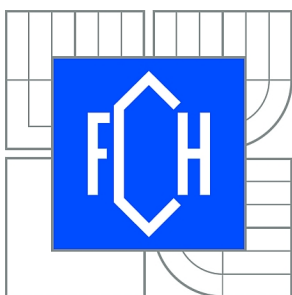




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF
ENVIRONMENTAL PROTECTION

KONTAMINACE VYBRANÝCH LOKALIT OSTRAVY TĚŽKÝMI KOVY

THE HEAVY METAL CONTAMINATION OF SELECTED SITES IN OSTRAVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. SILVIE MIHOČOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. HELENA DOLEŽALOVÁ
WEISSMANNOVÁ, Ph.D.

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce:	FCH-DIP0504/2010	Akademický rok: 2010/2011
Ústav:	Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí	
Student(ka):	Bc. Silvie Mihočová	
Studijní program:	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (N2805)	
Studijní obor:	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805T002)	
Vedoucí práce	Mgr. Helena Doležalová Weissmannová, Ph.D.	
Konzultanti:	Ing. Andrea Debnárová	

Název diplomové práce:

Kontaminace vybraných lokalit Ostravy těžkými kovy

Zadání diplomové práce:

Stanovení obsahu těžkých kovů v půdních vzorcích odebraných z vybraných lokalit v Ostravě. Zhodnocení výskytu vybraných těžkých kovů a posouzení kontaminace lokalit v Ostravě.

Termín odevzdání diplomové práce: 13.5.2011

Diplomová práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.

Bc. Silvie Mihočová
Student(ka)

Mgr. Helena Doležalová Weissmannová, Ph.D.
Vedoucí práce

Doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 15.1.2011

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na posouzení kontaminace nezemědělských půd vybraných lokalit města Ostravy rizikovými kovy. Výběr lokalit byl vztažen na stacionární zdroj znečištění REZZO 1. Celkem bylo odebráno 36 vzorků z 12 lokalit a třech časových úseků v rozmezí července 2010 do března 2011 s tím, že každý odběr reprezentoval jiný časový úsek s charakteristickými emisními podmínkami. Z rizikových kovů byly stanoveny rtuť, kadmium, olovo, měď a chrom, které byly stanovovány pomocí atomové absorpční spektrometrie (FAAS, ET AAS, AMA 254). Byl prokázán vliv vzdálenosti lokalit od stacionárního zdroje znečištění REZZO 1 na míře kontaminace půdy vybranými kovy.

ABSTRACT

This thesis is focused on the assessment of contamination of non-agricultural soils of selected locations in Ostrava of hazardous metals. Selection of locations was based on the stationary pollution source REZZO 1. Total 36 collected samples from 12 locations in three times periods between July 2010 and March 2011 that each collection represented a different time period for a characteristic emissions conditions. The risk of metals mercury, cadmium, lead, copper and chromium were determined by atomic absorption spectrometry (F AAS, ET AAS, AMA 254). The influence of the distance of locations from stationary sources of REZZO1 on the extent of soil contamination by selected metals was confirmed.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ostrava, kontaminace půdy, rizikové kovy, REZZO 1, Hg, Cd, Pb, Cu, Cr, AMA 254, F AAS, ETA AAS

KEYWORDS

Ostrava, soil contamination, hazardous metals, REZZO 1, Hg, Cd, Pb, Cu, Cr, AMA 254, FAAS, ET AAS

MIHOČOVÁ, S. *Kontaminace vybraných lokalit Ostravy těžkými kovy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 62 s. Vedoucí diplomové práce Mgr. Helena Doležalová Weissmannová, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat Mgr. Heleně Doležalové Weissmannové, Ph.D. za vstřícný přístup, cenné rady, odborné vedení a konzultace. Ing. Andree Debnárové za rady při experimentální části práce. Poděkování také patří mé mamce, rodině a přátelům za obrovskou podporu při studiu.

1 OBSAH

1	ÚVOD	7
2	TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1	Ostrava.....	8
2.1.1	Obecné informace, zeměpisné údaje	8
2.1.2	Geologické podmínky města	8
2.1.3	Klimatická podmínky	8
2.1.4	Stav životního prostředí na území města Ostravy	9
2.1.5	Obsah rizikových prvků v zemědělské půdě na území Ostravy.....	10
2.1.6	Stacionární zdroje znečištění REZZO v Ostravě	10
2.2	Charakteristika vybraného stacionárního zdroje znečištění REZZO 1	12
2.2.1	Poloha zdroje.....	12
2.2.2	Popis zdroje	13
2.3	Půda a rizikové kovy v životním prostředí	14
2.3.1	Rtuť	14
2.3.2	Kadmium.....	15
2.3.3	Olovo	15
2.3.4	Měď	16
2.3.5	Chrom.....	16
2.3.6	Přírodní zdroje a cesty znečištění půdy rizikovými kovy	16
2.3.7	Antropogenní zdroje a cesty znečištění půdy rizikovými kovy	17
2.3.8	Vliv pH na mobilitu kovů v půdě.....	18
2.3.9	Limitní hodnoty rizikových kovů v půdách	18
2.4	Stanovení kovů metodami atomové absorpční spektrometrie	20
2.4.1	Zdroj záření	20
2.4.2	Plamenová atomová absorpční spektrometrie	20
2.4.3	Atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací	21
2.4.4	Analyzátor rtuti AMA 254 (Advanced mercury analyser).....	23
2.5	Zpracování experimentálních dat	24
2.5.1	Metoda kalibrační křivky	24
2.5.2	Mez detekce a mez stanovitelnosti	25
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	26
3.1	Lokality odběru vzorků	26
3.1.1	Popis odběrových lokalit.....	27

3.1.2	Termíny a meteorologické podmínky při odběrech vzorků půdy	28
3.2	Metodický postup odběru vzorků	29
3.3	Zpracování odebraných vzorků půdy	29
3.3.1	Stanovení půdní sušiny gravimetrickou metodou	29
3.3.2	Příprava extraktu půdy 2M HNO ₃	30
3.3.3	Stanovení pH půdy v extraktu 0,01 M CaCl ₂	30
3.4	Analýza půdy a půdních extraktů	30
3.4.1	Analýza rtuti v půdě pomocí přístroje AMA 254	30
3.4.2	Analýza kadmia v půdním extraktu pomocí ET-AAS	31
3.4.3	Analýza olova, mědi a chromu v půdním extraktu pomocí F-AAS.....	32
3.5	Použité chemikálie a standardy	33
3.5.1	Chemikálie	33
3.5.2	Standardy.....	34
3.6	Použité zařízení a pomůcky	34
3.6.1	Zařízení na úpravu vzorku.....	34
3.6.2	Zařízení a pomůcky pro analýzu vzorku	34
3.7	Kalibrační závislost pro kadmium, olovo, měď a chrom	34
4	VÝSLEDKY A DISKUZE	37
4.1	Zhodnocení acidobazické reakce vzorků půd.....	37
4.2	Zhodnocení obsahu rtuti v půdách na vybraném území města Ostravy	37
4.3	Zhodnocení obsahu kadmia v půdách na území města Ostravy	38
4.4	Zhodnocení obsahu olova v půdách na území města Ostravy.....	39
4.5	Zhodnocení obsahu mědi v půdách na území města Ostravy.....	40
4.6	Zhodnocení obsahu chromu v půdách na území města Ostravy	41
4.7	Zhodnocení průměrného obsahu rizikových kovů v půdách na území města Ostravy dle doby odběru	43
4.8	Zhodnocení průměrného obsahu rizikových kovů v půdách na území města Ostravy v závislosti na vzdálenosti od zdroje REZZO 1	44
4.9	Zhodnocení obsahů rizikových prvků v půdách na území města Ostravy dle spádové oblasti	49
4.10	Zhodnocení kontaminace půdy rizikovými kovy na území města Ostravy.....	53
4.11	Porovnání obsahu rtuti v městských půdách šesti evropských měst	54
5	ZÁVĚR	55
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	57
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	61
8	SEZNAM PŘÍLOH	62

1. ÚVOD

Stav životního prostředí na Ostravsku je dnes jedním z nejdiskutovanějších témat nejen u nás, ale i v Evropě. Zejména je pak pozornost zaměřena na jeden z největších průmyslových podniků v České republice, ArcelorMittal Ostrava a. s., který se nachází na jihovýchodním okraji města Ostravy, v městské části Kunčice.

Významný lokální dopad, a to zejména v zimních měsících, má provoz malých zdrojů znečišťování, sloužících k vytápění rodinných domů. K imisnímu zatížení tak kromě dopravy a lokálních topenišť (vytápění nekvalitními pevnými palivy), které jsou hlavními zdroji PM₁₀, přistupují emise hlavně z hutního průmyslu, průmyslu zpracování paliv a také významný přenos z Katovické oblasti z Polska. K situaci přispívá i charakteristická geografie oblasti, tedy Moravská brána a Ostravská pánev, která má za následek to, že Ostravsko je územím s největším počtem srážek v České republice. Jedním ze závažných zdrojů kontaminace agrárních ekosystémů je ovzduší, ve kterém jsou kontaminující anorganické i organické látky rozptýleny, případně navázány na mokrý a suchý spad.

Právě půda má schopnost tlumit nepříznivé vlivy hospodaření, průmyslu a dopravy. To ovšem zvyšuje její kontaminaci, někdy až na neúnosnou úroveň. V oblasti škodlivých cizorodých látek anorganického původu představují největší problém rizikové kovy jako jedno z nejnebezpečnějších kontaminantů půdy, protože nejsou biologicky odbouratelné, v životním prostředí jsou perzistentní a akumulují se v půdě, v rostlinných a živočišných tkáních. A proto stále představují hrozbu pro další generace.

Ostravské prostředí je monitorováno a analyzováno, ovšem posouzení kontaminace půd nejsou až tak časté a pokud ano, jedná se téměř vždy o analýzu zemědělské půdy

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Ostrava

2.1.1 Obecné informace, zeměpisné údaje

Metropole Moravskoslezského kraje je s celkovou rozlohou 214 km² třetím největším městem republiky. Skládá se z 23 obvodů a hustota osídlení činí 1500 obyvatel/km². Území města Ostravy měří vzdušnou čarou 19,657 km ve směru východ-západ a 20,442 km ve směru sever-jih. Leží v nadmořské výšce 227m n. m. Má výhodnou strategickou polohu - nachází se 10 kilometrů jižně od státní hranice s Polskem a 50 kilometrů západně od hranice se Slovenskem, v severním okraji Moravské brány. Od hlavního města Prahy je vzdálena 360 km, 170 km od Brna, 90 km od polských Katovic, 310 km od Vídně. Městem protékají řeky Odry, Ostravice, Opava a Lučina. Zemědělská půda zabírá plochu 8 529 ha, lesní 2 366 ha, vodní plocha činí 970 ha a zastavěná 2 036 ha [1].

2.1.2 Geologické podmínky města

Z geomorfologického hlediska leží Ostravsko na rozhraní dvou systémů - alpskohimalájského a hercynského, podstatná část území je tvořena Ostravskou pávní spadající do alpskohimalájského systému, která svou podobu získala především díky fluvialní a glaciální činnosti [1]. Podstatnou měrou se uplatnila antropogenní činnost - těžba uhlí a hutnictví. Geologicky je území tvořeno neogenními sedimenty karpatské předhlubně, částečně zasahuje karbonský kůlm Nízkého Jeseníku a flyš Západních Karpat. Unikátem regionu je výstup produktivního karbonu na povrch v oblasti Landeku, hnědozemě, podél toku řeky Odry a jejích přítoků jsou půdy nivní, karbonátové a oglejené [2]. Pod humusovým horizontem se vytváří glejový horizont, který má následkem redukčních procesů modrošedou barvu. Svrchní část tohoto horizontu je často skvrnitá, protože v ní docházelo střídavě k přístupu a nedostatku kyslíku vlivem kolísání hladiny. V přirozeném stavu (bez odvodnění) jsou tyto půdy trvale zamokřelé a využívají se většinou pouze jako louky.

Rozvoj těžby a průmyslu ovlivnil v některých oblastech ČR půdy natolik, že zcela nebo zčásti ztratily své původní vlastnosti. Takové půdy se nazývají antropogenní, nebo též antropické. Mezi ně patří půdy postižené exhaláty z průmyslu a půdy vzniklé v důsledku intenzivní těžby surovin. Z nich nejvýraznější narušují tvář krajiny haldy, skrývky a odvaly. Jsou to půdy zemědělsky nevyužitelné [1].

2.1.3 Klimatické podmínky

Území Ostravy spadá do mírně teplé klimatické oblasti s průměrnou roční teplotou +8,6°C, avšak liší se určitými zvláštnostmi způsobenými vysokou koncentrací průmyslu, hustou zástavbou a specifickými podmínkami Ostravské pánve. Jedná se o nejvlhčí nížinné území v ČR a průměrný úhrn ročních srážek činí 705mm [1, 3].

Tabulka č.1 Teploty v roce 2010 a 2011 v Moravskoslezském kraji [3]

	rok 2010										rok 2011	
	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.
T	2,6	7,9	11,2	16,4	19,4	17,3	11,4	5,8	5,8	-4,7	-1,3	-2,8
N	1,9	6,7	11,9	15	16,3	15,9	12,5	8	2,7	-1,4	-3,2	-1,7
O	0,7	1,2	-0,7	1,4	3,1	1,4	-1,1	-2,2	3,1	-3,3	1,9	-1,1

Vysvětlivky: T = teplota vzduchu (°C), N = dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961-1990 (°C), O = odchylka od normálu (°C), I. – XII. = značení kalendářních měsíců

Proudění vzduchu na Ostravsku je ovlivňováno Moravskou bránou a výrazně zde převládá jihozápadní proudění, zejména v chladné polovině roku. Druhým nejčetnějším směrem je opačné severovýchodní proudění, které je relativně čtenější v teplé polovině roku. Počty jednotlivých denních typů proudění v jednotlivých obdobích poměrně výrazně kolísají [1, 3].

Tabulka č. 2 Přehled převládajících směrů větrů na území města Ostravy [3]

Směr větru	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	bezvětří
%	11,8	15,61	2,99	1,81	9,39	35,5	12,11	2,69	8,11

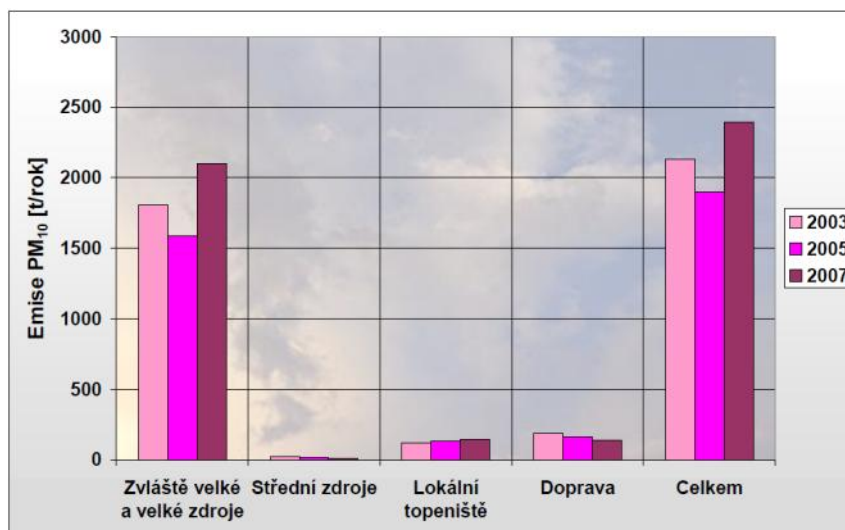
Vysvětlivky: S = severozápadní, SV = severovýchodní, V = východní, JV = jihovýchodní, JZ= jihozápadní, Z = západní, SZ = severozápadní

2.1.4 Stav životního prostředí na území města Ostravy

Ostravská aglomerace je charakteristická velkou četností a různorodostí zdrojů znečišťování ovzduší [2]. Stav životního prostředí v Ostravě byl v období od počátku devadesátých let minulého století provázen řadou podstatných pozitivních změn. Realizací řady opatření uložených těmito předpisy zejména subjektům ve výrobní sféře, došlo postupně k výraznému zlepšení stavu všech složek životního prostředí. Další podstatné změny byly vyvolány značnou redukcí zejména těžkého průmyslu, jehož negativní vlivy na kvalitu životního prostředí jsou nejzávažnější. S nástupem nového století je patrné, že další pozitivní změny stavu životního prostředí jsou již podstatně pomalejší a v jeho jednotlivých částech diferencovanější. Lze konstatovat, že zatímco u některých se situace nadále postupně zlepšuje, u jiných již stagnuje, případně se začíná zhoršovat [1]. Na úseku ochrany ovzduší se trend zlepšování zastavil zhruba na úrovni roku 2001 a od té doby se stav mírně zhoršuje. Důvodů je několik. U velkých zdrojů znečišťování, které jsou z hlediska emisní vydatnosti rozhodující, a které samozřejmě plní zákonem stanovené emisní limity, již bylo ve většině případů dosaženo tzv. technologického stropu.

Významný lokální dopad a to zejména v době zimních inverzí má provoz malých zdrojů znečišťování, sloužících k vytápění rodinných domů a bytů.

Dominantní kategorie jsou městská zástavba a orná půda. Plocha městské zástavby ve sledovaném období mírně stoupla převážně na úkor orné půdy. Plošná výměra orné půdy klesla o necelé 2 %, přičemž z největší části se transformovala na louky a pastviny [4].



Obr.č. 1 Souhrnné emise a vývoj emisí PM_{10} na území města Ostravy [4]

2.1.4.1 Částice PM_{10}

Jsou tvořeny komplexní směsí mnoha různých druhů látek včetně sazí (uhlíku), částic síranů, kovů a anorganických solí jako je mořská sůl polévatý prach, tedy částice o průměru do velikosti 10^{-5} m, je typickým příkladem směsi látek, která nám bez chemické specifikace o své nebezpečnosti příliš neřekne. Velikost a tvar částic se mění. PM_{10} nejsou vyráběny záměrně, ačkoliv mnohé průmyslové procesy využívají prášky a prachy jako normální suroviny pro výrobu a pro technologické procesy [5, 12].

2.1.5 Obsah rizikových prvků v zemědělské půdě na území Ostravy

Byl předmětem průzkumu Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského v Brně v letech 1990 a 1994. Pro vyhodnocení obsahu rizikových kovů v půdách byla použita kritéria stanovená ve vyhlášce č. 13/1994 Sb. Z výsledku porovnání je zřejmé, že obsahy rizikových kovů v zemědělských půdách na území města Ostravy jsou nízké a žádný z 53 odebraných vzorků nepřekročil maximálně přípustné hodnoty pro tyto kovy stanovené citovanou vyhláškou [1]. Dále byl výskyt rizikových prvků v zemědělských půdách na území města Ostravy předmětem průzkumu plošného znečištění zemědělských půd z roku 1997, které zpracovala Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. I tato práce prokázala nízkou kontaminaci sledovaných zemědělských půd rizikovými kovy. Kontaminace byla prokázána pouze u kadmia (7,6 % vzorků) a u arzenu (2 % vzorků) [6].

2.1.6 Stacionární zdroje znečištění REZZO v Ostravě

Zdroje emitující do ovzduší znečišťující látky jsou celostátně sledovány v rámci tzv. Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO):

Rozdělení zdrojů znečišťování dle zákona č. 86/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů, a dle REZZO:

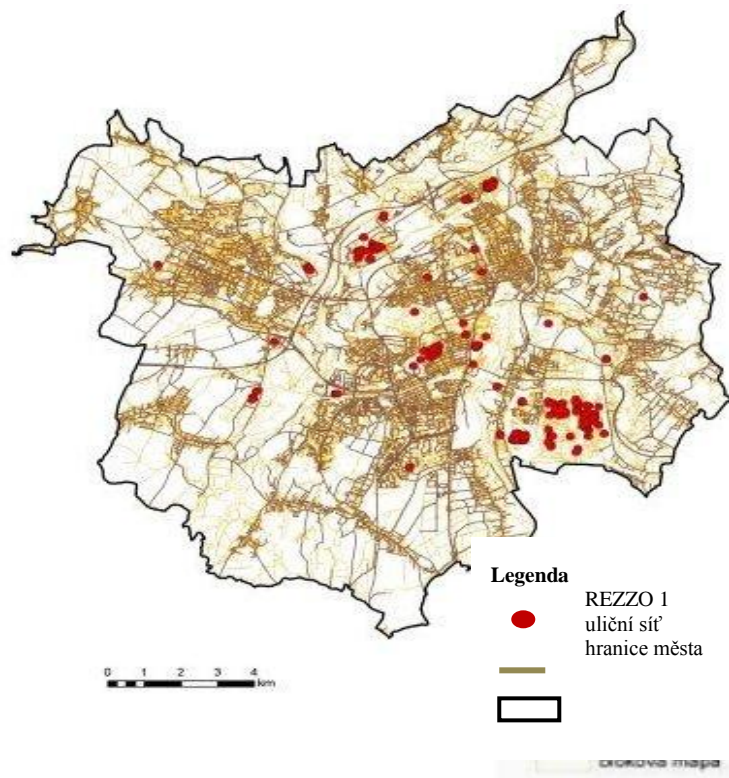
REZZO 1 - Stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW a zařízení zvláště závažných technologických procesů.

REZZO 2 - Stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW, zařízení závažných technologických procesů, uhelné lomy a plochy s možností hoření, zapáření nebo úletu znečišťujících látek.

REZZO 3 - Stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu, nižším než 0,2 MW zařízení technologických procesů, nespádajících do kategorie velkých a středních zdrojů, plochy, na kterých jsou prováděny práce, které mohou způsobovat znečišťování ovzduší, skládky paliv, surovin, produktů a odpadů a zachycených exhalátů a jiné stavby, zařízení a činnosti, výrazně znečišťující ovzduší.

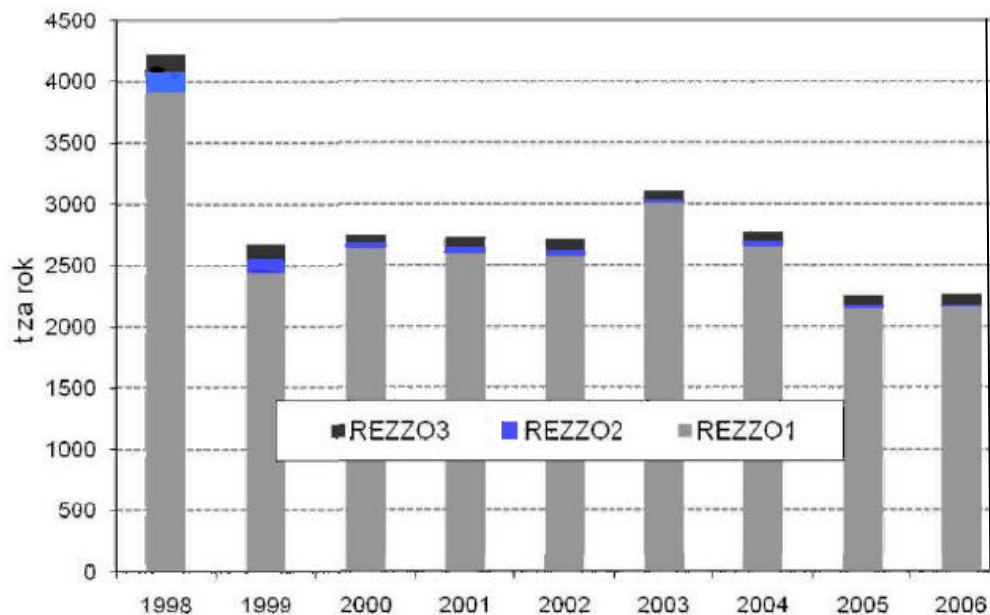
REZZO 4 - Liniové zdroje se spalovacími nebo jinými motory, zejména silniční motorová vozidla, železniční kolejová vozidla, plavidla, letadla [4].

Převážná většina velkých zdrojů je lokalizována ve třech průmyslových zónách města. V jižní průmyslové zóně má dominantní vliv ArcelorMittal Ostrava a. s, v centrální průmyslové zóně má dominantní vliv a.s. Vítkovice a v severní průmyslové zóně v pooderském koridoru potom Ostravsko-karvinské koksovny, a.s., Moravské chemické závody, a.s. a Moravskoslezské teplárny, a.s. [7, 12].



Obr. č. 2. Lokalizace zdrojů REZZO 1 v Ostravě [1]

Kvalitu ovzduší také ovlivňují malé zdroje znečišťování ovzduší (REZZO 3), a to zejména lokální topeniště a mobilní zdroje (REZZO 4), které jsou významné především z hlediska emisí NO_x , CO_2 a C_xH_y [4].



Obr. č. 3 Podíl stacionárních zdrojů na emisi tuhých látek v letech 1998 až 2006 [4]

2.2 Charakteristika vybraného stacionárního zdroje znečištění REZZO 1

Výrobní činnost společnosti je zaměřena především na výrobu a zpracování surového železa, oceli a hutní druhovýrobu [8].

2.2.1 Poloha zdroje

Areál Mittal Steel Ostrava a. s., se nachází na jihovýchodním okraji města Ostravy, v městské části Kunčice. Oblast je charakteristická výraznou akumulací průmyslu. Kromě rozsáhlého komplexu Mittal Steel Ostrava zahrnujícího plochy pro ukládání průmyslových odpadů se zde nachází velké množství dalších průmyslových podniků, například podnik vyrábějící součástky pro automobilový průmysl, Zinkovna Ostrava, Vesuvius Slavia (strojírenství). Plochy zeleně jsou vázány na vodní toky a také tvoří nesouvislý ochranný pás kolem průmyslových objektů. Plochy využívané určené k bydlení jsou malého rozsahu [9].

Na západní, jižní a východní straně areálu podniku navazuje na průmyslové plochy rozvolněná zástavba – v městských částech Hrabová a Bartovice a v obci Vratimov. Zde je krajina rovněž intenzivně využívána, jedná se však spíše o funkce bydlení a zemědělství, v menší míře pak lehký průmysl [9, 10].

Na severní straně za hranicí areálu podniku Mittal Steel Ostrava a. s. vede vysoce frekventovaná čtyřproudá komunikace ulice Rudná a za ní se nachází městská část Kunčičky. Jedná se o bývalou samostatnou obec se zástavbou převážně rodinných domků. Vzdálenost nejbližší obytné zástavby od objektu REZZO 1 zde činí cca 2 km [9, 10].

Ve směru severovýchodním a východním se nachází městská část Ostravy – Radvanice se zástavbou rodinných domků. Nejbližší domky jsou ve vzdálenosti více než 2 km. V jihovýchodní části je položena městská část Ostrava - Bartovice s poměrně řídkou obytnou zástavbou kolem hlavní silnice Šenovská a kolem železniční trati. Zástavba je ve vzdálenosti cca 3 km od zdroje REZZO 1.

Jižně od areálu REZZO 1 za železniční tratí, leží obec Vratimov, která má v části přilehlé k průmyslové zóně zástavbu rodinných domů. Vzdálenost první řady domů od zdroje REZZO 1 je cca 1,5 km. V západním směru je řídká obytná městská čtvrť Kunčice ve vzdálenosti více než 500 m. Zde se také nachází další zdroje znečištění ležící v blízkosti areálu podniku Mittal Steel Ostrava a. s. [9, 10].

2.2.2 Popis zdroje

Průmyslový objekt je rozdělen do několika závodů:

Závod Koksovna - je největším výrobcem koksu v České republice. Dvě koksárenské baterie s pýchovaným provozem a velkoprostorová koksárenská baterie se sypaným provozem mají roční produkci cca 1,5 mil. tun koksu. V chemické části závodu jsou vyráběny chemické produkty (surový černouhelný dehet, surový koksárenský benzol, koksárenský plyn, kapalná síra).

Závod Vysoké pece - disponuje čtyřmi vysokými pecemi. Roční kapacitou výroby je přes 3 miliony tun surového železa. Vysokopecní koks je dodáván sousedním závodem Koksovna, část metalurgického koksu a tekutá paliva jsou nakupována z externích zdrojů.

Závod Ocelárna - je největším výrobcem oceli v České republice. Ocel se vyrábí kyslíkovým pochodem ve čtyřech tandemových pecích s roční produkcí přes 3 mil. tun.

ArcelorMittal Energy Ostrava s.r.o. - představuje složitý a rozsáhlý komplex průmyslové energetiky se speciálním zaměřením na potřeby hutního průmyslu. V oboru vodního hospodářství, teplárenství, plynárenství, elektro-energetiky a výroby technických plynů je tento závod svými fyzickými výkony plně srovnatelný s jednoúčelovými energetickými subjekty podnikajícími na energetickém trhu České republiky [8].

Tabulka č. 3 Úniky tuhých emisí a rizikových prvků do životního prostředí jednotlivými závody Mittal Steel Ostrava a.s. za rok 2008 [7]

závod	emise (t/rok)					
	tuhé emise	Cd	Pb	Hg	Cu	Cr
Koksovna	244,88960	-	-	-	-	-
Ocelárna	210,34600	0,63927	4,87530	0,15265	-	-
Válcovny	4,75300	-	-	-	-	-
Minihut'	0,53500	-	-	-	-	-
Energetika	124,69100	0,03196	0,36030	0,01964	-	-
Vysoké pece	945,24103	0,38934	10,43557	0,15792	4,03907	0,34656
Servis	9,64881	0,00062	0,00277	0,00003	-	-
Emise celkem	1540,10444	1,06119	15,67394	0,33024	4,03907	0,34656

2.3 Půda a rizikové kovy v životním prostředí

Půda je součástí životního prostředí a jako taková plní řadu globálních funkcí sama o sobě i ve vztahu k ostatním sféram, se kterými je spojena výměnou látek a energie. Je to systém, který přijímá, váže, propouští, ale i odstraňuje z biologického koloběhu látky škodlivé pro bioty [13]. Půda má schopnost podle svých specifických vlastností tlumit nepříznivé vlivy hospodaření, průmyslu a dopravy. Z těchto hledisek jsou nejdůležitější funkce:

- *Filtrační*, kdy znečišťující látky jsou půdou mechanicky zadržovány.
- *Pufrovací*, kdy těkavé a hlavně rozpustné škodlivé látky jsou imobilizovány adsorpcí na půdu nebo tvorbou nerozpustných sraženin. Vysokou pufrovací schopnost mají půdy s vysokým obsahem organické hmoty.
- *Transformační*, která je určena především aktivitou její mikrobiální složky. Mineralizací nebo mikrobiální činností se toxické látky stávají neškodnými a naopak. [14].

