

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí



Vliv olomoucké železárny na depozice těžkých kovů

Kateřina Dočkalová

Bakalářská práce

předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků

na získání titulu Bc. v oboru

Ekologie a ochrana životního prostředí

Vedoucí práce: RNDr. Petr Hekera, Ph.D.

Olomouc 2017

Dočkalová K. (2017): Vliv olomoucké železářny na depozice těžkých kovů [bakalářská práce]. Olomouc: Katedra ekologie a ŽP PřF UP v Olomouci. 60 s. 1 příloha. Česky.

Abstrakt

Práce se zabývá vlivem olomoucké železářny a dalších zdrojů znečištění ovzduší na velikost atmosférických depozic a obsahy vybraných těžkých kovů v těchto depozicích a v půdě. Odběr depozic probíhal každý měsíc od února 2016 do ledna 2017. Vzorky půdy pro analýzu byly odebrány v listopadu 2016. K odběrům depozic i půdy bylo zvoleno šest lokalit v Olomouci tak, aby mohlo být co nejlépe vyhodnoceno současné nebo historické zatížení lokalit ovlivněné železářnou. Pomocí atomové absorpční spektrometrie byly ve vzorcích stanoveny obsahy vybraných těžkých kovů Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni a Fe. Na základě získaných výsledků byla zjišťována závislost na faktorech, které obsahy těchto kovů v atmosférických depozicích i v půdě mohly ovlivňovat. Jako klíčové faktory byly shledány srážkové úhrny, vzdálenost lokalit od zdrojů znečištění, zatížení způsobené lokálními topeništi a v neposlední řadě sekundární prašnost způsobená dopravou, zemědělstvím a také pohybem chodců a cyklistů. Ze všech získaných údajů vyplynulo, že znečištění atmosféry a pedosféry není způsobeno jen z průmyslových zdrojů, ale také je do značné míry ovlivněno lokálními antropogenními vlivy.

Klíčová slova: znečištění ovzduší a půdy, rizikové prvky, atomová absorpční spektrometrie, železářny, antropogenní vlivy

Dočkalová K. (2017): The influence of ironworks company in Olomouc on deposition of heavy metals [bachelor's thesis]. Olomouc: Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University of Olomouc. 60 pp. 1 Appendix. Czech.

Abstract

The thesis deals with influence of Olomouc ironworks and other air pollutants on the atmospheric depositions and contents of selected heavy metals in these depositions and in the soil. The collection of depositions took place every month from February 2016 to January 2017. Soil sample for analysis was taken in November 2016. Six samples were collected in the city of Olomouc to assess current or historical environmental burden caused by the ironworks. Using atomic absorption spectrometry, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni and Fe were determined from the samples. Based on the obtained results, dependence on factors that impact contents of these metals in atmosphere and pedosphere was investigated. As a key factor, precipitation totals, distance from pollution sources, contamination caused by local furnace and finally secondary dustiness caused by transport, agriculture and pedestrian and cyclists movement were determined. All the data obtained has shown that atmospheric and pedospheric pollution is not only caused by industrial sources but is also influenced by local anthropogenic influences.

Key words: contamination of atmosphere and pedosphere, risk elements, atomic absorption spectrometry, ironworks, anthropogenic influences

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Petra Hekery, Ph.D. a jen s použitím citovaných literárních pramenů.

V Olomouci 11. května 2017

.....

Podpis

Obsah

Seznam obrázků.....	viii
Poděkování	ix
1 Úvod	1
2 Cíle práce.....	4
3 Materiál a metody.....	5
3.1 Město Olomouc	5
3.2 Olomoucké železářny.....	6
3.3 Lokality k odběru vzorků	7
3.4 Atmosféra.....	13
3.4.1 Znečištění atmosféry.....	14
3.4.2 Právní předpisy ochrany ovzduší v ČR a monitoring.....	15
3.4.3 Atmosférická depozice	16
3.4.4 Emise, emisní zdroje a imise	17
3.5 Pedosféra.....	18
3.5.1 Znečištění pedosféry	18
3.5.2 Právní předpisy ochrany půdy v ČR a monitoring	19
3.6 Obecná charakteristika těžkých kovů.....	20
3.6.1 Těžké kovy v životním prostředí	21
3.6.2 Antropogenní zdroje těžkých kovů.....	21
3.7 Kadmium (Cd)	22
3.8 Olovo (Pb).....	24
3.9 Nikl (Ni).....	25
3.10 Zinek (Zn).....	26
3.11 Měď (Cu).....	27
3.12 Chrom (Cr)	28
3.13 Železo (Fe)	29

3.14	Odběr atmosférických depozic	30
3.15	Odběr půdy	31
3.16	Atomová absorpční spektrometrie (AAS)	32
3.17	Přepočty hodnot	33
4	Výsledky	34
4.1	Atmosférická depozice	34
4.2	Těžké kovy v atmosférické depozici	37
4.3	Těžké kovy v půdě	44
5	Diskuse	46
5.1	Atmosférická depozice	46
5.2	Těžké kovy v atmosférické depozici	49
5.3	Těžké kovy v půdě	51
6	Závěr	54
7	Reference	56
8	Příloha	60

Seznam obrázků

Obr. 1 Odběrné zařízení na lokalitě I (S)	7
Obr. 2 Mapa místa odběru vzorků - lokalita I (S)	8
Obr. 3 Odběrné zařízení na lokalitě II (V)	8
Obr. 4 Mapa místa odběru vzorků - lokalita II (V)	9
Obr. 5 Odběrné zařízení na lokalitě III (J)	9
Obr. 6 Mapa místa odběru vzorků - lokalita III (J)	10
Obr. 7 Odběrné zařízení na lokalitě IV (JZ).....	10
Obr. 8 Mapa místa odběru vzorků - lokalita IV (JZ).....	11
Obr. 9 Odběrné zařízení na lokalitě V (Z).....	11
Obr. 10 Mapa místa odběru vzorků - lokalita V (Z).....	12
Obr. 11 Odběrné zařízení na lokalitě VI (JV)	12
Obr. 12 Mapa místa odběru vzorků - lokalita VI (JV)	13
Obr. 13 Procesy vedoucí k atmosférické depozici	17
Obr. 14 Experimentální uspořádání AAS	33
Obr. 15 Průměrná atmosférická depozice pro jednotlivé měsíce za sledovaný rok.....	35
Obr. 16 Průměrná atmosférická depozice z jednotlivých lokalit za sledovaný rok	35
Obr. 17 Průměrné měsíční spady na jednotlivých lokalitách.....	36
Obr. 18 Obsahy těžkých kovů v depozicích na lokalitě I (S).....	38
Obr. 19 Obsahy těžkých kovů v depozicích na lokalitě II (V).....	38
Obr. 20 Obsahy těžkých kovů v depozicích na lokalitě III (J).....	40
Obr. 21 Obsahy těžkých kovů v depozicích na lokalitě IV (JZ)	40
Obr. 22 Obsahy těžkých kovů v depozicích na lokalitě V (Z)	42
Obr. 23 Obsahy těžkých kovů v depozicích na lokalitě VI (JV).....	42
Obr. 24 Obsahy Fe v depozicích na jednotlivých lokalitách za celý rok	43
Obr. 25 Průměrné obsahy kovů v depozicích na jednotlivých lokalitách za celý rok ...	43
Obr. 26 Průměrné obsahy Fe v depozici z jednotlivých lokalit za sledovaný rok	44
Obr. 27 Srovnání koncentrací Ni, Zn, Cu, Pb a Cr v půdě na jednotlivých lokalitách ...	45
Obr. 28 Srovnání koncentrací Fe v půdě na jednotlivých lokalitách	45
Obr. 29 Větrná růžice, lokalita Olomouc Velkomoravská, rok 2016	49

Poděkování

Tímto bych chtěla především poděkovat vedoucímu této práce panu RNDr. Petrovi Hekerovi, za neskutečnou ochotu, vstřícnost a hlavně trpělivost, kterou se mnou při zhotovování této práce měl. Děkuji za užitečné rady nejen v laboratoři, ale také za pomoc s technickou přípravou pro odběry vzorků. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Ladislavu Čápovi, za užitečné rady při výběru lokalit a kontaktování dotčených osob a za ochotné zapůjčené zahrady pro odběr. Taktéž děkuji paní Marcele Koupilové za zapůjčení zahrady pro odběr a za každoměsíční ochotnou spolupráci. Dále bych chtěla poděkovat své spolužačce Marcele Diblíkové, která byla vždy ochotná pomoci a poskytla mi mnoho užitečných materiálů. Děkuji svým rodičům a příteli za podporu a pomoc, kdykoli byla potřeba. Děkuji i všem kamarádům a známým, kterým jsem si v průběhu psaní této práce mohla postěžovat.

V Olomouci, 26. dubna 2017

1 Úvod

Člověk svými aktivitami mění všechny složky životního prostředí již po staletí. Tyto činnosti způsobují, že se v našem okolí vyskytují přírodě cizí látky, které ovlivňují nejen charakter a vlastnosti životního prostředí, ale také lidské zdraví. Lidé si již dávno začali uvědomovat důležitost kvality jak atmosféry, tak i pedosféry nebo hydrosféry. Špatné zacházení s těmito složkami biosféry může mít mnohdy fatální následky nejen pro lidstvo. Antroposféra, jako součást životního prostředí spravovaná lidmi a ovlivňovaná jejich technologiemi, má obrovský vliv na celou planetu Zemi. Proto je důležité, aby lidstvo našlo způsob, jak propojit své zájmy se současným zachováním ostatních environmentálních sfér (Mannahan 2010).

V ovzduší se vyskytuje celá řada nejrůznějších látek. Liší se od sebe velikostí, skupenstvím, původem vzniku i nebezpečností. Nejvíce znečišťujících látek se nachází nejen v blízkosti průmyslových aglomerací, ale i lidských sídel a také dálnic (Mannahan 2010). Pro Českou republiku je charakteristické znečištění především prašným aerosolem (Horálek, Ostatnická 2013). Z hlediska znečištění tuhými exhaláty jsou na špičce imise z metalurgického průmyslu. V průmyslově vyspělých zemích jsou velkým problémem také imise z dopravy, které tvoří až 50–70 % celkového znečištění jak atmosféry, tak i pedosféry (Kalač et al. 2010). Díky gravitaci znečišťující látky sedimentují na zemský povrch ve formě depozic. Právě tyto částice fungují často jako nosiče pro celou řadu látek, k nimž patří i těžké kovy.

Pro širokou veřejnost je mnohdy problematika těžkých kovů nesprávně pochopená. Pod tímto pojmem si často představují něco toxického a nepřírodního. Ve skutečnosti tomu tak není vždy. Většina z těchto kovů se v určitých koncentracích vyskytuje v každém z nás a některé z nich jsou dokonce nepostradatelné pro život. Pokud ale dochází k úniku těchto látek z průmyslových zdrojů, kdy jsou koncentrace těžkých kovů značně vysoké a nerovnoměrně rozprostřené, nastává problém, který je nutno řešit. Tyto anorganické kontaminanty nejsou na rozdíl od většiny organických látek degradovány v biologických systémech a hromadí se ve svrchních vrstvách půdy a sedimentech vodních toků (Kalač et al. 2010).

V současné době se problematikou znečišťování všech složek životního prostředí v ČR věnuje stále více výzkumů a prací, především prostřednictvím SZÚ (Státní zdravotní ústav), ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav), ÚKZÚZ (Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský) a také vysokých škol. Ty slouží např. jako

podklady pro legislativu, aby mohla být zajištěna ochrana životního prostředí, která je právně vymahatelná, nebo k informování veřejnosti o stavu složek biosféry. Lidé si začínají stále více uvědomovat důležitosti ochrany životního prostředí, jelikož vysoké koncentrace těžkých kovů mají často negativní vliv nejen na biosféru, ale také přímo na zdraví člověka.

Obecně lze říci, že celá problematika znečišťování všech složek životního prostředí je velmi obsáhlá a také komplikovaná. Pozornost je věnována převážně velkým průmyslovým zdrojům znečištění, jako jsou např. spalovny nebo těžký průmysl. Znečištění, které pochází z lokálních topenišť rozhodně není méně významné, obzvláště v zimních měsících. Z těchto zdrojů znečišťování je prokázán škodlivý vliv, jak na životní prostředí, tak na zdraví člověka a rozhodně by neměly zůstat opomíjeny (Ritz et al. 2003). Problém stacionárních zdrojů znečištění tkví především v tom, že emise z těchto zdrojů jsou lokálně soustředěny a mají tak velký vliv na danou oblast (Jaeger-Voirol, Pelt 2000).

Vedle hlavních zdrojů emisí částic do ovzduší, jako jsou spalování topných olejů a uhlí, cementárny a spalovny odpadů, je nezanedbatelné znečištění, které pochází z dopravy. Mnohdy větším problémem, než jsou samotné výfukové plyny, bývá také sekundární prašnost způsobená především těžkou dopravou. Depozice, které sedimentovaly na povrch vozovky, jsou vlivem automobilů znovu rozpohybovány a zároveň jsou do ovzduší emitovány další částice z jiných zdrojů. Až sedmkrát vyšší znečištění než z výfukových plynů, může způsobovat sekundární prašnost způsobena pohybem automobilů (Jaeger-Voirol, Pelt 2000). Znečištění okolí způsobují i otěry pneumatik (Lough et al. 2005). Částice v atmosféře ovlivňují také meteorologické podmínky, jako je rychlost větru a srážky. Pokud je rychlost větru vyšší, aerosoly se v atmosféře drží déle, při srážkách jsou naopak strhávány k zemskému povrchu (Thorpe et al. 2007).

Znečišťujícím látkám v půdě je věnována také značná pozornost. Pokud dojde ke kontaminaci půdy, stává se často velmi špatně odbouratelným nebo i trvalým problémem. Výskyt rizikových látek, jako jsou např. těžké kovy bývá často podmíněn vlastnostmi půdy. Půdní prostředí je značně heterogenní, i když je k dispozici spousta moderních přístrojů a matematických modelů, spousta otázek z prostředí pedosféry zůstává nezodpovězena (Dube et al. 2000).

V České republice se kvalita ovzduší v současné době výrazně zlepšuje (Janota, Stach 2014). Znečištěny zůstávají oblasti velkých průmyslových aglomerací.

Pravděpodobně nejdiskutovanější oblastí ČR z hlediska znečištění je Ostravsko. Ostrava je dokonce charakterizována jako jedno z nejvíce znečištěných míst Střední Evropy. Předmětem hodnocení jsou především respirabilní PM_{10} částice a smogové situace (Abdulová et al. 2013).

Kvalita ovzduší konkrétně v Olomouci souvisí s jeho geografickou polohou. Sníženinu Hornomoravského úvalu obklopuje vyvýšený georeliéf, tudíž se zde za nepříznivých meteorologických podmínek mohou hromadit znečišťující látky (Vysoudil 2002). Úrovně znečištění prašným aerosolem (PM_{10} a $PM_{2,5}$) jsou v Olomouci sledovány na měřicích stanicích (př. Velkomoravská). Hodnotí se také těžké kovy navázané na těchto částicích (Řezníček 2011). Kvalita ovzduší v Olomouci, má až na pár výjimek, stoupající charakter. Občasné lokální zvýšení znečištění bylo možno zaznamenat v době se zhoršenými rozptylovými podmínkami nebo pokud byla v důsledku tužší zimy prodloužena topná sezóna či byly ve městě prováděny stavení práce většího rozměru (Havlíková 2013).

2 Cíle práce

Práce se zabývá vlivem olomoucké železárny na atmosférické depozice a v nich obsažené těžké kovy v městské části Řepčín. Cílem práce bylo na základě získaných dat z pravidelných měsíčních odběrů (únor 2016–leden 2017):

1. Kvantifikovat a zhodnotit atmosférické depozice na vybraných lokalitách umístěných v blízkosti olomoucké železárny a v Korunní pevnůstce s ohledem na meteorologické vlivy a jiné faktory.
2. Z odebraných vzorků depozic stanovit obsahy vybraných těžkých kovů (Cd, Zn, Cu, Cr, Pb, Fe, Ni), porovnat s výskytem těchto kovů v půdách sledovaných lokalit a zhodnotit vliv olomoucké železárny a jiných faktorů na zatížení těžkými kovy.

