

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

VÝSKYT TĚŽKÝCH KOVŮ V BLÍZKOSTI DOPRAVNÍCH KOMUNIKACÍ V
BRNĚ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

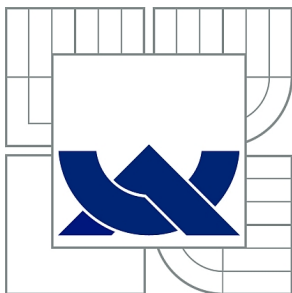
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

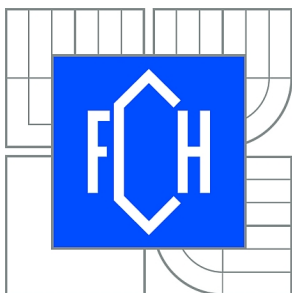
Bc. JAN BRZOBOHATÝ

BRNO 2011



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

VÝSKYT TĚŽKÝCH KOVŮ V BLÍZKOSTI DOPRAVNÍCH KOMUNIKACÍ V BRNĚ

PRESENCE OF HEAVY METALS IN VICINITY OF THE ROADS IN BRNO

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN BRZOBOHATÝ

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-DIP0581/2010	Akademický rok: 2010/2011
Ústav:	Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí	
Student(ka):	Bc. Jan Brzobohatý	
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:

Výskyt těžkých kovů v blízkosti dopravních komunikací v Brně

Zadání diplomové práce:

Stanovení obsahu těžkých kovů v půdních vzorcích odebraných v blízkosti dopravních komunikací v Brně. Posouzení kontaminace v okolí dopravních komunikací a zhodnotit vliv dopravních emisí na kontaminaci půd v Brně.

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. Jan Brzobohatý
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 zabývá zhodnocením výskytu rizikových kovů v půdách v okolí dopravních komunikací na území města Brna.

Bylo vybráno dvacet pět odběrových lokalit, které byly rozděleny do skupin dle dopravní zátěže, aby mohl být porovnán vliv dopravy na kontaminaci půd rizikovými kovy.

V půdních vzorcích byly stanovovány obsahy rizikových kovů (Cd, Hg, Pb, Zn, Cu, Ni) s využitím instrumentálních metod atomové absorpční spektrometrie. Olovo, zinek, měď a nikl byly stanoveny atomovou absorpční spektrometrií s plamenovou atomizací (F-AAS), kadmium atomovou absorpční spektrometrií s elektrotermickou atomizací (ET-AAS), rtuť byla stanovena instrumentací AMA 254.

ABSTRACT

Diploma thesis deals with the risk assessment of metals in soils near roads in the city of Brno.

For samples collection has been chosen twenty-five localities which were divided into five groups depending on the traffic load, in order to compare the impact of transport on the risk of soil contamination with metals.

In the soil samples were determined levels of six hazardous metals (Cd, Hg, Pb, Zn, Ni, Cu). Lead, zinc, nickel and copper were determined by the flame atomic absorption spectrometry (F-AAS), cadmium by the electrotermic atomic absorption spectrometry (ET-AAS) and mercury by the advanced mercury analyzer AMA 254.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rizikové kovy, atomová absorpční spektrometrie, F-AAS, ET-AAS, AMA 254, doprava, půda, kontaminace

KEYWORDS

Hazardous metals, atomic absorption spectrometry, F-AAS, ET-AAS transport, soil, contamination

BRZOBOHATÝ, J. *Výskyt těžkých kovů v blízkosti dopravních komunikací v Brně*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 88 s. Vedoucí diplomové práce Mgr. Helena Doležalová Weissmannová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. 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

Velké poděkování patří především vedoucí této práce, Mgr. Heleně Doležalové Weissmannové Ph.D., a to především za její obrovskou vstřícnost, pochopení, trpělivost a hlavně přehled, se kterým přispěla k této práci mnoha důležitými radami a podněty.

Velké díky si zaslouží také Ing. Andrea Debnárová, a to hlavně za její trpělivost a velký přínos a pomoc při analýze vzorků a zpracování výsledků.

OBSAH

1 ÚVOD	7
2 TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1 Česká republika	8
2.1.1 Obecné informace	8
2.2 Brno	8
2.2.1 Obecné informace	8
2.2.2 Geografie	8
2.2.3 Meteorologická charakteristika	9
2.2.4 Geologická charakteristika	9
2.2.5 Hydrologická charakteristika	10
2.2.6 Zdroje znečištění na území města Brna	10
2.3 Doprava	11
2.3.1 Vliv dopravy na životní prostředí	11
2.3.2 Charakteristika dopravní situace v Brně	12
2.4 Půda	18
2.4.1 Definice půdy	18
2.4.2 Půdy na území ČR	19
2.4.3 Index znečištění	20
2.5 Rizikové kovy	21
2.5.1 Chování rizikových kovů v půdní matrici	22
2.5.2 Limitní koncentrace rizikových prvků v půdách	22
2.5.3 Kadmium	24
2.5.4 Měď	25
2.5.5 Nikl	25
2.5.6 Olovo	26
2.5.7 Rtuť	26
2.5.8 Zinek	27
2.6 Metody stanovení rizikových kovů v půdní matrici	28
2.6.1 Vzorkování půd	28
2.7 Atomová absorpční spektrometrie	29
2.7.1 Instrumentace v AAS	29
2.7.2 Atomová absorpční spektrometrie s atomizací v plameni	30
2.7.3 Atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací	31
2.7.4 Analyzátor rtuti AMA-254	32
2.8 Statistické zpracování dat	32
2.8.1 Metoda kalibrační křivky	32
2.8.2 Meze detekce, meze stanovitelnosti	33
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	34
3.1 Vzorkování	34
3.1.1 Výběr lokalit pro odběr vzorku	34
3.1.2 Rozdělení lokalit odběru do skupin dle dopravní zátěže	38
3.1.3 Odběr a zpracování vzorků	39
3.1.4 Meteorologické podmínky odběru vzorků	39
3.2 Zpracování odebraných vzorků půdy	40
3.2.1 Stanovení sušiny	40

3.2.2	Příprava půdního extraktu	40
3.2.3	Stanovení pH půd	40
3.3	Analýza půdy a půdních extraktů	40
3.3.1	Stanovení rtuti v půdní matrici	40
3.3.2	Stanovení prvků v půdním extraktu (F-AAS)	42
3.3.3	Stanovení kadmia v půdním extraktu	42
3.3.4	Kalibrace přístrojů, meze detekce a meze stanovitelnosti	44
3.4	Použité chemikálie	47
3.5	Použité přístroje a zařízení	47
4	VÝSLEDKY A DISKUZE	48
4.1	Diskuze k výsledkům stanovení pH půd	48
4.2	Diskuze k výsledkům stanovení obsahu rtuti v půdní matrici	49
4.3	Diskuze k výsledkům stanovení obsahu mědi v půdním extraktu	50
4.4	Diskuze k výsledkům stanovení obsahu niklu v půdním extraktu	52
4.5	Diskuze k výsledkům stanovení obsahu olova v půdním extraktu	53
4.6	Diskuze k výsledkům stanovení obsahu zinku v půdním extraktu	54
4.7	Diskuze k výsledkům stanovení obsahu kadmia v půdním extraktu	56
4.8	Zhodnocení kontaminace lokalit (IPI)	57
5	ZÁVĚR	61
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	62
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	65
8	SEZNAM PŘÍLOH	66
9	PŘÍLOHY	67

1 ÚVOD

V dnešní době se ochrana životního prostředí stává vědeckou oblastí, na kterou je upírána ve značné míře pozornost veřejnosti, a to jak odborné, tak laické. Je již všeobecně známo, že některé látky jsou schopny se akumulovat ve složkách životního prostředí a organismech a následně zde negativně působit.

Na znečištění životního prostředí se mohou podílet jak organické, tak anorganické, přírodní či uměle vytvořené látky. Všechny tyto životnímu prostředí nebezpečné látky mohou být produkovány buď přírodními zdroji nebo vlivem činnosti člověka - antropogenními vlivy. Hlavní význam pro životní prostředí pak mají právě škodliviny antropogenního původu, protože si s nimi příroda nedokáže dost dobře poradit, zejména vyskytuje - li se jich ve složkách životního prostředí více, než je přirozené.

Produkce antropogenních polutantů se neustále zvyšuje ruku v ruce s rostoucí průmyslovou výrobou, využíváním hnojiv, přemírou využívání chemických přípravků všeho druhu, léků a také intenzitou dopravy.

Doprava, jako jeden z největších producentů polutantů, má na životní prostředí významný vliv. Rostoucí průmyslová výroba má za následek vyšší nároky na přepravní kapacitu materiálu a zboží. Z hlediska osobní přepravy se dá říct, že každá rodina dnes vlastní alespoň jeden automobil. Ze všech dopravních výzkumů v posledních letech vyplývá, že počet vozidel na silnicích roste. Nicméně s počtem vozidel rostou naštěstí také legislativní nároky na čistotu plynů produkovaných vozidly (což platí především pro nákladní dopravu).

V rámci této diplomové práce budou sledovány rizikové kovy, tedy antropogenní polutanty produkované především průmyslovou výrobou, zpracováním rud a dopravou. Proto také jejich nejvyšší koncentrace obvykle nalézáme v okolí průmyslových zón, komunikací a obecně ve velkých městech. Některé z těchto kovů patří mezi látky esenciální pro organismus, všechny však při překročení určitého množství (ať už ve složkách životního prostředí či organismech) představují vážné riziko.

První složkou životního prostředí zasaženou těžkými kovy bývá nejčastěji ovzduší. Stanovení rizikových kovů však není jednoduché vzhledem k měnícím se meteorologickým podmínkám. Z ovzduší se rizikové kovy dostávají spolu se srážkami do vod a půd. Ve vodách se vážou na sedimentující částice, v půdách se stávají součástí půdní matrice a následně mohou přecházet do rostlin či živočichů a tím se dostávat do potravních řetězců. Obsah, mobilita, biodostupnost a akumulace rizikových kovů v půdách závisí na mnoha faktorech (na vlastnostech půdy, pH, na přítomnosti organických látek, redoxním potenciálu nebo obsahu konkurenčních iontů).

Monitoring životního prostředí v rámci obsahu rizikových kovů v různých matricích probíhá neustále. Existuje mnoho různých metod, kterými se rizikové kovy s poměrně velkou přesností stanovují.

Trendem v problematice rizikových kovů jsou legislativní úpravy limitního obsahu rizikových prvků ve složkách životního prostředí a jejich postupné nahrazování jinými, k životnímu prostředí přívětivějšími, látkami.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Česká republika

2.1.1 Obecné informace

Česká republika je vnitrozemský stát ležící v mírném pásu severní polokoule ve střední části Evropy.

Rozloha České republiky je 78 865 km² a počet obyvatel je 10 506 813.

Státní hranice má Česká republika s Polskem v délce 761,8 km, Německem 810,3 km, Rakouskem 466,3 km a Slovenskem 251,8 km.

Na území ČR se nachází hlavní rozvodí oddělující povodí Severního, Baltského a Černého moře. Hlavní říční osy jsou v Čechách Labe s Vltavou, na Moravě řeka Morava s Dyjí a ve Slezsku Odra s Opavou.

Z hlediska fyzicko-geografického leží ČR na rozhraní dvou různých horských soustav. Západní a střední část ČR vyplňuje Česká vysočina, mající převážně ráz pahorkatin a středohory (Šumava, Český les, Krušné hory, Krkonoše, Orlické hory, Jeseníky). Do východní části státu zasahují Západní Karpaty.

Podnebí ČR se vyznačuje vzájemným pronikáním a míšením oceánských a kontinentálních vlivů. Je charakterizováno západním prouděním s převahou západních větrů, intenzivní cyklonální činností a poměrně hojnými srážkami. Přímořský vliv se projevuje hlavně v Čechách, na Moravě a ve Slezsku přibývá kontinentálních podnebních vlivů.

Velký vliv na podnebí ČR má nadmořská výška a reliéf. Z celkové plochy státního území leží 52 817 km² (66,97 %) v nadmořské výšce do 500 m, 25 222 km² (31,98 %) ve výšce 500 až 1 000 m a pouze 827 km² (1,05 %) ve výšce nad 1 000 m. Střední nadmořská výška České republiky je 430 m.

Rovněž flóra a fauna vyskytující se na území ČR svědčí o vzájemném pronikání hlavních směrů, kterými se v Evropě šířili živočichové a rostliny. Lesy, převážně jehličnaté, zaujímají 33 % celkové rozlohy ČR.

Také půdní pokryv se vyznačuje značnou variabilitou. Nejrozšířenějším typem půd v ČR jsou hnědé půdy [1, 2].

2.2 Brno

2.2.1 Obecné informace

Brno leží ve středu jižní Moravy a je krajským městem Jihomoravského kraje. S téměř 400 000 obyvateli je po Praze druhým největším městem České republiky.

Je centrem soudnictví (sídli zde Ústavní soud, Nejvyšší soud, Nejvyšší správní soud a Nejvyšší státní zastupitelství). Své sídlo má v Brně také veřejný ochránce práv.

V Brně působí jedna státní a pět veřejných vysokých škol se sedmadvaceti fakultami a šest soukromých vysokých škol. Počet studentů přesahuje 80 tisíc.

Díky ideální poloze ve středu Evropy a široké škále ubytovacích zařízení je Brno vyhledávanou destinací pro veletržní a kongresovou turistiku. Jeho poloha z něj dělá také významnou dopravní křižovatku [3].

2.2.2 Geografie

Brno leží v centrální části Evropy, na území České republiky a je jejím druhým největším městem. Zároveň představuje centrum Moravy.

Rozprostírá se na okraji Moravské brány, kudy po staletí vedly cesty spojující severní a jižní evropské civilizace. Brno je ze tří stran obklopeno zalesněnými kopci, na jih přechází

v rozsáhlou nížinu. Ze severu je město chráněno výběžky Dražanské a Českomoravské vrchoviny.

Město leží v údolí na řece Svatce a Svitavě v nadmořské výšce 190 - 425 m na ploše 230 km².

Po zeměpisné stránce je Brno součástí podunajského regionu a je historicky spjato s Vídní, která je odtud vzdálena pouze 110 km.

Geograficky se Brno nachází na 49°12' severní šířky a 16°34' východní délky [4].

2.2.3 Meteorologická charakteristika

Díky své poloze na rozmezí Českomoravské vysočiny a nížiny na jižní Moravě má město Brno rozsáhlé a rozmanité přírodní zázemí a příjemné klimatické podmínky.

Území Brna je dobře ventilováno, což zaručuje velmi dobrou kvalitu ovzduší.

V Brně nebyly dlouhodobě zaznamenány žádné klimatické kalamity [4].

Tabulka 1 Klimatologie města [4]

Klimatologie města	
Průměrná teplota (roční)	+ 9,4 °C
Absolutní maximální teplota (1952, 1957)	+ 36,2 °C
Absolutní minimální teplota (1920)	- 26,4 °C
Průměrné denní teploty v letním období (červen - srpen) dlouhodobý průměr	+ 17,8 °C
Průměrné denní teploty v zimním období (prosinec - únor) dlouhodobý průměr	- 1,0 °C
Průměrné množství srážek za rok	505 mm
Průměrný sluneční svit za rok	1 771 hodin
Průměrný počet dnů se srážkami	150 dnů
Převládající směry větrů	severozápadní

2.2.4. Geologická charakteristika

Při pohledu na geologickou mapu Brna a okolí můžeme určit, jaké horninové podloží převládá v jednotlivých částech a města a jeho nejbližším okolí (Obrázek 1).

Z geologické mapy je patrné, že na území města Brna převládá pískové, štěrkové, jílovité a hlinité podloží. V centru města a na severozápadě se nachází oblast dioritového podloží. Ze severovýchodu, severu a severozápadu je Brno oklopeno žulovým masivem. Geologické podloží obsahuje také menší oblasti, které jsou složené z dioritů a metadioritů. Tyto oblasti můžeme nalézt v těsném okolí Brna po všech stranách. Dále se v Brně vyskytují pískovcové oblasti, které se nalézají v centru města.



	Třetihorní písky, šterky, jílovité a hlinité podloží
	Žulový masiv
	Předprvohorní a prvohorní diority
	Diority, metadiority
	Prvohorní a devonské pískovce

Obrázek 1 Geologická mapa Brna a okolí s legendou [5]

2.2.5 Hydrologická charakteristika

Město Brno s jeho vodními toky, tedy s řekami Svatkou, Svitavou a Ponávkou, patří do povodí řeky Moravy. Řeky se postupně vlévají na území města do sebe. Nejprve Ponávka do Svitavy a pak Svitava do Svatky. Na Svatce je na severozápadě Brna vytvořena umělá nádrž, Brněnská přehrada, která slouží převážně k rekreačním účelům. V hrázi přehrady je umístěna vodní elektrárna.

2.2.6 Zdroje znečištění na území města Brna

Obecně bychom Brno mohli v rámci velkých měst naší republiky zařadit zřejmě mezi ty čistší, protože se zde nenacházejí žádné velké továrny či jiní znečišťovatelé (například v porovnání se slezskými a severočeskými městy).

V posledních padesáti letech mají hlavní vliv na znečišťování životního prostředí ve městě Brně výroba, doprava a také neorganizované a neodborné skládkování (tzv. černé skládky).

Pokud životní prostředí rozdělíme na složky, tedy na ovzduší, vodu a půdu, lze vysledovat hlavní znečišťovatele jednotlivých složek ve městě Brně.

Průmyslové škodliviny se dostávají do životního prostředí největší měrou přes ovzduší a následnou depozicí přecházejí do dalších složek životního prostředí. Mezi hlavní znečišťovatele ovzduší patří doprava, které je věnována celá kapitola této práce a dále několik průmyslových podniků, mezi ty největší patří Teplárny Brno, ABB Brno, spalovna SAKO Brno, Feramo, Královopolská strojírna - slévárna, Energzet, slévárna Heunisch.

Hospodaření s odpadními vodami na území města Brna a přilehlém okolí zajišťuje čistírna odpadních vod v Brně - Modřicích. Zpracovávají se zde jak odpadní vody z domácností, tak odpadní vody z průmyslu. Čistírna je od roku 2004 po rekonstrukci, takže splňuje moderní požadavky na kvalitu úpravy odpadních vod. Upravená voda je z čistírny vypouštěna do řeky Svatky.

Půda je kontaminována většinou přestupem kontaminantů z jiných složek životního prostředí nebo v důsledku havárií. Z ní se pak mohou nebezpečné látky dostávat dále do potravních řetězců, proto je nutné koncentrace škodlivin v půdách sledovat, a to hlavně v potenciálně ohrožených oblastech (okolí velkých průmyslových zařízení, pozemních komunikací, místa se zvýšeným pohybem osob atd.) [6, 7, 8].

2.3 Doprava

2.3.1 Vliv dopravy na životní prostředí

Doprava velmi významně ovlivňuje životní prostředí. Je jedno, zde se jedná o dopravu silniční, železniční, leteckou či lodní. Každý způsob dopravy má oproti jinému jisté výhody i nevýhody. Za největšího znečišťovatele lze však označit dopravu silniční, což vyplývá z dat v Ročenkách dopravy vydávaných Ministerstvem dopravy České republiky [9].

Mezi hlavní faktory ovlivňující životní prostředí způsobené silniční dopravou patří uvolňování emisí a tím i zhoršení kvality vzduchu a klimatu. Množství emisí z dopravy na území České republiky je zobrazeno v následujících tabulkách (Tabulka 2 a 3).

Tabulka 2 Celkové emise z dopravy [9]

Celkové emise z dopravy (tis. t)						
	2000	2005	2006	2007	2008	2009
CO ₂	12 252,00	18 191,00	18 514,00	19 629,00	19 033,00	19 093,00
CO	278,4	232,8	213,1	204,2	188,1	179,9
No _x	96,8	101,6	97,1	94,2	90,5	87,7
N ₂ O	1,4	2,4	2,5	2,5	2,4	2,4
Těkavé organické látky	60	47,3	42,3	40,5	35,6	33,9
CH ₄	1,8	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6
SO ₂	1,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6
Prachové částice	4,9	6,3	6,4	6,6	6,4	6,4
Pb	0,1	0	0	0	0	0

Tabulka 3 Emise olova za jednotlivé druhy dopravy [9]

Emise olova (Pb) za jednotlivé druhy dopravy (t)						
	2000	2005	2006	2007	2008	2009
Doprava celkem	67	1	1	1,1	1	1
Individuální automobilová doprava	58	1	1	1	1	1
Silniční nákladní doprava	7	0	0	0	0	0
Letecká doprava	2	0	0	0	0	0

Je zřejmé, že látky produkované silniční dopravou jsou pro životní prostředí nebezpečné, ať už se jedná o CO₂ způsobující skleníkový efekt, NO_x podílející se na tvorbě smogu a úbytku ozonové vrstvy, těkavé organické látky, které jsou svou toxicitou nebezpečné samy o sobě, SO₂ způsobující kyselou depozici v atmosféře a tedy kyselé deště, které se následně podílejí na poškozování flóry, rizikové kovy, ze kterých je nejvýznamnější Pb a dále Zn, Cr, Cu a Cd. Nemalou část emisí tvoří také pevné prachové částice uvolňované při provozu automobilů, které na sebe následně vážou ostatní polutanty a umožňují jejich transport.

S tímto aspektem vlivu dopravy na životní prostředí souvisí velmi úzce další významná věc, a to ovlivnění kvality vzduchu. Množství produkovaných plynů, jak již bylo zmíněno, má vliv na tvorbu smogových situací, uvolňování prachových částic může zase vést až k potížím s dýcháním atd.

Dalším velmi významným problémem pro životní prostředí je hluk. K popisu hlukové zátěže jednotlivých oblastí slouží tzv. hlukové mapy. V místech, kde je úroveň hluku vysoká, je třeba přistupovat k omezení hlučnosti. Nástrojem pro omezení hlučnosti mohou být například protihlukové bariéry, zákazové značky nebo omezení rychlosti (tento způsob byl nedávno zkoušen na Pražském městském okruhu, výsledky zatím nejsou známy).

Mezi další negativní vlivy dopravy na životní prostředí patří ovlivnění povrchových a podpovrchových vod. Jedná se především o riziko kontaminace vod ropnými látkami.

Významný je také samozřejmě vliv na kvalitu půd, protože částice uvolněné z dopravy do ovzduší se s vysokou pravděpodobností mohou dostat a také dostávají do půdy, kde se různými způsoby vážou a degradují tak půdy. Toxicitě a chování rizikových kovů v půdách bude věnována samostatná kapitola této práce.

Nemalý význam na životní prostředí má také zábor půdy při budování nových komunikací. S tím je spojeno odlesňování, které může mít vliv jak na půdu (může způsobovat půdní erozi) tak na biodiverzitu, určité druhy organismů mohou ztratit své přirozené podmínky pro život. To znamená, že doprava ovlivňuje také biodiverzitu. A není to jen zábořem půdy a odlesňováním, ale také liniovou povahou staveb, které mohou rozdělit určité oblasti a tím zamezit organismům v přirozené migraci. U moderních liniových staveb dochází již k budování biokoridorů, aby ovlivnění životního prostředí nebylo tak výrazné [6, 10].

2.3.2. Charakteristika dopravní situace v Brně

Jihomoravský kraj patří z dopravního hlediska k nejvýznamnějším oblastem České republiky, což se projevuje především v jeho centru, tedy ve městě Brně [11].

V následující tabulce (Tabulka 4) je základní přehled o ploše vozovek a přilehlé infrastruktury v Brně.

Řešení komunikačního systému města Brna vychází ze zásad rozvoje tohoto systému schválených Zastupitelstvem města Brna v rámci územního plánování města. Systém je charakterizován třemi stupni ochrany města před negativními důsledky vnější i vnitřní automobilové dopravy (Obrázek 2).

I. stupeň ochrany - na vjezdu do města vede tranzitní vnější dopravu a vnější tangenciální vztahy. Tvoří ho dálnice D1, D2, rychlostní komunikace R52 na Vídeň a R43 na Svitavy.

II. stupeň ochrany - tvoří okruh komunikací (velký městský okruh - VMO), který lemuje vnitřní část města. VMO rozvádí vnější dopravu a vede vnitroměstské tangenciální vztahy při vyloučení tranzitní dopravy.

III. stupeň ochrany - tvoří okruh komunikací, které lemují centrální historickou zónu města. Slouží k rozvádění vnitroměstské dopravy a obsluze centra města. Je přípustný pro omezenou tonáž vozidel [12].

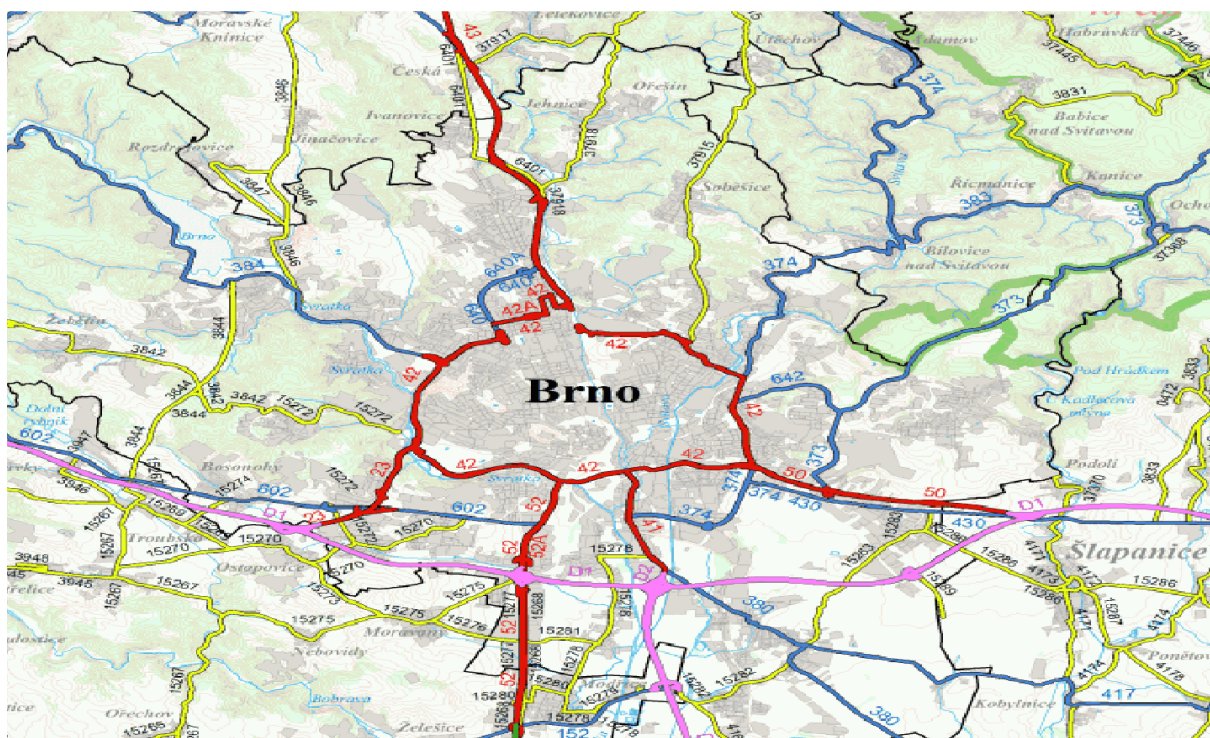
Tabulka 4 Dopravní vybavení na území města Brna [11]

Dopravní vybavení na území města Brna	
Plocha vozovek	7 910 677 m ²
Plocha chodníků	3 681 535 m ²
Počet mostů (včetně lávek, podchodů)	304 ks
Tunely	3 ks
Silniční zeleň	330 ha
Délka komunikační sítě na území města Brna	960,5 km
Z toho silnice I. třídy v majetku státu	41 km
Z toho silnice II. a III. třídy v majetku JmK	113 km
Místní komunikace v majetku Brna	806,5 km



Obrázek 2 Dopravní trasy pro ochranu zastavěného území města před dopravou [12]

V Brně dochází ke křížení páteří české dálnice D1, která Brnem prochází směrem od Prahy a pokračuje dále na Olomouc, Ostravu a k polským hranicím. Na dálnici D1, která tvoří v podstatě obchvat Brna po celé jeho jižní straně, navazují další velmi frekventované komunikace, ať už se jedná o dálnici D2 směrem na Bratislavu či o rychlostní komunikaci R52 směrem na Vídeň. U rychlostní komunikace R52 je plánována přestavba na rychlostní komunikaci po celé trase v rámci České republiky a počítá se s jejím napojením na rakouskou dálnici A5, která je již z větší části od Vídně až k českým hranicím dostavěna. Vytvoří se tím odpovídající spojení Brna a Vídně, které má kořeny sahající hluboko do historie. Na druhou stranu dokončení tohoto projektu způsobí nepochybně nárůst tranzitní dopravy ve městě Brně. Dokončení projektu je však plně otazníků vzhledem ke sporům o územní plán a trasu plánované dálnice.



Obrázek 3 Mapa silniční a dálniční sítě v Brně a okolí [13]

Dalšími významnými a frekventovanými komunikacemi na jižní straně Brna jsou silnice první třídy I/41, která odvádí dopravu z VMO ke křížení dálnic D1 a D2 a také silnice první třídy I/23, která také odvádí dopravu z VMO na dálnici D1 a na ostatní komunikace směrem na Rosice, Náměšť nad Oslavou a Třebíč.

Na západě Brna se dá VMO opustit rychlostní komunikací R50, takzvanou Židenickou radiálou, která se napojuje v brněnské městské části Šlapanice na D1.

Další významnou komunikací je rychlostní silnice R43 vedoucí ze severní části Brna směrem na Svitavy a dále až k polským hranicím. Označení R43 má tato komunikace pouze na území města Brna, dále se nejedná o rychlostní komunikaci, ale o silnici první třídy I/43, která však v současnosti nevyhovuje dopravní zátěži díky své nízké kapacitě a také nedostatečné kvalitě.

V současnosti se počítá s propojením silnice I/52 a I/43, s tím, že I/43 bude přebudována na R43 tak, aby dokázala zvládnout současné kapacitní požadavky. Plánování tohoto projektu

je řešeno již několik let, výsledek je však stále v nedohlednu kvůli sporům o trasu komunikace v okolí Brna.

Popsané komunikace na území města jsou znázorněny v předchozí mapě (Obrázek 3), která, ač je ze zdrojů Ministerstva dopravy, není zcela aktuální, proto se popis komunikací mírně liší. Na mapě jsou zobrazeny dálnice fialovou barvou, rychlostní silnice modrou, silnice I. třídy červenou, II. třídy zelenou a silnice III. třídy žlutou [13, 14, 15].

Významnou rychlostní komunikací na území města Brna je také velký městský okruh (VMO, Obrázek 4), který tvoří přirozený obchvat celého Brna a převádí dopravu z opačných směrů Brna bez toho, aby se vozidla dostávala do centra města. VMO má označení jako rychlostní komunikace R42.



Obrázek 4 Velký městský okruh Brno [14]

V rámci VMO probíhá v posledních letech mohutná výstavba, která tento okruh modernizuje a dobudovává. Probíhá dostavba chybějících částí a úprava částí stávajících tak, aby se okruh stal moderní a bezpečnou součástí dopravního systému nejen města Brna, ale celého Jihomoravského kraje.

