



**Screeningová analýza toxických kovů ve vybraných
zahrádkářských lokalitách Brna a okolí**
Bakalářská práce

Vedoucí práce:
Mgr. Milan Geršl, Ph.D.

Vypracovala:
Martina Němcová

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Screeningová analýza toxických kovů ve vybraných zahrádkářských lokalitách Brna a okolí, vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše

V Brně dne:.....

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Mgr. Milanu Geršlovi, Ph.D. za odborné rady a cenné nápady, které velkou mírou přispěly ke vzniku této práce. Ráda bych mu také poděkovala za čas, který této práci věnoval. Mé díky patří i pracovníkům Ústavu zemědělské, potravinářské a enviromentální techniky, kteří mi poskytli cenné rady při laboratorních měřeních a Mgr. Evě Geršlové, Ph.D. za odborné konzultace

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá možnostmi výskytu toxických kovů v půdách. Věnuje se zdrojům těchto prvků na vybraných zahrádkářských koloniích města Brna a sumarizuje problematiku legislativních opatření týkajících se výskytu toxických kovů v půdách. V praktické části stanovuje množství toxických kovů v půdách na daných lokalitách společně se stanovením vlastností půd. Za sledované vlastnosti půd byly zvoleny pH, oxidačně-redukční potenciál a elektrická vodivost, které mají značný vliv na mobilitě kovu v prostředí. Pro stanovení obsahu toxických kovů v půdních vzorcích byla použita metoda RFA analýzy měřená na přístroji BAS DELTA. Závěrem práce zhodnocuje naměřené hodnoty a porovnává je s legislativními nařízeními.

Klíčová slova

Kontaminace půd, legislativa, rizikové prvky, toxické kovy, pH, oxidačně-redukční potenciál, elektrická vodivost, RFA

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the possibilities of presence of toxic metals in soils. Thesis dedicates to the sources of these elements on selected gardening colonies of the city of Brno and summarizes the issues of legislative measures relating to the presence of toxic metals in soils. In the practical part determines the amount of toxic metals in the soils in chosen locations together and describes soil properties. The observed soil parameters were pH, redox potential and conductivity, which have a significant effect on the mobility of the metal in the environment. The RFA analysis method was used for the definition of the content of toxic metals in soil samples. The data was measured on the device BAS DELTA. Finally, the thesis evaluates the values measured and compares them with the legislative regulations.

Keywords:

Soil contamination, legislation, risk elements, toxic metals, pH, redox potential, conductivity, RFA

OBSAH

ÚVOD	8
CÍL PRÁCE	9
1 LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
1.1 Půda	10
1.1.1 Charakteristika a definice půdy.....	11
1.1.2 Složení půdy.....	11
1.1.3 Vlastnosti půdy.....	12
1.1.4 Vznik půdy	13
1.1.5 Půdní fond	14
1.2 Kontaminace půd	15
1.2.1 Cesty vstupu kontaminantů do půd.....	16
1.2.2 Kontaminace ze znečištěné atmosféry	17
1.2.3 Kontaminace z péče o půdu	18
1.2.4 Kontaminace z mateční horniny a půdotvorného substrátu	19
1.3 Toxické kovy	19
1.3.1 Vybraní zástupci toxických kovů.....	20
1.4 Rizikové prvky.....	22
1.5 Základní užití pojmy	23
1.6 Legislativní opatření	24
2 METODIKA A MATERIÁL.....	26
2.1 Odběr vzorků půd	26
2.2 Uložení vzorku a jeho úprava v laboratoři.....	26
2.3 Stanovení půdní reakce, oxidačně-redukčního potenciálu a elektrické konduktivity	26
3 PRAKTICKÁ ČÁST	30
3.1 Vybrané lokality ke stanovení toxických kovů.....	30

3.2	Odběr vzorků.....	32
3.3	Zpracování vzorků v laboratoři.....	32
3.4	Stanovení toxických kovů.....	34
4	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	35
4.1	Obsah toxických kovů.....	35
4.2	pH, ORP, konduktivita.....	38
5	ZÁVĚR.....	40
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	41
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	45
	SEZNAM TABULEK.....	45
	PŘÍLOHY.....	46

ÚVOD

Životní prostředí chápeme jako soubor všech abiotických i biotických podmínek, které nás obklopují a vytváří přirozené podmínky naší existence. Dochází k velmi blízké vzájemné interakci mezi životním prostředím a jedincem. V tomto důsledku dochází k jeho neustálému přetváření a vyvíjení se. Mezi jeho základní složky uvažujeme zejména ovzduší, vodu, půdu, horniny, organismy, ekosystémy a energie (Zákon č. 17/1992 Sb. o životním prostředí).

Přírodními pochody jako zvětrávání půdy či rozsáhlé lesní požáry dochází k uvolňování látek do složek životního prostředí. Antropogenní činnost však zvyšuje nárůst uvolněných látek do takové výše koncentrací, které jsou životnímu prostředí škodlivé. Tyto škodliviny mají původ především v průmyslové výrobě, spalováním fosilních paliv, zemědělské produkci či užívání chemických látek. Emise vnášené do životního prostředí se akumulují ve všech složkách životního prostředí, především v ovzduší, vodě a půdě.

V současné době je otázka vnesených škodlivin do životního prostředí velmi diskutována. Jedním bodem z této problematiky jsou vnesené toxické kovy do půd, kde se díky svým vlastnostem koncentrují. Kontaminovaná půda toxickými kovy má negativní vliv na lidské zdraví. Kovy se přes kořenový systém rostlin mohou dostat až do potravního řetězce. Z těchto důvodů je důležité obsahy toxických kovů v půdách sledovat.

CÍL PRÁCE

Bakalářská práce si klade za hlavní cíl provedení analýzy a zjištění možností kontaminace půd toxickými prvky v zahrádkářských lokalitách Brna a okolí. Charakterizuje vybrané toxické kovy a vyjmenovává jejich využití a způsoby, kterými se dostávají do složek životního prostředí, zejména do půdy. Zpracovává legislativní přehled týkající se problematiky toxických kovů. Mezi dílčí cíle zahrnuje metodiku stanovení toxických kovů v půdních vzorcích od výběru lokality, odběru vzorků, úpravu vzorků v laboratoři a stanovení toxických kovů za užití RFA analýzy. Získané výsledky vyhodnocuje a porovnává s legislativními nařízeními o množství rizikových prvků v půdách náležících do zemědělského půdního fondu.

1 LITERÁRNÍ PŘEHLED

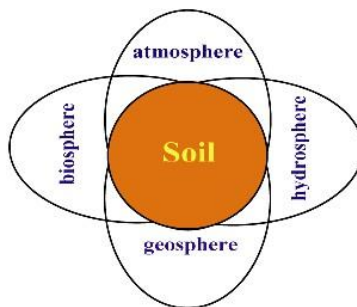
Rizikové kovy obsažené v půdách jsou pro lidský organismus nebezpečné z důvodu možnosti jejich přejití do potravního řetězce. Přejití probíhá přes kořenový systém rostlin až do plodů nebo dalších částí rostlin, které konzumujeme. Tomuto riziku jsou vystaveni všichni konzumenti plodů vzrostlých na kontaminovaných půdách.

V České republice je velmi oblíben trend pěstování vlastních zemědělských produktů na plochách označovaných jako zahrádkářské kolonie či zahrádkářské osady. Jedná se o plochy se značnou částí zeleně a ekologickou rozmanitostí. Dříve byly tyto kolonie situovány na okraji města Brna. Nyní, s postupem urbanizace, se stávají kolonie součástí městské krajiny. V jejich přilehlých částech se vybuďovaly pozemní komunikace, průmyslové areály, průmyslové závody, vlaková nádraží, letiště či rozlehlá sídliště. Všechny tyto stavby ovlivňují ať přímo či nepřímo kvalitu a složení půd.

Majitelé či nájemníci zahrádkářských kolonií však o složení půd, na kterém pěstují své potraviny, nemají širší přehled. Z těchto důvodů je potřebné zjišťovat složení půd a případně predikovat možnosti rizik z toxických kovů.

1.1 Půda

Pedosférou, půdním obalem Země, je označována svrchní část litosféry, která je tvořena silikátovým pláštěm o specifické hmotnosti 2,6–2,8 g/cm³. Tento plášť je nazýván jako SIAL. Vytváří rozhraní čtyř geosfér, obalů Země, kde se všechny tyto geosféry stýkají, prolínají a mají na sebe vliv. Mezi ostatní geosféry je řazena atmosféra, hydrosféra, litosféra a biosféra. Nejvíce prolínající geosférou je biosféra, která značně prostupuje jak do atmosféry, tak hydrosféry, ale i litosféry. Největší koncentrace živých organismů je však soustředěna na souši v tenké povrchové vrstvě litosféry o mocnosti pouhých několik metrů (Kalač, 2005).



Obr. 1 Půda jako rozhraní čtyř geosfér (www.vro.agriculture.vic.gov.au)

1.1.1 Charakteristika a definice půdy

Půdou se rozumí zemitá povrchová zemská vrstva, která vytváří rozhraní mezi geologickým povrchem Země a její atmosférou. Je systémem podporující život na pevnině a je nutné na ni nahlížet jako na komplexní složku životního prostředí. Mezi základní funkce půdy patří produkce biomasy, filtrování, přeměna látek a v neposlední řadě vytváří životní prostředí organismů (Jandák, 2010).

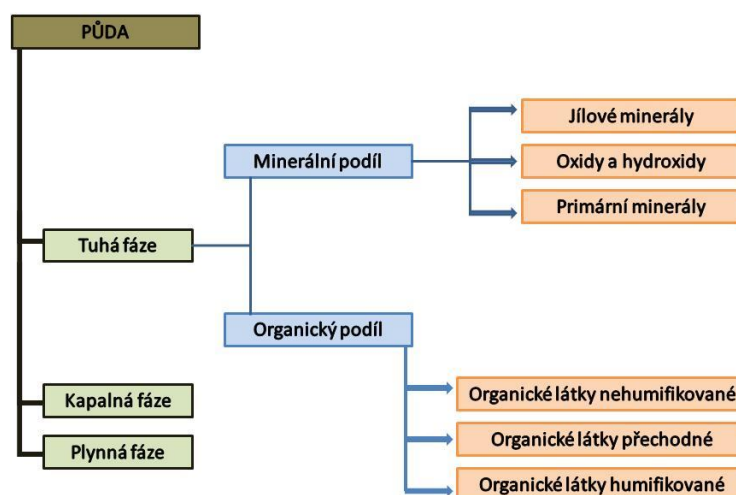
Na půdu je nahlíženo ze dvou směrů. Lze na ni nazírat jako na systém statický či dynamický. Statický směr půdu popisuje jako neživou směs, která je výsledkem prostého rozpadu a zvětrávání hornin. Nebere v potaz vývoj půdy a její vztah k životnímu prostředí. Profesor F. Duchoň definuje půdu jako: „*Nejsvrchnější vrstvu tuhé kůry zemské, povstalou zvětráváním hornin a rozkladem ústrojných zbytků, která je schopná být nositelem rostlinstva* (Duchoň, 1948).“ Na druhou stranu dynamický směr na půdu pohlíží jako na živý systém, který se vyvíjí vlivem podmínek vnějšího prostředí a dokáže se přizpůsobit. Zastáncem dynamického pojetí půdy byl V. Novák, který půdu chápe jako: „*Přírodní útvar, který se vyvinul z povrchových zvětralin zemské kůry a z organických zbytků; jeho stavba a složení jsou výsledkem působení klimatu a živých organismů žijících v půdě i na půdě* (Novák, 1953)“.

1.1.2 Složení půdy

U půdy jsou rozeznávány tři základní fáze. Fázi pevnou (tuhou), která označuje minerální a organickou složku. Fázi kapalnou (tekutou) známou též jako půdní roztok a fázi plynou označovanou jako půdní vzduch. Pevnou fázi tvoří půdotvorný substrát, přeměněný půdotvorným procesem na zemitou hmotu. Z celkového složení půd je zastoupena z přibližně 50 %. Tekutá fáze tvoří v ideálním případě 35 % a půdní vzduch 15 % z celkového složení půd. Půda se skládá z částic různých velikostí, ale i různého chemického složení.

Organické částice půdy mají buď charakter primární organické hmoty, nebo jsou následně rozložené ale i nerozložené. Prochází rozkladnými procesy na látky jednodušší, nebo procesy syntetickými. Přeměny organické půdní primární hmoty se od sebe liší energeticky. Dle spotřeby či uvolnění energie jsou rozděleny na procesy exotermické a endotermické. Procesem mineralizačním označujeme exotermický (oxidační) děj, kdy dochází k produkci CO₂, H₂O a uvolnění minerální živiny z organické hmoty.

V opačném případě při endotermickém ději dochází k syntetizaci složitějších látek pomocí polymeračních a polykondezačních reakcí. Speciálním procesem je huminifikace, kdy dochází jen k částečnému rozkladu organické hmoty a v určitých stádiích dochází k syntéze nových organických sloučenin. Vznikají tak organické humusové částice. Humusové částice prof. P. Kalač dělí na huminové kyseliny, fulvokyseliny a humininy (Kalač, 2010; Kluiabr, 2001; Kutílek 2012).