3 Materiál a metody

3.1 Město Olomouc

Olomouc byla již dávno v minulosti předním moravským městem a také důležitým hospodářským, správním, politickým, univerzitním i kulturním centrem (Bartoš, Jankovský 1981). V roce 2014 zde žilo 99 809 obyvatel, což činí z Olomouce šesté nejlidnatější město v ČR (Olomouc 2012a). Z geomorfologického hlediska leží v severní části Hornomoravského úvalu, částečně zasahuje i do Nížkého Jeseníku. Nachází se na rozhraní dvou geomorfologických jednotek, a to České Vysočiny a Západních Karpat. Nejrozšířenějším typem reliéfu jsou roviny a ploché pahorkatiny. Nejvyšším bodem města je Tabulový vrch ve výšce 265 m n. m. Průměrná roční teplota v Olomouci je 8 °C (Urbášková 2008). V lednu, což je nejchladnější měsíc, dosahovaly průměrné teploty v roce 2016 -2,4 °C a v červenci, což je nejteplejší měsíc, zde teploty průměrně sahaly k 18,6 °C (ČHMÚ 2016e). Oblast se vyznačuje dlouhým, suchým a teplým létem. Zima je krátká, suchá, mírně teplá s krátkým trváním sněhové pokrývky. Průměrný roční úhrn srážek na území města je 600–1 100 mm (Olomouc 1998–2000). Měřicí stanice Olomouc – Velkomoravská uvádí za rok 2016 převládající směry větru ze západu, jihovýchodu a východu s nejčastější rychlostí od 0,5 do 1,5 m.s⁻¹ (Magistrát města Olomouce 2016). Městem protéká řeka Morava, která odvádí vodu do Dunaje a následně do Černého moře. Menším přítokem je řeka Bystřice. Ramenem Moravy je Mlýnský potok. V centrální části Olomouce se nachází převážně antropozem. V severní a jižní části leží město na nivní půdě Moravy. Převažujícími půdními typy jsou fluvizemě, kambizemě, hnědozemě, černozemě nebo i luvizemě. V blízkosti městské části Černovír se vyskytují společenstva slatin, což je organická půda černé barvy, vznikající rozkladem rostlinného materiálu za nepřítomnosti vzduchu. Převažujícím půdním druhem jsou jílovitohlinité půdy. Z geologického hlediska se zde vyskytují horniny kenozoika (Urbášková 2008). Typickou strukturu nivní krajiny tvoří ekosystémy meandrujících vodních toků, ramen, pořičních jezer a periodických tůní. Různé typů lužního lesa od nejvlhčích vrbín přes topojilmové a dubové jasaniny až po relativně nejsušší habrojilmové jasaniny s enklávami vlhkých luk. Takováto krajina tvoří mozaiku CHKO Litovelského Pomoraví. Nachází se v úzkém pásu údolní nivy Moravy, který je ohraničený městy Olomoucí, Mohelnicí a Úsovem. Celé pásmo se rozkládá převážně v centrální části Hornomoravského úvalu a v jižní

části Mohelnické brázdy. V ČR jde o jedno z mála posledních míst, kde se takováto krajina zachovala díky erozní a akumulární činnosti Moravy. Geologické podloží nivy tvoří kvartérní štěrkopísky pokryté holocenními povodňovými hlínami. Olomouci je nejbliž přírodní rezervace Plané loučky, kde se kolem meandrujícího Mlýnského potoka rozprostírá komplex vlhkých luk, rákosin, olšových lesíků a otevřených lučních tůň (Bureš, Machar 1999).

3.2 Olomoucké železářny

Moravské železářny, a.s. tvořily tradiční průmyslovou výrobu na Olomoucku. Podnik byl založen v roce 1907 a do roku 1910 byl v soukromém vlastnictví. Železářny tvořily metalurgickou základnu, kde výroba zahrnovala kovárnu na zápustkové i volné výkovky, slévárnu šedé litiny a strojní opracování výkovků a odlitků. Do roku 1945 byly železářny vlastněny Moravskou agrární a průmyslovou bankou a od roku 1946 se staly národním podnikem. Výroba se dále rozšiřovala. V roce 1953 byla vybudována nová slévárna kujné litiny. V této době došlo k největšímu rozmachu při výrobě fitinků. Stále zde probíhá výroba fitinků, malých odlitků z tvárné, šedé, temperované a bílé litiny a také zápustkové výkovky. V roce 2005 došlo k akvizici 100 % akcií společnosti Moravské železářny, a. s. společností ARCADA Capital, a. s. a firma je dnes součástí skupiny UNEX (Olomouc 2012b).

UNEX jako strojírensko – metalurgický koncern spoluvytváří kostru těžkého strojírenství u nás. Díky vlastním strojírnám, lakovnám, slévárnám a kovárně je UNEX schopen nabízet široký sortiment těžkých ocelových konstrukcí včetně montáže, finálně opracovaných odlitků a výkovků. V ČR jsou závody této společnosti v Uničově a Olomouci. Na Slovensku v Snině (UNEX 2016–2017).

Závod v Olomouci se specializuje na odlitky z tvárné a šedé litiny od 50 g do 6,5 kg a na zápustkové výkovky od 2 kg do 25 kg. Tvárná litina je slitina železa a uhlíku s dalšími prvky v různém procentuálním zastoupení charakteristikami srovnatelná s ocelí. Tepelným zpracováním je možno upravovat základní mechanické vlastnosti tvárné litiny. Šedá litina je taktéž směs železa a uhlíku, ale s přidanými prvky jako jsou křemík, mangan, fosfor a síra. Obě tyto litiny se vyrábějí ve slévárnách, kde jsou po roztavení kovů vyráběny různé kovové výrobky. Při procesu tavení, odlévání a samotné výroby kovů je často zapotřebí různých chemických látek, které mohou ohrožovat jak lidské zdraví, tak i životní prostředí (Wikipedia 2017).

3.3 Lokality k odběru vzorků

Místa pro odběr vzorků byla vybrána v okolí Moravských železáren v Olomouci, v městské čtvrti Řepčín, která se nachází na severozápadě Olomouce. Lokality byly umístěny severně, jižně, východně a jihozápadně. Hlavní lokality jsou tedy čtyři. Kontrolní lokality byly zvoleny dvě. Jedna nejbližže železáreny a druhá v centru města Olomouce, konkrétně v areálu Korunní pevnůstky. Jelikož vzdálenost mezi jednotlivými lokalitami je malá, tak klimatické či geologické charakteristiky jsou podobné a srovnatelné s Olomoucí. Odběrná zařízení byla nainstalována v únoru 2016. Odběr půdy byl proveden v listopadu 2016.

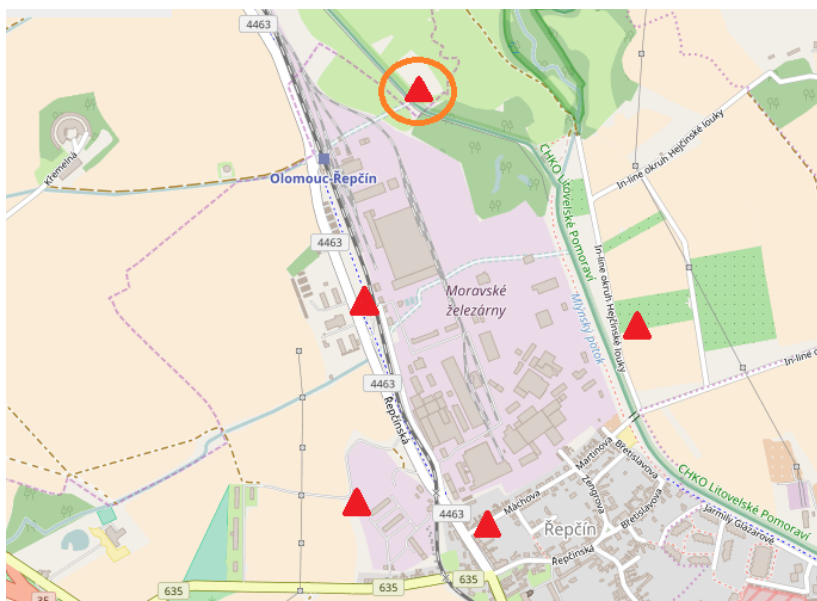
Lokalita I (Sever)

Jedná se o severní odběrové místo. GPS souřadnice pro tuto lokalitu jsou 49°37'05.8"N 17°13'36.8"E. Nadmořská výška činí 213 m. n. m. (Výškopis 2017). Vzdálenost od železáren vzdušnou čarou je zhruba 450 m. Zařízení pro odběr prашného spadu se nachází u malého přítoku Mlýnského potoka. Ze severní, východní a západní strany je obklopeno lužní loukou. Na jihu se nachází lesní porost. Toto území patří do CHKO Litovelské Pomoraví. Krajinná oblast zahrnuje lužní lesy a louky kolem řeky Moravy. Z klimatického hlediska se jedná o oblast s mírnými zimami i léty. Olomoucko – Litovelská oblast patří k sušším oblastem s průměrnými ročními srážkami kolem 600 mm. Průměrná roční teplota CHKO je 8–9 °C. Pro Litovelské Pomoraví jsou charakteristické nivní půdy tzv. fluvizemě. Typická je akumulace humusu díky záplavám. Je zde běžné zvýšení hladiny podzemní vody a také její periodické kolísání. Tento jev podmiňuje charakter lužních lesů (Správa CHKO



Obr. 1 Odběrné zařízení na lokalitě I (S)
Foto: Kateřina Dočkalová

Litovelské Pomoraví 2017). Kromě stacionárního zdroje železáren může být oblast znečištěna silnicí 4463, která se nachází asi 700 m západním směrem. Podle sčítání dopravy v roce 2010 zde projede 2011 motorových vozidel za den (ŘSD ČR 2011).



Obr. 2 Mapa místa odběru vzorků - lokalita I (S)

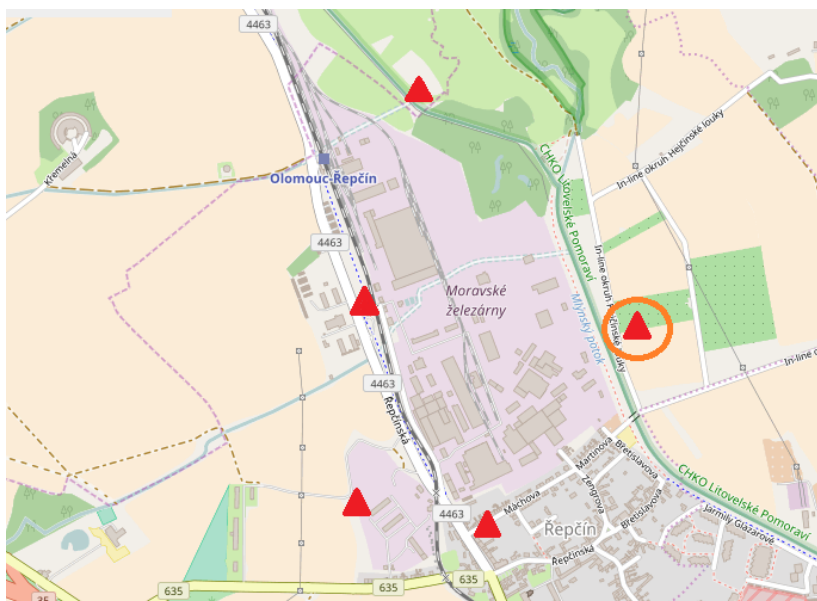
Zdroj: www.openstreetmap.org

Lokalita II (Východ)

Jde o východní odběrovou lokalitu s nadmořskou výškou 213 m.n.m (Výškopis 2017). GPS souřadnice jsou 49°36'46.2"N 17°14'05.2"E. Vzdálenost od železáren vzdušnou čarou je zhruba 580 m. Odběrné zařízení pro prašný spad je umístěno v ovocném jabloňovém sadu u Mlýnského potoka. Okolo sadu je řada menších polí a dalších sadů. Lokalita je poměrně navštěvovaná, protože se zde nachází cyklostezka. Jedná se taktéž o část Litovelského Pomoraví, takže klimatické i pedologické podmínky jsou totožné s lokalitou I (S). Jelikož se jedná o sad, může být oblast ovlivněna zemědělskou činností, převážně postřiky proti škůdcům a sklizní a také sekundární prašností pohybem chodců a cyklistů.



Obr. 3 Odběrné zařízení na lokalitě II (V)
Foto: Kateřina Dočkalová



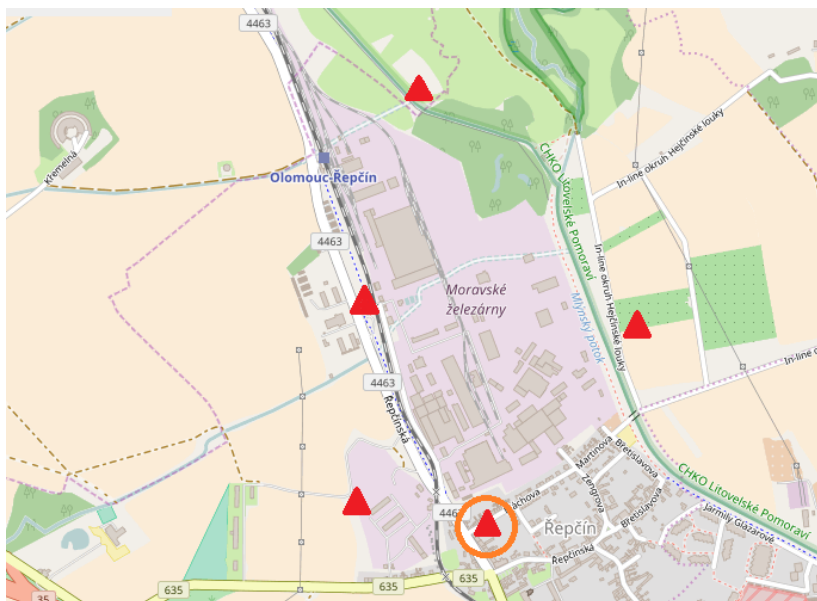
Obr. 4 Mapa místa odběru vzorků - lokalita II (V)
Zdroj: www.openstreetmap.org

Lokalita III (Jih)

Jižní lokalita pro odběr se nachází na zahradě rodinného domu v Olomouci. Máchova ulice 129/9, Řepčín. Jedná se o řadové domy. GPS souřadnice pro tuto lokalitu jsou 49°36'30.6"N 17°13'45.4"E. Vzdálenost od železáren vzdušnou čarou je asi 690 m. Nadmořská výška tohoto místa je 220 m.n.m (Výškopis 2017). Odběrné zařízení je umístěno na západní straně plotu. Vegetace je zde poměrně chudá, pouze s několika menšími ovocnými stromy. Stanoviště může být znečištěno zahrádkářskými postřiky či lokálními topeništi.



Obr. 5 Odběrné zařízení na lokalitě III (J)
Foto: Kateřina Dočkalová



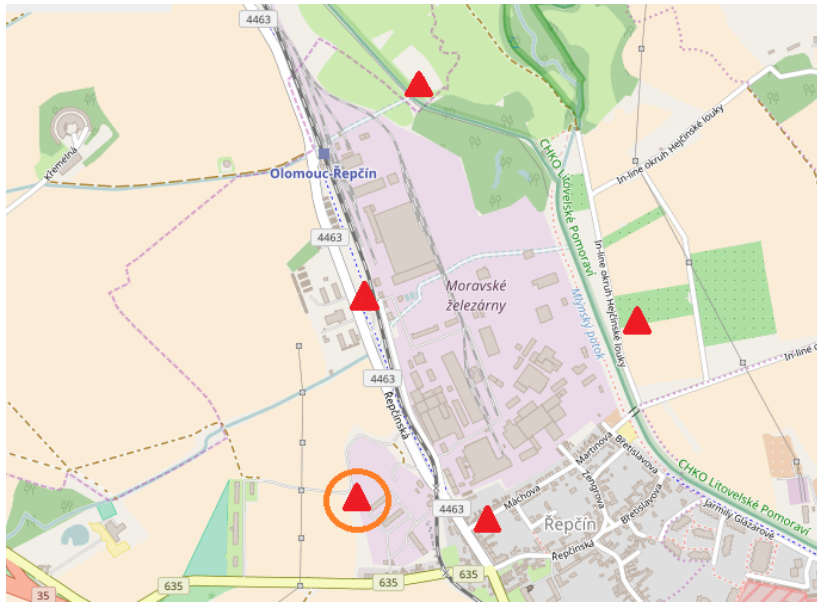
Obr. 6 Mapa místa odběru vzorků - lokalita III (J)
Zdroj: www.openstreetmap.org

Lokalita IV (Jihozápad)

Lokalita číslo 4 se nachází na jihozápadě. GPS souřadnice jsou 49°36'30.9"N 17°13'28.9"E. Vzdálenost od železáren vzdušnou čarou je asi 720 m (Výškopis 2017). Nadmořská výška činí 226 m. n. m. Odběrné zařízení je taktéž umístěno na plotě zahrady rodinného domu. Ze severu i západu se rozkládá pole. Na východní straně se nachází silnice 4463. Vegetace je zde poměrně málo. Pouze nízké keře a ovocné stromy na zahradách rodinných domů. Tato oblast může být ovlivněna převážně zemědělskou činností, zmíněnou silnicí 4463, která byla popsána u lokality I (S) a také silnicí 635, která se nachází asi 200 m jižně od studovaného místa. Vliv by také mohla mít frekventovaná silnice E442 asi 600 m jihozápadně. Z jihovýchodu mohla být oblast ovlivněna také lokálními topeništi.