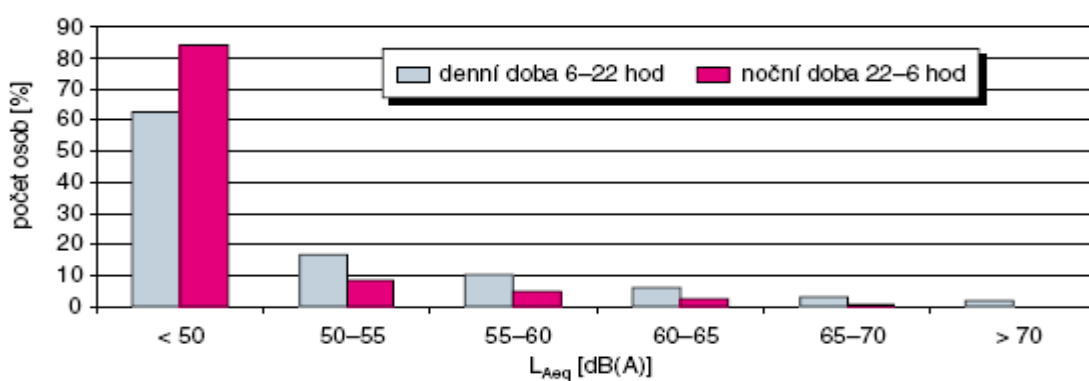
Výstavba se týká prozatím především západní části VMO, kde byla roku 2007 dokončena mimoúrovňová křižovatka Hlinky, tunel Pisárky, tunel Hlinky, následovala modernizace křižovatky Výstaviště a v současné době probíhá ražba Královopolského tunelu (někdy

nazývaného jako Dobrovského tunel) a výstavba na něj navazujících křižovatek, tedy křižovatky Svitavská radiála (napojení na R43) a křižovatky Hradecká [14].

Pro popis intenzity dopravy v jednotlivých částech města Brna mohou být použity hlukové mapy či konkrétní čísla z databáze ŘSD ČR a Magistrátu města Brna, Odboru dopravy.

Při použití hlukové mapy pro popis intenzity dopravy bychom museli předpokládat závislost hluku na intenzitě dopravy, což je celkem rozumné a jak je patrné z následujících hlukových map, tak i vhodné. Při tvorbě hlukových se jako dominantní uplatňují silniční a kolejová (v Brně tramvajová a částečně i železniční) doprava, letecká a další druhy dopravy mají pouze lokální význam [6].

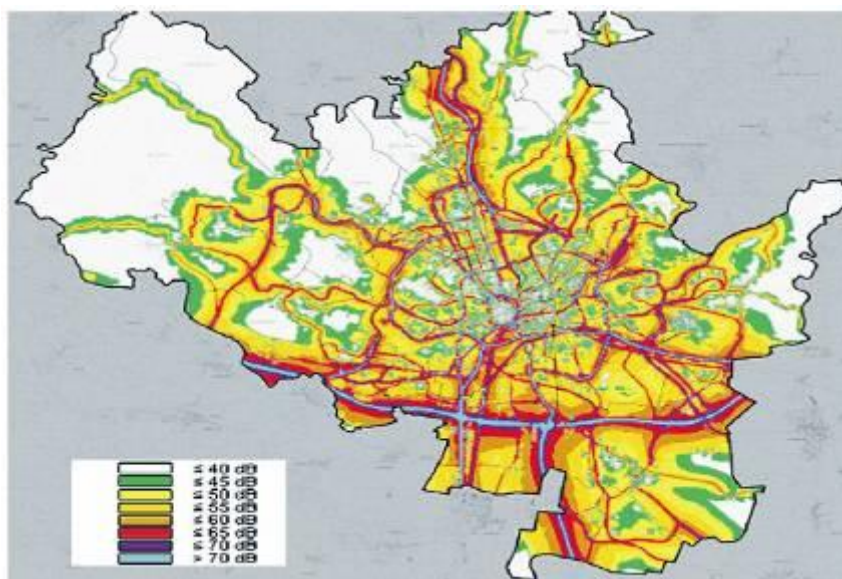
Hlukové mapy jsou důležitou součástí dopravního výzkumu vzhledem k negativnímu vlivu hluku na lidské zdraví. Následující Graf 1 ukazuje odhady počtu osob v Brně zasažených hlukem z dopravy.



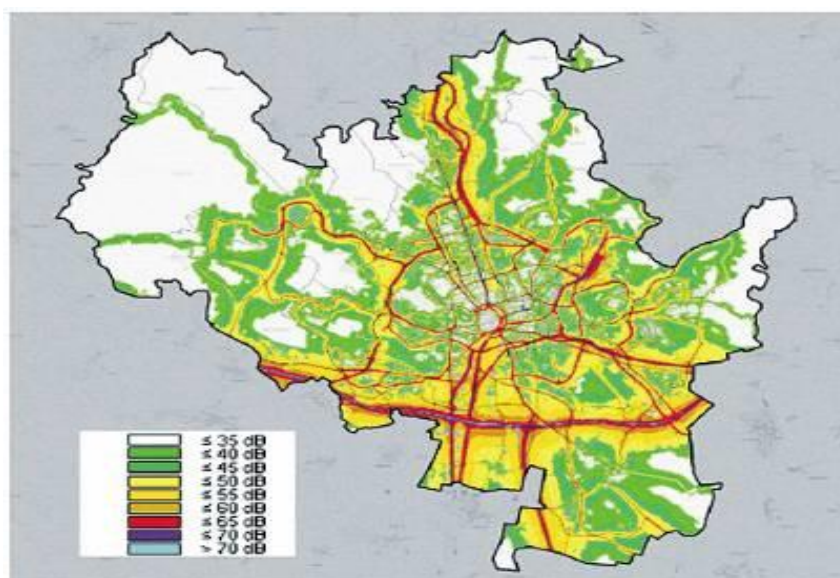
Graf 1 Odhad počtu osob v Brně zasažených hlukem z pozemní dopravy [6]

Zátěž je vyjádřena počtem osob (v procentech) vystavených jednotlivým pětidecibellovým hlukovým pásmům ekvivalentní hladiny akustického tlaku L_{Aeq} v denní a noční době. Vyhodnocení je provedeno ve vztahu k celkovému počtu obyvatel města Brna (100 % exponovaných osob).

Výsledkem hlukového modelování expozice denním a nočním hlukem v městě Brně je hluková mapa pozemní dopravy města Brna (Obrázky 5 a 6), která byla zhotovena v roce 2005 jako zadání Magistrátu města Brna a je tak prvním uceleným podkladem pro kvantitativní vyhodnocení počtu obyvatel zasažených hlukem [6].



Obrázek 5 Hluková mapa pozemní dopravy města Brna – denní doba [6]



Obrázek 6 Hluková mapa pozemní dopravy města Brna – noční doba [6]

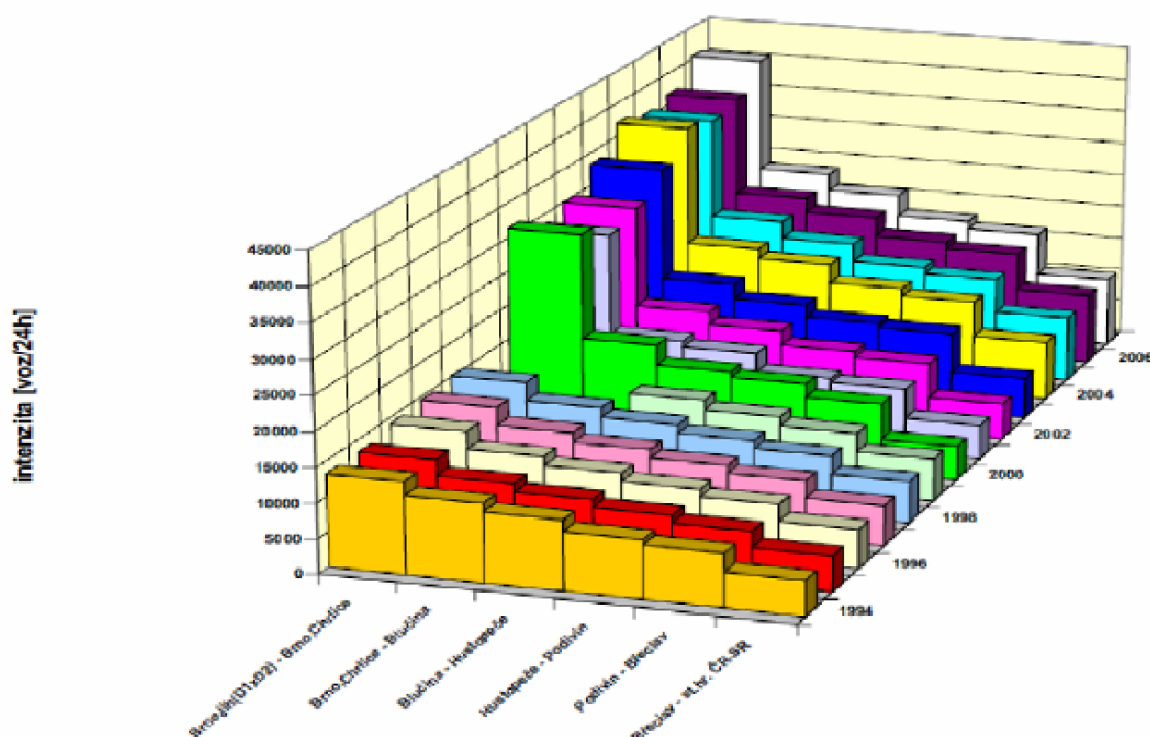
Intenzitu dopravy lze stanovit také přímým způsobem, tedy sčítáním počtu automobilů, které projedou určitým bodem pozemní komunikace za určitý časový úsek.

Měření intenzity dopravy se provádí buďto dopravními průzkumy nebo sběrem dat ze stanic automatického sčítání dopravy. Od roku 2007, tedy od zavedení mýtného systému u vozidel nad 12 tun, lze intenzity těžkých vozidel zjišťovat i touto cestou.

Dle dat Ředitelství silnic a dálnic České republiky se intenzita dopravy na dálnici D1 v okolí Brna pohybovala v roce 2006 na úrovni mezi 40 až 60 tisíci vozidly za den, vyšší intenzita se vyskytuje v rámci České republiky pouze na úseku D1 před Prahou. Graf s intenzitou dopravy mezi lety 1994 a 2007 je přiložen v přílohové části této práce (Příloha 1).

Ze stejných dat pochází také následující Graf 2 s popisem intenzity dopravy na další brněnské dálnici, tedy na D2. Jedná se opět o data z let 1994 až 2007. Intenzita dopravy není

tak vysoká jako v případě D1. Na začátku dálnice, tedy v Brně, se však v roce 2006 také přehoupla přes 40 000 vozidel za den. S rostoucí vzdáleností od Brna pak intenzita dopravy klesá [16].



Graf 2 Intenzita dopravy na D2 [16]

U údajů z obou dálnic se dá však počítat s nárůstem hodnot mezi lety 2007 a 2010, 2011. Nejnovější data se pro tuto práci nepodařilo získat, ale z předchozích dat i z výzkumu a plánu ŘSD ČR se dá počítat s tím, že intenzita dopravy ve sledovaných úsecích vzrostla [16].

2.4 Půda

2.4.1 Definice půdy

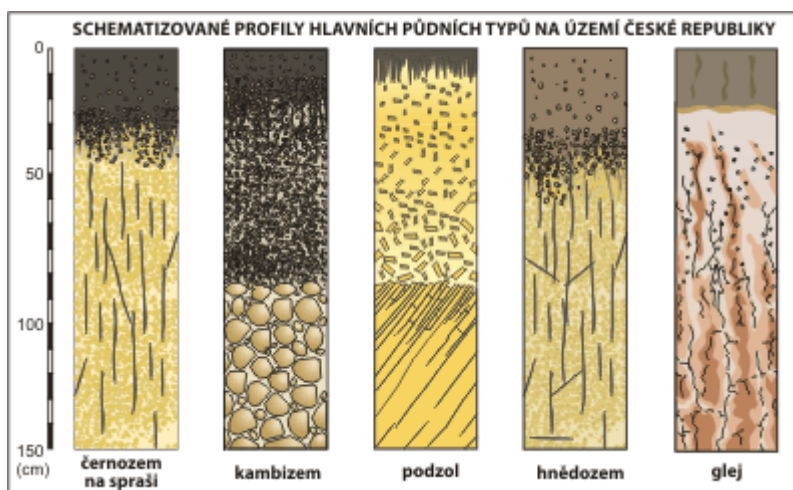
Obecná a všeobecně známá definice půdy je, že se jedná o nejsvrchnější část zemské kůry, která byla vytvořena a je stále vytvářena postupným rozpadem hornin (ať už jde o rozpad zvětráváním, biologickými činiteli atd.). Vznik půd je nazýván pedogeneze.

Půda je soubor anorganických i organických látek, půdního vzduchu, půdní vlhkosti a organismů. Souhrn všech půd na daném území je označován jako pedosféra.

Půda plní několik velmi důležitých funkcí v rámci životního prostředí. Určuje řadu biologických i nebiologických přírodních cyklů, ovlivňuje atmosférické podmínky, reguluje hydrologické poměry v krajině, tvoří základ potravního řetězce, tlumí nepříznivé vlivy (filtrační, pufovací a transformační funkce) a funguje také jako receptor škodlivin.

Vertikální řez půdou a jejím bezprostředním podložím se nazývá půdní profil. V něm se dále rozeznávají různé půdní horizonty (A-horizont, neboli eluviální, je horizont, ve kterém nastává intenzivní vyluhování, svrchní část tohoto horizontu obsahuje velké množství organických látek a je silně vyluhovaná, spodní část A-horizontu neobsahuje tolik organických, je však nejvíce vyluhovanou částí. B-horizont, iluviální, je složen převážně

z jílovitých částic. Hromadí se v něm látky vyluhované z A-horizontu. C-horizont je rozpadlá, ale málo pozměněná matečná hornina a D-horizont je původní matečná hornina.) [17, 18, 23]



Obrázek 7 Schematizované profily hlavních půdních typů na území České republiky [17]

2.4.2 Půdy na území ČR

Pro popis půd na území ČR byly použity tzv. referenční třídy půd, což jsou skupiny půd přejaté ze zahraničních klasifikačních systémů a umožňující klasifikaci půd na území ČR. Půdy jsou rozděleny dle hlavních rysů jejich geneze [19].

Referenční třídy půd:

Leptosoly: Půdy vytvářející se z rozpadů pevných či zpevněných hornin či jejich bazálních souvrství, vyznačující se výraznou skeletovitostí již ve svrchních 0,5 m až i mělkostí profilu. Mohou mít pouze několik typů horizontů svérázné akumulace organických látek v omezeném podílu jemnozemě.

Regosoly: Půdy vzniklé z nezpevněných sedimentů, zejména z písků a štěrkopísků, avšak i z jiných substrátů, postrádající výrazný kambický horizont. Mají pouze běžné horizonty akumulace organických látek.

Fluvisoly: Půdy bez výrazných diagnostických horizontů, s fluvickými diagnostickými znaky, vzniklými periodickým usazováním (alespoň v minulosti) sedimentů, jehož důsledkem je nepravidelné nebo zvýšené množství humusu do hloubky 1 m, někdy i zvrstvení půdního profilu.

Vertisoly: Půdy s vertikálními diagnostickými znaky, projevujícími se u těžkých půd ze smektitických jílu (vyskytujících se v sušších oblastech) tvorbou hlubokých, otevřených trhlin v suchých obdobích a tvorbou klínovitých pedů. V podmínkách ČR mají hluboký tmavý humusový horizont.

Černosoly: Půdy s mocným (0,4 - 0,6 m) černickým humusovým horizontem s drobtovou až zrnitou strukturou, v modálním subtypu černozemě s kalcickým horizontem, vyvinuté ze sypkých karbonátových substrátů.

Luvisol: Půdy s diagnostickým horizontem (argi)luvicím, méně či více výrazným horizontem eluviace jílu.

Kambisol: Půdy s výrazným braunifikovaným či pelickým diagnostickým horizontem, vytvořeným v hlavním souvrství svahovin z přemístěných zvětralin pevných či zpevněných hornin či v analogickém souvrství jiných substrátů, se širokou škálou zrnitosti, vyluhování

a acidifikace, s možností výskytu všech typů nadložního humusu a několika typů humózních horizontů.

Podzosoly: Půdy se spodickými diagnostickými horizonty, buď kyprými neiluviálními, či iluviálními. Silně nenasycené v celém sólu a vysoce nasycené hliníkem, mají výraznou tendenci k vytváření surového humusu.

Stagnosoly: Půdy semihydromorfní, s výrazným redoximorfním mramorovaným horizontem v důsledku povrchového periodického převlhčení v hloubce do 0,5 m; výraznost mramorování do hloubky klesá. Možnost tvorby hydrogenních forem nadložního humusu a humózního hydrogenního až histického horizontu. Široké rozmezí nasycenosti sorpčního komplexu.

Glejsoly: Půdy s výrazným reduktomorfním diagnostickým glejovým horizontem v hloubce do 0,5 m v důsledku dlouhodobého provlhčení podzemní, ale i povrchovou vodou ze svahových pramenišť, při výskytu vrstvy s malou hydraulickou vodivostí při povrchu, při laterálním proudění i s hydroeluviálním horizontem.

Natrisoly: Půdy s natrickým horizontem se sloupkovitou strukturou ve svrchní části nebo nasyceností sorpčního komplexu do 50 cm sodíkem nad 15 %, často s albickým horizontem.

Salisoly: Půdy s výraznými znaky zasolení, se salickým diagnostickým horizontem a s obsahem rozpustných solí, vyvolávajícím vodivost nasyceného extraktu.

Organosoly: Půdy s holorganickými, hlavně rašelinnými horizonty o mocnosti nad 50 cm, nad pevnou skálou nad 30 cm

Antroposoly: Půdy vzniklé buď výraznou modifikací půdních horizontů kultivačními, melioračními opatřeními, pohřbením původních půdních horizontů nebo půdy vzniklé z přemístěných materiálů [19].

2.4.3 Indexy znečištění půd

Index znečištění (Pollution Index - PI) udává stupeň znečištění vzhledem ke všem stanovovaným kovům obsaženým v půdě. Získáme jej výpočtem podílu průměrných koncentrací kovů a jejich limitními koncentracemi kovů v půdách, které jsou dány vyhláškami či zákony odpovědných státních institucí. Rozšířením PI je možné získat Integrovaný index znečištění (IPI), což je v podstatě součet jednotlivých indexů znečištění v rámci většího souboru dat [20, 21, 22].

Výpočet se provádí na základě následujícího vztahu (1)

$$IPI = \frac{1}{n} \left(\frac{M_1}{TL_1} + \frac{M_2}{TL_2} + \dots + \frac{M_n}{TL_n} \right) \quad (1)$$

kde M_1 , M_2 až M_n představují průměrné koncentrace polutantních kovů, TL_1 , TL_2 až TL_n jsou limitní koncentrace pro každý kov a n je počet sčítaných polutantů [20, 21, 22].

Klasifikační stupnice pro indexy znečištění je znázorněna v následující tabulce (Tabulka 5) [20, 22].

Tabulka 5 Hodnoty PI a IPI s odpovídající úrovní kontaminace [20, 22]

PI		IPI	
Hodnota	Úroveň kontaminace	Hodnota	Úroveň kontaminace
< 1	velmi nízká	< 1	velmi nízká
1 < PI < 3	střední	1 < IPI < 2	střední
PI > 3	vysoká	IPI > 2	vysoká

2.5 Rizikové kovy

Rizikové kovy jsou známy prakticky již od starověku, kdy v době okolo 2 000 let před naším letopočtem nalézáme první zmínky o olovu, ve starém Egyptě se objevují zmínky o arsenu atd. Některé kovy však byly objeveny mnohem později. Například kadmium bylo poprvé objeveno jako samostatný prvek až v roce 1817.

Rizikové kovy se tedy pohybují v ekosystémech už od pradávna, mají však tu špatnou vlastnost, že jsou schopné se v některých částech ekosystému kumulovat (např. v půdách či organismech). S mobilitou kovů úzce souvisí rozpustnost sloučenin, ve kterých se vyskytují, ve vodě. Čím tedy bude sloučenina s obsahem kovu rozpustnější, tím bude kov mobilnější v rámci životního prostředí. Důležitou roli hraje také rozpustnost sloučenin kovů v kyselinách (v kyselině sírové a dusičné), které se přirozeně vyskytují v životním prostředí.

Toxicita celé skupiny souvisí samozřejmě s dosažením určité prahové koncentrace, za kterou již kovy mají negativní vliv na organismy. Na druhou stranu je řada kovů ve stopových koncentracích pro život organismů nezbytná.

Ke kovům patří asi 80 prvků periodické soustavy, z nichž je asi 30 označováno za kovy toxické, nověji rizikové případně těžké. Ekotoxikologická terminologie upřednostňuje výraz rizikové kovy, pokud se jedná o kovy, které jsou nějakým způsobem nebezpečné pro životní prostředí. Do této skupiny patří měď, zinek, kadmium, rtuť, olovo, chrom, nikl, mangan a železo, k nim mohou být přidány i polokovy selen a arsen.

Rizikové kovy jsou mnohostranně využívanou skupinou prvků jak v průmyslu, tak v zemědělství, takže zdrojů i možností úniků ze zdrojů do životního prostředí existuje velké množství. Zřejmé však je, že většina rizikových kovů se do životního prostředí dostává důsledkem antropogenních činností. Mezi hlavní producenty rizikových kovů patří průmyslová odvětví zabývající se zpracováním rud, spalováním fosilních paliv či používáním průmyslových hnojiv.

Pokud se kovy dostanou do lidského organismu, dochází k jejich ukládání v orgánech, což může způsobit značné zdravotní komplikace. Vstup do organismu probíhá především přes dýchací či trávicí ústrojí a kůži. Ionty kovů jsou pak tělem vstřebávány a po určité době pronikají do krve, odkud jsou transportovány na místa, kde se pak v organismu ukládají [22].

V rámci pohybu rizikových kovů v organismu je důležitý biologický poločas, což je doba, za kterou je tělo schopné vyloučit polovinu naakumulovaného množství látky (u arsenu, chromu či kobaltu jsou to hodiny až dny, u kadmia a olova se jedná o 20 až 30 let). Biologický poločas je ovlivněn také formou, ve které se kov do těla dostal.

Když se rizikové kovy do organismu dostanou a překročí prahové hodnoty, začíná se projevovat nepříznivý efekt způsobený toxicitou těchto kovů. Toxické účinky rizikových kovů jsou mnohostranné, záleží také samozřejmě na mnoha okolnostech, ať už na době expozice, dávce, fyziologických vlastnostech organismu a dalších. Rizikové kovy mohou

způsobovat zažívací potíže, dermatitidy, změny krevního obrazu, poškozovat orgány (játra, ledviny, mozek), mohou být karcinogenní... Velikým nebezpečím je schopnost akumulace kovů v různých tkáních organismů. Například ionty olova a kadmia se mohou akumulovat v kostech a jejich biologický poločas je pak velmi dlouhý.

Veliký rozdíl je mezi toxicitou organických a anorganických sloučenin rizikových kovů, a to jak v kvalitě, tak v intenzitě působení. Organokovové sloučeniny patří k nejtoxičtějším látkám vůbec, což je dáno jejich lipofilním charakterem, který jim tak umožňuje snadný přechod přes buněčné membrány.

Akutní intoxikace sloučeninami rizikových kovů bývají obvykle dány profesí intoxikovaných. Jedná se především o poškození plic, kůže či problémy zažívacího ústrojí.

Chronické otravy většinou znamenají větší potíže pro organismus. Jsou obvykle způsobeny akumulací kovů v tkáních. Jedním z nejzávažnějších chronických účinků je karcinogenita [23].

2.5.1 Chování rizikových kovů v půdní matrici

Rizikové kovy, stejně jako jiné skupiny látek, se mohou v půdě vázat pomocí tří základních typů vazeb, které se pak dělí na další podskupiny. Základní druhy vazeb polutantů v půdách jsou fyzikální, chemické a biologické vazby.

Fyzikální způsoby vazby polutantů se dále dělí na sorpci, iontovou výměnu a změnu produktů rozpustnosti. Chemické rozdělujeme na kovalentní nebo chelátové vazby, iontové vazby, organické látky a srážecí reakce. Biologické způsoby vazby se dělí na zabudování nízkomolekulárních organických molekul do málo reaktivních makromolekul.

Mobilita prvků v půdách je pak určena vztahy mezi sorpčními procesy (na jílech, humusu, hydratovaných oxidech) a hydrotermickými podmínkami sledované lokality (včetně půdní mikroflóry) [24].

2.5.2 Limitní koncentrace rizikových prvků v půdách

Limitní koncentrace rizikových prvků jsou popsány pro zemědělské půdy ve vyhlášce 13/1994 Sb. ve znění pozdějších předpisů (Tabulka 6).

Tabulka 6 Maximálně přípustné hodnoty rizikových prvků v zemědělských půdách [25]

Prvky	Maximálně přípustné hodnoty [mg.kg ⁻¹ sušiny]	
	lehké půdy	ostatní půdy
Be	2	2
Cd	0,4	1
Co	10	25
Cr	40	40
Cu	30	50
Hg	0,6	0,8
Mo	5	5
Ni	15	25
Pb	50	70
V	20	50
Zn	50	100

Hodnoty se vztahují k výluhu 2M HNO₃ (kromě rtuti, kde se jedná o extrakci lučavkou královskou, poměr půdy ku vyluhovačce je 1:10, analytický postup při této práci byl shodný s podmínkami této vyhlášky) [25].

Údaje v Tabulce 6 neplatí pro organické půdy.

Lehkými půdami se rozumí písčité a hlinitopísčité půdy podle analytické metody prof. Nováka (Komplexní metodika výživy rostlin č. 1/1990, vydaná Ústavem vědeckotechnických informací v zemědělství Praha).

K obsahu rizikových prvků v půdách [mg.kg⁻¹]: Uvedené údaje platí pro směsné vzorky získané z horní vrstvy vyšetřovaných minerálních půd v tloušťce 0,25 m, vysušené na vzduchu do konstantní hmotnosti [25].

Dalším, zřejmě směrodatnějším a důležitějším kritériem pro porovnání naměřené kontaminace půd na území města Brna se zákonnými normami je porovnání s „Kritérii znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31. července 1996“.

Tento metodický pokyn udává troje limitní hodnoty pro stanovené kontaminanty v půdách v závislosti na lokalitě výskytu půd. Limitní hodnoty jsou zobrazeny v Tabulce 7.

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.

Překročení kritérií B 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.

Překročení kritérií C 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 uvedená kritéria C. Nezbytným podkladem pro rozhodnutí o způsobu nápravného opatření jsou mimo analýzu rizika studie, které zhodnotí technické a ekonomické aspekty navrženého řešení.

Hodnoty v následující Tabulce 7 představují celkové obsahy rizikových prvků v půdách (při rozkladu lučavkou královskou za varu, hodnota u Pb v kritériu A může být i vyšší ve velkých městských aglomeracích a oblastech s intenzivní automobilovou dopravou) [26].

Tabulka 7 Limitní hodnoty pro stanovené kontaminanty v půdách [26]

Kovy	Zemina				
	A	B	C - obytná	C - rekreační	C - průmyslová
	mg.kg ⁻¹ sušiny				
As	30	65	70	100	140
Ba	600	900	1 000	2 000	2 800
Be	5	15	20	25	30
Cd	0,5	10	20	25	30
Co	25	180	300	350	450
Cr celkem	130	450	500	800	1 000
Cr⁸⁺	2	12	20	25	50
Cu	70	500	600	1 000	1 500
Hg	0,4	2,5	10	15	20
Mo	0,8	50	100	160	240
Ni	60	180	250	300	500
Pb	80	250	300	500	800
Sb	1	25	40	50	80
Sn	15	200	300	400	600
V	180	340	450	500	550
Zn	150	1 500	2 500	3 000	5 000

2.5.3 Kadmium

Kadmium, v periodické tabulce prvků pod značkou Cd, je měkký stříbrolesklý kov.

Kadmium bylo objeveno v roce 1817 německým chemikem Friedrichem Strohmeyerem. Protonové číslo kadmia je 48, atomová hmotnost 112,411 amu, teplota tání je rovna 320,9 °C a teplota varu 765,0 °C. Hustota kadmia je 8,65 g.cm⁻³. Jeho nejběžnějším oxidačním stavem je stav +2, může se ale také vyskytovat ve stavu +1.

V přírodě často doprovází zinek v jeho sloučeninách, na rozdíl od něj však nepatří mezi esenciální prvky a je velmi toxické. Kadmium se vyskytuje jako součást emisí při sopečných erupcích, což je nejvýznamnějším přírodním zdrojem kadmia, emise antropogenní jsou však zhruba osmkrát větší.

Kadmium se do ovzduší dostává při jeho těžbě a zpracování rud, spalování fosilních paliv a odpadů. Do vod se kadmium dostává výluhem z půd a také z odpadních vod z výroby baterií a galvanického pokovování. Výskyt kadmia v půdách je způsoben především atmosférickou depozicí a kontaminací tekutými a pevnými odpady a také hnojením průmyslovými hnojivy s obsahem kadmia.

V ovzduší se kadmium může vázat na prachové částice, se kterými je pak schopno urazit velké vzdálenosti a následnou depozicí kontaminovat půdy či vody. V půdě se pak kadmium váže na půdní a jílovité částice, ze kterých se může vymýt a kontaminovat tak vodní prostředí. Kadmium je velmi nebezpečné hlavně z důvodu schopnosti bioakumulace v některých organismech (sója, pšenice, houby, tabák), čímž se dostává do potravních řetězců.

V rámci lidského organismu je kadmium schopné nahrazovat zinek v biochemických strukturách, čímž dochází ke změnám jejich funkce. Cílovým orgánem kadmia v lidském těle

jsou ledviny, kde dochází k jeho bioakumulaci. Detoxikace je pomalá a tak hrozí chronické otravy. Je dokázán také vliv kadmia na kosterní systém, játra, plíce a zažívací ústrojí. Kadmium patří také mezi pravděpodobné karcinogeny a je teratogenní [7, 23, 27].

2.5.4 Měď

Měď, jejíž chemickou značkou je Cu, je kov načervenalé až červenohnědé barvy. Jejími hlavními charakteristikami je dobrá tepelná i elektrická vodivost, kujnost a tažnost.

Měď je používána již od starověku ve formě bronzu (slitina mědi a cínu). Její protonové číslo je 29, atomová hmotnost odpovídá 63,546 amu, měď taje při 1 083 °C a vaří při 2 567 °C. Hustota mědi je 8,96 g.cm⁻³. Ve sloučeninách se vyskytuje převážně s oxidačním číslem +2 či +1.

Měď je jako prvek na zemi poměrně vzácná a volně se vyskytuje pouze v několika málo nalezištích. Ve větší míře se měď vyskytuje ve sloučeninách jako sulfid.

Do ovzduší se dostává především při zpracování rudy a spalování fosilních paliv, okrajově pak přírodními pochody (zvětrávání, sopečné erupce, lesní požáry). Do půdy a vod pak měď přechází atmosférickou depozicí nebo z odpadních vod vznikajících při úpravě kovů. V půdě je měď silně vázána na organické sloučeniny a jílovité částice, což vede k její akumulaci v horních vrstvách pedosféry.

Měď patří mezi esenciální prvky. Pro mnoho živočichů a rostlin je nezbytnou součástí života, ve vyšších koncentracích může být však velmi toxická pro vodní organismy. Je například součástí hemocyaninu (obdoba hemoglobinu) u některých měkkýšů a členovců.

V lidském těle je součástí některých enzymů (např. tyrosinasy) a podporuje činnost některých oxidativních enzymů. Je také důležitá pro metabolismus železa v těle. Vyšší koncentrace však mohou vést ke zdravotním obtížím. Měď je schopna se v lidském těle akumulovat, a to především v játrech a kostní dřeni. Vyšší dávky mohou způsobit potíže s trávením, poškození jater, ledvin a anemii [7, 23, 27].

2.5.5 Nikl

Nikl - chemická značka Ni, je bílý, feromagnetický, kujný a tažný kov. Je poměrně dobře elektricky a tepelně vodivý.

Nejstarší předměty ze slitin niklu pocházejí z Číny z doby okolo 2 000 let př. n. l., ale objeven byl až v roce 1751 Němcem Alexem Cronstedtem. Protonové číslo niklu je 28, atomová hmotnost 58,6934 amu, teplota tání 1 453 °C a teplota varu 2 732 °C, hustota 8,908 g.cm⁻³. Nikl byl zaznamenán s několika oxidačními čísly, nejobvyklejší je však +2.

Nikl je poměrně hojně zastoupen v zemské kůře jako součást různých rud. Geologové předpokládají jeho vysoký obsah obzvláště v zemském jádře.