Obr. 2 Schéma složení půd (www. web2.mendelu.cz)

1.1.3 Vlastnosti půdy

Půdy jsou charakteristické svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi.

Fyzikální vlastnosti nesou název pro soubor vlastností vyplývajících z vzájemné interakce mezi tuhou fází půdy, tekutou fází a půdním vzduchem. Pomocí laboratorních metod se především stanovuje půdní soudržnost (koheze), přilnavost (adheze), pórovitost, zrnitost, půdní struktura, barva a další.

Zrnitost je pokládána jako jeden z nejdůležitějších vlastností půd, protože velmi ovlivňuje řadu chemických i fyzikálních vlastností půd. Zrnitostní složení je bráno jako procentuální složení jednotlivých velikostně rozdílných minerálních částic. Vyhodnocení zrnitostních rozborů a následná klasifikace půdy lze stanovit pomocí více klasifikačních systémů. V České republice je pro tyto účely užíván tzv. trojúhelníkový diagram. Stále však lze používat klasifikaci dle Nováka. Ten určuje zrnitostní klasifikaci podle obsahu částic menších jak 0,01 mm. Zrnitost půdy dělí podle půdního druhu na půdy lehké (písčité), střední (hlinité) a těžké (jílovité)

Chemické vlastnosti půdy popisují chemické složení půd, fyzikálně chemické a chemické procesy, které v půdě probíhají. Základním prvkem chemické dynamiky je dostatečné množství vody v půdě. Ve vodě dochází k rozpouštění jednoduchých chemických sloučenin. Sloučeniny nově rozpuštěné v půdním roztoku intenzivně působí na půdní hmotu a dochází tak k výměnným reakcím mezi půdou, půdním roztokem a vznikem nových sloučenin. Chemie půdy zahrnuje chemické složení půdy, složení a vlastnosti půdního roztoku, půdní reakce, půdní koloidy a další (Brtnický, 2015; Duchoň, 1948; Kalač, 2010; Kluiabr, 2001; Kutílek 2012).

Znakem půdy je její úrodnost. Úrodnost je chápána jako schopnost zajistit rostlinám během jejich vegetačního období vhodné podmínky pro jejich život. Úrodnost půdy nelze definovat jednou vlastností, ale musí se na ni nahlížet jako na funkční celek skládající se z více znaků, které se vzájemně ovlivňují. Některé z těchto znaků se značně mění (teplota, obsah vody, půdní reakce), jiné se mění jen zřídka (zrnitostní složení půdy, fyzikální vlastnosti, aj.) Jedny z nejdůležitějších faktorů, které spolu působí při tvorbě půdní úrodnosti, tvoří složení půdy, hloubka podzemní vody, povětrnostní podmínky a činnost člověka (Brtnický, 2015; Duchoň, 1948; Kalač, 2010; Kluiabr, 2001).

1.1.4 Vznik půdy

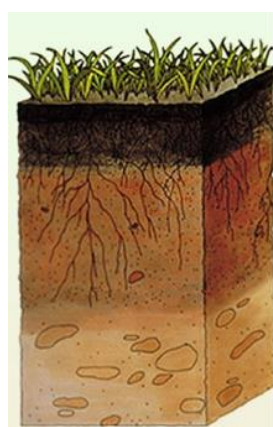
Půda vzniká dlouhodobým působením podmínek prostředí na nejsvrchnější vrstvu litosféry, zvanou jako mateční hornina. Půdotvorný proces (pedogeneze) startuje, když je hornina vystavena vnějším podmínkám na zemském povrchu a začne zvětrávání. Zvětrávání je známo trojího typu: zvětrávání fyzikální (mechanické), zvětrávání chemické a zvětrávání biologické. Zvětrávací pochody mechanické zahrnují především faktory jako změna teploty, přemísťování větrem a vodou, či mechanický tlak vyvolaný kořenovým systémem rostlin, který má za následky rozpad horniny. Chemické zvětrávání probíhá působením dějů jako rozpouštění, hydrolýza, oxidace a další. Činností půdního edafonu a kořenového systému rostlin probíhají děje biologické. Hornina, která se na povrchu naruší a rozpadne, vytváří vhodné prostředí pro život různých organismů jako bakterie, řasy, houby, mechy aj. Tyto organismy svou životní činností vytváří řadu sloučenin narušujících horninu a dochází tak k dalším zvětrávacím biologickým procesům. Autoři shrnují pedogenezi do tří bodů (Hillel, 2005):

- zvětrávání matečného substrátu,

- tvorba jílu a akumulace organické hmoty,
- přemístění hmoty a vznik půdních horizontů.

Mezi půdotvorné faktory s největším vlivem na vznik půd zahrnujeme klima (teplota, srážky, nadmořská výška), chemický a fyzikální charakter mateční horniny, biologický faktor, podzemní voda a vliv člověka.

Provedením vertikálního řezu půdou a jejího nejbližšího podloží dostaneme půdní profil. V půdním profilu lze spatřit více či méně zřetelné jednotlivé vrstvy, které se formovaly při přeměně matečného substrátu a organické hmoty. Tyto vrstvy jsou odborně pojmenovány jako půdní horizonty. Půdní horizonty vznikly translokačními a transformačními pochody. Během těchto pochodů došlo k rozčlenění původního jednotného půdotvorného substrátu v heterogenní. Přítomnost jednotlivých horizontů dává půdě charakteristické analytické a morfologické znaky a pomáhá určit jednotlivé půdní typy (Brtnický, 2015; Kalač, 2010; Kluiibr, 2001, Kutílek, 2012).



O - Nadložní organický horizont

A - Humusový horizont

B - Minerální horizont

C - Půdotvorný substrát

R – Mateční hornina

Obr. 3 Půdní profil s půdními horizonty (www.is.mendelu.cz)

1.1.5 Půdní fond

Půdním fondem je označována veškerá půda na území organizační jednotky (obce, okresu, kraje a státu). Je členěn na zemědělský půdní fond a nezemědělské půdy.

Nezemědělský půdní fond je reprezentován lesní půdou, rybníky pro chov ryb a potoky vyhrazené pro chov pstruhů, ostatní vodní plochy, zastavěné plochy a plochy nádvoří, neplodné plochy a jako poslední položka ostatní plochy.

Do zemědělského půdního fondu (ZPF) patří: orná půda, louky, pastviny, chmelnice, vinice zahrady, sady aj. ZPF je v České republice legislativně chráněn a upravován

zákonem č. 334/1992 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu. Zákon definuje ZPF jako „základní přírodní bohatství naší země, nenahraditelný výrobní prostředek umožňující zemědělskou výrobu a jako jednu z hlavních složek životního prostředí (Zákon č. 334/1992 Sb. o ochraně ZPF, 1992).“

Půdní fond má zásadní funkce v ekosystému. Lze jmenovat funkce produkční (produkce fytomasy) a funkce ekologické (akumulační, pufrční, filtrační a transformační vlastnosti). Kvůli těmto nepostradatelným funkcím je potřeba půdní fond chránit. Problematika ochrany ZPF sestává ze dvou okruhů: kvantitativní ochrana a kvalitativní ochrana.

Při kvantitativní (plošné) ochraně je snaha zamezit přesunu půdy pro jiné užití než zemědělské, které ji zbavuje jejich produkčních a ekologických funkcí. Tohoto přesunu je dosahováno pomocí žádostí o vynětí ze ZPF. Množství zemědělského půdního fondu se tak za posledních 60 let neustále snižuje.

Kvalitativní ochrana zabráňuje poškozování půdy činností člověka, včetně přírodních procesů vyvolaných antropogenní činností. Klade si za cíle snížit negativní vliv chemizace v zemědělství, omezit degradaci půd v důsledku erozních procesů a v neposlední řadě snížit působení negativního vlivu imisí, převážně z průmyslových, ale i energetických a dopravních odvětví (Duchoň, 1948; Kalač, 2010).

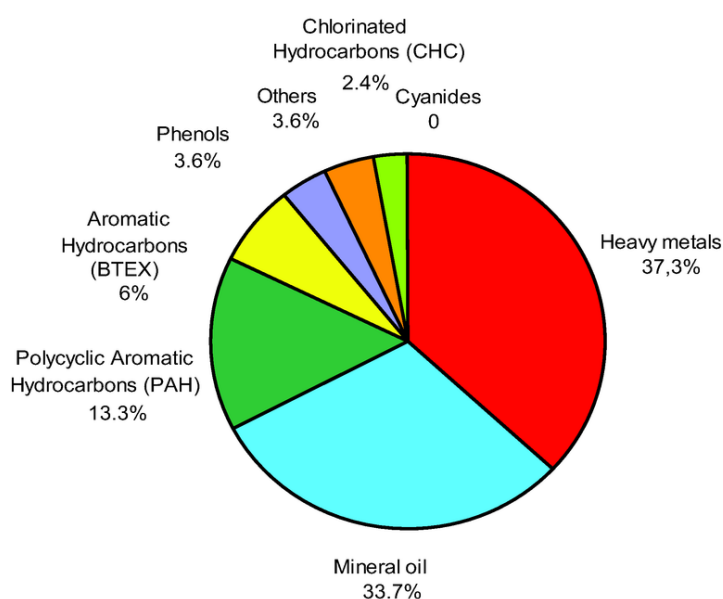
1.2 Kontaminace půd

Pojmem kontaminace půd označujeme půdy, které byly znečištěny. Půdy mají změněný charakter oproti svým původním vlastnostem. Příkladem lze jmenovat změnu pH, změnu poměrů chemických látek v půdě, zvýšený obsah rizikových látek či nárůst patogenních mikroorganismů. Ke změně těchto vlastností dochází vstupem prvků nebo látek, které jsou na daném místě nepůvodní či překračují koncentraci mezních hodnot.

Dle S. Beneše lze rozdělit zdroje prvků vstupujících do půd na zdroje:

- Přírozené primární — tvoří je horniny, nerosty a ložiska v místě jejich původu.
- Přírozené druhotné – vytváří je různé produkty přírodních pochodů. Mezi tyto pochody lze zařadit atmosférické srážky, spady či prachové bouře, které jsou často spojené s obsahem organické hmoty.
- Antropogenní – zdrojem prvků v půdách jsou zpravidla chemikálie produkované z průmyslových nebo zemědělských aktivit. Lze jmenovat hnojiva, pesticidy, popílky, kaly, závlahové vody a jiné (Beneš, 1993).

EEA (European Environment Agency) odhaduje v členských zemích EHP (Evropský hospodářský prostor) na více jak 8 % znečištěných míst, které vyžadují sanaci. Množství a druh znečištění se v každé zemi liší. Dochází však ke shodě, že největší zastoupení ve znečištění mají těžké kovy a minerální oleje. Dalšími látkami jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), aromatické uhlovodíky (vyjádřeno jako BTEX), fenoly a chlorované uhlovodíky (www.eea.europa, 2017).



Graf 1 Přehled hlavních znečišťujících látek ovlivňující půdu v EHP (www.eea.europa.eu)

1.2.1 Cesty vstupu kontaminantů do půd

Současný společenský systém zavedl trend zvýšení produkce a spotřeby železných i barevných kovů, které nachází stále nová uplatnění. Tento fakt platí zejména pro hliník, olovo, měď, nikl, chróm, antimon a rtuť. Zvyšování koncentrace těchto kovů v životním prostředí (voda, půda, ovzduší i potraviny) se stává vážným problémem.

Některé kovy podléhají bioakumulaci v půdách, protože mají imobilní charakter. Jiné kovy jsou naopak mobilní. Mobilita kovů je ovlivněna půdními vlastnostmi jako organický materiál, oxidy, pH, půdní struktura a jiné (Mehes-Smith, 2013).

Ve zvláštních případech dochází k vazbě toxických kovů s organickými látkami, prudce tak stoupá jejich toxicita. Příkladem těchto kovů je alkylovaná rtuť a arsen. Tyto případy vznikají při činnosti půdních organismů a vodní mikroflóry (Benco, 1995; Komínková, 2008; Mehes-Smith, 2013).

1.2.2 Kontaminace ze znečištěné atmosféry

Znečištěnou atmosférou dochází ke kontaminaci povrchu půd při klesání atmosférického sedimentu. Většinou se jedná o částice prachu, které jsou ideálním sorbentem organických kontaminantů. Souhrnně je označován tento polétavý prach jako částice PM_x. Nejvíce nebezpečné jsou částičky o velikosti 0,005 až 0,5 μm, které díky svému specifickému povrchu dosahují vysokých sorpčních vlastností. Tyto částice jsou strhávány deštěm či větrem a dostávají se tak na zemský povrch (Beneš, 1993; Kalač, 2010).

1.2.2.1 Imise z energetiky

Ke kontaminaci půd dochází především popílkem. Popílek je definován jako nejmenší prachová část. Popílek je běžně zachycován v odstředivých a elektrostatických odlučovačích energetického závodu, v některých případech však dochází k jeho úniku. Půdy kontaminuje nejen popílek, který nebyl odlučovači zachycen, ale i popílek, který byl unášen větrem ze skládek s popílky a při manipulaci s ním (Beneš, 1993; Kalač, 2010).

