje transfer toxických látek vznikajících při spalování uhlí z atmosféry do pedosféry. Nejpriznivější výsledky byly získány na relativně mladých rekultivacích svahu a břehů jezera Most, kde kontaminace rizikovými stopovými prvky prakticky nepředstavuje problém. Nepatrně zvýšené obsahy As byly zjištěny pouze na některých malých fytotoxických ploškách. V případě rostlých nadložních zemin oblasti dolu Libouš se zjištěné obsahy pohybují pod limitními hodnotami a překračují je pouze v ojedinělých případech. Poněkud zvýšený je obsah As, zejména pak v hloubkové úrovni do 50 m.

Zatímco u starých rekultivovaných výsypkových lokalit a u rekultivace břehů jezera Most hodnocených v kapitolách 3.1 a 3.2 byla kontaminace hodnocených vzorků způsobena kombinací přirozeného geologického pozadí a antropogenních vlivů v různém poměru, rostlé vzorky z nadloží dolu Libouš hodnocené v kapitole 3.3 nejsou lidskou činností nijak dotčeny a veškerá kontaminace pochází z přirozeného geologického pozadí.

Z porovnání zjištěné kontaminace rizikovými stopovými prvky plyne značný význam přirozeného geologického pozadí jako zdroje stopových prvků v oblasti mostecké pánve. To by mělo být bráno v úvahu při hodnocení jednotlivých stanovišť z hlediska vyhlášek MŽP ČR.

Poděkování

Příspěvek byl realizován s podporou projektu „Dopady na mikroklima, kvalitu ovzduší, ekosystémy vody a půdy v rámci hydričké rekultivace hnědouhelných lomů“, č. TA 01020592 Technologické Agentury ČR.

Literatura

- [1] BENEŠ, S.: *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí II. část*. MZe ČR Praha, 1994, s. 159.
- [2] ČERMÁK, P., KOHEL, J.: *Hodnocení půdotvorného procesu antropozemí výsypek severočeské hnědouhelné pánve, jejich kategorizace a využití*. Výstup z řešení výzkumného záměru MZe-M07-99-01-05. VÚMOP, v.v.i. Praha, s. 63, 2003.
- [3] ČERMÁK, P., ONDRÁČEK, V.: *Findings from the application of coal combustion by-products (CCB) for forest reclamation on spoil bank of the North Bohemian Brown Coal Basin*. Journal of FOREST SCIENCE, 55/3, s. 137-144, 2009.
- [4] KOHEL, J., DEDERA, F.: *Vytváření antropogenních půd a jejich hodnocení*. Závěrečná zpráva VE 01 „Hodnocení antropogenních půd“, IC – 4 „Hodnota půdy“. VÚMOP, v.v.i. Praha, s. 20, 1995.
- [5] PODLEŠÁKOVÁ, E., NĚMEČEK, J., VÁCHA, R.: *Kontaminace půd severočeského regionu rizikovými prvky*. Rostlinná výroba 40, s. 123-130, 1994.
- [6] ŘEHOŘ, M.: *Distribuce rizikových prvků v horninách rekultivovaných lokalit Dolů Bílina*. Sborník „Konference 45 let české rekultivační školy“ Most, s. 77-80, 1997.
- [7] ŘEHOŘ, M., ŠAFÁŘOVÁ, M., FRAŠTIA, M.: *Výsledky pedologického výzkumu oblasti jezera Most v letech 2012-2013*. Zpravodaj Hnědého uhlí, 3/2013, s. 24-30. ISSN 1213-1660.
- [8] ŘEHOŘ, M.: *Pedologické hodnocení zemin oblasti jezera Most*. Průběžná zpráva za rok 2013, Most, 2013.