Asi 65 % niklu z celkové světové produkce je používáno na výrobu nerezové oceli, dalších asi 12 % na výrobu vysoce legovaných slitin. Poměrně významná je také výroba nikl-kadmiových bateriových článků, jejichž velkou výhodou je schopnost dobíjení. Díky své vysoké odolnosti bývá nikl použit jako tenká svrchní vrstva na nástroje vyrobené z jiných, ne tolik odolných kovů. Nikl je také přidáván do různých slitin, například do tzv. bílého zlata (nikl, zlato, měď a zinek).

Do životního prostředí se nikl dostává jak z přírodních zdrojů (sopečné erupce, mořské aerosoly, půdní prach, meteority), tak ze zdrojů antropogenních (zpracování niklových rud a spalování fosilních paliv, rafinerie ropy a plynu). Nikl se pak z ovzduší dostává do vody

či půdy, kde se váže na částice obsahující železo a mangan, které se často vyskytují v půdě a sedimentech. Nikl je vysoce toxický pro některé vodní organismy.

Na lidský organismus má nikl výrazně negativní vliv. Prach uvolňující se při zpracování rudy může mít při vdechnutí vliv na vznik rakoviny plic nebo nosní a krční sliznice. Kontakt s pokožkou může vést k dermatitidám, které mohou přejít až v chronické ekzémy. Zdrojem niklu v lidském organismu mohou být také umělé klouby či kouření [7, 23, 27].

2.5.6 Olovo

Olovo, s chemickou značkou Pb, je namodralý, těžký a velmi toxický kov. Jeho výhodami jsou kujnost a tažnost.

Olovo je lidmi využíváno, obdobně jako měď, již od starověku. Jeho protonové číslo je 82, atomová hmotnost je rovna 207,2 amu, teplota tání odpovídá 327,5 °C a teplota varu 1 740 °C. Hustota olova je 11,34 g.cm⁻³. Olovo se vyskytuje v oxidačních číslech +2 a +4.

Elementární olovo se v přírodě vyskytuje velmi zřídka, jeho hlavním zdrojem jsou tedy sloučeniny (olověné rudy). Olovo je také přirozeným produktem rozpadových řad radioaktivních prvků, což jeho výskyt také částečně ovlivňuje.

Vzhledem k jeho prokázané vysoké toxicitě je snaha o co nejmenší využívání olova a jeho slitin. Dříve však bylo olovo hojně využíváno pro jeho dobré vlastnosti (odolnost proti korozi). Dodnes má olovo nezastupitelnou roli v automobilovém průmyslu při výrobě akumulátorů do vozidel, dále je využíváno na výrobu střeliva, jako přídavek do skla, je vhodné k odstínění radioaktivního záření a také pro výrobu pájek (slitina s cínem). Tetraethylolovo bylo dříve přidáváno do benzínu, kde zpomalovalo hoření a zvyšovalo oktanové číslo paliva. Vzhledem k jeho toxicitě je to však již zakázáno.

Antropogenní emise olova jsou opět mnohem významnější než emise přírodní (prach, kouř, aerosoly mořské vody). Mezi hlavní antropogenní producenty olovených emisí můžeme zařadit těžbu a zpracování olovených rud, výfukové plyny, výrobu a zpracování akumulátorů, spalování odpadů a aplikaci čistírenských kalů a průmyslových hnojiv.

Olovo se může ve vzduchu vázat na částice prachu, se kterými se pak pohybuje. Ze vzduchu pak přechází do ostatních složek životního prostředí. Koncentrace olova ve vodách jsou obvykle nízké a nebývají hlavním zdrojem nebezpečí. V půdě se olovo váže na půdní částice a vyskytuje se v jejích horních vrstvách. Olovo je schopné se akumulovat jak v půdě, tak v sedimentech, ale i v biomase, čímž se může dostat do potravních řetězců.

Do současnosti nebyly zjištěny žádné esenciální vlastnosti olova pro organismy. V lidském organismu nahrazuje vápník, což se děje v 90 % dávky přijatého olova. Váže se tedy převážně v kostech, kde pak ovlivňuje krvetvorbu (může způsobovat anemii). V obdobích nedostatku vápníku v těle se může olovo z kostí dostat do krve a poškozovat pak i jiné orgány, například játra, ledviny, rozmnožovací systém a nervový systém (hlavně u dětí). Ionty olova, jakož i dalších těžkých kovů, jsou karcinogenní [7, 23, 27].

2.5.7 Rtuť

Rtuť, chemickou značkou Hg, je jako jediná z této skupiny za laboratorní teploty kapalná. Je charakteristická bílou stříbrolesklou barvou, ochotou tvořit slitiny, špatnou tepelnou, ale dobrou elektrickou vodivostí.

Obdobně jako olovo či měď je známa již od starověku. Protonové číslo rtuti je 80, atomová hmotnost 200,59 amu, teplota tání -38,87 °C, teplota varu 356,58 °C a její hustota je 13,456 g.cm⁻³. Rtuť se vyskytuje obvykle s oxidačními čísly +1 nebo +2.

Rtuť je v zemské kůře velmi vzácná. Jejím hlavním zdrojem je sulfid rtuťnatý. Rtuť je používána převážně na výrobu průmyslových chemikálií, v elektronice (rtuťové výbojky, lampy, zářivky) a elektrotechnice. Elementární rtuť se také používala jako náplň do teploměrů a tlakoměrů. Značné využití má rtuť při výrobě amalgámů, je přidávána do některých léků (diuretika, antiseptika), bývá také používána jako antibakteriální a fungicidní přísada v barvách.

Do životního prostředí se rtuť dostává převážně z antropogenních zdrojů. Přibližně 80 % rtuti je uvolňováno do ovzduší. Hlavním zdrojem je spalování fosilních paliv a odpadů, dále zpracování rudy s obsahem rtuti a také z hnojiv, fungicidů a komunálního odpadu. Přírodním zdrojem jsou zvětrávání a sopečné erupce. Většina rtuti se v prostředí vyskytuje ve formě kovu nebo anorganických sloučenin. Kovová rtuť je obvykle kapalná a tak může docházet k jejímu odpařování a následnému dálkovému vzdušnému transportu. Po následné depozici mohou některé organismy (bakterie, plísňe, fytoplankton) přeměnit anorganickou rtuť na organickou. Rtuť dokáže v životním prostředí setrvávat poměrně dlouhou dobu. Pokud se naváže na půdní částice či sediment, neuvolňuje se do vodního prostředí. Anorganická rtuť nevstupuje, na rozdíl od organické, do potravních řetězců.

Toxicita rtuti je známa již dlouho. Z toxikologického hlediska je velmi důležitá forma, ve které přijde rtuť do kontaktu s organismem. Elementární rtuť je po požití obvykle vyloučena bez nějakého negativního vlivu na organismus. Páry rtuti jsou po nadechnutí absorbovány do krve a poškozují cílový orgán, mozek. Nízká expozice může způsobit únavu, podrážděnost, nespavost atd., vysoká expozice může skončit až smrtí (následkem poškození plic). Anorganické sloučeniny rtuti nejsou příliš toxické vzhledem k jejich malé rozpustnosti ve vodě (děti bývají více citlivé než dospělí). Některé mikroorganismy, jak již bylo zmíněno, mohou anorganickou rtuť změnit na mnohem toxičtější, organické sloučeniny rtuti. Mezi nejnebezpečnější patří methylртуť, která je rozpustná ve vodě i v tucích, takže může setrvávat ve vodním prostředí (usazuje se dobře v rybím mase), odkud přechází do potravních řetězců. Její toxicita vyplývá hlavně z její schopnosti prostoupit placentou a hematoencefalickou bariérou (mezi krví a mozkem). Z tohoto důvodu je methylртуť embryotoxická a mutagenní. Je toxická také pro malé děti, u kterých může způsobit smyslové poruchy, které mohou vést až k selhání některých funkcí [7, 23, 27].

2.5.8 Zinek

Zinek je modrobílý kov se silným leskem, je měkký, křehký, elektricky vodivý a lehce tavitelný. Jeho chemická značka je Zn.

Je používán již od starověku jako většina ostatních kovů. Používal se v Egyptě jako slitina mosaz (kterou tvoří s mědí). Jeho objevitelem je Andreas Marggraf (1746). Zinek byl však znám jako samostatný prvek dříve (v Číně se z něj v období dynastie Ming vyráběly mince). Protonové číslo zinku je 30, atomová hmotnost 65,39 amu, teplota tání 419,58 °C, teplota varu 907 °C a hustota 7,133 g.cm⁻³. Vyskytuje se výhradně s oxidačním číslem +2.

Zinek je poměrně bohatě zastoupen v zemské kůře. Dá se říct, že je v tomto ohledu srovnatelný s mědí. Vyskytuje se ve formě zinkových rud. Je to po železe, mědi a hliníku čtvrtý nejvíce vyráběný kov. Elementární zinek nachází své největší uplatnění při úpravě povrchů jiných kovů, především železa. Výrobky ze zinku bývají velmi odolné atmosférickým vlivům, ale málo odolné mechanickému namáhání. Ze zinku se vyrábějí například části karburátorů, ozdoby, kliky oken a je také používán do slitin. Těmi nejdůležitějšími jsou bezesporu již zmíněná mosaz a bronz (zinek s mědí a cínem). Oxid

zinečnatý se používá jako netoxický bílý pigment při výrobě barviv a sulfid zinečnatý slouží jako základ pro různé světélkující nátěry.

Do životního prostředí se zinek dostává především přes ovzduší, do kterého je vypouštěn při spalování fosilních paliv a při zpracování zinkových rud. Z ovzduší se pak dostává do vod a půd. Zinek se může do životního prostředí dostat také z odpadních vod z kovozpracujícího průmyslu. Přírozenou cestou se zinek dostává do okolí zvětráváním rud s obsahem zinku.

Zinek patří mezi esenciální kovy. Malá koncentrace zinku v těle je pro organismy nezbytná. Je součástí více než dvaceti enzymů a mnoho dalších jej potřebuje ke své funkci. Zinek je také důležitý pro metabolismus bílkovin a nukleových kyselin. Nedostatek zinku v těle může u dětí (zvláště u chlapců) způsobit poruchy při dospívání, u dospělých může zavinit neurózy, dermatitidy i vážné poškození imunitního systému. Naopak inhalace vyšší dávky par zinku může vést až k tzv. horečce z kovů (nemoc z povolání, projevující se únavou, bolestí hlavy, kašlem, vysokými teplotami atd.), kterou mohou způsobit i ostatní těžké kovy (měď, kadmium, rtuť, olovo, nikl, cín a železo). Rozpustné sloučeniny zinku jsou leptavé [7, 23, 27].

2.6 Metody stanovení rizikových kovů v půdní matrici

2.6.1 Vzorkování půd

Správné vzorkování půd má určující význam pro celý následný analytický postup. Cílem každého vzorkování je získání reprezentativního vzorku, který by měl splňovat předem dané požadavky a zároveň dostatečně vystihovat danou lokalitu, na které vzorkování probíhá [28].

Základními pojmy při vzorkování jsou:

- dávka, což je přesně ohraničená část souboru s celkovým množstvím uvažovaného hromadného materiálu
- vzorkovaná jednotka - část celku z rozděleného souboru - celkové množství hromadného materiálu, všechny části mají stejnou pravděpodobnost zahrnutí do vzorkování
- vzorek - část specifikovaného souboru tvořeného jednou nebo více vzorkovacími jednotkami
- dílčí vzorek - množství hromadného materiálu odebraného jedním úkonem vzorkovacím zařízením
- hrubý vzorek - souhrn všech dílčích vzorků odebraných z poddávky nebo dávky postupy běžného vzorkování
- souhrnný vzorek - souhrn dílčích vzorků při vzorkování nekusových materiálů
- zkušební vzorek - vzorek připravený pro zkoušení nebo analýzu (používá se celý)
- dělení vzorku - proces při úpravě vzorku. Vzorek hromadného materiálu se dělí pomocí mechanického dělení a pomocí kvartace na oddělené části
- schéma vzorkování - typ vzorkování v kombinaci s provozní specifikací entit nebo dílčích vzorků
- reprezentativní vzorek - vzorek, jehož fyzikální nebo chemické charakteristiky jsou shodné s objemovými průměrnými charakteristikami celkového vzorkovaného objemu
- plán vzorkování - specifikace typu vzorkování používané v kombinaci s provozní specifikací entit nebo dílčích vzorků
- úprava vzorku - komplex operací s materiálem nutných k tomu, aby u vzorku proběhla změna na zkušební vzorek

- vzorkování, odběr vzorku - proces odebrání nebo vytváření vzorku
- postup vzorkování - provozní požadavky a instrukce týkající se odběru dílčích vzorků a vytvoření vzorku
- laboratorní vzorek - vzorek určený k laboratornímu výzkumu nebo laboratorním zkouškám
- analytický vzorek - vzorek připravený pro zkoušení nebo analýzu (využívá se celý)
- systém vzorkování - provozní mechanismus nebo mechanické zařízení pro odběr a úpravu dílčích vzorků [28, 29].

Při získávání vzorku musí být brán ohled na to, co budeme ze vzorku následně stanovovat, předpokládanou úroveň koncentrace analytu, potřebné množství vzorku, finanční náklady a další podmínky.

Před samotným vzorkováním je potřeba stanovit plán vzorkování, který by měl obsahovat místa odběru, schéma odběru vzorků, počet vzorkovacích míst, hmotnost nebo objem jednotlivých vzorků, typ vzorkovací techniky a úpravu vzorku po vzorkování.

Vzorkování můžeme rozdělit na několik druhů v závislosti na rozmístění jednotlivých odběrů (náhodné, systematické, stratifikované), na povaze odebírané matrice (statické, dynamické, stálé) a na čase (občasné, orientační, kontrolní).

Důležitá je při vzorkování také volba vzorkovacího nástroje, kde vycházíme z vlastností vzorků, požadavků na analýzu, způsobu odběru atd. Rozhodující je také konstrukce nástroje a materiál, ze kterého je nástroj vyroben. Pro odběry půd se používají obvykle upravené rýče, lopaty, lopatky, spirálové vrtáky či trubkový vzorkovač [28].

2.7 Atomová absorpční spektrometrie

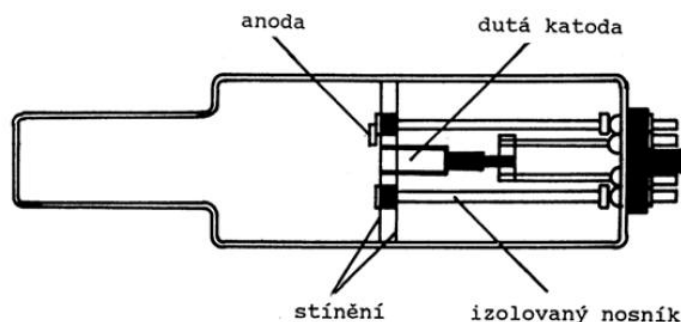
2.7.1 Instrumentace v AAS

Atomová absorpční spektrometrie (AAS) je nejrozšířenější metodou anorganické prvkové analýzy. Umožňuje stanovení až 68 prvků v koncentracích od desetin g.l^{-1} až po méně než $1 \mu\text{g.l}^{-1}$. Tato metoda je založena na absorpci elektromagnetického záření volnými atomy sledovaného prvku.

Absorpční atomový spektrometr se skládá ze zdroje záření, atomizátoru, monochromátoru, detektoru a osobního počítače, pomocí něhož je celý systém nastavován a ve kterém probíhá zpracování dat.

Jako zdroje primárního záření se při AAS používají nejčastěji výbojky s dutou katodou. Jsou vhodné, protože emitují intenzivní zářivou energii soustředěnou do úzkých spektrálních intervalů (čárové zdroje). Kromě výbojek s dutou katodou se používají také bezelektrodové výbojky a superlampy.

Výbojky s dutou katodou emitují spektrální čáry, které nejsou ovlivněny samoabsorpcí a v jejich spektru převládají rezonanční čáry. Výbojka je v podstatě evakuovaná skleněná baňka, ve které je nízký tlak (100 - 200 Pa) plnicího plynu (Ne nebo Ar). Uvnitř výbojky se nachází dutá katoda zhotovená většinou z velmi čistého materiálu, který má být lampou i stanovován [30, 31, 32].



Obrázek 8 Výbojka s dutou katodou [30]

Existují i lampy pro stanovování více prvků, ale platí u nich obecně nižší životnost, nižší citlivost a horší detekční limity.

Atomizátor má v AAS funkci zdroje a zásobníku volných atomů. Zároveň je obvykle využíván jako absorpční prostředí. Různé druhy AAS používají různé atomizátory, takže jim bude věnována část kapitoly u jednotlivých metod AAS.

Optický systém má za úkol provést paprsek záření ze zdroje přes absorpční prostředí k disperznímu prvku, kde je pak izolován odpovídající spektrální interval. Po výstupu z disperzního prvku optický systém zaměřuje paprsek záření na detektor.

U AAS se jako disperzní prvky používají výhradně monochromátory. Existují různé typy monochromátorů s různým uspořádáním, nejobvyklejší je uspořádání Czerny-Turner nebo Ebbertovo uspořádání. Monochromátor slouží v podstatě k izolaci příslušné emisní čáry ze spektra čárového zdroje.

Jako detektory se v AAS používají prakticky pouze fotonásobiče. Jedná se o evakuovanou skleněnou baňku se vstupním okénkem z vhodného materiálu (zpravidla křemen). Uvnitř se nachází fotocitlivá katoda a systém dynod (9 - 13). Fotonásobič je uzavřen ve světlotěsném obalu a bývá umístěn přímo za výstupní štěrbinou monochromátoru. Jeho činnost spočívá v dopadu fotonu na světlocitlivou vrstvu, kde dojde k vyrazení elektronu. Elektron je pak urychlen v elektrickém poli a přitažen na první dynodu, kde vyrazí několik elektronů, které jsou pak přitahovány k další dynodě (vlivem potenciálového spádu), čímž je způsobena lavinová reakce, která vede k zesílení signálu na měřitelnou hladinu i při velmi nízkých intenzitách dopadajícího záření. Výhodou fotonásobičů je vysoká citlivost a nízká časová konstanta (schopnost rychle měřit v širokém rozsahu) [30, 31, 32].

2.7.2 Atomová absorpční spektrometrie s atomizací v plameni

Jedná se o nejstarší druh atomizace vzorku. Principiálně je založena na převodu roztoku na aerosol, což se děje ve zmlžovači, kde také dochází k odstranění kapek nevhodné velikosti pro další postup. Aerosol je pak smíchán se směsí oxidovadla a paliva a tato směs je poté vedena do hořáku. Celý popsany proces se odehrává v mlžné komoře vyrobené z inertního materiálu.

V AAS se používají pro zmlžení vzorku především pneumatické zmlžovače, jejichž nevýhodou je nižší účinnost, výhodou naopak příznivá cena. U AAS se můžeme setkat také s vysokotlakým zmlžovačem, který má vyšší účinnost, menší spotřebu vzorku a umožňuje zmlžování viskózních kapalin.

Hořáky v AAS jsou konstruovány jako štěrbinové, u novějších přístrojů pouze s jednou štěrbinou, a jsou vyráběny z nerezů, případně z titanu. Palivem bývá nejčastěji acetylén, může

být použit i propan ve směsi s butanem nebo vodík. Jako oxidovadlo slouží nejčastěji vzduch nebo oxid dusný. V závislosti na typu plamene se používají různé typy hořáků (rozdíl tvoří délka štěrbin).

Plamen nemůžeme označit za homogenní, protože se skládá z několika jasně ohraničených oblastí. Těsně nad štěrbinou se nachází přehřívací oblast, kde dochází k zahřívání plynu na zápalnou teplotu. Následuje primární reakční zóna, ve které probíhá hoření a komplikované radikálové reakce, které jsou zdrojem intenzivní molekulové emise. Za primární zónou následuje mezireakční zóna (ta je ale pozorovatelná pouze u uhlovodíkových plamenů). V mezireakční zóně jsou výrazné redukční podmínky, zóna je tedy vhodná pro analýzu prvků, které tvoří termicky stabilní oxidy. Poslední zónou je sekundární zóna, kde dochází k difuzi kyslíku z atmosféry a postupnému dohořívání.

Celý proces atomizace v F-AAS je tedy možné shrnout do následujících, po sobě jdoucích bodů. Jako první probíhá zmlžování roztoku vzorku, po kterém následuje odpaření rozpouštědla, vypaření částice, dále chemické reakce se složkami přítomnými v plameni, na které navazuje vznik volných atomů (atomizace), která způsobí ionizaci a rekombinaci a proces končí termickou excitací a deexcitací [30, 31, 32].

2.7.3 Atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou ionizací

Problém AAS s atomizací v plameni, kterým je nedostatečná citlivost pro zpracování určitých analytických problémů, řeší nové atomizační techniky. Jednou z nich je atomizace vzorku v elektrotermickém atomizátoru.

Elektrotermické atomizátory jsou zařízení, která jsou vyhřívána na potřebnou teplotu pomocí elektrického proudu. Materiál, který bývá obvykle na výrobu atomizátorů použit je grafit (v různých modifikacích). Pro ochranu grafitu před oxidací je potřebné pracovat v ochranné atmosféře, kterou tvoří argon.

Elektrotermické atomizátory můžeme dělit dle tvaru na otevřené (u starých zařízení) a uzavřené. Uzavřené atomizátory mají obvykle tvar trubek, volné šíření par omezují stěny atomizátoru, dávkovací otvor se nachází uprostřed.

K analýze v elektrotermických analyzátoch se nejběžněji používají kapalně vzorky. Objemy dávkovaného vzorku jsou závislé na typu atomizátoru a vlastnostech kapalin. Vzorek je dávkován buďto přímo na stěnu kyvety nebo na platformu, která je součástí kyvety. Platforma umožňuje pomalejší teplotní přechod vzorku, který je na ni nanesen.

Zásadní částí elektrotermické ionizace je teplotní program. Ten v sobě skrývá několik fází, které musí být vhodně optimalizovány. Každá fáze teplotního programu je charakterizována především počáteční teplotou, rychlostí nárůstu teploty, konečnou teplotou a dobou, po kterou je konečná teplota udržována.

První fází je sušení, kdy se teplota pohybuje nad teplotou varu rozpouštědla a dochází k vysušení vzorku. Následuje fáze termické úpravy, jejímž cílem je přeměna matrice vzorku nebo její odstranění termickým procesem, ovšem bez ztráty analyzovaného vzorku. Třetí částí procesu je atomizace, kdy teplota vystoupá na úroveň atomizace a vytvoří se plynný oblak atomů sledovaného analytu. Tyto atomy jsou v základním energetickém stavu, takže mohou absorbovat procházející záření. Další sekvencí v tomto procesu je čištění, kdy dochází ke zvýšení teploty, aby bylo zaručeno odpaření zbytků vzorku po atomizaci. Celý proces je zakončen zchlazením, kdy je teplota snížena na počáteční hodnotu a může tak začít další cyklus [30, 31, 32].

2.7.4 Analyzátor rtuti AMA 254

Analyzátor rtuti AMA 254 je v podstatě atomovým absorpční spektrometr, který ovšem slouží pouze pro stanovení rtuti. Jedná se o přístroj vyvinutý a vyráběný v České republice, jehož velkou výhodou je to, že vzorky před samotnou analýzou není nutné upravovat. Tento přístroj je schopen analyzovat jak vzorky kapalné, tak pevné.

Princip funkce přístroje je založen na vytváření par kovové rtuti tepelným rozkladem vzorku a následným zachycením a zakoncentrováním těchto par na amalgamátoru. Po zachycení následuje opětovné zahřátí a tedy vypuzení par a následná detekce. Tím je dosaženo vysoké citlivosti bez závislosti na matici, ve které chceme vzorek analyzovat.

Nosným plynem u AMA 254 je kyslík [33, 34].

2.8 Zpracování experimentálních dat

2.8.1 Metoda kalibrační křivky

Metoda kalibrační křivky je metoda, která pracuje se vzorky o známých koncentracích. Využívá se při ní tzv. standardních roztoků, což jsou roztoky o známé, vzrůstající koncentraci. Po proměření signálu těchto roztoků jsou data odpovídajících hodnot (signál, koncentrace) zanesena do grafu tak, že na svislé ose y jsou obvykle vyneseny hodnoty signálu S a na osu x koncentrace c . To charakterizuje hledanou závislost signálu (závisle proměnná) na koncentraci analytu (nezávisle proměnná). Závislost mezi dvěma proměnnými může být dvojího druhu, a to 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, která je vyjádřena pomocí rovnice $y = ax + b$. Pro odhad koeficientů regresní rovnice se obvykle volí metoda nejmenšího součtu čtverců. Zde platí vztahy (2), (3).

Směrodatná odchylka, která charakterizuje rozptýlení kolem regresní přímky (a přesnost kalibrace), je dána vztahem (4), 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 vypočítané hodnoty funkce $y = f(x)$ umožňuje korelace. Test rozložení závisle proměnné veličin kolem lineární regresní přímky určuje korelační koeficient, který lze vypočítat dle vztahu (5).

Čím více se hodnota korelačního koeficientu blíží ± 1 , tím je závislost mezi proměnnými těsnější a tím více se kalibrační křivka blíží přímce. Kladných hodnot nabývá koeficient pro přímou, záporných pro nepřímou závislost [35, 36, 37, 38].

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

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (3)$$

$$s_{x,y} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - a \sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i y_i \right)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-2}} \quad (4)$$

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \right] \left[\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} \right]}} \quad (5)$$

2.8.2 Meze detekce, meze stanovitelnosti

K vyjádření přesnosti kalibračních metod se definují limitní hodnoty, které souvisejí s úrovní koncentrace, pro kterou je signál ještě statisticky významně odlišný od šumu. V souvislosti s vyjádřením přesnosti a citlivosti kalibračních metod se definují např. meze detekce a meze stanovitelnosti.

Mez detekce (LOD – limit of detection) analytu je zjednodušeně nejnižší množství analytu ve vzorku, jež je možné detekovat, avšak nemusí být nutně měřitelné jako přesná hodnota.

Dále je definována jako absolutní množství nebo koncentrace analytu, které poskytuje signál rovný trojnásobku směrodatné odchylky signálu pozadí. Je vyjádřena vztahem (6), ve kterém je S citlivost (tj. směrnice kalibrační křivky) a s_{BL} je směrodatná odchylka signálu slepého pokusu [39].

Mez stanovitelnosti (LOQ – limit of quantification) 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.

Přesná definice meze stanovitelnosti říká, že je to absolutní množství nebo koncentrace analytu, jež poskytuje signál rovný desetinásobku směrodatné odchylky signálu pozadí. Lze ji takto vyjádřit vztahem (7), ve kterém je interpretace proměnných shodná s LOD [39].

$$LOD = \frac{3s_{BL}}{S} \quad (6)$$

$$LOQ = \frac{10s_{BL}}{S} \quad (7)$$

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Vzorkování

3.1.1 Výběr lokalit pro odběr vzorků

Výběr lokalit probíhal na základě odhadu zatíženosti různých částí města Brna dopravou. Cílem bylo pokrytí území města Brna (v rámci odběrových a následných laboratorních možností) tak, aby byly zastoupeny všechny úrovně dopravního zatížení pozemních komunikací. Celkem bylo vybráno k odběru vzorků dvacet pět lokalit.

V následující Tabulce 8 jsou popsána místa a data odběru vzorků.

Tabulka 8 Místa odběru s datem odběru

Místa odběru (lokalita, městská část, ulice)		Datum 1. odběru	Datum 2. odběru
Lokalita 1	Brno - Bosonohy, Bítešská	3. 10. 2010	21. 1. 2011
Lokalita 2	Brno - Žebětín, Stará dálnice	3. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 3	Brno - Kníničky, Ondrova	3. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 4	Brno - Střed, Bauerova	3. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 5	Brno - Jih, Vídeňská	4. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 6	Brno - Modřice	4. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 7	Brno - Tuřany, Pratecká	4. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 8	Brno - Jih, Kaštanová	4. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 9	Brno - Komárov, Černovická	4. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 10	Brno - Slatina, Olomoucká	4. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 11	Brno - Žabovřesky, Žabovřeská	7. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 12	Brno - Žabovřesky, Hradecká	7. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 13	Brno - Řečkovice a Mokrá Hora, Sportovní	7. 10. 2010	21. 1. 2011
Lokalita 14	Brno - Královo Pole, Porgesova	7. 10. 2010	21. 1. 2011
Lokalita 15	Brno - Ivanovice, Máčova	7. 10. 2010	21. 1. 2011
Lokalita 16	Brno - Soběšice, Weisssova	7. 10. 2010	21. 1. 2011
Lokalita 17	Brno - Maloměřice a Obřany, Fryčajova	7. 10. 2010	21. 1. 2011
Lokalita 18	Brno - Vinohrady, Žarošická	7. 10. 2010	21. 1. 2011
Lokalita 19	Podolí	7. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 20	Brno - Střed, Heršpiská	8. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 21	Brno - Střed, Pellicova	8. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 22	Brno - Střed, Björnsenův sad, Veverčí	8. 10. 2010	21. 1. 2011
Lokalita 23	Brno - Střed, Lužánecký park, Pionýrská	8. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 24	Brno - Střed, Koliště, park	8. 10. 2010	20. 1. 2011
Lokalita 25	Brno - Maloměřice a Obřany, Světlá	8. 10. 2010	21. 1. 2011

Podrobnější popis lokalit:

Lokalita 1 - ulice Bítešská se nachází v jihovýchodním cípu Brna. Představuje první brněnský dálniční exit směrem od Prahy (190. km). Je současně počátkem rychlostní komunikace R43, která protíná Brno směrem na Svitavy. Jedná se o dopravně velmi zatíženou oblast.

Souřadnice GPS: 49°10'7" s. š., 16°32'40" v. d., 233 m. n. m.

Lokalita 2 - křižovatka Staré dálnice, Kohoutovické a Žebětínské ulice se nachází na východě Brna. V okolí komunikace se nacházejí pole a lesy. Do budoucna se s ní počítá jako se součástí nové rychlostní komunikace R43 směrem Svitavy, která by ulehčila provozu v centru Brna a nahradila kapacitně nedostačující současnou R43. V současnosti je tato komunikace poměrně frekventovaná, slouží hlavně pro příjezd do Brna z jihovýchodu.

Souřadnice GPS: 49°12'5" s.š., 16°31'31" v.d., 296 m. n. m.

Lokalita 3 - Ondrova. Jedná se o místní komunikaci, v jejímž okolí se nacházejí nedávno postavené rodinné domy a pole. Nedaleko se nachází Brněnská přehrada. Dopravní zatížení této komunikace je malé.

Souřadnice GPS: 49°14'28" s.š., 16°31'48" v.d., 259 m. n. m.

Lokalita 4 - Bauerova je významnou částí velkého brněnského městského okruhu. V letech 2003 až 2007 zde probíhala výstavba mimoúrovňové křižovatky Hlinky/Pisárecká s úpravou okolních objektů (chodníky, trasa tramvaje, ...). Jedná se o místo s velkou frekvencí dopravy (jako ostatně všechny ostatní části VMO). Odběrové místo se nachází mezi koupalištěm Riviera a výstavištěm. Odběr byl vzhledem k terénu složitý, půda byla odebrána z menší hloubky, asi 10 cm, protože níže se již nacházela pouze štěrková navážka. Nebylo zde z prostorových důvodů odebíráno ze čtverce 10 x 10 metrů, ale jen ze čtverce 8 x 8 metrů.

Souřadnice GPS: 49°11'15" s.š., 16°34'16" v.d., 204 m. n. m.

Lokalita 5 - Vídeňská - další dopravou významně zatížená brněnská komunikace. Jedná se o silnici I/52 (za Brnem R52) na Vídeň, která se nedaleko místa odběru kříží s dálnicí D1. V okolí se nacházejí průmyslové podniky a obchodní centrum. Nedávno na této komunikaci skončily několikaleté opravy mostních konstrukcí a povrchu vozovky.

Souřadnice GPS: 49°9'29" s.š., 16°36'3" v.d., 212 m. n. m.