1.2.2.2 Imise z dopravy

Přes 50 až 70 % celkového znečištěného ovzduší v průmyslově vyspělých zemích je tvořeno imisemi z dopravy. Z těchto důvodů jsou i ve stejném podílu zdrojem znečištění půd. Z hlediska půd nejhorším znečišťujícím prvkem bylo olovo vyskytující se v olovnatých benzínech. V roce 2001 však došlo k ukončení prodeje tohoto benzínu. I přes zákaz prodeje olovnatých benzínů se význam imisí z dopravy pro kontaminaci snížil jen částečně. Ostatní látky dopravních imisí nadále zůstávají. Lze jmenovat oxidy dusíku, Cd, nespálené uhlovodíky, úniky oleje z motoru a další (Beneš, 1993; Kalač, 2010; Werkenthin, 2014).

Imise z chemického průmyslu

Nejnebezpečnějším faktem imisí z chemického průmyslu je jejich pestrost. Mnoho z nich má toxické a mutagenní vlastnosti. Mezi nejnebezpečnější lze zařadit fluorovodík, alifatické uhlovodíky a aromatické uhlovodíky (Beneš, 1993; Kalač, 2010).

1.2.2.3 Imise z metalurgie

Z hlediska tuhých exhalátů jsou imise z metalurgie nejzávadnějším původcem znečištění půd. Hlavní složkou prachových částic jsou oxidy MnO_2 , Al_2O_3 , CaO , SiO_2 a další (Beneš, 1993; Kalač, 2010).

1.2.3 Kontaminace z péče o půdu

Půda, jakožto složka životního prostředí, vyniká v nespočetném množství funkcí. V současné době je na ni primárně nahlíženo jako na zdroj, z kterého vzniká naše potrava, případně jiné látky (paliva, zdroje pro výrobu léčiv a jiné). Snaha maximalizovat výnosy rostlinné biomasy vede k častému špatnému využívání půdního fondu. Dochází k umělému zvyšování půdní úrodnosti aplikací hnojiv za užívání těžkých zemědělských technik, či užívání pesticidů pro chemickou ochranu rostlin. Tyto látky jsou založené na syntéze chemických látek, které obsahují prvky pro půdu nepůvodní (Beneš, 1993; Kalač, 2010).

1.2.3.1 Kontaminace z hnojiv

Zdrojem kontaminace jsou složky hnojiv, ale především chyby při jejich aplikaci. Ke znečištění půd docházelo především v historii. Problémovými aplikovanými přísadami byla fosforečná hnojiva, která obsahovala fosfáty s vyšším obsahem kadmia, stroncia a dalších rizikových kovů. V současnosti musí všichni výrobci hnojiv splňovat legislativní podmínky pro množství rizikových prvků ve svých výrobcích a kontaminace půd touto cestou by měla být minimální. Někteří uživatelé hnojiv však nedodržují pracovní postupy a množství aplikovaných látek (dochází k nadužívání hnojících přípravků a k následnému vyššímu množství vnášených látek do prostředí) (Beneš, 1993; Kalač, 2010; Koplík, 1997).

1.2.3.2 Kontaminace z agrochemikálií a prostředků pro chemickou ochranu rostlin

Problematika chemického složení pesticidů je v současné době sledována. Kontrolní orgány maximálně dohlíží, aby ke znečištění půd při správné aplikaci touto cestou nedocházelo. Důležitost dostává pojem správná aplikace. Koneční uživatelé nedbají na správnost aplikace, přípravě přípravku či likvidaci samotného obalu a touto cestou dochází ke znečišťování (Beneš, 1993; Kalač, 2010).

1.2.3.3 Kontaminace z provozu zemědělské techniky

Zvláštním zdrojem znečištění půd může být samotná zemědělská technika. Jedná se o techniku, která je neudržovaná a zastaralá. Ze strojů ukapávají skrz netěsnící či špatně připevněné hadice provozní kapaliny, či samotné aplikované látky (Beneš, 1993; Kalač, 2010).

1.2.4 Kontaminace z mateční horniny a půdotvorného substrátu

Toxické kovy se mohou do půdy dostat během její samotné pedogeneze z mateční horniny či půdotvorného substrátu. Tento způsob kontaminace půd jako jediný nemůžeme ovlivnit. Proto je vhodné provozovat pečlivý monitoring půd na lokalitách, kde by mohlo dojít k znečištění půd tímto způsobem, aby došlo k zamezení užití takové půdy k pěstování rostlin (Beneš, 1993; Kalač, 2010).

1.3 Toxické kovy

Do skupiny toxických kovů řadíme takové kovy, které již svou velmi malou dávkou působí na organismy a životní prostředí negativně, působí na organismus toxicky. Mezi hlavní toxické kovy řadíme: antimon (Sb), arzen (As), chrom (Cr), kadmium (Cd), mangan (Mn), měď (Cu), nikl (Ni), olovo (Pb), rtuť (Hg), zinek (Zn) a další. Celkový toxický účinek těchto kovů je dán nejen dávkou přijatého kovu a délkou působení, ale i dalšími faktory. Lze jmenovat formu výskytu kovu, přítomnost jiných škodlivých látek či cestu vstupu toxického kovu do organismu. (Cibulka, 1986; Komínková, 2008; Panáček, 2013).

1.3.1 Vybraní zástupci toxických kovů

1.3.1.1 Arzen (As)

Prvek vyskytující se v přírodě převážně ve formě sulfidů, nejhojnější forma je arzenopyrit FeAsS. Tyto sulfidy se vyskytují společně se sulfidy jiných kovů, především rudy olova, mědi, niklu a železa. Arzen se získává při pyrometalurgickém zpracování rud jako vedlejší produkt.

Arzen byl v historii součástí arzenových pesticidů (převážně insekticidů). Používali jej zejména zemědělci a vinaři před zavedením chlorovaných uhlovodíků ve formě sloučenin arzenitanu sodného a vápenatého, či arzeničnanu vápenatého. V menším množství je arzen součástí některých herbicidů či protiparazitálních lázní.

Otrava arzenem je dvojího typu: akutní a chronická. Akutní otrava se dynamicky projevuje formou nevolnosti, zvracení či bolestmi hlavy. Chronická otrava vede převážně ke kožním změnám, změně pigmentaci nehtů či rozvoji srdečních onemocnění, rakoviny a chronického onemocnění dolních cest dýchacích (Benco, 1995; Kafka, 2002; Komínková, 2008).

1.3.1.2 Chróm (Cr)

Volný chróm se v přírodě prakticky nevyskytuje, lze ho najít výhradně ve sloučeninách jako chromit, krokoit, melanchroit či uvaroit, zvaný jako chrómový granát. Chróm je využíván téměř ve všech průmyslových odvětvích, převážně v metalurgickém průmyslu. Hojně se používá v chemickém průmyslu, při výrobě chrómových pigmentů s jejich použitím v barvířství a tiskařství. Díky svým vlastnostem je chróm aplikován při galvanické povrchové úpravě kovů.

Toxicita chrómu se odvíjí od jeho formy. Trojmocný forma chrómu je biogenním prvkem v metabolismu cukrů a různých enzymatických reakcích. Forma šestimocná je účinným oxidačním činidlem zodpovědným za jeho toxické vlastnosti. Otrava chromem se projevuje lokálně ve formě tzv. chrómových vředů. Jedná se o místní zánět kůže, vyskytující se v oblasti kořenu nehtů a prstních kloubů (Benco, 1995; Kafka, 2002; Komínková, 2008).

1.3.1.3 Kadmium (Cd)

Kadmium se vyznačuje chemickou podobností k zinku. Díky této podobnosti se vyskytuje v rudách a půdě společně se zinkem v poměru 1 : 100 až 1 : 1000. Kadmium je

uvolňováno do prostředí díky jeho rostoucímu užívání v průmyslu při výrobě barviv, plastů a akumulátorů. Jako zdroj kontaminace kadmiem je také chápáno spalování pohonných hmot, odpadů, olejů a jeho používání jako složky pesticidů.

Chemická podobnost kadmia se zinkem umožňuje kadmiu zinek vytěsnit z různých enzymů, a tím narušit metabolické reakce. Symptomy otravy kadmiem jsou bolesti hlavy, křeče trávicího ústrojí či zvracení. Chronické vystavené kadmiu poškozují plicní funkce či funkce ledvin (Benco, 1995; Cibulka, 1986; Kafka, 2002; Komínková, 2008).

1.3.1.4 Měď (Cu)

Měď je přirozenou součástí životního prostředí, v přírodě se vyskytuje v jednomocném i dvojmocném stavu. Nejčastěji se vyskytuje v ruzích jako kuprit, malachit či ve formě sulfidů. Je jedním z prvků, který je pro člověka esenciálním. Na druhé straně při jeho nadměrném užívání vede k onemocněním jako poškození jater, ledvin či nemoci označované jako horečka z kovů.

Měď našla široké uplatnění ve výrobě elektrických vodičů a elektronických součástek. Spotřebovává se při výrobě korozivzdorných slitin, výrobě kabelů a na topenářské práce. Jejího antimikrobiálního účinku je využíváno v zemědělství. Sloučeniny mědi se přidávají do pesticidů na boj proti řasám, houbovým a bakteriálním onemocněním rostlin (Benco, 1995; Kafka, 2002; Komínková, 2008).

1.3.1.5 Vanad (V)

Vanad je součástí více jak 60 minerálů, získává se však pouze z dolování karnatitu a vanadinitu. Dále je obsažen ve fosilních palivech či elektrárenských popílcích. Získaný vanad se zejména používá při výrobě konstrukčních ocelí a v chemickém průmyslu. Je nalézán zejména v ovzduší velkých měst, kam se dostává jako emise při jeho metalurgickém zpracování, nebo při spalování fosilních paliv.

Dlouhodobé vystavení vanadu může vést k chronickému zánětu spojivek a dráždivým projevům na kůži. Symptomy jsou však nejednotné a chronická otrava vanadem je popisována jen zřídka. Většinou se jedná o akutní otravy vanadem u dělníků, kteří s ním pracují (Benco, 1995; Komínková, 2008).

1.3.1.6 Zinek (Zn)

Zinek patří k nejběžněji používaným kovům na světě. Své uplatnění nachází již od starověku, kdy se z něj začala vyrábět slitina zvaná mosaz (Cu, Zn). Mezi minerály obsahující zinek náleží zinkit, hemimorfit a sfalerit. V průmyslu je používán při výrobě nekorozivních slitin, mosazi, galvanizaci oceli a při ozinkování železných pechů a drátů k ochraně proti korozi. V zemědělství se přidává do pesticidů ve formě zinečnatých solí, kvůli jeho fungicidním vlastnostem. Kosmetický průmysl používá jeho sloučeniny do deodorantů a šamponů.

Jako měď je i zinek esenciálním prvkem pro lidský organismus. Podílí se na funkci imunitního systému, je součástí antioxidantních procesů a některých enzymů. Jeho nadměrné užívání však vede k žaludečním křečím a nevolnostem. Dlouhodobé působení zinku vede k poškození slinivky a krve (Benco, 1995; Kafka, 2002; Komínková, 2008; Panáček, 2013).

1.4 Rizikové prvky

Pojem rizikový prvek zavádí Vyhláška MŽP č. 153/2016 Sb. o stanovení podrobnosti ochrany ZPF. Za rizikové prvky v zemědělské půdě označuje: Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V a Zn. Jedná se o skupinu kovů těžkých, jejichž základním kritériem je jejich hustota vyšší jak 5 g/cm^3 (například Cu, Hg, Pb) (Bradnová, 1993). Dále skupina kovů alkalických zemin (Be) a kovů přechodných (Cd, Co, Cr, Zn). Všechny tyto prvky jsou typické škodlivými vlastnostmi ve vyšších dávkách nebo při dlouhodobém působení.

Beneš vyjmenovává následující vlastnosti rizikových prvků v půdách (Beneš, 1993):

1. Toxicita rizikových prvků se projevuje pozvolně, nikoliv ihned. V půdě dochází k nepřímým změnám vedoucím celkovému snížení její úrodnosti.
2. Vysoký poločas rozpadu rizikových prvků v půdě způsobuje delší sestávání těchto prvků v porovnání s atmosférou a hydrosférou.
3. Znečištění půd, především ve svrchní vrstvě, roste s intenzitou aplikace chemických prostředků.
4. Toxické kovy mají kumulativní charakter.
5. Některé rizikové prvky podléhají dálkovému přenosu díky vytváření těkavých sloučenin.

6. Kontaminace půdy toxickými kovy má většinou lokální charakter. Tento fakt nesplňuje kontaminace způsobená atmosférickými spady či nadužíváním průmyslných hnojiv.
7. Toxicita není stálou vlastností prvků. Při vstupu prvku do půdy podléhá prvek fyzikálně-chemickým změnám a nadále se zapojuje do biochemického koloběhu. Výsledkem je řada látek zvyšující či snižující toxicitu daného prvku v prostředí

1.5 Základní užití pojmy

Kontaminace (znečištění) – překročení obsahu rizikových prvků v půdě v důsledku lidské činnosti (Bradnová, 1993).

Půda – otevřený, polyfunkční systém lokalizovaný na povrchu litosféry (Bradnová, 1993).