Obr. 7 Odběrné zařízení na lokalitě IV (JZ)
Foto: Kateřina Dočkalová



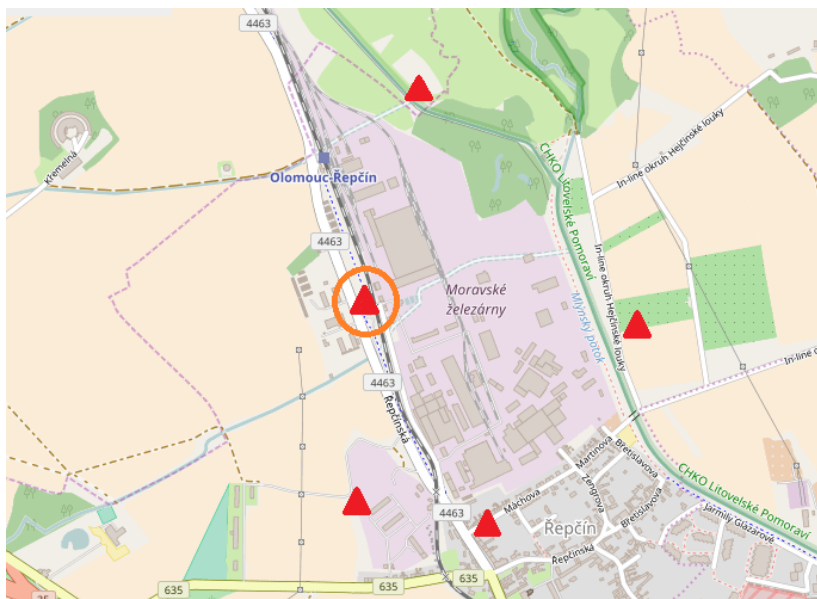
Obr. 8 Mapa místa odběru vzorků - lokalita IV (JZ)
Zdroj: www.openstreetmap.org

Lokalita V (Západ)

Toto místo pro odběr vzorků se nachází na pozemku jedné z poboček stavební firmy HECKL. Jedná se o lokalitu nejbliž průmyslové výrobě. Vzdálenost od železářny vzdušnou čarou je asi 170 m. Slouží k porovnání hodnot, které se vyskytnou nejbliž průmyslové výrobě s hodnotami ze vzdálenějších lokalit. Na této lokalitě lze pozorovat, zda se vyskytne dešťníkový efekt apod. Nadmořská výška tohoto místa je 216 m. n m. (Výškopis 2017). GPS souřadnice pro toto místo je 49°36'49.1"N 17°13'31.1"E. V areálu firmy se nachází pouze zatravněná plocha. Zdroje znečištění zde mohou být z dopravních a nákladních vozidel v areálu firmy a také z přilehlé silnice 4463. Ze západu mohla lokalitu ovlivňovat i zemědělská činnost.



Obr. 9 Odběrné zařízení na lokalitě V (Z)
Foto: Kateřina Dočkalová



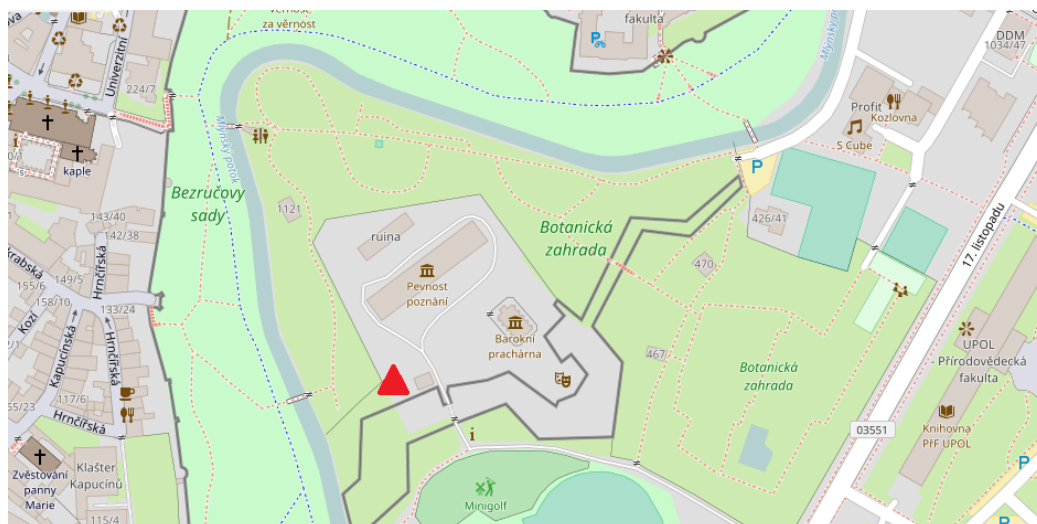
Obr. 10 Mapa místa odběru vzorů - lokalita V (Z)
Zdroj: www.openstreetmap.org

Lokalita VI (Jihovýchod)

Toto odběrové místo se nachází v centru města Olomouce. Jedná se o areál Korunní pevnůstky. Jde o lokalitu, která slouží ke srovnání koncentrací těžkých kovů přímo u průmyslového jádra a v centru města, které je vzdáleno od průmyslových i zemědělských vlivů. Vzdálenost od železáren vzdušnou čarou je asi 3 km 360 m. GPS souřadnice této lokality jsou 49°35'31.2"N 17°15'27.6"E. Nadmořská výška činí 218 m. n m (Výškopis 2017). Jelikož je areál pevnůstky umístěn v Bezručových sadech, tak je odběrné zařízení VI (JV) bohatě obklopeno vegetací. Samotný odběr probíhal na vyvýšeném valu.



Obr. 11 Odběrné zařízení na lokalitě VI (JV)
Foto: Kateřina Dočkalová



Obr. 12 Mapa místa odběru vzorků - lokalita VI (JV)

Zdroj: www.openstreetmap.org

3.4 Atmosféra

Atmosféru lze jednoduše charakterizovat jako plynný obal Země, který dosahuje do výšky několika desítek tisíc kilometrů. Směs plynů, která planetu tvoří, se nazývá vzduch a k Zemi je připoutána gravitační silou. Naši atmosféru lze označit jako dusíkovo-kyslíkovou. Jak již název napovídá objemové zastoupení těchto plynů je nejvyšší. Součástí jsou i vodní páry, jejichž množství kolísá v závislosti na zeměpisné šířce. Vodní páry jsou spolu s oxidem uhličitým, metanem a ozónem nejvíce zastoupené skleníkové plyny. V atmosféře se dále vyskytuje např. argon, neon, helium, vodík, xenon a také freony. Nedílnou součástí atmosféry jsou aerosoly. Jde o rozptýlené tuhé nebo kapalné látky v plynech o velikosti částic 10^{-6} až 10^{-2} μm . Dle původu je lze rozdělit na přírodní a antropogenní aerosoly. Přírodní tvoří především tuhé částice kouře, ledové krystalky, půdní prach, prach organického původu, aeroplankton aj. Většinou negativní dopad mají aerosoly vzniklé lidskou činností. Nebezpečí pro atmosféru představují produkty při spalování fosilních paliv, jako je oxid siřičitý, oxid uhelnatý a oxidy dusíku (Vysoudil 2013). Dále kapalné látky vytvářející aerosoly a kapaliny rozpuštěné ve srážkách. Polutanty ve formě pevných částic mohou být také rozpuštěné nebo suspendované ve srážkách. Z všech látek emitovaných do ovzduší, je pouze 10 % antropogenního původu. Tyto látky však mají vysoké koncentrace a jejich zdroje jsou nerovnoměrně rozdělené a mnohdy cizorodé pro organismy (Hekera 2013). Atmosféra se člení podle průběhu teploty s výškou a dle fyzikálních a chemických vlastností. K zemskému povrchu bezprostředně

přiléhá troposféra, ve které teplota vzduchu klesá s výškou průměrně o 0,65 °C. Jde o oblast intenzivního proudění vzduchu, kde se odehrává většina povětrnostních dějů. Ve výšce do 55 km se nachází stratosféra, dále mezosféra, termosféra a do meziplanetárního systému zasahuje exosféra (Vysoudil 2013).

3.4.1 Znečištění atmosféry

Díky zvýšené činnosti člověka dochází v atmosféře ke značným změnám. Zvyšuje se tepelné znečištění, počet kondenzačních jader, urychlují se toky látek a energií, dochází ke změnám ve složení plyných složek atmosféry a k mechanickému narušování vertikálních i horizontálních vzdušných mas. Látky v atmosféře jsou transportovány na lokální, regionální a globální úrovni. Lokální transport probíhá do 50 km a jedná se o okamžitou depozici danou směrem převládajících větrů. Do několika stovek km probíhá regionální transport, kdy je pro sledování nutná znalost předpovědi počasí a fotodegradačních procesů. Na odlehlá místa jako je např. Arktida nebo Antarktida jsou látky přenášeny globálním transportem neboli transmisí (Cibulka et al. 1991).

Značnou roli hraje při vnášení cizorodých látek do ovzduší hraje člověk. V současné době jsou jako hlavní kontaminanty životního prostředí považovány především oxidy dusíku, oxid siřičitý, oxid uhelnatý, polévaté prachy, dusičnany, radionuklidy, organické sloučeniny, jako jsou pesticidy, PCB aj. a také těžké kovy. Významnými zdroji znečištění jsou průmyslová výroba, energetika, doprava a zemědělství, ale nemalou roli v kontaminaci ovzduší hrají také lokální topeniště. Stupeň znečištění atmosféry je posuzován také podle množství dispergovaných částic neboli aerosolů. Ty jsou, jak přirozeného, tak antropogenního původu. Aerosoly přirozené se od antropogenních liší odlišným izotopovým složením a odlišným obohacovacím faktorem (EF – enrichment factor) (Cibulka et al. 1991). Pevné částice bývají hodnoceny jako velmi rizikové. Hrubé frakce jsou označeny jako PM₁₀ a po vdechnutí se dostávají do dolních cest dýchacích. Jemnější částice PM_{2,5} pronikají až do plicních sklípků. Při požití prochází nebezpečné látky přes játra, tudíž bývají účinněji odbourávány z organismu. Na druhou stranu při vdechování se difúzí mohou dostávat přímo do krve, kde nedochází k účinnému odbourávání. Tyto pevné částice jsou obzvláště zdraví nebezpečné a zvyšují nemocnost i úmrtnost lidí. Vznikají spalováním fosilních paliv, obsahují polycyklické aromatické uhlovodíky a kondenzované organické či kovové páry. Díky velkému poréznímu povrchu slouží pevné frakce také jako nosiče dalších látek, které mohou být např.

karcinogenní (Hekera 2013).

Z hlediska posuzování kvality a znečištění ovzduší je důležitá přízemní vrstva atmosféry, která se nachází do několika desítek metrů nad zemským povrchem. Je součástí mezní vrstvy atmosféry, která se vyskytuje od několika stovek metrů až po dva kilometry nad zemským povrchem. Úroveň znečištění ovzduší závisí na procesech, které probíhají právě v této vrstvě (Vach 2013).

3.4.2 Právní předpisy ochrany ovzduší v ČR a monitoring

Ochranou ovzduší se rozumí předcházení znečišťování atmosféry a snižování již vzniklého znečištění na míru únosnou pro lidské zdraví a životní prostředí (Vach 2013). V současné době je atmosféra chráněna zákonem č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší a mimo jiné vyhláškou 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění při smogových situacích (ČHMÚ 2016a). Informační data ze všech lokalit jsou k nalezení v jednotné databázi ISKO (Informační systém kvality ovzduší) ČHMÚ.

Příkladem monitorovacích programů kvality ovzduší v ČR je AIM (Automatizovaný imisní monitoring) nebo MIM (Manuální imisní monitoring). Tyto programy koordinuje a zabezpečuje ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav) a SZÚ (Státní zdravotní ústav). Hlavní podmínkou monitoringu je používání jednotných postupů odběru vzorků a měření, používání schválených přístrojů a práce odborného týmu. Monitoringem emisí se zabývá REZZO (Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší). Do tohoto registru je zahrnuto znečištění způsobené pouze antropogenní činností. Dělí se dále na REZZO 1–3, kam patří stacionární zdroje znečištění. Do REZZO 4 se řadí mobilní zdroje znečišťování ovzduší, kdy jde o silniční motorová vozidla, železniční kolejová vozidla, plavidla a letadla. REZZO součástí databáze ISKO a provozem je pověřen ČHMÚ a zajišťován MŽP. Od roku 2004 je součástí IRZ (Integrovaný registr znečištění ŽP) (Hekera 2013).

Průměrné roční koncentrace sledovaných kovů mají, až na pár výjimek klesající tendenci. Z monitoring v roce 2015 byly získány údaje z 55 měřících lokalit. V České republice nebyla prokázána na žádné z měřících stanic nadlimitní koncentrace Pb. Na celém území republiky jsou dlouhodobě koncentrace tohoto kovu nízké. Stanice Olomouc-Šmeralova uvedla roční koncentrace Pb $10,5 \text{ ng.m}^{-3}$ a stanice Olomouce-Hejčín $13,2 \text{ ng.m}^{-3}$. Naproti tomu nejvyšší průměrné roční koncentrace Pb hlásí Ostravsko.

V tomtéž roce při monitoringu Cd byla limitní hodnota překročena v Jablonci nad Nisou. Koncentrace zde činila $6,9 \text{ ng.m}^{-3}$. Nejvyšší hodnoty tohoto kovu byly naměřeny v okrese Jablonec nad Nisou a dále opět na Ostravsku. Stanice Olomouc-Hejčín naměřila koncentrace $0,3 \text{ ng.m}^{-3}$. Emisní limit pro Ni nebyl překročen na celém území ČR. Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány opět v Ostravě. Hodnota zde byla $2,6 \text{ ng.m}^{-3}$, ale i Olomouc-Hejčín hlásil jedny z vyšších koncentrací, a to $1,8 \text{ ng.m}^{-3}$. Stanice Olomouc-Šmeralova naměřila hodnotu $1,0 \text{ ng.m}^{-3}$ (ČHMÚ 2016c, 2016d). Naproti tomu monitoring v roce 1998 udával hodnoty Pb na stanici Olomouc-Šmeralova téměř čtyřikrát vyšší, než je tomu v současnosti. Naměření hodnoty dosahovaly $39,9 \text{ ng.m}^{-3}$. Na této stanici bylo měřeno také Cd, jehož hodnoty dosahovaly $1,3 \text{ ng.m}^{-3}$ (ČHMÚ 1998).

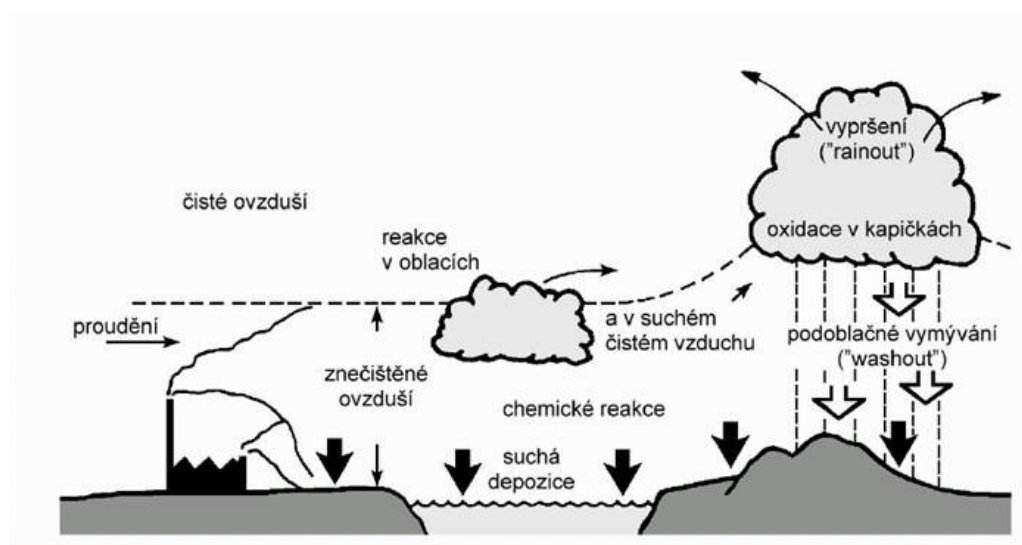
3.4.3 Atmosférická depozice

Depozicí se rozumí přenos či tok látek z atmosféry k zemskému povrchu vyjádřený jako hmotnost sledované látky na jednotku plochy za určitou časovou jednotku. Jde o významný proces samočištění atmosféry, kdy jsou odstraňovány látky emitované do atmosféry nebo které zde vznikly v důsledku chemických reakcí. Ostatní složky životního prostředí jako je hydrosféra, pedosféra, kryosféra a biosféra tato depozice znečišťuje (Braniš, Hůnová 2009).

Atmosférická depozice obsahuje složku suchou a mokrou, kdy suchá složka představuje depozici tuhých látek a plynů a mokrá složka je spojena se srážkami. Suchá depozice je pomalejší a probíhá neustále. Látky z ovzduší pomocí gravitace přímo přestupují na vegetaci, zemský povrch nebo oceány. Plyny se vážou na povrchy pomocí adsorpčních dějů. V oblastech průmyslových aglomerací tzv. impaktních oblastech, je podíl suché depozice na celkové atmosférické depozici vyšší. Na druhou stranu mokrá depozice je dějem epizodickým. Vertikální i horizontální srážky odstraňují z atmosféry částice i plyny. V atmosférických srážkách se vyskytují veškeré látky v atmosféře, které se do těchto srážek dostávají vypršením a vymýváním. Při vypršení působí znečišťující látka jako kondenzační jádro. Vymýváním jsou pevné částice i plyny strhávány padajícími srážkami. Často se setkáváme s depozicí kyselou, kdy jsou z atmosféry odstraňovány kyselé složky (Braniš, Hůnová 2009).

S atmosférickou depozicí souvisí pojem kritická zátěž, což je nejvyšší depozice acidifikujících sloučenin, které ještě nepůsobí chemické změny vedoucí k dlouhodobým

škodlivým účinkům na strukturu a funkci ekosystémů. Tato zátěž je indikátorem trvalé udržitelnosti ekosystémů. Poskytuje informaci o maximální únosné dávce škodlivé látky. Pokud dojde ke zvyšování těchto látek, dochází ke zvýšení rizika poškození ekosystémů. Nejvíce jsou stanovovány kritické zátěže pro síru a dusík. V poslední době je věnována pozornost určení kritické zátěže i pro těžké kovy, zejména měď, kadmium a olovo. Touto problematikou se v České republice zabývá Český ekologický ústav (Braníš, Hůnová 2009).