Lokalita 6 - Modřice. Oblast místní komunikace, která je však hojně využívána pro její strategickou polohu. Spojuje totiž dálnici D2 na Bratislavu a R52 na Vídeň. V jejím okolí se nachází průmyslová zóna a největší brněnské nákupní centrum. V bezprostředním okolí odběrového místa protéká řeka Svratka. Nedaleko se nachází ČOV Modřice.

Souřadnice GPS: 49°7'41" s.š., 16°37'25" v.d., 189 m. n. m.

Lokalita 7 - ulice Pratecká v městské části Tuřany směrem na Dvorská, tedy silnice č. 417. Místní komunikace s nízkým provozem. V těsné blízkosti se nachází zemědělský podnik a mezinárodní Letiště Brno - Tuřany, jehož hlavní vzletová dráha je rovnoběžná se silnicí č. 417 ve vzdálenosti zhruba 0,5 km.

Souřadnice GPS: 49°8'47" s.š., 16°40'29" v.d., 229 m. n. m.

Lokalita 8 - ulice Kaštanová, nebo spíš odbočka z této ulice, kde se dá podél řeky Svitavy přijet až přímo ke křížení dálnic D1 a D2, kde také probíhal odběr vzorků. Jedná se o místo s velmi hustou celodenní dopravou. V okolí se nacházejí velká obchodní centra.

Souřadnice GPS: 49°9'36" s.š., 16°38'1" v.d., 197 m. n. m.

Lokalita 9 - Černovická ulice (silnice č. 374) slouží jako spojka D2 a rychlostní komunikace R50 (směr Ostrava) a jako součást VMO patří k frekventovanějším komunikacím v Brně. Odběr v této lokalitě proběhl u křižovatky Černovické s Hněvkovského a Svatoplukovou a nedaleko řeky Svitavy.

Souřadnice GPS: 49°10'35" s. š., 16°37'50" v. d., 197 m. n. m.

Lokalita 10 - Olomoucká ulice je souběžná s rychlostní komunikací R50 na Ostravu a právě v pásu mezi těmito komunikacemi probíhal odběr. Nedaleko se nachází spalovna odpadu. Z hlediska zatíženosti dopravou se jedná o středně zatíženou oblast.

Souřadnice GPS: 49°11'5" s. š., 16°39'51" v. d., 233 m. n. m.

Lokalita 11 - křižovatka ulic Žabovřeská a Kníničská (tedy komunikací R42 a č. 384) je typická probíhajícími opravami povrchu vozovky i okolních objektů (budování protihlukových zábran) v rámci modernizace VMO.

Souřadnice GPS: 49°12'40" s. š., 16°34'27" v. d., 209 m. n. m.

Lokalita 12 - křížení ulic Hradecká a Žabovřeská (komunikace R42 a č. 640), kde v současné době (od roku 2006) probíhá budování další mimoúrovňové křižovatky a tunelu, který bude veden pod městskou částí Královo pole a napojí se na městský okruh v oblasti ulic Sportovní a Porgesova, čímž dojde k uzavření celého VMO. Vzhledem ke stálému provozu a velké zátěži ze stavby se jedná zřejmě o jednu z nejvíce zatížených oblastí v současnosti.

Souřadnice GPS: 49°13'4" s. š., 16°35'2" v. d., 251 m. n. m.

Lokalita 13 - napojení ulice Hradecké na Sportovní (tedy komunikace č. 640 na R43, směr Svitavy). Obě tyto komunikace jsou v současnosti součástí VMO, z toho také vyplývá jejich dopravní zatížení. Ulice Sportovní odvádí dopravu ze směru Svitavy do centra města a směrem na Olomouc a naopak, Hradecká pak na Prahu, Bratislavu a Vídeň.

Souřadnice GPS: 49°14'8" s. š., 16°35'29" v. d., 227 m. n. m.

Lokalita 14 - v oblasti napojení ulic Sportovní a Porgesova (R42 směr Olomouc) probíhá budování napojení nového Královopolského tunelu na stávající komunikace, takže se jedná o lokalitu zatíženou jak dopravou, tak stavební činností. V okolí se nachází obchodní centrum a teplárna.

Souřadnice GPS: 49°13'7" s. š., 16°36'28" v. d., 220 m. n. m.

Lokalita 15 - ulice Mácova v městské části Ivanovice. Jedná se o místní komunikaci s malou intenzitou dopravy. V okolí se nacházejí rodinné domy.

Souřadnice GPS: 49°15'57" s. š., 16°34'13" v. d., 298 m. n. m.

Lokalita 16 - ulice Weissova v Soběšicích (směr Útěchov) je místní komunikací s malou hustotou provozu, kolem silnice se nachází hustý lesní porost.

Souřadnice GPS: 49°15'37" s. š., 16°37'30" v. d., 397 m. n. m.

Lokalita 17 - Fryčajova ulice v Obřanech (směrem na Bílovice nad Svitavou) patří také k těm méně frekventovaným lokalitám v rámci výběru odběrových míst pro tuto práci. V okolí silnice se nacházejí hlavně pole.

Souřadnice GPS: 49°14'25" s. š., 16°39'16" v. d., 279 m. n. m.

Lokalita 18 - křižovatka ulic Žarošické (silnice č. 642 kolem Vinohrad směrem do centra) a Jedovnické (silnice č. 373 na Ochoz u Brna) na pomezí městských částí Vinohrady a Líšeň je, dalo by se říci, místním dopravním uzlem, hustota dopravy je však střední.

Souřadnice GPS: 49°12'17" s. š., 16°39'59" v. d., 277 m. n. m.

Lokalita 19 - Podolí. Jedná se o vesnici nedaleko Brna jihozápadním směrem. Před Podolím dochází ke křížení rychlostní komunikace R50, silnice č. 430 (směr z Brna na Rousínov - rovnoběžná cesta s D1) a dálnice D1 směrem na Vyškov a Rousínov. V okolí se nacházejí pole.

Souřadnice GPS: 49°1'8" s. š., 16°43'25" v. d., 232 m. n. m.

Lokalita 20 - Heršpická ulice je velmi frekventovanou ulicí, která odvádí dopravu z centra Brna směrem na Vídeň a Prahu (přechází ve Vídeňskou - silnice R52). Odběrové místo bylo zvoleno poblíž křižovatky s ulicí Poříčí, která se táhne při břehu řeky Svatky prakticky po celé jižní straně Brna, takže je také velmi významnou a frekventovanou dopravní tepnou.

Souřadnice GPS: 49°11'1" s. š., 16°36'9" v. d., 202 m. n. m.

Lokalita 21 - ulice Pellicova v centru Brna pod kopcem, na kterém stojí hrad Špilberk, je velmi málo frekventovaná, ovšem v blízkém okolí místa odběru se nacházejí frekventované ulice Pekařská a Úvoz. Odběr byl proveden v parku.

Souřadnice GPS: 49°11'36" s. š., 16°35'49" v. d., 237 m. n. m.

Lokalita 22 - Björnsonův sad na ulici Veverčí se nachází v blízkosti křižovatky ulic Veverčí, Úvoz a Kotlářská, na okraji parku je umístěno velké parkoviště a u parku se nachází Stavební fakulta VUT a Právnická fakulta MU.

Souřadnice GPS: 49°12'24" s. š., 16°35'38" v. d., 251 m. n. m.

Lokalita 23 - Lužánecký park u křižovatky ulic Pionýrská a Drobného, což je poměrně významný a frekventovaný dopravní uzel prakticky v centru Brna. Park je v podstatě ze tří stran obklopen frekventovanými komunikacemi.

Souřadnice GPS: 49°12'31" s. š., 16°36'34" v. d., 213 m. n. m.

Lokalita 24 - ulice Koliště, součást malého městského okruhu, kde je každodenní silný provoz spojený s dopravními problémy. Bezprostředně s touto ulicí sousedí park, ve kterém se nacházelo další zvolené odběrové místo, a to v úseku mezi křižovatkami Koliště - Bratislavská a Koliště - Cejl.

Souřadnice GPS: 49°11'50" s. š., 16°36'51" v. d., 210 m. n. m.

Lokalita 25 - ulice Světlá, která je v blízkosti křižovatky ulic Karlova - Provazníková a Provazníková - Dukelská třída, což jsou součásti VMO, u kterých se počítá s jejich

modernizací, protože v této části VMO vznikají každý den nárazově kolony, v bezprostřední blízkosti také protéká řeka Svitava.

Souřadnice GPS: 49°12'44" s. š., 16°38'27" v. d., 205 m. n. m.

Podrobnější mapové podklady k jednotlivým místům odběru jsou umístěny v přílohové části této práce (Přílohy 2 - 26), mapa s orientačně vyznačenými místy odběru následuje zde (Obrázek 9).



Obrázek 9 Označení lokalit odběru na mapě (mapa [40])

3.1.2 Rozdělení lokalit odběru do skupin dle dopravního zatížení

Pro posouzení kontaminace v okolí dopravních komunikací v Brně byly popsány lokality rozříděny do pěti skupin dle intenzity dopravy.

V první skupině (označené ve výsledcích jako I), kterou tvoří místa odběru v blízkosti dálnice D1, jsou lokality 1, 5, 8 a 19. Intenzita dopravy se zde pohybuje okolo 60 tisíc vozidel denně.

Druhá skupina (II) lokalit v rámci VMO obsahuje místa odběru číslo 4, 9, 11, 12, 13, 14, 20 a 25.

Do třetí skupiny (III) byly zařazeny parky na území města Brna, ve kterých byl prováděn odběr vzorků, tedy lokality 21, 22, 23 a 24. Parky se nacházejí v různých částech Brna, vesměs však sousedí s nejfrekventovanějšími komunikacemi v centru Brna.

Čtvrtá skupina (IV) jsou komunikace ve městě Brně, které nenáležejí ani malému ani velkému městskému okruhu, nejsou tudíž tak frekventované. Jedná se o lokality 2, 6, 10 a 18.

Poslední skupinou (V) jsou komunikace na okraji Brna, které jsou využívány minimálně (v rámci intenzity dopravy v celém Brně). Jedná se o lokality 3, 7, 15, 16 a 17.

3.1.3 Odběr a zpracování vzorků

Odběr vzorků na jednotlivých lokalitách byl prováděn podle systematického odběrového schématu. To znamená, že byla vytyčena plocha o rozměrech 10 x 10 metrů, v rozích vzniklého čtverce vznikla první 4 odběrová místa, další se nacházelo ve středu čtverce a další 4 místa byla stanovena na střed spojnice středu odběrového čtverce a středů jednotlivých stran.

Hloubka odběru se pohybovala okolo 20 cm.

Celkem tedy bylo na každé lokalitě odebráno devět různých vzorků, ze kterých byly odstraněny větší nečistoty (organické zbytky rostlin a živočichů, kamení a jiné anorganické nečistoty). Následovala homogenizace jednotlivých vzorků na jednotlivých místech odběru, čímž vznikl pro každé jedno místo odběru právě jeden směsný vzorek půdy. Tento vzorek byl dále kvartován, což obnášelo jeho rozdělení na čtyři části. Protější čtvrtiny byly následně odstraněny a zbylé čtvrtiny byly znovu zhomogenizovány a podrobeny další kvartaci.

Tento postup byl opakován až do získání odpovídajícího množství půdy, asi 2 kg laboratorního vzorku. Toto množství bylo pak uloženo do polyethylenového sáčku, který byl popsán příslušnými informacemi o jeho obsahu a transportován do laboratoře, kde probíhalo jeho další zpracování.

3.1.4 Meteorologické podmínky odběrů

První série odběrů probíhala na začátku měsíce října. U odběrů 3. a 4. 10. 2010 panovaly poměrně příznivé meteorologické podmínky. Počasí mělo inverzní charakter. Teploty se pohybovaly okolo 12°C, atmosférický tlak byl na úrovni 1 010 hPa, oblačnost (zataženo) i vlhkost (okolo 70 %) byly vlivem inverzního rázu počasí stálé. Vítr se občas vyskytoval poměrně silný nárazový, jinak se jihovýchodní vítr pohyboval v rychlostech okolo 5 m.s⁻¹.

Při odběrech 7. a 8. 10. 2010 bylo počasí lepší než při předchozí sérii. Obloha byla převážně polojasná až skorojasná, čemuž odpovídaly i změny teplot (průměr okolo 15°C) a vzdušné vlhkosti v průběhu dne. Atmosférický tlak v těchto dvou dnech byl také odlišný. Jihovýchodní vítr si po oba dva dny udržoval rychlost okolo 5 m.s⁻¹.

Druhá série odběrů následovala po oblevě, kdy se teploty pohybovaly až okolo 10 °C. Doba odběru vzorků odpovídá konci oblevy a pozvolnému příchodu studené fronty. Původně byly odběry plánovány na konec února, ale po dohodě s vedoucí práce bylo rozhodnuto, že nemá cenu riskovat a čekat na další vhodné podmínky a využít ty stávající.

První vzorky z této série byly odebírány 20. 1. 2011, kdy bylo polojasno, teplota se pohybovala v odpoledních hodinách okolo 4 °C, atmosférický tlak (1024 hPa), vlhkost (65 %) i rychlost a směr (severní, okolo 5 m.s⁻¹) větru byly stálé.

Zbytek vzorků byl odebrán následující den, kdy bylo počasí odlišné ode dne předchozího. Ráno bylo ještě polojasno, ale dopoledne již převládala zatažená obloha s teplotou těsně

nad bodem mrazu. Atmosférický tlak (1026 hPa), vlhkost (65 %), směr a rychlost větru (severní, okolo 5 m.s⁻¹) byly stálé.

Přesnější popis meteorologických podmínek při všech odběrech se nachází v tabulkách zařazených do přílohové části této práce (Přílohy 27, 28), informace o meteorologických podmínkách byly zaznamenány portálu Českého hydrometeorologického úřadu [41].

3.2 Zpracování odebraných vzorků půd

Vzorky půd byly z polyethylenových sáčků přesypány na filtrační papír, kde docházelo k jejich prosychání za laboratorní teploty. Vrstva půdy na filtračním papíru se pohybovala okolo 1,5 cm. Po vysušení vzorků byly půdy přesívány skrz síto, jehož velikost ok byla 2 mm. Podsítná frakce (zhruba 500 g vzorku pro analýzu) byla následně uchovávána v polyethylenovém sáčku s popiskem pro další zpracování [42, 43].

3.2.1 Stanovení sušiny gravimetrickou metodou

Do Petriho misek o známé hmotnosti byla navážena podsítná frakce o hmotnosti 1 g (s přesností na čtyři desetinná místa). Po vyhřátí sušárny na 105°C ± 2°C byly vzorky na Petriho miskách umístěny do této sušárny a zde byly ponechány po dobu 3 hodin. Po 3 hodinách byly vzorky přesunuty do exikátoru k vychladnutí a poté byly znovu zváženy. Po odečtení rozdílu hmotností před a po sušení byla z výsledků určena procenta obsahu sušiny v jednotlivých vzorcích, jež byla následně použita při zpracování dat z měření [44, 45].

3.2.2 Extrakce půdy 2 M kyselinou dusičnou

Příprava půdního extraktu 2 M kyselinou dusičnou začala navážkou 5 g podsítné půdní frakce (s přesností na 2 desetinná místa). Navážené množství bylo pak převedeno do polyethylenové nádoby o objemu 100 ml a smícháno s 50 ml 2 M kyseliny dusičné. Po smíchání všech půdních vzorků s kyselinou byly nádoby umístěny na třepačku, kde probíhala po dobu 16 hodin extrakce. Po skončení extrakce byly obsahy nádobek zfiltrvány přes filtrační papír a filtrát byl převeden opět do polyethylenových nádobek, ve kterých pak byl uchováván během průběhu měření. Postup odpovídal podmínkám ve vyhlášce 13/1994 Sb. ve znění pozdějších předpisů [43].

3.2.3 Stanovení pH půd extrakcí v roztoku 0,01 M chloridu vápenatého

Do polyethylenových nádobek o objemu 100 ml bylo naváženo 10 g podsítné půdní frakce, ke kterým bylo přidáno 50 ml 0,01 M chloridu vápenatého. Nádoby byly následně umístěny na hodinu na třepačku. Po ukončení fáze promíchávání byly roztoky půd ponechány hodinu v klidu. Před samotným měřením pH metrem byl obsah každé nádoby promíchán a po změření byly hodnoty zaznamenány [45, 46].

3.3 Analýza půd a půdních extraktů

Pro analýzu vzorků byly použity tři přístroje. Pro analýzu podsítné půdní frakce a stanovení rtuti to byl přístroj AMA 254, pro analýzu půdních extraktů přístroje ET-AAS (stanovení kadmia) a F-AAS (stanovení mědi, niklu, olova a zinku).

3.3.1 Stanovení rtuti v půdě

Rtuť byla stanovována z podsítné půdní frakce v přístroji AMA 254 ovládaném přes programové vybavení připojeného počítače. Před každým měřením bylo zařízení

uvedeno do chodu v souladu s pokyny výrobce (spuštění přívodu kyslíku z tlakové lahve, čekání na vyhřátí přístroje na potřebnou teplotu).

Po zahřátí přístroje bylo nutné provést jeho vyčištění, které probíhalo přednastaveným čistícím programem, jehož parametry jsou uvedeny v Tabulce 9 (na čištění bylo dávkováno na lodičku 100 μ l vody, čištění bylo opakováno, dokud se absorbance nepřiblížila hodnotě okolo 0,003).

Pro samotné měření byl potřebný tzv. check standard. Pro přípravu tohoto kontrolního standardu byly použity následující chemikálie: koncentrovaná HNO_3 (0,5 ml), koncentrovaná HCl (0,5 ml), 1% roztok $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (0,5 ml), kalibrační standard rtuti (koncentrace 1 g/l, 10 μ l). Po smíchání těchto chemikálií v 50 ml odměrné baňce byla baňka doplněna po rysku ultračistou vodou. Výsledná koncentrace standardu byla 0,2 mg/l. Tento standard byl vždy (minimálně dvakrát) proměřen před každým měřením pro ověření přesnosti měření [35].

Následovala analýza vlastních vzorků, kdy bylo vždy naváženo a analyzováno 50 mg (s přesností na 4 desetinná místa) podsítné půdní frakce. Každý vzorek půdy byl proměřen minimálně třikrát. Výsledná hodnota udávala koncentraci rtuti v ng.

Tabulka 9 Časový program jednotlivých činností pro AMA 254

Proces	Trvání procesu [s]		
	Čištění	Check standard	Analýza
Sušení	60	60	150
Rozklad	60	120	200
Čekání	45	45	45

Po ukončení analýzy byl vždy spuštěn (a pokud bylo třeba tak i opakován) čistící program, dále bylo nutné čekat na ochlazení přístroje a pak bylo možné jej vypnout a zastavit přívod kyslíku.



Obrázek 10 AMA 254

3.3.2 Stanovení prvků v půdním extraktu (F-AAS)

Měď, stejně jako nikl, olovo a zinek, byla stanovována na přístroji Varian SpectrAA 30 (Obrázek 11). Před měřením bylo nutné nejprve zapnout připojený počítač, přes který se přístroj ovládal a zapnout ovládací program. Dále byl zapnut přívod acetylénu, kompresor a odtah. V programu byla vytvořena a uložena metoda pro měření daného prvku s odpovídajícími parametry. Po zapnutí samotného přístroje a zažehnutí plamene byla příslušná metoda spuštěna a po stabilizaci a kontrole signálu z lampy mohlo začít měření kalibrační závislosti. U každého prvku byla zvolena kalibrační závislost dle příručky vydávané výrobcem přístroje [47].

Následovalo proměření slepých vzorků a pak jednotlivých půdních extraktů. Při analýze byl mezi jednotlivými vzorky udržován určitý časový rozestup, ve kterém byla dávkovací hadička ponechávána ve vodném roztoku kyseliny dusičné, aby se před následujícím měřením zbavila případných nečistot, které by mohly měření ovlivnit.

Po ukončení analýzy vzorků byl přístroj vypnut (obráceným postupem oproti zapnutí).

Následující Tabulka 10 obsahuje nastavení přístroje a rozsahy kalibračních závislostí pro jednotlivé stanovované rizikové kovy.

Tabulka 10 - Parametry přístroje pro stanovování prvků F-AAS

Prvek	I	Šířka štěrbin	Vlnová délka	Průtok vzduch-acetylén	Kalibrační rozsah
Cu	4 mA	0,5 nm	324,8 nm	3,5/1,5 l.min ⁻¹	0 - 4 mg.l ⁻¹ (4 body)
Ni	5 mA	0,2 nm	232 nm	3,5/1,5 l.min ⁻¹	0 - 12 mg.l ⁻¹ (5 bodů)
Pb	6 mA	1 nm	217 nm	3,5/1,5 l.min ⁻¹	0 - 10 mg.l ⁻¹ (4 body)
Zn	5 mA	1 nm	213,9 nm	3,5/1,5 l.min ⁻¹	0 - 2 mg.l ⁻¹ (5 bodů)



Obrázek 11 Varian SpectrAA 30

3.3.3 Stanovení kadmia v půdním extraktu

Stanovení kadmia z půdního extraktu probíhalo na přístroji AAS ZEEnit 60 (na Obrázku 12) s připojeným počítačem (s nainstalovaným ovládacím softwarem).

Před analýzou byl jako první spuštěn počítač, poté přívod argonu, odtah a nakonec přístroj. Po zapnutí softwaru byl vybrán stanovovaný prvek a metoda pro jeho stanovení.

Tabulka 11 Parametry přístroje pro stanovování kadmia

Prvek	I	Šířka štěrby	Vlnová délka	Maximální průtok argonu	Kalibrační rozsah
Cd	7 mA	0,8 nm	228,8 nm	48 NL.h ⁻¹	0 - 2 µg.l ⁻¹ (5 bodů)



Obrázek 12 ET-AAS ZEE nit 60

Po zahřátí stroje byla proměřena kalibrační řada, slepé vzorky a následně půdní extrakty. U půdních extraktů bylo nutné ředění ultračistou vodou (až stonásobné v závislosti na koncentraci kadmia ve vzorku). Kalibrace přístroje probíhala jak na počátku měření, tak v jeho průběhu a na konci.

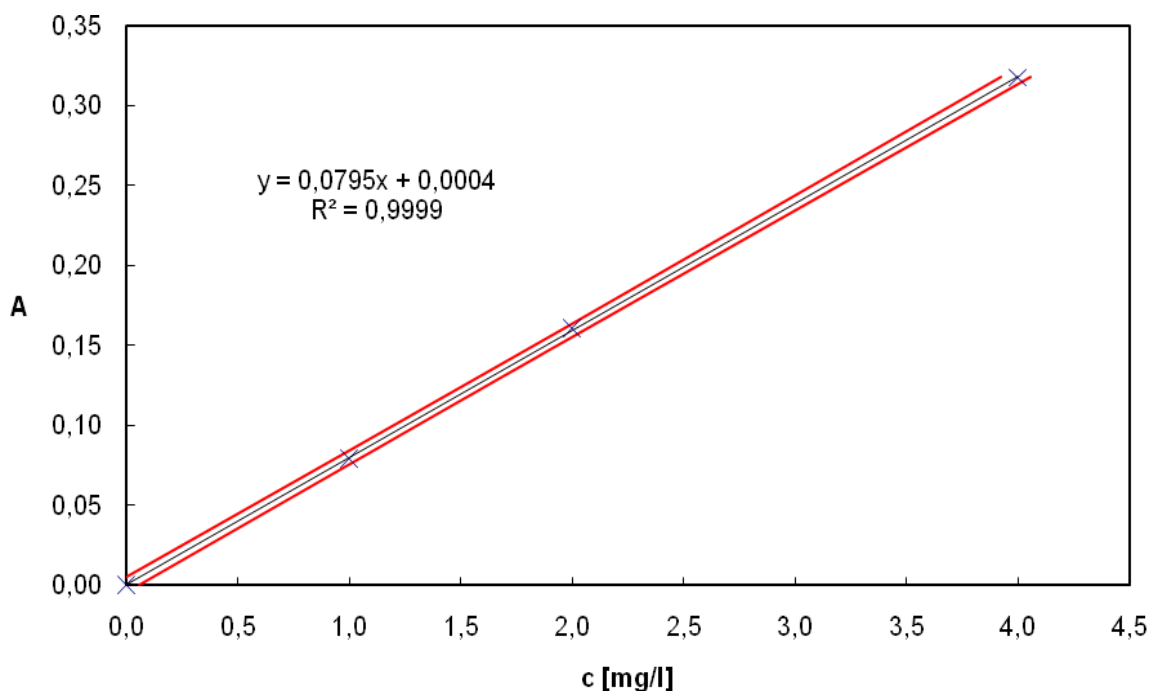
Velmi důležitou součástí metody stanovení kadmia na tomto přístroji je teplotní program, jehož optimalizací je při analýze dosaženo správných výsledků. Teplotní program je popsán v následující tabulce (Tabulka 12)

Tabulka 12 Teplotní program ET-AAS při stanovení kadmia [35]

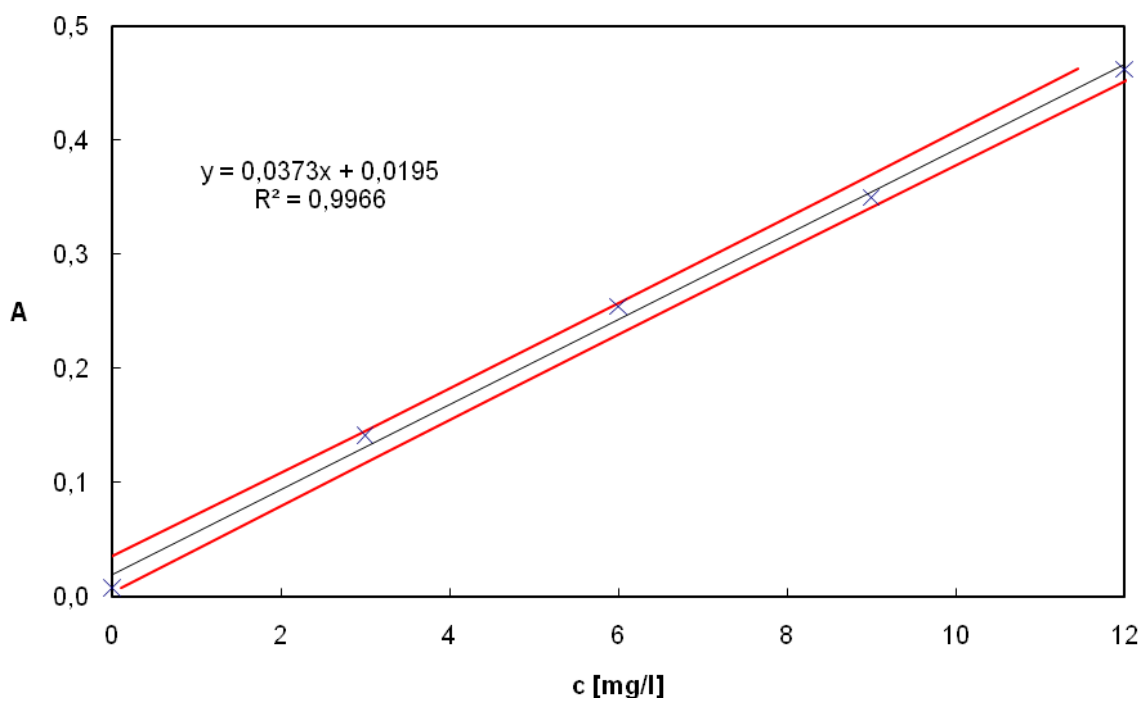
Číslo	Proces	Teplota [°C]	Rampa [°C]	Čas zdržení [s]	Čas [s]	Průtok inert. plynu
1	sušení	90	5	20	34,0	MAX
2	sušení	105	3	20	25,0	MAX
3	sušení	110	2	10	12,5	MAX
4	pyrolýza	300	250	10	10,8	MAX
5	autozero	300	0	4	4,0	STOP
6	atomizace	900/1000	900	3	3,7	STOP
7	čištění	2200	500	4	6,6	MAX

Po skončení analýzy byl přístroj vypnut obráceným postupem oproti zapnutí.