Rizikové prvky – prvky vyznačující se negativními účinky na biologické a fyzikálně-chemické procesy v půdách, mají nebezpečné vlastnosti pro zdraví člověka. Pojem rizikové prvky stanovuje Vyhláška MŽP č. 153/2016 Sb. o stanovení podrobnosti ochrany kvality zemědělské půdy.

Těžké kovy – pojmem těžké kovy jsou označovány takové kovy, které mají z fyzikálního hlediska měrnou hmotnost vyšší jak 5 g/cm^3 (Bradnová, 1993). V literatuře je možné najít označením „těžké kovy“ prvky mající toxické vlastnosti. Důležité je uvědomit si fakt, že ne každý kov, který je těžký, je zároveň i toxický a naopak.

Toxické kovy – kovy, které jsou svým působením škodlivé pro organismus a prostředí. Řadíme mezi ně většinu těžkých kovů s toxickými vlastnostmi a dále vybrané polokovy (Benco, 1995; Bradnová, 1993).

Toxicita (jedovatost) – schopnost dané látky negativně působit na organismus. Je ovlivněna řadou faktorů, nejvíce však záleží na koncentraci a časové expozici vystavení toxické látce. Toxicitu rozdělujeme na 2 druhy: akutní a chronická (Bradnová, 1993).

Xenobiotika (cizorodé látky) – za cizorodou látku označujeme látku pro prostředí cizí. Prostředí tuto látku samo nevytváří a není pro něj nezbytné. Mezi tyto látky jsou zahrnovány kontaminanty, polutanty i rizikové látky (Bradnová, 1993; Kalač 2010).

1.6 Legislativní opatření

V České republice je legislativní ochrana půd řešena v Zákoně o ochraně zemědělského půdního fondu č. 334/1992 Sb. (ve znění pozdějších právních předpisů). Z části se problematice ochrany půd věnuje Zákon číslo 156/1998 Sb. o hnojivech (ve znění pozdějších předpisů), Zákon o odpadech číslo 185/2001 Sb. (ve znění pozdějších předpisů) a příslušené vyhlášky k těmto zákonům.

Limity kontaminace zemědělských půd jsou otázkou Zákonu 334/1992 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu a vyhlášky MŽP 13/1994 Sb. o podrobnostech ochrany zemědělského půdního fondu v příloze číslo 1.

Tab. 1 Maximálně přípustné hodnoty obsahu rizikových prvků v půdách [mg/kg] zjištěné extrakcí lučavkou královskou podle vyhlášky 13/1994 Sb.

Rizikové prvky v půdách náležející do ZPF		
Obsah rizikových prvků v půdách [mg/kg]		
Přípustné hodnoty extrakce lučavkou královskou		
prvek	lehké půdy	ostatní půdy
As	4,5	4,5
Be	2	2
Cd	0,4	1
Co	10	25
Cr	40	40
Cu	30	50
Hg	0	0
Mo	5	5
Ni	15	25
Pb	50	70
V	20	50
Zn	50	100

Tato vyhláška však podlehla v květnu roku 2016 novelizaci a začala platit Vyhláška 153/2016 Sb. o stanovení podrobnosti ochrany kvality zemědělské půdy. V příloze číslo 1 stanovuje *preventivní hodnoty* pro výskyt rizikových prvků a rizikových látek v půdách patřících do ZPF. V příloze číslo 2 určuje *indikační hodnoty* rizikových prvků a rizikových látek v půdách patřících do ZPF, při jejichž překročení může být ohrožena zdravotní nezávadnost potravin nebo krmiv.

Tab. 2 Preventivní hodnoty rizikových prvků v půdách [mg/kg] zjištěné extrakcí lučavkou královskou podle vyhlášky 153/2016 Sb.

Rizikové prvky v půdách náležející do ZPF		
Obsah rizikových prvků v půdách [mg/kg]		
Preventivní hodnoty extrakce lučavkou královskou		
prvek	lehké půdy	běžné půdy
As	15	20
Be	1,5	2
Cd	0,4	0,5
Co	20	30
Cr	55	90
Cu	45	60
Hg	0,3	0,3
Ni	45	50
Pb	55	60
V	120	130
Zn	105	120

Novelizovaná vyhláška v příloze č. 4 určuje postup při odběru půdních vzorků. Stanovuje počty vzorků, hloubku odběru vzorků, hmotnost směsného vzorku, jejich uskladnění a následnou přípravu k analýze vzorků.

Mezi další legislativní dokumenty věnující se problematice kontaminace půd aspoň z části patří Zákon o hnojivech číslo 156/1998 Sb. a jeho prováděcí Vyhláška č. 275/1998 Sb. o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (ve znění pozdějších právních předpisů), která v příloze 2 blíže určuje pojmy rizikový prvek a riziková látka. Za rizikové prvky označuje As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, F, Hg, Mo, Ni, Pb, V, Zn a Tl. Legislativa se snaží zamezit vniku rizikových prvků do půd prostřednictvím určených limitních hodnot rizikových prvků v hnojivech ve vyhlášce 474/2000 Sb., ve znění pozdějších právních předpisů.

Problematika půdy je dílčím způsobem řešena i v jiných zákonech (lesy, vody, aplikace látek do půdy a další).

2 METODIKA A MATERIÁL

2.1 Odběr vzorků půd

Před samotným odběrem vzorků se určuje jejich celkový počet. Stanovení minimálního počtu vzorků se odvíjí od velikosti šetřené plochy, kterou udává příloha č. 4 Vyhlášky 153/2016 Sb.

K odebrání vzorků v terénu se používá upravený rýč, spirálový vrták, trubkový vzorkovač či lopatka. Podle způsobu obdělávání půdy určujeme hloubku odběru. V případě zahrad a ovocných sadů činí hloubka odběru 0–30 cm. Odebraný materiál je ukládán do označených sáčků obsahujících: jméno osoby odebírající vzorek, datum a označení místa odběru, použitý nástroj a další (Jeník, 1994; Popl, 1999; Vyhláška č 153/2016 o stanovení podrobnosti ochrany kvality zemědělské půdy, 2016).

2.2 Uložení vzorku a jeho úprava v laboratoři

Odebraný vzorek se ukládá do polyetylenových předem označených sáčků. Přenese se do laboratoře, kde se vzorek připravuje na analýzu. Přípravné práce zahrnují promísení vzorku, jeho kvartaci a homogenizaci. Homogenizace spočívá v odstranění větších cizorodých částic, odseparování větších kamenů a jiné (Jeník, 1994; Popl, 1999). Následuje sušení. V názoru na výši teploty se různí autoři liší. Například Bernick používá teplotu 105 °C (Bernick, 1995) zatímco Hürkamp vzorky suší po dobu několika dní při teplotě 40 °C (Hürkamp, 2009).

2.3 Stanovení půdní reakce, oxidačně-redukčního potenciálu a elektrické konduktivity

2.3.1 Půdní reakce

Koncentrace vodíkových iontů H^+ vytvářejících ve vodních roztocích kationty H_3O^{3+} (hydroxoniové nebo oxoniové ionty) určují půdní reakci. V roztoku, kde je rozpuštěna kyselina či kyselá sůl se vodíkové ionty uvolňují (disociace). Dochází k vyšší koncentraci H_3O^{3+} nad koncentrací aniontů OH^- , takže hovoříme o kyselé reakci. V opačném případě, kdy je koncentrace H_3O^{3+} nižší než koncentrace aniontů OH^- , se jedná o reakci zásaditou, která je způsobena rozpuštěním zásad, bazických sloučenin nebo koloidy. Shodnost koncentrace iontů je označována za reakci neutrální.

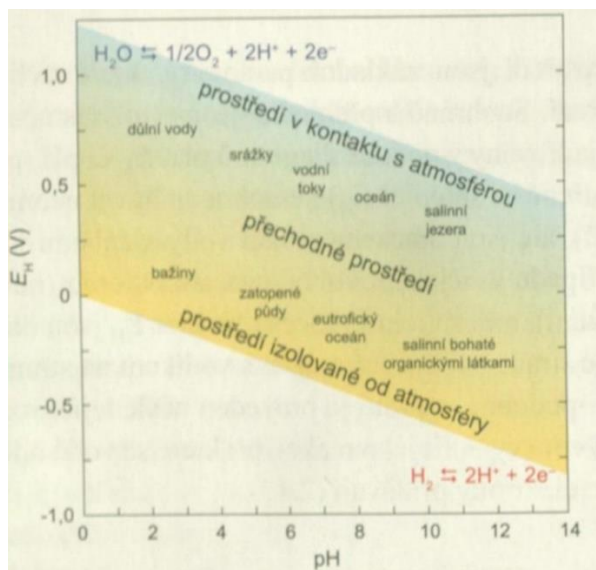
Kyselost, neutralita či zásaditost je vyjádřena pomocí hodnot stupnice pH. Hodnota pH je definována jako záporně vzatý dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů v roztoku. Zapsáno jako $\text{pH} = -\log 10 \text{H}^+$. Kyselé roztoky dosahují hodnot pH v rozmezí mezi 0–6,9, zásadní 7,1–14 a neutrální pH 7 (Brtnický, 2015; Pitter, 2009; Žalud, 2008).

2.3.2 Oxidačně-redukční potenciál (ORP nebo Eh)

Součástí komplexních dějů v půdách jsou dva procesy závislé na příjmu či darování elektronu. Jedná se o procesy oxidace a redukce. Látka podléhající oxidaci, elektrony ztrácí, naopak látka redukující elektrony získává. Každá oxidace je současně provázena i probíhající redukcí.

Rovnováha se ustanovuje podle převažujícího procesu (oxidace nebo redukce). Výsledkem je redoxpotenciál (ORP) nebo též označovaný jako hodnota Eh. Měří se v mV (milivoltech) jako rozdíl potenciálů mezi dvěma elektrodami (platinová elektroda oproti elektrodě kalomelové či chloridostříbrné).

Obecně platí, že záporné hodnoty Eh vyjadřují redukční děje (anaerobní prostředí) a kladné hodnoty děje oxidační (aerobní prostředí). V půdě se hodnoty Eh běžně pohybují v rozmezí od -400 mV do 750 mV, přičemž nejvíce závisí na provzdušnění půdy, zrnitostním složení a obsahu rozložitelných organických látek (Brtnický, 2015; Pitter, 2009). Existuje i závislost pH a Eh, která je znázorněna v stabilitních diagramech daného prvku. Ze závislosti pH a redoxního potenciálu lze odvodit v jakém prostředí se dané prvky vyskytují.



Obr. 4 Hodnoty pH a redoxního potenciálu E_h pro různá přírodní prostředí (Černík, 2010)

2.3.3 **Konduktivita**

Konduktivita (měrná elektrická vodivost) je ukazatelem množství rozpuštěných ionizovatelných organických i anorganických látek v roztoku. Využívá se ke stanovení celkového obsahu rozpustných solí (stupně mineralizace půdního roztoku).

Měrná vodivost se značí κ s jednotkou S/m, v případech velmi malých hodnot se setkáváme s jednotkami mS/m či $\mu\text{S}/\text{m}$. Jedná se o převrácenou hodnotou odporu (Ω), která odpovídá vodivosti elektrolytu měřené mezi elektrodami o jednotkové ploše a vzájemné jednotkové vzdálenosti (Pitter, 2009; Žalud, 2008).

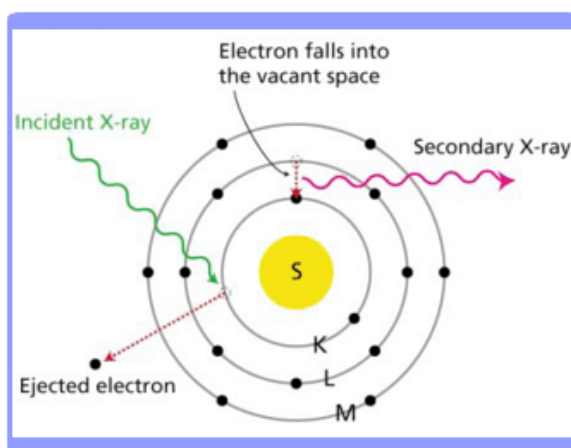
Tab. 3 Míra zatížení půd solemi (Němeček, 2007)

Konduktivita κ [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Míra zatížení půd solemi
< 30	většina zemědělských půd, normální intenzita hnojení, min. zatížení solemi
30 – 60	půdy minerálně bohaté, středně vysoká intenzita hnojení, bez negativních účinků hnojení
60 – 120	půdy s vysokým vyhnojením na minerálně bohatých substrátech, zvýšený obsah solí
> 120	vysoké zatížení půd solemi s možnými negativními účinky na růst rostlin

2.3.4 **Stanovení kovů – RFA analýza**

Pro stanovení kvantitativního množství vybraných toxických kovů bude použita elementární analýza pomocí rentgenové fluorescence (RFA), která následuje po vysušení a homogenizaci vzorků.

RFA analýza je nedestruktivní metoda zjišťující složení látek. Využívá rentgenového záření, kterým je ozařován vzorek, a následné ionizace atomů. Ozářením vzorku paprsky rentgenového záření dochází k vybuzení a vyražení elektronu z vnitřních energetických hladin (nejčastěji slupka K). Volné místo po vyraženém elektronu obsazuje elektrony z vyšších energetických hladin (slupky L, M, N). Při přeskoku do nižších hladin dochází k emisi specifického kvanta rentgenového (fluorescenčního) záření. Frekvence takto uvolněného kvanta rentgenového záření je charakteristická pro jednotlivé prvky ve vzorku a umožní jejich určení. Intenzita záření je ve vztahu k obsahu prvku ve vzorku. (Čechák, 2004; Kraus, 1985; www.uochb.cz).