2.3.1 Rtuť

Průměrný obsah rtuti v půdách je 0,02-0,2 mg.kg⁻¹ [15]. Obsah rtuti v půdách je dán především pedogenetickými procesy a může se vyskytovat ve třech formách:

- *elementární* - těkavá a slabě rozpustná ve vodě,
- *dvojmocná* anorganická forma (Hg²⁺) - vyznačuje se vysokou afinitou k mnohým organickým a anorganickým ligandům, speciálně obsahují-li sirmé funkční skupiny,
- *metylrtuť* (CH₃Hg⁺) - představuje sloučeniny s vysokou perzistencí v prostředí.

Rtuť vytváří těkavé sloučeniny, podléhající dálkovému přenosu vzduchem a proto je obtížné stanovit v půdách jejich přirozenou koncentraci [16].

Chyby, ke kterým dochází při stanovení rtuti v různých vzorcích, vznikají nejčastěji při odběru vzorků, jejich skladování, transportu a zpracování. Vzhledem k tomu, že rtuť a její sloučeniny jsou těkavé, snadno dochází k jejich ztrátám. Rtuť difunduje materiály z plastů, snadno se sorbuje na povrchu různých materiálů (polyetylen, sklo, pryž) [17].

V přírodě se rtuť vyskytuje v horninách ve formě sulfidů. Hlavním zdrojem kontaminace půd rtutí jsou imise způsobené spalováním fosilních paliv, ke zvýšené koncentraci Hg v půdě může dojít také po aplikaci čistírenských kalů a jako možný zdroj je uváděna také aplikace NPK hnojiv. Do přírody se také dostává během své výroby a zpracování. Celkové množství emisí rtuti do přírody se odhaduje na 10 000 tun ročně [15].

Rozdělení forem rtuti v půdách je závislé na půdní reakci. Kationtová forma může být snadno sorbována půdními koloidy. Dvojmocná rtuť je rychle a silně vázána na organickou hmotu a anorganické složky. Je též poutána na povrchu jílových minerálů a hydratovaných oxidů Fe a Mn. V případě mikrobiální methylace rtuti v půdách mají methylované sloučeniny vyšší tenzi par a jsou dobře těkavé. Proto hlavní podíl rtuti z půdy volatilizuje do atmosféry, odkud se může dostávat do potravního řetězce nebo znovu vracet srážkami do půdy [15]. Ke snížení negativního vlivu rtuti v půdě lze uplatnit zvýšení pH [18].

2.3.2 Kadmium

Průměrný obsah kadmia v půdě v přirozených podmínkách se nejčastěji pohybuje v rozmezí 0,01-1,1 mg.kg⁻¹. V půdách ČR je (mimo zdroje kontaminace) běžný obsah 0,2-1,5 mg.kg⁻¹ [19]. Kontaminace životního prostředí kadmiem je v poslední době vyvolána zejména jeho rostoucím používáním v průmyslu. Na tomto procesu se podílejí slévárny kovů a průmyslu barviv, výroba plastů a akumulátorů. Důležitým zdrojem znečištění prostředí kadmiem je také spalování pohonných hmot a olejů, v zemědělství používání fosfátů přirozeného původu a pesticidů obsahujících tento prvek. Vyskytuje se ve všech velkých aglomeracích [15].

Hlavní toxický účinek kadmia spočívá v narušení činnosti či úplné destrukci samčího a samičího pohlavního ústrojí. Byla prokázána pozitivní závislost mezi výskytem kyselých dešťů a mobilizací kadmia. Kadmium jako jeden z nejtoxičtějších kovů je v půdě obsaženo ve stále stoupajícím množství, neboť kromě původního kadmia, které se uvolnilo zvětráváním geologického podloží, se další kadmium dostává do půdy permanentně několika dalšími cestami [15, 16].

Kadmium se v půdě kumuluje nejvíce ve vrstvě 0-5 cm a s přibývajícím hloubkou jeho koncentrace klesá. V půdě se vyskytuje v organických sloučeninách, vázané (sorbované) na půdní koloidy a konečně ve vodorozpuštěném stavu jako součást půdního roztoku.

Vzhledem k tomu, že obsah kadmia v půdě se stal v mnoha směrech limitujícím faktorem, je třeba uvést některé důležité poznatky o vztazích tohoto prvku k půdním podmínkám. Jeho přeměny závisejí zejména na těchto faktorech: S klesající hodnotou pH stoupá silně rozpustnost Cd a jeho pohyblivost. Nejpohyblivější je při hodnotách pH 4,5-5,5. v zásaditém prostředí je poměrně málo pohyblivý. Při hodnotě pH nad 7,5 přestává být kadmium v půdě rozpustné [16].

2.3.3 Olovo

Je nejrozšířenější z tzv. „těžkých kovů“. Vyskytuje se v půdě, vodách i v atmosférických komponentách biosféry. Za průměrný obsah olova v půdách je považováno 5-50 mg.kg⁻¹. Běžně se vyskytuje v rozmezí 10-20 mg.kg⁻¹. Předpokládá se, že v oblastech dosud nekontaminovaných lidskou činností by neměla koncentrace olova v ovzduší přesahovat 1 ng.m⁻³. Některá měření provedená v Grónsku tento předpoklad potvrdila. Největší spotřeba je při výrobě baterií, kabelů, barviv, slitin. Velké množství olova také produkuje hutní průmysl a doprava [15].

Na sloučeniny olova je nejbohatší vrchní padesátimilimetrová vrstva půdy a s přibývajícím hloubkou obsah olova klesá. V půdě se olovo nachází zejména ve formě Pb²⁺, je však známa i jeho čtyřmocná forma. Tvoří celou řadu různých minerálů, které jsou poměrně špatně rozpustné ve vodě. Nejvíce je zastoupeno v kyselých vyvřelých horninách (10-30 mg.kg⁻¹), směrem k ultrabazickým horninám jeho obsah klesá. V půdě je olovo velmi málo pohyblivé. Je to dáno nízkou rozpustností soli olova a také tím, že olovo je dobře poutáno jílovými minerály i humusovými látkami. Olovo je rozpustné v kyselém prostředí, při zvyšování pH (po vápnění) se jeho rozpustnost snižuje, protože se sráží ve formě hydroxidu, fosforečnanu nebo uhličitanu. V těchto podmínkách olovo také tvoří organické komplexy [15, 16].

Zvýšená pozornost je tomuto prvku věnována proto, že v důsledku antropogenní činnosti je přirozená zásoba olova v půdách často zvyšována nad hraniční hodnotu stanovenou směrnici ministerstva zemědělství [20].

2.3.4 Měď

Celkový obsah mědi v půdě je uváděn v rozmezí 1-100 mg.kg⁻¹ půdy, ale také 2-180 mg.kg⁻¹. Patří mezi prvky, které jsou pro člověka na jedné straně esenciální, na druhé straně potenciálně toxické. Je základní součástí řady velmi důležitých slitin a mimořádně důležitý pro elektrotechniku.

Nejčastěji se používá pro instalátérské a topenářské práce. V zemědělství jsou používány sloučeniny mědi jako pesticidy [15].

Vlivem biologické sorpce klesá obsah mědi s hloubkou profilu, převážná část se nachází v humózním horizontu. Formy, v nichž se měď v půdě nachází, jsou z hlediska jejich přístupnosti pro rostliny velmi rozdílné [19]. V půdě se měď nachází ve formě kationtů Cu²⁺ a Cu⁺, přičemž ionty Cu⁺ vznikají v půdě pouze redukcí Cu²⁺ v anaerobních podmínkách. Na pohyblivost mědi v půdě má vliv řada faktorů. Pohyblivost se zvyšuje s klesajícím pH; používáním fyziologicky kyselých hnojiv a prováděním dalších opatření, způsobujících okyselení půdy. Ke zlepšení pohyblivosti mědi dochází rovněž při zlepšení podmínek, které umožňují nitrifikaci, přičemž měď přechází z organických vazeb na přístupnější minerální formu. Naproti tomu vápnění půd způsobuje silnější vazbu mědi v půdě. Ke snížení pohyblivosti dochází rovněž působením všech procesů, které zesilují vazbu mědi s organickými látkami půdy a tvoří s nimi pevné sloučeniny [19].

2.3.5 Chrom

Chrom se v přírodě vyskytuje pouze vázaný ve sloučeninách. V půdách se obsah chrómu pohybuje od 5 do 120 mg.kg⁻¹. Dobře rozpustný chrom je toxický pro rostliny i živočichy, proto je důležitá změna oxidačního stupně. Hlavním zdrojem chrómu je metalurgický průmysl [15].

Chrom se v půdě vyznačuje několika oxidačními stupni (od +2 do +6) a schopností tvořit komplexní anionty a kationty, např. Cr(OH)²⁺, CrO₄²⁻, CrO³⁻. V přirozených látkách se vyskytuje jako trojmocný (chromité sloučeniny) nebo šestimocný (chromany). Vysoké oxidační stupně chrómu jsou méně stabilní než chrom trojmocný [19].

V půdě se většina chrómu nachází v málo pohyblivé formě kationtů Cr³⁺ vázaných na oxidy železa a hliníku, které s ohledem na stejnou velikost iontového poloměru zastupuje. Mobilita chromu v půdě závisí na půdní reakci, stupni rozkladu organické hmoty, obsahu jílových minerálů a oxidačně redukčních potenciálu půdy. Vápnění, hnojení fosforem a organické látky významně snižují toxicitu chromanů v kontaminovaných půdách [21].

2.3.6 Přirozené zdroje a cesty znečištění půdy rizikovými kovy

Každá půda se vyznačuje určitou požadovnou hodnotou rizikových kovů, která vyjadřuje jejich přirozený obsah. V přirozených podmínkách se nacházejí v nevelkých množstvích, ale díky antropogenním vlivům se jejich obsah v půdě zvyšuje, a to zejména v povrchové vrstvě

humózního horizontu. Přírodním zdrojem je zvětrávání mateřské horniny a rud dotyčných kovů a je většinou převažujícím zdrojem v půdě [12].

Forma a množství rizikových kovů v půdách závisí na:

- *přírodním mineralogickém složení půd,*
- *intenzitě zvětrávacích procesů,*
- *obsah jílových minerálů,*
- *množství organických látek a humusu apod.*

Zdroje prvků vstupujících do půd můžeme rozdělit na:

- *Přírozené – primární,* tvořené nerosty, horninami, ložisky.
- *Přírozené – druhotné,* tvořené produkty přírodních pochodů jako sopečná činnost, prachové bouře, atmosférické srážky a spady [12]. Rizikové kovy jsou silně obohaceny na povrchu částic hlavně ve formě chemických sloučenin. Čím je částice menší, tím hůře sedimentuje, má tedy delší dobu setrvání v ovzduší a má díky relativně velkému povrchu i schopnost vázat na svůj povrch další škodliviny [21].

2.3.7 Antropogenní zdroje a cesty znečištění půdy rizikovými kovy

Rizikové kovy pocházející z antropogenní činnosti patří mezi nejčastější a nejdéle působící kontaminanty životního prostředí. [15]. U většiny kovů je to metalurgický průmysl, spalování fosilních paliv, prašné provozy, automobilová doprava, dále k uvolňování kovů dochází při průmyslových procesech, kde se využívají jejich sloučeniny (výroba cementu a skla), při použití výrobků obsahujících rizikové kovy (výfukové plyny motorových vozidel) nebo při spalování odpadků a čistírenských kalů.

Jako zdroj kontaminace půdy v nižší míře můžeme uvést i používání hnojiv a kalů. Obsahy prvků a jejich sledování patří k hlavním faktorům, přispívajícím k poznání koloběhu prvků v celé přírodě. Sledujeme:

- *Celkový obsah (totální)-* představuje veškerý obsah prvků v půdě. Používá se jako ukazatel toxicity. Má význam při zjišťování biochemické akumulace prvku v půdě. U některých prvků (Hg, As) je i dnes obtížné odhadnout jejich přírodní celkové koncentrace, protože vytvářejí těžké sloučeniny.
- *Uvolnitelný (rozpuštěný)-* představuje obsah uvolněný z půdy různými vyluhovacími kyselinami, které se používají při rozkladu mokrou cestou. Jedná se hlavně o výluh 20% HCl a 2M HNO₃ [21].

Jedná se zejména o produkty průmyslové činnosti, dopravy a energetiky. Emise As, Pb a Cd jsou závislé na třech hlavních zdrojích 1, spalování fosilních paliv, 2, aktivita hutí, 3, spalování odpadu, zpracování oceli. Kumulace rizikových prvků v půdě má výrazný ekologický dopad, protože v orniční vrstvě probíhá nejen intenzivní mikrobiální aktivita, a tím regulace rychlosti koloběhu prvků, ale i jejich vazba na primární produkty, kterými jsou zapojovány do potravinového řetězce. Zemědělské půdy jsou nejvíce zatíženy právě atmosférickou kontaminací [14].

Tabulka č.4: Vstupy látek do zemědělské půdy v České republice [22].

zdroj	g.ha ⁻¹ /rok			
	Cd	Cr	Pb	Hg
hnojiva	0,639	7,610	1,624	0,004
atmosférická depozice	1,312	7,132	30,790	0,200
aplikace kalů ČOV	0,058	4,250	1,790	0,060

V současné době se považují za nejaktuálnější rizikové kovy v biosféře olovo, kadmium a rtuť. U olova se všeobecně nepotvrdila jeho esencialita. ČR nepatří mezi země, kde je území především podél automobilových komunikací-nebezpečně zamořeno. Tato skutečnost se promítla i do snížení tolerovatelného obsahu tohoto prvku v biosféře. Olovo z automobilového benzínu není jediným a hlavním zdrojem tohoto prvku v biosféře [3]. Kontaminace biosféry totiž pokračuje i po zavedení bezolovnatého benzínu. Nejvýrazněji se na kontaminaci půdy podílí Cr, dále Cd, Pb a nejméně Ni a Zn. Důlní a hutní činnosti v této oblasti mají současně vliv na zastoupení dalších prvků v půdě, především As, Cd a Zn. Vysoký obsah rizikových kovů v půdě je umocněn i jejich zvýšeným obsahem v geologickém podloží [22].

2.3.8 Vliv pH na mobilitu kovů v půdě

Hodnota pH patří mezi nejvýznamnější faktory mobility, rozpustnosti a přístupnosti rizikových prvků rostlinám. Mobilita prvků v půdě klesá v pořadí Cd > Ni > Zn > Cu > Pb. Koncentrace přístupných podílů je u většiny rizikových prvků nižší v půdním roztoku alkalických a neutrálních půd, než u lehkých kyselých půd při stejném celkovém obsahu. pH půdy.

Pokud dojde k okyselení, např. v důsledku kyselých dešťů, těžké kovy se uvolňují a jsou více pohyblivé v půdním roztoku a snáze přijatelné rostlinami, případně vyplavované do spodních vod. Z hlediska životního prostředí a jeho ochrany lze za nejvíce nebezpečné označit tyto chemické prvky: kadmium, rtuť, olovo, arsen a chrom [19, 23].

2.3.9 Limitní hodnoty rizikových kovů v půdách

Limitní obsah rizikových kovů v půdách je většinou posuzován podle vyhlášky MŽP č.13/1994 Sb., která se vztahuje na zemědělskou půdu. Ty mají specifické použití a zdroje kontaminace podle toho se také liší limitní hodnoty [24].

Tabulka č. 5: Limitní hodnoty rizikových látek v zemědělských půdách dle vyhlášky MŽP č.13/1994 Sb., ve znění pozdějších předpisů [24]

prvky	obsah kovů (mg.kg ⁻¹) ve výluhu 2M HNO ₃	
	lehké půdy	ostatní půdy
Hg	0,6	0,8
Cd	0,4	1
Pb	50	70
Cu	30	50
Cr	40	40

Vhodnější variantou se zdá být porovnání výsledných hodnot s hodnotami v tabulce č. 5 sestavené podle Kritéria znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31. července 1996 [25].

Kritéria znečištění A, B, C jsou stanovena následujícím způsobem:

Kritéria A - Odpovídají přibližně přirozeným obsahům sledovaných látek v přírodě (v souvislosti s uzančně stanovenou mezí citlivosti analytického stanovení). Překročení kritérií A se posuzuje jako znečištění příslušné složky životního prostředí vyjma oblastí s přirozeným vyšším obsahem sledovaných látek. Pokud však nejsou překročena kritéria B, znečištění není pokládáno za tak významné, aby bylo nutné získat podrobnější údaje pro jeho posouzení, tedy zahájit průzkum nebo znečištění monitorovat.

Kritéria B - Překročení se posuzuje jako znečištění, které může mít negativní vliv na zdraví člověka a jednotlivé složky životního prostředí. Je třeba shromáždit další údaje pro posouzení, zda se jedná o významnou ekologickou zátěž a jaká jsou rizika s ní spojená. Kritéria B jsou tedy vytvořena jako intervenční hladiny, při jejichž překročení je nezbytné se znečištěním dále zabývat. Překročení kritérií B vyžaduje předběžně hodnotit rizika plynoucí ze zjištěného znečištění, zjistit jeho zdroj a příčiny a podle výsledku rozhodnout o dalším průzkumu či zahájení monitoringu.

Kritéria C - Překročení těchto kritérií představuje znečištění, které může znamenat významné riziko ohrožení zdraví člověka a složek životního prostředí. Závažnost rizika může být potvrzena pouze jeho analýzou. Doporučené hodnoty cílových parametrů pro asanaci v závislosti na výsledku analýzy rizik, mohou být i vyšší, než jsou uvedená kritéria C. Nezbytným podkladem pro rozhodnutí o způsobu nápravného opatření jsou mimo analýzu rizika studie, které zhodnotí technické a ekonomické aspekty navrženého řešení [25].

Tabulka č. 6 Limitní hodnoty rizikových kovů v půdách dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31.července 1996, [25]

	zemina*				
	A	B	C - obytná.	C - rekreační.	C - průmyslová.
kovy	mg.kg ⁻¹ sušiny				
Hg	0,4	2,5	10	15	20
Cd	0,5	10	20	25	30
Pb	80**	250	300	500	800
Cu	70	500	600	1000	1500
Cr (celk.)	70	450	500	800	1000

*) při rozkladu lučavkou královskou za varu

***) může být i vyšší ve velkých městských aglomeracích a oblastech s intenzivní automobilovou dopravou

2.4 Stanovení kovů metodami atomové absorpční spektrometrie

Atomová absorpční spektrometrie je optická metoda využívající absorpci záření rezonanční spektrální čáry volnými atomy měřeného prvku v základním energetickém stavu. Během atomizace se zaznamenává absorpční pík, (celková absorbance a signál pozadí). Plocha nebo výška píku je úměrná hmotnosti analytu. Hlavní předností přístrojů pro AAS jako prvkově selektivních detektorů je jejich jednoduchost, snadná dostupnost a nízké pracovní náklady. Je jednoznačně nejrozšířenější metodou anorganické prvkové analýzy. Patří mezi běžné laboratorní metody, umožňuje stanovení až 68 prvků v koncentracích od desetin g.l^{-1} až nižší jak $1\mu\text{g.l}^{-1}$ [26].

2.4.1 Zdroj záření

Nejstarším a současně nejčastěji používaným zdrojem primárního čárového záření v AAS je výbojka s dutou katodou (anglicky *Hollow cathode lamp*), zkratka HCL [26]. Emitují úzké čáry, které, které nejsou ovlivněny samoabsorbací a ve spektru převažují rezonanční čáry [27].

Je tvořena evakuovaným skleněnou baňkou o průměru 30 - 50 mm a délce okolo 12 cm, ve kterém je umístěna dutá katoda z analyzovaného prvku a anoda z běžného kovu. Baňka je dobře vakuově zatěsněna a je naplněna inertním plynem (neon, argon) pod tlakem 100 - 200 Pa. V případě, že na obě elektrody vložíme napětí v řádu několika tisíc voltů, dojde ke vzniku doutnavého výboje a kladně nabitě ionty vzácného plynu jsou přitahovány ke katodě, na kterou narážejí vysokou rychlostí. Srážkami se z povrchu anody uvolňují atomy analyzovaného prvku, které se srážejí s dalšími letícími ionty a excitují se do vyššího energetického stavu. Při návratu do stabilního stavu pak vyzařují elektromagnetické záření, jehož vlnová délka odpovídá energetickému rozdílu mezi excitovaným a normálním stavem daného atomu. Prakticky tak získáme čárové spektrum o několika desítkách spektrálních linií, které jsou pro každý prvek charakteristické a jejich vlnová délka je určována stavbou elektronového obalu analyzovaného prvku [27].

Jistou nevýhodou praktického používání HCL je nutnost výměny lampy při přechodu na analýzu jiného prvku a také fakt, že potřeba nákupu více výbojek zvyšuje náklady na analýzy [26].

2.4.2 Plamenová atomová absorpční spektrometrie

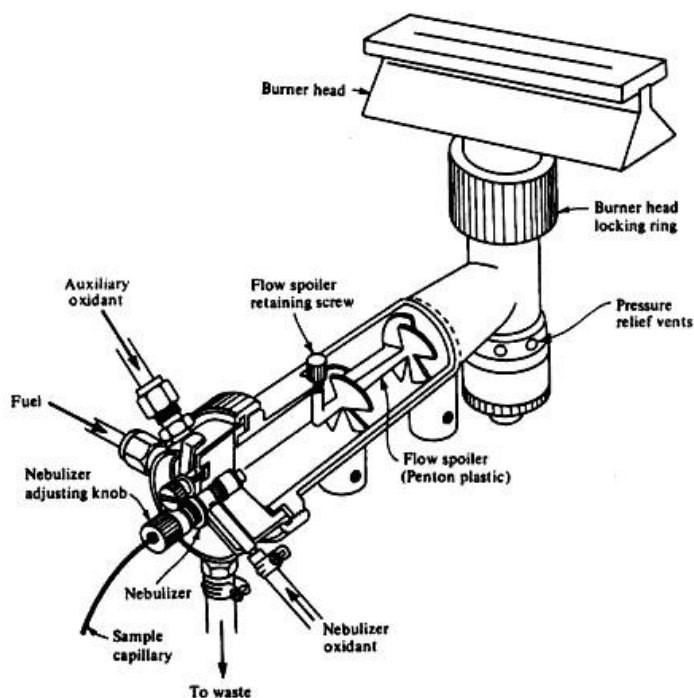
•Je pracovní technika s rychlou analýzou (10 - 15 s) atomové absorpční spektrometrie. Výhodou je snadná automatizace měření a relativně levné přístroje a nízké provozní náklady [36].

Jako atomizátor používá plamen:

- *plamen acetylen - vzduch* (2000-2300°C): pro snadno atomizovatelné prvky (alkalické kovy, Mg, Ca, Zn, Cu, Cd, Pb, Mn, Fe, případně Cr)
- *plamen acetylen - oxid dusný* (2800-3000 °C): pro obtížně atomizovatelné prvky (Sr, Ba, V, Cr, Mo, Al, Si, B atd.); nebo prvky, které tvoří s matričními složkami (fosforečnany, křemičitany) termostabilní sloučeniny (Ca, Mg, Ni, Fe).

Kapalný vzorek se nasává do zmlžovače (4-7 ml/min) a vzniklý aerosol se přivádí do plamene, kde dochází k desolvataci aerosolu, vypaření a atomizaci analytu. Výhody

plamenové atomizace jsou rychlá analýza (10-15 s / vzorek a prvek), velmi dobrá opakovatelnost a žádné nebo jen mírné rušivé vlivy, které lze snadno korigovat [28].

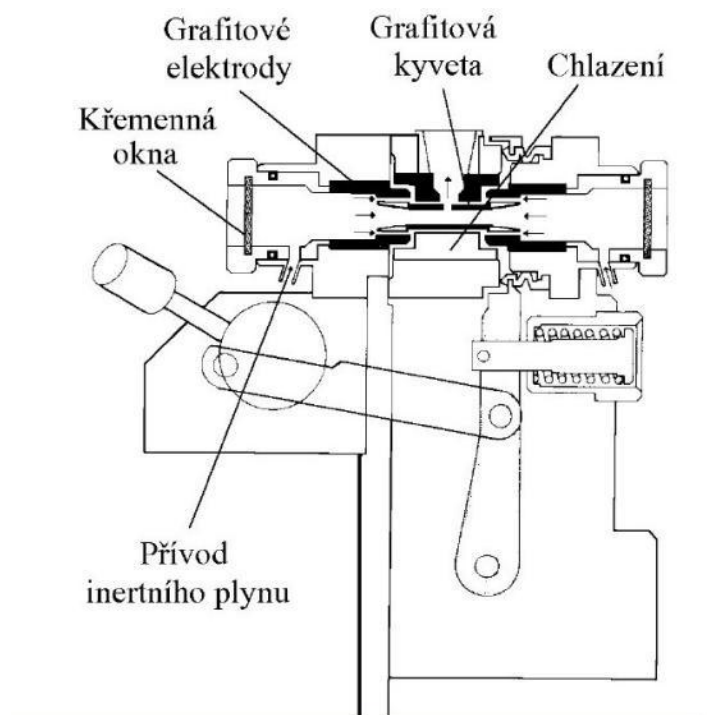


Obr.4 Hlavice plamenového atomizátoru [29]

2.4.3 Atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací

Při elektrotermické atomizaci se dávkuje velmi malé množství vzorku (10-40 μl) do odporově vyhříváné kyvety. Hlavní výhodou bezplamenových atomizátorů je fakt, že se celé nadávkované množství vzorku podílí na absorpci primárního záření; dosáhneme tedy mnohem vyšší okamžitou koncentraci volných atomů v plynné fázi ve velmi malém objemu atomizátoru.. Mez detekce je o 2-3 řády nižší, než v F AAS [29].

Atomizátor je nejčastěji grafitová trubice (kyveta) s dávkovacím otvorem z porézního grafitu (normální typ) nebo pokryté vrstvou pyrolytického uhlíku (neporézní skelný povrch) s platformou nebo sondou nebo bez platformy vyhříváné podélně nebo příčně K atomizaci nadávkovaného vzorku dochází postupným ohřevem kyvety průchodem elektrického proudu (kyveta se chová jako elektrický odpor). Grafitová kyveta je umístěna ve speciální hlavici elektrotermického atomizátoru, která ji udržuje v optické dráze atomového absorpčního spektrometru. Elektrotermický ohřev kyvety probíhá v atmosféře velmi čistého argonu, aby se zabránilo přístupu kyslíku ze vzduchu k rozžhavenému grafitu a volným atomům analytu. Na obrázku č. 6 je zobrazeno uložení kyvety v hlavici elektrotermického atomizátoru a jeho důležité části. Trubice je elektricky vyhřívána, chlazená vodou a proplachována inertním plynem (Ar nebo N_2) [26, 30].



Obr. č. 5 Hlavice elektrotermického atomizátoru [27]

Spektrometr AAS-ZEEnit 60 využívá Zeemanova jevu při korekci pozadí, to je štěpení spektrálních čar v přítomnosti magnetického pole. [28]

2.4.3.1 Pracovní cykly

1. *nástřik* vzorku nebo standardu (a modifikátoru) na stěnu kyvety nebo na platformu
2. *sušení* – odpaření rozpouštědla při t mírně nad t_v rozpouštědla, roztoky ve 2M HNO₃ se suší při 120 °C. Doba sušení závisí na objemu nástřiku (1-2 s/μl); proud inertního plynu odvádí páru z atomizátoru.
3. *pyrolýza* – termický rozklad za vyšších teplot (300-1200 °C) → rozklad matrice na plynné produkty, odstranění produktů vyplachováním kyvety inertním plynem např. rozklad dusičnanů:

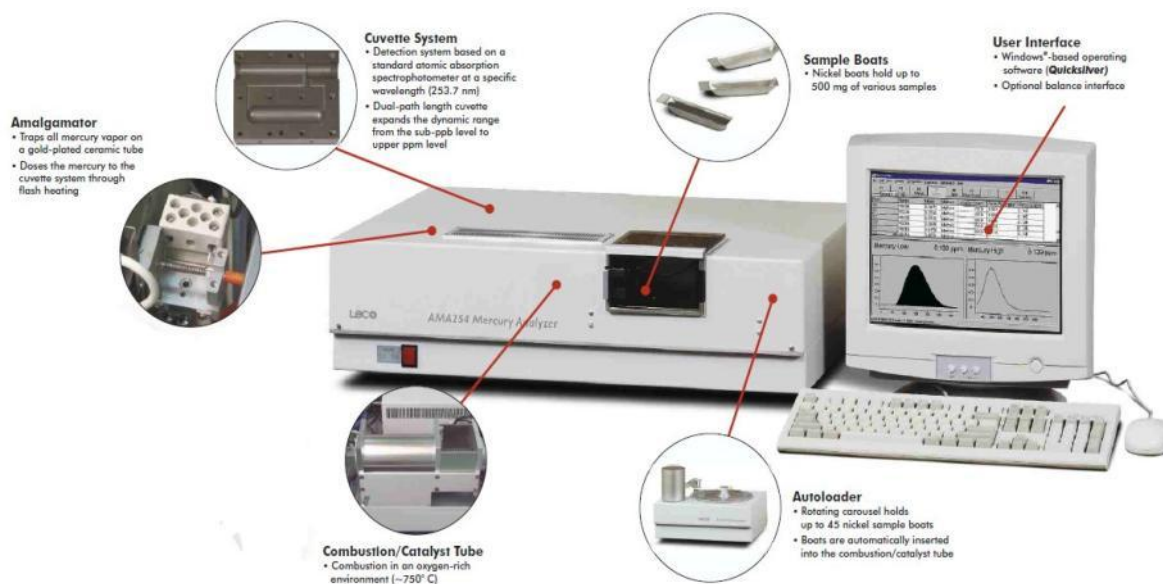
$$M(NO_3)_2 \rightarrow 2 MO + 4 NO_2 + O_2$$
 další procesy: reakce mezi analytem a modifikátorem, mezi složkami matrice a modifikátorem doba pyrolýzy: desítky sekund.
4. *atomizace* – velmi rychlý ohřev na vysokou teplotu (1400-2700 °C) → odpaření analytu, štěpení molekul na atomy:

$$MO \rightarrow M + O$$
 zaznamenává se celková absorbance a signál pozadí délka atomizace: 3-5 s těsně před startem atomizace se zastaví proud inertního plynu dvě možnosti: atomizace ze stěny, atomizace z platformy.
5. *čištění* – ohřev na velmi vysokou teplotu (2400-2700 °C) po dobu cca 3 s; proud inertního plynu odvádí všechny odpařené látky z atomizátoru
6. *chlazení* atomizátoru na teplotu, která umožní další nástřik (20-60 °C) [28].