Obr. 13 Procesy vedoucí k atmosférické depozici
Zdroj: www.slideplayer.cz

3.4.4 Emise, emisní zdroje a imise

Emisemi se rozumí proces, kdy jsou do ovzduší vypouštěny škodliviny ze zdroje nejrůznějšího typu. Emisní zdroje můžeme rozdělit na přirozené a antropogenní. K přirozeným zdrojům znečištění patří především sopečná a bakteriální činnost, ale také prašné bouře atd. Antropogenní zdroje se dělí na stacionární a mobilní a jsou spojeny s činností člověka. Jde především o výrobu elektřiny a tepla, průmyslovou a zemědělskou výrobu, dopravu a likvidaci odpadů. Emise jsou mnohem vyšší v oblastech, kde převažuje právě tato lidská činnost. Významným emitentem jsou tepelné elektrárny, kdy spalovacími procesy dochází ke vnosu znečištění do atmosféry. V automobilovém odvětví došlo k výraznému snížení emisí, díky použití katalyzátorů a bezolovnatého benzínu. Problémem ale zůstává narůstání počtu automobilů na celém světě. Nejčastější metoda pro výpočet emisí je stanovení emisního faktoru, kdy je stanoveno množství polutantu, který je uvolňován do ovzduší (Braníš, Hůnová 2009).

Jako imisi označujeme emisi, která způsobuje znečištění v atmosféře a po přenosu, rozptýlení a fyzikálně-chemických reakcích přechází na příjemce. Imisemi nejsou jen chemické polutanty, ale také hluk, radioaktivita a člověkem způsobené změny teploty. Prostřednictvím atmosférické depozice je toto znečištění přenášeno i do jiných složek životního prostředí, jako je voda nebo půda (Braniš, Hůnová 2009).

3.5 Pedosféra

Půdu lze charakterizovat jako přírodní útvar vzniklý zvětráváním hornin zemského povrchu a organických zbytků za působení půdotvorných procesů a faktorů. Je dynamickým, stále se vyvíjejícím systémem, který slouží jako životní prostředí mnoha živočichům a jako stanoviště rostlin. Pro lidskou populaci slouží především k pěstování kulturních plodin a tím jako zdroj obživy. Proto je nutné s rostoucí lidskou populací půdní fond chránit. Nezastupitelnou roli má také v udržování stability ekosystémů, kdy zadržuje rizikové prvky. Na druhou stranu je za určitých podmínek také uvolňuje. Působí jako filtr pro protékající vodu. V půdě probíhá také spousta důležitých procesů, jako je cyklus vody, dusíku, uhlíku, fosforu a síry prostřednictvím interakce mezi mikrobiální složkou a fyzikálně-chemickými vlastnosti půdy (MŽP 2008-2015). Současně uznávaný systém klasifikace půd je FAO – UNESCO, kdy jsou půdy řazeny do referenčních tříd, půdních typů, druhů apod. Půda se vertikálně dělí do půdních horizontů. Podle matečné horniny je v půdách určitý stupeň minerálního podílu. Obsahuje tedy složku minerální, organickou, vodu, plyny a živé organismy (Šarapatka 2014).

3.5.1 Znečištění pedosféry

Půdu lze charakterizovat, jako nejstabilnější složku biosféry. Oproti jiným složkám ekosystému má vyšší schopnost odolávat antropogenním vlivům. Na tomto mají zásluhu její fyzikálně-chemické vlastnosti, složení a také omezené možnosti přenosu látek. Pokud ale dojde k narušení, náprava do původního stavu je komplikovaná a dlouhodobá. U půdy se setkáváme s principem „chemické časované bomby“, kdy je půda schopna dlouhodobě vyrovnávat malé dávky kontaminantů, dokud nedojde k překročení určité hranice. Poté mohou i nepatrné změny podmínek způsobit porušení chemických rovnováh. Půda je značně poškozena a může působit sama jako zdroj znečištění např. pro spodní vody, atmosféru nebo rostliny (Hekera 2013). Kvalitní a hygienicky nezávadná půda, která

produkuje krmiva a potraviny má pro lidskou společnost nenahraditelný význam. Od vody nebo vzduchu se odlišuje znemožněným pohybem či prouděním, což má za následek velmi ztížené samočisticí schopnosti. Cizorodé látky tak mají často v pedosféře dlouhodobý až trvalý charakter. Na rozdíl od různých organických polutantů nemůžou být toxické kovy degradovány mikroorganismy. Mezi látky, které se do půdy dostávají, převážně zemědělskou činností, patří pesticidy, další uhlovodíky a hnojivé substance. V některých oblastech oxidy síry a dusíku. Další způsob znečištění je ve formě imisí z průmyslových a energetických závodů. Mezi toxické prvky, které jsou pro životní prostředí a zdraví člověka nejnebezpečnější, patří olovo, kadmium, rtuť a arsen. V současné době je věnována pozornost přechodu takovýchto rizikových prvků do rostlin a tím i do potravního řetězce. Jelikož dochází k interakci těžkých kovů s půdou, dochází k jejich akumulaci na povrchu a transport do nižších vrstev se téměř neuskutečňuje, pokud není pufrční schopnost půdy překročena. Kationtová výměnná kapacita je důležitá pro posouzení vazby v půdě a mobility. Pro posouzení stability různých forem kovů se stanovuje redox potenciál. Adsorpci a mobilitu ovlivňuje obsah organického uhlíku a v poslední řadě je důležitý i půdní druh. Ten ovlivňuje rychlost a cesty migrace cizorodé látky do spodních vod. Adsorpce těžkých kovů výrazně rozhoduje o jejich osudu a chování v půdách. Pro posouzení chování těžkých kovů v půdě lze využít hodnotu kationtové výměnné kapacity a pH půdy. Příjem půdou lze snižovat vápněním (Cibulka et al. 1991). Vlivem gravitace je půda kontaminovaná i z atmosféry. Na půdu dosedají imise z energetiky převážně ve formě popílku (Kalač et al. 2010).

3.5.2 Právní předpisy ochrany půdy v ČR a monitoring

Zákonem chráněná je především zemědělská a lesní půda. Tuto oblast upravuje zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu a zákon č. 289/1995 Sb., o lesích. Půda jako jedna ze složek životního prostředí je chráněna také v zákoně č. 17/1992 o životním prostředí, kde je uvedeno, že území nesmí být lidskou činností zatíženo nad míru únosného zatížení. Na zákonné ochraně půdy se podílí také ministerstvo životního prostředí a ministerstvo zemědělství. Samostatný zákon, který by se věnoval ochraně půdy *sensu lato*, v dohledné době není připravován (Šarapatka 2014). Aby byla zajištěna nezávadnost zemědělských produktů a potravin, je na základě zákona č. 156/1998 Sb. ve znění zákona č. 156/1998 Sb. a zákona č. 147/2002 Sb., prováděn monitoring zemědělských půd. Sleduje se výskyt a vstup rizikových prvků a kontaminantů do půdy

(Hekera 2013).

V ČR je kontaminace půd monitorována v rámci databáze SEMK (Systém evidence kontaminovaných míst). Zde je evidováno až 7000 potenciálně kontaminovaných míst, převážně s charakterem starých ekologických zátěží. ÚKZÚZ (Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský) zjišťuje obsahy a vstupy rizikových látek do zemědělských půd. Zde je evidováno asi 5 % plochy s nadlimitním obsahem takovýchto látek. Síť monitorovacích ploch vznikla v ČR v roce 1992 a je garantována ÚKZÚZ za podpory Ministerstva zemědělství ČR. Monitorování je zajištěno programem s názvem Agrochemické zkoušení půd (AZP), který slouží k určení dávek hnojiv na daných zemědělských půdách. Dalším je bazální monitoring zemědělských půd, který slouží jako podpora pro rozhodování státní správy a jako podklad k novelizacím legislativních předpisů. V rámci monitoringu rizikových látek je hodnoceno také možné ohrožení potravního řetězce člověka. Terénní, analytické práce a vyhodnocení výsledků bazálního monitoringu půd je zabezpečováno Národní referenční laboratoří v Praze, Brně a Opavě. Laboratoře jsou součástí vnitřního systému řízení jakosti a jsou členy mezinárodního systému porovnávání analytických výsledků organizovaných Zemědělskou univerzitou ve Wageningen – International soil-analytical exchange (Hekera 2013).

3.6 Obecná charakteristika těžkých kovů

Pod názvem těžké kovy dnes rozumíme kovy nebo metaloidy, které jsou stabilní a mají měrnou hmotnost větší než $4,5 \text{ g/cm}^3$. Tuto definici, spíše pro její pragmatičnost a jednoduchost než z pohledu chemie, převzaly i legislativní předpisy nebo mezinárodní dohody. Z ekotoxikologického hlediska řadíme k těžkým kovům měď, zinek, kadmium, rtuť, olovo, chrom, nikl, mangan, železo a dále „polokovy“ arsen a selen. Mnozí autoři označují těžké kovy jako kovy toxické. Toto označení, vzhledem k esencialitě těchto kovů v živých systémech, je nesprávné. Některé z těchto kovů jsou totiž pro živý organismus nezbytné, proto jsou řazeny mezi tzv. stopové prvky. Řadíme sem např. železo, měď nebo zinek. Železo je kupříkladu součástí hemoglobinu v lidské krvi a řadíme ho tak k jednomu z nejdůležitějších prvků v lidském těle (Kurfürst et al. 2008).

3.6.1 Těžké kovy v životním prostředí

V přírodě se kovy vyskytují ve formě ryzí, nebo ve formě sloučenin, převážně solí. V určitých lokalitách se mohou vyskytovat ve zvýšené koncentraci vzhledem k jejich průměrnému obsahu, zejména jako rudy. Těžké kovy nejsou životnímu prostředí cizí, proto je není nutno pokládat za bezprostřední ohrožení. Na druhou stranu antropogenní činnost, která způsobuje nárůst koncentrací těchto kovů, představuje určité negativní dopady. K ohrožení životního prostředí těžkými kovy může dojít, když při výrobě kovů a jejich zpracování dojde k přestupu kovů do životního prostředí ve formách, jež snadno nacházejí receptory v živých organismech, a přitom je překročena míra přijatelné zátěže, s níž se organismus může bez následků přirozenou cestou vyrovnat. Za nebezpečnou vlastnost těžkých kovů považujeme bioakumulaci. Bioakumulace je obecně ukládání látek do živých soustav. U těžkých kovů jde o zakoncentrování v některých buněčných strukturách, kam proniknou přes potravní řetězec nebo respirační trakt, ale také v možnosti jejich vstupu do komplexů s organickými látkami, jejichž toxické vlastnosti se oproti formám anorganickým násobí. Jde o látky lipofilní, tudíž snadněji prochází membránami. Těžké kovy se do životního prostředí dostávají také s odpady, ať už průmyslovými, komunálními nebo při likvidaci výrobků s obsahem kovů (Kurfürst et al. 2008).

3.6.2 Antropogenní zdroje těžkých kovů

Díky lidské činnosti se koncentrace určitých skupin kovů vyskytuje v životním prostředí ve vyšší míře, než je únosné. Tato ekologická zátěž je původem především z metalurgických procesů, zpracování rud a spalování fosilních paliv. Na zvyšování koncentrace rizikových prvků v životním prostředí má také velký podíl zemědělství. Používáním průmyslových hnojiv a pesticidů se do půdy dostává Pb, Cd, As, Cu nebo Hg. Zvýšení emisí těchto škodlivých látek lze bránit omezením jejich používání, případně náhradou jinou, méně škodlivou látkou. Tuto skutečnost dokazuje snížení koncentrací Pb po zákazu používání olovnatého benzínu (Kurfürst et al. 2008). Zdroje kontaminace životního prostředí vybraným kovy jsou uvedeny u jednotlivých prvků.

3.7 Kadmium (Cd)

Kadmium je bílý, lesklý, měkký a velmi tažný kov (Prvky 2009–2017a). V přírodě se vyskytuje nejčastěji spolu se zinkem a olovem a v rudách, které obsahují sulfidy těchto kovů. Kontaminace životního prostředí tímto kovem je způsobena použitím kadmia v průmyslu. Pro své vlastnosti chránit železo před korozi bylo používáno při výrobě plechů, zejména v automobilovém průmyslu (Bencko et al. 1995). V současné době bývá stále častěji nahrazováno zinkem, který je pro životní prostředí šetrnější. Dalším z hlavních zdrojů kontaminace biosféry tímto kovem je těžba a zpracování rud, výroba nikl–kadmiových baterií a pájek, výroba fotovoltaických článků v elektronickém průmyslu a spalováním fosilních paliv, kdy při spalování uhlí je vypouštěno až 2 mg.kg^{-1} a při spalování oleje do $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$. Jako stabilizátor plastických hmot bývá používán stearan kademnatý (Kalač et al. 2010). Přidává se také do pigmentů v plastech a barvivech. Kadmium zlepšuje mechanické vlastnosti jiných kovů, takže je často přidáváno do slitin, zejména na bázi mědi. V zemědělském průmyslu je kontaminace způsobována hnojením dusičnatými hnojivy. Významným zdrojem expozice pro obyvatelstvo je také kouření. Kadmium emitované do ovzduší se nakonec hromadí v půdě a ve vodě a vstupuje takto do potravních řetězců (Bencko et al. 1995). Přirozený obsah kadmia v půdách se jednotlivě liší podle matečné horniny, intenzity zvětrávání a transportu zvětralin. V některých případech je obtížné odlišit přirozeně se vyskytující kadmium od člověkem přidaného. K antropogenním zdrojům se řadí průmyslové aerosoly vzniklé spalováním paliv, metalurgické závody, tekuté a pevné odpady zvířat a lidí, odpady z těžby a v neposlední řadě průmyslové a zemědělské chemikálie. V případech havarijní kontaminace půdy může být kontaminace půdy kadmii extrémně vysoká. Uvádí se až 83 mg.kg^{-1} . Problémem jsou také fosforečná hnojiva převážně ve vysoce rozpustných formách lehce přijatelných pro rostliny. Někteří autoři nepovažují dávky nižší než 5 g Cd.ha^{-1} za zdraví škodlivé. V půdě existují vodorozpustné, výměnné, organicky vázané, okludované s oxidy Fe a Mn, ve formě definovaných sloučenin (karbonáty, fosforečnany, sulfidy) a vázané ve struktuře silikátů (tzv. reziduální frakce) formy kadmia. Jelikož se kadmium vyskytuje v půdě v mnoha formách, kontaminace různých půd se liší. Určité vlastnosti půd ovlivňují mobilitu i přijatelnost těžkých kovů rostlinami. Vysoké koncentrace kadmia nepříznivě ovlivňují schopnost půdních mikroorganismů rozkládat organickou hmotu a organické polutanty. Aby nedocházelo k tomuto toxickému efektu, měla by být koncentrace tohoto kovu pod $6 \text{ } \mu\text{g Cd.g}^{-1}$.

Kadmium je např. ve srovnání s olovem daleko lépe přijatelné pro rostliny (Cibulka et al. 1998). Podle ČHMÚ z roku 2014 se na celkových emisích kadmia podílí nejvíce veřejná energetika a výroba tepla (34,9 %), výroba železa a oceli (14,5 %), spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví (6,7 %) a jiné (ČHMÚ 2016f).

Toxické vlastnosti kadmia

Kadmium je řazeno mezi prvky toxické s významnými toxikologickými vlastnostmi. Jeho toxicita spočívá především v podobných chemických vlastnostech, jako má zinek. Ten je pro organismus důležitým esenciálním prvkem. Stejným způsobem jako zinek může být kadmium přijímáno buněčnými membránami nosičovým mechanismem a transportováno v organismu, a dokonce může kadmium nahrazovat zinek v životně důležitých proteinech. Váže se na metaloproteiny, resp. metalothioneiny. Jestliže se kadmium naváže na tyto proteiny, sníží se jeho akutní toxicita. V těle však dochází k transportu tohoto komplexu do ledvin, kde se kadmium může uvolnit a způsobit nefrotoxicitu, neboli poškození ledvin (Kalač et al. 2010). Člověk přijímá kadmium spolu s potravou nebo i pitnou vodou. Na celkovém příjmu se podílí také expozice z průmyslu. V určité míře jsou ionty kadmia toxické pro každý systém v organismu. Záleží na bráně vstupu, dávce a době expozice tomuto prvku. U člověka způsobuje řadu problémů a onemocnění, která mají v extrémních případech i letální účinky (Bencko et al. 1995). Požití se projevuje zvracením a abdominální bolestí. Po inhalaci může dojít k pulmonálnímu edému a pneumonitidě. Z lidského těla se vyloučí až za 15–20 let. Dle IARC (International Agency for Research on Cancer) je řazen do kategorie 1, kdy jsou u kadmia prokázány karcinogenní účinky pro člověka (Vrzal 2014). Intoxikace se také projevuje zvýšeným krevním tlakem, poškozením reprodukčních orgánů, destrukcí červených krvinek a při zvýšené akumulaci kadmia do struktury kostí až ke zborcení kostního skeletu. Některé plodiny, jako je sója, pšenice, určité druhy zeleniny a tabák, dobře akumulují ve svých pletivech tento kov. Dobrým příjemcem je i vodní biota, např. mušle, ústřice, krabi, v menším množství i ryby. Akumuluje se také v houbách, převážně hřibovitých (Kurfürst et al. 2008).