Obr. 5 Princip RFA analýzy (www.911metallurgist.com)

2.3.5 Integrovaný index znečištění (IPI)

IPI určuje míru znečištění celkové lokality. Je definován jako střední hodnota indexu znečištění daného prvku, označovaný jako PI. PI každého prvku je určen jako poměr koncentrace kovu na dané lokalitě na limitní koncentraci prvku v daném území (Binggan, 2009).

$$IPI = \sum \frac{1}{n} * \left(\frac{c_{M1}}{c_{L1}} + \frac{c_{M2}}{c_{L2}} + \dots \frac{c_{Mn}}{c_{Ln}} \right) \quad (1)$$

Tab. 4 Klasifikační stupnice znečištění dle hodnoty IPI (Binggan, 2009)

$IPI \leq 1$	nízká úroveň znečištění,
$1 < IPI \leq 2$	mírný stupeň znečištění
$2 < IPI \leq 5$	vysoká úroveň znečištění
$IPI > 5$	extrémně vysoká úroveň znečištění

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Vybrané lokality ke stanovení toxických kovů

Vybrané lokality se nachází v městské aglomeraci Brno. Lokality byly vybrány tak, aby byly možné zdroje znečištění různorodé. Následuje popsání jejich lokalizace a stručný popis eventuálních zdrojů toxických kovů v půdách:

(1) Zahrádkářská kolonie MČ Brno Řečkovice a Mokrá Hora – ulice Podhájí

Kolonie se nachází v blízkosti pozemní komunikace E461 a R43 ve směru na Svitavy. Na sever od zahrádkářské kolonie funguje chemický závod Erba Lachema. Na lokalitě se vyskytují 2 půdní typy. Jedná se o F_{Lm} (fluvizem modální) a K_{Am} (kambizem modální) (www.mapy.geology.cz, 2016; www.klasifikace.pedologie.cz).

(2) Zahrádkářská kolonie MČ Brno Sever – Lesná – ulice Seifertova

Zahrádkářská kolonie neleží v žádné bezprostřední blízkosti průmyslového závodu či frekventované pozemní komunikaci, která by predikovala vyšší koncentraci rizikových prvků v půdách. Nachází se zde půdní typ K_{Am} (kambizem modální) (www.mapy.geology.cz, 2016; www.klasifikace.pedologie.cz).

(3) Zahrádkářská kolonie MČ Brno Černovice – ulice Charbulova

Zahrádkářská osada leží v blízkosti pozemní komunikace číslo 374 – Černovická. Jedná se o pozemní komunikaci využívanou jako brněnský okruh. Severozápadně od kolonie leží průmyslový textilní závod Nová Musilana. Půdním typem na lokalitě je F_{Lm} (fluvizem modální) (www.mapy.geology.cz, 2016; www.klasifikace.pedologie.cz).

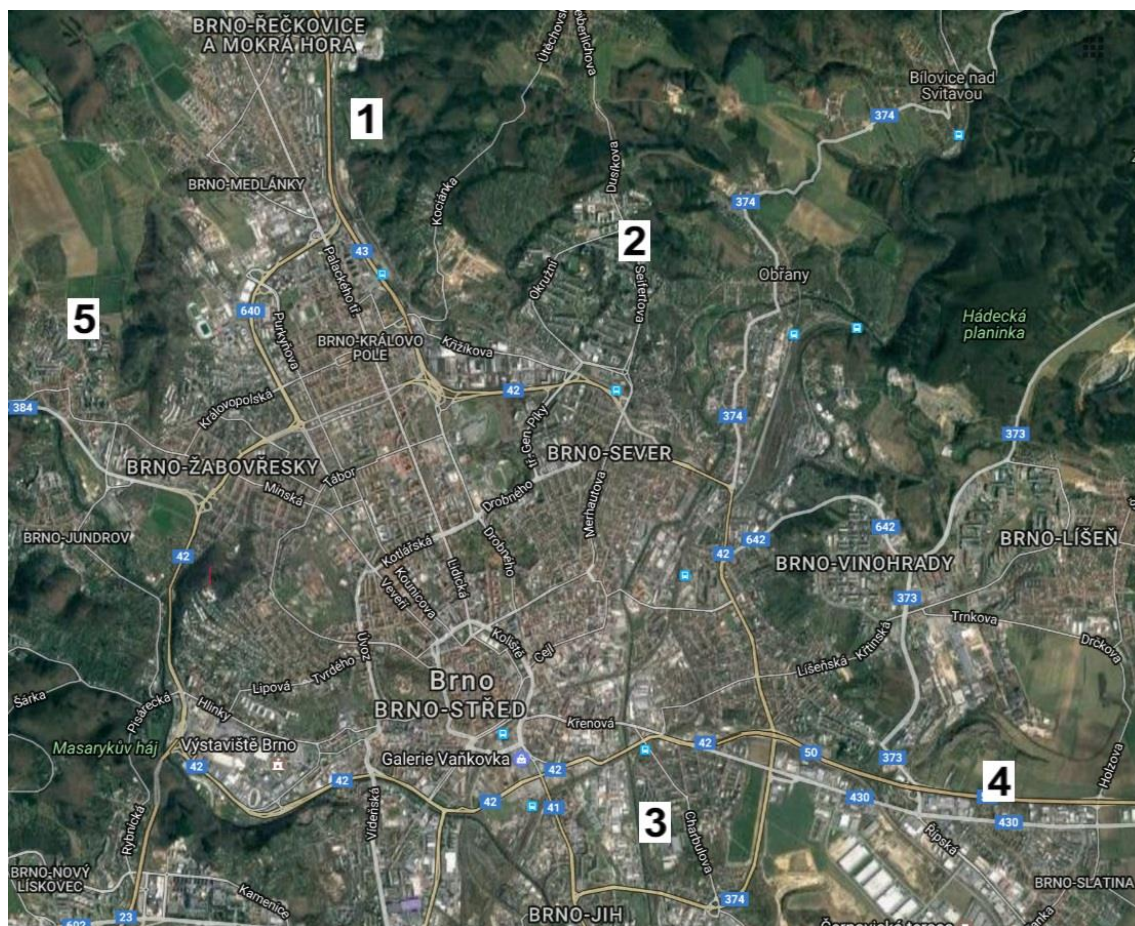
(4) Zahrádkářská kolonie MČ Brno Slatina – ulice Ostravská, Podstránská

Zahrádkářská kolonie je situována jižní stranou v blízkosti pozemní komunikace R50 ve směru na Vyškov, Olomouc. Severní strana je v blízkosti průmyslového areálu firmy Zetor. Jihozápadně od parcel zahrádkářské kolonie funguje Spalovna Brno. Na lokalitě se střídají 2 typy

půd a to RZm (rendzina modální) a CEm (černozem modální) (www.mapy.geology.cz, 2016; www.klasifikace.pedologie.cz).

(5) Zahrádkářská kolonie MČ Brno Komín – ulice Řezáčova

Zahrádkářská kolonie neleží v žádné bezprostřední blízkosti průmyslového závodu či frekventované pozemní komunikace. Pozemek sousedí s ornou půdou využívanou pro pěstování zemědělských plodin. Možným zdrojem znečištění toxickými kovy jsou aplikovaná hnojiva na sousední pozemek využívaný k zemědělské činnosti. Lokalita disponuje půdním typem hnědozem modální (HNm) (www.mapy.geology.cz, 2016; www.klasifikace.pedologie.cz).



Obr. 6 Mapa města Brna s vyznačenými odběrovými lokalitami (www.google.cz/maps)

3.2 Odběr vzorků

Odběr vzorků proběhl dne 9. 10. 2016 za zataženého počasí při průměrné teplotě 10 °C.

V případě této práce byl stanoven počet 5 odebraných vzorků z jedné lokality. Celková vzdálenost odebíraných vzorků se pohybovala v závislosti na celkové velikosti zahrádkářské kolonii. V lokalitách Brno Řečkovice a Mokrý hora, Brno Sever – Lesná a Brno Slatina byly odebírané vzorky od sebe vzdáleny přibližně 80–100 m. Zahrádkářské kolonie v Brno Komín a Brno Černovice mají menší velikost, a proto byly vzorky pořízeny ve vzájemné vzdálenosti 50–60 metrů. K odběru vzorků byla použita zahrádkářská lopatka. Před odebráním vzorku, byla nejprve odstraněna drnová vrstva půdy a následně půda odebrána v přibližné hloubce 5 až 20 cm. Celkový odebraný vzorek vážil přibližně 0,5 kg a označený v polyethylenových sáčkách byl převezen do laboratoří.



*Obr. 7 Odstranění svrchní drnové vrstvy půdy a následný odběr půdních vzorků.
Foto: M. Němcová.*

3.3 Zpracování vzorků v laboratoři

Po odstranění hrubých nečistot ze vzorku probíhalo sušení vzorku při teplotě do 40 °C po dobu jednoho týdne. Za užití síta s velikostí ok 2 mm byl vzorek přesítován (Borůvka, 1997). Výsledný materiál byl použit k RFA analýze a stanovení pH, ORP a konduktivity.

Půdní reakce, ORP a konduktivita byla měřena v laboratořích Ústavu zemědělské, potravinářské a enviromentální techniky na Mendelově univerzitě v Brně dne 8. 11. 2016. Výluh byl připraven do vzorkovnic o objemu 50 ml v poměru 1:5 (připravená zemina : destilovaná voda). Po uzavření vzorkovnic probíhalo třepání po dobu 30 minut na

třepačce IKA H3 260 basic. Takto připravený vzorek se zanechal 24 hodin v klidu a další den probíhalo měření pH, ORP a konduktivity.

K měření bylo použito přístrojů GHM – GREISINGER. Přístroj GMH 5450 měřil konduktivitu κ v jednotkách $\mu\text{S}/\text{cm}$ s přesností na jedno desetinné místo, přístroj GMH 5530 měřil ORP v jednotkách mV_{HS} přesností na jedno desetinné místo a pH bylo měřeno na přístroji GMH 5530 s přesností na dvě desetinná místa.



Obr. 8 Třepání vzorků na třepačce IKA H3 260 basic. Foto: M. Němcová.



Obr. 9 Měření pH, ORP a konduktivity v laboratořích Ústavu zemědělské, potravinářské a environmentální techniky. Foto: M. Němcová.

3.4 Stanovení toxických kovů

Za účelem zjištění kvalitativního a kvantitativního složení odebraných vzorků půd bylo využito RFA analýzy. Měření probíhalo ve spolupráci s Mgr. Evou Geršlovou, Ph.D. z Ústavu geologických věd Masarykovy univerzity v Brně dne 23. 1. 2017. K měření byl použit ruční analyzátor kovů BAS DELTA. Půdní vzorek byl pomocí lžičky nabrán do kyvet v takovém množství, aby bylo pokryto celé dno kyvety. Takto připravená kyveta se poté umístila do prostoru sestavené aparatury, tak aby přes vzorek mohlo probíhat rentgenový paprsek.



*Obr. 10 RFA analýza na přístroji BAS DELTA.
Foto: M. Němcová.*

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1 Obsah toxických kovů

Stanovení obsahu kovů ve vzorcích proběhlo za užití rentgenové fluorescence, jejíž pracovní postup je popsán v kapitole 2.4 Stanovení toxických kovů. Přístroj BAS DELTA zaznamenává všechny hodnoty detekovaných prvků v elektronické formě převedené do podoby sw. (softwarové) aplikace Excel. Z těchto všech hodnot byly vybráni zástupci toxických kovů, s jejíž hodnotami se nadále pracovalo. Zvolenými zástupci toxických kovů byly kovy, které jsou současně legislativně prohlášeny za rizikové prvky. Pro každou lokalitu byly vypočítány průměrné hodnoty množství prvku ve vzorku [mg/kg] a směrodatné odchylky za užití statistických výpočtů sw. aplikace Excel 2016 s cílem získat přehled o množství prvků v dané lokalitě. Při statistickém zpracování nebyly vyřazeny abnormální hodnoty. Právě tyto hodnoty upozorňují na zvýšený obsah daného prvku v lokalitě, který je pro tuto práci stěžejním výsledkem.