2.4.4 Analyzátor rtuti AMA 254 (Advanced mercury analyser)

Je jednoúčelový atomový absorpční spektrofotometr pro stanovení rtuti. Je určen pro přímé stanovení obsahu rtuti v pevných a kapalných vzorcích bez potřeby chemické předúpravy vzorku (mineralizace apod.). Využitím techniky generování par kovové rtuti s následným zachycením a nabohacením na zlatém amalgamátoru se dosahuje mimořádně vysoké citlivosti stanovení a nezávislosti výsledku stanovení na matici vzorku. Vzorek o známé navážce či objemu je umístěn na spalovací lodičku a povelom z řídicího počítače je zaveden do spalovací trubice. Řízeným ohřevem spalovací pece je vzorek vysušen a poté spálen (v případě nehořlavého vzorku je rtuť ohřevem uvolněna). Rozkladné produkty procházejí přes katalyzátor, kde je dokončena jejich oxidace a jsou zachyceny látky kyselé povahy (halogeny, oxidy síry atd.). Rozkladné produkty jsou dále vedeny přes amalgamátor, kde je selektivně zachycena rtuť. Protože rozkladné produkty obvykle obsahují vodní páru, je celá plynová cesta až po výstup z bloku měřících kyvet vyhřívána na 120°C, aby se zabránilo kondenzaci vody. Po dokončení rozkladu vzorku a stabilizaci teploty je změřeno zachycené množství rtuti. Rtuť je z amalgamátoru uvolněna krátkodobým ohřevem. Oblak rtuťových par je nosným plynem unášen přes delší měřící kyvetu (měřeno jako 1. pik). Pak se veškerá rtuť shromáždí ve zpoždovací nádobce a z ní vstupuje do kratší měřící kyvety. Zde je měřena absorbance záření atomy rtuti na vlnové délce 253,65 nm a vyhodnocena metodou externí kalibrace. Jako zdroj záření slouží nízkotlaká rtuťová výbojka, záření prochází interferenčním filtrem a detekováno pomocí polovodičové UV diody [31].

Veškeré používané pomůcky pro měření je nutné před použitím vyžítat v plameni do červeného žáru, tím se odstraní případná kontaminace prachem. Při měření pevných vzorků se navážka opět řídí předpokládaným obsahem rtuti. Doporučuje se pracovat se dvěma lodičkami: na jedné probíhá analýza v přístroji a na druhou se váží [32].



Obr. č. 6 Schéma AMA 254 spektrometru [33]

2.5 Zpracování experimentálních dat

2.5.1 Metoda kalibrační křivky

Připravíme sérii kalibračních roztoků obsahujících různé známé koncentrace stanovované složky. Kalibrační roztoky proměříme a sestrojíme závislost sledované veličiny na obsahu složky. Pak se proměří vzorek a z velikosti signálu měřené veličiny určíme obsah složky v něm. Směrnice kalibrační křivky udává citlivost metody. Nejpřesnější je lineární tvar závislosti, pokud je kalibrační křivka nelineární, měření je zatíženo chybou [26]. Závislost mezi dvěma proměnnými může být dvojího druhu: funkční nebo statická. Funkční závislost proměnných řeší *regresní analýza*

Regresní analýza lineární závislosti určuje odhady koeficientů a (posunutí) a b (směrnice), jež jsou charakteristickou vlastností regresní přímky a ta je vyjádřena pomocí rovnice $y = ax + b$. Pro odhad koeficientů regresní rovnice se obvykle volí metoda nejmenšího součtu čtverců. A pro ně platí vztahy

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i) \quad (1)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2)$$

Směrodatnou odchylku, která charakterizuje rozptýlení kolem regresní přímky (též přesnost kalibrace), se určuje jako:

$$s_{y,x} = \sqrt{\frac{i}{n-2} (\sum_{i=1}^n y_i^2 - a \sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i y_i)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{n-2}} \quad (3)$$

kde Y_i je hodnota vypočtená z regresní rovnice pro odpovídající x_i , tedy $Y_i = a + bx_i$. Posouzení těsnosti rozložení závisle proměnné y kolem regresně vypočtené hodnoty funkce $y=f(x)$ umožňuje *korelace*. Test rozložení závisle proměnné veličin kolem lineární regresní přímky určuje korelační koeficient

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \cdot \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \quad (4)$$

Lineární regrese - přesnost přímky vypočtené lineární regrese závisí na tom, jak je daná množina dat rozptýlená. Čím více jsou data lineární, tím je regresní model přesnější. Lineární

regrese používá metodu nejmenších čtverců, aby se regrese co nejvíce přiblížila daným datům.

2.5.2 Mez detekce a mez stanovitelnosti

Směrodatná odchylka (smodch) - vyjadřuje, jak se hodnoty liší od průměrné hodnoty (střední hodnoty). V grafech je vyjádřena jako směrové úsečky. Je dána vztahem:

$$\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} \quad (5)$$

Relativní směrodatná odchylka (RSD) - je míra průměrné vzdálenosti hodnot dat od jejich průměru. Přesnost metody vyjadřuje těsnost souhlasu mezi nezávislými výsledky zkoušek získanými za předem definovaných podmínek.

Mez detekce (LOD) - nejnižší množství analytu ve vzorku, které jsme schopni detekovat, nebo jako absolutní množství nebo koncentrace analytu, které poskytuje signál rovný trojnásobku směrodatné odchylky signálu pozadí. Je vyjádřena vztahem:

$$\text{LOD} = \frac{3s_{BL}}{S} \quad (7),$$

kde S je citlivost (tj. směrnice kalibrační křivky) a s_{BL} je směrodatná odchylka signálu slepého pokusu

Mez stanovitelnosti (LOQ) - je nejmenší množství analytu, které se může s přijatelnou mírou správnosti a přesnosti stanovovat. Je zjišťována s použitím vhodného standardu či vzorku. Obvykle je to nejnižší bod kalibrační křivky Je vyjádřena vztahem: [34, 46]

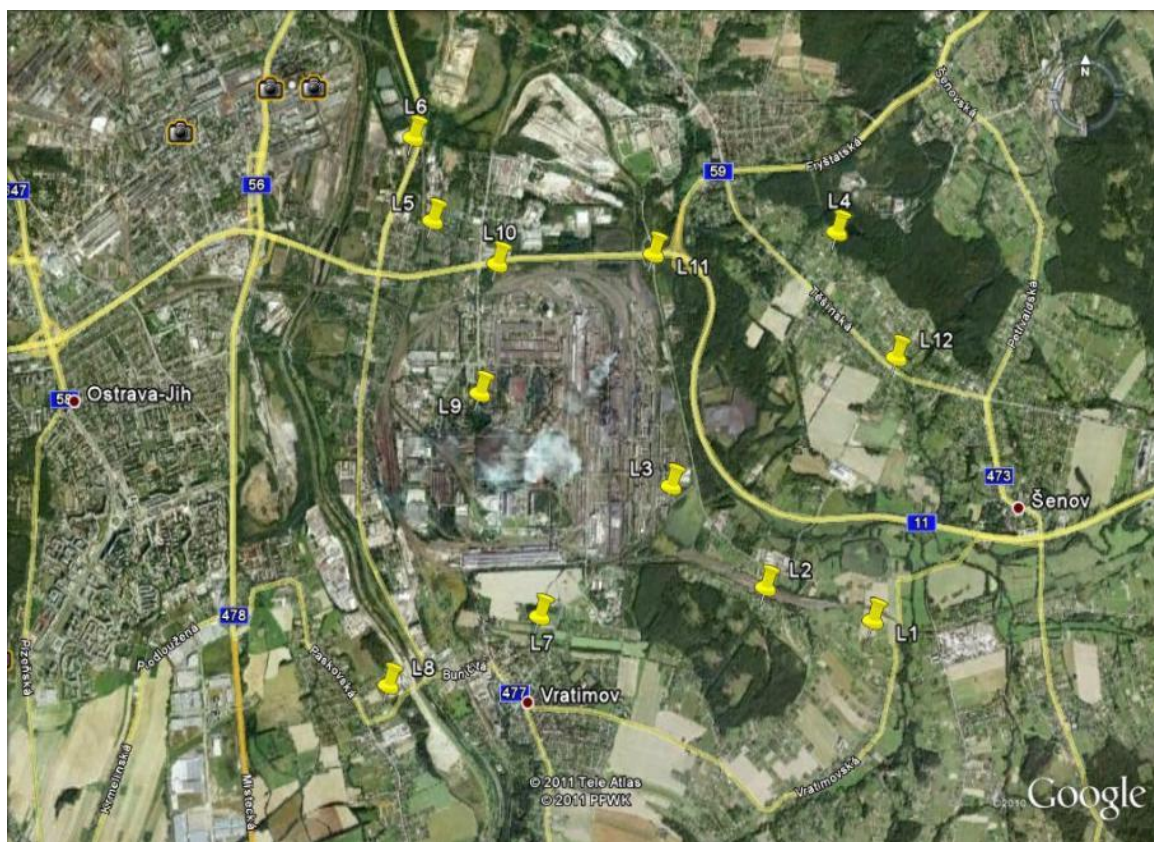
$$\text{LOQ} = \frac{10s_{BL}}{S} \quad (8)$$

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro studium kontaminace nezemědělských půd na území města Ostravy bylo odebráno a analyzováno celkem 36 vzorků odebraných ze 12 lokalit ve třech ročních obdobích v rozmezí od července 2010 do března 2011. Přesné data odběru byly zaznamenány tabulce č. 7 společně s označením příslušných lokalit. Rizikové prvky byly zpracovány a analyzovány podle Vyhlášky MŽP ČR 13/1994 Sb. ve 2M HNO₃ za studena [35]. Celkový obsah rtuti byl stanoven analyzátozem AMA 254, kadmium pomocí ET-AAS a olovo, měď a chrom byly analyzovány na F-AAS. Výsledky chemického rozboru jsou uvedeny v závěru práce.

3.1 Lokality odběru vzorků

Lokality byly rozděleny do tří zón dle vzdálenosti od zdroje znečištění (obr. č. 11), v jedné této zóně se nacházejí čtyři lokality. Vzdálenosti každé lokality od zdroje znečištění jsou uvedeny v tabulce č. 13. Lokality byly také vybírány tak, aby každé tři spadaly do jedné ze čtyř světových stran. Na západní straně od zdroje znečištění se nachází velký počet průmyslových objektů, proto jsou zde odběrové lokality mírně vychýleny od původního rozdělení dle vzdálenosti od zdroje znečištění a dle světových stran. Na obrázku č. 7 jsou zaznamenány lokality odběrových míst. Letecké snímky daných lokalit, fotografie z odběru a GPS souřadnice jsou součástí přílohy (*Přílohy 6-18*).



Obr.č. 7 Mapové zobrazení odběrových míst [41]

3.1.1 Popis odběrových lokalit

- L1 Lokalita se nachází jihovýchodně od zdroje znečištění REZZO 1. Odběrová místa leží 9 m od příjezdové cesty k okolním rodinným domům. Cca 15 m se nachází zemědělská plocha. V okolí stále během odběrů docházelo k výstavbám nových rodinných domů.
- L2 Ve vzdálenosti 10m od nejbližšího odběrového místa se nachází sloup vysokého napětí, 20 m leží příjezdová cesta ke třem rodinným domům. Asi 250m je vzdálen les Důlnák a malá plocha zemědělské půdy. Lokalita se nachází jihovýchodně od průmyslového zdroje.
- L3 Tato lokalita je z jihovýchodní strany nejbližším odběrovým místem od REZZO 1. Vzorky byly odebrány co nejbliže zdi, která dělí průmyslový objekt a okolí. Ve vzdálenosti 70m se nachází málo frekventovaná zastávka MHD a parkoviště pro asi deset automobilů.
- L4 Odběrové místo se nachází severovýchodně od zdroje znečištění REZZO 1, na louce, která bude do budoucna sloužit jako stavební parcela. Velké rozměry louky umožnily odběr vzorků až 150m od jakéhokoli možného zdroje kontaminace, jako je příjezdová cesta nebo rodinný dům.
- L5 V okolí odběru vzorků se nachází objekt, sloužící jako sklad, není uveden jako zdroj znečišťování [7] a dva rodinné domy. Asi 100 m je vzdálena železniční trať. 700 m směrem na sever pak vlaková stanice Ostrava-Kunčičky. Odběrová plocha je obklopena stromy a celá zatravněná. Lokalita se nachází severozápadně od průmyslového zdroje.
- L6 Lokalita se nachází na velké zatravněné ploše u sjezdu ze silnice I. třídy, v blízkém leží lokální zdroj znečištění v podobě vybydleného objektu a cca 300m daleko se nachází kaliště. Lokalita se nachází severozápadně od průmyslového zdroje.
- L7 Lokalita leží na jižní až jihozápadní straně od průmyslového objektu. v blízkosti sloup el. vedení, kousek zemědělská půda, cesta není příliš frekventovaná.
- L8 V blízkosti této lokality se nachází podnik Mikra Metal s.r.o., který je dodavatel nerezové oceli, prostory podniku slouží pouze jako sklad ocelového materiálu, není uveden jako zdroj znečišťování [7] 20m leží řeka Ostravice. Lokalita se nachází jihozápadně od průmyslového zdroje.
- L9 Nejbližší místo ležící západně od průmyslového objektu. V blízkosti je hlavní vstup do objektu - NH-Jižní Brána a ubytovna.
- L10 Místo, ležící nejbliže průmyslovému objektu ze severovýchodní strany. Velmi frekventovaná část silnice Rudná, vzdálena asi 150 m, však byla oddělena od místa odběru vzorků hustým lesním porostem. Odběr vzorků probíhal ihned za plotem oddělující průmyslový objekt. Na této straně objektu se nachází rozsáhlá železniční síť určená pro potřeby podniku.

L11 Lokalita je nejbliže ze severovýchodní strany zdroje znečištění REZZO 1. Nachází se za sjezdem ze silnice Rudná směrem na Bartovice. Plocha je jen z části zatravněná, z části se jedná o navoženou zeminu. Ostrava- Radvanice.

L12 Lokalita se nachází asi 90 m od silnice Šenovská, 50m daleko je zastávka městské hromadné dopravy a malý obchod s potravinami. V okolí 40 m jsou rodinné domy. Odběrové místo se nachází severovýchodně od zdroje znečištění REZZO 1.

3.1.2 Termíny a meteorologické podmínky při odběrech vzorků půdy

Tabulka č. 7 Umístění lokalit a termíny odběrů vzorků

lokalita	umístění	1. série	2. série	3. série
L1	ulice Na Hranici (Horní Datyně)	18.7.2010	24.10.2010	18.3.2011
L2	ulice U Důlnáků (Ostrava-Bartovice)	18.7.2010	24.10.2010	18.3.2011
L3	ulice Šenovská (Ostrava-Bartovice)-Šenovská 1	18.7.2010	24.10.2010	18.3.2011
L4	ulice Maričky Magdonové (Ostrava-Bartovice)	19.7.2010	25.10.2010	19.3.2011
L5	ulice Kaniokova (Ostrava-Kunčičky)	18.7.2010	24.10.2010	18.3.2011
L6	ulice Rajnochova (Ostrava-Kunčičky)	18.7.2010	24.10.2010	18.3.2011
L7	ulice Na Podlesí (Vratimov)	18.7.2010	25.10.2010	18.3.2011
L8	ulice Mostní 9 (Ostrava-Hrabová)	18.7.2010	25.10.2010	18.3.2011
L9	ulice U Sýpky (Ostrava-Kunčice)	18.7.2010	25.10.2010	18.3.2011
L10	ulice Vratimovská (Ostrava-Kunčice)	18.7.2010	25.10.2010	18.3.2011
L11	ulice Šenovská (Ostrava-Bartovice) – Šenovská 2	19.7.2010	25.10.2010	19.3.2011
L12	ulice Dvorová (Ostrava-Bartovice)	19.7.2010	25.10.2010	19.3.2011

Tabulka č. 8 Meteorologické podmínky při odběru

série	datum odběru	meteorologická situace
1.	18. 7. 2010	22,8 - 18,5°C, déšť, oblačno, severozápadní vítr 7 až 10
	19. 7. 2010	19,5°C, zataženo, severozápadní vítr 7 až 10 m/s.
2.	24. 10. 2010	13, 5 - 9,5°C, jasno, mírný jihovýchodní 4,5m/s
	25. 10. 2010	6,9°C, polojasno, mírný východní vítr 2 až 5 m/s.
3.	18. 3. 2011	6,4°C, polojasno, severozápadní vítr 2 až 5 m/s.
	19. 3. 2011	7,8°C, jasno, západní vítr 2 až 5 m/s.

3.2 Metodický postup odběru vzorků

Cílem vzorkování - odběru vzorků půdy na určité lokalitě, bylo získání průměrného vzorku reprezentujícího danou plochu. Přesné místo odběru vzorku v dané lokalitě bylo vybráno tak, aby se nenacházelo v bezprostřední blízkosti jiného zdroje znečištění, než je předmětem této práce, a s dostatečnou plochou k odběru dílčích vzorků. Zde pak byla vytyčena plocha o rozměru 1x1 m nebo 3x3 m (dle možností vybrané lokality). Vrcholy takto vzniklého čtyřúhelníku byly zřetelně označeny. Protilehlé vrcholy byly spojeny. Odběrová místa byly vrcholy čtyřúhelníku, průsečík úhlopříček, dále pak body v polovině délek stran vzniklých spojením vrcholů a vrcholů s průsečíkem. Dohromady tedy 13 míst. Vzorky trvalých travních porostů se odebírají do hloubky kolem 15 cm s odstraněním svrchní drnové vrstvy [37, 38]. Z každého tohoto místa bylo odebráno zhruba 150 g půdy pomocí zahradnické lopatky z tvrzeného plastu. Půda byla přemístěna na plochu pokrytou PVC plachtou. Zde byly odstraněny zbytky rostlin, kameny a živé organismy. Ze všech 13 dílčích vzorků byl vytvořen pomocí kvartace jeden směsný o hmotnosti asi 500 g. Ten byl kvantitativně převeden do polyethylenového sáčku, který byl již opatřen štítkem s datem a lokalitou odběru. Sáčky se vzorky půdy byly nejpozději do 24 hodin přepraveny do laboratoře, mezitím byly skladovány v suchém a tmavém místě. Půda jako analyt je poměrně stálá a stanovované prvky nejsou, s výjimkou rtuti, těkavé [37, 39]. Postup vzorkování probíhal v souladu s normou ČSN ISO 11648-2 [42].

3.3 Zpracování odebraných vzorků půdy

Po převezení do laboratoře byly vzorky půdy z polyethylenových sáčků přemístěny na filtrační papír s popiskem, půda byla rozprostřena na celou plochu papíru, výška vrstvy půdy byla asi 1,5 cm. Půda byla sušena při laboratorní teplotě a z dosahu jakýchkoli kontaminantů. Po vyschnutí a rozmělnění následovalo prosívání přes plastové síto o velikosti ok 5 mm, vzniklá podsítná frakce byla ještě jednou proseta přes plastové síto o velikosti ok 2 mm, jelikož v pro analýzu půdy se nejčastěji pracuje s frakcí o velikosti částic menší než 2 mm, uváděnou pod pojmem jemnozem [37]. Takto upravené podsítné frakce byly skladovány a připraveny pro další zpracování v polyethylenových láhvích s popiskem. Veškeré pomůcky, které byly potřebné pro úpravu vzorků půdy, byly nejprve umyty v 3% HNO₃, aby se předešlo případné kontaminaci vzorků [42].

3.3.1 Stanovení půdní sušiny gravimetrickou metodou

Do označených porcelánových kelímků se známou hmotností byl navážen 1g půdy s přesností na čtyři desetinná místa a vložen do sušárny. Ta byla vyhřátá na teplotu 105°C ± 2°C. Po třech hodinách byly vzorky vyndány a vloženy do eksikátoru, odkud byly po vychladnutí vyndány a opět zváženy. Po této době byly kelímky přemístěny do eksikátoru a po vychladnutí opět zváženy. Úbytkem hmotnosti po procesu sušení bylo zjištěno množství sušiny ve vzorku půdy, výsledné obsahy kovů pak byly vztaženy na hmotnost půdní sušiny v kilogramech. Stanovení sušiny bylo provedeno dle normy ČSN ISO 11465 [43].

3.3.2 Příprava extraktu půdy 2M HNO₃

Pro přípravu extraktu 2M HNO₃ bylo naváženo asi 5 g půdy s přesností na dvě desetinná místa. Takové množství bylo převedeno do polyethylenové nádoby o objemu 100 ml a zalito 50 ml 2M HNO₃. Při extrakci se předpokládá, že tyto prvky nejsou zabudovány do křemičitanové matrice půdy a nevyžaduje se úplné rozpuštění půdního vzorku. Samotný proces třepání (extrakce) trval 16 hodin. Po této době byly obsahy nádobek zfiltrovány přes filtrační papír. Filtrát byl jímán do polyethylenové nádoby, ve které se uchovával po celou dobu měření [37] Extrakce půdy 2M HNO₃ probíhala v souladu s vyhláškou MŽP č.13/1994 Sb. [35].

3.3.3 Stanovení pH půdy v extraktu 0,01 M CaCl₂

Do polyethylenové nádoby o objemu 100 ml bylo naváženo 10 g podsítné frakce půdního vzorku a následně přidáno 50 ml připraveného 0,01 M roztoku CaCl₂ [40]. Tato suspenze byla promíchána a umístěna na třepací zařízení, kde byla prováděna fáze třepání po dobu 60 minut. Po této době byla suspenze tutéž dobu ponechána v klidu. Před vložením skleněné elektrody pH-metru byla suspenze opět promíchána. Hodnota pH byla po ustálení zapsána [40]. Stanovení hodnot pH půdy probíhalo v souladu s normou ČSN ISO 10 390 [44].

3.4 Analýza půdy a půdních extraktů

Pro stanovení prvků v půdě byly použity 3 typy přístrojů přímo určených pro prvkovou analýzu (AMA 254, ET-AAS, F-AAS).

3.4.1 Analýza rtuti v půdě pomocí přístroje AMA 254

Vzorky půdy byly analyzovány na přístroji AMA 254 (obr. č. 8). Před samotnou analýzou vzorků byl spuštěn čistící program pomocí 100 µl vodovodní vody. Čištění bylo opakováno do doby, než absorbance klesla do hodnoty 0,002. Jako kalibrace přístroje se provádí proměření „check“ standardu o koncentraci 0,2 mg.l⁻¹. Na dávkovací lodičku bylo naváženo vždy kolem 50 mg podsítné frakce půdy s přesností na 4 desetinná místa. Lodička s navázkou byla umístěna do dávkovacího zařízení. Poté byla spuštěna analýza s následujícími parametry: sušení/rozklad/čekání 150/200/45 s. Výsledek měření byl obsah celkové rtuti v ng v navážce vzorku. Stanovení bylo pro každý vzorek opakováno pětkrát. Po skončení analýzy byl zastaven přívod kyslíku, vypnut počítač a po i vychladnutí přístroj.



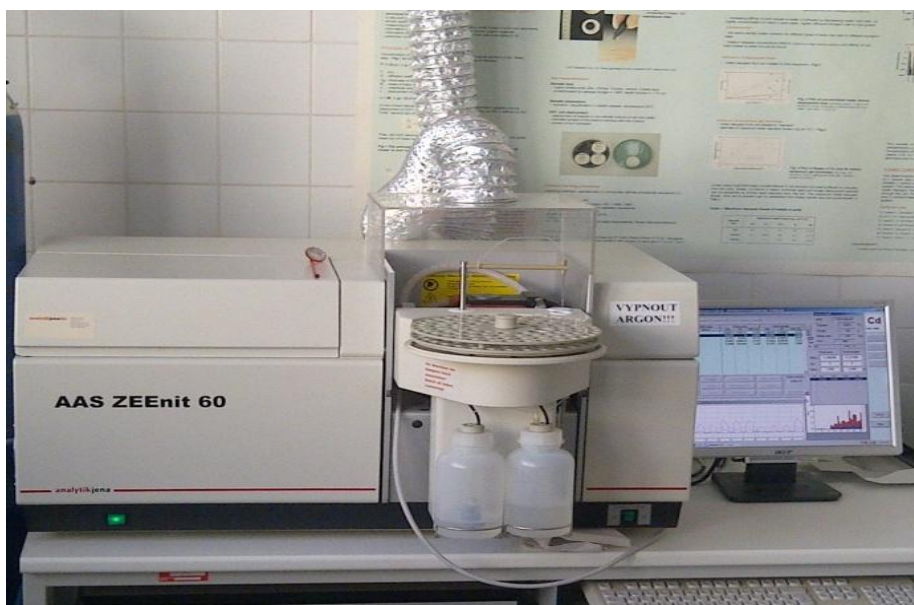
Obr. č. 8 Analyzátor rtuti AMA 254

3.4.1.1 Příprava „check“ standardu

Pro přípravu standardu o koncentraci $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$ byly použity chemikálie o množství $0,5 \text{ ml}$ koncentrované HNO_3 ; $0,5 \text{ ml}$ koncentrované HCl ; $0,5 \text{ ml}$ 1% roztoku $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ a $10 \mu\text{l}$ kalibračního standardu rtuti o koncentraci 1 g.l^{-1} . Vše bylo převedeno do 50 ml odměrné baňky a doplněno po rysku ultračistou vodou.

3.4.2 Analýza kadmia v půdním extraktu pomocí ET-AAS

Analýza půdních extraktů probíhala na přístroji AAS-ZEEnit 60 (obr. č. 9) Z kalibračního roztoku kadmia o koncentraci $1 \pm 0,002 \text{ g.l}^{-1}$ byl připraven ředěním ultračistou vodou kalibrační roztok o koncentraci $50 \mu\text{g.l}^{-1}$. Přístroj byl uveden do provozu dle pokynů výrobce, byl zvolen měřený prvek a nastaven teplotní program uvedený v tabulce č. 8. Na měření Cd byly použity jednoprvkové výbojky s dutou katodou. Nejprve byl proměřen vzorek $100 \mu\text{l}$ ultračisté vody, poté byla proměřena série kalibračních roztoků o koncentraci $0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 \mu\text{g.l}^{-1}$. Extrakty půd byly dle potřeby ředěny $20 - 80\text{x}$ ultračistou vodou v závislosti na koncentraci kadmia ve vzorku. Dávkovaný objem kalibračních roztoků a vzorků byl vždy $20 \mu\text{l}$, měření bylo opakováno třikrát.



Obr. č. 9 Atomový absorpční spektrometr s elektrotermickou atomizací (AAS-ZEE nit 60)

3.4.2.1 Nastavení parametrů přístroje

Tabulka č. 9 Parametry AAS-ZEE nit 60 pro stanovení kadmia

prvek	I (mA)	šířka štěrbin (nm)	λ (nm)	typ lampy	max. průtok Ar
Cd	7	0,8	228,8	HCL	48 NL/h

Tabulka č. 10 Teplotní parametry AAS-ZEE nit 60 pro stanovení kadmia

číslo	proces	teplota (°C)	rampa (°C/s)	čas držení (s)	čas (s)	průtok inertního plynu
1	sušení	90	5	20	34	MAX
2	sušení	105	3	20	25	MAX
3	sušení	110	2	10	12,5	MAX
4	pyrolýza	300	250	10	10,8	MAX
5	AZ* ¹	300	0	4	4,0	STOP
6	atomizace	900/1000	900	3	3,7	STOP
7	čištění	2200	500	4	6,6	MAX

3.4.3 Analýza olova, mědi a chromu v půdním extraktu pomocí F-AAS

Přístroj SpectrAA 30 (Obr. č 10) byl uveden do provozu dle pokynů výrobce. Nastaven prvek, který bude proměřen a vložena HCL lampa kompatibilní se stanovovaným prvkem. Poté byly nastaveny příslušné parametry. Z kalibračního roztoku olova o koncentraci $1 \pm 0,002 \text{ g.l}^{-1}$

¹ AZ* – autozero

byla připravena kalibrační řada s koncentracemi 0, 3, 6, 9 mg.l⁻¹, pro měď byla v rozmezí 0, 1, 2, 4 mg.l⁻¹ a chrom byla v rozmezí 0, 2, 5, 10 mg.l⁻¹ [36].