3.8 Olovo (Pb)

Olovo v krystalické formě je modrostříbřitě bílý, měkký kov. Je nejrozšířenějším těžkým kovem, který se vyskytuje v půdě, vodách i atmosférických komponentách biosféry. V rudách se často vyskytuje spolu se zinkem, mědí, železem i dalšími kovy. V oblastech dosud nekontaminovaných antropogenní činností je předpokládána koncentrace olova pod 1 ng.m^{-3} , ale celková produkce ve světě stále roste. Koncentrace v půdách se přímo odráží v koncentraci v podzemních vodách. Přirozeně se do atmosféry dostává s aerosolem z mořské vody, z lesních požárů nebo ve formě silikátového prachu. Olovo je prvkem toxickým a kontaminace životního prostředí je způsobena různými odvětvími průmyslu (Bencko et al. 1995). V minulosti to bylo především používání tetraetylolova jako antidetonační přísady do benzínu. Díky ukončení používání olovnatého benzínu v r. 2001 se emise olova v ČR snížily pod 50 t/rok z původních bezmála 250 t/rok (Kurfürst et al. 2008). Uvádí se, že každý automobil, který spaloval benzín s tetraetylolovem, emitoval do ovzduší až 1 kg olova ročně, které bylo následně vázáno na prachové částice. Před rokem 1989 představovaly spalovací motory až 61 % emisí olova do složek krajiny (Kalač et al. 2010). Olovo z výfukových plynů se v určité formě usazuje podél cest na vegetaci nebo v půdě (Bencko et al. 1995). V současné době jsou nejvyšší vstupy olova do životního prostředí jsou způsobeny těžbou a úpravou železných a neželezných rud. V menším množství spalováním uhlí a topných olejů, odpadů a dřeva, a také z odpadních vod z brusíren skla (Kalač et al. 2010). Další unikání olova do životního prostředí se děje při výrobě baterií, alkylosloučenin olova, kabelů, barviv, slitin, broků apod. Podíl na zamoření olovem tak mají i lovci či rybáři. Hlavním zdrojem chyb při stanovení olova ve vzorcích z životního prostředí je snadná možnost kontaminace vzorků během odběru i analýzy (Bencko et al. 1995). Přirozeně se nejvyšší obsahy olova nacházejí ve svrchních vrstvách půd. Důvodem kontaminace půd jsou převážně imise z hutí, zpracovávajících olověnou rudu. V takovýchto oblastech dosahovaly koncentrace olova až $9\,000 \text{ mg.kg}^{-1}$. Ke zvýšenému obsahu olova dochází také po aplikaci čistírenských kalů, z drenážních vod z dolů a také při používání některých průmyslových kompostů, uhličitanu vápenatého a užíváním některých superfosfátů. Olovo se poté nejvíce ukládá v kořenech rostlin (Cibulka et al. 1998). Podle ČHMÚ z roku 2014 se na emisích olova v současné době nejvíce podílí spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví (22,7 %), veřejná energetika a výroba tepla (22,1 %), otěry pneumatik a brzd (16,9 %), výroba železa a oceli (11,9 %) a v menší míře ostatní sektory (ČHMÚ 2016f).

Toxické vlastnosti olova

Olovo pravděpodobně nemá v živých organismech žádný esenciální význam a podobně jako kadmium je řazen mezi prvky toxické. V lidském organismu je antagonistou vápníků. V případě nedostatku vápníku může dojít k mobilizaci akumulovaného olova do krve a negativně ovlivňovat další orgány, jako jsou játra, ledviny nebo reprodukční orgány a nervový systém. V lidském těle se olovo během života stále hromadí, především v kostní dřeni, způsobuje řadu problémů a negativně ovlivňuje tvorbu hemoglobinu. Intoxikace se projevuje anemickými stavy (Kurfürst et al. 2008). Při akutní formě otravy člověka olovem je postihnuto především trávicí ústrojí. Chronická otrava se projevuje malátností, pocitem únavy, nechutenstvím, nespavostí, pocitem únavy v dolních končetinách a zácpou. Existují studie, které dokazují přímou souvislost mezi obsahem olova v krvi a krevním tlakem. Zvláště malé děti do 6 let představují vysoce rizikovou skupinu z hlediska působení olova, jelikož je vyšší pravděpodobnost perorálního příjmu hlíny a prachu, než je tomu u dospělých (Bencko et al. 1995). U dětí prostupuje olovo mozkomíšní bariérou a u dospělých je anorganické olovo absorbováno především přes respirační systém a kůži. V nízkých koncentracích může způsobovat poruchy nálad a hyperaktivitu (Vrzal 2014).

3.9 Nikl (Ni)

Jako kov se nachází pouze v meteoritech, jinak ve sloučeninách s vazbou na síru, arzen, antimon a kyselinu křemičitou. V přírodě se nachází ve formě minerálů, jako jsou nikelin, millerit nebo síroarzenit gersdorffit. Obsah niklu v rudách je poměrně nízký, a tak výrobní technologie zahrnuje více kroků. Využívá se k legování oceli, k výrobě jiných slitin, mincí nebo příborů. Zdrojem znečištění životního prostředí je především spalování fosilních paliv a topných olejů, těžba a produkce niklu a jeho slitin a v neposlední řadě také kouření. Obsah niklu v půdě je velmi variabilní. V podzemních vodách se vyšší koncentrace vyskytují pouze vzácně (Bencko et al. 1995). Na emisích niklu se v roce 2014 podle ČHMÚ nejvíce podílela veřejná energetika a výroba tepla (62,1 %), výroba železa a oceli (7,1 %), spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví (6,1 %) a v menší míře spousta jiných zdrojů (ČHMÚ 2016f).

Toxické vlastnosti niklu

Nikl je prvkem biogenním a pro některé rostliny a živočichy je nepostradatelným. Projevují se však i jeho toxické vlastnosti, především působením některých anorganických sloučenin, jako jsou chloridy, dusičnany, sírany nebo fosforečnany. Jako kontaminant ho najdeme ve všech složkách životního prostředí. V akvatických systémech může být kumulován především vodními řasami a bezobratlými, kdy sladkovodní organismy jsou citlivější než mořští živočichové. Vyšší koncentrace v půdním prostředí jsou problematické, jelikož nikl začne působit toxicky na fytoceózu. Jsou prokázány také jeho karcinogenní účinky, kdy nikl obsažený v prachu může způsobovat rakovinu plic nebo nosní a krční sliznice. Vstup do organismu je způsoben také kouřením. Možné zvýšení koncentrace v lidském těle je také z poniklovaných kloubních protéz. Nikl má zánětlivé účinky, způsobuje dermatitidy i chronické ekzémy. Při chronických otravách může docházet k poškození srdečního svalu, ledvin a centrálního nervového systému. Při spalování zmíněných topných olejů dochází k uvolňování tuhých částic o velikosti $<1\mu\text{m}$. Ty jsou respirabilní a může dojít k průniku až do průdušinek (Kurfürst et al. 2008).

3.10 Zinek (Zn)

V krystalické formě je zinek modravě bílým kovem, který je měkký a snadno reaguje s anorganickými kyselinami i organickými látkami. Celosvětová produkce ve světě stále roste. Těží se minerály s obsahem zinku, jako jsou sfalerit, zinkit, hemimorfit aj. Vyskytuje se spolu s toxickými prvky, jako jsou olovo nebo kadmium. Používá se v gumárenství, jako zinková běloba, dále při výrobě nekorozivních slitin, mosazi, při výrobě železa, galvanizaci oceli a při pozinkování železných komponentů k ochraně proti korozi. Do pitných vod se tak může dostat z pozinkovaného vodovodního potrubí. Zinek je také součástí mnoha pesticidů. K silným emisím do ovzduší dochází převážně při tavně zinkové rudy. Obsah tohoto prvku v půdě je silně ovlivněn mateční horninou. Vyšší obsah byl zjištěn např. v nivních půdách (Bencko et al. 1995).

Toxické vlastnosti zinku

Zinek je prvkem spíše esenciálním než toxický, ale v určitých podobách a koncentracích může způsobovat značné komplikace. Jde o prvek nepostradatelný, jak pro člověka a živočichy, tak pro rostliny. Je součástí mnoha metaloenzymů a další enzymy potřebují zinek ke své funkci. Nezastupitelnou roli má také v metabolismu bílkovin a nukleových

kyselin. Nedostatek zinku je závažný především u dětí. Může vyvolat dermatitidy či poškození imunitního systému. U chlapců může deficit zinku způsobovat poruchy dospívání. Proto je farmaceutickými firmami nabízen i ve formě různých vitamínových preparátů. Při průmyslové expozici je také častá horečka z kovů, která se projevuje únavou, bolestmi hlavy, kašlem, vysokými teplotami, dehydratací, pocením a výskytem bílkoviny v moči. Po inhalaci par oxidu zinečnatého dochází k alergickým reakcím z důvodu denaturace bílkovin. Po požití chloridu nebo síranu zinečnatého může docházet k žaludečním problémům, průjmům a zvracení, jelikož mají leptavé účinky. Byly prokázány také jeho karcinogenní účinky, především v minulosti při používání dithiokarbamatů zinku, jako léčiv. Na ryby i zooplankton má zinek více toxické účinky než na člověka. Pokud je v půdě zvýšená koncentrace zinku, může mít negativní dopad i na fytoocenózu (Kurfürst et al. 2008).

3.11 Měď (Cu)

V krystalické formě je měď načervenalým kovem, který má dobré kujné, tažné a vodivé vlastnosti. V přírodě se může nacházet i jako čistý kov, ale většinou se vyskytuje v rudách jako je např. kuprit, malachit, azurit, chalkopyrit apod. Celosvětově se výroba neustále zvyšuje a do životního prostředí vstupuje stále větší množství tohoto kovu. Obsah v půdě je značně variabilní. Kontaminace povrchové vody i atmosféry pochází nejčastěji ze slévárenských odpadů. Vyšší koncentrace v ovzduší je možno naměřit v průmyslových aglomeracích. Měď nachází své využití jako komponenta slitin spolu s jinými kovy, jako je stříbro, kadmium, cín a zinek. Využití má také v elektrotechnice, instalatérství a topenářství nebo jako součást algicidů (Bencko et al. 1995). Do technologických i podzemních vod se dostávají soli mědi díky těžbě měděných rud. Do složek životního prostředí vstupuje také z průmyslových odpadních vod, městských splaškových vod a popílku ze spaloven (Kalač et al. 2010).

Toxické vlastnosti mědi

Jde o prvek pro člověka esenciální, pouze v nízkých koncentracích, na druhou stranu je potenciálně toxický. Je součástí některých metaloenzymů a je důležitá pro funkci jiných, zejména oxidativních enzymů. Je nezbytná také pro metabolismus železa v lidském těle. Na druhou stranu při vyšších koncentracích v těle způsobuje řadu zdravotních problémů. Akumuluje se především v játrech a kostní dřeni. Soli mědi způsobují anemii, poškození

ledvin a jater a mohou také způsobovat zažívací potíže spojené s krvácením do trávicího traktu. Chronická akumulace mědi způsobuje tzv. Wilsonovu nemoc, kdy dochází k poškození a oslabení orgánů při vyšším množství mědi. U dětí mladších tří let vyvolává Mankesovu chorobu, kdy dochází k poškození nervového systému s následnou retardací a může mít až letální následky. Pro zvířata a rostliny má toxické účinky nižší. Vyšší toxicitu projevuje u nižších organismů, jako jsou bakterie, plísňe a nižší houby, tudíž se v zemědělství používá např. skalice modrá nebo síran měďnatý jako fungicid či algicid (Kurfürst et al. 2008). Ve vodním prostředí toxicita závisí na koncentraci měďnatých kationtů. Pokud je zde nižší pH, pak je koncentrace kovu vyšší. Toxicitu snižuje také vyšší obsah huminových látek, které tvoří z mědi komplexy. V akvatických systémech je důležitý vápník, který se může vázat na proteiny buněčných membrán a tím omezovat transport iontů nejen mědi, ale i jiných kovů. Pro bezobratlé živočichy, jako jsou korýši a měkkýši, je měď nezbytná jako součást hemocyninu, což je pigment vážící kyslík v hemolymfě. Ve vyšších koncentracích může být naopak škodlivá (Kalač et al. 2010).

3.12 Chrom (Cr)

Volný chrom se v přírodě nevyskytuje, lze jej nalézt pouze ve formě sloučenin jako je chromit, krokoit, melanchroit nebo pyrop. Je využíván především v metalurgickém průmyslu při výrobě oceli, dále v chemickém, koželužnickém nebo tiskařském průmyslu. Dále se využívá k výrobě zrcadel, při impregnaci dřeva a k výrobě chromových pigmentů s využitím v barvířství. V neposlední řadě způsobuje znečištění životního prostředí v souvislosti s galvanickou povrchovou úpravou kovů a s použitím jako antikorozi přírasada v chladicích systémech. V půdě se vyskytuje v širokém rozmezí. Jeho obsah mohou zvyšovat fosforečná hnojiva (Bencko et al. 1995).

Toxické vlastnosti chromu

Ve formě trojmocného kationtu (Cr^{3+}) je chrom esenciálním prvkem, který se podílí např. na metabolismu inzulínu. Problém nastává, pokud se vyskytuje v životním prostředí v šestimocné formě (Cr^{6+}). Ten je klasifikován jako silně toxická látka. Jde o závažný kontaminant všech složek biosféry. Zejména v půdních vodách je velmi mobilní a při jeho zvýšeném obsahu v půdách klesá úrodnost z důvodu fytotoxicity. Akumuluje se převážně v kořenovém systému. Je klasifikován jako silně toxická látka. Jde o karcinogen i

mutagen, který způsobuje rakovinu plic, poškození jater a ledvin a vnitřní krvácení. Způsobuje také alergické reakce projevující se dermatitidami (Kurfürst et al. 2008).

3.13 Železo (Fe)

Železo je čtvrtým nejrozšířenějším prvkem na Zemi. V ryzí formě se přirozeně vyskytuje pouze výjimečně původem z meteoritů. Jde o neušlechtilý kov stříbrné barvy, který je měkký a kujný. Do teploty 768 °C je feromagnetické. Za působení vzdušného kyslíku a vlhkosti železo snadno podléhá korozi. Proto bývá často z ekonomických důvodů chráněno povrchovými úpravami, které mohou tvořit chrom, nikl, zinek apod. Známými železnými rudami jsou hematit, magnetit, limonit, pyrit a siderit. Díky vysokému obsahu síry v pyritu není výroba železa z tohoto minerálu vhodná. K výrobě železa dochází ve vysokých pecích. V surové formě bývá označováno jako litina a obsahuje příměsi uhlíku, manganu, křemíku a fosforu. Tyto příměsi jsou při dalším zpracování odstraňovány (Honza, Mareček 1998). Železo v ryzí formě prakticky nemá žádné využití. Na druhou stranu slitiny železa jsou nejdůležitějšími technickými a konstrukčními materiály vůbec. Některé sloučeniny železa se využívají k výrobě barviv, jako oxidační a desinfekční činidla a jako katalyzátor při výrobě čpavku přímou syntézou z vodíku a dusíku. K výrobě keramických glazur se používá fluorid železnatý a fluorid železitý. K čištění odpadních vod slouží např. chlorid železnatý. Železo je pro lidský organismus nepostradatelné. Je součástí hemoglobinu, myoglobinu a enzymů. Nedostatek železa v organismu může způsobovat anémii a nepříznivě působí na hematokrit. Nedostatek železa se může projevit únavou, závratěmi, slabostí, dechovými potížemi, zrychlením tepu, otoky končetin aj. (Prvky 2009–2017b). Železo ovšem představuje nebezpečí pro kyselé půdy s malou pufrovitostí (př. lehké písčité půdy). Dochází ke vzniku zvýšeného množství frakce železitých fosfátů a ty jsou v půdě imobilní a ireverzibilní. Představují tak nevratnou ztrátu mobilního fosforu v půdě (Kalač et al. 2010).

Tab. 1 Imisní limity pro Cd, Pb a Ni

Těžký kov	Imisní limit [ng.m⁻³]
Kadmium	5
Olovo	500
Nikl	20

Zdroj: www.zakonyprolidi.cz

3.14 Odběr atmosférických depozic

Metoda pro odběr atmosférických depozic byla převzata ze zákona č. 86/2002 Sb. Konkrétně nařízení vlády č. 350/2002 Sb., kterým se stanoví limity a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší, část C v referenčních metodách měření a analýzy znečišťujících látek, kalibrace přístrojů a stanovení hmotnosti prašného spadu (Braníš et al. 2009). Byla zde využita metoda typu bulk srážek, kdy byla sledována suchá i vlhká depozice (Vysoudil 2002). Metodika byla upravena dle možností školní laboratoře.

Zařízení potřebná pro realizaci:

Pro odběr atmosférických depozic byly použity sedimentační nádoby. Jednalo se o širokohrdlé uzavíratelné lahve o objemu 750 ml, vnitřní průměr 7,2 cm o výšce 15 cm s těsníci víčky. Na každou sklenici byl vybroušen kód lokality.

Dále byly vyrobeny držáky sedimentačních lahví s vhodnou objímkou či jinou metodou pro upevnění na daném místě. Tyto držáky byly vyrobeny z plastové roury. Na každé odběrné zařízení byly použity 2 roury, které byly přinýtovány k sobě. Každý držák nesl 2 sedimentační láhve. Ve spodní části každé roury byly upevněny 2 pevné dráty skrz roury. Tyto sloužily jako dno pro sedimentační sklenice. V horní části každé roury byly vyvrtány otvory asi 3 cm od sebe, které sloužily k upevnění pletiva okolo roury. Horní okraj pletiva byl nastříhán a jednotlivé části ohnuty směrem ven. Tato metoda sloužila jako ochrana před ptactvem. Držáky sedimentačních lahví byly umístěny na předem zvolené lokality zhruba ve výšce 1,5 m.