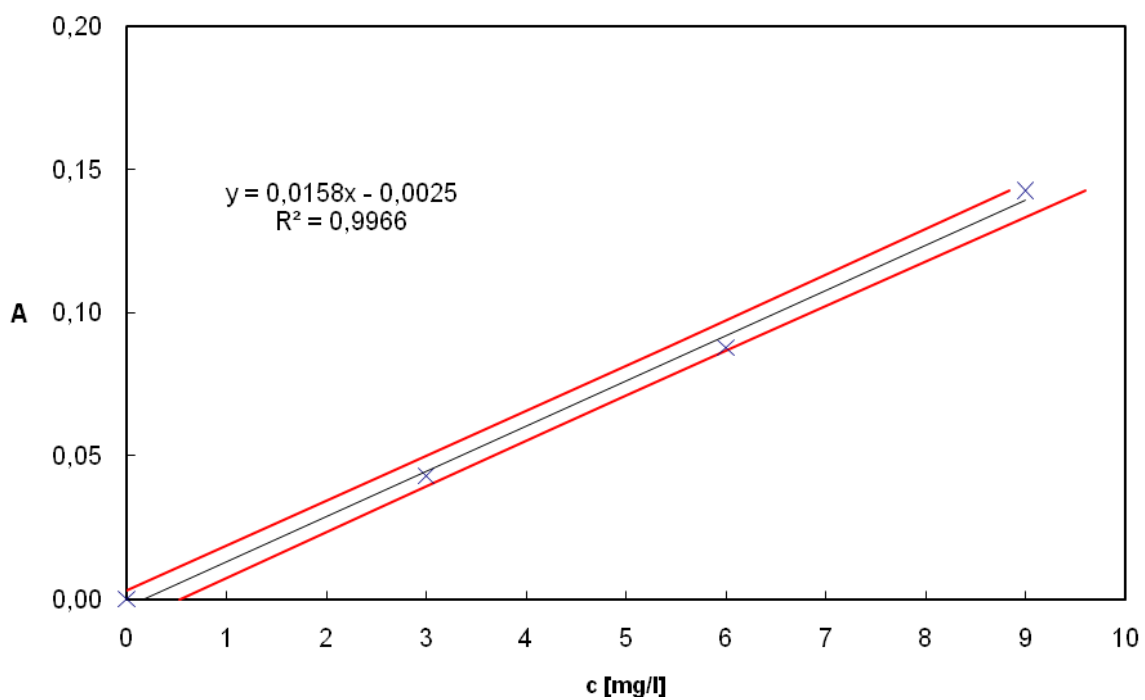
3.3.4 Kalibrační závislosti, meze detekce a meze stanovitelnosti



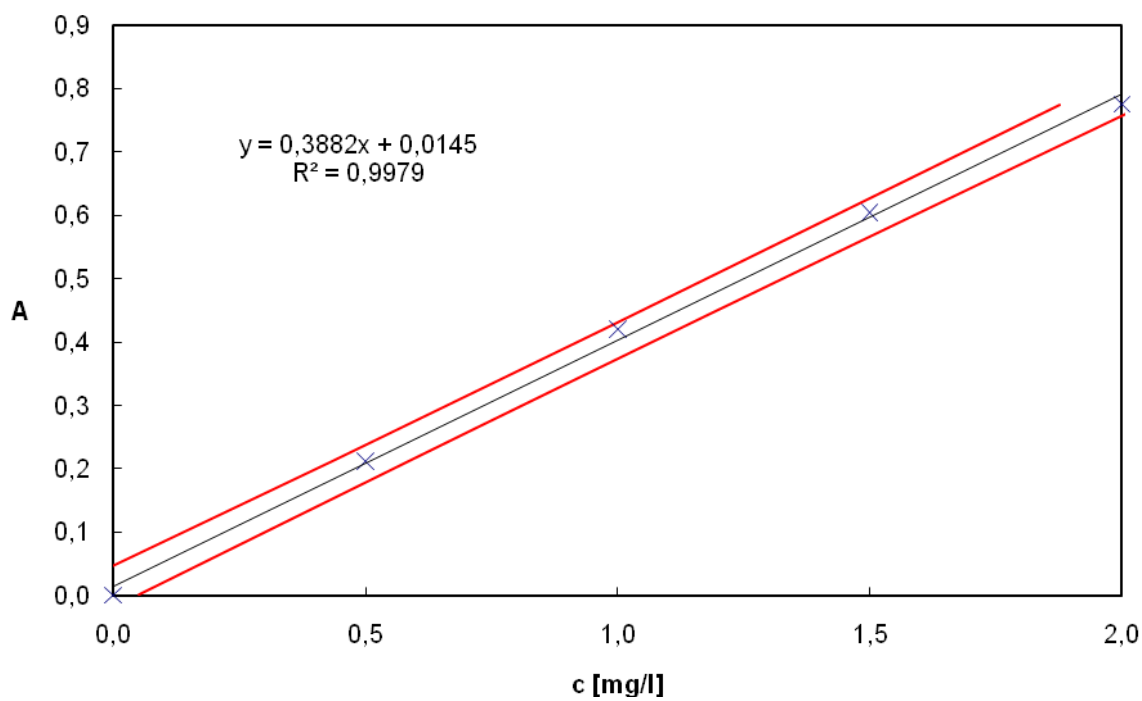
Graf 3 Kalibrační křivka pro stanovení mědi



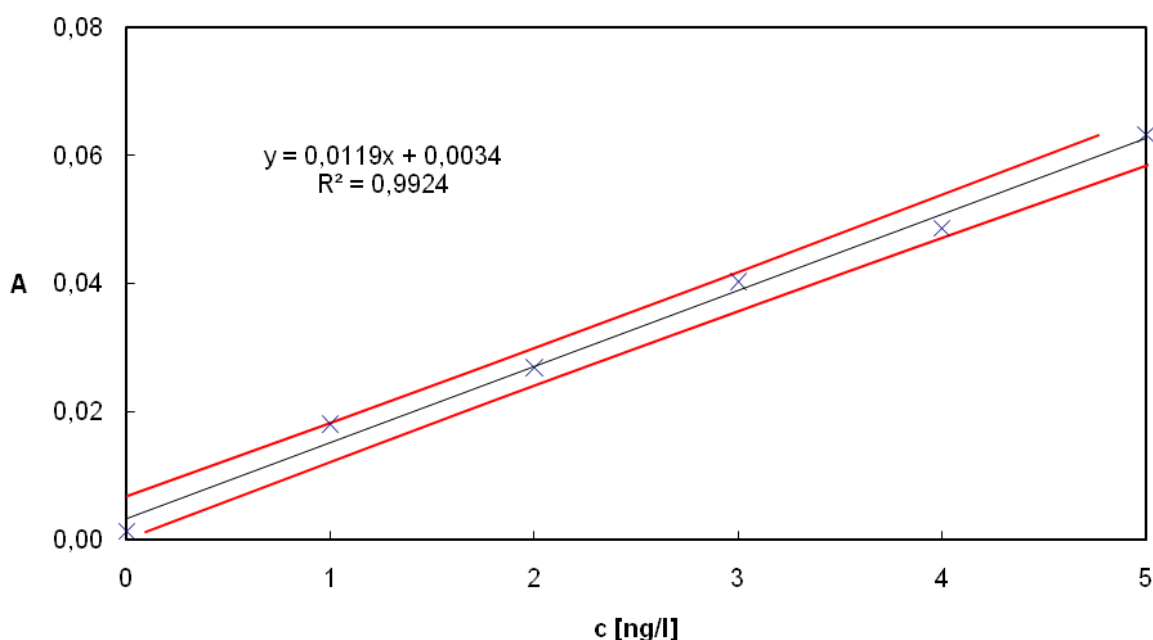
Graf 4 Kalibrační křivka pro stanovení niklu



Graf 5 Kalibrační křivka pro stanovení olova



Graf 6 Kalibrační křivka pro stanovení zinku



Graf 7 Kalibrační křivka pro stanovení kadmia

V Grafech 3 - 7 jsou zobrazeny kalibrační závislosti pro stanovení daného prvku na daném přístroji. Každý graf obsahuje body kalibrační řady proložené regresní přímkou, ke které je přiřazena rovnice přímky a hodnota spolehlivosti dané závislosti (R^2 nebo též korelační koeficient r). Čím je hodnota korelačního koeficientu bližší 1, tím je závislost mezi jednotlivými body kalibrace lineárnější a blíží se více přímce. Interval spolehlivosti, který nám říká, že se v něm s určitou pravděpodobností nachází daný parametr, je pak v grafech vymezen dvěma přímkami, které určují horní a dolní hranici pro oblast výskytu daného parametru.

Tabulka 13 Meze detekce a meze stanovitelnosti pro jednotlivé stanovované prvky

Prvek	Vlnová délka	Mez detekce	Mez stanovitelnosti
Cu	324,8 nm	0,02 mg.l ⁻¹	0,068 mg.l ⁻¹
Ni	232 nm	0,059 mg.l ⁻¹	0,197 mg.l ⁻¹
Pb	217 nm	0,281 mg.l ⁻¹	0,937 mg.l ⁻¹
Zn	213,9 nm	0,023 mg.l ⁻¹	0,077 mg.l ⁻¹
Cd	228,8 nm	0,116 ng.l ⁻¹	0,385 ng.l ⁻¹

Kalibrace přístroje AMA 254 probíhala proměřením check standardu (kapitola 3.3.1). Při výsledcích odpovídajících namíchané koncentraci bylo možné začít s měřením.

3.4 Použité chemikálie

- 65% kyselina dusičná (Lachema, závod Neratovice)
- Koncentrovaná kyselina chlorovodíková HCl
- 1% roztok dichromanu draselného $K_2Cr_2O_7$
- Chlorid vápenatý ($CaCl_2$)
- Kalibrační standardní roztok mědi o koncentraci $1 \pm 0,002$ g/l (Analytica Praha)
- Kalibrační standardní roztok niklu o koncentraci $1 \pm 0,002$ g/l (Analytica Praha)
- Kalibrační standardní roztok olova o koncentraci $1 \pm 0,002$ g/l (Analytica Praha)
- Kalibrační standardní roztok zinku o koncentraci $1 \pm 0,002$ g/l (Analytica Praha)
- Kalibrační standardní roztok kadmia o koncentraci $1 \pm 0,002$ g/l (Analytica Praha)
- Kalibrační standardní roztok rtuti o koncentraci $1 \pm 0,002$ g/l (Analytica Praha)
- Ultračistá (MilliQ) voda, destilovaná voda

3.5 Použité přístroje a zařízení

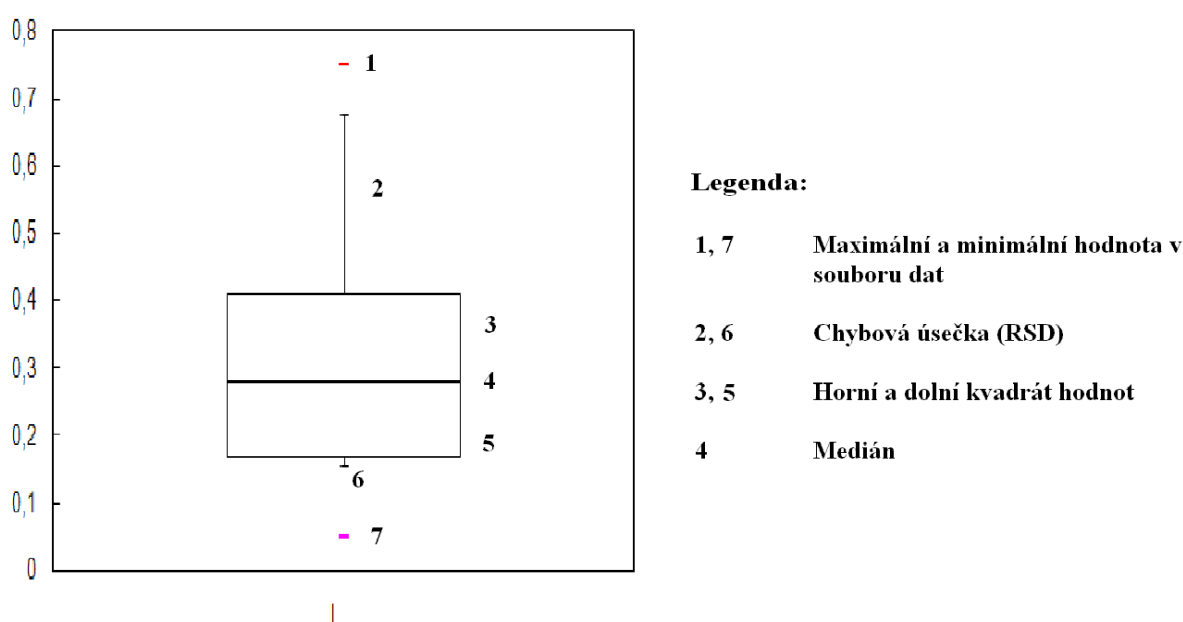
- SpectrAA 30 (Varian, Austrálie)
- AAS-ZEEnit 60 (Analytik Jena AG, Německo)
- Grafitová kyveta s platformou (č. š. 101247838, Analytik JENA)
- AMA 254 (Altec, s r.o., ČR)
- Zařízení pro přípravu ultračisté vody (PURELAB Classic, Elga PL 5242)
- Analytické váhy (Denver Instrument, Německo)
- Sušárna (model 500, Memmert, Německo)
- Třepačka LT2
- pH-metr WTW 320
- Exikátor
- Síto o velikosti ok 2 mm
- Mikropipety
- Filtrační papír (póry $8\mu m$)
- Tlaková lahev s argonem (čistota 5.0)
- Tlaková lahev s kyslíkem (technický 2.5)
- Tlaková lahev s acetylenem (pro plamenovou fotometrii 2.6)

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

Veškerá experimentální data k následujícím graficky zpracovaným výsledkům se nacházejí v přílohové části této práce (Přílohy 29 - 35).

Následující kapitoly, ve kterých budou popsány výsledky stanovení jednotlivých prvků, budou obsahovat grafické porovnání výsledků kontaminace všech lokalit odběru ve dvou odběrových sériích (podzimní a jarní), dále vyhodnocení obsahu stanovovaného prvku v rámci skupin lokalit dle dopravního zatížení (zpracování pomocí box grafů - součet všech hodnot všech odběrů pro danou skupinu a prvek) a na závěr, po vyhodnocení obsahů jednotlivých prvků, bude vypočítán a graficky znázorněn souhrnný Integrovaný index znečištění (IPI) dle kritérií A, B a C dle metodiky MŽP.

Takzvané box grafy (box plot) jsou ideálním prostředkem pro interpretaci souborů dat. Pro vysvětlení obsahu těchto grafů poslouží jako ukázka popis následujícího Grafu 8 [20, 48].



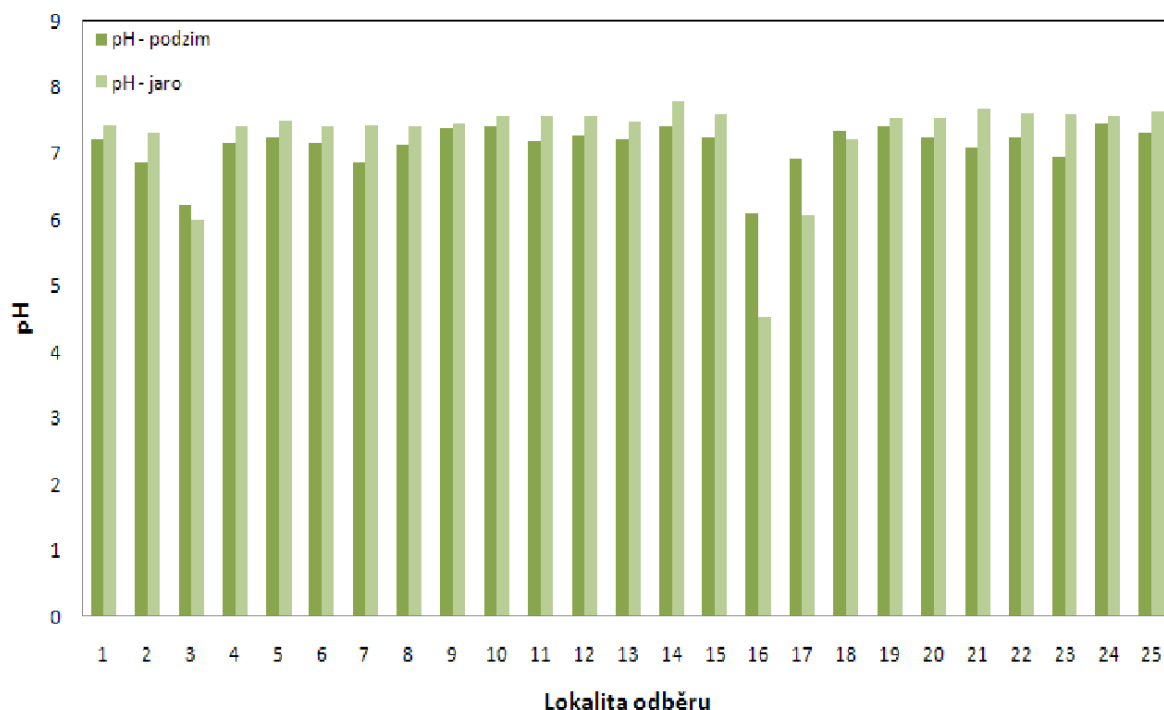
Graf 8 Ilustrační box graf

4.1 Diskuze k výsledkům stanovení pH půd

Pro měření pH vzorků půd bylo použito extraktu 0,01 M roztoku chloridu vápenatého. Hodnoty jsou zaznamenány v tabulce v přílohové části práce (Příloha 29), grafické zpracování v následujícím Grafu 9.

Z grafického vyjádření hodnot pH je patrné, že se pH na všech lokalitách pohybuje v neutrální oblasti. Pouze u Lokality 16, tedy v Soběšicích, pozorujeme pH mírně kyselé, což je důsledkem odběru na okraji lesa, kde bývají půdy obvykle kyslejší.

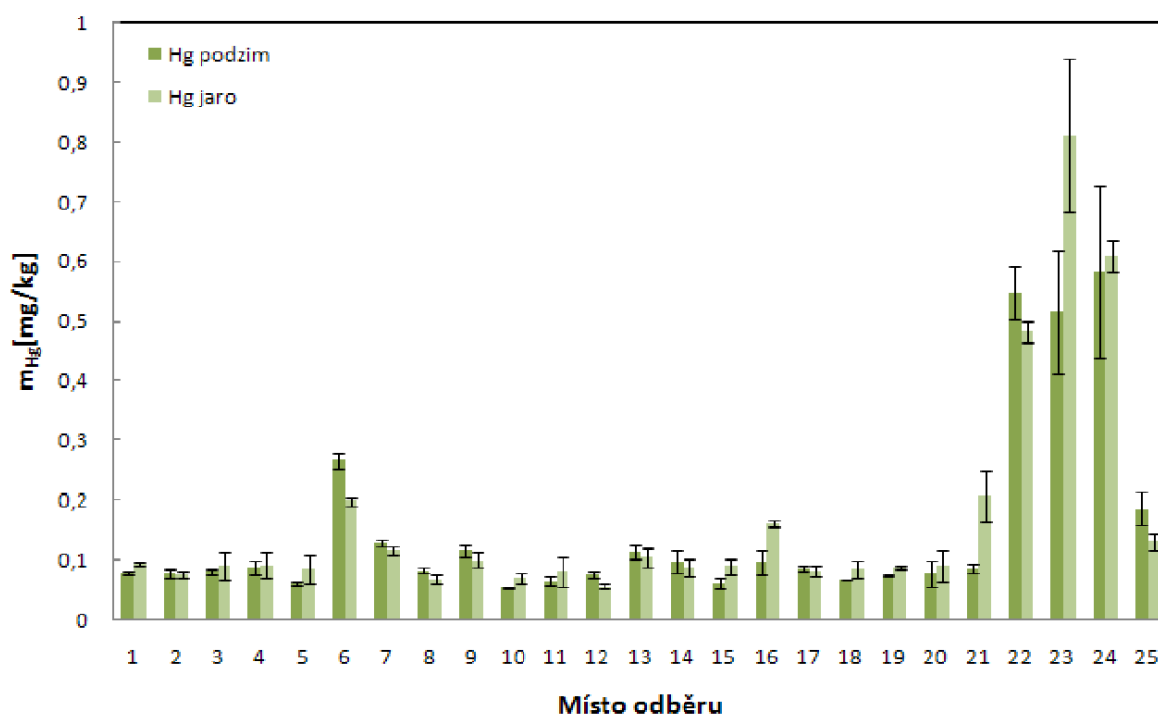
Rozdíly mezi jednotlivými odběry na lokalitách jsou velmi nízké, převažuje vyšší pH v jarní sérii odběrů. Logičtější by byl spíše opačný trend, tedy nižší pH ve druhé sérii odběrů vlivem promývání půdy tajícím sněhem. Odběry druhé série ale probíhaly po dlouhotrvajícím období bez sněhu a s poměrně vysokými teplotami, což zřejmě vedlo ke srovnání a i mírnému zvýšení hodnoty pH oproti první sérii odběrů.



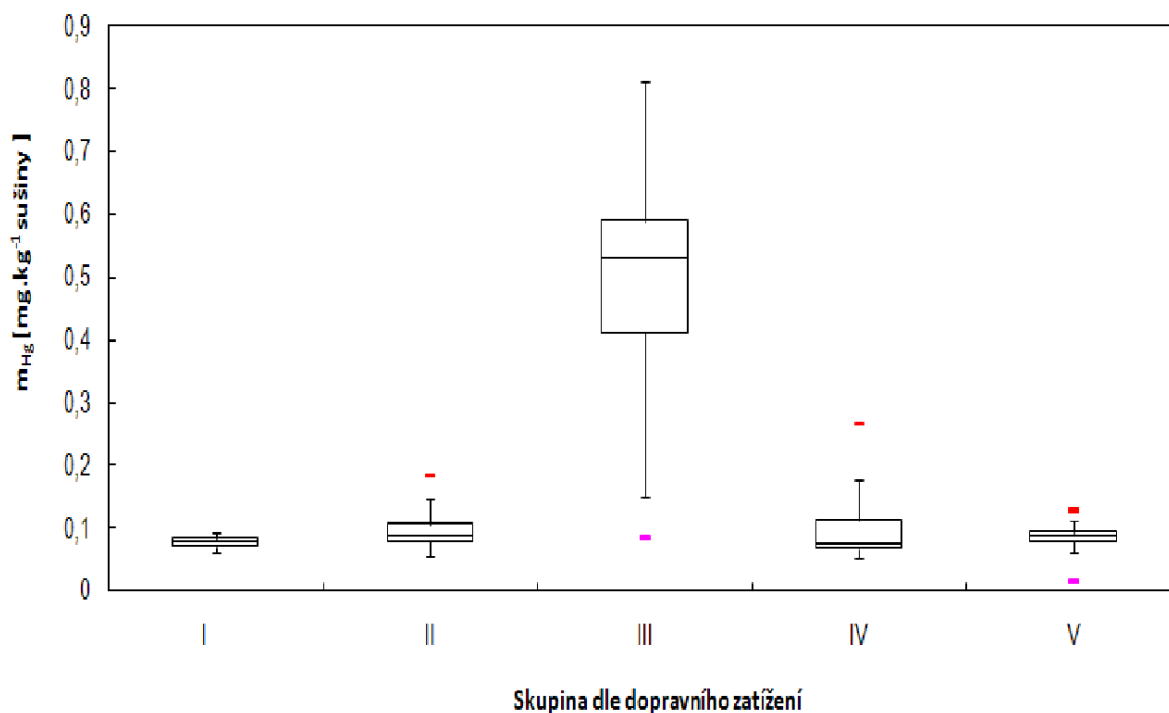
Graf 9 Porovnání pH odebraných vzorků půd dle lokality

4.2 Diskuze k výsledkům stanovení obsahu rtuti v půdní matrici

V odebraných vzorcích půd byl stanoven celkový obsah rtuti. Každý vzorek byl proměřen minimálně třikrát a z výsledků byl vypočítán průměr, medián, směrodatná odchylka a relativní směrodatná odchylka. Tabulkové zpracování výsledků se nachází v přílohové části práce (Příloha č. 30), grafické znázornění na následujících Grafech 10 a 11.



Graf 10 Obsah rtuti v půdě dle místa odběru



Graf 11 Obsah rtuti v půdě dle skupin dopravního zatížení

Z grafů vyplývá, že nejvyšší hodnoty rtuti byly naměřeny u vzorků, které pocházely z parků v centru Brna (lokality 21, 22, 23, 24, 25). Ostatní skupiny byly v podstatě vyrovnané.

Vůbec nejvyšší hodnota, $0,811 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny, byla naměřena u lokality 23 (Lužánecký park). Zde také došlo k největšímu rozdílu naměřených hodnot mezi jednotlivými odběry.

Tento výsledek znamenal lehké překročení limitní koncentrace dané vyhláškou 13/1994 Sb. ve znění pozdějších předpisů ($0,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny) i překročení kritéria A (dle Kritérií MŽP, $0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny). Limit dle kritéria překročily také lokality 22 (Björnensenův sad) a 24 (Koliště).

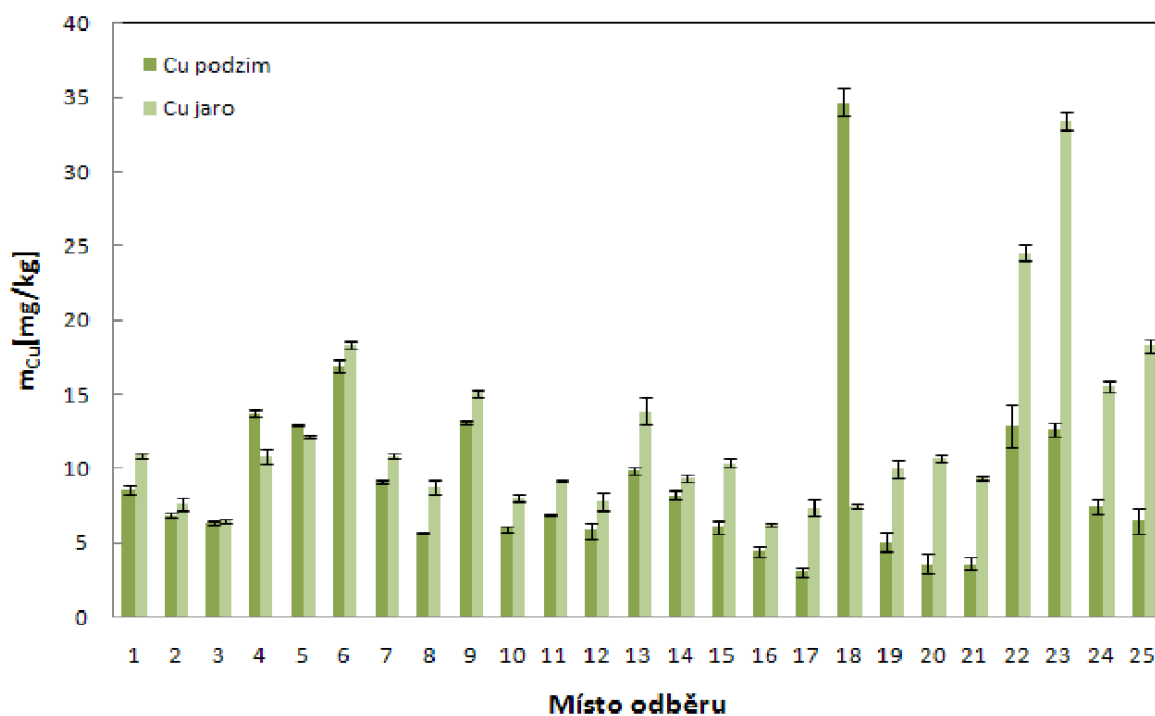
Výsledky u ostatních lokalit se pohybovaly v nízkých koncentracích okolo $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny a rozdíly mezi jednotlivými odběry by se daly označit za minimální.

4.3 Diskuze k výsledkům stanovení obsahu mědi v půdním extraktu

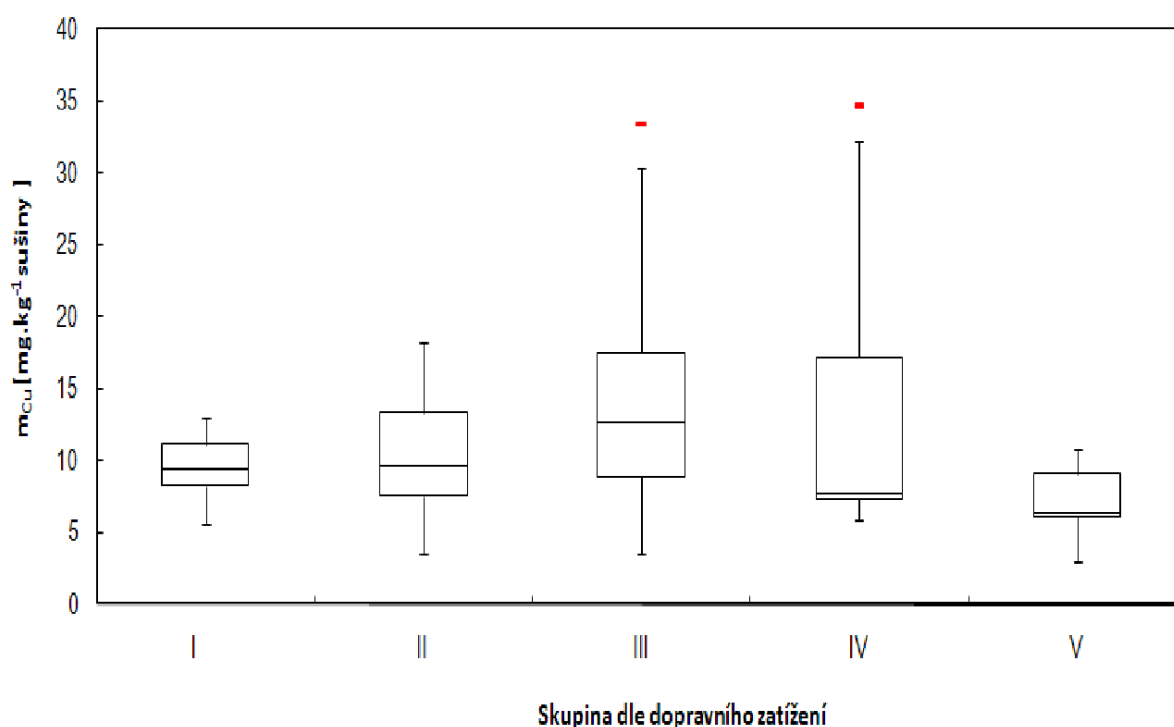
Z každého odebraného vzorku půdy byl vytvořen půdní extrakt (2 M HNO_3). V extraktech byly stanovovány obsahy mědi. Každý vzorek byl vždy minimálně třikrát proměřen, výsledky byly zaneseny do tabulky (Příloha 31 v přílohové části práce) a Grafů 12 a 13. U každého vzorku byl vypočítán medián, směrodatná odchylka a relativní směrodatná odchylka měření.

Z grafického zpracování výsledků vyplývá obdobná závislost jako u ostatních výsledků. Hodnoty jednotlivých odběrů se od sebe nijak zvlášť neodlišují, kromě Lokality 18 (Líšeň), kde je patrný extrémní pokles obsahu mědi mezi jednotlivými odběry způsobený pravděpodobně silnou lokální kontaminací na podzim. Naopak u lokalit 19 až 25 pozorujeme výrazný nárůst obsahu mědi mezi jednotlivými odběry.

Výsledky mezi jednotlivými odběry mají obecně vzrůstající tendenci, což bylo pravděpodobně způsobeno průnikem sněhem zadržené mědi do půdy během oblevy.



Graf 12 Obsah mědi v půdě dle místa odběru



Graf 13 Obsah mědi v půdě dle skupin dopravního zatížení

Nejvyšší obsah mědi byl naměřen v již zmíněné lokalitě č. 18 ($34,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny) a v lokalitě 23 (Lužánecký park, $34,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny). Ani jedna z těchto hodnot se však ani nepřibližuje limitním hodnotám daným vyhláškami (13/1994 Sb. ve znění pozdějších předpisů - 50 mg.kg^{-1} sušiny a kritérium A dle metodiky MŽP- 70 mg.kg^{-1}). Většina ostatních lokalit se pohybovala v rozmezí mezi 5 až 10 mg.kg^{-1} .

Nejvíce kontaminovanou skupinou lokalit dle dopravního zatížení byly opět parky v centru Brna, i když ne tak výrazně jako např. v případě obsahu rtuti. Nejmenším obsahem mědi se prokázaly lokality s nejmenším zatížením.

4.4 Diskuze k výsledkům stanovení obsahu niklu v půdním extraktu

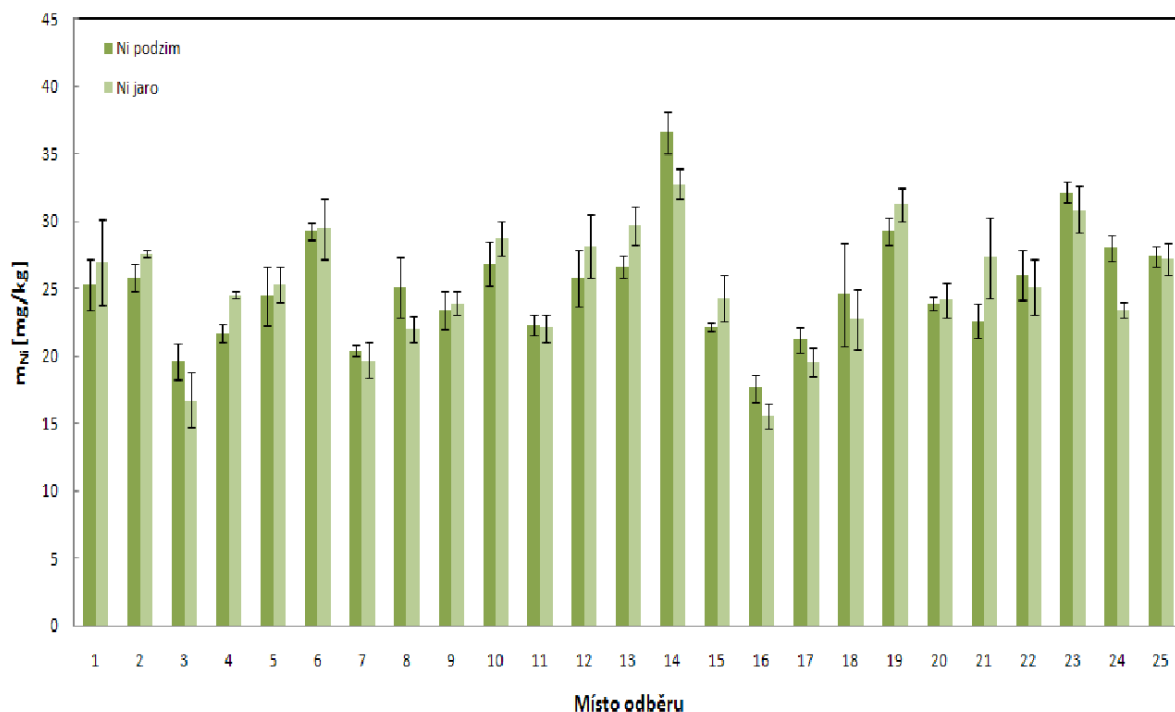
Z každého odebraného vzorku půdy byl vytvořen půdní extrakt (2 M HNO_3). V extraktech byly stanovovány obsahy niklu. Každý vzorek byl vždy minimálně třikrát proměřen, výsledky byly zaneseny do tabulky (Příloha 32) a Grafů 14 a 15. U každého vzorku byl vypočítán medián, směrodatná odchylka a relativní směrodatná odchylka měření.

Z následujících grafů vyplývá, že obsah niklu na jednotlivých odběrových lokalitách se pohyboval především v rozmezí mezi 20 a 30 mg.kg^{-1} sušiny, což jsou hodnoty okolo limitu z vyhlášky 13/1994 Sb. ve znění pozdějších předpisů (25 mg.kg^{-1} sušiny) a výrazně pod limitem dle kritérií MŽP (kritérium A = 60 mg.kg^{-1} sušiny).