Nejprve byly proměřeny roztoky kalibrační řady a sestrojena kalibrační křivka. Poté byly proměřeny slepé vzorky a extrakty půd, zaznamenány byly absorbance a ty, pomocí metody kalibrační křivky, převedeny na koncentraci. Měření jednoho vzorku proběhlo třikrát. Extrakty byly dle rozsahu koncentrace ředěny.



Obr. č 10 Atomový absorpční spektrometr s atomizací v plameni (SpectrAA 30)

3.4.3.1 Nastavení parametrů přístroje

Tabulka č. 11 Parametry SpectrAA 30 pro stanovení olova, mědi a chromu [36]

prvek	I (mA)	šířka štěrbin (nm)	λ (nm)	typ lampy	- průtok vzduch/acetylén (l.min ⁻¹)
Pb	6,0	1,0	217,0	HCL	3,5 / 1,5
Cu	4,0	0,5	324,8	HCL	3,5 / 1,5
Cr	8,0	1,5	237,0	HCL	3,5 / 1,5

3.5 Použité chemikálie a standardy

3.5.1 Chemikálie

- 65% kyselina dusičná čistota p.a. (Lachema, závod Neratovice)
- Chlorid vápenatý CaCl₂, čistota p.a.
- Destilovaná voda
- MiliQ voda (ultračistá voda)

3.5.2 Standardy

- Kalibrační standardní roztok olova o koncentraci $1 \pm 0,002 \text{ g.l}^{-1}$ (Analytica, s r.o. Praha)
- Kalibrační standardní roztok kadmia o koncentraci $1 \pm 0,002 \text{ g.l}^{-1}$ (Analytica, s r.o. Praha)
- Kalibrační standardní roztok rtuti o koncentraci $1 \pm 0,002 \text{ g.l}^{-1}$ (Analytica, s r.o. Praha)
- Kalibrační standardní roztok mědi o koncentraci $1 \pm 0,002 \text{ g.l}^{-1}$ (Analytica, s r.o. Praha)
- Kalibrační standardní roztok chromu o koncentraci $1 \pm 0,002 \text{ g.l}^{-1}$ (Analytica, s r.o. Praha)

3.6 Použité zařízení a pomůcky

3.6.1 Zařízení na úpravu vzorku

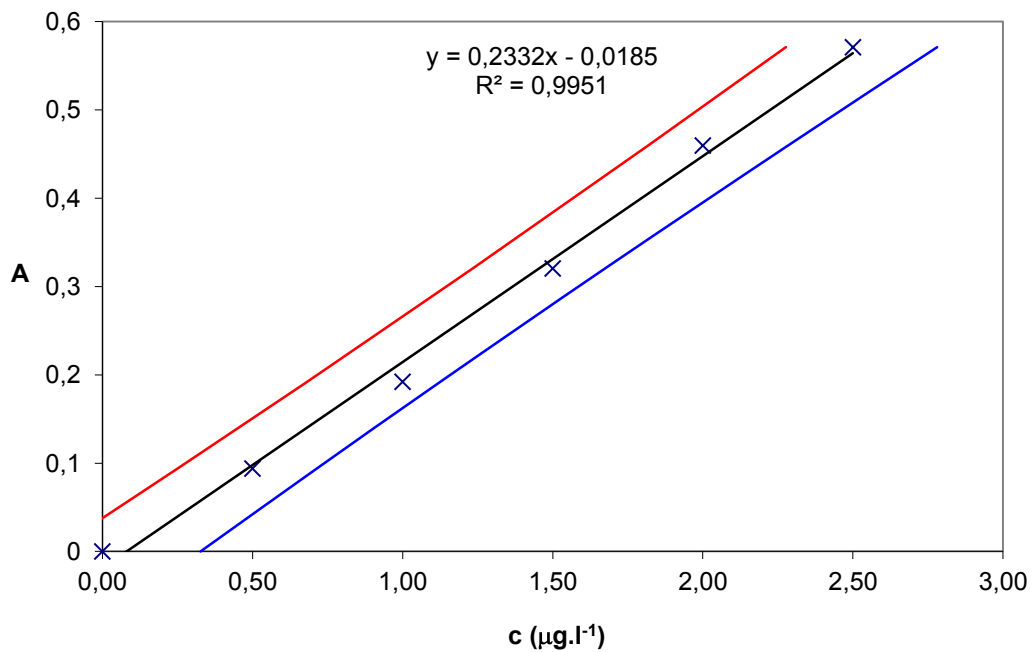
- Analytické váhy (Denver Instrument, Německo)
- Sušárna (model 500, Memmert, Německo)
- Třepačka LT2
- pH-metr WTW 320
- Zařízení pro vakuovou rychlofiltraci
- Filtrační papír (Whatman Cat No 1440 110, póry $8\mu\text{m}$)
- Plastové síta o velikosti ok 2 a 5 mm
- Plastové nádobky, vialky, odměrné baňky

3.6.2 Zařízení a pomůcky pro analýzu vzorku

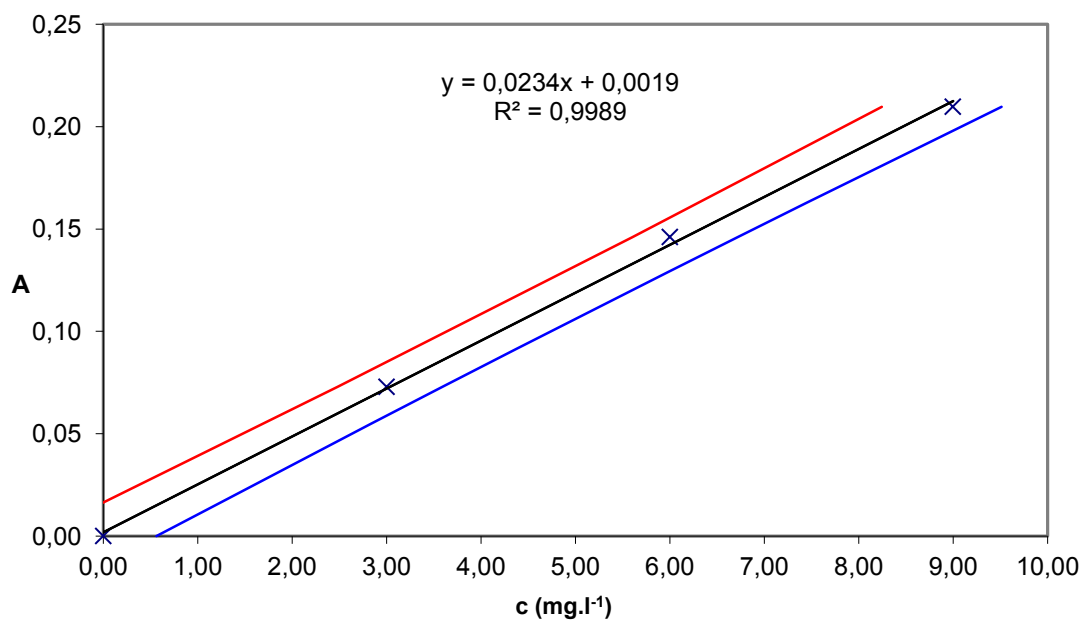
- Jednoučelový analyzátor rtuti, Advanced Mercury Analyzer 254 (Altec, s r.o., ČR)
- Atomový absorpční spektrometr s atomizací v plameni, SpectrAA 30 (Varian, Austrálie)
- Atomový absorpční spektrometr s elektrotermickou atomizací, AAS-ZEEnit 60 (Analytik Jena AG, Německo)
- Grafitová kyveta s platformou (č. š. 101247838, Analytik JENA)
- Zařízení pro přípravu ultračisté vody (PURELAB Classic, Elga PL 5242)
- Mikropipety Finnpiquette 50 μl , 5ml, BIOHIT 100-1000 μl
- Tlaková láhev s argonem (čistota 5.0)
- Tlaková láhev s kyslíkem (technický 2.5)
- Tlaková láhev s acetylénem (pro plamenovou fotometrii 2.6)

3.7 Kalibrační závislost pro kadmium, olovo, měď a chrom

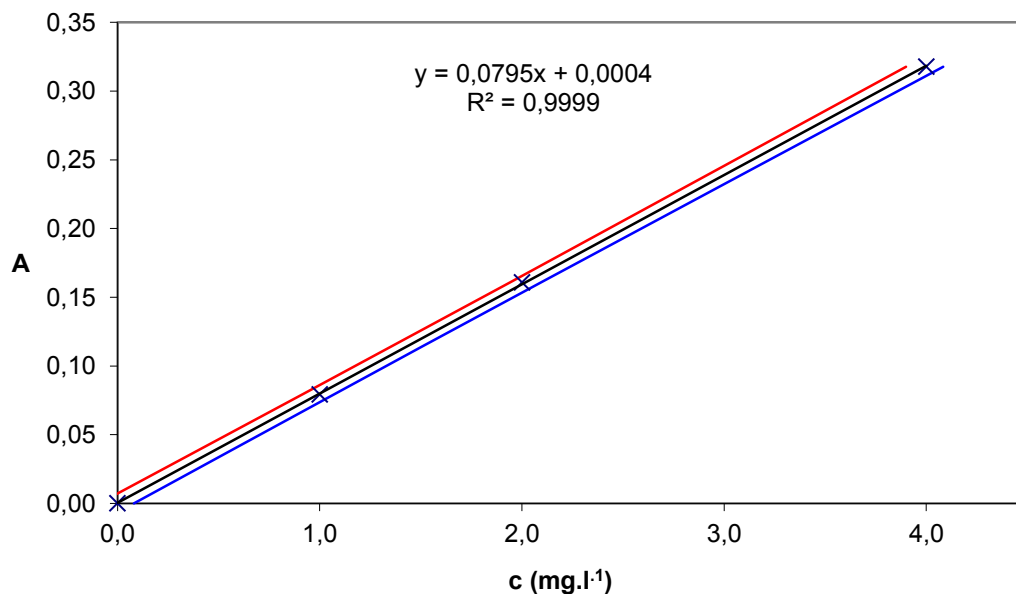
V grafech č. 1 až 4 jsou graficky znázorněny kalibrační křivky, které byly využívány pro kalibraci přístrojů používaných pro měření daného prvku. V každém grafu je vykreslena regresní přímka a znázorněna rovnice lineární regrese, s ní i hodnota koeficientu spolehlivosti R^2 nebo též korelační koeficient r . Čím více se hodnota korelačního koeficientu blíží 1, tím je závislost mezi proměnnými těsnější a tím více se blíží přímce Interval spolehlivosti je znázorněn dvěma mezemi (horní a dolní) ohraničující regresní přímku. Udává rozmezí, ve kterém se daný parametr s jistou spolehlivostí vyskytuje.



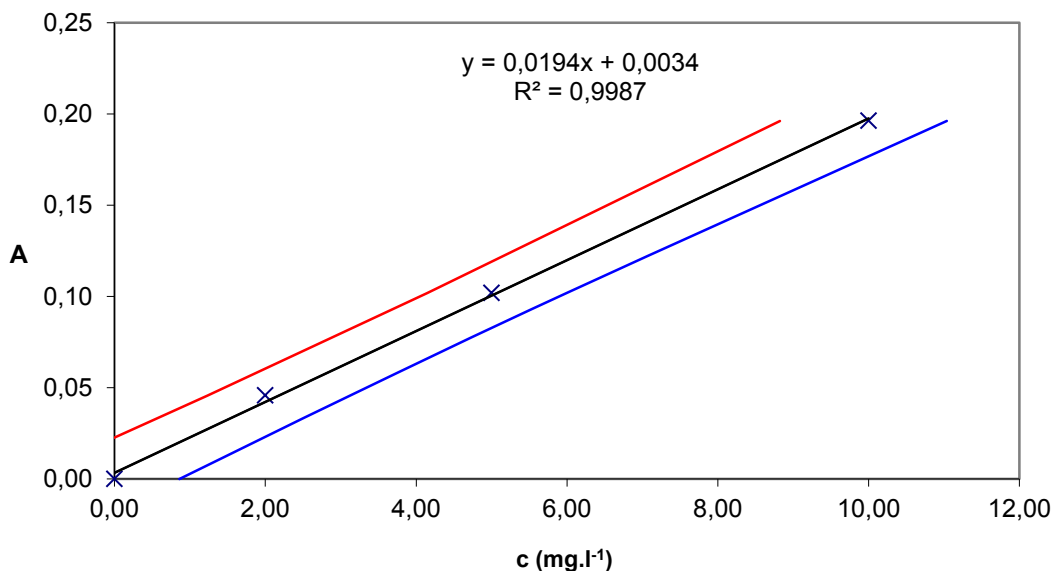
Graf č. 1 Kalibrační křivka pro stanovení kadmia v půdním extraktu 2M HNO_3



Graf č. 2 Kalibrační křivka pro stanovení olova v půdním extraktu 2M HNO_3



Graf č. 3. Kalibrační křivka pro stanovení mědi v půdním extraktu 2M HNO₃



Graf č. 4 Kalibrační křivka pro stanovení chromu v půdním extraktu 2M HNO₃

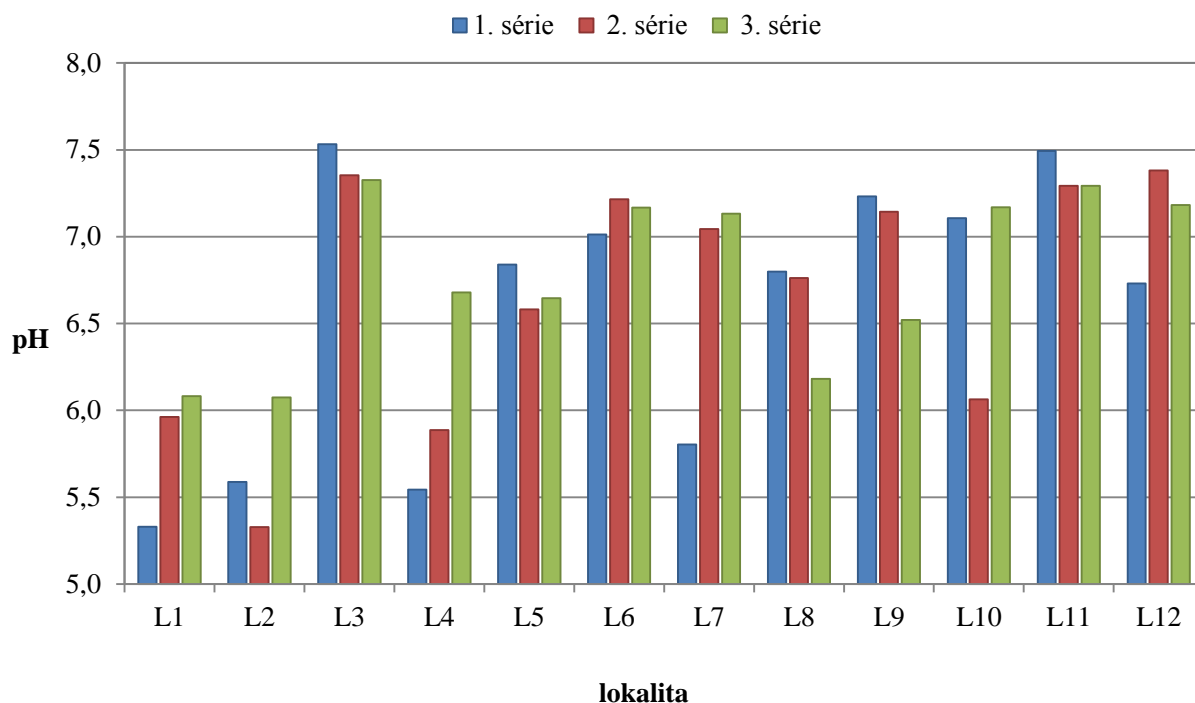
Byly vypočítány meze detekce a stanovitelnosti pro kadmium, olovo, měď a chrom. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 12. Mez detekce (LOD) je hodnota označující nejnižší detekovatelné množství analytu ve vzorku. Mez stanovitelnosti (LOQ) je nejmenší množství analytu, které můžeme s přijatelnou mírou správnosti a přesnosti stanovit.

Tabulka č. 12: Mez detekce a mez stanovitelnosti

prvek	LOD	LOQ
	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
Cd	$9,2 \cdot 10^{-5}$	$3,08 \cdot 10^{-4}$
Pb	2,696	8,988
Cu	1,305	4,351
Cr	1,496	4,986

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1 Zhodnocení acidobazické reakce vzorků půd

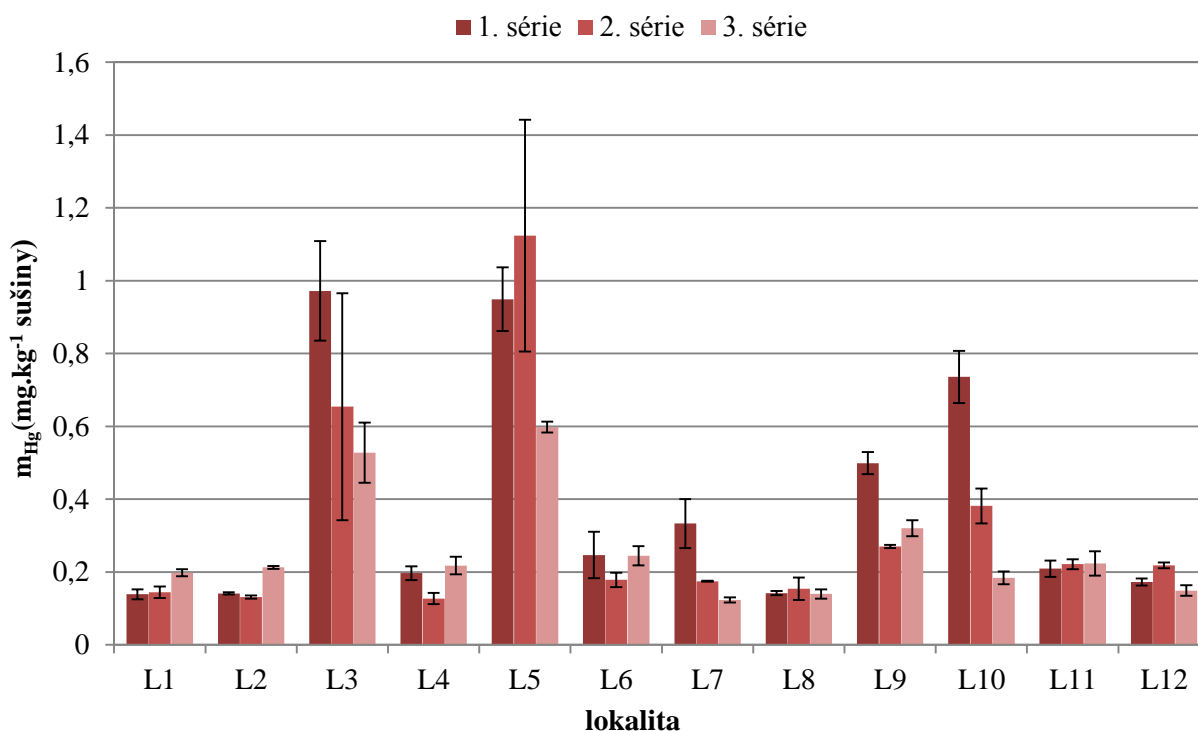


Graf č. 5 Závislost pH půdního extraktu na lokalitě odebrání vzorku a doby odběru

Při posuzování kontaminace rizikovými prvky je vedle znalosti celkových obsahů rizikových prvků nutné znát hodnoty pH v dané lokalitě. Hodnoty pH půd se většinou pohybují v neutrální oblasti. Hodnoty pH se ve všech lokalitách pohybuje spíše v mírně kyselé oblasti. Ke snížení hodnot pH dochází buď kyselými srážkami, nebo zvýšeným obsahem organických látek v půdě. Hodnoty pH se mění ve všech lokalitách v závislosti na času odběru vzorku v průměru o hodnotu pH 0,5.

4.2 Zhodnocení obsahu rtuti v půdách na vybraném území města Ostravy

Rtuť byla stanovena ve 36 vzorcích půdy. Ta byla odebrána ve třech časových obdobích ve 12 lokalitách. Z dílčích výsledků byly vypočítány aritmetický průměr, medián a směrodatná odchylka. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 1. a graficky znázorněné v grafu č. 6 zahrnujícím chybové úsečky. Naměřené hodnoty jsou porovnány s Kritérií znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31. července 1996, která určuje maximální přípustnou hodnotu pro rtuť. Hodnota byla srovnávána s kritériem A, ta činí $0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$. Zaznamenána byla nejvyšší a nejnižší hodnota odběru.



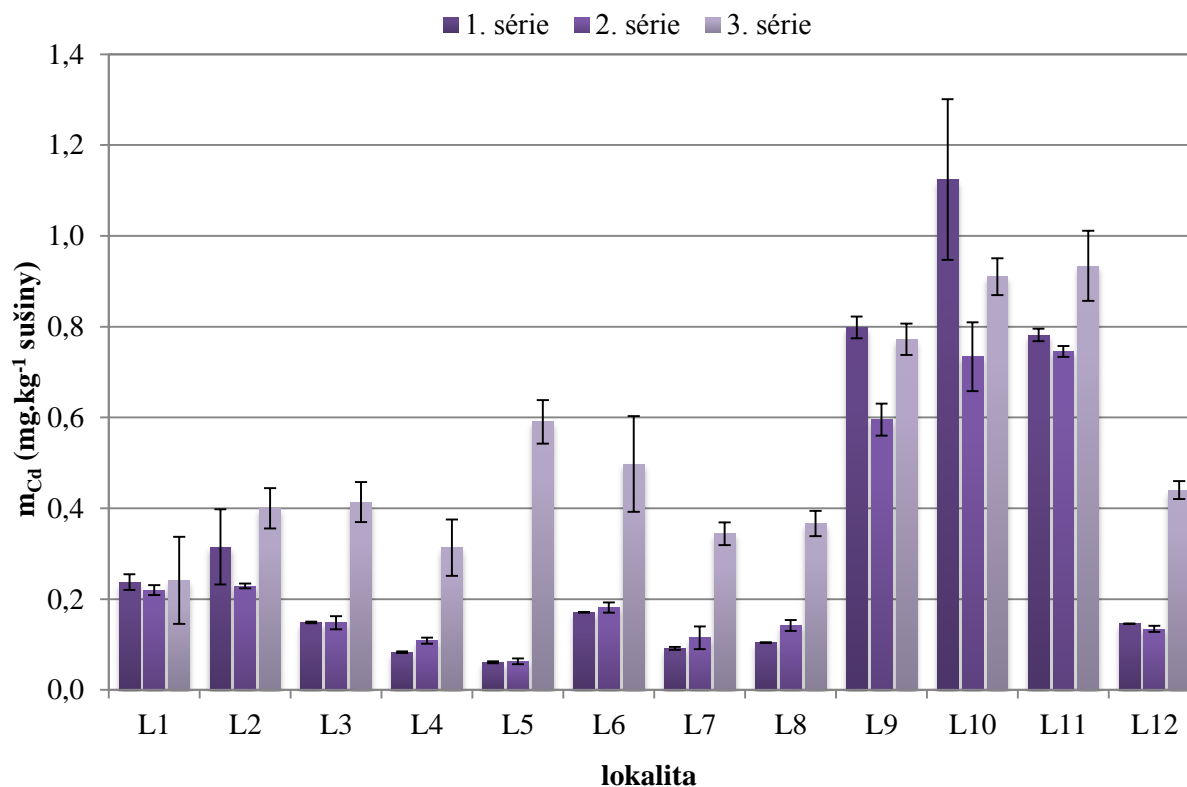
Graf č. 6 Obsahy rtuti v půdních extraktech všech odběrových míst a dob odběrů

Nejvyšší průměrný obsah rtuti ze všech sérií byl stanoven ve vzorku z lokality L5 ve druhé sérii, a to $1,31 \pm 0,318 \text{ mg.kg}^{-1}$. V této lokalitě se nejvyšší obsah vyskytnul ve všech třech sériích a ve všech byl překročen limit, ve druhé sérii téměř trojnásobně. V první sérii dosahoval velmi podobných hodnot ještě vzorek z jedné z nejzatíženějších lokalit Šenovská 1. K překročení limitu maximálně přípustné hodnoty došlo v osmi případech. V první sérii u vzorku z lokality Kaniokova a Na Hranici, ve druhé sérii opět u vzorku z lokality Kaniokova. Vysokou hodnotu vykazuje rovněž vzorek z lokality Vratimovská u první série, a to $0,74 \pm 0,0715 \text{ mg.kg}^{-1}$. Lokality L9 a L10 měly nadlimitní hodnoty jen v první sérii. Naopak nejnižší hodnoty vykazují lokality Na Hranici, U Důlnáků a Na Podlesí, všechny leží v blízkosti zástavby rodinných domů. Hodnoty obsahu rtuti ostatních lokalit leží v průměru kolem $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$. U lokality L3, L9 a L10 se zvýšený obsah rtuti dá předpokládat, protože se jedná o místo ležící nejbližší zdroji znečištění. REZZO 1. U lokality Kaniokova se nejspíše bude jednat o lokální znečištění. V okolí není znám žádný významný zdroj kontaminace. Možný kontaminant může být železniční trať, jelikož lokalita Kaniokova leží nejbližší trati, stejně tak lokalita Vratimovská, která také vykazuje vysoké hodnoty.

4.3 Zhodnocení obsahu kadmia v půdách na území města Ostravy

Kadmium bylo stanoveno ve 12 lokalitách ve třech časových obdobích, tedy 36 vzorcích půdy. Z dílčích výsledků byly vypočítány aritmetický průměr, medián a směrodatná odchylka. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 2. Z dílčích výsledků byly vypočítány aritmetický průměr, medián a směrodatná odchylka. Výsledky jsou graficky znázorněné v grafu č. 7 zahrnujícím chybové úsečky. Naměřené hodnoty jsou porovnány s Kritérií znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31. července 1996, která určuje maximální přípustnou hodnotu pro

kadmium $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$. Zaznamenána byla také nejvyšší hodnota odběru, která ne vždy znamená překročení maximální přípustné koncentrace, a také nejnižší hodnota odběru.

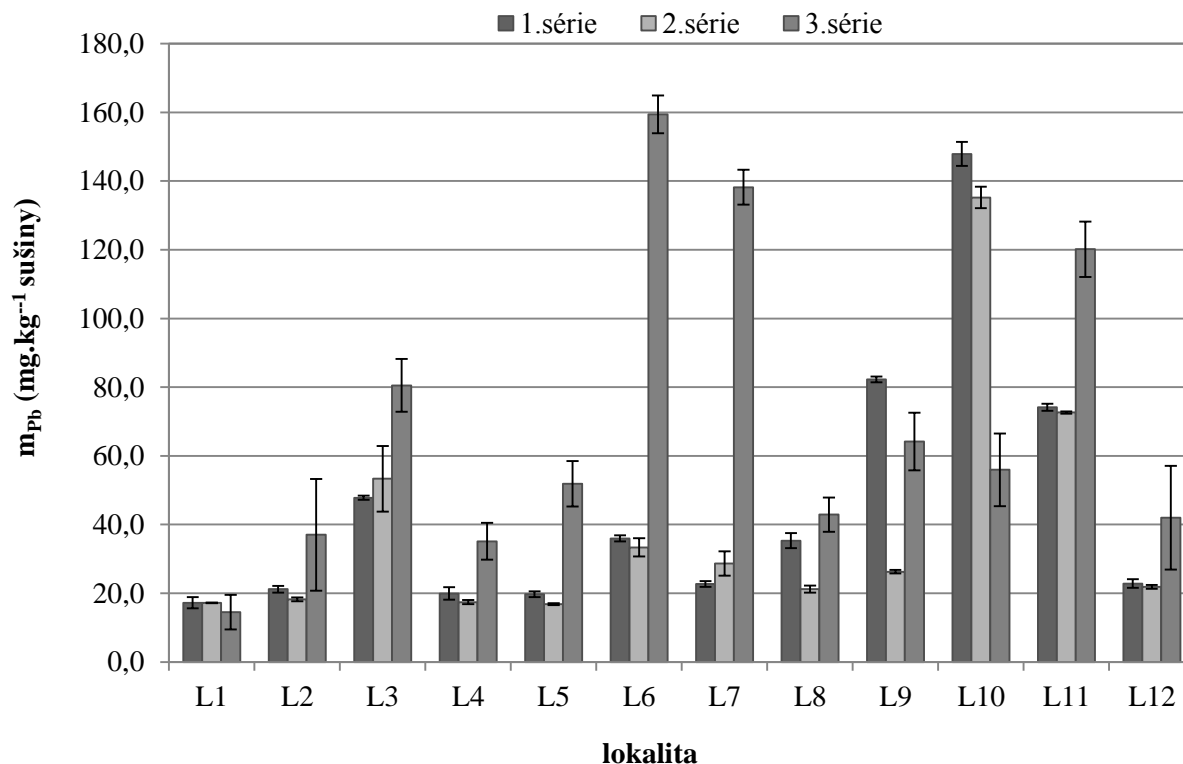


Graf č. 7 Obsahy kadmia v půdních extraktech všech odběrových míst a dob odběrů

Je patrný nárůst hodnot obsahu kadmia ve třetí sérii, tedy po zimním, topném období. Nejvyšší průměrný obsah kadmia ze všech sérií byl stanoven ve vzorku z lokality Vratimovská s obsahem $1,18 \pm 0,177 \text{ mg.kg}^{-1}$. V této lokalitě se nejvyšší obsah vyskytnul ve všech třech sériích. V 1. sérii dosahoval velmi podobných hodnot ještě vzorek z jedné z nejzatíženějších lokalit Šenovská 1. K překročení limitu maximálně přípustné hodnoty došlo v deseti případech, ve všech sériích u lokalit L9, L10, L11. Vysokou hodnotu vykazuje rovněž vzorek z lokality Vratimovská u 1. Série a to $0,74 \pm 0,0715 \text{ mg.kg}^{-1}$. Ve 3. sérii došlo díky nárůstu k překročení limitních hodnot u lokalit L5 a L6.