Provedení analýzy

Před exponováním sklenic na dané místo bylo nutné sedimentační sklenice zvážit. Po důkladném umytí destilovanou vodou byly sklenice přeneseny do sušárny značky VENTI-LINE a následně vysušeny při 105 °C po dobu 60 minut. Po vychladnutí byly sklenice zváženy a následně proveden rozdíl obou hodnot. Dle metodiky v zákoně se sedimentační láhve plní 250 ml destilované vody a 25 ml izopropanolu. Kvůli menšímu objemu námi použitých sklenic byl tento objem menší. Láhve byly naplněny 180 ml destilované vody a 18 ml izopropanolu. Při transportu bylo hrdlo sedimentační nádoby zaizolováno parafilmem, jako těsnící membránou. Láhve byly pevně uzavřeny těsnícím víčkem, který zabraňovalo úniku tekutiny. Odkryté láhve byly na daném místě

exponovány vždy \pm 30 dní. Po stanovené době odběru byly nádoby přeneseny do školní laboratoře. Po vyjmutí nežádoucích listů nebo bezobratlých živočichů, kteří do láhve napadali, byly vzorky sušeny při teplotě 95 °C po dobu 48 hodin. Teplota v sušárně byla snížena, aby se předešlo nežádoucímu varu v roztocích. Po 2 dnech byly vychladlé sklenice opět zvaženy.

Po zvažení byly v laboratoři v digestoři do sklenic napipetovány 2 ml kyseliny dusičné (HNO₃) a 6 ml kyseliny chlorovodíkové (HCl) od výrobce MERCK. Byl proveden tedy rozklad vzorků tzv. mokrou cestou. Každá sedimentační sklenice byla překryta parafilmem a pevně uzavřena víčkem. Po dobu 3 dnů byl vzorek mineralizován, tedy převáděn z organické látky na látku anorganickou potřebnou pro další analýzu. Po určené době rozpouštění byl vzorek nalit do odměrné baňky o objemu 25 ml. Tekutina byla do těchto 25 ml doplněna destilovanou vodou. Vzorek byl přefiltrován do příslušné plastové zkumavky a pevně zavíčkován. Tyto zkumavky o objemu 50 ml byly řádně popsány číslem sklenice a měsícem exponování. Takto připravené vzorky byly nachystány pro další analýzu. Pro stanovení koncentrace těžkých kovů v depozicích byla použita metoda atomové absorpční spektrometrie (AAS).

3.15 Odběr půdy

Odběr půdy byl proveden pomocí plastového vpichovacího odběrného zařízení. Z každé lokality byl proveden odběr ve čtverci o rozměru asi 5 m². Nejdříve byl odstraněn svrchní drn a poté byl odebrán vzorek půdy. Takto bylo postupováno v každém rohu pomyslného čtverce a následně uprostřed jeho úhlopříček. Těmito pěti odběry bylo z každé lokality získáno asi 0,5 kg zeminy potřebné k analýze.

Po odebrání vzorků půdy byla zemina rozložena na filtrační papír a sušena volně na vzduchu. V průběhu této fáze sušení byly z půdy postupně odstraněny hrubější frakce, kamínky apod. Poté byly vzorky půdy přeneseny do sušárny značky VENTI-LINE a při teplotě 60 °C dosušeny.

Provedení analýzy

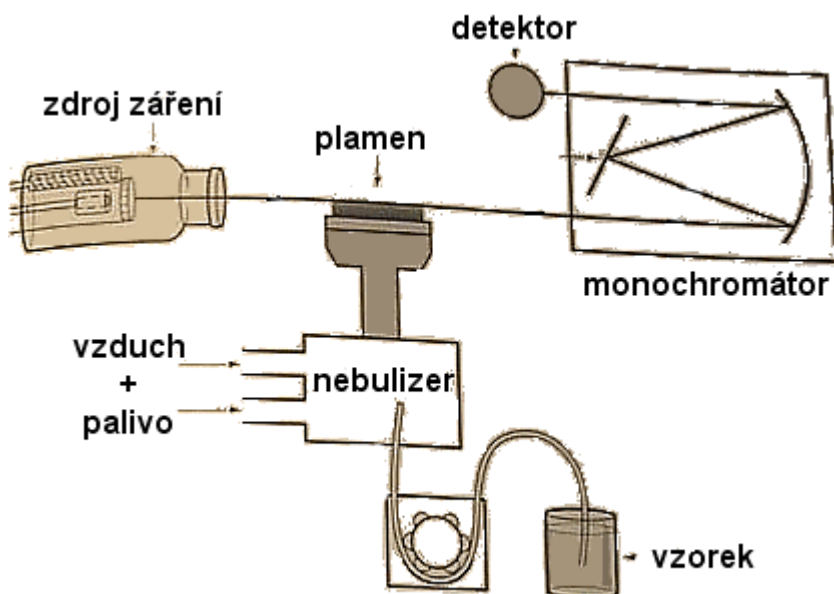
K provedení další analýzy bylo potřebné vzorky zmineralizovat. Po prosetí půdy na jemnozem o velikosti zrn cca 0,5 mm bylo naváženo 0,5 g zeminy. Ta byla následně přenesena do nádob mikrovlnného mineralizačního zařízení značky BERGHOF. Do těchto nádob byly přidány 2 ml HNO₃ a 6 ml HCl od výrobce MERCK. Poté byly vzorky

mineralizovány za použití aplikace SOIL EPA. Po zmineralizování vzorků byla tekutina v nádobách doplněna do 50 ml destilovanou vodou a přefiltrována do předem popsanych plastových zkumavek. Pro stanovení těžkých kovů v půdě byla použita metoda AAS.

3.16 Atomová absorpční spektrometrie (AAS)

Jedná se o destruktivní metodu, kdy po mineralizaci vzorku, tj. převedení na roztok iontů kovů dochází k dalšímu zpracování. Roztok je odpařen v nesvítivém vysokoteplotním plameni, který je prozařován světlem o vlnové délce charakteristické pro stanovovaný prvek a vyzařovaným speciální lampou s dutou katodou vyzařující rezonanční záření pro stanovovaný prvek. Výsledná koncentrace kovu v depozicích se udává v $\mu\text{g.m}^2$ (Braniš et al. 2009). Koncentrace těžkých kovů v půdě jsou v této práci uvedeny v mg.kg^{-1} . Námí použitý atomový absorpční spektrometr značky Avanta Σ byl z půdy schopný určit Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb a Zn.

Tato metoda nachází využití v kvantitativní analýze kovových prvků nízkých koncentrací. Jde o velmi citlivou metodu, která dosahuje citlivosti ng na 1 ml vzorku. U elektrotermické atomizace až v pg v dávce roztoku. Používá se převážně pro stanovování těžkých kovů v životním prostředí, pro analýzy pitných vod a také v lékařství a potravinářství (Klouda 2003).



Obr. 14 Experimentální uspořádání AAS
Zdroj: www.ksicht.natur.cuni.cz

3.17 Přepočty hodnot

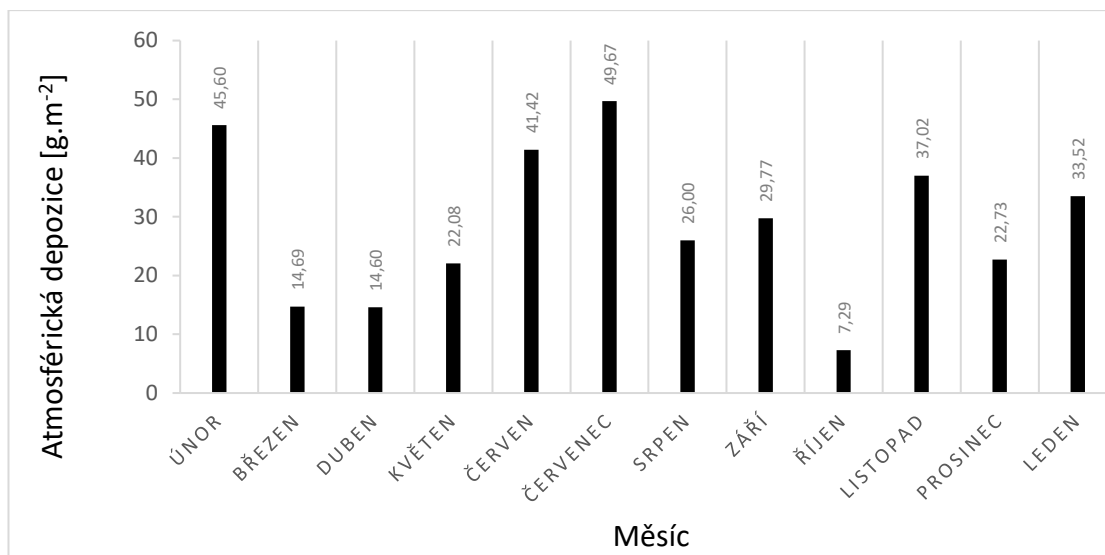
Výsledky byly zpracovány do grafů v programu MS Excel. Atmosférickou depozici, která byla vážena v gramech bylo nutno převést na plošnou jednotku ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). K tomuto byl použit vzorec pro obsah kruhu a pomocí trojčlenky byla hodnota spadu přepočtena na plochu. Koncentrace těžkých kovů v půdě z AAS byly v jednotce mg/l . Tato hodnota byla přepočtena na $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ pomocí přepočítávacího koeficientu, který pro navážku sušiny 500 mg činil 100. Kovy z atmosférické depozice po analýze AAS byly taktéž v mg/l . Zde činil přepočítávací koeficient 6,25, jelikož vzorek byl rozpuštěný v 25 ml. Pro analýzy těžkých kovů, jak z půdy, tak z depozic, byl vytvořen blank, který se skládal pouze s použitých kyselin. Pokud po analýze kovu vyšla určitá koncentrace i v blanku, byla tato hodnota odečtena od příslušné koncentrace těžkého kovu.

4 Výsledky

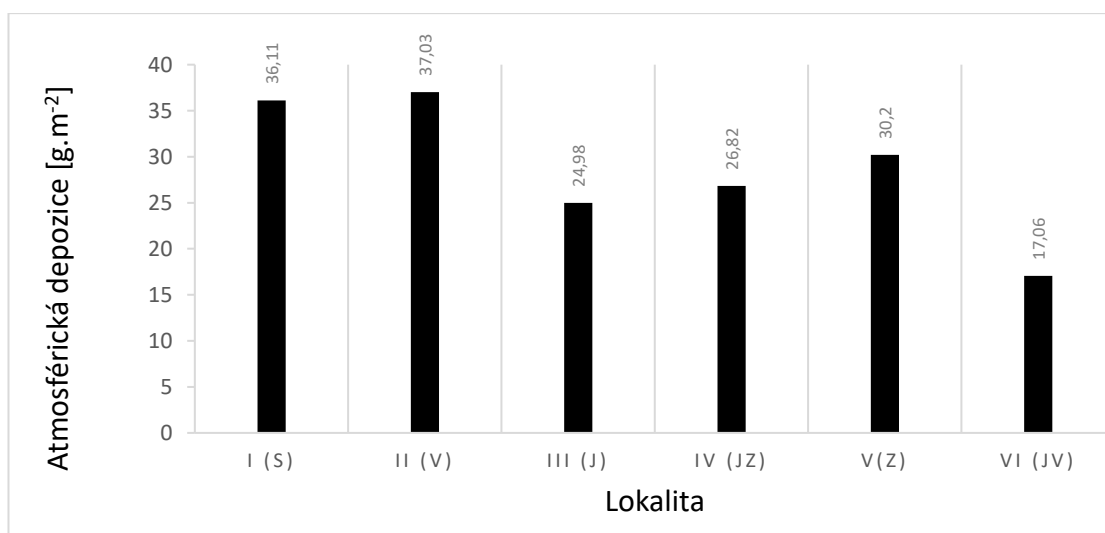
Výsledky jsou rozděleny do tří částí. První část hodnotí atmosférické depozice pro jednotlivé lokality za celý rok. V grafu (obr. 15) jsou uvedeny průměrné hodnoty ze všech lokalit za jednotlivé měsíce a další graf (obr. 16) zobrazuje průměrnou atmosférickou depozici na jednotlivých lokalitách za celý sledovaný rok. V grafu jsou poté znázorněny také hodnoty pro jednotlivé lokality za daný měsíc (obr. 17). Druhá část je zaměřena na obsahy těžkých kovů v atmosférických depozicích, které byly naměřeny v průběhu roku (obr. 18, obr. 19, obr. 20, obr. 21, obr. 22, obr. 23). Tyto výsledky jsou znázorněny v grafech pro každou lokalitu zvlášť. Naměřené obsahy Fe z atmosférických depozic jsou zobrazeny v samostatném grafu (obr. 24). Součástí výsledků jsou také průměrné obsahy sledovaných kovů na jednotlivých lokalitách za celý rok (obr. 25). Třetí část je zaměřena na obsahy těžkých kovů v půdě, kdy jsou pomocí grafu znázorněny obsahy vybraných těžkých kovů na jednotlivých lokalitách. Ni, Zn, Cu, Cr a Pb jsou znázorněny v jednom grafu (obr. 27). Jelikož obsahy Fe v půdě jsou značně vyšší, než je tomu u ostatních sledovaných kovů, tak je znázorněno v samostatném grafu (obr. 28). Hodnoty Cd byly nižší, než je mez detekce přístroje, tudíž nebylo možné obsahy Cd v půdě určit.

4.1 Atmosférická depozice

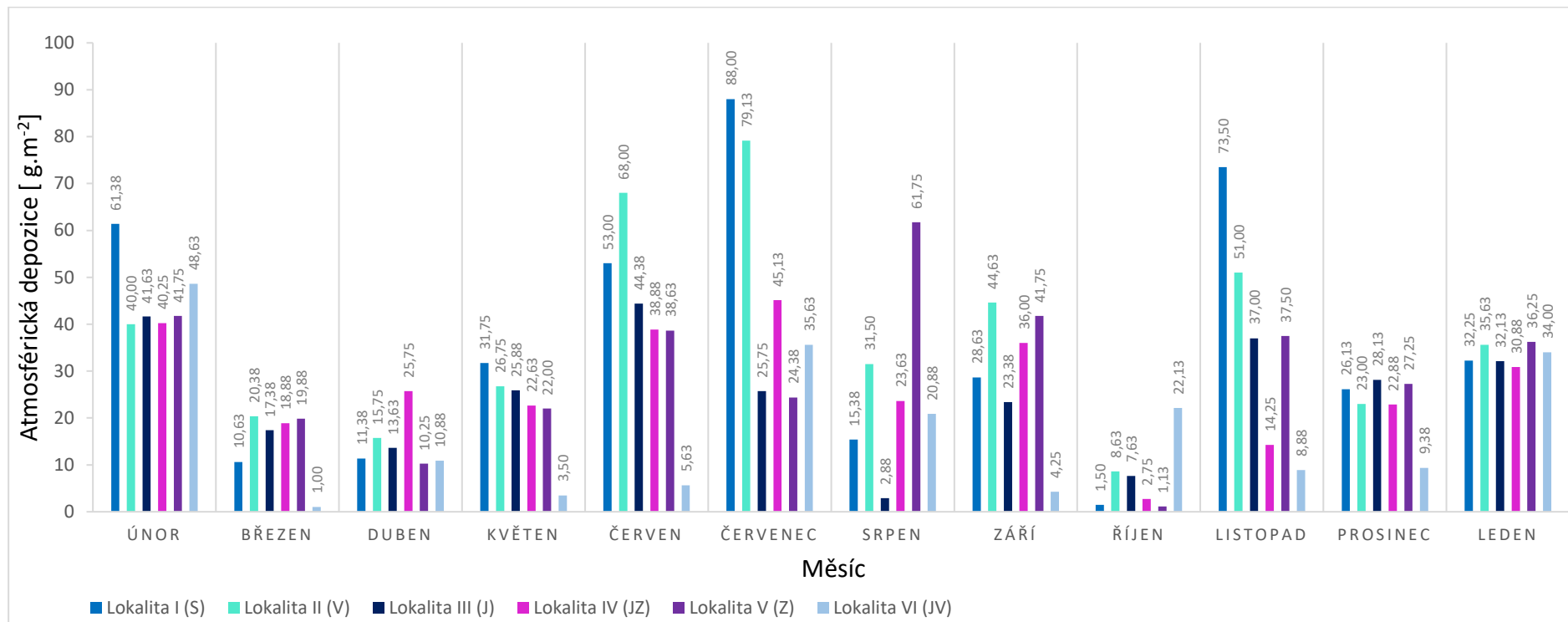
Atmosférická depozice byla odebírána po dobu jednoho roku (únor 2016–leden 2017) na předem zvolených lokalitách. V grafu jsou znázorněny průměry ze sledovaných lokalit pro daný měsíc (obr. 15). Nejvyšší průměrná hodnota byla naměřena v červenci ($49,67 \text{ g.m}^{-2}$). Následující v únoru ($45,60 \text{ g.m}^{-2}$) a poté v červnu ($41,42 \text{ g.m}^{-2}$). Naopak nejnižší průměrné hodnoty byly zaznamenány v říjnu ($7,29 \text{ g.m}^{-2}$), dubnu ($14,60 \text{ g.m}^{-2}$) a březnu ($14,69 \text{ g.m}^{-2}$). Vyšší hodnoty byly naměřeny také v listopadu ($37,02 \text{ g.m}^{-2}$) a lednu ($33,52 \text{ g.m}^{-2}$). V prosinci ($22,73 \text{ g.m}^{-2}$) a v květnu ($22,08 \text{ g.m}^{-2}$) vyšly hodnoty podobné. Průměrné hodnoty atmosférické depozice pro každou lokalitu za celý sledovaný rok jsou znázorněny taktéž v grafu (obr. 16). Naměřené hodnoty atmosférické depozice pro jednotlivé lokality za daný měsíc jsou rovněž znázorněny pomocí grafu (obr. 17) Nejméně variabilní hodnoty byly naměřeny v zimních měsících (prosinec, leden a únor). V ostatních měsících byla zaznamenána značná variabilita v naměřených hodnotách.