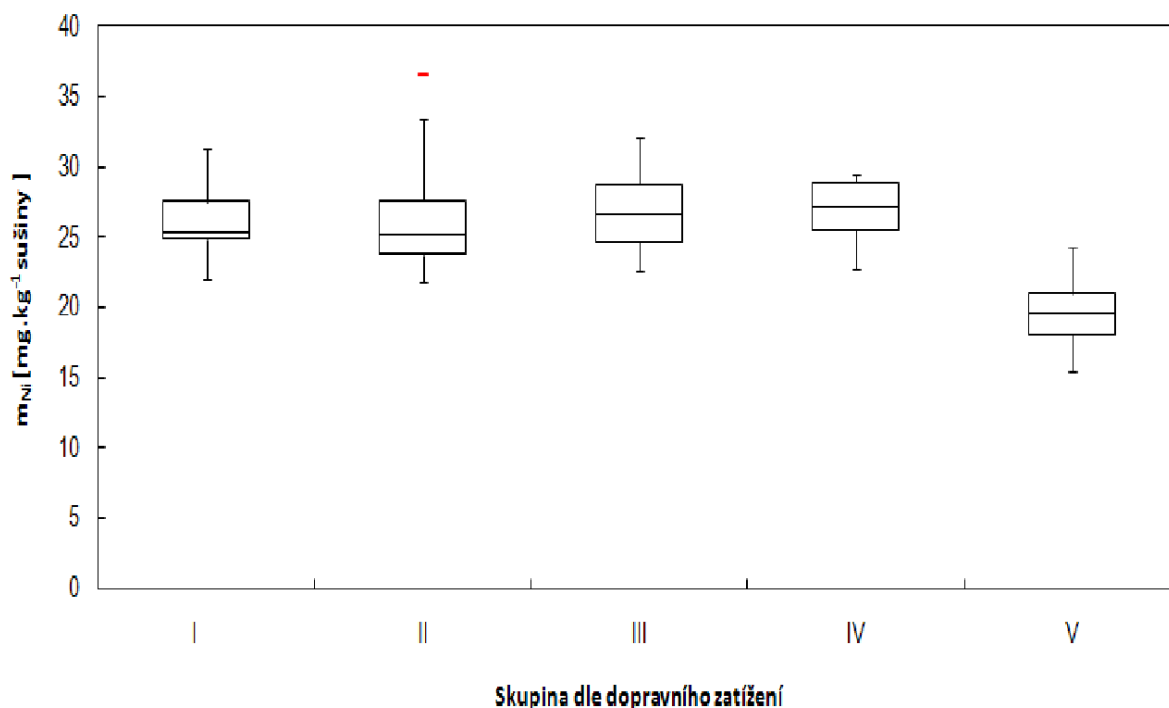
Nejvyšší hodnota v obou odběrech byla naměřena v lokalitě 14 (Královo Pole, Porgesova, 36,6 mg.kg^{-1} sušiny), což může být způsobeno blízkostí teplárny a tedy uvolňováním niklu (při spalování fosilních paliv) do ovzduší a následnou depozicí do půdy. Naopak nejnižší hodnoty byly naměřeny na lokalitách 3 a 16 (Rozdrojovice a Soběšice, hodnoty mezi 15 a 20 mg.kg^{-1} sušiny).

Při porovnání v rámci skupin dopravního zatížení je patrná vyrovnanost mezi jednotlivými skupinami s výjimkou skupiny V, tedy lokalit s nejmenším dopravním zatížením, kde se také vyskytly nejnižší úrovně niklu v půdách.

Obecně by se dalo říct, že obsah niklu v půdách byl konstantní s malými změnami mezi jednotlivými odběry.



Graf 14 Obsah niklu v půdě dle místa odběru



Graf 15 Obsah niklu v půdě dle skupin dopravního zatížení

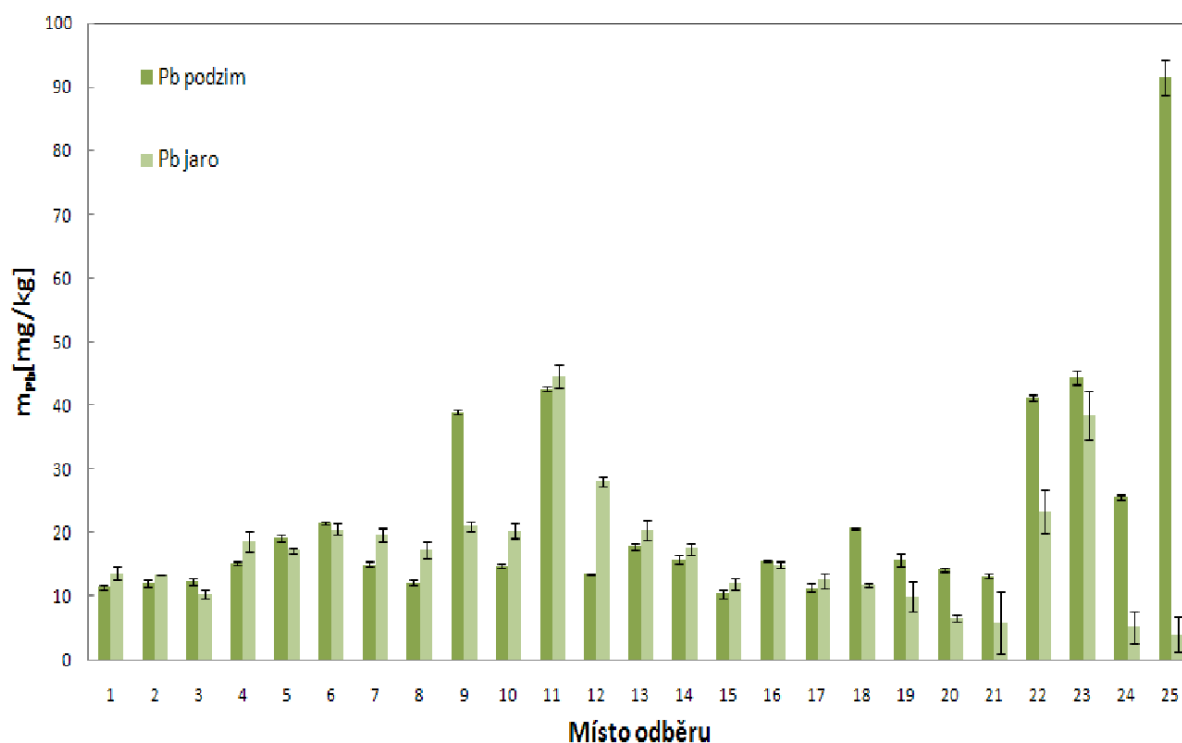
4.5 Diskuze k výsledkům stanovení obsahu stanovení olova v půdním extraktu

Z každého odebraného vzorku půdy byl vytvořen půdní extrakt (2 M HNO_3). V extraktech byly stanovovány obsahy olova. Každý vzorek byl vždy minimálně třikrát proměřen, výsledky byly zaneseny do tabulky (Příloha 33 v přílohové části práce) a Grafů 16 a 17. U každého vzorku byl vypočítán medián, směrodatná odchylka a relativní směrodatná odchylka měření.

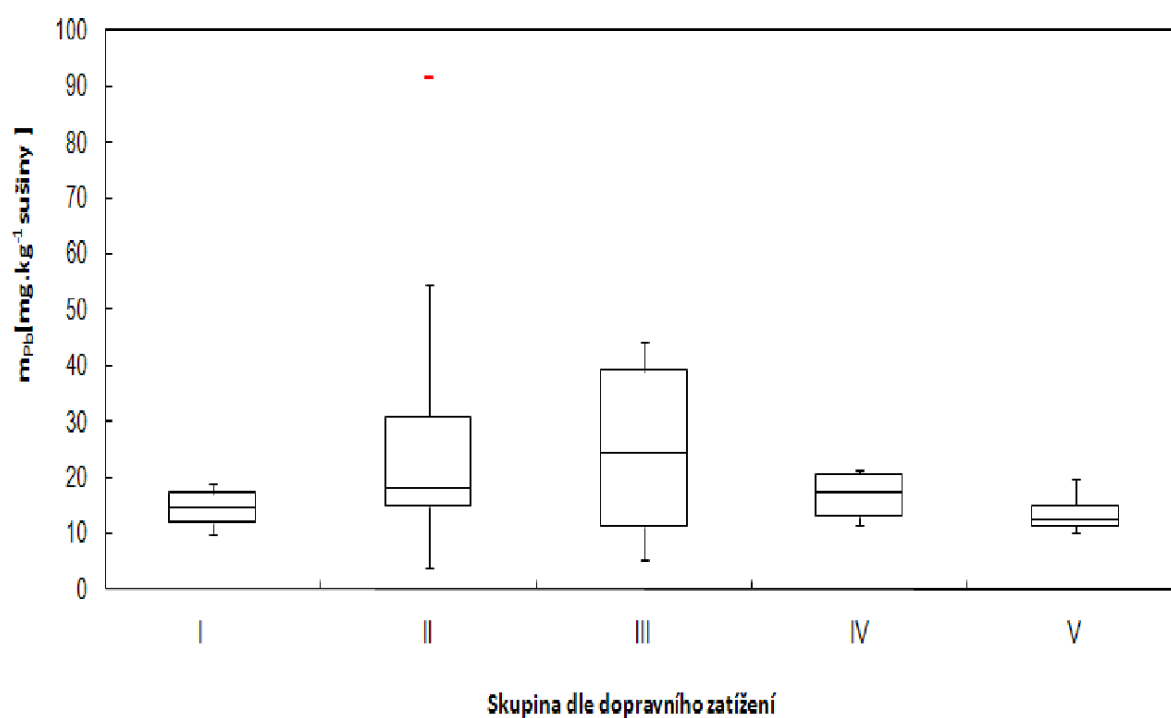
Nejvyšší hodnota byla naměřena v lokalitě 25 (Maloměřice, Světlá) a to $91,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ sušiny. Bylo to však zřejmě způsobeno lokální kontaminací místa či jinou nepředvídatelnou chybou, protože druhý odběr na tomto místě byl naopak nejnižší ze všech (4 mg.kg^{-1} sušiny). Vyšší hodnoty byly zaznamenány rovněž u lokalit 11 (Brno-Žabovřesky, Žabovřeská), 22 (Björnsenův sad, Veverčí) a 23 (Lužánecký park). Žádné z těchto hodnot však nedosahují limitních hodnot daných vyhláškami 13/1994 Sb. ve znění pozdějších předpisů (70 mg.kg^{-1} sušiny) či kritériem A (80 mg.kg^{-1} sušiny) dle metodiky MŽP.

Nejnižší naměřené hodnoty na několika lokalitách se pohybovaly okolo 15 mg.kg^{-1} sušiny.

Při hodnocení lokalit dle příslušnosti ke skupině dle dopravního zatížení se obdobně jako u ostatních měření nejkontaminovanější lokalitou staly brněnské parky, naopak nejméně kontaminovanou lokalitou místa s nejmenším dopravním zatížením.



Graf 16 Obsah olova v půdě dle místa odběru



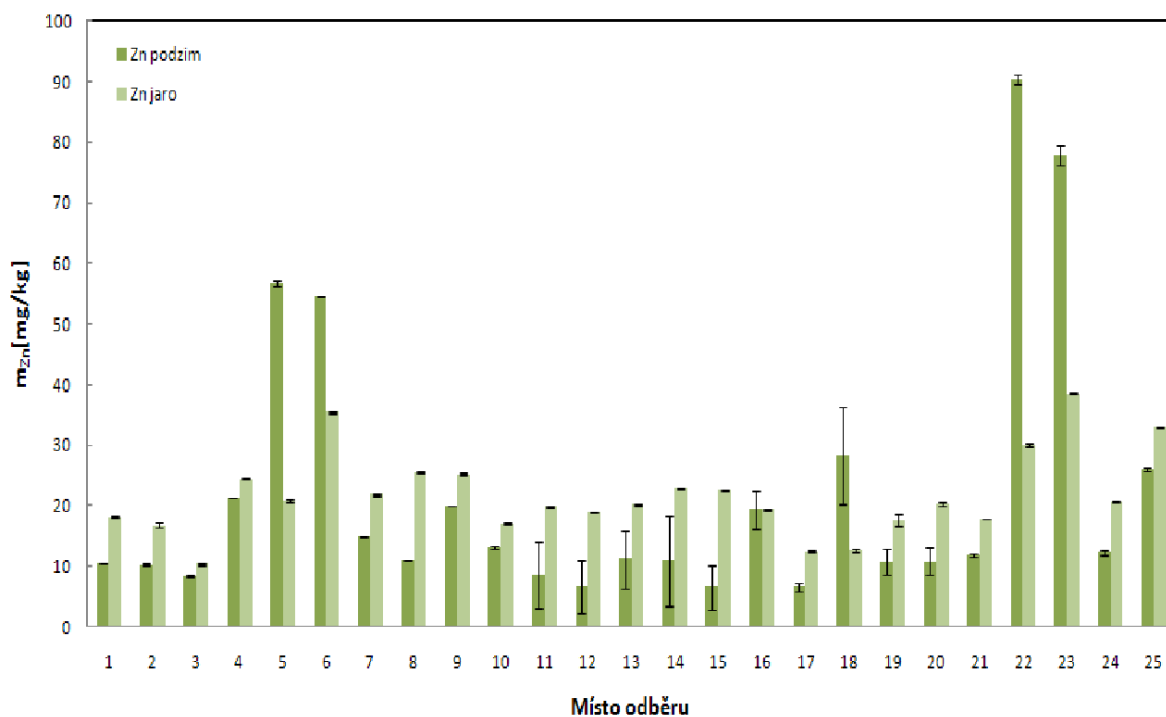
Graf 17 Obsah olova v půdě dle skupin dopravního zatížení

4.6 Diskuze k výsledkům stanovení obsahu stanovení zinku v půdním extraktu

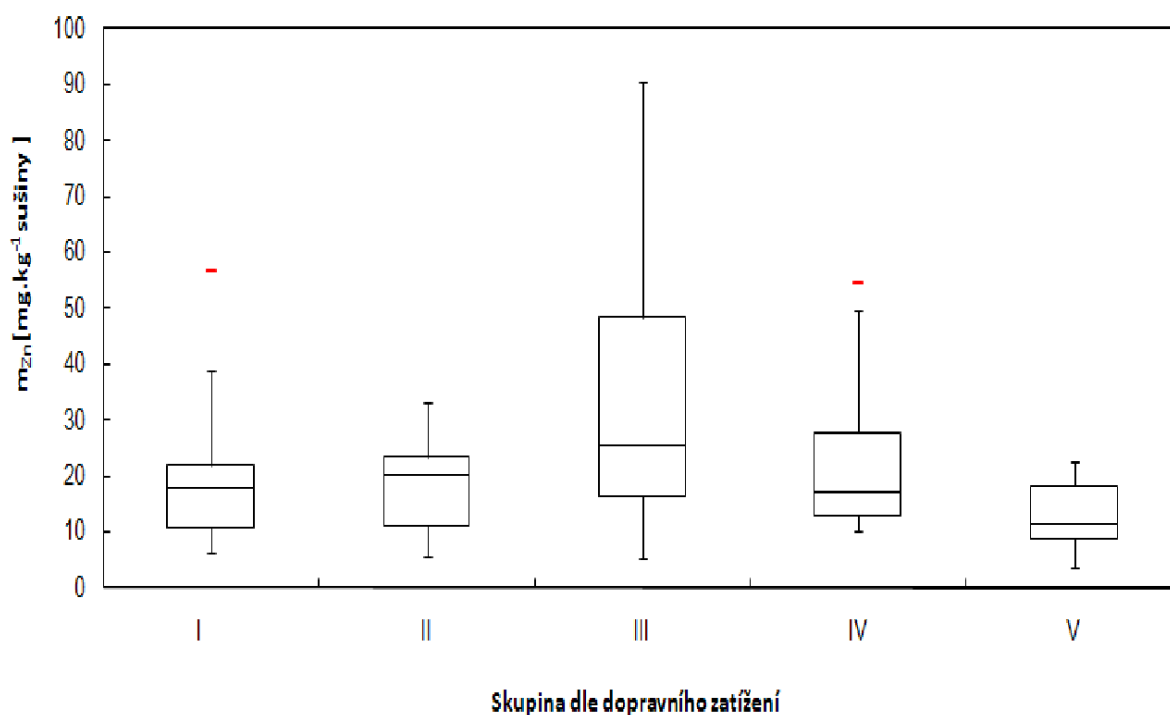
Z každého odebraného vzorku půdy byl vytvořen půdní extrakt (2 M HNO₃). V extraktech byly stanovovány obsahy zinku. Každý vzorek byl vždy minimálně třikrát proměřen, výsledky byly zaneseny do tabulky (Příloha 34 v přílohové části práce) a Grafů 18 a 19.

U každého vzorku byl vypočítán medián, směrodatná odchylka a relativní směrodatná odchylka měření.

Z grafického zpracování výsledků je u většiny lokalit patrný nárůst obsahu zinku v půdě mezi jednotlivými odběry na podzim a na jaře, což bylo pravděpodobně způsobeno rozpuštěním a vsakem sněhu se zachycenými škodlivinami do půdy během oblevy.



Graf 18 Obsah zinku v půdě dle místa odběru



Graf 19 Obsah zinku v půdě dle skupin dopravního zatížení

Nejvyšší koncentrace zinku byly naměřeny na lokalitách 5 (Vídeňská, 56,8 mg.kg⁻¹ sušiny), 6 (Modřice, 54,5 mg.kg⁻¹ sušiny) a 22 (Björnsenův sad, 90,5 mg.kg⁻¹ sušiny), 23 (Lužánecký park, 77,9 mg.kg⁻¹ sušiny). U lokalit 5, 22 a 23 se však vyskytl nápadný, více než 100% pokles mezi jednotlivými odběry. Ani jedna z těchto hodnot by však nepřekračovala limitní hodnoty dané vyhláškami (13/1994 Sb. ve znění pozdějších předpisů - 100 mg.kg⁻¹ sušiny, Kriterium A dle metodiky MŽP - 150 mg.kg⁻¹ sušiny).

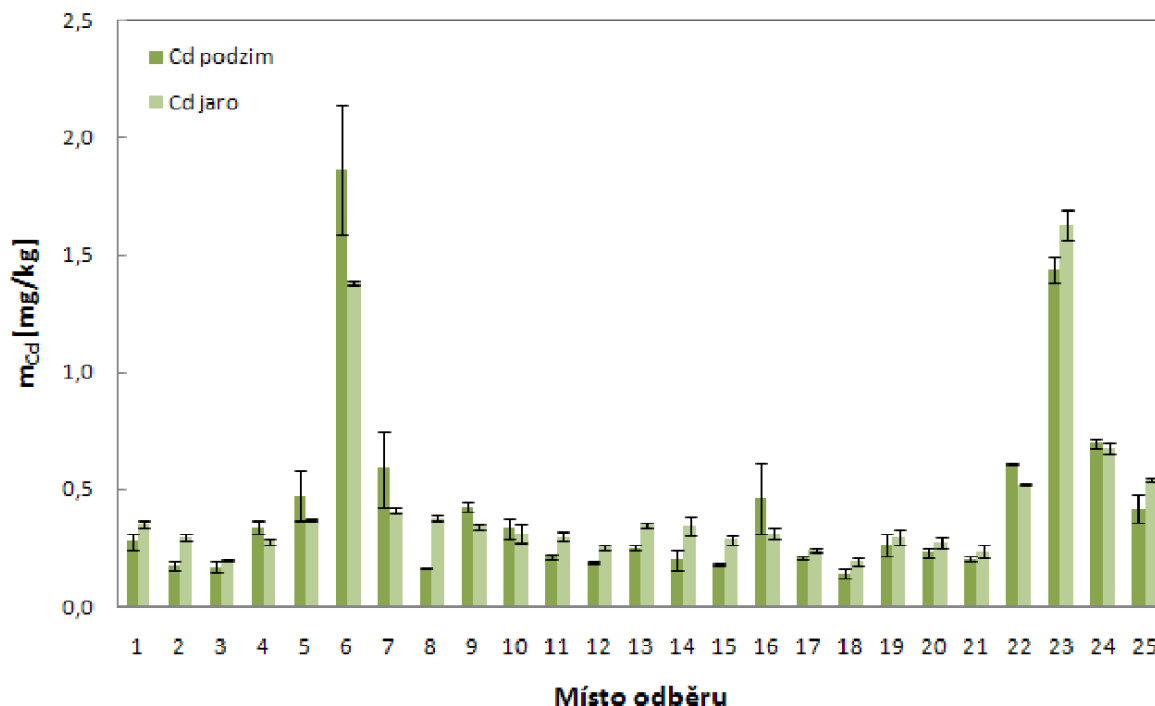
U nejméně kontaminovaných lokalit se úroveň obsahu zinku v půdě pohybovaly okolo 15 mg.kg⁻¹ sušiny.

Jak lze vysledovat z grafu rozdělení lokalit do skupin dle dopravního zatížení, staly se nejvíce kontaminovanou skupinou, jako u většiny ostatních prvků, parky v Brně. Naopak nejméně kontaminovanou skupinou, také ve shodě s většinou ostatních výsledků, jsou lokality s nejmenší dopravní zátěží.

4.7 Diskuze k výsledkům stanovení obsahu kadmia v půdním extraktu

Z každého odebraného vzorku půdy byl vytvořen půdní extrakt (2 M HNO₃). V extraktech byly stanovovány obsahy kadmia. Každý vzorek byl vždy minimálně třikrát proměřen, výsledky byly zaneseny do tabulky (Příloha 35 v přílohové části práce) a Grafů 20 a 21. U každého vzorku byl vypočítán medián, směrodatná odchylka a relativní směrodatná odchylka měření.

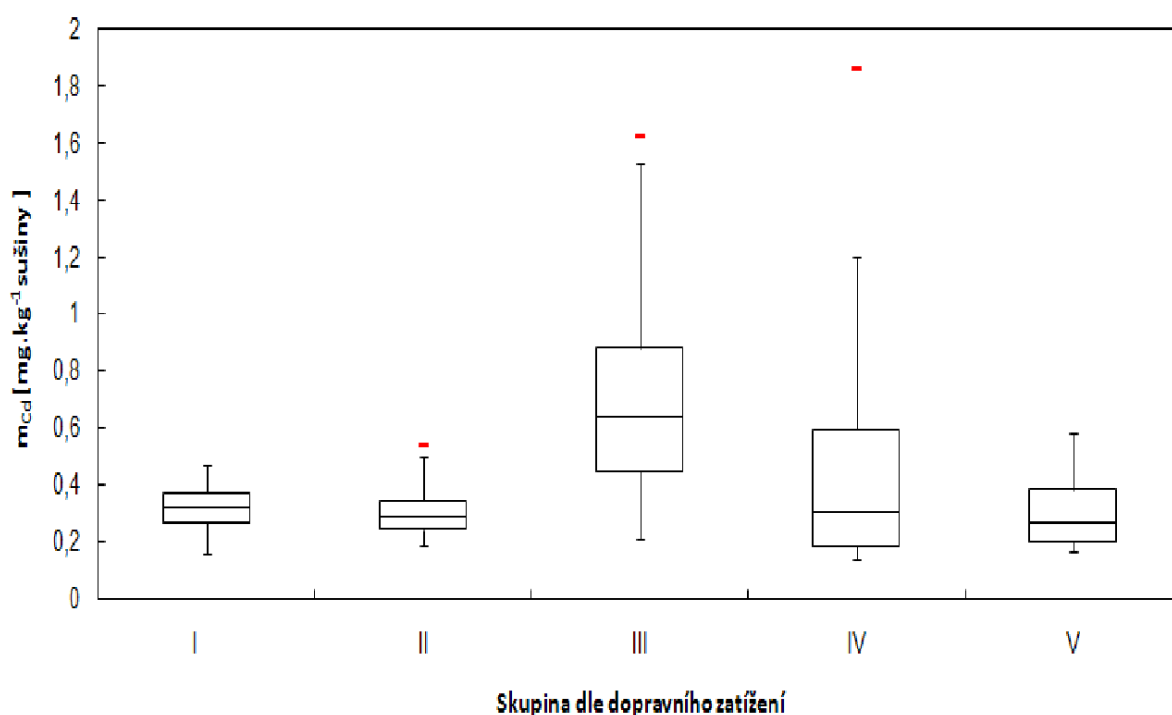
Z grafů lze vyčíst, že obsah kadmia mezi jednotlivými odběry zůstal téměř shodný (lehký pokles), nebo docházelo k mírnému nárůstu obsahu kadmia v půdě, což byl častější případ způsobený pravděpodobně spalováním fosilních paliv v zimním období a následným průnikem kadmia do půd vlivem oblevy.



Graf 20 Obsah kadmia v půdě dle místa odběru

Nejvyšší hodnoty byly naměřeny na lokalitě č. 6 (Modřice, 1,9 a 1,4 mg.kg⁻¹ sušiny), kde byla hlavním faktorem zřejmě blízkost velkých polních ploch, tedy velká pravděpodobnost použití průmyslových hnojiv, která mohou kadmium obsahovat. Další lokalitou se zvýšeným obsahem kadmia byla lokalita 23 (Lužánecký park, 1,4 a 1,6 mg.kg⁻¹ sušiny). Všechny zmíněné hodnoty překračují limit z vyhlášky 13/1994 Sb. ve znění pozdějších předpisů (1 mg.kg⁻¹ sušiny) a kritérium A (0,5 mg.kg⁻¹ sušiny), ne však již kritérium B (10 mg.kg⁻¹ sušiny) dle metodiky MŽP. Kritérium A bylo překročeno také v jednotlivých odběrech u lokalit č. 7 (Tuřany, pravděpodobná příčina odběr v blízkosti rozsáhlých polních ploch) a 25 (Maloměřice, Světlá) a v obou odběrech u lokalit 22 (Björnsenův sad) a 24 (Koliště).

Ostatní hodnoty se pohybovaly většinou mezi 0,2 a 0,3 mg.kg⁻¹ sušiny, tedy hluboko pod zákonnými limity.



Graf 21 Obsah kadmia v půdě dle skupin dopravního zatížení

Z hlediska jednotlivých skupin lokalit dle dopravního zatížení se ukázaly jako skupina s největším obsahem kadmia v půdě opět parky v centru Brna a skupinou s nejmenším obsahem kadmia byly komunikace s nejmenší dopravní zátěží.

4.8 Zhodnocení kontaminace lokalit (IPI)

Výpočet integrovaného indexu znečištění vycházel ze vztahu uvedeného v kapitole 2.4.4. Pro výpočet byla použita limitní data z „Kritérií znečištění zemín, podzemní vody a půdního vzduchu“ dle metodického pokynu MŽP. Na základě těchto limitních obsahů rizikových kovů v různých typech půd (dle polohy) byl vypočten IPI dle kritérií A, B, C (obytná zóna).

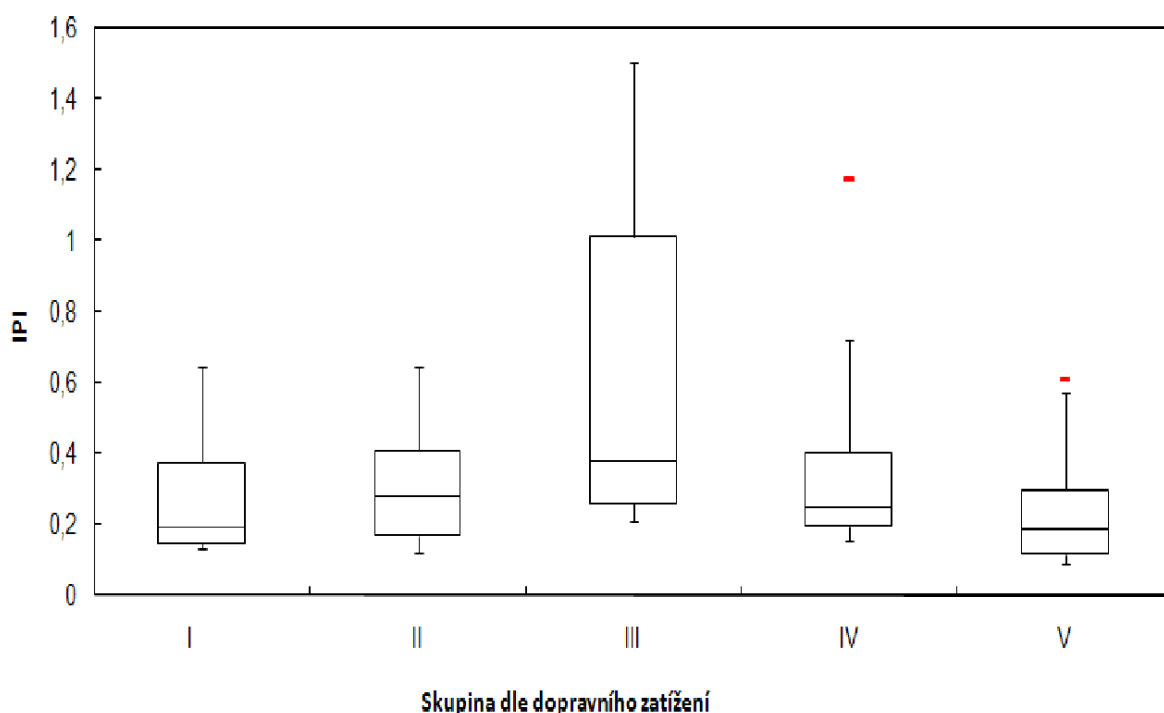
Tabulkový přehled indexů znečištění pro jednotlivé těžké kovy v rámci skupin zatížení dle kritérií A, B a C (obytná zóna) se nachází v přílohové části této práce (Příloha 36).

Následující tabulka 14 znázorňuje celkové hodnoty IPI pro jednotlivé skupiny lokalit rozdělené dle dopravního zatížení.

Tabulka 14 Průměrné hodnoty IPI dle skupin dopravního zatížení dle metodiky MŽP

Skupina dle zatížení	Kritérium		
	A	B	C
I	0,289	0,050	0,046
II	0,319	0,059	0,054
III	0,653	0,095	0,071
IV	0,409	0,060	0,055
V	0,251	0,042	0,037

Z hodnot v tabulce je patrné, že se ani jednou hodnoty IPI nepřibližují k 1, což v souvislosti s úrovní kontaminace půd na základě IPI znamená, že se jedná o půdy velmi málo kontaminované. Hodnoty IPI potvrzují výsledky předchozího měření. Nejvíce znečištěnou oblastí jsou podle IPI parky v centru města Brna v okolí velmi frekventovaných komunikací (III), nejméně znečištěnou pak lokality okolo komunikací s nejmenší dopravní zátěží (V).