4.4 Zhodnocení obsahu olova v půdách na území města Ostravy

Olovo bylo stanoveno ve 12 lokalitách ve třech časových obdobích, tedy 36 vzorcích půdy. Z dílčích výsledků byly vypočítány aritmetický průměr, medián a směrodatná odchylka. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 3. Z dílčích výsledků byly vypočítány aritmetický průměr, medián a směrodatná odchylka. Graficky jsou výsledné hodnoty znázorněné v grafu č. 8 zahrnujícím chybové úsečky. Naměřené hodnoty jsou porovnány s Kritérií znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31. července 1996, která určuje maximální přípustnou hodnotu pro olovo. Hodnota byla srovnána s kritériem A dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31. července 1996, ta činí $80,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. Zaznamenána byla také nejvyšší hodnota odběru, která ne vždy znamená překročení maximální přípustné koncentrace, a také nejnižší hodnota odběru.

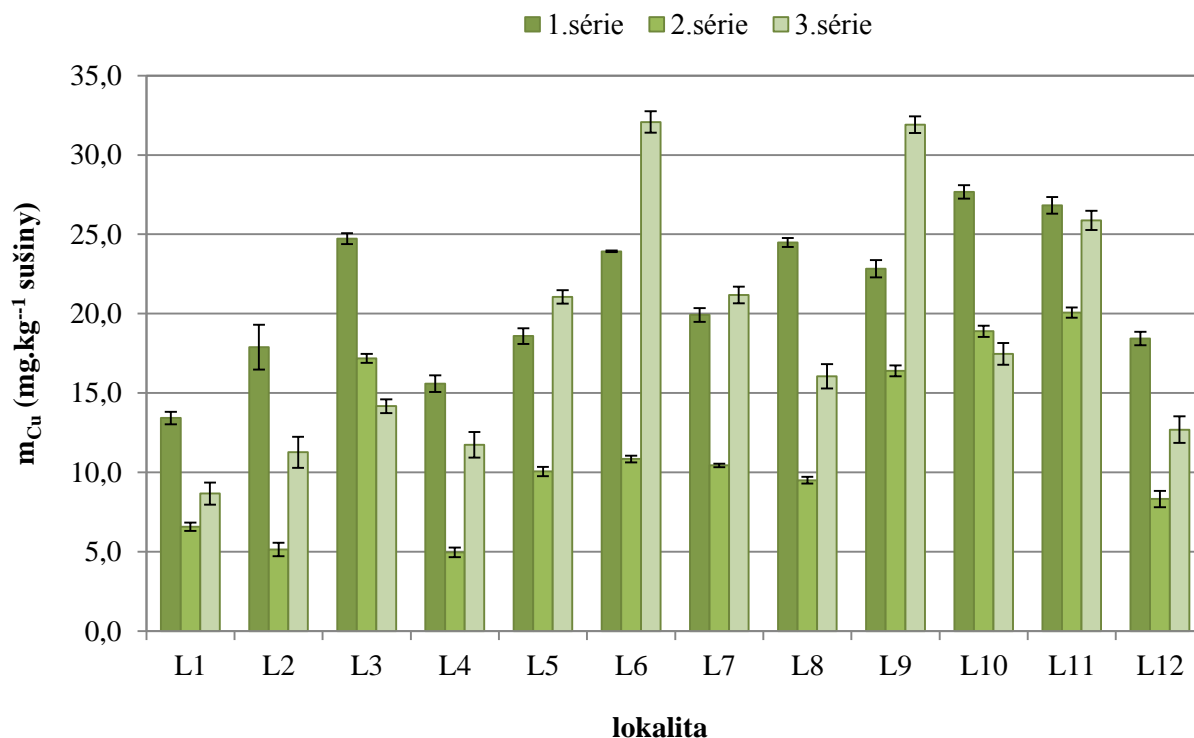


Graf č. 8 Obsahy olova v půdních extraktech všech odběrových míst a dob odběrů

Dochází k nárůstu hodnot ve vzorcích odebraných po zimním období. Nadlimitní obsah byl stanoven v sedmi měřeních ze šesti lokalit, z toho je nejvýraznější lokalita Vratimovská, kde došlo k překročení ve dvou sériích, v období po zimě naopak byl zaznamenán výrazný pokles pod limitní hodnotu. U půdního extraktu z lokality Šenovská ze 3. série nejspíše došlo k pochybení při analýze, jelikož z grafu je patrný vysoký nárůst obsahu olova ve všech lokalitách ve 3. sérii, tedy po zimním období. Nejvyšší průměrný obsah olova ze všech sérií byl stanoven ve vzorku z lokality L6 s obsahem $159,26 \pm 5,52 \text{ mg.kg}^{-1}$. V této lokalitě se nejvyšší obsah vyskytnul pouze ve 3. sérii, tedy po zimním období. I u lokalit L5, a L7 došlo k výraznému nárůstu hodnot po zimním období. U lokalit L6 a L7 došlo v tomto období k překročení limitní hodnoty. Naopak nejnižší hodnoty obsahu olova vykazují lokality Na Hranici, U Důlnáků a Dvorová, všechny leží v blízkosti zástavby rodinných domů.

4.5 Zhodnocení obsahu mědi v půdách na území města Ostravy

Měď byla stanovena ve 36 vzorcích půdy. Ta byla odebrána ve třech časových obdobích ve 12 lokalitách. Z dílčích výsledků byly vypočítány aritmetický průměr, medián a směrodatná odchylka. Naměřené hodnoty jsou porovnány s Kritérií znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31. července 1996, která určuje maximální přípustnou hodnotu pro měď $70,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. Zaznamenána byla nejvyšší hodnota odběru, která ne vždy znamená překročení maximální přípustné koncentrace, a také nejnižší hodnota odběru. Tabulka s naměřenými hodnotami je součástí přílohy č. 4. Naměřené hodnoty obsahu mědi ze všech sérií jsou uvedeny v grafu č. 9 zahrnujícím chybové úsečky.

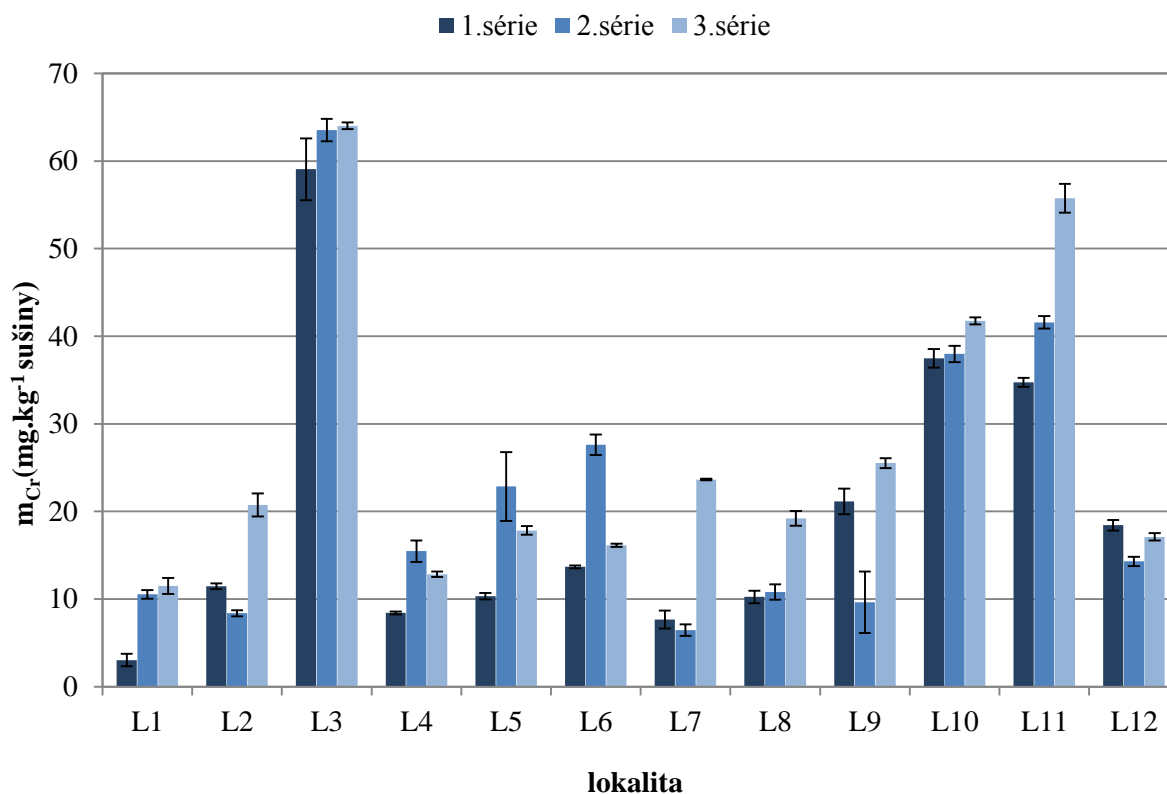


Graf č. 9 Obsahy mědi v půdních extraktech všech odběrových míst a dob odběrů

Všechny hodnoty ze všech lokalit se pohybují pod limitní hodnotou. Obsah mědi v půdních vzorcích značně kolísá, avšak můžeme pozorovat jistý nárůst ve vzorcích odebraných po zimním období a naopak pokles ve vzorcích odebraných po létě. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u vzorků z lokalit L6 a L9, obě ve 3. sérii. Nejvyšší obsah mědi v půdě má hodnotu $31,94 \pm 0,67 \text{ mg.kg}^{-1}$ Nejnižší naopak u lokality L4 ve druhé sérii, ta má hodnotu $4,88 \pm 0,30 \text{ mg.kg}^{-1}$.

4.6 Zhodnocení obsahu chromu v půdách na území města Ostravy

Chrom byl stanoven ve 36 vzorcích půdy. Ta byla odebrána ve třech časových obdobích ve 12 lokalitách. Z dílčích výsledků byly vypočítány aritmetický průměr, medián a směrodatná odchylka. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 5. Ty jsou porovnány s Kritérií znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31. července 1996, která určuje maximální přípustnou hodnotu pro chrom $130,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. Zaznamenána byla nejvyšší hodnota odběru, která ne vždy znamená překročení maximální přípustné koncentrace, a také nejnižší hodnota odběru. Naměřené hodnoty obsahu chromu ze všech sérii jsou uvedeny v grafu č. 10 zahrnujícím chybové úsečky.

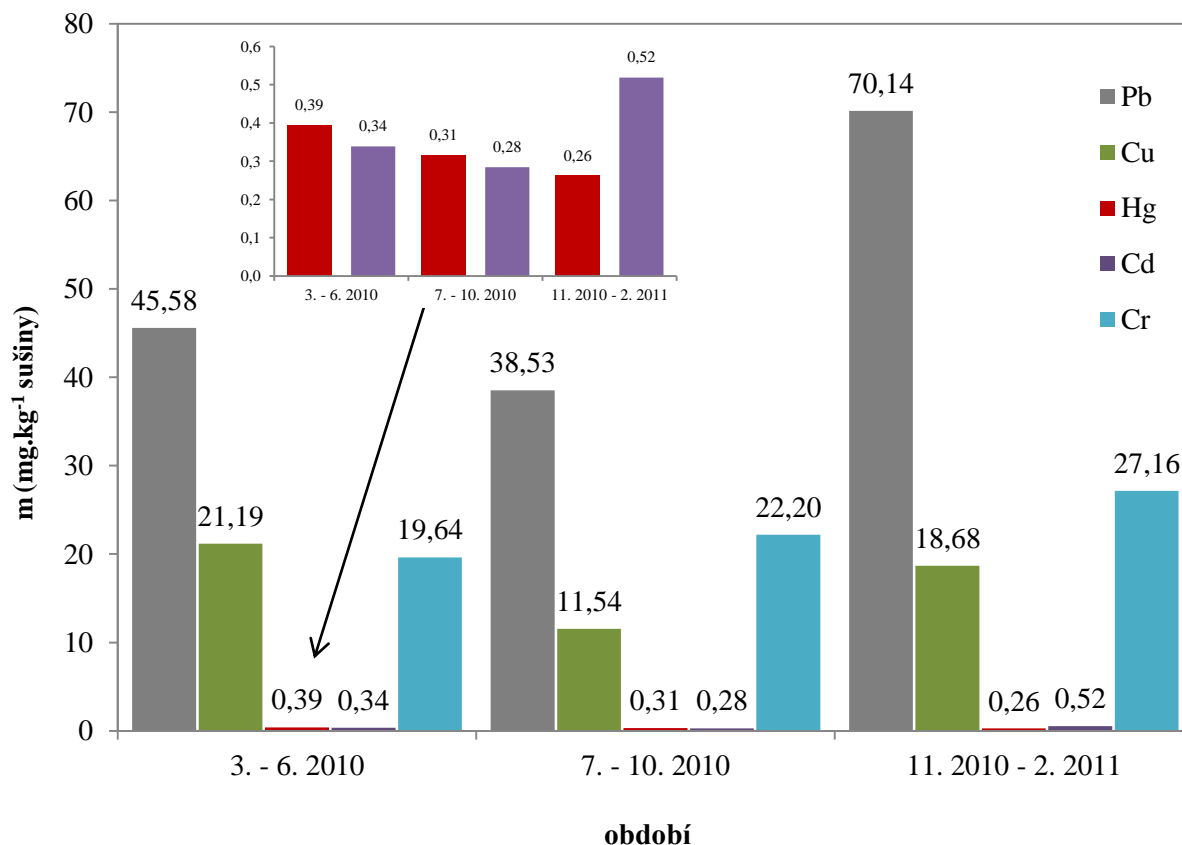


Graf č. 10 Obsahy chromu v půdních extraktech všech odběrových míst a dob odběrů

Všechny hodnoty ze všech lokalit se pohybují hluboko pod limitní hodnotou, kromě hodnot u lokality Šenovská 1. Největší obsah chromu v půdě je ve třetí sérii a činí $63,97 \pm 0,39 \text{ mg.kg}^{-1}$. Na obsah chromu v půdě vybraných lokalit změna ročního období nemá příliš vliv. Obecně je ve třetí sérii nepatrně vyšší. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u vzorků z lokalit L3, L10 a L11, ve všech sériích, přesto ani tak nedosahují ani poloviny limitní hodnoty. Nejnižší obsahy jsou naopak u lokalit L1 v 1. sérii a L7 ve druhé sérii, což je v období po létě.

4.7 Zhodnocení průměrného obsahu rizikových kovů v půdách na území města Ostravy dle doby odběru

V této části je posuzován vliv ročního období na obsah rizikových kovů v každé ze 12 lokalit. Byl vypočten aritmetický průměr hodnoty jednoho rizikového prvku ve všech 12 lokalitách pro každou sérii zvlášť. Každá série odpovídá jednomu období, za které je kov stanovován, přehled přesných odběrů je uveden v tabulce č. 7. Jejich grafické znázornění je na v grafu č. 11.

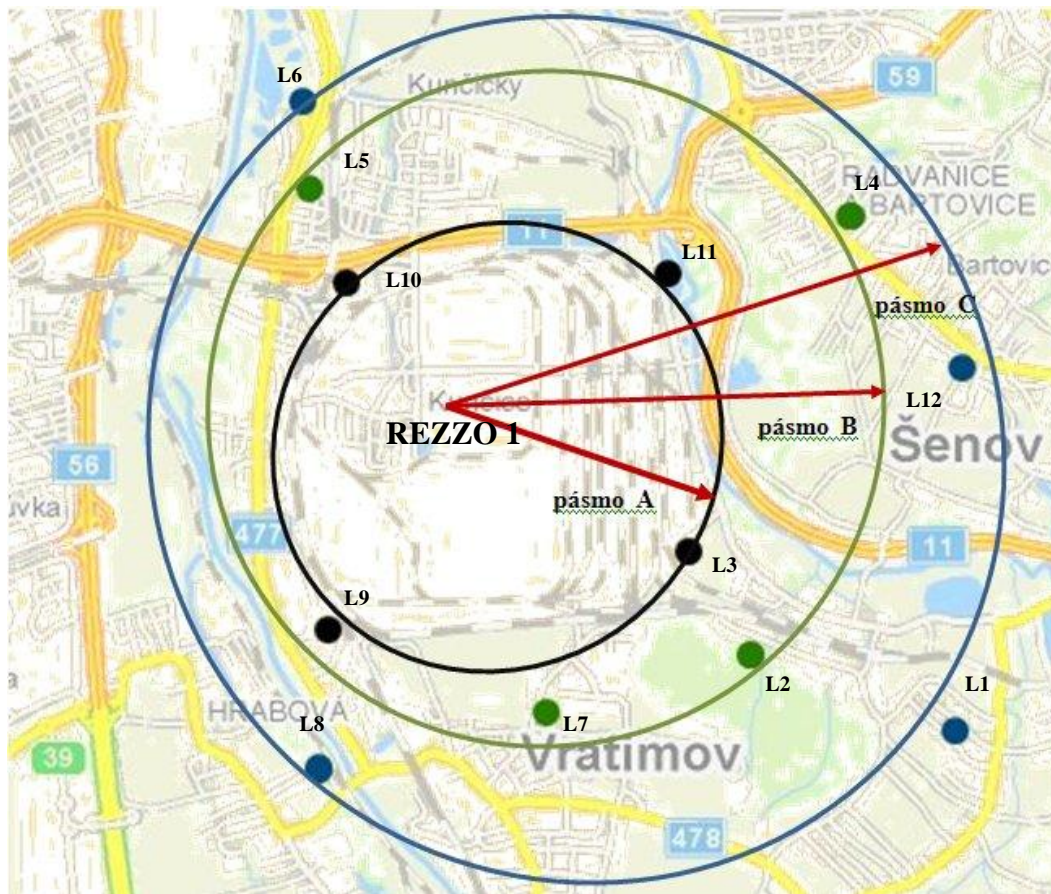


Graf č. 11 Závislost průměrného obsahu rizikových prvků v půdě na době odběru

Z grafu je vidět patrný nárůst průměrného obsahu rizikových kovů v půdě odebrané z období listopadu 2010 až února 2011. Tento trend splňují průměrné hodnoty chromu, které postupně narůstají. U olova, kadmia a mědi dochází k mírnému poklesu v odběrech druhé série, která reprezentuje letní období s úbytkem srážek. Výjimkou je obsah rtuti, ten totiž nepatrně klesá od období března 2010 až do února 2011. V první sérii je nejvyšší a ve třetí sérii je průměrný obsah rtuti v půdě naopak nejnižší.

4.8 Zhodnocení průměrného obsahu rizikových kovů v půdách na území města Ostravy v závislosti na vzdálenosti od zdroje REZZO 1

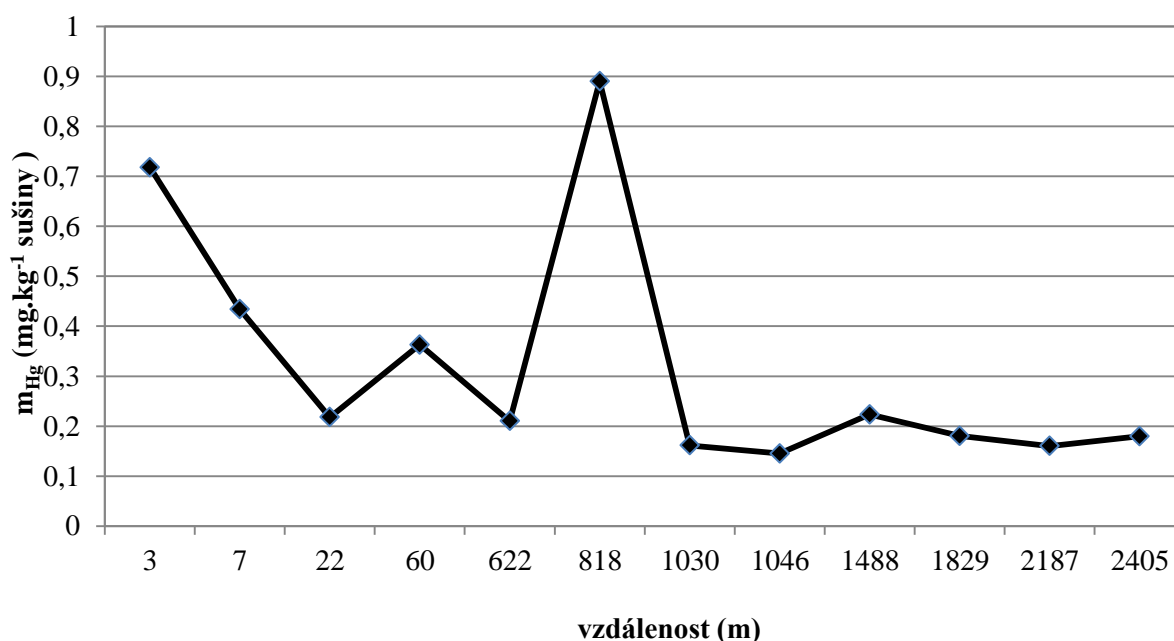
V této části je posuzován vliv zdroje znečištění REZZO 1 na obsah rizikových kovů ve všech dvanácti lokalitách, přičemž každá je různě vzdálena od zdroje znečištění. Byl vypočten aritmetický průměr všech tří série u každé lokality. Pro větší přehlednost byly lokality rozděleny do tří zón A, B a C. Jejich grafické znázornění je na obrázku. č. 11 a přehled lokalit s uvedenou přesnou vzdáleností v tabulce č. 13.



Obr. č. 11 Pásmové rozdělení odběrových míst dle vzdálenosti od zdroje REZZO 1 [10]

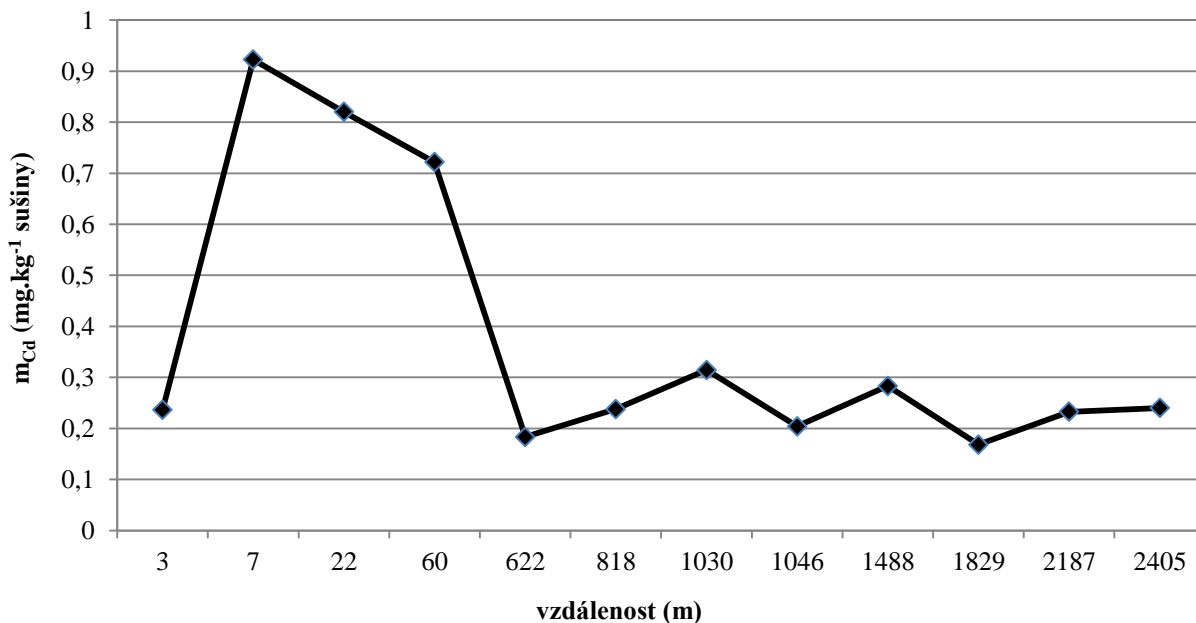
Tabulka č. 13 Pásmové rozdělení specifikovaných odběrových míst dle vzdálenosti od zdroje

zóna	lokalita	umístění	vzdálenost od REZZO 1
A (0 km)	L3	ulice Šenovská 1 (Ostrava - Bartovice)	3 m
	L9	ulice Mourová (Ostrava - Kunčice)	7 m
	L10	ulice Vratimovská (Ostrava - Kunčice)	22 m
	L11	ulice Šenovská 2 (Ostrava - Bartovice)	60 m
B (0,5-1km)	L7	ulice Na Podlesí (Vratimov)	622 m
	L5	ulice Kaniokova (Ostrava - Kunčičky)	818 m
	L2	ulice U Důlnáků (Ostrava - Bartovice)	1030 m
	L8	ulice Mostní 9 (Ostrava - Hrabová)	1046 m
C (1 -2,5km)	L6	ulice Na Rajnochova (Ostrava - Kunčičky)	1488 m
	L4	ulice Maričky Magdonové (Ostrava - Bartovice)	1829 m
	L1	ulice Na Hranici (Horní Datyně)	2187 m
	L12	ulice Dvorová (Ostrava - Bartovice)	2405 m



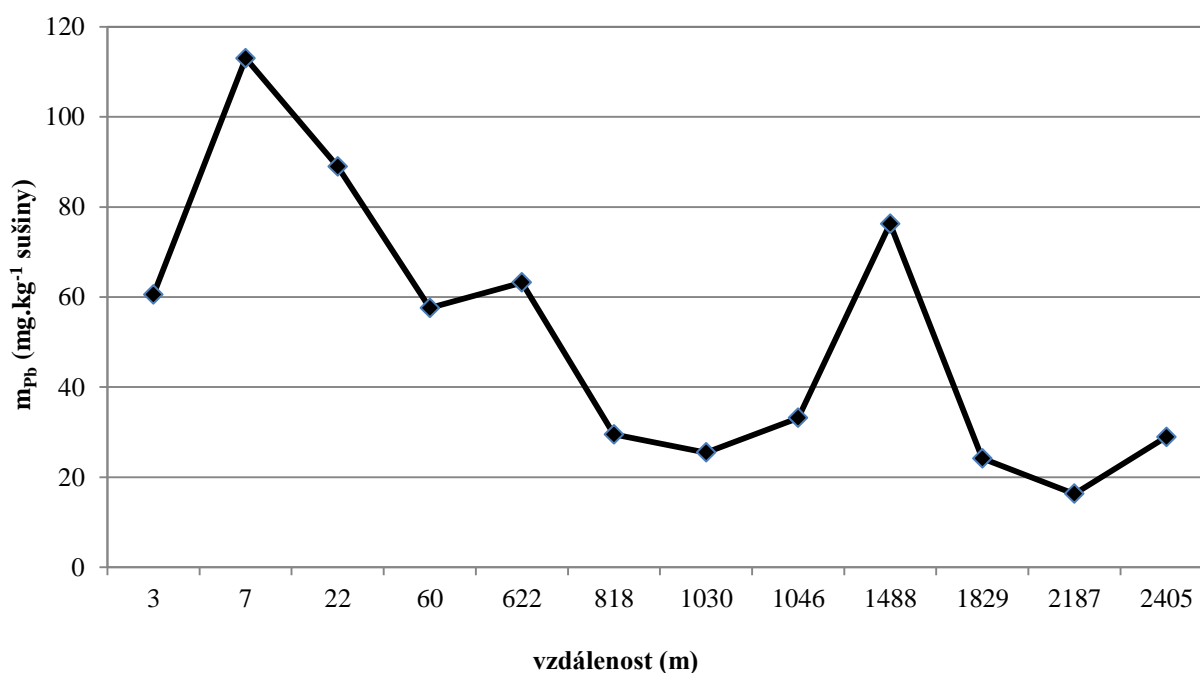
Graf č. 12 Závislost průměrného obsahu rtuti na vzdálenosti od zdroje REZZO 1

Hodnoty rtuti v půdě s přibývajícím vzdáleností od zdroje znečištění klesají. Ve vzdálenosti 818 m dochází k vysokému nárůstu obsahu rtuti, jedná se o lokalitu ul. Kaniokova, kde se nachází lokální zdroj znečištění a obsahy rtuti tam byly ve všech sériích nejvyšší. Ve vzdálenosti 60 m od zdroje REZZO 1 je patrný nárůst, tato lokalita se nachází nejbližší zdroji ze severovýchodní strany a navíc je zatížena dopravou. U vzdálenosti 1488 m také dochází k mírnému nárůstu obsahu, blízko této lokality leží lokální zdroj znečištění v podobě neobydleného objektu a 300 m jsou vzdáleny kaliště. Je tedy možné, že zde dochází k atmosférickým spadům a průsakům podzemních vod.