Následující tabulky nesou informace o průměrných hodnotách vybraných toxických prvků v daných lokalitách. Součástí Přílohy č. 2 jsou tabulky s jednotlivými vzorky a hodnotami množství vybraných toxických kovů

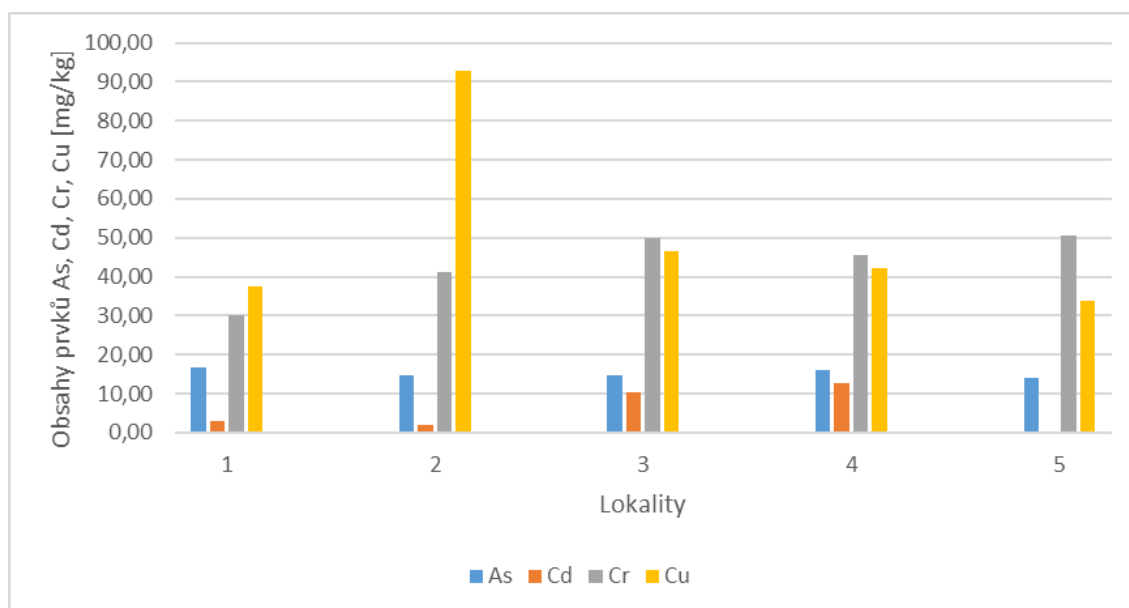
Tab. 5 Průměrné hodnoty vybraných toxických prvků část 1

Lokalita	Prvek							
	As		Cd		Cr		Cu	
	[mg/kg]	směrodat.	[mg/kg]	směrodat.	[mg/kg]	směrodat.	[mg/kg]	směrodat.
1	16,80	0,92	2,88	5,76	30,28	9,36	37,41	6,14
2	14,73	2,13	1,92	3,84	41,26	19,33	92,90	55,94
3	14,68	0,89	10,35	5,63	49,81	29,69	46,63	9,07
4	15,95	1,71	12,69	5,08	45,40	6,88	42,16	6,74
5	14,19	0,34	0,00	0,00	50,49	8,66	33,79	3,06

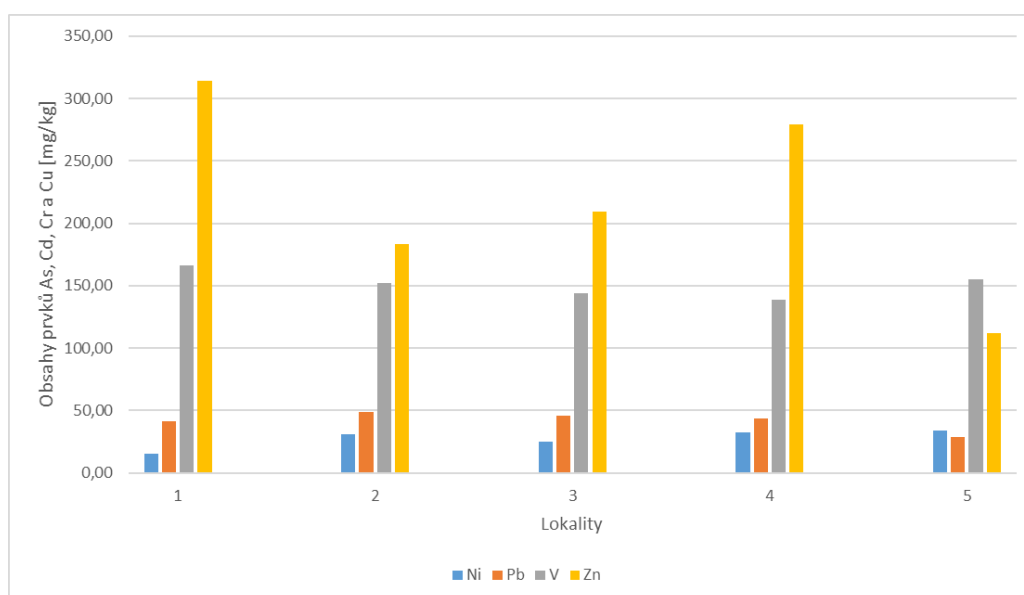
Tab. 6 Průměrné hodnoty vybraných toxických prvků část 2

Lokalita	Prvek							
	Ni		Pb		V		Zn	
	[mg/kg]	směrodat.	[mg/kg]	směrodat.	[mg/kg]	směrodat.	[mg/kg]	směrodat.
1	15,05	6,88	41,64	7,58	166,53	28,83	314,18	55,18
2	31,29	14,29	48,47	22,73	152,27	17,03	183,07	53,37
3	24,84	6,06	45,82	7,14	144,23	12,43	209,35	89,31
4	32,15	2,52	43,78	17,26	138,82	20,88	279,40	75,71
5	33,58	4,18	28,34	0,56	155,07	15,43	111,61	10,94

Následují grafická vyjádření obsahu toxických kovů v půdách v *Grafu č. 2* a *Grafu č. 3*.



Graf 2 Grafické znázornění obsahů prvků As, Cd, Cr a Cu na vybraných lokalitách



Graf 3 Grafické znázornění obsahů prvků Ni, Pb, V a Zn na vybraných lokalitách

Zjištěné hodnoty byly následně porovnány s preventivními hodnotami rizikových prvků stanovenými Vyhláškou 153/2016 Sb. o stanovení podrobnosti ochrany kvality zemědělské půdy.

Obsahy kovů arzenu, chromu, niklu a olova splňují legislativní kritéria preventivních hodnot na všech zájmových územích. Prvek měď splňuje kritéria na všech lokalitách s výjimkou lokality 2 (Lesná), kde dosahuje hodnoty 92,90 mg/kg. Preventivní hodnota obsahu mědi v běžných půdách přitom činí 60 mg/kg.

Hodnoty, které mají vyšší hodnotu jak daná kritéria preventivních hodnot, jsou v *Tab. 5* a *Tab. 6* zvýrazněny tučně. Mezi prvky překračující preventivní hodnoty patří:

- kadmium (Cd) na lokalitách 1 až 4,
- měď (Cu) na lokalitě číslo 2,
- vanad (V) na všech lokalitách,
- zinek (Zn) na lokalitách 1 až 4.

Stejná Vyhláška 153/2016 Sb. stanovuje i indikační hodnoty, při jejichž překročení může být ohroženo zdraví lidí a zvířat. Při porovnání výsledků s těmito hodnotami, bylo zjištěno, že daná kritéria splňují všechny prvky s výjimkou prvku Cd. Indikační hodnoty pro prvek kadmium činí 2 mg/kg. U naměřených vzorků bylo zjištěno průměrné množství kadmia od 2,88 mg/kg po 12,69 mg/kg.

Překročení stanovených hodnot v půdě nemusí ihned znamenat riziko. Příjem kovů rostlinou nemá lineární charakter v závislosti na množství kovu v půdě, nýbrž na jeho přístupnosti. Mobilitu prvků a jejich transport do těla rostlin je ovlivněn především chemickými a mineralogickými charakteristikami půd jako je pH, ORP, kationtová výměnná kapacita, stupeň provzdušnění a jiné (Violante, 2010). Obecně je vzato, že mobilita toxických kovů v půdách klesá v následujícím pořadí $Cd > Ni > Zn > Cu > Pb$ (Tlustoš, 2007; Makovníková, 2006).

Určení pH půd je pro mobilitu kovů zásadní. Prvky jsou pevněji vázány v půdách neutrálních a alkalických. V půdách kyselých dochází za dešťů k jejich rozpouštění ve vodě a následnému vymývání a zpřístupnění pro kořenový systém rostlin. Oxidačně-redukční potenciál má významnou roli u prvků, které se mohou vyskytovat ve více než v jednom oxidačním stupni. Mezi takové prvky řadíme například As, Cu, Hg a Pb. Při změně redoxních podmínek totiž dochází k uvolnění sorbovaných prvků do půdního roztoku (Violante, 2010).

4.2 pH, ORP, konduktivita

Z výše uvedených důvodů došlo k měření pH, ORP a konduktivity. Měření proběhlo dle popisu situovaného v kapitole 2. 3 Zpracování vzorků v laboratoři. Měření podleho všech 25 vzorků, z každé lokality 5 vzorků. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do laboratorního sešitu. Následně proběhl pro každou lokalitu výpočet průměru a směrodatné odchylky za užití statistických výpočtů aplikace Excel 2016. Následující tabulka znázorňuje průměrné hodnoty pH, ORP a konduktivity pro lokality 1 až 5. Jednotlivé hodnoty všech vzorků jsou součástí příloh.

Tab. 7 Přehled vlastností půdních výluhů na vybraných lokalitách

Lokalita	pH	ORP	κ
		[mV _H]	[μS/cm]
1	7,03 ± 0,16	419,78 ± 9,28	100,18 ± 23,02
2	7,71 ± 0,16	389,04 ± 5,87	177,90 ± 72,92
3	7,29 ± 0,20	339,32 ± 44,31	195,73 ± 73,11
4	7,64 ± 0,11	285,18 ± 5,07	168,16 ± 47,14
5	7,78 ± 0,03	292,03 ± 1,83	147,62 ± 9,02

4.2.1 pH

Hodnoty pH se pohybují v hodnotách v rozmezí od $7,03 \pm 0,16$ (lokalita 1, Řečkovice a Mokrá Hora) až po hodnotu $7,78 \pm 0,03$ (lokalita 5, Komín). Výsledky ukazují, že na vybraných lokalitách je půda neutrální (lokalita 1) až mírně alkalická (lokality 2, 3, 4 a 5).

Z výsledků lze usoudit, že v rámci celého hodnoceného souboru bude mobilita toxických kovů v závislosti na pH podobná, konkrétně nízká.

4.2.2 Oxidačně-redukční potenciál (ORP)

Naměřené výsledky ORP se lehce mění, ale dosahují vždy kladných hodnot, a to v rozpětí od $285,18 \pm 5,07$ mV_H až po hodnoty $419,78 \pm 9,281$ mV_H. Z toho vyplývá, že je jedná o oxidační (aerobní) prostředí.

Nejnižší hodnoty z celého souboru ORP byly naměřeny na lokalitách 4 (Slatina) $285,15 \pm 5,07$ mV_H a 5 (Komín) $292,03 \pm 1,828$ mV_H. Případná nutnost řešit mobilitu toxických kovů bude nutná právě zde, a to z důvodu nižších hodnot ORP, které zpravidla umožňují vyšší mobilitu kovů.

Ostatní lokality dosahují podobných hodnot ORP, které nenaznačují očekávání problémů spojených s mobilitou toxických kovů.

4.2.3 Konduktivita – elektrická vodivost vodního výluhu (κ)

Hodnoty vodivosti půdního výluhu se pohybují v širším rozpětí od $100,18 \pm 23,02$ μ S/cm (lokalita 1, Řečkovice a Mokrá Hora) po $195,73 \pm 73,11$ μ S/cm (lokalita 3, Černovice).

Dle Hodnocení kvality půd (Němeček, 2007) spadá území 1 (Řečkovice a Mokrá Hora) do kategorie půd se zvýšeným obsahem solí, půdy s vysokým vyhnojením na minerálně bohatých substrátech.

Ostatní lokality (2, 3, 4 a 5) řadí do kategorie vysoké zatížení půd solemi s možnými negativními účinky na růst rostlin.

5 ZÁVĚR

Bakalářská práce se v teoretické části zabývá zástupci toxických kovů se stručným přehledem jejich nebezpečných vlastností a cest vstupů do složek životního prostředí, zejména se zaměřením na kontaminaci půd. Popisuje metodiku pro stanovení obsahu toxických kovů a charakterizuje zájmová území odběru půdních vzorků

V praktické části se zabývá rozbořem půd ve vybraných lokalitách. V těch bylo za užití přístroje BAS DELTA zjištěno celkové prvkové složení půd. Z celého souboru dat byli vybráni zástupci toxických kovů, kteří jsou souběžně označováni legislativou za prvky rizikové. Mezi zkoumané prvky bylo zařazeno osm kovů: arzen, kadmium, chrom, měď, nikl, olovo, vanad a zinek. Bylo zjištěno, že množství čtyř výše jmenovaných prvků (arzen, chrom, nikl a olovo) zcela splňuje legislativní požadavky obsahu rizikových prvků v půdách daných Vyhláškou č. 153/2016 Sb.

Výsledky upozorňují na zvýšený obsah kadmia, vanadu a zinku ve všech lokalitách. Nejvyšší překročená hodnota kadmia byla v lokalitě 4 (Slatina), kde množství Cd dosáhlo hodnoty 10,69 mg/kg. V rámci této práce lze kadmium označit za nejrizikovější prvek. Přesahuje nejen preventivní, ale i indikační hodnoty stanovené Vyhláškou č. 153/2016 Sb., při jejichž překročení může být ohrožena nezávadnost potravin a krmiv.