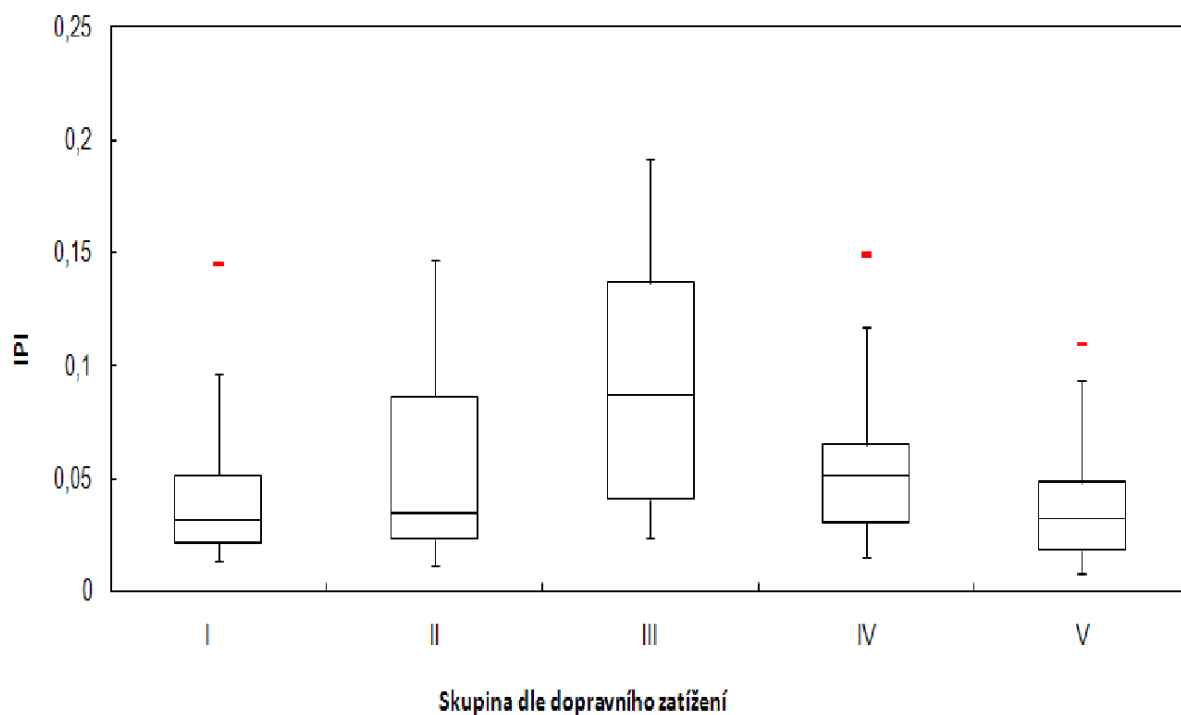


Graf 22 - IPI pro skupiny lokalit dle dopravního zatížení v souvislosti s kritériem A

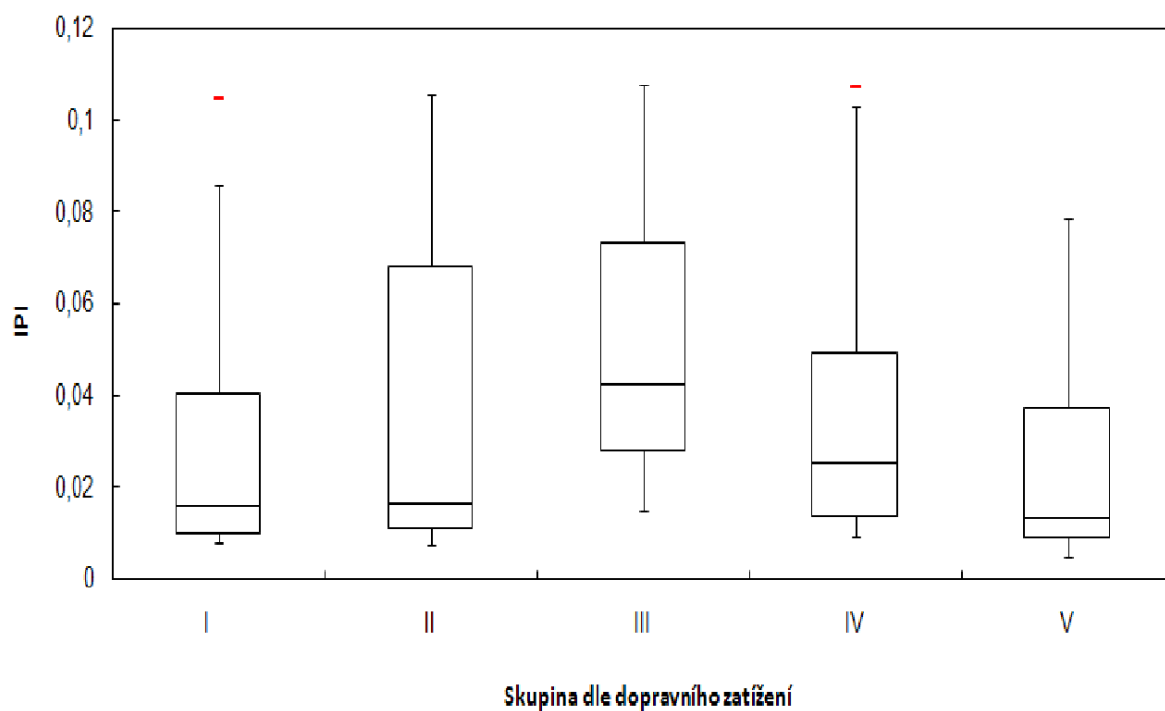
V Grafech 22, 23 a 24 jsou zpracována výsledná data IPI (data z Přílohy 36).

U grafu 22 se hodnoty IPI u skupiny III blíží k 1, v rámci směrodatné odchylky vyjádřené chybovou úsečkou ji dokonce výrazně přesahují, medián hodnot se však pohybuje na úrovni 0,4 IPI, takže i v tomto případě lze říct, že půdy lokalit ze III. skupiny patří mezi velmi málo kontaminované půdy a ne mezi středně kontaminované.

U Grafů 23 a 24, kde jsou již limity vyšší, se hodnoty IPI pohybují v desetinách a setinách, což značí velmi nízkou úroveň kontaminace půd a z tohoto důvodu lze konstatovat, že bylo nejvhodnějším kritériem k posouzení kontaminace kritérium A, které poukázalo na mírné znečištění v lokalitách města Brna.



Graf 23 IPI pro skupiny lokalit dle dopravního zatížení v souvislosti s kritériem B



Graf 24 IPI pro skupiny lokalit dle dopravního zatížení v souvislosti s kritériem C

Posouzení dle kritéria A, sloužícího k určení úrovně znečištění životní složky, bylo shledáno jako nejvhodnější, protože nedošlo k překročení kritéria B na žádné se sledovaných lokalit. Lze tedy konstatovat, že prostředí v Brně nelze považovat za takové, které by mělo negativní vliv na zdraví člověka a životní prostředí.

5 ZÁVĚR

Diplomová práce měla za úkol stanovit obsah rizikových kovů (kadmia, mědi, niklu, olova, rtuti a zinku) na vybraných lokalitách, kterých bylo dvacet pět. Lokality byly vybírány v závislosti na dopravní situaci v blízkosti dané lokality. Odběrová místa byla tedy vybírána v blízkosti pozemních komunikací. Pro závěrečné zpracování dat byly lokality rozděleny do pěti skupin právě dle dopravního zatížení daných lokalit.

Odběry na jednotlivých lokalitách probíhaly ve dvou obdobích, na podzim roku 2010 (začátkem října) a v zimě 2011 (koncem ledna).

U každého vzorku bylo změřeno pH půdního extraktu (0,01 M CaCl₂). Výsledky pH mezi jednotlivými odběry byly velmi podobné a téměř všechny vykazovaly lehce rostoucí tendenci hodnot pH mezi první a druhou sérií odběrů.

Obsahy kovů byly stanovovány ve všech odebraných vzorcích. Rtuť byla stanovována přímo z podsítné frakce vzorků půd, ostatní kovy z půdního extraktu.

Výsledky poukázaly na nejvíce znečištěné lokality patřící do třetí skupiny dle dopravního zatížení. Jedná se o lokality č. 21 (Pellicova), 22 (Björnsenův sad, Veverí), 23 (Lužánecký park) a 24 (Koliště). Skupiny I, II a IV se pohybovaly v rámci obsahu rizikových kovů přibližně ve stejných rozsazích hodnot, V. skupina, která je charakteristická malou intenzitou dopravy, vykazovala nejnižší hodnoty obsahu rizikových kovů, což potvrzuje vliv dopravy na obsah těžkých kovů v půdách. Vliv mělo také zřejmě samotné umístění lokalit, lokality z páté skupiny se nacházejí na okraji Brna, kde je úroveň obsahu rizikových kovů nižší než v centru města, na což poukázala Ing. Andrea Debnárová ve své diplomové práci (r. 2010) na téma Kontaminace vybraných částí města Brna těžkými kovy. Výsledky její práce a této práce spolu korespondují a rozšiřují získané informace z jiných lokalit v Brně.

Nejvíce znečištěnou lokalitou je Lužánecký park (č. 23), kde byl odběr proveden u křižovatky ulic Pionýrská a Drobného.

Pokud bychom porovnávali výsledky této práce s vyhláškou 13/1994 Sb. ve znění pozdějších předpisů, našli bychom u některých kovů a lokalit překročení limitů. Pokud je porovnáme se směrodatnějšími Kritérii znečištění zemin dle metodiky MŽP, konkrétně s kritériem A, nalezneme také překročení limitů, jedná se ale spíše o ojedinělý jev.

Pro posouzení úrovně znečištění půd na území města Brna v rámci skupin dle dopravního zatížení byl vypočítán integrovaný index znečištění (opět dle Kritérii znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu dle metodického pokynu MŽP). Jako nejvíce kontaminovaná skupina se prokázala třetí skupina dle dopravního zatížení (parky v centru Brna v okolí městských dopravních okruhů) a jako nejméně kontaminovaná skupina pátá (periferní oblasti Brna). Výsledky IPI dle jednotlivých kritérií ukazují, že půdy v Brně patří dle klasifikace do skupiny mírně znečištěných půd.

Odběr půd nebyl vzhledem k jejich velké rozmanitosti snadný, což mohlo způsobit obtíže při získání reprezentativního vzorku. Na úrovni kontaminace půd se podílí několik faktorů, které se mohou velmi často měnit a tím ovlivňovat odběr (meteorologické podmínky, vlastnosti půd).

Celkově lze konstatovat (po přihlédnutí ke všem získaným výsledkům této práce), že dopravní zatížení kontaminaci půd vybranými rizikovými kovy ovlivňuje. Půdy v Brně pak můžeme označit za velmi málo kontaminované. Je však nutné v monitoringu výskytu rizikových kovů pokračovat a mít situaci stále pod kontrolou, a to zvláště v místech s vyšší pravděpodobností výskytu rizikových kovů a v místech představujících nebezpečí pro životní prostředí a v něm žijící organismy.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Český statistický úřad* [online]. 1.2.2011 [cit. 2011-02-14]. Zeměpis, podnebí a příroda. Dostupné z WWW:
<http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/zemepis_podnebi_a_priroda>
- [2] *Český statistický úřad* [online]. 24.11.2010, 21.3.2010 [cit. 2011-03-30]. Statistická ročenka České republiky 2010. Dostupné z WWW:
<<http://www.czso.cz/csu/2010edicniplan.nsf/kapitola/0001-10--0200>>.
- [3] *Brno - informace a zajímavosti o městě* [online]. 2.2.2011 [cit. 2011-03-30]. Informace a zajímavosti o městě Brně. Dostupné z WWW:
<<http://www.bрно.cz/turista-volny-cas/informace-a-zajimavosti-o-meste/>>.
- [4] *Geografické údaje a obyvatelstvo - Statutární město Brno* [online]. 30.11.2006 [cit. 2011-02-14]. Geografické údaje a obyvatelstvo. Dostupné z WWW:
<<http://www2.bрно.cz/index.php?nav01=2222&nav02=8>>.
- [5] *Czech and Slovak geological map* [online]. 2011 [cit. 2011-02-15]. Czech node - Czech and Slovak overview geological map. Dostupné z WWW:
<<http://onegeo.geology.cz/app/doc/d.pl>>.
- [6] Kolektiv autorů. *Životní podmínky a jejich vliv na zdraví obyvatel Jihomoravského kraje*. 1. vydání. Brno: Zdravotní ústav se sídlem v Brně, 2006. 47 s. Dostupné z WWW: <http://www.zubрно.cz/studie/00_obsah.htm>.
- [7] *Integrovaný registr znečišťování* [online]. 2010 [cit. 2011-02-17]. Integrovaný registr znečišťování. Dostupné z WWW: <<http://www.irz.cz/irz/new/node/108>>.
- [8] *ČOV Brno-Modřice* [online]. 2005, 14.4.2011 [cit. 2011-02-15]. Čistírna odpadních vod v Modřicích. Dostupné z WWW: <<http://www.bvk.cz/o-spolecnosti/odvadeni-a-cisteni-odpadnich-vod/cov-brno-modrice/>>.
- [9] KASTLOVÁ, Olga ; BRICH, Milan. *Ročenka dopravy 2009* [online]. Praha: Ministerstvo vnitra, 2010 [cit. 2011-02-16]. Dostupné z WWW:
<<https://www.sydos.cz/cs/rocenka-2009/index.html>>. ISSN 1801-3090.
- [10] Rodrigue, J-P, C. Comtois and B. Slack (2009), *The Geography of Transport Systems*, Second Edition, New York: Routledge. Dostupné z WWW:
<<http://people.hofstra.edu/geotrans/>>.
- [11] Kolektiv autorů. *Životní prostředí, Brno 2008 - 2009*. 8. vydání. Brno: Odbor životního prostředí Magistrátu města Brna, 2010. 62 s.
- [12] *Statutární město Brno* [online]. 2003, 17.2.2005 [cit. 2011-02-17]. Proč Město Brno usiluje o výstavbu R 43?. Dostupné z WWW:
<<http://oko.bрно.cz/index.php?nav01=88&nav02=89&nav03=3180&nav04=90>>.
- [13] *Ředitelství silnic a dálnic ČR* [online]. 2009 [cit. 2011-02-19]. Silniční a dálniční síť - Jihomoravský kraj. Dostupné z WWW:
<http://www.rsd.cz/doprava/silnicni_sit/html/1_jm.htm>.
- [14] *Velký městský okruh Brno* [online]. 2009 [cit. 2011-02-19]. Úseky VMO Brno. Dostupné z WWW: <<http://www.mestsky-okruh-brno.cz/>>.
- [15] HALABICA, Michael . *DÁLNIČE A RYCHLOSTNÍ SILNICE V ČESKÉ REPUBLICE* [online]. 2009 [cit. 2011-02-19]. Dostupné z WWW:
<http://www.dalnice.com/seznam_d_r.htm>.
- [16] BRUNCLÍK, Alfred ; VOREL, Vladimír a kolektiv. *Páteřní síť dálnic a rychlostních silnic v ČR*. Praha: Agentura Lucie spol. s.r.o., 2009. 148 s. Dostupné z WWW:
<<http://www.rsd.cz/doc/Silnicni-a-dalnicni-sit/paterni-sit-dalnic>>.

- [17] PETRÁNEK, Jan; SYNEK, Jaroslav. *Geologická encyklopedie on-line* [online]. 1993 [cit. 2011-02-20]. Půda. Dostupné z WWW: <<http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?puda>>.
- [18] VÁVROVÁ, Milada, *Chemie životního prostředí - přednáška Pedosféra*, VUT Brno, 2010.
- [19] *Elektronický taxonomický klasifikační systém půd ČR* [online]. 2004 [cit. 2011-03-5]. Referenční třídy půd. Dostupné z WWW: <<http://klasifikace.pedologie.czu.cz/index.php?action=showPudniKategorie>>.
- [20] LOSKA, Krzysztof; WIECHULA, Danuta ; KORUS, Irena . *Metal contamination of farming soils affected by industry*. Environment International. 2004, 30, s. 159 - 165.
- [21] OBINNA, Oje A., et al. Environmental Pollution Levels of Lead and Zinc in Ishiagu and Uburu Communities of Ebonyi State, Nigeria. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010, 85/3, s. 313-317.
- [22] DOLEŽALOVÁ WEISSMANNOVÁ, H.; DEBNÁROVÁ, A. Assessment of heavy metal pollution (Cd, Cu, Pb, Hg) in urban soils of roadsides in Brno. *TRANSACTIONS ON TRANSPORT SCIENCES*. 2011. 3(4). p. 147 - 156. ISSN 1802-971X.
- [23] KAFKA, Zdeněk ; PUNČOCHÁŘOVÁ, Jana. Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita. *Chemické listy*. 2002, 96, s. 611 - 617.
- [24] HOLOUBEK, Ivan. *Chemie životního prostředí III - přednáška Pedosféra, znečištění půd*, MUNI Brno, 2010. Dostupné z WWW: <<http://www.recetox.muni.cz/res/file/prednasky/holoubek/chzp-iii/chzp-iii-pedosfera-07-znecisten-pud.pdf>>.
- [25] Česká republika. Rizikové prvky v půdách náležejících do zemědělského půdního fondu. In *13/1994 Sb. o upravení podrobností ochrany zemědělského půdního fondu* . 1994. Příloha 1. Dostupný také z WWW: <http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/6966/place>.
- [26] *Eliod servis* [online]. 31. 7. 1996 [cit. 2011-03-05]. Kritéria znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ze dne 31.července 1996. Dostupné z WWW: <<http://www.eliodservis.cz/czech/abclimity.pdf>>.
- [27] BENTOR, Yinon. *Chemical Elements.com* [online]. 1996 [cit. 2011-03-10]. Chemical Elements.com - An Interactive Periodic Table of the Elements. Dostupné z WWW: <<http://www.chemicalelements.com/index.html>>.
- [28] VÁVROVÁ, Milada, *Environmentální analýza – Přednáška Odběr a úprava vzorků*, VUT Brno, 2010.
- [29] ČSN ISO 11648-2. *Statistická hlediska vzorkování hromadných materiálů - Část 2: Vzorkování sypkých materiálů*. Česká republika : Český normalizační institut, 1.1.2003. 95 s.
- [30] ČERNOHOSRKÝ, Tomáš; JANDERA, Pavel. *Atomová spektroskopie*. 1. vydání. Pardubice : Univerzita Pardubice, 1997. 218 s. ISBN 80-7194-114-X. [31] LAJUNEN, Lauri H.J. *Spectrochemical Analysis by Atomic Absorption and Emission*. Cambridge : The Royal Society of Chemistry, 1992. 241 s. ISBN 0-85186-873-8
- [32] CHRISTIAN, Gary D; OD'REILLY, James E. *Instrumental analysis*. 2. vyd. Newton : Allyn and Bacon, Inc., 1986. 933 s. ISBN 02-050-8685-3.
- [33] *LECO* [online]. 2007 [cit. 2011-03-20]. AMA254 Mercury from LECO. Dostupné z WWW: <http://www.leco.cz/cz/products/organic/ama_254/ama_254.htm#>.

- [34] *Laboratoře geologických ústavů Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze* [online]. 2011 [cit. 2011-03-22]. Analyzátor rtuti AMA 254. Dostupné z WWW: <<http://www.natur.cuni.cz/geologie/laboratore/laboratore-a-metody/analyzator-rtuti-ama-254>>.
- [35] DEBNÁROVÁ, A. Kontaminace vybraných částí města Brna těžkými kovy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2010. 94 s. Vedoucí diplomové práce Mgr. Helena Doležalová Weissmannová, Ph.D.
- [36] MELOUN, M., MILITKÝ, J.: *Statistické zpracování experimentálních dat*, 2. vydání, Praha: East publishing, 1998, s. 839, ISBN 80-7219-003-2.
- [37] KŘÍŽENECKÁ, Sylvie. *Základy analytické chemie*. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 2007. 110 s.
- [38] ECKSCHLAGER, Karel. *Chemometrie*. Praha: Karolinum, 1991. 156 s. ISBN 80-7066-487-8.
- [39] DOŠKÁŘOVÁ, Šárka *Validace metod v laboratořích OHS Karviná*. In Zajištění kvality analytických výsledků: Sborník přednášek ze seminářů. Český Těšín: THETA, 2002. s. 303.
- [40] *Mapy.cz* [online]. 2005 [cit. 2011-02-19]. *Mapy.cz*. Dostupné z WWW: <<http://www.mapy.cz/>>
- [41] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2011 [cit. 2011-04-17]. Portál ČHMÚ. Dostupné z WWW: <http://portal.chmi.cz/portal/dt?JSPTabContainer.setSelected=JSPTabContainer%2F1_0_Home&last=false>.
- [42] JANKŮ, Josef; ČERMÁK, Jiří J. *Vzorkování odpadů*, učební texty. 1.vyd. Praha: Fakulta technologie ochrany prostředí, Ústav chemie ochrany prostředí, 2006. 107 s.
- [43] ZBÍRAL J.: *Analýza půd II*, jednotné pracovní postupy. 2. vyd. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2003, 84 stran, ISBN 80-86548-38-4
- [44] 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.
- [45] ZBÍRAL J.: *Analýza půd III*, jednotné pracovní postupy, Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2004, 199 stran, ISBN 80-86548-60-0.
- [46] ČSN ISO 10390. *Kvalita půdy. Stanovení pH*. Česká republika : Český normalizační institut, 1.12.1996. 12 s.
- [47] Varian Techtron Pty. Ltd. *Analytical methods for flame spectroscopy*, 1979, 85, 123s.
- [48] *NIST SEMATECH : ENGINEERING STATISTICS HANDBOOK* [online].[cit. 2011-04-29]. Exploratory Data Analysis, Box Plot. Dostupné z WWW: <<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/boxplot.htm>>.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

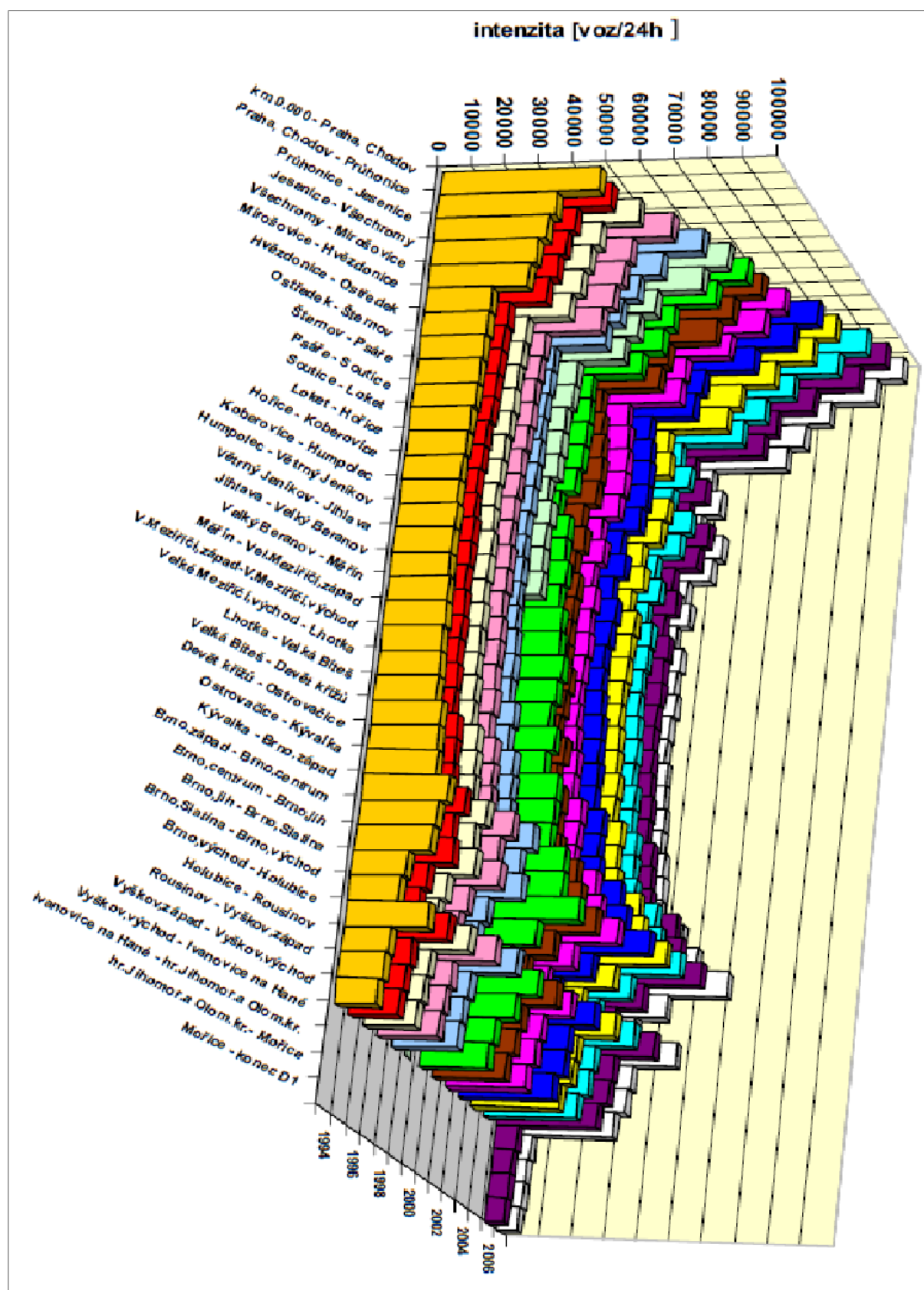
AAS	Atomic absorption spectrometry (atomová absorpční spektrometrie)
AMA 254	Advanced mercury analyzer 254
atd.	a tak dále
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
ET-AAS	Electrothermal atomic absorption spectrometry (Atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací)
F-AAS	Flame atomic absorption spectrometry (Atomová absorpční spektrometrie s atomizací v plameni)
IPI	Integrated pollution index (integrovaný index znečištění)
JmK	Jihomoravský kraj
LOD	Limit of detection (mez detekce)
LOQ	Limit of quantitation (mez stanovitelnosti)
m. n. m.	metrů nad mořem
MU	Masarykova univerzita Brno
MŽP	Ministerstvo životního prostředí České republiky
např.	například
př. n. l.	před naším letopočtem
PI	Pollution index (index znečištění)
RSD	Relative standard deviation (relativní směrodatná odchylka)
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
s. š.	severní šířka
SMODCH	Směrodatná odchylka
tzv.	takzvaný
v. d.	východní délka
VMO	Velký městský okruh

8 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Průměrné denní intenzity dopravy na dálnici D1 [13]
Příloha 2	Lokalita 1, Brno - Bosonohy, Bítešská [40]
Příloha 3	Lokalita 2, Brno - Žebětín, Stará dálnice [40]
Příloha 4	Lokalita 3, Brno - Kníničky, Ondrova [40]
Příloha 5	Lokalita 4, Brno - Střed, Bauerova [40]
Příloha 6	Lokalita 5, Brno - Jih, Vídeňská [40]
Příloha 7	Lokalita 6, Brno - Modřice [40]
Příloha 8	Lokalita 7, Brno - Tuřany, Pratecká [40]
Příloha 9	Lokalita 8, Brno - Jih, Kaštanová [40]
Příloha 10	Lokalita 9, Brno - Komárov, Černovická [40]
Příloha 11	Lokalita 10, Brno - Slatina, Olomoucká [40]
Příloha 12	Lokalita 11, Brno - Žabovřesky, Žabovřeská [40]
Příloha 13	Lokalita 12, Brno - Žabovřesky, Hradecká [40]
Příloha 14	Lokalita 13, Brno - Řečkovice a Mokrý Hora, Sportovní [40]
Příloha 15	Lokalita 14, Brno - Královo Pole, Porgesova [40]
Příloha 16	Lokalita 15, Brno - Ivanovice, Máčova [40]
Příloha 17	Lokalita 16, Brno - Soběšice, Weissova [40]
Příloha 18	Lokalita 17, Brno - Maloměřice a Obřany, Fryčajova [40]
Příloha 19	Lokalita 18, Brno - Vinohrady, Žarošická [40]
Příloha 20	Lokalita 19, Podolí [40]
Příloha 21	Lokalita 20, Brno - Střed, Heršpiská [40]
Příloha 22	Lokalita 21, Brno - Střed, Pellicova [40]
Příloha 23	Lokalita 22, Brno - Střed, Björnův sad, Veveří [40]
Příloha 24	Lokalita 23, Brno - Střed, Lužánecký park, Pionýrská [40]
Příloha 25	Lokalita 24, Brno - Střed, Koliště, park [40]
Příloha 26	Lokalita 25, Brno - Maloměřice a Obřany, Světlá [40]
Příloha 27	Meteorologické podmínky při první sérii odběrů půdních vzorků [41]
Příloha 28	Meteorologické podmínky při druhé sérii odběrů půdních vzorků [41]
Příloha 29	pH odebraných vzorků půd dle lokality
Příloha 30	Obsah rtuti v půdě dle místa odběru
Příloha 31	Obsah mědi v půdě dle místa odběru
Příloha 32	Obsah niklu v půdě dle místa odběru
Příloha 33	Obsah olova v půdě dle místa odběru
Příloha 34	Obsah zinku v půdě dle místa odběru
Příloha 35	Obsah kadmia v půdě dle místa odběru
Příloha 36	Hodnoty IPI pro jednotlivé prvky a skupiny dopravního zatížení v závislosti na Kritériích A, B, C dle metodiky MŽP

9 PŘÍLOHY

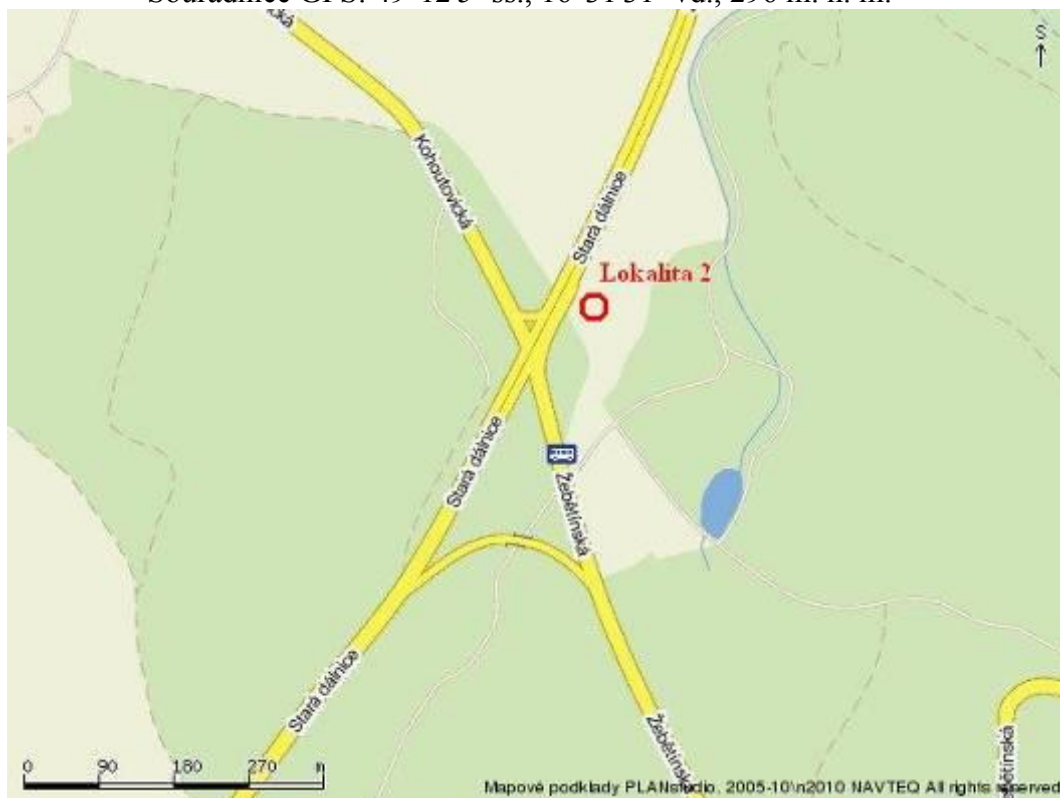
Příloha 1 Průměrné denní intenzity dopravy na dálnici D1- vývoj od r. 1994 do r. 2007 [13]



Příloha 2 Lokalita 1, Brno - Bosonohy, Bítešská [40]
 Souřadnice GPS: 49°10'7" s. š., 16°32'40" v. d., 233 m. n. m.



Příloha 3 Lokalita 2, Brno - Žebětín, Stará dálnice [40]
 Souřadnice GPS: 49°12'5" s. š., 16°31'31" v. d., 296 m. n. m.



Příloha 4 Lokalita 3, Brno - Kníničky, Ondrova [40]
 Souřadnice GPS: 49°14'28" s. š., 16°31'48" v. d., 259 m. n. m.



Příloha 5 Lokalita 4, Brno - Střed, Baueroва [40]
 Souřadnice GPS: 49°11'15" s. š., 16°34'16" v. d., 204 m. n. m.



Příloha 6 Lokalita 5, Brno - Jih, Vídeňská [40]
 Souřadnice GPS: 49°9'29" s. š., 16°36'3" v. d., 212 m. n. m.



Příloha 7 Lokalita 6, Brno - Modřice [40]
 Souřadnice GPS: 49°7'41" s. š., 16°37'25" v. d., 189 m. n. m.