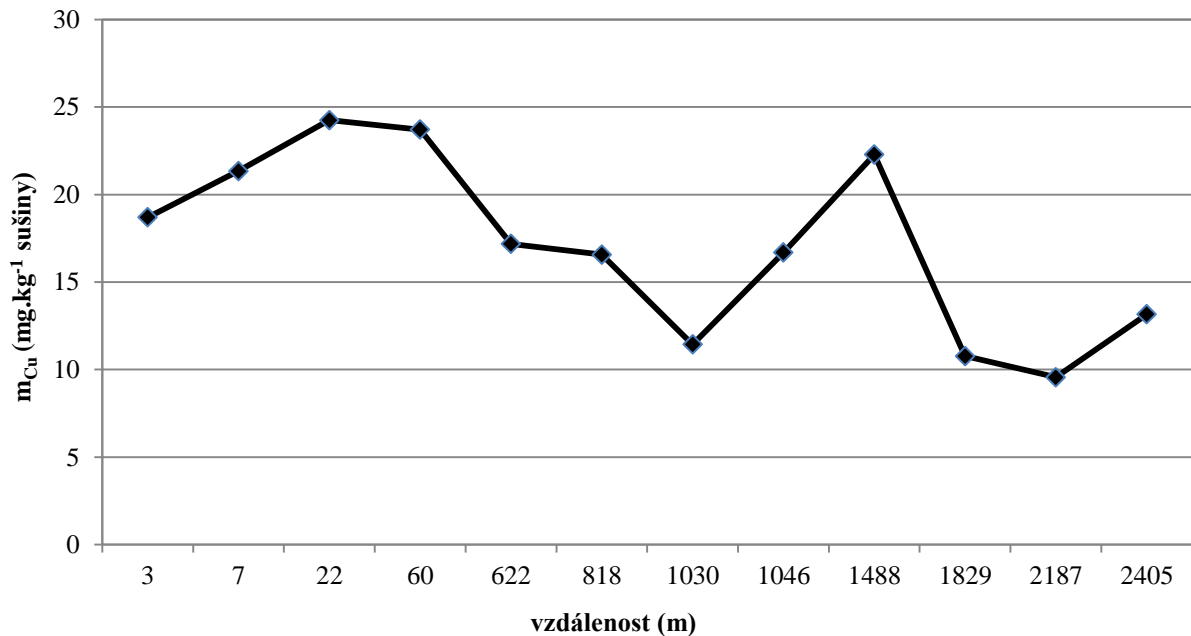
Graf. č. 13 Závislost průměrného obsahu kadmia na vzdálenosti od zdroje REZZO 1

Hodnoty kadmia v půdě postupně s přibývajícím vzdáleností od zdroje znečištění klesají. Je patrný velký rozdíl mezi vzdálenostmi do 60 m od zdroje znečištění a ostatními lokalitami. Ve vzdálenosti 3 m obsah kadmia v půdě odpovídá obsahu v lokalitách v zóně B a C. Ve vzdálenosti 1030 m v lokalitě ul. U Důlníáků a 1488 m v lokalitě ul. Kaniokova dochází k mírnému nárůstu obsahu kadmia. V případě vzdálenosti 1488 m se jedná lokální zdroj znečištění v podobě oficiálně neobydleného objektu (přesto je obýván) a 300 m jsou vzdáleny kaliště. Je tedy možné, že zde dochází k atmosférickým spadům v důsledku používání lokálního topeniště a průsakům podzemních vod z nedalekého kaliště.



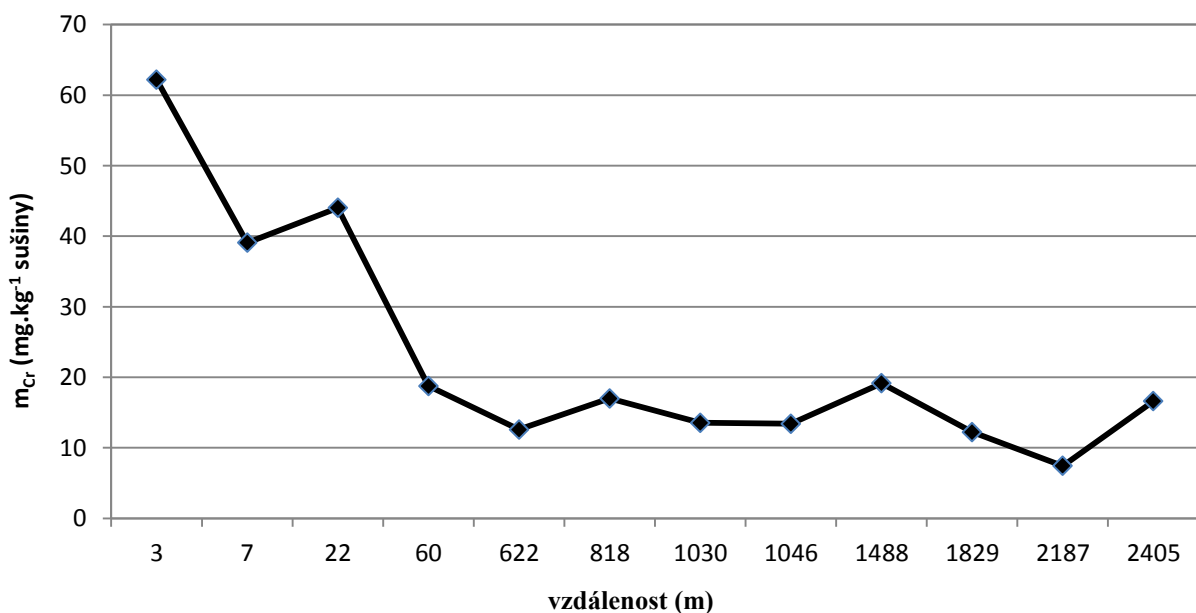
Graf. č. 14 Závislost průměrného obsahu olova na vzdálenosti od zdroje REZZO 1

Z grafu je opět patrný pokles hodnot olova s přibývajícím vzdáleností od zdroje znečištění. Ve vzdálenosti 3 m obsah kadmia v půdě odpovídá obsahu v lokalitách v zóně B a C. U vzdálenosti 1488 m opět dochází k významnému nárůstu obsahu olova, blízko této lokality leží silnice I. třídy, lokální zdroj znečištění v podobě neobydleného objektu a 300 m jsou vzdáleny kaliště.



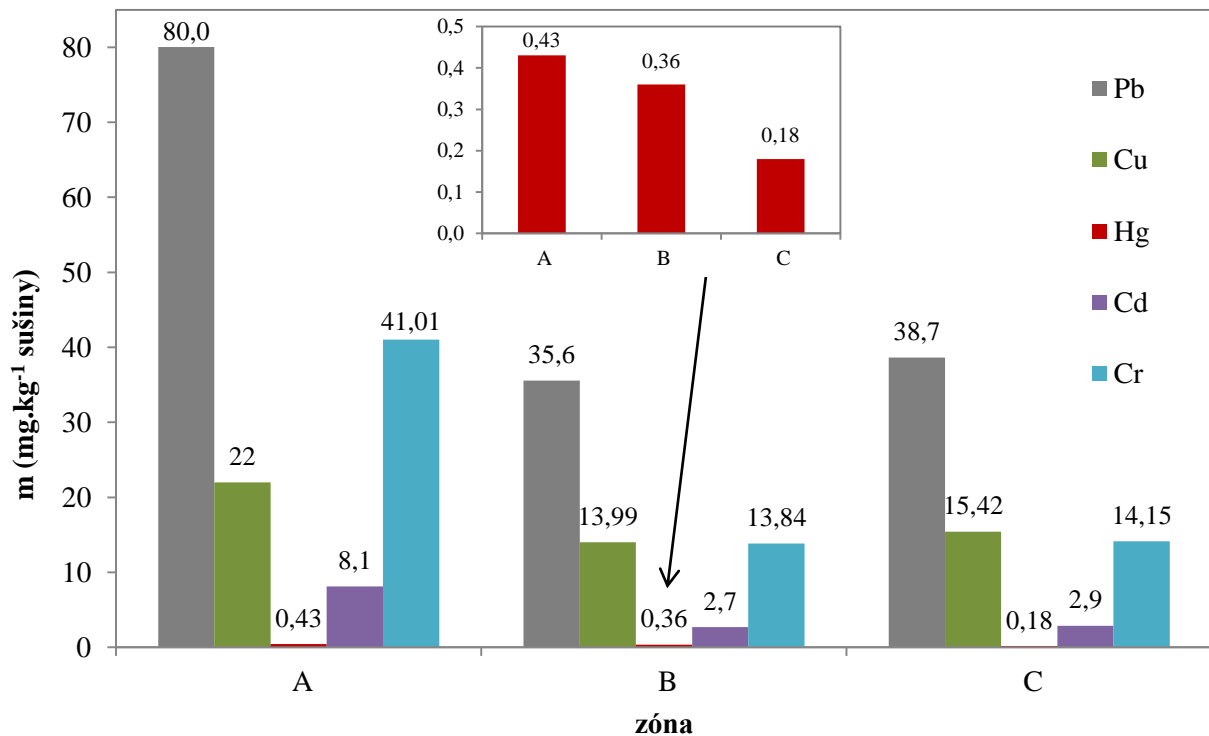
Graf. č. 15 Závislost průměrného obsahu mědi na vzdálenosti od zdroje REZZO 1

Hodnoty obsahu mědi v půdě s přibývajícím vzdáleností od zdroje znečištění klesají. U vzdálenosti 1488 m také dochází k mírnému nárůstu obsahu, blízko této lokality leží lokální zdroj znečištění v podobě neobydleného objektu a 300 m jsou vzdáleny kaliště.



Graf. č. 16 Závislost průměrného obsahu chromu na vzdálenosti od zdroje REZZO 1

Obsah chromu se v půdě s přibývajícím vzdáleností od zdroje znečištění snižuje. U vzdálenosti 1488 m je opět malý nárůst obsahu chromu. V 818 m došlo k mírnému nárůstu v lokalitě ul. Kaniokova, kde se bude jednat o lokální zdroj znečištění. V lokalitě ul. Dvorová, která leží nejdále od zdroje znečištění, ve vzdálenosti 2405 m, byla zjištěna také vyšší hodnota, lokalita leží v blízkosti cesty a v okolí je zástavba rodinných domů.



Graf č.17 Zhodnocení průměrných obsahů rizikových kovů v půdě dle vzdálenosti od zdroje REZZO 1

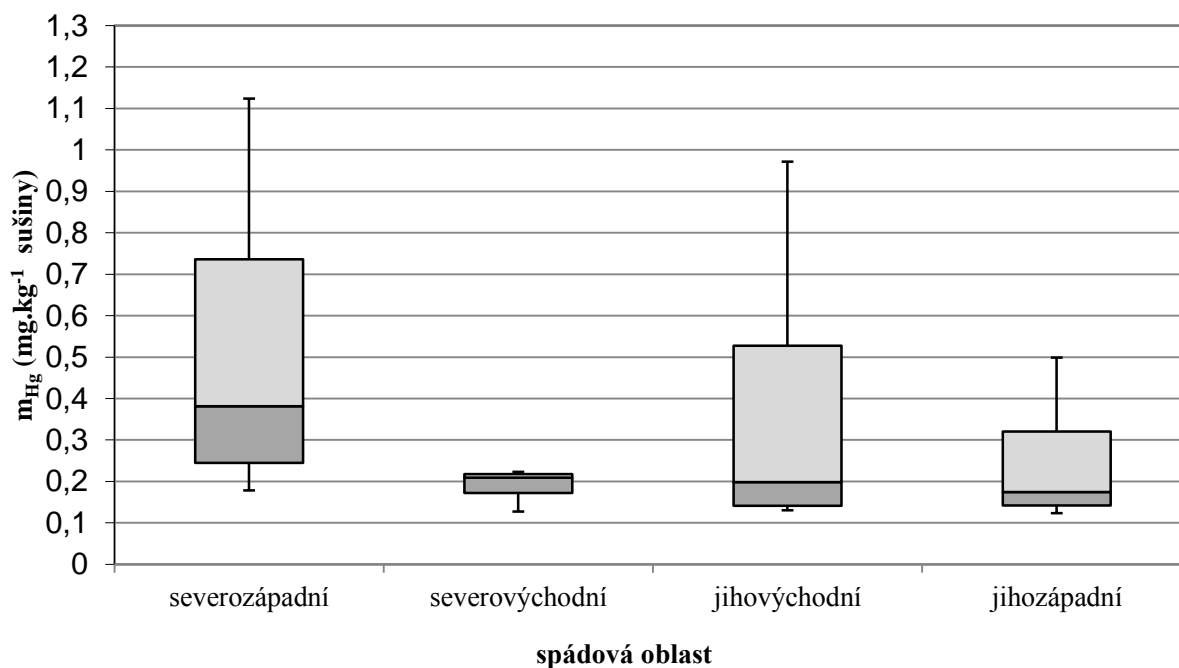
Z grafu je patrný klesající trend v závislosti na přibývajícím vzdálenosti lokality od zdroje znečištění REZZO 1. U rtuti je závislost obsahu v půdě na vzdálenosti jako u jediného rizikového kovu splněna ve všech zónách. U kadmia je v zóně A hodnota nejvyšší, ale hodnoty v zóně C je nepatrně vyšší než v zóně B. Olovo, měď a chrom má téměř totožný vývoj jako kadmium. Nejzatíženější je tedy zóna A, v zónách B a C se již v mnohem větší míře podílí na kontaminaci půdy i další faktory a zároveň kontaminace z průmyslového zdroje již není tak výrazná.

4.9 Zhodnocení obsahů rizikových prvků v půdách na území města Ostravy dle spádové oblasti

Pro zhodnocení četnosti obsahů rizikových kovů ve spádových oblastech, rozdělených do čtyř světových stran v okolí zdroje znečištění REZZO 1 byly vybrány Box plot grafy, které pomáhají odhalit vybočující a extrémní hodnoty v datovém souboru. Jelikož vysoké hodnoty obsahů rizikových prvků v půdách lokalit zóny A by zkreslovaly výsledky a nebyla by tak jednoznačně patrná nejzatíženější spádová oblast.

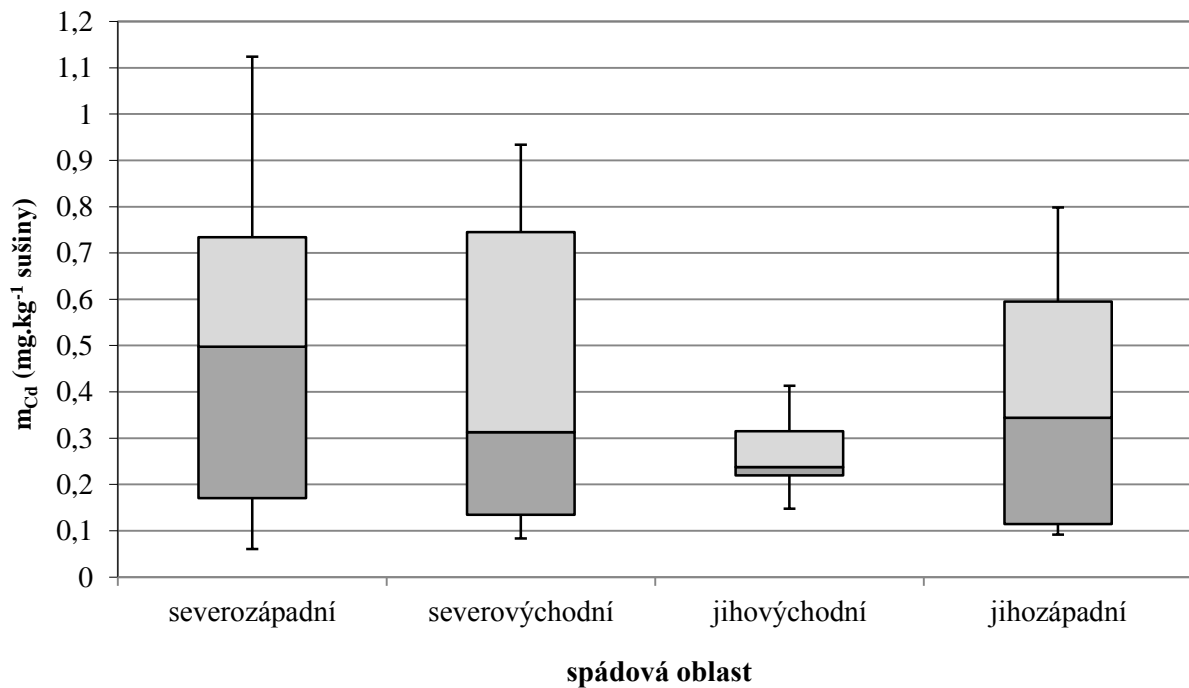
Tabulka č. 14 Rozdělení spádových oblastí dle polohy od zdroje znečištění REZZO 1

spádová oblast	lokalita	popis lokality
jihovýchodní	L1	ulice Na Hranici (Horní Datyně)
	L2	ulice U Důlníků (Ostrava-Bartovice)
	L3	ulice Šenovská (Ostrava-Bartovice)
jihozápadní	L7	ulice Rajnochova (Vratimov)
	L8	ulice Mostní 9 (Ostrava-Hrabová)
	L9	ulice Mourová (Ostrava-Kunčice)
severozápadní	L5	ulice Kaniokova (Ostrava-Kunčičky)
	L6	ulice Na Podlesí (Ostrava-Kunčičky)
	L10	ulice Vratimovská (Ostrava-Kunčice)
severovýchodní	L4	ulice Maričky Magdonové (Ostrava-Bartovice)
	L11	ulice Šenovská (Ostrava-Bartovice)
	L12	ulice Dvorová (Ostrava-Bartovice)



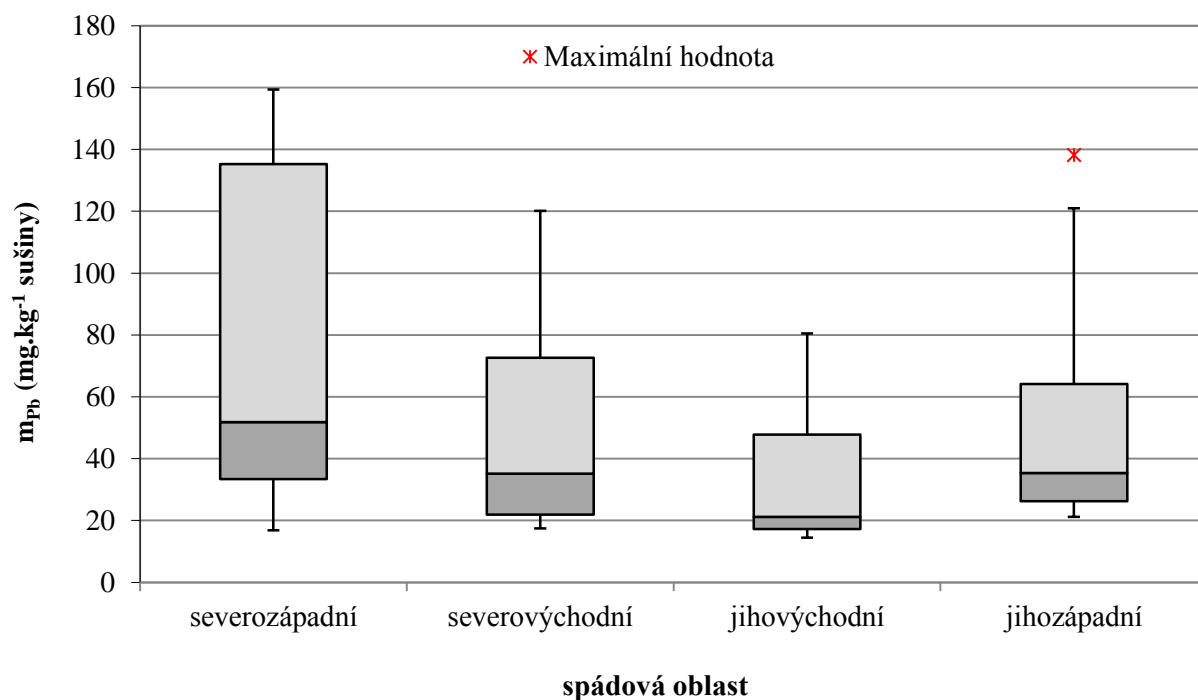
Graf č. 18 Zhodnocení obsahu rtuti dle spádové oblasti

Spádové území s největší četností nejvyšších hodnot obsahu rtuti v půdě je severozápadní. Druhé nejvíce kontaminovaná oblast se nachází jihovýchodně od zdroje znečištění. Poté jihozápadní oblast a nejméně zatížená oblast leží severovýchodně od zdroje REZZO 1.



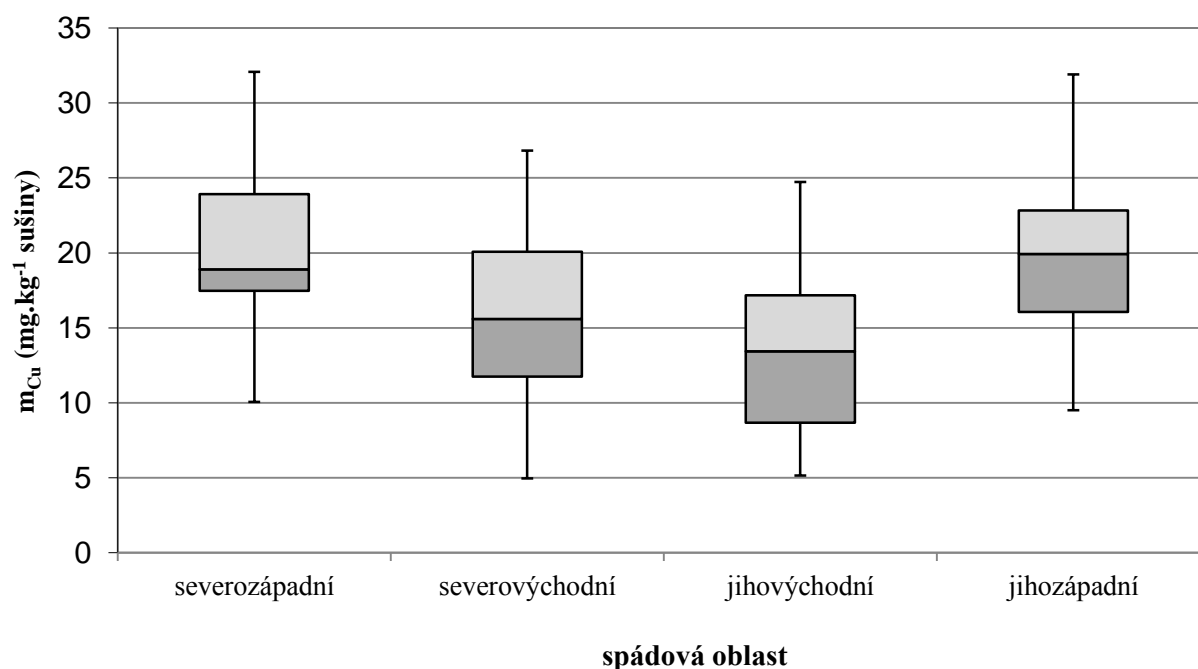
Graf č. 19 Zhodnocení obsahu kadmia dle spádové oblasti

Spádové území s největší četností nejvyšších hodnot obsahu kadmia v půdě je opět severozápadní. Téměř na stejné úrovni četnosti je severovýchodní spádová oblast, avšak medián má v řádech desetinných míst menší hodnotu. Třetí nejvíce kontaminovaná oblast se nachází jihozápadně od zdroje znečištění. Nejméně zasaženou oblastí kontaminaci půdy je oblast jihovýchodně od zdroje znečištění.



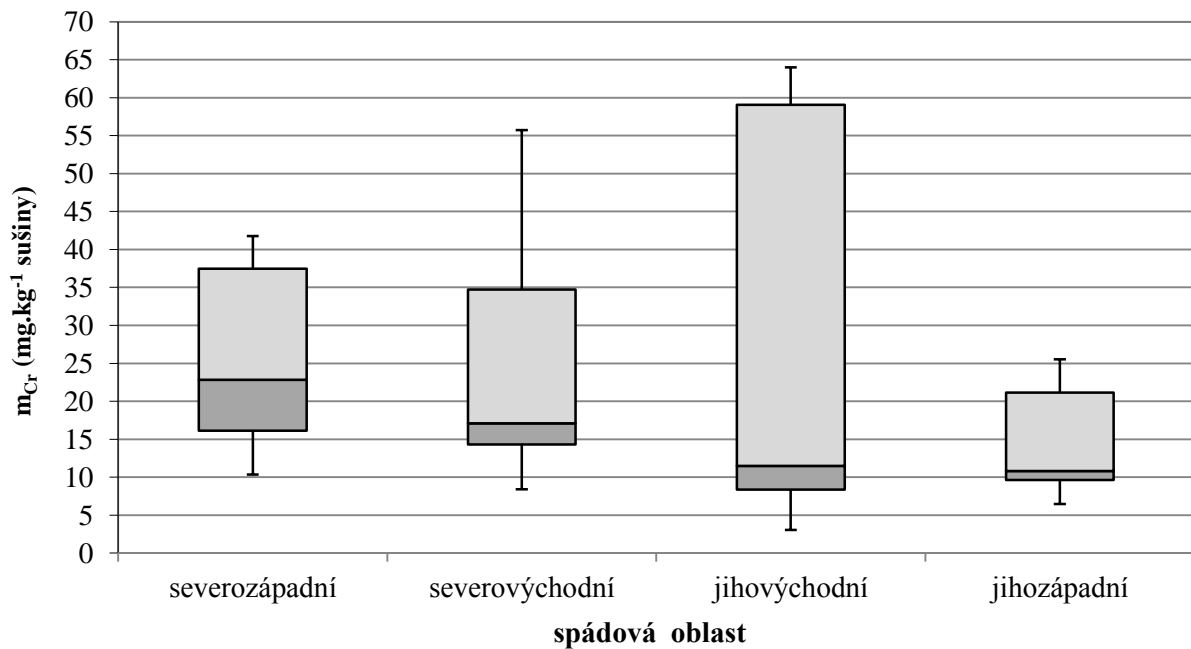
Graf č. 20 Zhodnocení obsahu olova dle spádové oblasti

V severozápadní spádové oblasti je největší četnost nejvyšších hodnot obsahu olova v půdě. Druhá nejvíce kontaminovaná oblast se nachází jihovýchodně od zdroje znečištění. Poté jihozápadní oblast a nejméně zatížená oblast leží severovýchodně od zdroje REZZO 1.



Graf č. 21 Zhodnocení obsahu mědi dle spádové oblasti

Spádové území s největší hodnotou mediánu hodnot obsahu mědi v půdě je jihozápadní oblast, stejně zatížena je i oblast severozápadní. Nejméně kontaminovanou oblastí je jihovýchodně od zdroje znečištění.



Graf č. 22 Zhodnocení obsahu chromu dle spádové oblasti

Zde jednoznačně převažuje jihovýchodní spádové území jak s maximální hodnotou, tak i s největší četností nejvyšších hodnot obsahu chromu v půdě. Druhé území, severovýchodně od zdroje znečištění má druhou největší maximální hodnotu, ale medián i četnost vysokých hodnot je větší u severozápadního spádového území. Nejméně zatížená oblast leží jihozápadně od zdroje REZZO 1.

4.10 Zhodnocení kontaminace půdy rizikovými kovy na území města Ostravy

V roce 1997 proběhl průzkum výskytu rizikových prvků na území města Ostravy, který zpracovala Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava v rámci průzkumu plošného znečištění zemědělských půd. Pro hodnocení obsahu prvků v zemědělských půdách byla kritéria stanovená ve vyhlášce č. 13/1994 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Stanoveny byly mimo jiné i rtuť, kadmium, olovo, měď a chrom. Rizikové prvky byly analyzovány podle Vyhlášky č. 13/1994 Sb., ve znění pozdějších předpisů ve 2M HNO₃ a celkový obsah rtuti byl stanoven na analyzátoru AMA 254. Jednou z vybraných lokalit zasahujících do zájmové oblasti této práce je i Ostrava – Bartovice. Celkem v této městské části bylo v roce 1997 prověřeno 11 lokalit [6]. Rozsah hodnot, jenž byl naměřen v oblasti Ostravy – Bartovice, je uveden v tabulce č. 15 Z této diplomové práce bylo vybráno pět lokalit, které se také nacházejí v této městské části. Hodnoty obsahů těchto rizikových kovů byly zprůměrovány a porovnány s rozsahem naměřených hodnot v roce 1997.