Nejvyšší obsah zinku i vanadu byl naměřen v lokalitě 1 (Řečkovice a Mokrá Hora), přičemž Zn činil 314,18 mg/kg a V = 166,53 mg/kg. Vzhledem k značnému množství znečišťujících zdrojů, lze jen těžce odhadovat, který zdroj je v kontaminaci na vybraných lokalitách převládající. Lokality 1 a 4 mají pravděpodobně za společný zdroj kontaminace blízkost k frekventované pozemní komunikaci. Spalování fosilních paliv totiž převládá jako zdroj imisí kadmia i vanadu. Zvýšený obsah zinku je nejspíš způsoben nadužíváním pesticidů samotnými zahrádkáři, jednoznačný důkaz pro tuto teorii v této chvíli však předložit nelze.

Na základě vypočítaných hodnot integrovaného indexu znečištění (IPI) spadají lokality 1, 2, 3 i 4 do oblasti vysokého úrovně znečištění. Lokalita 5 naopak dle indexu IPI náleží k oblastem s nízkou úrovní znečištění.

Vlastnosti půd naznačují, že vzhledem k hodnotě pH bude mobilita kovů nízká. Případná rizika přechodu kovů do potravního řetězce lze očekávat v lokalitách 4 a 5. Na těchto lokalitách byly naměřeny nejnižší hodnoty ORP, které jsou úzce spjaty s vyšší mobilitou kovů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- BENCKO, Vladimír, Miroslav CIKRT a Jaroslav LENER. *Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka*. Vyd. 2., přeprac. a dopl., V Grada Publishing vyd. 1. Praha: Grada, 1995. ISBN 80-7169-150-X.
- BENEŠ, Stanislav. *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. Část 1: Obsahy, akumulace a kritéria hodnocení prvků v zemědělských půdách* Praha: Agrospoj, 1993. ISBN 80-7084-051-X.
- BENEŠ, Stanislav. *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. Část 2: Vstupy prvků do půd zvětráváním hornin, atmosférickými spady, aplikací hnojiv a ostatních surovin ve srovnání s výstupy erozní činností, podzemními vodami a sklizní zemědělských plodin* Praha: Agrospoj, 1994. ISBN 80-7084-090-0.
- BINGGAN, W. a Y. LINSHENG. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal* [online]. 2010, (94), 99-107 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026265X09001416>
- BORŮVKA, L., J. KOZÁK a S. KRIŠTOUFKOVÁ. Specie těžkých kovů v kontaminované půdě. *Chemické listy* [online]. 1997, , 868-870 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_10_868-870.pdf
- BRADNOVÁ, Hana. *Encyklopedický slovník*. 1. vyd. Praha: Odeon, 1993. Klub čtenářů (Odeon). ISBN 80-207-0438-8.
- BRTNICKÝ, Martin. *Půdoznalství v kostce*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-283-0.
- CIBULKA, Jiří. *Pohyb olova, kadmia a rtuti v zemědělské výrobě a biosféře*. 2., rozš., v SZN 1. vyd. Praha: SZN, 1986.
- ČECHÁK, Tomáš. *Použití rentgenfluorescenční analýzy při výzkumu památek: Application of X-ray fluorescence analysis in investigation of historical monuments*. Praha: České vysoké učení technické, 2004. ISBN 80-01-03086-5.
- ČERNÍK, Miroslav. *Chemicky podporované in situ sanační technologie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-80-7080-767-5.
- DUCHOŇ, František. *Výživa a hnojení kulturních rostlin zemědělských*. 1. vydání. Praha: Československá akademie zemědělská, 1948. Velká encyklopedie zemědělská.
- HILLEL D., *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 1. vydání, United Kingdom: Elsevier Academic Press, 2005, ISBN 0-12-348530-4

- HÜRKAMP, Kerstin a Thomas RAAB. Two and three-dimensional quantification of lead contamination in alluvial soils of a historic mining area using field portable X-ray fluorescence (FPXRF) analysis. *Elsevier* [online]. 2009 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X09000622>
- CHYRAKOVA, M. a V. KRIVOVICHEV. Thermodynamics of Environmentally Important Natural and Synthetic Phases Containing Selenium. *ResearchGate* [online]. 2016, , 1-12 [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: [file:///C:/Users/User/Downloads/Charykova_Krivovichev%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Charykova_Krivovichev%20(1).pdf)
- JANDÁK, Jiří, Eduard POKORNÝ a Alois PRAX. *Půdoznalství*. Vyd. 3., přeprac. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. ISBN 978-80-7375-445-7.
- JENÍK, Josef. *Ekoanalýza*. 1. vyd. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1994. ISBN 80-85113-68-6.
- KAFKA, Z. a J. PUNČOCHÁŘOVÁ. TĚŽKÉ KOVY V PŘÍRODĚ A JEJICH TOXICITA. *Chemické listy* [online]. 2002, (96), 611–617 [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2002_07_05.pdf
- KALÁČ, Pavel. *Chemie životního prostředí*. 2., dopl. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2010. ISBN 978-80-7394-232-8.
- KLUIBR, Josef. *Pedologie*. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, 2001. ISBN 978-80-87096-01-7.
- KOMÍNKOVÁ, Dana. *Ekotoxikologie*. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04058-4.
- KOPLÍK, R., E. ČURDOVÁ a O. MESTEK. Speciace stopových prvků ve vodách, půdách, sedimentech a biologických materiálech. *Chemické listy* [online]. 1997,-, 38-41 [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_01_38-47.pdf
- KRAUS, Ivo. *Úvod do strukturní rentgenografie: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy technické, studijní obor 39-39-8 jaderné inženýrství*. 1. vyd. Praha: Academia, 1985, strany 73,93)
- KUTÍLEK, Miroslav. *Půda planety Země*. Praha: Dokořán, 2012. Bod. ISBN 978-80-7363-212-0.

MAKOVNÍKOVÁ, J a G BARANČÍKOVÁ. ANORGANICKÉ KONTAMINANTY V PÓDNOM EKOSYSTÉME. *Chemické listy* [online]. 2006, (100), 424–432 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2006_06_424-432.pdf

MEHES-SMITH, M. Mobility of heavy metals in plants and soil: a case study from a mining region in Canada. *American Journal of Environmental Science* [online]. 2014 [cit. 2017-03-27]. ISSN 1553-345X. Dostupné z: <http://thescipub.com/PDF/ajessp.2013.483.493.pdf>

NĚMEČEK, Jan, Radim VÁCHA a Eliška PODLEŠÁKOVÁ. *Hodnocení kontaminace půd v ČR*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2010. ISBN 978-80-87361-16-0.

NOVÁK, Václav. *Jak se tvoří a mění půda*. Praha: Orbis, 1953. Přírodní vědy.

Overview of contaminants affecting soil and groundwater in Europe. *European Environment Agency* [online]. 2009 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/overview-of-contaminants-affecting-soil-and-groundwater-in-europe>

PANÁČEK, Aleš a Anna BALZEROVÁ. *Základy toxikologie a ekotoxikologie*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013. ISBN 978-80-244-3913-6.

PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.

POPL, Milan a Jan FÄHNRIK. *Analytická chemie životního prostředí*. Vyd. 4., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999. ISBN 80-7080-336-3.

Půdní mapa 1 : 50 000. *Česká geologická služba* [online]. 2012 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/pudy/>

Složení půdy. *Výroba a využití organických hnojiv – organické látky* [online]. 2015 [cit. 2017-01-28]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=995&typ=html

Soil Health - Soil. *Victoria State Government: Department of Economic Development, Jobs, Transport and Resources* [online]. 2015 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: http://vro.agriculture.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/soilhealth_soil

Systematický soupis půd v ČR. *Taxonomický klasifikační systém půd ČR* [online]. 2004 [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <http://klasifikace.pedologie.cz/index.php?action=showSystematickySoupis>

TLUSTOŠ, P. a J. SZÁKOVÁ. Rizika kovů v půdě v agroekosystémech v ČR [online]. 2007, [cit. 2016-10-07]. Dostupné z: http://www.phytosanitary.org/projekty/2007/VVF_08_2007.pdf

Ústav organické chemie a biochemie AV ČR, v.v.i. [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.uochb.cz/web/structure/737.html?lang=cz>

VIOLANTE, V. a V. COZZOLINO. MOBILITY AND BIOAVAILABILITY OF HEAVY METALS AND METALLOIDS IN SOIL ENVIRONMENTS. *J. Soil. Sci. Plant Nutr.* [online]. 2010, , 268 - 292 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.scielo.cl/pdf/jsspn/v10n3/art05.pdf>

Vybrane lokality_toxicke kovy. Google.maps [online]. 2017 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: https://www.google.cz/maps/@49.2085384,16.5921635,13z/data=!4m2!6m1!1s11-06OqBultf-KQGGx-NGqG_jtQo?hl=cs

Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu

Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 153/2016 Sb., o stanovení podrobnosti ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu

Vznik, stavba a složení půdy. *is.mendelu* [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: http://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=55088

WERKENTHIN, Moritz a Björn KLUGE. Metals in European roadside soils and soil solution. *Elsevier* [online]. 2014 [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749114000761>

XRF Sample Preparation Methods/Procedure. *911 Metallurgy Corp* [online]. 2015 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <https://www.911metallurgist.com/blog/sample-preparation-methods-for-xrf-analysis>

Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí

Zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu.

ŽALUD, Zdeněk. Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu – metodiky stanovení indikátorů ekosystémových služeb. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 978-80-7375-221-7.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Půda jako rozhraní čtyř geosfér	10
Obr. 2 Schéma složení půd.....	12
Obr. 3 Půdní profil s půdními horizonty	14
Obr. 4 Hodnoty pH a redoxního potenciálu Eh pro různá přírodní prostředí	28
Obr. 5 Princip RFA analýzy.....	29
Obr. 6 Mapa města Brna s vyznačenými odběrovými lokalitami.....	31
Obr. 7 Odstranění svrchní drnové vrstvy a následný odběr půdních vzorků	32
Obr. 8 Třepání vzorků na třepače IKA H3 260 basic.....	33
Obr. 9 Měření pH, ORP a konduktivity v laboratořích Ústavu zemědělské, potravinářské a enviromentální techniky	33
Obr. 10 RFA analýza na přístroji BAS DELTA	34

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Maximálně přípustné hodnoty obsahu rizikových prvků v půdách	24
Tab. 2 Preventivní hodnoty rizikových prvků v půdách	25
Tab. 3 Míra zatížení půd solemi.....	28
Tab. 4 Klasifikační stupnice znečištění dle hodnoty IPI.....	29
Tab. 5 Průměrné hodnoty vybraných toxických prvků část 1	35
Tab. 6 Průměrné hodnoty vybraných toxických prvků část 2.....	36
Tab. 7 Přehled vlastností půdních výluhů na vybraných lokalitách.....	38

PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Vlastnosti půd (pH, ORP a κ) jednotlivých půdních vzorků

Tab. 8 Vlastnosti půd jednotlivých vzorků, část 1

OZNAČENÍ	DATUM ODBĚRU	MÍSTO ODBĚRU	DATUM ANALÝZY	pH	ORP [mVH]	κ [μ S/cm]
1.1.	9.10.2016	MČ – ŘEČKOVICE, Podhájí, 1.	8.11.2016	7,11	432,40	110,20
1.2.	9.10.2016	MČ – ŘEČKOVICE, Podhájí, 2.	8.11.2016	7,09	426,50	120,00
1.3.	9.10.2016	MČ – ŘEČKOVICE, Podhájí, 3.	8.11.2016	7,22	419,20	111,60
1.4.	9.10.2016	MČ – ŘEČKOVICE, Podhájí, 4.	8.11.2016	6,75	415,40	55,30
1.5.	9.10.2016	MČ – ŘEČKOVICE, Podhájí, 5.	8.11.2016	6,99	405,40	103,80
2.1.	9.10.2016	MČ – SEVER, Seifertova, 1.	8.11.2016	7,98	387,80	190,50
2.3.	9.10.2016	MČ – SEVER, Seifertova, 3,	8.11.2016	7,65	392,90	187,50
2.4.	9.10.2016	MČ – SEVER, Seifertova, 4.	8.11.2016	7,51	394,00	297,80
2.5.	9.10.2016	MČ – SEVER, Seifertova, 5.	8.11.2016	7,65	392,40	76,30
2.6.	9.10.2016	MČ – SEVER, Seifertova, 6.	8.11.2016	7,77	378,10	137,40
3.1.	9.10.2016	MČ – ČERNOVICE, Charbulova, 1.	8.11.2016	7,22	376,40	160,80
3.2.	9.10.2016	MČ – ČERNOVICE, Charbulova, 2.	8.11.2016	6,96	375,00	66,90
3.3.	9.10.2016	MČ – ČERNOVICE, Charbulova, 3.	8.11.2016	7,36	349,80	256,60
3.4.	9.10.2016	MČ – ČERNOVICE, Charbulova, 4.	8.11.2016	7,52	340,10	242,10
3.5.	9.10.2016	MČ – ČERNOVICE, Charbulova, 5.	8.11.2016	7,43	255,30	251,00