Příloha 8 Lokalita 7, Brno - Tuřany, Pratecká [40]
 Souřadnice GPS: 49°8'47" s. š., 16°40'29" v. d., 229 m. n. m.



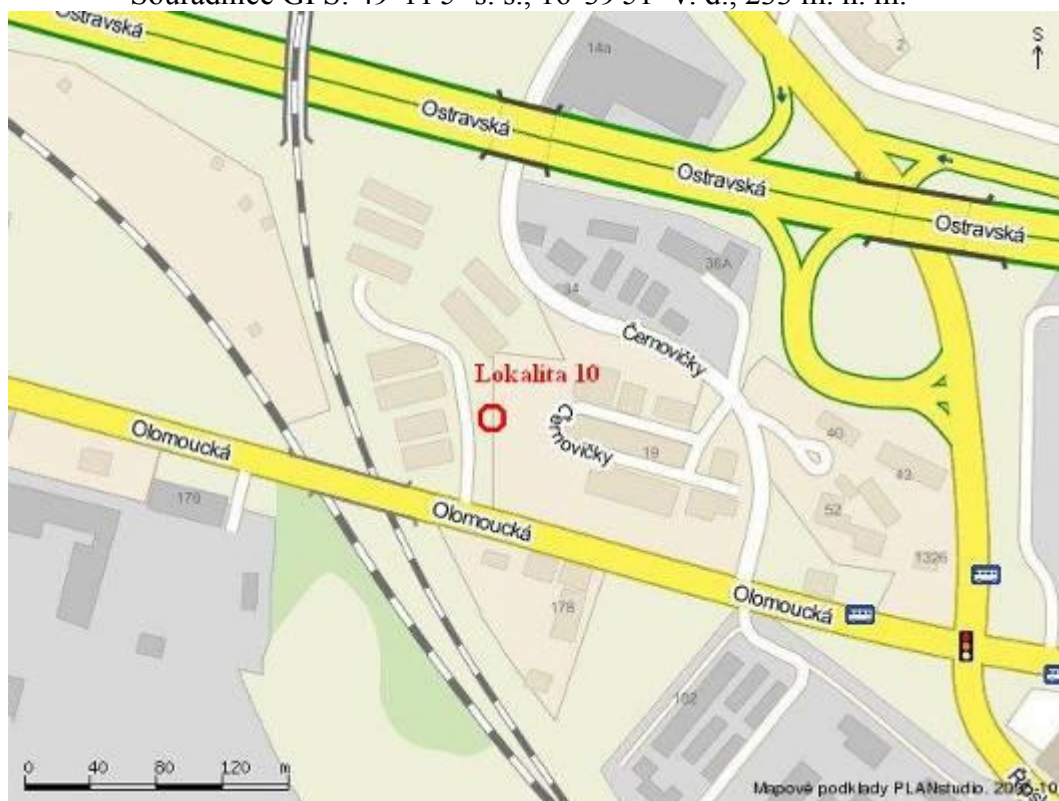
Příloha 9 Lokalita 8, Brno - Jih, Kaštanová [40]
 Souřadnice GPS: 49°9'36" s. š., 16°38'1" v. d., 197 m. n. m.



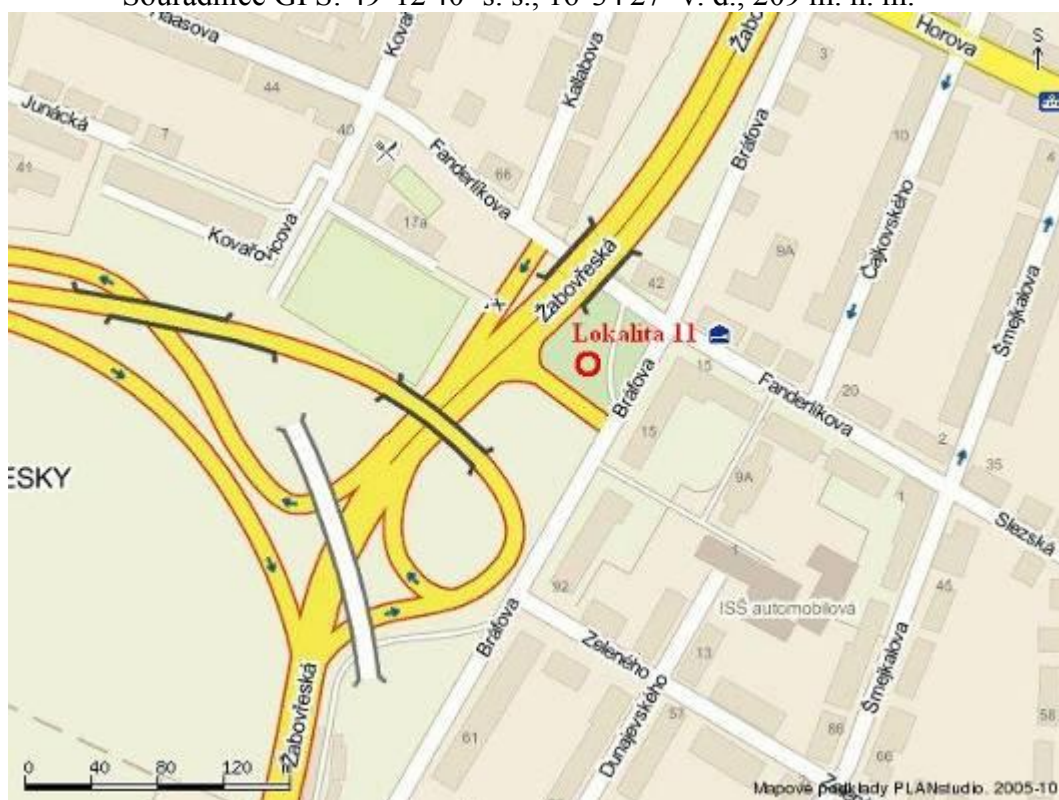
Příloha 10 Lokalita 9, Brno - Komárov, Černovická [40]
 Souřadnice GPS: 49°10'35" s. š., 16°37'50" v. d., 197 m. n. m.



Příloha 11 Lokalita 10, Brno - Slatina, Olomoucká [40]
 Souřadnice GPS: 49°11'5" s. š., 16°39'51" v. d., 233 m. n. m.



Příloha 12 Lokalita 11, Brno - Žabovřesky, Žabovřeská [40]
 Souřadnice GPS: 49°12'40" s. š., 16°34'27" v. d., 209 m. n. m.



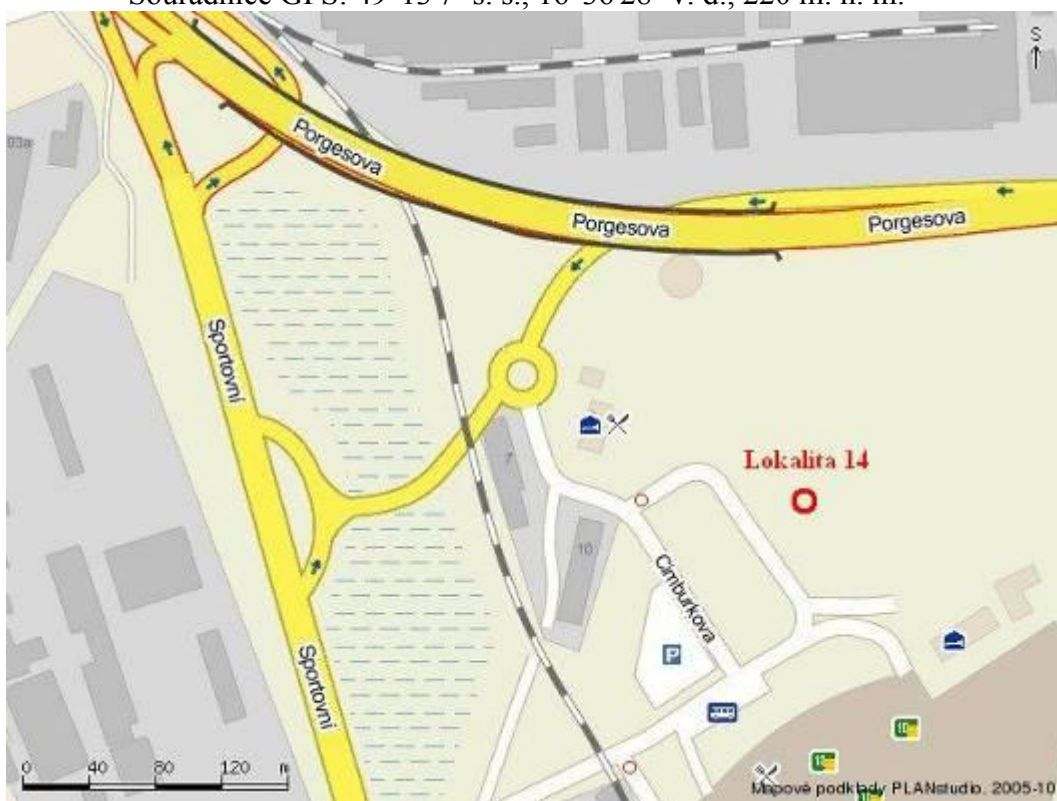
Příloha 13 Lokalita 12, Brno - Žabovřesky, Hradecká [40]
 Souřadnice GPS: 49°13'4" s. š., 16°35'2" v. d., 251 m. n. m.



Příloha 14 Lokalita 13, Brno - Řečkovice a Mokrá Hora, Sportovní [40]
 Souřadnice GPS: 49°14'8" s. š., 16°35'29" v. d., 227 m. n. m.



Příloha 15 Lokalita 14, Brno - Královo Pole, Porgesova [40]
 Souřadnice GPS: 49°13'7" s. š., 16°36'28" v. d., 220 m. n. m.



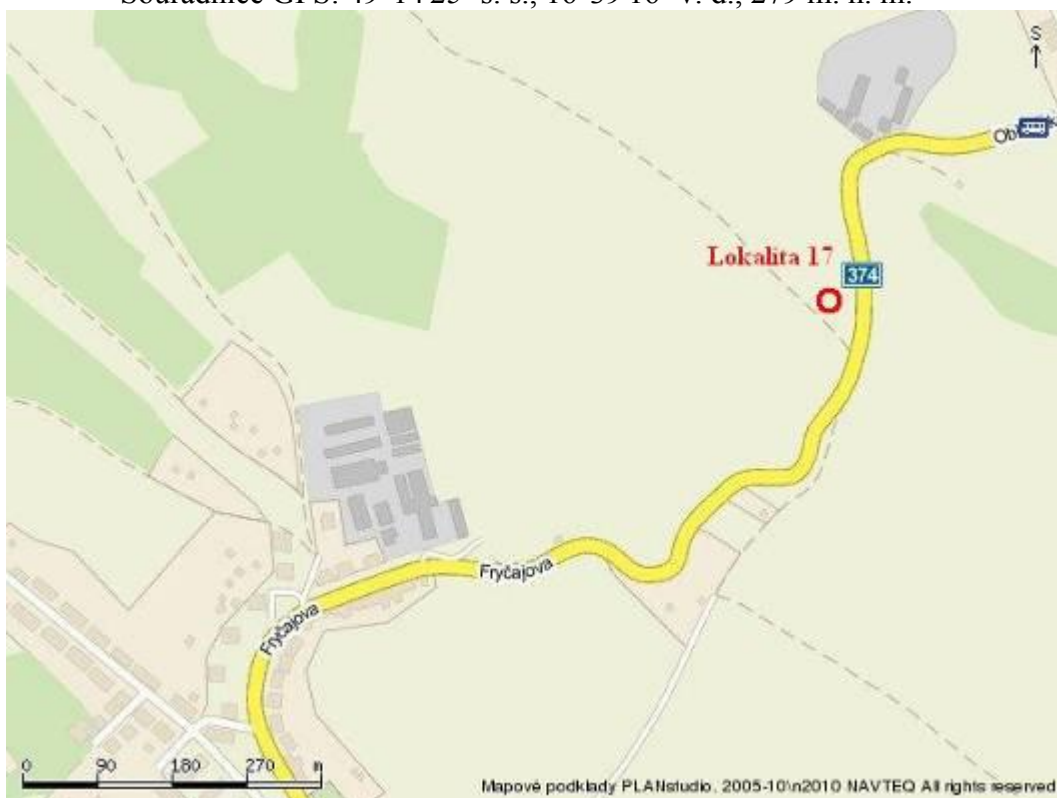
Příloha 16 Lokalita 15, Brno - Ivanovice, Mácova [40]
 Souřadnice GPS: 49°15'57" s. š., 16°34'13" v. d., 298 m. n. m.



Příloha 17 Lokalita 16, Brno - Soběšice, Weissova [40]
 Souřadnice GPS: 49°15'37" s. š., 16°37'30" v. d., 397 m. n. m.



Příloha 18 Lokalita 17, Brno - Maloměřice a Obřany, Fryčajova [40]
 Souřadnice GPS: 49°14'25" s. š., 16°39'16" v. d., 279 m. n. m.



Příloha 19 Lokalita 18, Brno - Vinohrady, Žarošická [40]
 Souřadnice GPS: 49°12'17" s. š., 16°39'59" v. d., 277 m. n. m.



Příloha 20 Lokalita 19, Podolí [40]
 Souřadnice GPS: 49°1'8" s. š., 16°43'25" v. d., 232 m. n. m.



Příloha 21 Lokalita 20, Brno - Střed, Heršpiská [40]
 Souřadnice GPS: 49°11'1" s. š., 16°36'9" v. d., 202 m. n. m.



Příloha 22 Lokalita 21, Brno - Střed, Pellicova [40]
 Souřadnice GPS: 49°11'36" s. š., 16°35'49" v. d., 237 m. n. m.



Příloha 23 Lokalita 22, Brno - Střed, Björnsenův sad, Veverí [40]
 Souřadnice GPS: 49°12'24" s. š., 16°35'38" v. d., 251 m. n. m.



Příloha 24 Lokalita 23, Brno - Střed, Lužánecký park, Pionýrská [40]
 Souřadnice GPS: 49°12'31" s. š., 16°36'34" v. d., 213 m. n. m.



Příloha 25 Lokalita 24, Brno - Střed, Koliště, park [40]
 Souřadnice GPS: 49°11'50" s. š., 16°36'51" v. d., 210 m. n. m.



Příloha 26 Lokalita 25, Brno - Maloměřice a Obřany, Světlá [40]
 Souřadnice GPS: 49°12'44" s. š., 16°38'27" v. d., 205 m. n. m.



Příloha 27 Meteorologické podmínky při první sérii odběrů půdních vzorků [41]

Lokalita	Datum odběru	Teplota [°C]	Atmosférický tlak [hPa]	Oblačnost	Vlhkost	Srážky	Směr, rychlost větru [m.s ⁻¹]
1 - 4	3. 10. 2010	12	1 010	Zataženo, inverze	70	Ráno slabý déšť	Jihovýchodní 2,5 - 5
5 - 10	4. 10. 2010	12	1 010	Zataženo, inverze	75	Večer déšť	Jihovýchodní 5 - 7,5 nárazy až 28
11 - 19	7. 10. 2010	15	1 005	Polojasno až skorojasno	60	Beze srážek	Jihovýchodní 5 - 10
20 - 25	8. 10. 2010	10	1 027	Polojasno až skorojasno	75	Beze srážek	Jihovýchodní, občas proměnlivý 0 - 5

Příloha 28 Meteorologické podmínky při druhé sérii odběrů půdních vzorků [41]

Lokalita	Datum odběru	Teplota [°C]	Atmosférický tlak [hPa]	Oblačnost	Vlhkost [%]	Srážky	Směr, rychlost větru [m.s ⁻¹]
1	21. 1. 2011	1	1 026	Zataženo	65	Beze srážek	Severní 2,5 - 5
2 - 12	20. 1. 2011	4	1 024	Polojasno			
13 - 18	21. 1. 2011	1	1 026	Zataženo			
19 - 21	20. 1. 2011	4	1 024	Polojasno			
22	21. 1. 2011	1	1 026	Zataženo			
23, 24	20. 1. 2011	4	1 024	Polojasno			
25	21. 1. 2011	1	1 026	Zataženo			

Příloha 29 pH odebraných vzorků půd dle lokality

Vzorek	pH podzim	pH jaro
1	7,222	7,415
2	6,860	7,309
3	6,210	5,990
4	7,154	7,398
5	7,228	7,505
6	7,165	7,402
7	6,873	7,415
8	7,122	7,393
9	7,358	7,450
0	7,403	7,566
11	7,177	7,552
12	7,271	7,568
13	7,212	7,466
14	7,408	7,805
15	7,238	7,585
16	6,079	4,510
17	6,910	6,060
18	7,329	7,202
19	7,393	7,540
20	7,240	7,533
21	7,084	7,652
22	7,233	7,612
23	6,945	7,577
24	7,453	7,564
25	7,319	7,630

Příloha 30 Obsah rtuti v půdě dle místa odběru

Vzorek	Podzim				Jaro			
	Průměr	Medián	SMODCH	RSD	Průměr	Medián	SMODCH	RSD
	mg/kg			%	mg/kg			%
1	0,079	0,080	0,003	3,392	0,093	0,093	0,003	3,012
2	0,077	0,079	0,008	10,417	0,075	0,073	0,006	7,582
3	0,080	0,079	0,005	6,097	0,089	0,085	0,023	25,983
4	0,086	0,082	0,012	14,217	0,090	0,090	0,022	24,327
5	0,061	0,060	0,003	4,274	0,084	0,084	0,023	27,524
6	0,266	0,270	0,014	5,304	0,198	0,199	0,008	4,180
7	0,129	0,127	0,006	4,850	0,115	0,112	0,006	4,942
8	0,082	0,084	0,004	5,391	0,067	0,064	0,007	11,087
9	0,115	0,119	0,010	8,278	0,100	0,098	0,012	11,835
10	0,053	0,053	0,002	3,361	0,070	0,068	0,009	13,341
11	0,064	0,067	0,008	11,718	0,080	0,073	0,025	31,057
12	0,075	0,077	0,005	6,703	0,055	0,053	0,005	9,482
13	0,113	0,109	0,012	10,266	0,104	0,101	0,016	15,355
14	0,096	0,087	0,019	19,855	0,087	0,081	0,014	16,253
15	0,060	0,061	0,008	14,010	0,089	0,093	0,014	16,022
16	0,095	0,096	0,021	21,850	0,161	0,161	0,006	3,438
17	0,085	0,084	0,004	4,612	0,081	0,084	0,010	12,129
18	0,066	0,066	0,001	1,911	0,084	0,079	0,015	17,848
19	0,073	0,073	0,002	3,068	0,086	0,086	0,003	3,982
20	0,077	0,070	0,022	28,879	0,090	0,089	0,026	29,336
21	0,085	0,086	0,007	7,679	0,207	0,216	0,043	20,544
22	0,547	0,545	0,045	8,255	0,482	0,488	0,018	3,703
23	0,514	0,482	0,103	20,075	0,811	0,789	0,128	15,785
24	0,583	0,560	0,145	24,914	0,609	0,593	0,027	4,417
25	0,185	0,186	0,028	14,967	0,130	0,125	0,013	9,807

Příloha 31 Obsah mědi v půdě dle místa odběru

Vzorek	Podzim				Jaro			
	Průměr	Medián	SMODCH	RSD	Průměr	Medián	SMODCH	RSD
	mg/kg			%	mg/kg			%
1	8,578	8,385	0,340	3,968	10,895	10,902	0,140	1,286
2	6,879	6,935	0,182	2,640	7,624	7,628	0,384	5,041
3	6,303	6,352	0,123	1,949	6,512	6,500	0,130	2,001
4	13,732	13,633	0,274	1,995	10,850	10,994	0,473	4,356
5	12,967	12,967	0,080	0,617	12,137	12,168	0,094	0,777
6	16,900	16,825	0,400	2,368	18,322	18,403	0,255	1,393
7	9,076	9,023	0,110	1,213	10,844	10,912	0,204	1,881
8	5,677	5,694	0,086	1,518	8,763	8,753	0,505	5,762
9	13,150	13,153	0,095	0,723	15,048	15,172	0,264	1,751
10	5,935	6,027	0,179	3,020	7,986	7,887	0,242	3,031
11	6,893	6,903	0,036	0,523	9,146	9,152	0,070	0,768
12	5,814	5,628	0,512	8,807	7,817	7,472	0,626	8,006
13	9,856	9,931	0,254	2,574	13,893	13,961	0,877	6,310
14	8,208	8,257	0,278	3,390	9,344	9,335	0,215	2,301
15	6,060	5,831	0,430	7,102	10,384	10,214	0,318	3,059
16	4,435	4,465	0,336	7,572	6,216	6,151	0,148	2,381
17	3,038	2,885	0,316	10,388	7,357	7,286	0,573	7,794
18	34,707	34,805	0,914	2,633	7,480	7,432	0,229	3,063
19	5,024	5,220	0,672	13,382	9,960	10,160	0,651	6,535
20	3,572	3,483	0,669	18,734	10,675	10,778	0,257	2,409
21	3,605	3,651	0,432	11,981	9,377	9,356	0,107	1,140
22	12,833	12,329	1,463	11,397	24,537	24,471	0,558	2,274
23	12,639	12,363	0,520	4,112	33,452	33,699	0,654	1,954
24	7,476	7,425	0,482	6,450	15,558	15,615	0,339	2,179
25	6,462	6,528	0,802	12,411	18,264	18,303	0,372	2,034

Příloha 32 Obsah niklu v půdě dle místa odběru

Vzorek	Podzim				Jaro			
	Průměr	Medián	SMODCH	RSD	Průměr	Medián	SMODCH	RSD
	mg/kg			%	mg/kg			%
1	25,295	25,708	1,897	7,500	26,975	27,044	3,217	11,925
2	25,848	26,066	1,049	4,059	27,616	27,485	0,329	1,191
3	19,618	19,847	1,381	7,042	16,781	16,635	2,066	12,310
4	21,728	21,790	0,605	2,787	24,557	24,608	0,325	1,322
5	24,450	24,885	2,217	9,067	25,299	25,181	1,316	5,201
6	29,266	29,469	0,654	2,236	29,430	29,891	2,275	7,729
7	20,420	20,244	0,431	2,110	19,726	19,804	1,327	6,729
8	25,074	26,243	2,199	8,768	22,042	21,852	0,953	4,325
9	23,426	23,339	1,369	5,844	23,956	23,589	0,916	3,825
10	26,827	27,322	1,614	6,016	28,749	28,416	1,282	4,460
11	22,319	22,486	0,778	3,486	22,104	22,468	1,013	4,585
12	25,797	26,320	2,142	8,302	28,188	29,147	2,346	8,321
13	26,638	27,034	0,839	3,151	29,671	29,245	1,405	4,736
14	36,625	36,213	1,531	4,180	32,780	33,017	1,082	3,300
15	22,190	22,129	0,287	1,292	24,294	24,338	1,729	7,118
16	17,616	17,236	0,957	5,434	15,511	15,810	0,953	6,145
17	21,194	20,811	0,898	4,237	19,541	19,550	1,032	5,281
18	24,589	22,815	3,803	15,465	22,756	22,398	2,222	9,764
19	29,313	29,813	1,000	3,412	31,271	31,817	1,279	4,091
20	23,863	23,686	0,481	2,016	24,126	24,806	1,317	5,458
21	22,654	23,309	1,287	5,682	27,281	27,356	3,017	11,058
22	26,024	26,659	1,931	7,420	25,126	25,627	2,063	8,209
23	32,207	32,260	0,805	2,500	30,871	31,026	1,720	5,573
24	28,061	28,507	0,948	3,377	23,470	23,573	0,584	2,490
25	27,410	27,339	0,753	2,748	27,214	27,600	1,217	4,472

Příloha 33 Obsah olova v půdě dle místa odběru

Vzorek	Podzim				Jaro			
	Průměr	Medián	SMODCH	RSD	Průměr	Medián	SMODCH	RSD
	mg/kg			%	mg/kg			%
1	11,532	11,532	0,400	3,466	13,634	14,117	0,954	6,994
2	12,076	12,142	0,404	3,344	13,399	13,465	0,115	0,860
3	12,295	12,360	0,503	4,092	10,362	10,331	0,650	6,269
4	15,168	15,069	0,264	1,744	18,595	17,956	1,513	8,135
5	19,179	18,981	0,529	2,758	17,284	17,252	0,351	2,028
6	21,596	21,531	0,208	0,963	20,599	20,859	1,026	4,980
7	15,070	15,201	0,416	2,762	19,746	19,521	1,068	5,409
8	12,125	12,027	0,360	2,972	17,294	16,650	1,242	7,182
9	38,946	38,880	0,404	1,037	21,070	21,037	0,750	3,558
10	14,818	15,048	0,493	3,328	20,300	20,873	1,216	5,991
11	42,595	42,431	0,379	0,889	44,689	43,755	1,877	4,200
12	13,556	13,588	0,153	1,127	28,098	28,066	0,850	3,024
13	17,747	18,042	0,519	2,927	20,460	20,200	1,517	7,415
14	15,884	15,622	0,550	3,465	17,481	17,877	0,838	4,795
15	10,453	10,355	0,656	6,273	12,044	11,555	0,954	7,918
16	15,537	15,471	0,115	0,743	14,874	14,967	0,557	3,743
17	11,400	11,628	0,586	5,139	12,533	12,338	1,113	8,883
18	20,641	20,674	0,153	0,740	11,767	11,767	0,300	2,549
19	15,760	15,531	1,069	6,781	10,004	10,450	2,434	24,326
20	14,218	14,317	0,264	1,860	6,550	6,485	0,503	7,685
21	13,191	13,323	0,416	3,156	5,902	6,108	4,937	83,648
22	41,225	41,324	0,458	1,111	23,400	23,119	3,358	14,352
23	44,363	44,627	0,929	2,093	38,426	36,471	3,871	10,073
24	25,672	25,448	0,404	1,574	5,143	4,463	2,439	47,426
25	91,513	92,338	2,843	3,106	4,020	3,679	2,750	68,407

Příloha 34 Obsah zinku v půdě dle místa odběru

Vzorek	Podzim				Jaro			
	Průměr	Medián	SMODCH	RSD	Průměr	Medián	SMODCH	RSD
	mg/kg			%	mg/kg			%
1	10,409	10,392	0,074	0,707	18,095	18,056	0,108	0,598
2	10,310	10,294	0,125	1,215	16,816	16,705	0,356	2,115
3	8,406	8,418	0,025	0,296	10,358	10,415	0,206	1,984
4	21,427	21,430	0,027	0,125	24,361	24,416	0,167	0,685
5	56,616	56,808	0,579	1,022	20,802	20,737	0,199	0,958
6	54,531	54,525	0,109	0,200	35,417	35,349	0,134	0,378
7	14,965	14,999	0,091	0,605	21,756	21,663	0,189	0,869
8	11,002	11,004	0,041	0,373	25,474	25,487	0,127	0,498
9	20,017	20,026	0,072	0,359	25,172	25,112	0,131	0,519
10	13,080	13,045	0,288	2,202	17,057	17,172	0,210	1,230
11	8,591	5,541	5,400	62,855	19,907	19,850	0,177	0,890
12	6,678	4,281	4,430	66,336	18,851	18,835	0,088	0,467
13	11,157	8,572	4,863	43,590	20,126	20,127	0,027	0,134
14	10,942	6,903	7,436	67,962	22,926	22,943	0,135	0,588
15	6,548	4,473	3,683	56,239	22,590	22,578	0,063	0,277
16	19,399	18,073	3,133	16,150	19,422	19,361	0,141	0,724
17	6,561	6,319	0,717	10,935	12,411	12,392	0,080	0,644
18	28,346	32,394	8,032	28,336	12,632	12,674	0,166	1,317
19	10,686	11,021	2,257	21,117	17,624	17,702	1,020	5,790
20	10,830	9,676	2,233	20,622	20,252	20,213	0,231	1,139
21	11,907	11,898	0,252	2,117	17,798	17,822	0,102	0,570
22	90,460	90,617	0,880	0,973	30,121	30,252	0,321	1,066
23	77,867	77,058	1,620	2,080	38,571	38,579	0,065	0,168
24	12,269	12,417	0,423	3,450	20,628	20,645	0,221	1,070
25	25,951	25,877	0,237	0,915	32,925	32,857	0,185	0,563

Příloha 35 Obsah kadmia v půdě dle místa odběru

Vzorek	Podzim				Jaro			
	Průměr	Medián	SMODCH	RSD	Průměr	Medián	SMODCH	RSD
	mg/kg			%	mg/kg			%
1	0,277	0,266	0,038	0,138	0,355	0,354	0,016	0,044
2	0,176	0,177	0,021	0,119	0,298	0,295	0,016	0,055
3	0,170	0,170	0,022	0,132	0,198	0,195	0,004	0,020
4	0,338	0,338	0,028	0,082	0,278	0,280	0,012	0,043
5	0,473	0,471	0,105	0,222	0,372	0,374	0,005	0,013
6	1,862	1,909	0,277	0,149	1,384	1,385	0,009	0,006
7	0,586	0,530	0,163	0,279	0,410	0,409	0,010	0,025
8	0,164	0,163	0,004	0,026	0,379	0,381	0,010	0,026
9	0,427	0,431	0,016	0,038	0,344	0,338	0,012	0,036
10	0,333	0,322	0,042	0,128	0,312	0,334	0,040	0,128
11	0,214	0,215	0,014	0,063	0,299	0,287	0,020	0,068
12	0,188	0,188	0,004	0,020	0,254	0,255	0,011	0,044
13	0,250	0,249	0,011	0,045	0,350	0,349	0,013	0,037
14	0,197	0,198	0,046	0,231	0,344	0,350	0,041	0,120
15	0,181	0,181	0,006	0,033	0,288	0,282	0,020	0,070
16	0,463	0,462	0,153	0,331	0,312	0,303	0,023	0,072
17	0,208	0,210	0,009	0,042	0,243	0,242	0,008	0,034
18	0,140	0,140	0,019	0,135	0,192	0,194	0,016	0,085
19	0,264	0,255	0,045	0,172	0,297	0,295	0,031	0,105
20	0,229	0,231	0,020	0,086	0,271	0,266	0,023	0,086
21	0,204	0,207	0,014	0,070	0,236	0,238	0,030	0,126
22	0,610	0,607	0,007	0,012	0,521	0,523	0,007	0,013
23	1,437	1,439	0,058	0,041	1,626	1,611	0,063	0,039
24	0,697	0,696	0,016	0,023	0,679	0,691	0,024	0,036
25	0,418	0,449	0,061	0,146	0,542	0,541	0,006	0,011

Příloha 36 Hodnoty IPI pro jednotlivé prvky a skupiny dopravního zatížení v závislosti na Kritériích A, B, C dle metodiky MŽP

Kriterium A						
Skupina	Hg	Cu	Ni	Pb	Zn	Cd
I	0,195	0,136	0,437	0,183	0,139	0,644
II	0,242	0,145	0,440	0,321	0,123	0,644
III	1,199	0,213	0,449	0,308	0,244	1,504
IV	0,278	0,189	0,448	0,211	0,154	1,174
V	0,210	0,101	0,328	0,168	0,086	0,612
limit	0,4	70	60	80	150	0,5

Kriterium B						
Skupina	Hg	Cu	Ni	Pb	Zn	Cd
I	0,031	0,019	0,146	0,058	0,014	0,032
II	0,039	0,020	0,147	0,103	0,012	0,032
III	0,192	0,030	0,150	0,099	0,024	0,075
IV	0,044	0,026	0,149	0,068	0,015	0,059
V	0,034	0,014	0,109	0,054	0,009	0,031
limit	2,5	500	180	250	1500	10

Kriterium C						
Skupina	Hg	Cu	Ni	Pb	Zn	Cd
I	0,0078	0,0159	0,1049	0,0487	0,0083	0,0161
II	0,0097	0,0169	0,1057	0,0855	0,0074	0,0161
III	0,0480	0,0248	0,1078	0,0822	0,0147	0,0376
IV	0,0111	0,0220	0,1075	0,0563	0,0092	0,0294
V	0,0084	0,0118	0,0788	0,0448	0,0052	0,0153
limit	10	600	250	300	2500	20