Tabulka č. 15 Porovnání kontaminace městské části Ostrava – Bartovice

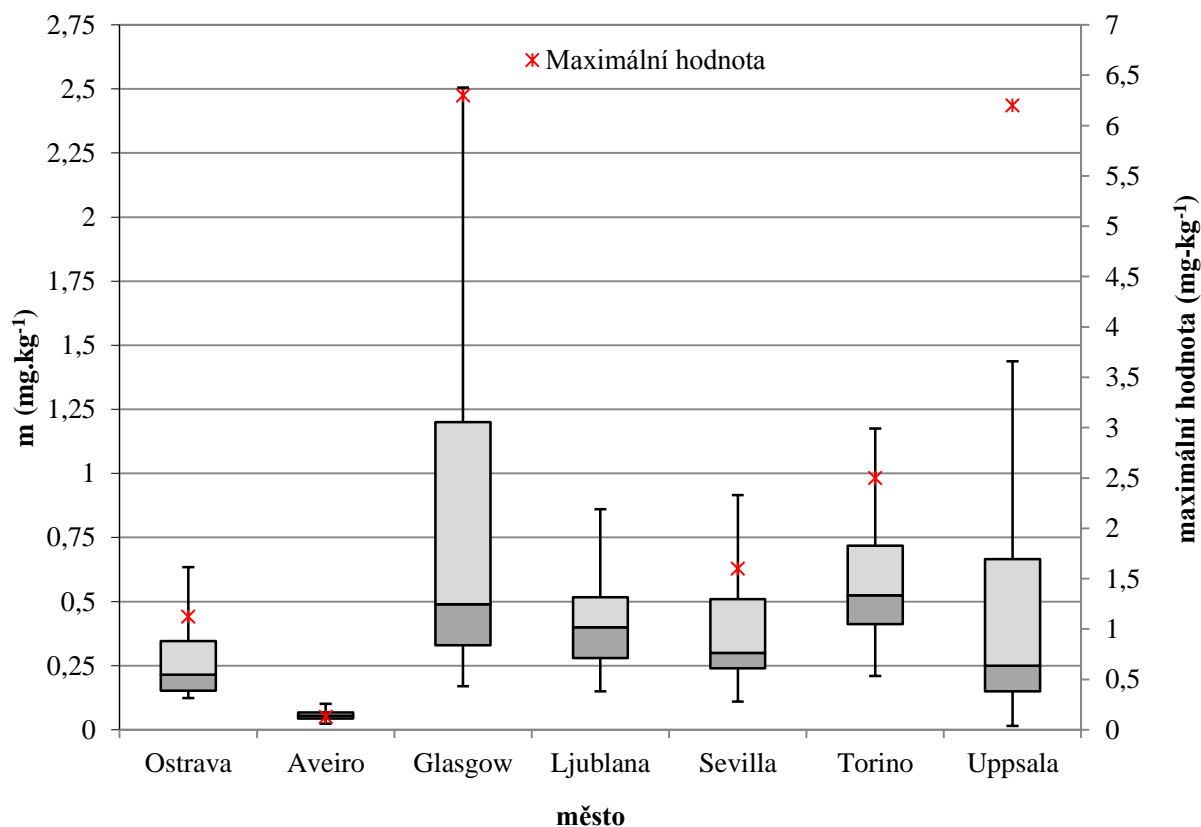
kov	rozsah hodnot	průměrná hodnota
	(1997)*	(2010-2011)
	mg.kg ⁻¹	
Hg	0,11 - 0,22	0,32
Cd	0,74 - 1,22	0,34
Pb	20,00 - 36,00	45,18
Cu	7,30 - 14,30	15,56
Cr	1,20 - 7,40	31,08

*)zdroj dat: Magistrát města Ostravy, Odbor ochrany životního prostředí

Při porovnání rozmezí hodnot naměřených v roce 1997 a hodnot naměřených v rámci této práce je zřejmý nárůst obsahů výše uvedených rizikových kovů v městské části Ostrava – Bartovice. Největší nárůst je zaznamenán u chromu, kde se hodnota obsahu chromu v půdě zvětšila téměř čtyřikrát od horní hranice rozsahu hodnot. Hodnoty pro rtuť, olovo a měď se také nacházejí nad horní hranicí rozsahů hodnot studie z roku 1997, ale již ne tak významně. Naopak kadmium leží za polovinou pod spodní hranici rozsahu hodnot z roku 1997.

4.11 Porovnání obsahu rtuti v městských půdách šesti evropských měst

K dispozici byly analýzy půd šesti Evropských měst, přičemž společným ukazatelem pro všechny místa byl obsah rtuti v městských půdách. Bylo provedeno zhodnocení obsahu celkové rtuti v městských půdách sedmi Evropských měst, a to: Ostrava (Česká republika), Aveiro (Portugalsko), Glasgow (Skotsko), Ljublana (Slovinsko), Sevilla (Španělsko), Torino (Itálie) a Uppsala (Švédsko) [45].



Nejnižší střední hodnoty obsahu rtuti byly nalezeny v Portugalském městě Aveiro (medián 0,054 mg.kg⁻¹), které reprezentuje přímořské turistické město, nijak zatížené průmyslem. Nejvyšší střední obsah rtuti byly nalezeny ve vzorcích z Glasgow (medián 0,49 mg.kg⁻¹), jedná se o hustě osídlené město zatížené silným průmyslem a dopravou. Městské půdy v Ostravě (medián 0,22 mg.kg⁻¹) jsou druhé nejméně kontaminované rtutí. Město s podobnou zatížeností půd rtutí je Uppsala ve Švédsku (medián 0,25 mg.kg⁻¹) [45]. Jedná se o čtvrté největší město Švédska se 138 423 obyvateli. O průmyslové město se nejedná, avšak v posledním desetiletí zde dochází k rozsáhlým stavebním činnostem spojených s urbanizací.

5 ZÁVĚR

Diplomová práce se zaměřuje na posouzení kontaminace nezemědělských půd vybraných lokalit města Ostravy rizikovými kovy. Výběr lokalit byl vztažen na stacionární zdroj znečištění REZZO 1. Celkem bylo odebráno 36 vzorků z 12 lokalit a třech sérií s tím, že každý odběr reprezentoval jiný časový úsek s rozdílnými emisními podmínkami. Z rizikových kovů byly stanoveny rtuť, kadmium, olovo, měď a chrom. Tyto rizikové kovy pak byly porovnány s limitními hodnotami Kritéria znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31. července 1996. Dále se zjišťovala závislost ročního období, vzdálenost lokalit od zdroje znečištění a lokalizace spádové oblasti na obsahu rizikových prvků v půdě.

Dohromady bylo analyzováno 36 vzorků půdy na pět různých rizikových kovů, tedy proběhlo 180 analýz, z nichž 26 vykazovalo překročení limitní hodnoty daného kovu. Z těchto 26 nadlimitních hodnot bylo 11 způsobeno nadlimitním obsahem kadmia, v osmi analýzách došlo k překročení limitní hodnoty rtuti a sedm hodnot bylo překročeno u olova. U mědi a chromu nedošlo k žádnému překročení limitních hodnot. Naopak tyto dva kovy většinou nepřesáhly ani polovinu stanovené limitní hodnoty pro daný rizikový kov.

Při posuzování kontaminace rizikovými prvky je vedle znalosti celkových obsahů rizikových prvků nutné znát i hodnoty pH v dané lokalitě. Mobilita kovů v půdě se zvyšuje spolu s klesající hodnotou pH. Takže pokud analyzujeme půdu s hodnotami pH v neutrální, je zcela možné, že skutečné obsahy rizikových kovů jsou mnohem vyšší. Hodnocené lokality se pohybovaly v rozmezí hodnot pH 5,33 až 7,53. Nejnižší hodnoty pH byly stanoveny v lokalitách nejméně zatížených kontaminací půdy a hodnoty obsahů rizikových kovů se zde pohybují hluboko pod limitem. Naopak lokality zatížené více faktory, dopravou, blízkostí zdroje znečištění REZZO 1 a lokálními zdroji znečištění vykazovaly hodnoty pH v neutrální až slabě zásadité oblasti.

Nejzatíženější lokalitou byla stanovena L10 (ul. Vratimovská), nacházející se 22 m od zdroje znečištění REZZO 1, došlo zde k největšímu počtu překročení limitních hodnot rizikových kovů, celkem u šesti. V dálce zhruba 150 m leží velmi frekventovaná silnice I. třídy, která má nemalý vliv na kontaminaci této lokality. V lokalitě L9 (ul. U Sýpky) došlo k překročení limitních hodnot celkem v pěti stanoveních. U lokalit L3 (ul. Šenovská 1), L5 (ul. Kaniokova) a L11 (ul. Šenovská 2) byly shodně překročeny čtyři limity ve stanovovaném vzorku půdy.

Vzorky půdy byly třikrát odebírány v rozmezí poloviny od července 2010 do konce března 2011. Každé mezidobí, označené jako série, bylo charakteristické pro dané roční období a tím i změnu emisí z průmyslových zdrojů, či v zimním období lokálními topeništi. U většiny rizikových kovů je patrný trend nárůstu hodnot ve vzorcích odebraných po zimním období. Tento trend splňují průměrné hodnoty chromu, které postupně narůstají. U olova, kadmia a mědi dochází k mírnému poklesu v odběrech druhé série, která reprezentuje letní období. Výjimkou je obsah rtuti, ten má totiž přesně opačný trend.

Byl prokázán klesající trend obsahu rizikových kovů v půdě na zvětšující se vzdálenosti od zdroje znečištění REZZO 1. U lokalit ležících v odlehlejších zónách od zdroje znečištění REZZO 1 byl patrný vliv lokálního zdroje znečištění na hodnoty obsahů rizikových kovů v půdě.

Nejvíce zatížená spádová oblast se nachází severozápadně od stacionárního zdroje znečištění REZZO 1 na území Ostravy - Kunčiček. Ovšem v obou vzdálenějších lokalitách (od zdroje REZZO 1) ležících tímto směrem byl zjištěn lokální zdroj kontaminace. Jediný rizikový kov, který v této oblasti nemá nejvyšší hodnoty, je chrom, ten dosahuje nejvyšších hodnot v půdách jihovýchodně od zdroje znečištění.

Porovnáním hodnot naměřených v roce 1997 a hodnot naměřených v rámci této práce je zřejmý nárůst obsahů výše uvedených rizikových kovů, kromě kadmia, v městské části Ostrava – Bartovice. Studie z roku 1997 se zabývala výhradně jen zemědělských půdou.

Městské půdy v Ostravě jsou druhé nejméně kontaminované rtutí (medián $0,22 \text{ mg kg}^{-1}$) s porovnáním se šesti Evropskými městy (Galsgow, Aveiro, Uppsala, Sevilla, Ljublana, Torino). Nejnižší střední hodnoty obsahu rtuti byly nalezeny v Portugalském městě Aveiro (medián $0,054 \text{ mg.kg}^{-1}$), Glasgow (medián $0,49 \text{ mg kg}^{-1}$), Město s podobnou zatížeností půd rtutí jako v Ostravě je švédská Uppsala (medián $0,25 \text{ mg kg}^{-1}$).

Kritéria, která byla vybrána jako limitní hodnoty pro obsah rizikových kovů ve vybraných lokalitách Ostravy, odpovídají přibližně přirozeným obsahům sledovaných látek v přírodě. Překročení kritérií A podle Kritéria znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31. července 1996, se posuzuje jako znečištění příslušné složky životního prostředí, avšak není pokládáno za tak významné, aby bylo nutné získat podrobnější údaje pro jeho posouzení. U lokalit, nacházejících se v blízkosti zdroje znečištění REZZO 1, se dá překročení těchto limitů předpokládat.

Překročení kritérií B podle Kritéria znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31. července 1996, se již posuzuje jako znečištění, které může mít negativní vliv na zdraví člověka a jednotlivé složky životního prostředí. K překročení limitních hodnot z tohoto kritéria nedošlo ani se žádná z výsledných hodnot k této limitě nijak významně nepřiblížila. Ovšem by bylo vhodné blíže prozkoumat lokalitu L5 v Ostravě - Kunčičkách (ul. Kaniokova), kde bylo ve všech sériích stanoveno nadlimitní množství rtuti a zdroj kontaminace není znám.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] In *Sborník o stavu prostředí v Ostravě*. Ostrava: Statutární město Ostrava, 2006. s. 73. ISBN 80-7329-123-1
- [2] *Geomapa Ostrava* [online]. 2010 [cit. 2011-05-01]. Mapy - Národní geoportál INSPIRE. Dostupné z <<http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>>.
- [3] *Moravskoslezský kraj - Aktuální předpověď* [online]. 2010 [cit. 2011-04-29]. Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: <http://www.chmu.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P1_0_Home>
- [4] *Analýza kvality ovzduší na území města Ostravy a legislativa v ochraně ovzduší* [online]. Ostrava: Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě, 2009 [cit. 2010-10-07] Dostupné na www: <<http://www.ostrava.cz/jahia/webdav/shared/jitrocel/kvalita%20ovzduši.pdf>>
- [5] *Polévatý prach PM10* [online]. 2009 [cit. 2011-04-03]. Integrovaný registr znečišťování Dostupné na www: <http://www.irz.cz/repository/latky/poletavy_prach.pdf>.
- [6] *Průzkum plošného znečištění zemědělských půd*. [s.l.] : Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, 1997. 57 s.
- [7] *Zdroje znečišťování za rok 2008: okres: Ostrava-město* [online], 2010 [cit. 2011-02-11], Český hydrometeorologický ústav, Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/plants/ostava_mesto_CZ.html>.
- [8] *Závody Arcelor Mittal Ostrava* [online]. 2006 [cit. 2011-03-09] Dostupné z: <<http://www.arcelormittal.com/ostava/>>.
- [9] TÍŽKOVÁ, Věra; DAMEK, Michal. Mittal Steel Ostrava a.s. Tavící agregát. In *Oznámení o posuzování vlivů na životní prostředí - oznámení EIA* [online]. [s.l.] : G-Consult, spol. s r. o, leden 2006 [cit. 2011-04-11]. Dostupné na: <tomcat.cenia.cz/eia/detail.jsp?view=eia_cr&id=MSK220>.
- [10] *Mapy* [online]. [cit. 9. 4. 2011]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>
- [11] VÁCHA, R., et al. Zátěž zemědělských půd rizikovými látkami v průmyslové oblasti severních Čech a severní Moravy. In ŠARAPATKA, Bořivoj. *Půda v průmyslové krajině: Pedologické dny, sborník*. Olomouc: Bioinstitut, 2009. s. 124. ISBN 978-80-87371-00-8.
- [12] *Úsek ochrany čistoty ovzduší: emisní bilance České republiky* [online]. 2010 [cit. 2011-03-29]. Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emisnibilance_CZ.html>.
- [13] JANDÁK, Jiří; POKORNÝ, Eduard; PRAX, Alois. *Půdoznalství*. dotisk. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. 145 s. ISBN 978-807-3754-457
- [14] KOZÁK, Josef, et al. *Pedologie*. 2. dotisk prvního vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2005. 132 s. ISBN. 978-80-7080-520-6

- [15] CIKRT, Miroslav, et al. *Toxické kovy v pracovním a životním prostředí člověka*. Praha: Grada, 1995. 282 s. ISBN 80-7169-150-X
- [16] HOLOUBEK, I. 2004: Chemie životního prostředí IV. *Polutanty s dlouhou dobou života v prostředí. Těžké kovy (HMs) – Cd, Pb, As*. RECETOX - TOCOEN and Associates, Brno 2004.
- [17] MARŠÁLEK, Petr. *Methylrtuť ve vodních ekosystémech*. *Bulletin VÚRH Vodňany*. 2006, 3, 42, s. 117-124
- [18] Mercury Study Report to Congress: Volume III: Fate and Transport of Mercury in the Environment. *United States Environmental Protection Agency* [online]. 1997, EPA, [cit. 2011-05-03]. Dostupný na [www <http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t3/reports/volume3.pdf>](http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t3/reports/volume3.pdf).
- [19] *Cizorodé látky v půdě a v rostlině*. České Budějovice: Dům techniky ČSVTS, 1988. 137 s.
- [20] Těžké kovy: sborník referátů. *Management a služby pro životní prostředí*. Praha: BIJO s.r.o, 1993. 250 s.
- [21] ŠIMEK, Miloslav. *Základy nauky o půdě : 3. biologické procesy a cykly prvků*. první. České Budějovice: Biologická fakulta JU, 2003. 151 s. ISBN 80-7040-630-5
- [22] Rizikové látky v půdě. [online]. [s.l.] : ČVUT, [cit. 2011-03-26]. Dostupné na [www: <http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/rlvp/RLVP5.pdf>](http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/rlvp/RLVP5.pdf).
- [23] HYBLER, V., et al. Bodová plošná kontaminace půd těžkými kovy z průmyslového zdroje znečištění v Karviné. In ŠARAPATKA, Bořivoj. *Půda v průmyslové krajině: Pedologické dny, sborník*. Olomouc: Bioinstitut, 2009. s. 124. ISBN 978-80-87371-00-8.
- [24] KONEČNÁ, Monika. *Analýza kontaminace půd těžkými kovy*. In [online]. VŠB - Technická univerzita Ostrava : [s.n.], 2001 [cit. 2011-04-21]. Dostupné na [www: <http://gis.vsb.cz/GISacek/GISacek_2003/Sbornik/Konecna/konecna.htm>](http://gis.vsb.cz/GISacek/GISacek_2003/Sbornik/Konecna/konecna.htm).
- [25] Kritéria znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31. července 1996.[online], [cit. 2011-05-02]. Dostupný na [www: <http://www.eliodservis.cz/czech/abclimity.pdf>](http://www.eliodservis.cz/czech/abclimity.pdf).
- [26] KLOUDA, Pavel. *Moderní analytické metody*. [s.l.] : Klouda Pavel, 2005. 132 s. ISBN 80-86369-07-2.
- [27] ČERNOHORSKÝ, Tomáš, JANDERA Pavel. *Atomová spektroskopie*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1997. 214 s. ISBN 80-7194-114-X.
- [28] Atomová spektrometrie. In [online]. VŠCHT Praha : [s.n.], vdf [cit. 2011-04-06]. Dostupné na [www: <http://web.vscht.cz/koplikr/Atomov%C3%A1%20spektrometrie.pdf>](http://web.vscht.cz/koplikr/Atomov%C3%A1%20spektrometrie.pdf).
- [29] *AAS Nebulization Chamber* [online]. 2006 [cit. 2011-04-06]. New mexico state university. Dostupné z: [<http://www.chemistry.nmsu.edu/Instrumentation/AAS_Nebulizer.html>](http://www.chemistry.nmsu.edu/Instrumentation/AAS_Nebulizer.html).

- [30] GORETI R., Maria; OLESZCZUK, Nédio. Current Status of Direct Solid Sampling for Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry—A Critical Review of the Development between 1995 and 2005. *Applied Spectroscopy Reviews* [online]. 2006, 41, [cit. 2011-04-06]. Dostupný z: <<http://www.scribd.com/doc/51361579/Atomic-Absorption-Spectrometry>>.
- [31] KOMÍNKOVÁ, Jana. *Atomová absorpční spektrometrie - stanovení rtuti pomocí analyzátoru AMA 254*. VŠCHT Praha [online]. 2010, [cit. 2011-03-09]. Dostupný na www: <http://www.vscht.cz/anl/josef/LabAtom/Navod_AMA_2010.pdf>.
- [32] Stanovení rtuti ve vzorcích životního prostředí na přístroji AMA 254. In MOOS, M. *Návody do praktika z environmentální analýzy: dokument pro vnitřní potřebu katedry*. VUT Brno: ÚCHTŽP, 2010. s. 6.
- [33] *Leco.cz* [online]. 2007 [cit. 2011-05-02]. Leco. Dostupné z: <http://www.leco.cz/cz/index3.htm>.
- [34] Validace analytických metod. In KOCOUREK, Vladimír. *Kvalita v laboratorní a kontrolní praxi* [online]. Praha: VŠCHT, 2011 [cit. 2011-03-27]. Dostupné na www: <http://web.vscht.cz/kocourev/files/QA_validace-print.pdf>.
- [35] ČR. Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 13/1994 Sb. In *Sbírka zákonů*. Dostupný také na www: <www.ukzuz.cz/Uploads/142922-Vyhlasaka+c+131994+Sbpdf.aspx>.
- [36] *Analytical methods for flame spectroscopy*. Springvale, Australia :Varian techtron Pty. Ltd., 1979. 124 s.
- [37] ZBÍRAL, Jiří. *Analýza půd: Jednotné pracovní postupy*. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 1996. přer. s. ISBN 80-86548-60-0.
- [38] NEŠPOROVÁ, Michala. *Validace a optimalizace postupu odběrů, transportu a úpravy vzorků půd pro mikrobiální analýzy*, Brno, 2008. 77 s. Diplomová práce. Masarykova univerzita, přírodovědecká fakulta, výzkumné centrum pro chemii životního prostředí a ekotoxikologii.
- [39] STEJSKAL, S; FRAŇKOVÁ, M. *Metody odběru a analýzy vzorků komodit, potravin a půd: Sborník ze semináře: Vědecký výbor fytosanitární a životního prostředí*, 2009. 99 s.
- [40] POPL, Milan; FAEHNRICH, Jan. *Analytická chemie životního prostředí*. Praha: VŠCHT, 1999. 218 s. ISBN 80-7080-336-3
- [41] Google Earth, Beta verze, Dostupné z: <http://www.google.com/intl/cs/earth>
- [42] ČSN ISO 11648-2. Statistická hlediska vzorkování hromadných materiálů - Část 2: Vzorkování sypkých materiálů. Česká republika: Český normalizační institut, 1. 1. 2003. 95 s.
- [43] ČSN ISO 11465. Kvalita půdy - Stanovení hmotnostního podílu sušiny a hmotnostní vlhkosti půdy - Gravimetrická metoda. Česká republika: Český normalizační institut, 1. 5. 1998. 8 s.

- [44] ČSN ISO 10390. Kvalita půdy. Stanovení pH. Česká republika: Český normalizační institut, 1. 12. 1996. 12 s.
- [45] RODRIGUES, S., et al. *Mercury in urban soils: A comparison of local spatial variability in six European cities*. Science of the Total Environment. 2006, 368, s. 926-936.
- [46] MELOUN, M., MILITKÝ, J.: Statistické zpracování experimentálních dat, 2. vydání, Praha: East publishing, 1998, s. 839, ISBN 80-7219-003-2.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

GPS	Global Positioning System
AMA 254	Advanced Mercury Analyser
ETA-AAS	Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry
F-AAS	Flame Atomic Absorption Spectrometry
MŽP ČR	ministerstvo životního prostředí České republiky
smodch	Směrodatná odchylka
RSD	Relativní směrodatná odchylka
ČSN	Česká státní norma
ISO	International Organization for Standardization

8 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1.** Naměřené hodnoty a statistické zhodnocení obsahu rtuti v půdním extraktu
- Příloha č. 2** Naměřené hodnoty a statistické zhodnocení obsahu kadmia v půdním extraktu
- Příloha č. 3** Naměřené hodnoty a statistické zhodnocení obsahu olova v půdním extraktu
- Příloha č. 4** Naměřené hodnoty a statistické zhodnocení obsahu mědi v půdním extraktu
- Příloha č. 5** Naměřené hodnoty a statistické zhodnocení obsahu chromu v půdním extraktu
- Příloha č. 6** GPS souřadnice jednotlivých lokalit
- Příloha č. 7** Letecký pohled a fotodokumentace lokality L1
- Příloha č. 8** Letecký pohled a fotodokumentace lokality L2
- Příloha č. 9** Letecký pohled a fotodokumentace lokality L3
- Příloha č. 10** Letecký pohled a fotodokumentace lokality L4
- Příloha č. 11** Letecký pohled a fotodokumentace lokality L5
- Příloha č. 12** Letecký pohled a fotodokumentace lokality L6
- Příloha č. 13** Letecký pohled a fotodokumentace lokality L7
- Příloha č. 14** Letecký pohled a fotodokumentace lokality L8
- Příloha č. 15** Letecký pohled a fotodokumentace lokality L9
- Příloha č. 16** Letecký pohled a fotodokumentace lokality L10
- Příloha č. 17** Letecký pohled a fotodokumentace lokality L11
- Příloha č. 18** Letecký pohled a fotodokumentace lokality L12

Zdroj příloh 6 - 18:

Google Earth 6.0.2 Beta verze

Dostupné z : <http://www.google.com/intl/cs/earth/index.html>

Příloha č. 1 Tabulka č. 1 Naměřené hodnoty obsahu rtuti v půdě

	lokalita	$m_{Hg}(mg/kg)$		smodch	RSD (%)
		průměr	medián		
1. série	L1	0,13	0,14	$1,37 \cdot 10^{-2}$	10,22
	L2	0,14	0,14	$3,02 \cdot 10^{-3}$	2,16
	L3	0,90	0,97	$1,37 \cdot 10^{-1}$	15,27
	L4	0,20	0,20	$1,91 \cdot 10^{-2}$	9,40
	L5	0,96	0,95	$8,75 \cdot 10^{-2}$	9,13
	L6	0,27	0,25	$6,36 \cdot 10^{-2}$	23,44
	L7	0,30	0,33	$6,72 \cdot 10^{-2}$	22,68
	L8	0,14	0,14	$5,87 \cdot 10^{-3}$	4,07
	L9	0,50	0,50	$3,00 \cdot 10^{-2}$	6,04
	L10	0,70	0,74	$7,15 \cdot 10^{-2}$	10,17
	L11	0,22	0,21	$2,23 \cdot 10^{-2}$	10,09
	L12	0,18	0,17	$9,55 \cdot 10^{-3}$	5,40
2. série	L1	0,14	0,14	$1,61 \cdot 10^{-2}$	11,15
	L2	0,13	0,13	$4,40 \cdot 10^{-3}$	3,38
	L3	0,80	0,65	$3,11 \cdot 10^{-1}$	38,95
	L4	0,14	0,13	$1,54 \cdot 10^{-2}$	11,40
	L5	1,31	1,12	$3,18 \cdot 10^{-1}$	24,36
	L6	0,19	0,18	$1,97 \cdot 10^{-2}$	10,52
	L7	0,17	0,17	$1,21 \cdot 10^{-3}$	0,70
	L8	0,15	0,15	$3,10 \cdot 10^{-2}$	21,08
	L9	0,27	0,27	$4,33 \cdot 10^{-3}$	1,60
	L10	0,37	0,38	$4,82 \cdot 10^{-2}$	13,21
	L11	0,22	0,22	$1,37 \cdot 10^{-2}$	6,27
	L12	0,22	0,22	$7,90 \cdot 10^{-3}$	3,64
3. série	L1	0,20	0,20	$9,73 \cdot 10^{-3}$	4,98
	L2	0,21	0,21	$3,92 \cdot 10^{-3}$	1,85
	L3	0,54	0,53	$8,27 \cdot 10^{-2}$	15,32
	L4	0,22	0,22	$2,39 \cdot 10^{-2}$	10,94
	L5	0,59	0,60	$1,48 \cdot 10^{-2}$	2,51
	L6	0,26	0,24	$2,64 \cdot 10^{-2}$	10,29
	L7	0,13	0,12	$7,14 \cdot 10^{-3}$	5,70
	L8	0,14	0,14	$1,28 \cdot 10^{-2}$	9,18
	L9	0,31	0,32	$2,20 \cdot 10^{-2}$	7,09
	L10	0,18	0,18	$1,76 \cdot 10^{-2}$	10,04
	L11	0,20	0,22	$3,37 \cdot 10^{-2}$	16,48
	L12	0,15	0,15	$1,45 \cdot 10^{-2}$	9,44

Vysvětlivky: **zeleně** = minimální hodnota odběru v sérii, **červeně** = maximální hodnota odběru v sérii, **zvýraznění textu** = překročení limitu maximálně přípustné hodnoty stanovené MŽP ze dne 31. července 1996, průměr = aritmetický průměr.

Příloha č. 2 Naměřené hodnoty a statistické zhodnocení obsahu kadmia v půdním extraktu

	m_{Cd} (mg/kg)			RSD (%)	
	lokality	průměr	medián		
1. série	L1	0,24	0,24	$1,72 \cdot 10^{-2}$	7,25
	L2	0,31	0,31	$8,26 \cdot 10^{-2}$	26,22
	L3	0,15	0,15	$1,73 \cdot 10^{-3}$	1,16
	L4	0,08	0,08	$1,54 \cdot 10^{-3}$	1,86
	L5	0,06	0,06	$2,14 \cdot 10^{-3}$	3,52
	L6	0,17	0,17	$9,10 \cdot 10^{-4}$	0,53
	L7	0,09	0,09	$3,26 \cdot 10^{-3}$	3,55
	L8	0,10	0,10	$4,00 \cdot 10^{-4}$	0,38
	L9	0,80	0,80	$2,40 \cdot 10^{-2}$	3,01
	L10	1,12	1,18	$1,77 \cdot 10^{-1}$	15,74
	L11	0,78	0,78	$1,38 \cdot 10^{-2}$	1,76
	L12	0,15	0,15	$1,52 \cdot 10^{-4}$	0,10
2. série	L1	0,22	0,22	$1,09 \cdot 10^{-2}$	4,96
	L2	0,23	0,23	$5,52 \cdot 10^{-3}$	2,41
	L3	0,15	0,15	$1,45 \cdot 10^{-2}$	9,78
	L4	0,11	0,11	$6,77 \cdot 10^{-3}$	6,24
	L5	0,06	0,06	$6,29 \cdot 10^{-3}$	9,95
	L6	0,18	0,19	$1,12 \cdot 10^{-2}$	6,20
	L7	0,11	0,10	$2,48 \cdot 10^{-2}$	21,62
	L8	0,14	0,15	$1,18 \cdot 10^{-2}$	8,34
	L9	0,60	0,60	$3,55 \cdot 10^{-2}$	5,97
	L10	0,73	0,75	$7,60 \cdot 10^{-2}$	10,36
	L11	0,75	0,74	$1,19 \cdot 10^{-2}$	1,60
	L12	0,13	0,13	$6,81 \cdot 10^{-3}$	5,07
3. série	L1	0,24	0,19	$9,59 \cdot 10^{-2}$	39,76
	L2	0,40	0,38	$4,44 \cdot 10^{-2}$	11,10
	L3	0,41	0,39	$4,39 \cdot 10^{-2}$	10,62
	L4	0,31	0,30	$6,19 \cdot 10^{-2}$	19,76
	L5	0,59	0,58	$4,80 \cdot 10^{-2}$	8,13
	L6	0,50	0,44	$1,05 \cdot 10^{-1}$	21,21
	L7	0,34	0,34	$2,50 \cdot 10^{-2}$	7,29
	L8	0,37	0,37	$2,79 \cdot 10^{-2}$	7,61
	L9	0,77	0,77	$3,43 \cdot 10^{-2}$	4,44
	L10	0,91	0,90	$4,04 \cdot 10^{-2}$	4,44
	L11	0,93	0,93	$7,73 \cdot 10^{-2}$	8,28
	L12	0,44	0,45	$1,99 \cdot 10^{-2}$	4,53

Vysvětlivky: **zeleně** = minimální hodnota odběru v sérii, **červeně** = maximální hodnota odběru v sérii, **zvýraznění textu** = překročení limitu maximálně přípustné hodnoty stanovené MŽP ze dne 31. července 1996, průměr = aritmetický průměr.