Obr. 15 Průměrná atmosférická depozice pro jednotlivé měsíce za sledovaný rok



Obr. 16 Průměrná atmosférická depozice z jednotlivých lokalit za sledovaný rok



Obr. 17 Průměrné měsíční spady na jednotlivých lokalitách

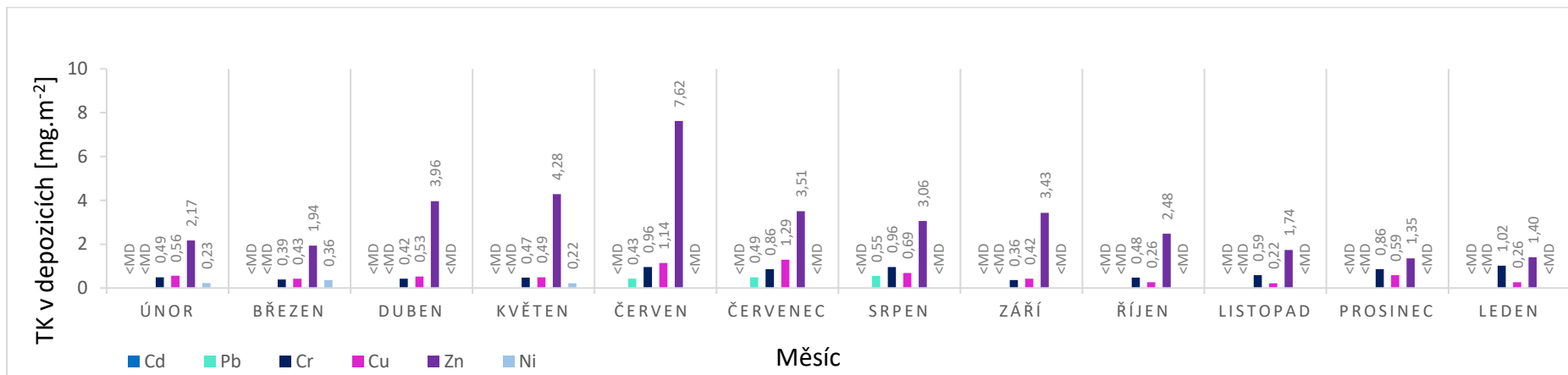
4.2 Těžké kovy v atmosférické depozici

Lokalita I (S)

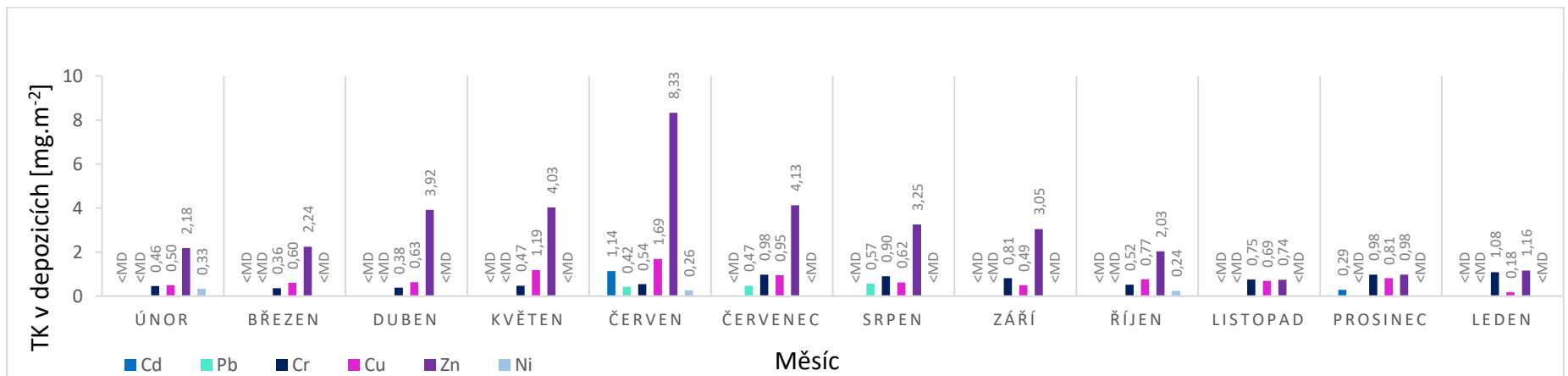
Obsahy Cd v depozicích z této lokality nebylo možno zjistit, jelikož hodnoty byly pod mezí detekce přístroje. Pb zde bylo naměřeno v červnu ($0,43 \text{ mg.m}^{-2}$), červenci ($0,49 \text{ mg.m}^{-2}$) a srpnu ($0,55 \text{ mg.m}^{-2}$). Z ostatních měsíců nebylo možno obsahy Pb určit, jelikož hodnoty byly pod mezí detekce přístroje. Obsahy Cr na této lokalitě byly nejvyšší v lednu ($1,02 \text{ mg.m}^{-2}$) a nejnižší v září ($0,36 \text{ mg.m}^{-2}$). Nejvíce Cu bylo naměřeno v červenci ($1,29 \text{ mg.m}^{-2}$) a nejméně v listopadu ($0,22 \text{ mg.m}^{-2}$). Obsah Zn v depozicích byl nejvyšší v červnu ($7,62 \text{ mg.m}^{-2}$) a nejnižší v prosinci ($1,35 \text{ mg.m}^{-2}$). Ni byl měřitelný pouze v únoru ($0,23 \text{ mg.m}^{-2}$), březnu ($0,36 \text{ mg.m}^{-2}$) a květnu ($0,22 \text{ mg.m}^{-2}$). V ostatních měsících byly obsahy pod mezí detekce přístroje (obr. 18). Nejvyšší obsahy Fe zde byly naměřeny v červnu ($47,38 \text{ mg.m}^{-2}$) a nejnižší v lednu ($11,86 \text{ mg.m}^{-2}$) (obr. 24).

Lokalita II (V)

Na této lokalitě byly naměřeny obsahy Cd v prosinci ($0,29 \text{ mg.m}^{-2}$) a také v červnu ($1,14 \text{ mg.m}^{-2}$). V listopadu byl v jednom ze vzorků neměřen velmi vysoký obsah, druhý by pod mezí detekce přístroje. Taktéž v prosinci byl změřen velmi vysoká obsah Cd v jednom ze vzorů, druhý vzorek se zdál být v pořádku ($0,29 \text{ mg.m}^{-2}$). Naměřené vysoké hodnoty byly kvůli pravděpodobné chybě v měření ze souboru vyřazeny. Pb bylo měřitelné v červnu ($0,42 \text{ mg.m}^{-2}$), červenci ($0,47 \text{ mg.m}^{-2}$), a srpnu ($0,57 \text{ mg.m}^{-2}$). Nejvyšší obsah Cr zde byl naměřen v lednu ($1,08 \text{ mg.m}^{-2}$) a nejnižší v březnu ($0,36 \text{ mg.m}^{-2}$). Obsah Cu byl nejvyšší v červnu ($1,69 \text{ mg.m}^{-2}$) a nejnižší v lednu ($0,18 \text{ mg.m}^{-2}$). Nejvyšší obsah Zn byl změřen taktéž v červnu ($8,33 \text{ mg.m}^{-2}$) a nejnižší v listopadu ($0,74 \text{ mg.m}^{-2}$). Ni byl naměřen v únoru, březnu a květnu. Ve zbylých měsících nebylo možné Ni zjistit, jelikož hodnoty byly pod mezí detekce přístroje (obr. 19). Nejvyšší obsah Fe byl naměřen v září ($33,28 \text{ mg.m}^{-2}$), nejnižší poté v listopadu ($14,51 \text{ mg.m}^{-2}$) (obr. 24). Tato lokalita se ukázala jako nejvíce zatížená Cu a Cd ze všech ledovaných lokalit (obr. 25).



Obr. 18 Obsahy těžkých kovů v depozicích na lokalitě I (S)



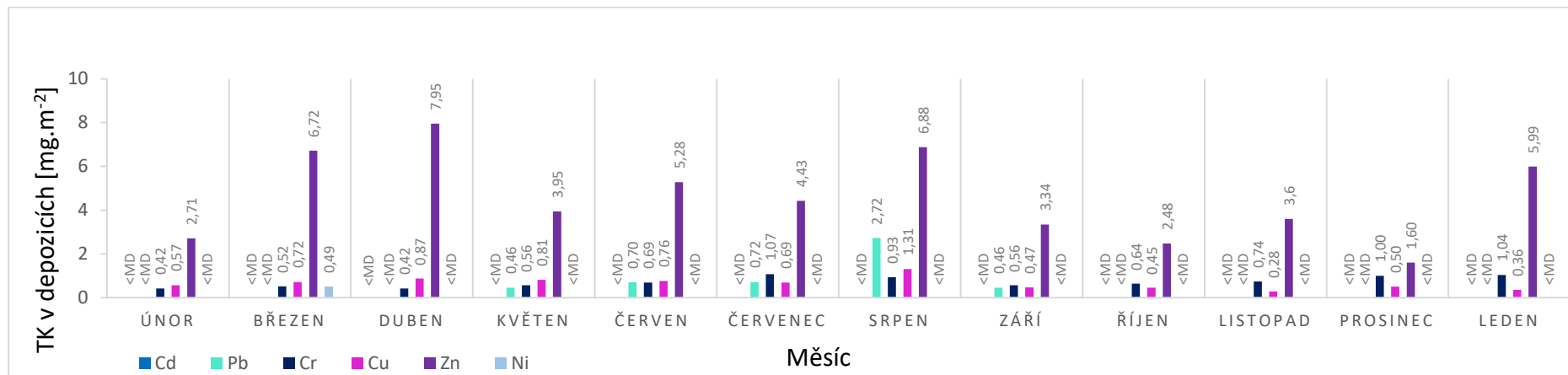
Obr. 19 Obsahy těžkých kovů v depozicích na lokalitě II (V)

Lokalita III (J)

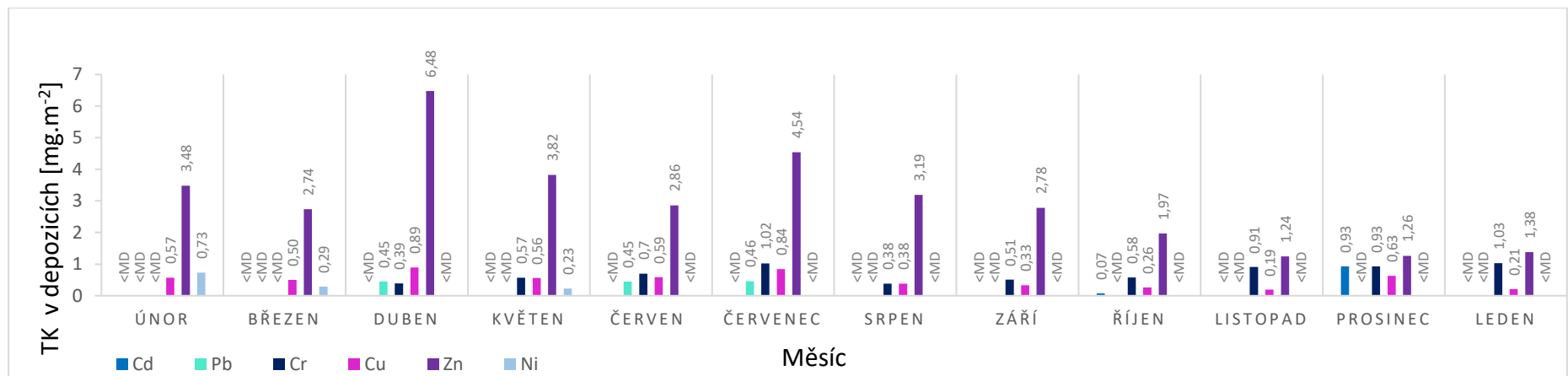
Obsah Cd z této lokality nebylo možné určit, protože všechny hodnoty byly pod mezí detekce přístroje. Výjimku tvořil prosinec a srpen, kdy vždy v jednom ze vzorků byla naměřena velmi vysoká hodnota. V druhém vzorku byly hodnoty pod mezí detekce přístroje. Vysoké hodnoty byly pro pravděpodobnou chybu v měření ze souboru vyřazeny. Pb zde bylo naměřeno v květnu, červnu, červenci a srpnu, kdy obsah Pb v srpnu ($2,27 \text{ mg.m}^{-2}$) byla značně vysoký. Nejnížší obsahy Cr byly zjištěny únoru a dubnu ($0,42 \text{ mg.m}^{-2}$), nejvyšší v červenci ($1,07 \text{ mg.m}^{-2}$). Nejvíce Cu bylo změřeno v srpnovém vzorku ($1,31 \text{ mg.m}^{-2}$) a nejméně listopadovém ($0,28 \text{ mg.m}^{-2}$). Obsah Zn byl nejvyšší v dubnu ($7,95 \text{ mg.m}^{-2}$) a nejnižší v prosinci ($1,6 \text{ mg.m}^{-2}$). Ni byl měřitelný pouze v březnu ($0,49 \text{ mg.m}^{-2}$). Pro ostatní měsíce byly hodnoty pod mezí detekce přístroje (obr. 20). Nejvyšší obsah Fe byl naměřen v srpnovém vzorku ($67,53 \text{ mg.m}^{-2}$), nejnižší v listopadovém ($25,43 \text{ mg.m}^{-2}$) (obr. 24). Z průměrných hodnot za celý sledovaný rok se tato lokalita projevila jako nejvíce zatížená Ni, Zn a Pb ze všech sledovaných lokalit (obr. 25).

Lokalita IV (JZ)

Obsahy Cd v atmosférické depozici byly měřitelné v říjnu ($0,07 \text{ mg.m}^{-2}$) a v prosinci ($0,93 \text{ mg.m}^{-2}$). Ve zbylých měsících byly obsahy pod mezí detekce přístroje. Pb bylo změřeno v dubnu ($0,45 \text{ mg.m}^{-2}$), červnu ($0,45 \text{ mg.m}^{-2}$) a červenci ($0,46 \text{ mg.m}^{-2}$). Výsledky z ostatních vzorků byly pod mezí detekce přístroje. V únoru a březnu nebylo možné Cr ze vzorků změřit, jelikož hodnoty byly pod mezí detekce přístroje. Nejvyšší obsah vykazoval Cr v lednu ($1,03 \text{ mg.m}^{-2}$), nejnižší v srpnu ($0,38 \text{ mg.m}^{-2}$). Obsah Cu byl nejvyšší v dubnu ($0,89 \text{ mg.m}^{-2}$), nejnižší poté v listopadu ($0,19 \text{ mg.m}^{-2}$). Nejvíce Zn bylo zjištěno v dubnu ($6,48 \text{ mg.m}^{-2}$), nejméně v listopadu ($1,24 \text{ mg.m}^{-2}$). Ni byl zjištěn v únoru ($0,73 \text{ mg.m}^{-2}$), březnu ($0,29 \text{ mg.m}^{-2}$) a květnu ($0,23 \text{ mg.m}^{-2}$). Hodnoty ve zbylých měsících byly pod mezí detekce (obr. 21). Nejvyšší obsahy Fe byly zjištěny v září ($31,04 \text{ mg.m}^{-2}$), nejnižší v prosinci ($11,49 \text{ mg.m}^{-2}$) (obr. 24).