Příloha č. 1:*Tab. 9 Vlastnosti půd jednotlivých vzorků, část 2*

OZNAČENÍ	DATUM ODBĚRU	MÍSTO ODBĚRU	DATUM ANALÝZY	pH	ORP	κ
					[mVH]	[μS/cm]
4.1.	9.10.2016	MČ – SLATINA, Stránská skála, 1.	8.11.2016	7,44	276,90	210,90
4.2.	9.10.2016	MČ – SLATINA, Stránská skála, 2.	8.11.2016	7,72	281,90	222,20
4.3.	9.10.2016	MČ – SLATINA, Stránská skála, 3.	8.11.2016	7,71	290,80	174,80
4.4.	9.10.2016	MČ – SLATINA, Stránská skála, 4.	8.11.2016	7,58	287,90	94,40
4.5.	9.10.2016	MČ – SLATINA, Stránská skála, 5.	8.11.2016	7,73	288,40	138,50
5.1.	9.10.2016	MČ – KOMÍN, Řezáčova, 1.	8.11.2016	7,82	288,90	131,40
5.2.	9.10.2016	MČ – KOMÍN, Řezáčova, 2.	8.11.2016	7,78	291,50	153,40
5.3.	9.10.2016	MČ – KOMÍN, Řezáčova, 3.	8.11.2016	7,76	292,30	154,80
5.4.	9.10.2016	MČ – KOMÍN, Řezáčova, 4.	8.11.2016	7,79	293,00	154,40
5.5.	9.10.2016	MČ – KOMÍN, Řezáčova, 5.	8.11.2016	7,74	294,40	144,10

Příloha č. 2: Obsahy prvků v jednotlivých půdních vzorcích¹

Tab. 10 Obsahy prvků Cu a Zn v jednotlivých půdních vzorcích

Lokalita	Cu	Cu [±]		Zn	Zn [±]	
	[ppm]		%	[ppm]		%
1.1.	48,04	2,18	0,00480	367,91	2,88	0,03679
1.2	36,7	1,89	0,00367	330,84	2,5	0,03308
1.3	29,48	2,03	0,00295	320,77	2,67	0,03208
1.4	38,64	1,94	0,00386	342,98	2,58	0,03430
1.5	34,18	1,88	0,00342	208,42	2,02	0,02084
2.1	155,17	2,58	0,01552	231,11	2,14	0,02311
2.3	165,73	2,7	0,01657	258,17	2,3	0,02582
2.4	56,29	2,03	0,00563	163,19	1,82	0,01632
2.5	55,34	2,11	0,00553	114,62	1,64	0,01146
2.6	31,97	2,09	0,00320	148,25	1,91	0,01483
						0,00000
3.1	49,16	2	0,00492	201,35	2,01	0,02014
3.2	42,27	1,91	0,00423	140,7	1,69	0,01407
3.3	37,52	1,88	0,00375	130,5	1,64	0,01305
3.4	63,12	2,07	0,00631	378,75	2,67	0,03788
3.5	41,09	1,95	0,00411	195,45	1,98	0,01955
4.1	51,14	2,04	0,00511	271,56	2,31	0,02716
4.2	47,24	2,04	0,00472	403,78	2,82	0,04038
4.3	41,71	2,11	0,00417	187,13	2,07	0,01871
4.4	31,64	2,03	0,00316	220,8	2,22	0,02208
4.5	39,07	2,2	0,00391	313,73	2,73	0,03137
5.1	35,99	1,98	0,00360	97,19	1,53	0,00972
5.2	34,75	1,92	0,00348	128,31	1,66	0,01283
5.3	29,6	1,92	0,00296	107,5	1,57	0,01075
5.4	37,7	1,95	0,00377	119,36	1,62	0,01194
5.5	30,92	1,92	0,00309	105,71	1,56	0,01057

Hodnoty zvýrazněné tučně, překračují preventivní hodnoty obsahů rizikových prvků stanovených Vyhláškou č. 153/2016 Sb.

Příloha č. 2:

Tab. 11 Obsahy prvků As a Cd v jednotlivých půdních vzorcích

Lokalita	As	As [±]		Cd	Cd [±]	
	[ppm]		%	[ppm]		%
1.1.	16,67	0,83	0,00167	0,001	481	0,00000
1.2	15,62	0,74	0,00156	0,001	432,76	0,00000
1.3	16,11	0,79	0,00161	0,001	509,17	0,00000
1.4	18,22	0,74	0,00182	0,001	442,22	0,00000
1.5	17,4	0,67	0,00174	14,4	3,16	0,00144
2.1	12,97	0,76	0,00130	0,001	464,3	0,00000
2.3	18,86	0,94	0,00189	0,001	468,93	0,00000
2.4	13,35	0,68	0,00134	9,61	3,13	0,00096
2.5	14,47	0,71	0,00145	0,001	482,71	0,00000
2.6	13,99	0,72	0,00140	0,001	520,68	0,00000
3.1	15,1	0,76	0,00151	11,72	3,18	0,00117
3.2	15,79	0,7	0,00158	9,49	3,11	0,00095
3.3	13,99	0,69	0,00140	14,8	3,05	0,00148
3.4	13,32	0,78	0,00133	15,75	3,11	0,00158
3.5	15,2	0,74	0,00152	0,001	463,36	0,00000
4.1	13,79	0,72	0,00138	0,001	478,37	0,00000
4.2	14,38	0,88	0,00144	0,001	483,24	0,00000
4.3	18,39	0,77	0,00184	0,001	506,31	0,00000
4.4	17,2	0,72	0,00172	0,001	493,94	0,00000
4.5	16,01	0,78	0,00160	12,69	3,65	0,00127
5.1	14,57	0,68	0,00146	0,001	480,66	0,00000
5.2	14,15	0,67	0,00142	0,001	463,89	0,00000
5.3	14,57	0,68	0,00146	0,001	467,98	0,00000
5.4	13,99	0,67	0,00140	0,001	467,48	0,00000
5.5	13,69	0,67	0,00137	0,001	473	0,00000

Příloha č. 2:

Tab. 12 Obsahy prvků Hg a Pb v jednotlivých půdních vzorcích

Lokalita	Hg	Hg [±]		Pb	Pb [±]	
	[ppm]		%	[ppm]		%
1.1.	0,001	2,84	0,00000	49,5	1,1	0,00495
1.2	0,001	2,56	0,00000	45,62	0,98	0,00456
1.3	0,001	2,82	0,00000	44,85	1,04	0,00449
1.4	0,001	2,59	0,00000	40,67	0,97	0,00407
1.5	0,001	2,5	0,00000	27,56	0,86	0,00276
2.1	0,001	2,57	0,00000	52,26	1,01	0,00523
2.3	0,001	2,73	0,00000	91,19	1,25	0,00912
2.4	0,001	2,49	0,00000	34,71	0,9	0,00347
2.5	0,001	2,56	0,00000	35,11	0,93	0,00351
2.6	0,001	2,74	0,00000	29,06	0,95	0,00291
3.1	0,001	2,53	0,00000	50,1	1	0,00501
3.2	0,001	2,41	0,00000	38,19	0,91	0,00382
3.3	0,001	2,42	0,00000	38,63	0,91	0,00386
3.4	0,001	2,66	0,00000	57,06	1,03	0,00571
3.5	0,001	2,51	0,00000	45,12	0,97	0,00451
4.1	0,001	2,62	0,00000	40,71	0,95	0,00407
4.2	0,001	2,72	0,00000	77,42	1,17	0,00774
4.3	0,001	2,74	0,00000	37,44	0,98	0,00374
4.4	0,001	2,69	0,00000	29	0,93	0,00290
4.5	0,001	2,91	0,00000	34,33	1,01	0,00343
5.1	0,001	2,59	0,00000	27,38	0,89	0,00274
5.2	0,001	2,5	0,00000	28,85	0,87	0,00289
5.3	0,001	2,5	0,00000	28,15	0,88	0,00282
5.4	0,001	2,55	0,00000	28,42	0,87	0,00284
5.5	0,001	2,54	0,00000	28,9	0,88	0,00289

Příloha č. 2:

Tab. 13 Obsahy prvků V a Ni v jednotlivých půdních vzorcích

Lokalita	V	V [±]		Ni	Ni [±]	
	[ppm]		%	[ppm]		%
1.1.	202,39	16,63	0,02024	10,84	2,89	0,00108
1.2	160	15,68	0,01600	0,001	38,51	0,00000
1.3	120,29	17,21	0,01203	13,41	2,87	0,00134
1.4	191,52	15,14	0,01915	14,96	2,69	0,00150
1.5	158,43	14,57	0,01584	20,99	2,68	0,00210
2.1	175	15,6	0,01750	30,32	2,73	0,00303
2.3	171,64	15,75	0,01716	44,08	2,88	0,00441
2.4	137,26	14,59	0,01373	26,56	2,69	0,00266
2.5	137,77	15,95	0,01378	0,001	41,51	0,00000
2.6	141,18	16,75	0,01412	24,18	2,99	0,00242
3.1	159,26	15,27	0,01593	19,43	2,69	0,00194
3.2	132,98	14,54	0,01330	26,39	2,67	0,00264
3.3	126,39	14,64	0,01264	18,83	2,62	0,00188
3.4	152,35	15,16	0,01524	23,97	2,66	0,00240
3.5	150,19	15	0,01502	35,56	2,77	0,00356
4.1	180,42	15,79	0,01804	32,16	2,78	0,00322
4.2	126,37	15,77	0,01264	35,14	2,82	0,00351
4.3	130,04	16,23	0,01300	33,95	2,97	0,00340
4.4	126,44	16,4	0,01264	31,77	2,95	0,00318
4.5	130,83	16,7	0,01308	27,73	3,08	0,00277
5.1	162,82	16,08	0,01628	29,57	2,84	0,00296
5.2	130,53	15,41	0,01305	34,73	2,78	0,00347
5.3	176,65	15,91	0,01767	34,35	2,83	0,00344
5.4	157,74	15,54	0,01577	40,43	2,83	0,00404
5.5	147,62	15,89	0,01476	28,84	2,8	0,00288

Příloha č. 2:*Tab. 84 Obsahy prvků Sn a Sb v jednotlivých půdních vzorcích*

Lokalita	Sn	Sn [±]		Sb	Sb [±]	
	[ppm]		%	[ppm]		%
1.1.	0,001	776,29	0,00000	0,001	987,76	0,00000
1.2	0,001	692,05	0,00000	0,001	878,75	0,00000
1.3	0,001	828,1	0,00000	0,001	1059,47	0,00000
1.4	0,001	716,74	0,00000	0,001	917,5	0,00000
1.5	0,001	713,65	0,00000	0,001	910,59	0,00000
2.1	0,001	754,05	0,00000	0,001	961	0,00000
2.3	24,9	4,7	0,00249	0,001	990,71	0,00000
2.4	0,001	734,53	0,00000	0,001	938,7	0,00000
2.5	0,001	775,36	0,00000	0,001	991,09	0,00000
2.6	0,001	853,42	0,00000	0,001	1100,97	0,00000
3.1	0,001	742,17	0,00000	0,001	946,64	0,00000
3.2	0,001	722,18	0,00000	0,001	923,37	0,00000
3.3	0,001	716,03	0,00000	0,001	911,55	0,00000
3.4	0,001	744,18	0,00000	0,001	949,41	0,00000
3.5	0,001	756,62	0,00000	0,001	968,72	0,00000
4.1	0,001	784,16	0,00000	0,001	1009,63	0,00000
4.2	0,001	793,36	0,00000	0,001	1023,19	0,00000
4.3	0,001	826,74	0,00000	0,001	1064,86	0,00000
4.4	0,001	803,35	0,00000	0,001	1028,02	0,00000
4.5	0,001	847,07	0,00000	0,001	1083,97	0,00000
5.1	17,33	4,72	0,00173	0,001	1008,3	0,00000
5.2	0,001	756,45	0,00000	0,001	968,55	0,00000
5.3	0,001	754,38	0,00000	0,001	965,56	0,00000
5.4	0,001	763,54	0,00000	0,001	979,6	0,00000
5.5	0,001	771,8	0,00000	0,001	990,74	0,00000

Příloha č. 2:*Tab. 95 Obsah Mo v jednotlivých půdních vzorcích*

Lokalita	Mo [ppm]	Mo [±]	%
1.1.	9,33	0,5	0,00093
1.2	4,07	0,45	0,00041
1.3	9,17	0,5	0,00092
1.4	4,03	0,45	0,00040
1.5	3,86	0,44	0,00039
2.1	4,1	0,45	0,00041
2.3	4,79	0,46	0,00048
2.4	4,54	0,44	0,00045
2.5	6,69	0,47	0,00067
2.6	8,36	0,5	0,00084
3.1	3,33	0,45	0,00033
3.2	2,08	0,44	0,00021
3.3	1,8	0,44	0,00018
3.4	2,03	0,44	0,00020
3.5	2,03	0,44	0,00020
4.1	1,7	0,45	0,00017
4.2	3,15	0,46	0,00032
4.3	3,29	0,48	0,00033
4.4	7,22	0,5	0,00072
4.5	8,28	0,52	0,00083
5.1	4,19	0,47	0,00042
5.2	2,31	0,46	0,00023
5.3	4,46	0,46	0,00045
5.4	2,5	0,44	0,00025
5.5	3,34	0,45	0,00033