Příloha č. 3 Naměřené hodnoty a statistické zhodnocení obsahu olova v půdním extraktu

	lokality	m _{Pb} (mg/kg)			RSD (%)
		průměr	medián	smodch	
1. série	L1	17,08	17,25	1,63	9,54
	L2	20,78	21,18	0,99	4,78
	L3	47,85	47,79	0,59	1,24
	L4	20,23	19,94	1,84	9,08
	L5	19,84	19,73	0,86	4,31
	L6	35,72	35,95	0,88	2,47
	L7	23,03	22,74	0,83	3,62
	L8	35,26	35,32	2,18	6,17
	L9	82,24	82,24	0,85	1,04
	L10	146,14	147,88	3,50	2,39
	L11	74,56	74,16	1,00	1,34
	L12	22,50	22,84	1,23	5,46
2. série	L1	17,29	17,23	0,10	0,56
	L2	18,43	18,20	0,55	2,97
	L3	49,04	53,32	9,52	19,41
	L4	17,67	17,44	0,56	3,17
	L5	17,03	16,86	0,29	1,70
	L6	32,11	33,37	2,64	8,24
	L7	30,34	28,67	3,51	11,56
	L8	21,65	21,23	1,05	4,87
	L9	26,29	26,29	0,53	2,01
	L10	134,75	135,20	3,10	2,30
	L11	72,52	72,63	0,35	0,48
	L12	21,71	21,87	0,60	2,77
3. série	L1	15,50	14,48	5,05	32,59
	L2	37,71	37,04	16,26	43,12
	L3	83,77	80,50	7,70	9,20
	L4	33,24	35,14	5,36	16,12
	L5	54,04	51,85	6,59	12,20
	L6	159,26	159,40	5,52	3,47
	L7	139,35	138,19	5,10	3,66
	L8	44,67	42,88	4,98	11,15
	L9	66,09	64,17	8,38	12,69
	L10	52,22	55,93	10,60	20,30
	L11	116,24	120,15	8,04	6,92
	L12	40,12	41,99	15,13	37,72

Vysvětlivky: **zeleně** = minimální hodnota odběru v sérii, **červeně** = maximální hodnota odběru v sérii, **zvýraznění textu** = překročení limitu maximálně přípustné hodnoty stanovené MŽP ze dne 31. července 1996, průměr = aritmetický průměr.

Příloha č. 4 Naměřené hodnoty a statistické zhodnocení obsahu mědi v půdním extraktu

	m_{Cu} (mg/kg)			RSD (%)	
	lokality	průměr	medián		smodch
1. série	L1	13,34	13,43	0,39	1,72
	L2	17,50	17,89	1,40	8,26
	L3	24,91	24,73	0,35	0,17
	L4	15,48	15,60	0,53	0,15
	L5	18,86	18,59	0,49	0,21
	L6	23,91	23,93	0,05	0,09
	L7	19,67	19,92	0,44	0,33
	L8	24,47	24,48	0,28	0,04
	L9	22,56	22,83	0,54	2,40
	L10	27,54	27,66	0,42	17,70
	L11	26,78	26,82	0,52	1,38
	L12	18,67	18,43	0,43	0,02
2. série	L1	6,56	6,59	0,26	1,09
	L2	5,19	5,15	0,42	0,55
	L3	17,04	17,18	0,29	1,45
	L4	4,88	4,97	0,30	0,68
	L5	10,01	10,06	0,29	0,63
	L6	10,87	10,85	0,21	1,12
	L7	10,49	10,44	0,11	2,48
	L8	9,61	9,51	0,21	1,18
	L9	16,28	16,40	0,34	3,55
	L10	18,73	18,89	0,35	7,60
	L11	19,94	20,07	0,33	1,19
	L12	8,03	8,33	0,52	0,68
3. série	L1	8,70	8,67	0,70	8,06
	L2	11,79	11,27	0,98	8,32
	L3	14,11	14,18	0,43	3,07
	L4	11,93	11,74	0,80	6,72
	L5	21,11	21,06	0,43	2,04
	L6	31,94	32,07	0,67	2,11
	L7	21,28	21,18	0,52	2,44
	L8	15,61	16,05	0,77	4,95
	L9	31,95	31,90	0,53	1,65
	L10	17,20	17,46	0,69	4,00
	L11	25,75	25,87	0,61	2,36
	L12	12,50	12,70	0,84	6,70

Vysvětlivky: **zeleně** = minimální hodnota odběru v sérii, **červeně** = maximální hodnota odběru v sérii, průměr = aritmetický průměr.

Příloha č. 5 Naměřené hodnoty a statistické zhodnocení obsahu chromu v půdním extraktu

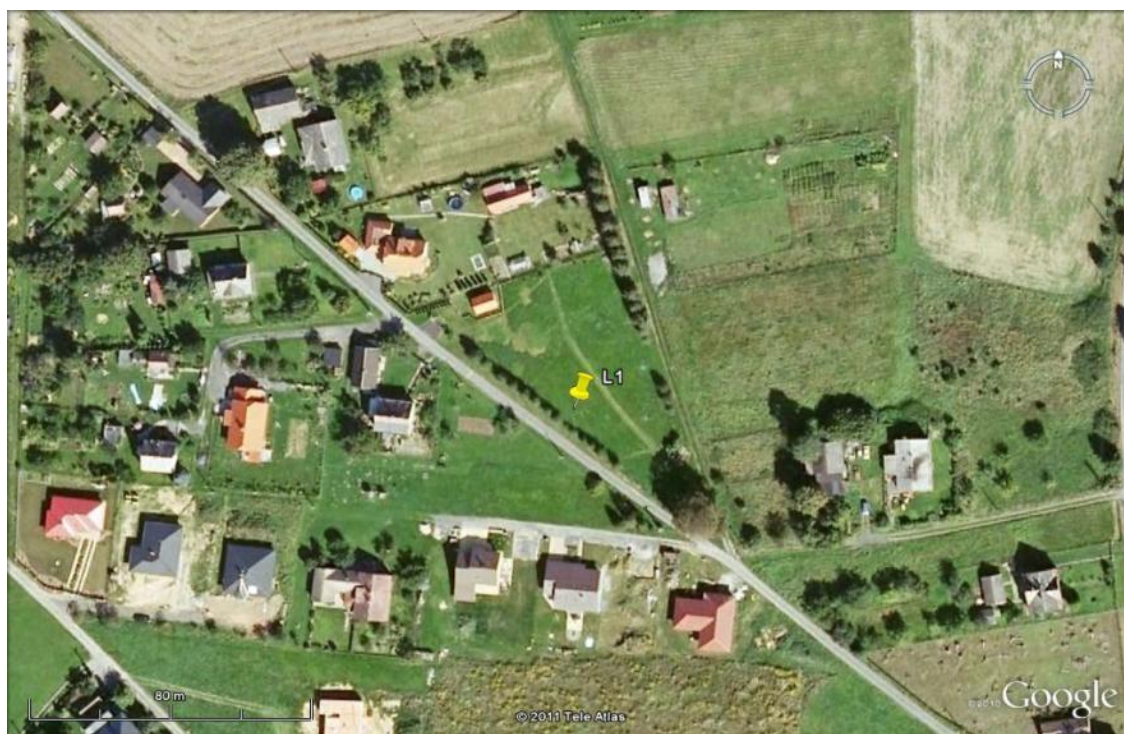
	lokality	$m_{Cr}(mg/kg)$			RSD (%)
		průměr	medián	smodch	
1. série	L1	3,38	3,03	0,72	21,23
	L2	11,54	11,47	0,33	2,84
	L3	59,19	59,06	3,54	5,98
	L4	8,42	8,41	0,17	2,06
	L5	10,13	10,33	0,37	3,69
	L6	13,67	13,67	0,15	1,10
	L7	8,20	7,66	1,03	12,53
	L8	10,58	10,23	0,72	6,84
	L9	20,37	21,14	1,45	7,13
	L10	37,22	37,47	1,06	2,84
	L11	34,53	34,73	0,52	1,49
	L12	18,57	18,43	0,60	3,25
2. série	L1	10,59	10,52	0,50	4,74
	L2	8,41	8,38	0,35	4,16
	L3	63,41	63,54	1,28	2,02
	L4	15,04	15,46	1,23	8,20
	L5	22,98	22,84	3,93	17,08
	L6	27,77	27,62	1,17	4,21
	L7	6,62	6,45	0,66	10,03
	L8	10,56	10,80	0,86	8,18
	L9	11,62	9,64	3,51	30,19
	L10	38,45	37,97	0,94	2,44
	L11	41,90	41,58	0,72	1,72
	L12	14,58	14,30	0,54	3,67
3. série	L1	11,06	11,49	0,91	8,26
	L2	20,38	20,74	1,31	6,41
	L3	63,97	64,01	0,39	0,61
	L4	12,84	12,82	0,32	2,46
	L5	18,09	17,82	0,49	2,72
	L6	16,19	16,14	0,19	1,17
	L7	23,59	23,64	0,10	0,43
	L8	19,13	19,20	0,85	4,42
	L9	25,80	25,52	0,57	2,20
	L10	41,60	41,75	0,40	0,96
	L11	56,05	55,73	1,64	2,93
	L12	17,06	17,10	0,42	2,44

Vysvětlivky: **zeleně** = minimální hodnota odběru v sérii, **červeně** = maximální hodnota odběru v sérii, průměr = aritmetický průměr.

Příloha č. 6 GPS souřadnice jednotlivých lokalit

Číslo lokality	Zem. šířka	Zem. délka
L1	49°46'29.16"S	18°21'18.42"V
L2	49°46'38.75"S	18°20'27.78"V
L3	49°47'7.89"S	18°20'27.78"V
L4	49°48'18.31"S	49°48'18.31"S
L5	49°48'24.31"S	18°17'50.42"V
L6	49°48'48.31"S	18°17'41.18"V
L7	49°46'30.21"S	18°18'41.56"V
L8	49°46'11.50"S	18°17'31.50"V
L9	49°47'38.73"S	18°18'12.33"V
L10	49°48'11.88"S	18°18'13.98"V
L11	49°48'14.66"S	18°19'34.98"V
L12	49°47'44.75"S	18°21'29.44"V

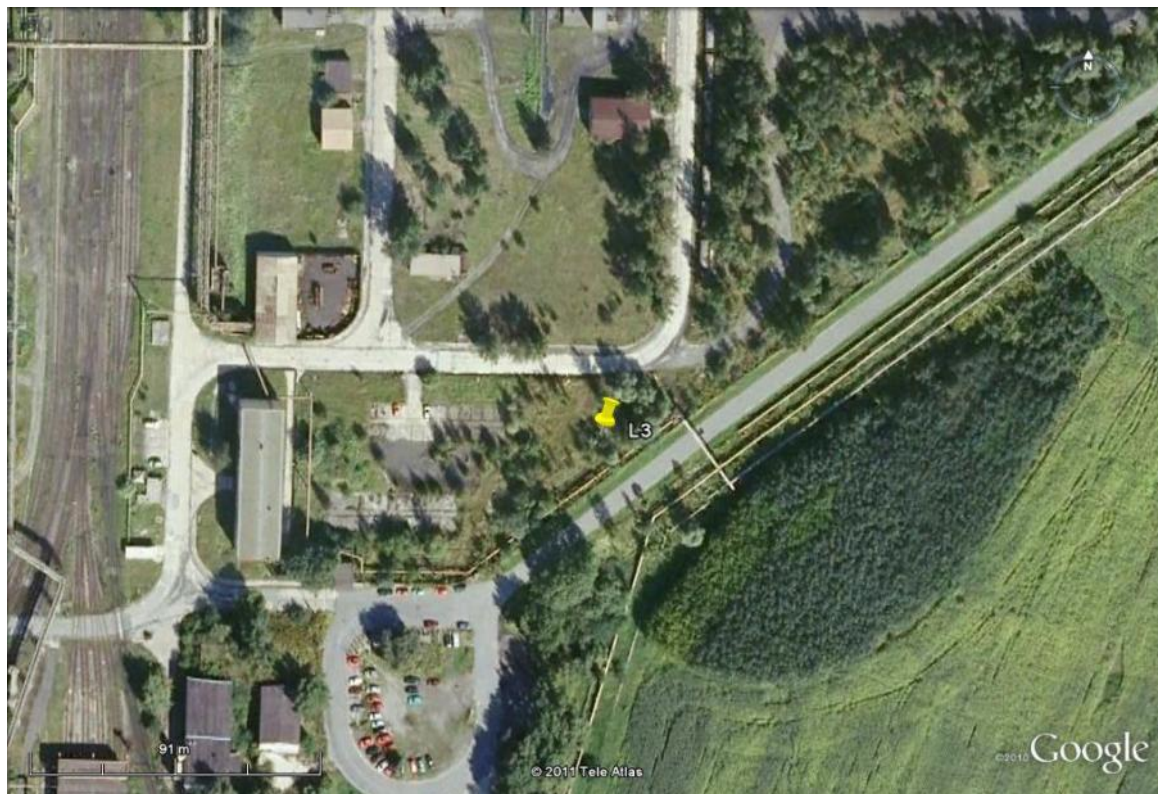
Příloha č. 7 letecký pohled a fotodokumentace lokality L1



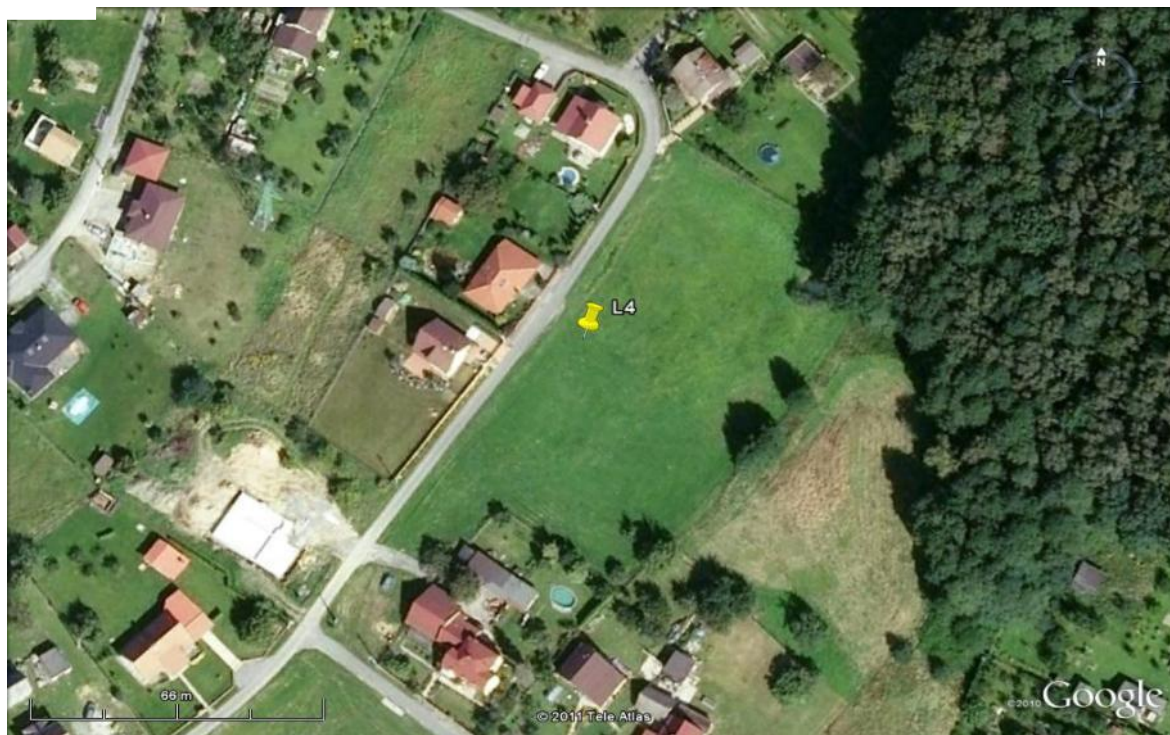
Příloha č. 8 Letecký pohled a fotodokumentace lokality L2



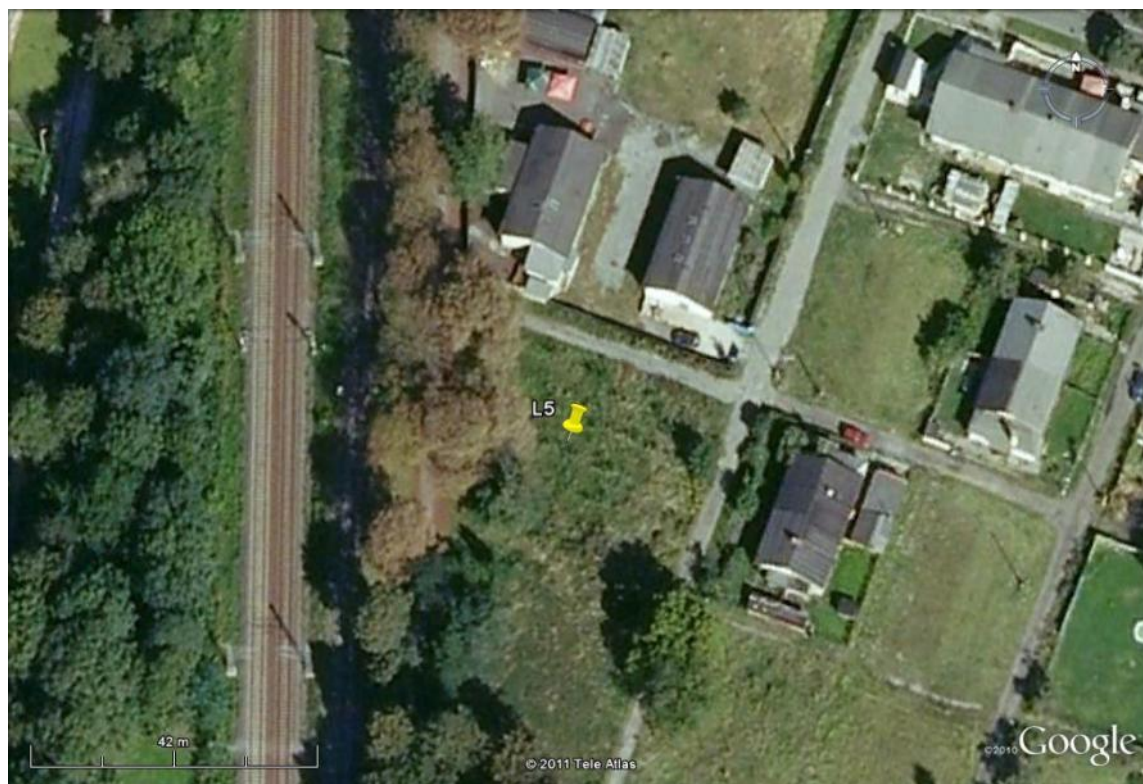
Příloha č. 9 Letecký pohled a fotodokumentace lokality L3



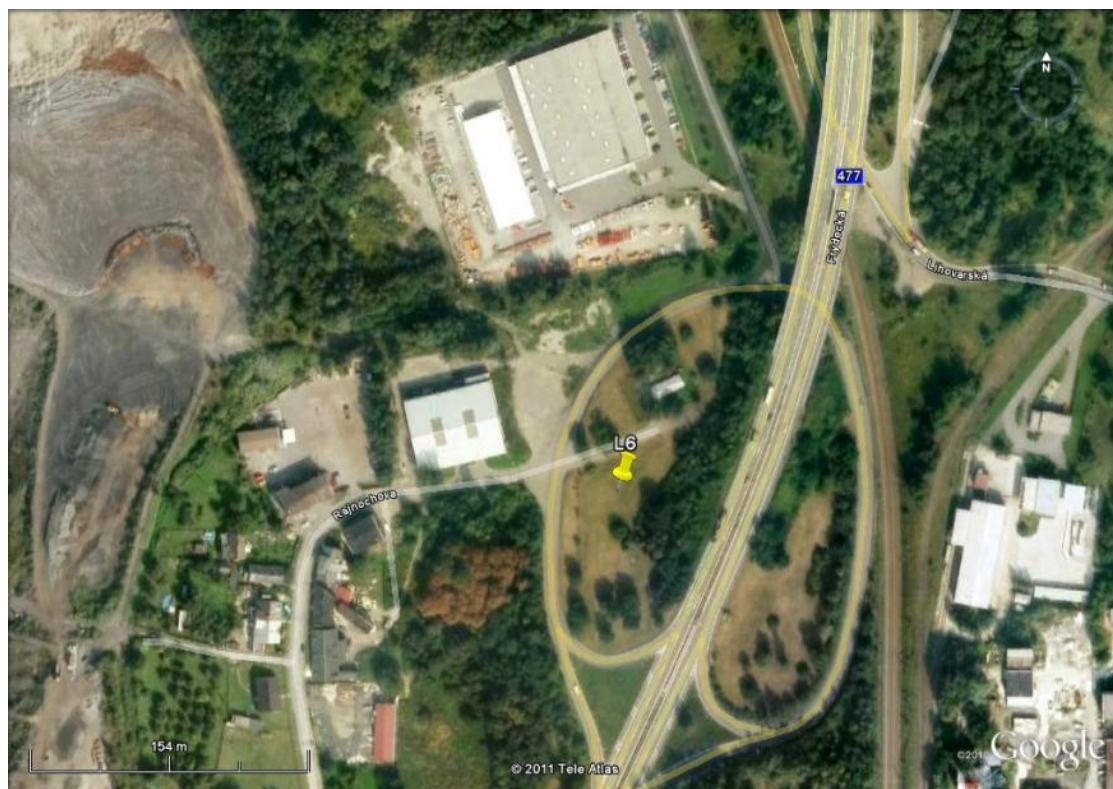
Příloha č. 10 Letecký pohled a fotodokumentace lokality L4



Příloha č. 11 Letecký pohled a fotodokumentace lokality L5



Příloha č. 12 Letecký pohled a fotodokumentace lokality L6



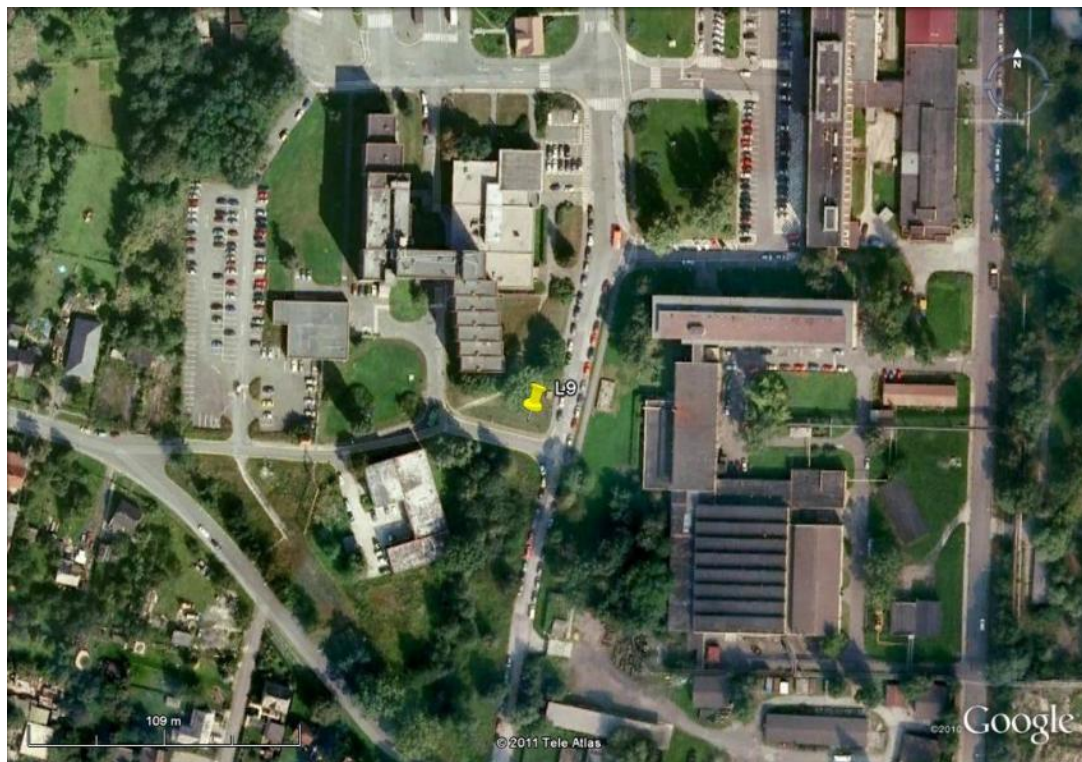
Příloha č. 13 Letecký pohled a fotodokumentace lokality L7



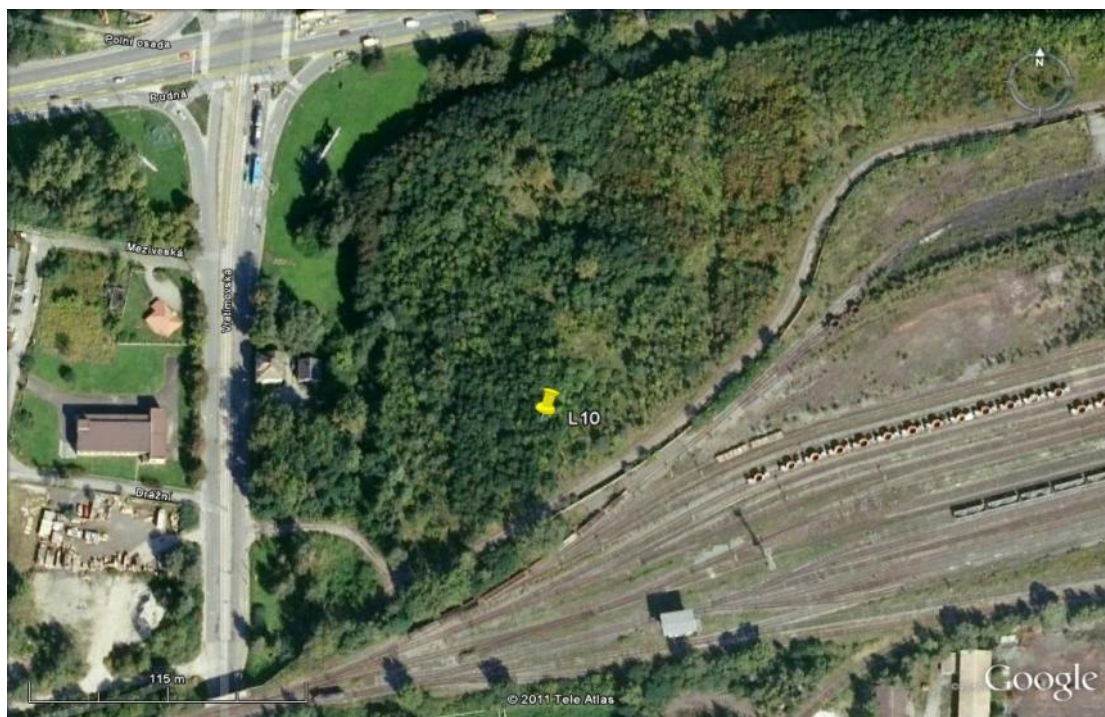
Příloha č. 14 Letecký pohled a fotodokumentace lokality L8



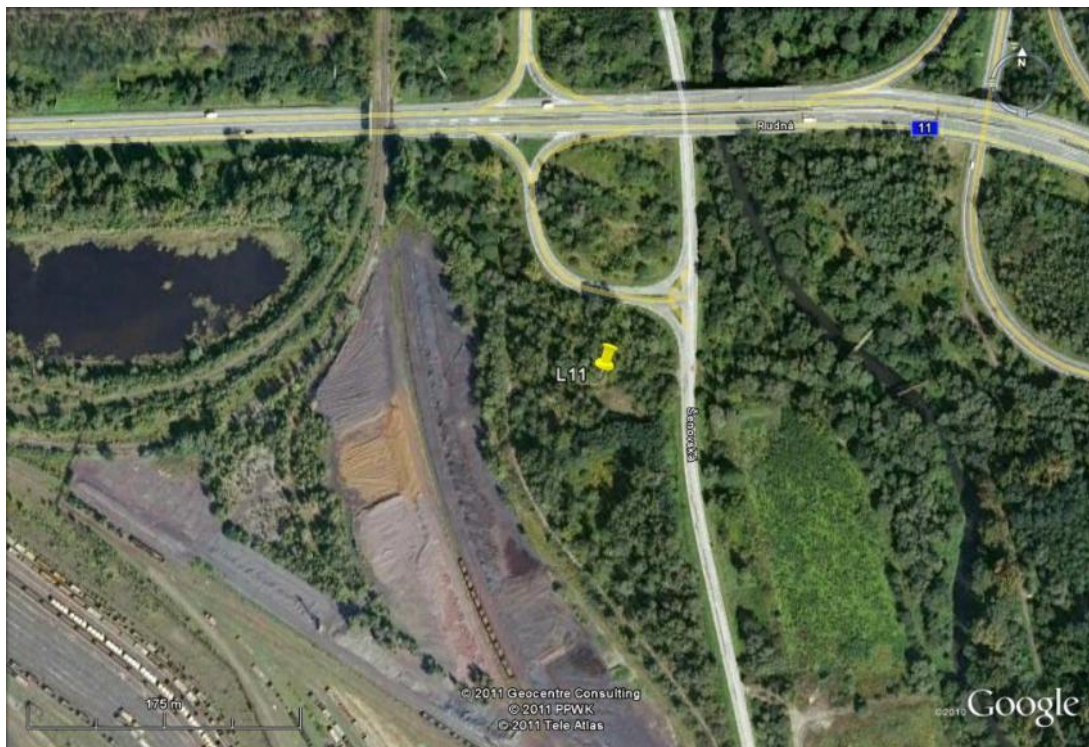
Příloha č. 15 Letecký pohled a fotodokumentace lokality L9



Příloha č. 16 Letecký pohled a fotodokumentace lokality L10



Příloha č. 17 Letecký pohled a fotodokumentace lokality L11



Příloha č. 18 Letecký pohled a fotodokumentace lokality L12