Obr. 20 Obsahy TK v depozicích na lokalitě III (J)



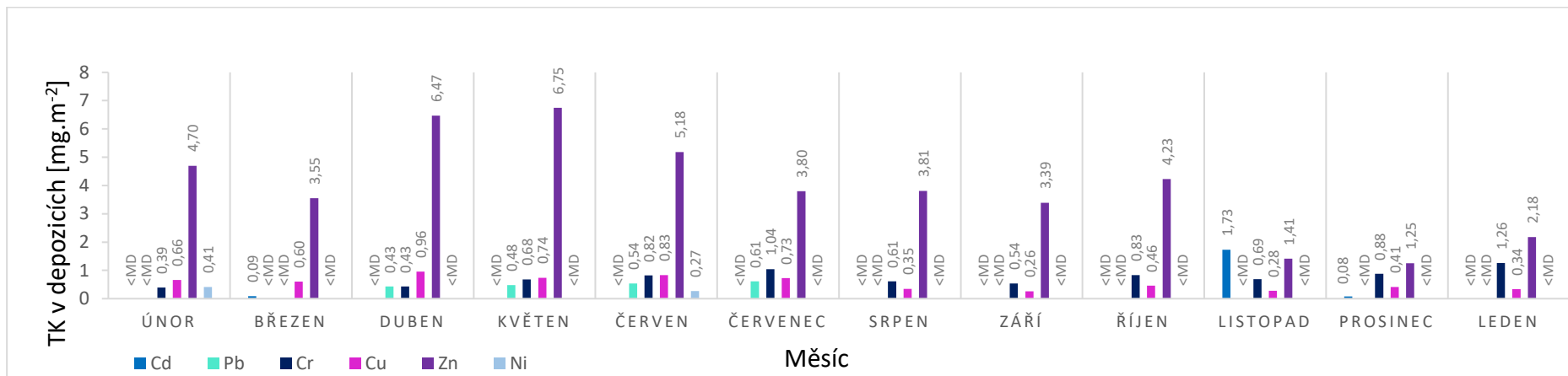
Obr. 21 Obsahy TK v depozicích na lokalitě IV (JZ)

Lokalita V (Z)

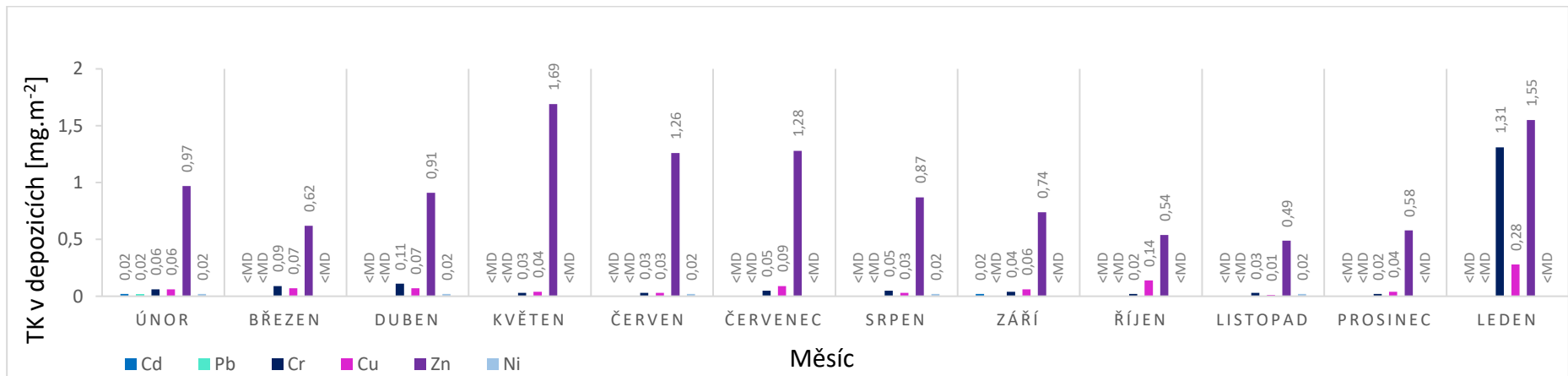
Na této lokalitě bylo Cd změřeno v březnu ($0,09 \text{ mg.m}^{-2}$) a v prosinci ($0,08 \text{ mg.m}^{-2}$). V listopadu byl naměřen značně vysoký obsah Cd ($1,73 \text{ mg.m}^{-2}$). Pb bylo naměřeno v dubnu ($0,43 \text{ mg.m}^{-2}$), květnu ($0,48 \text{ mg.m}^{-2}$), červnu ($0,54 \text{ mg.m}^{-2}$) a červenci ($0,61 \text{ mg.m}^{-2}$). Nejvyšší obsah Cr byl naměřen v lednu ($1,2 \text{ mg.m}^{-2}$), nejnižší v únoru ($0,39 \text{ mg.m}^{-2}$). Nejvyšší obsah Cu byl změřen v dubnu ($0,96 \text{ mg.m}^{-2}$), nejnižší v září ($0,26 \text{ mg.m}^{-2}$). Nejvyšší obsah Zn byl naměřen v květnu ($6,75 \text{ mg.m}^{-2}$), nejnižší v prosinci ($1,25 \text{ mg.m}^{-2}$). Ni byl naměřen pouze v únoru ($0,41 \text{ mg.m}^{-2}$) a červnu ($0,27 \text{ mg.m}^{-2}$). Obsahy Ni ve zbylých měsících nebylo možné určit, jelikož výsledky byly pod mezí detekce přístroje (obr. 22). Na této lokalitě byly naměřeny nejvyšší obsahy Fe ze všech sledovaných lokalit. Nejvyšší obsah byl naměřen v lednu ($101,3 \text{ mg.m}^{-2}$), nejnižší v prosinci ($14,67 \text{ mg.m}^{-2}$) (obr. 24). Tato lokalita se projevila jako nejvíce zatížená Cr a Fe ze všech sledovaných lokalit (obr. 25, obr. 26).

Lokalita VI (JV)

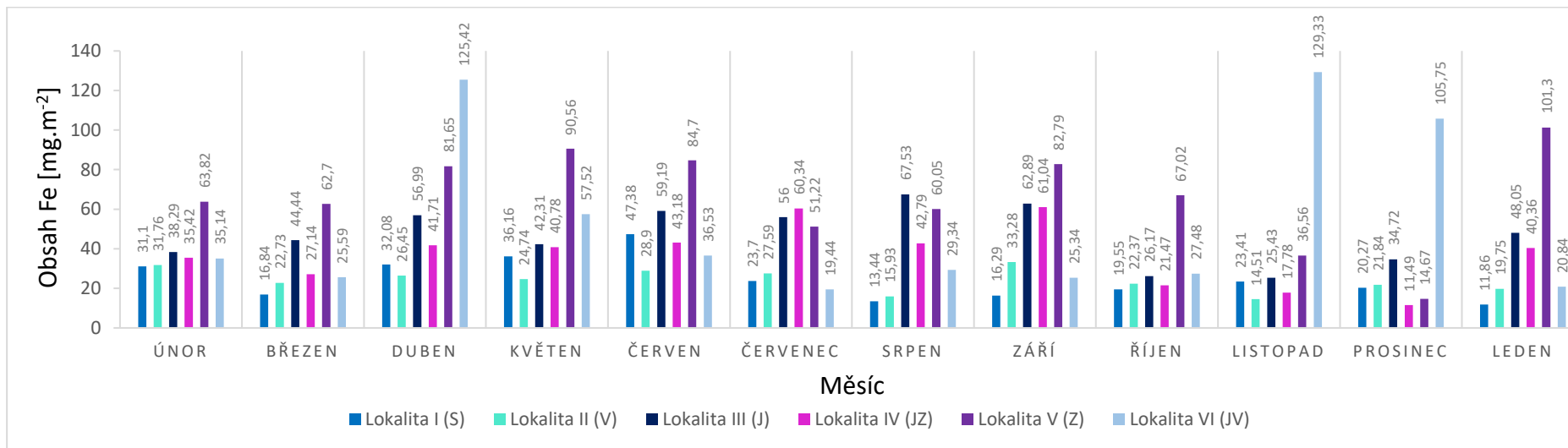
Obsah Cd byl naměřen v únoru ($0,02 \text{ mg.m}^{-2}$) a září ($0,02 \text{ mg.m}^{-2}$). Obsahy Cd v dalších měsících byly pod mezí detekce přístroje. Pb bylo změřeno pouze v únoru ($0,02 \text{ mg.m}^{-2}$). V ostatních vzorcích byly hodnoty taktéž pod mezí detekce přístroje. V lednu byl naměřen vysoký obsah Cr ($1,31 \text{ mg.m}^{-2}$) ostatní obsahy byly značně nižší ($0,02\text{--}0,11 \text{ mg.m}^{-2}$). Nejvyšší obsah Cu změřen v lednu ($0,28 \text{ mg.m}^{-2}$), nejnižší v listopadu ($0,01 \text{ mg.m}^{-2}$). Nejvyšší hodnota Zn byla naměřena v květnu ($1,96 \text{ mg.m}^{-2}$), nejnižší v listopadu ($0,49 \text{ mg.m}^{-2}$). Ni byl naměřen v únoru, dubnu, červnu a srpnu ($0,02 \text{ mg.m}^{-2}$). V ostatních měsících byly obsahy Ni pod mezí detekce přístroje (obr. 23). Obsahy Fe z této lokality byly značně variabilní. Nejvyšší obsah byl změřen v dunu ($125,42 \text{ mg.m}^{-2}$) a naopak nejnižší v červenci ($19,44 \text{ mg.m}^{-2}$) (obr. 24). Celkově se zde projevilo druhé nejvyšší zatížení Fe (obr. 26).



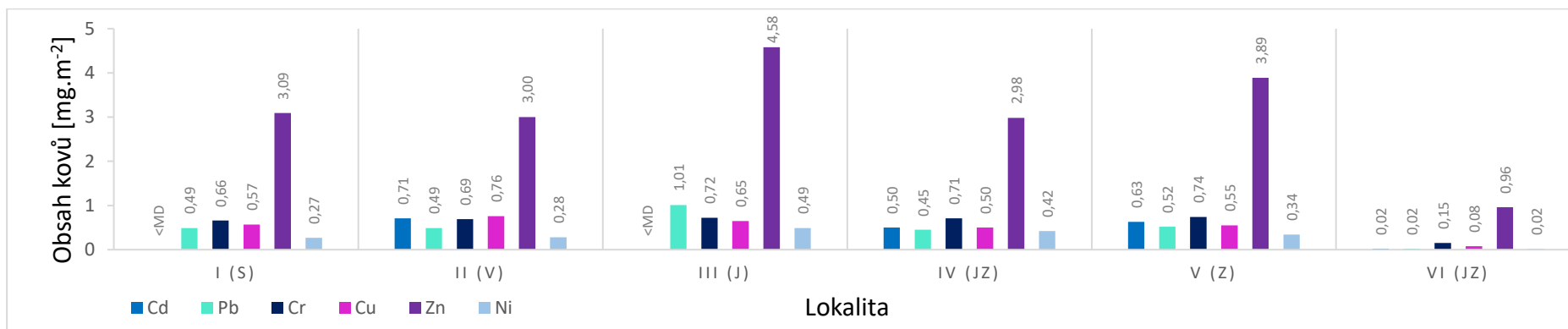
Obr. 22 Obsahy těžkých kovů v depozicích na lokalitě V (Z)



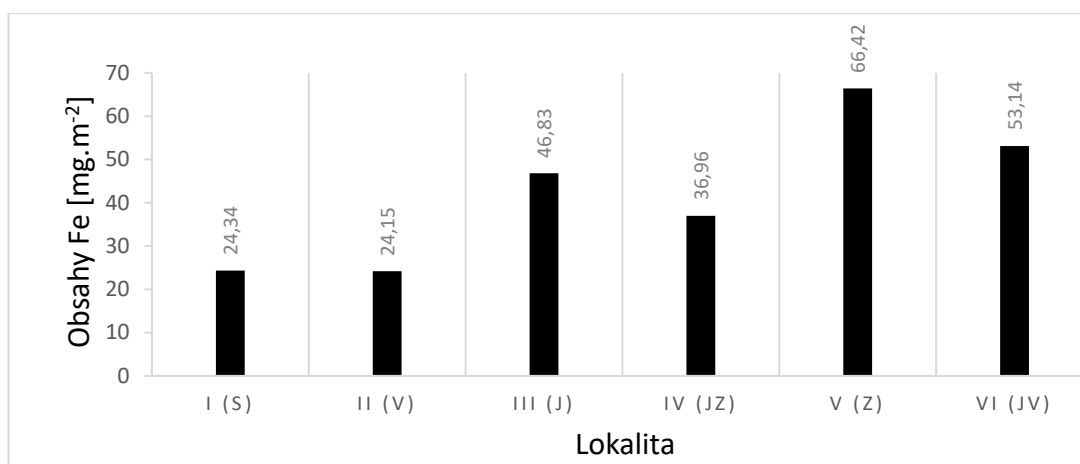
Obr. 23 Obsahy těžkých kovů v depozicích na lokalitě VI (JV)



Obr. 24 Obsahy Fe v depozicích na jednotlivých lokalitách za celý rok



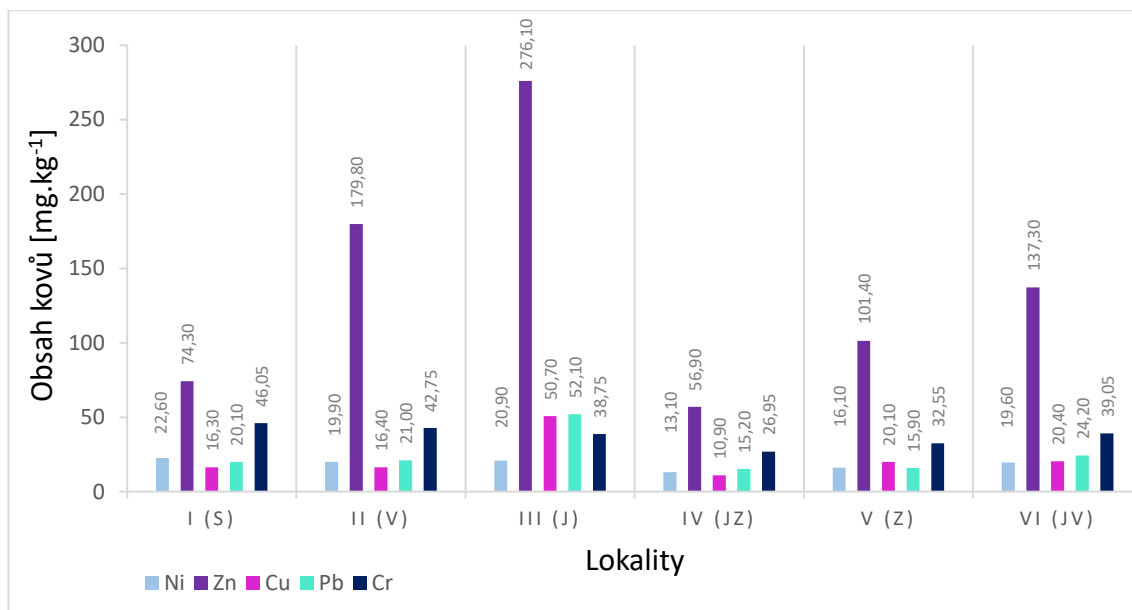
Obr. 25 Průměrné obsahy kovů v depozicích na jednotlivých lokalitách za celý rok



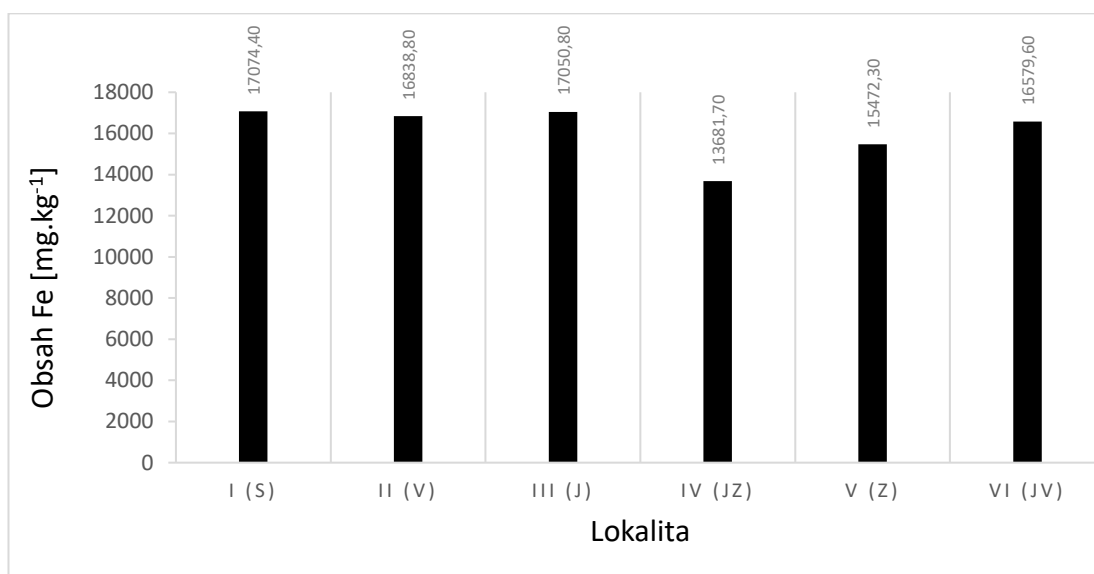
Obr. 26 Průměrné obsahy Fe v depozici z jednotlivých lokalit za sledovaný rok

4.3 Těžké kovy v půdě

Obsahy těžkých kovů v půdě byly analyzovány z půdního horizontu 0–15 cm a shrnuty v grafu (obr. 27, obr. 28). Hodnoty Ni se od sebe zásadním způsobem nelišily. Nejvyšší koncentrace ($22,60 \text{ mg.kg}^{-1}$) byla naměřena na lokalitě I (S) a nejnižší ($13,10 \text{ mg.kg}^{-1}$) na lokalitě IV (JZ). Na druhou stranu obsahy Zn byly značně variabilní. Nejvíce Zn se vyskytovalo na lokalitě III (J) ($276,10 \text{ mg.kg}^{-1}$). Nižší obsah se na lokalitě II (V) ($179,80 \text{ mg.kg}^{-1}$), ale oproti lokalitě IV (JZ) ($56,90 \text{ mg.kg}^{-1}$) a lokalitě I (S) ($74,30 \text{ mg.kg}^{-1}$), byla tato hodnota stále vysoká. Koncentrace Cu byla nejvyšší taktéž na lokalitě III (J) ($50,70 \text{ mg.kg}^{-1}$) a nejnižší na lokalitě IV (JZ) ($10,90 \text{ mg.kg}^{-1}$). Obsahy z lokalit I (S) a II (V), a také z V (Z) a VI (JV) byly téměř srovnatelné. Nejvíce Pb ($52,10 \text{ mg.kg}^{-1}$) vykazovala lokalita III (J) a nejméně opět lokalita IV (JZ) ($15,20 \text{ mg.kg}^{-1}$). Cr bylo naměřeno nejvíce na lokalitě I (S) ($46,05 \text{ mg.kg}^{-1}$) a naopak nejméně na lokalitě IV (JZ) ($26,95 \text{ mg.kg}^{-1}$). Lze říci, že lokalita IV (JZ) vykazovala nejnižší koncentrace všech sledovaných prvků v půdě. Na druhou stranu nejvyšší obsahy (Zn, Pb, Cu) byly naměřeny na lokalitě III (J). Obsahy Fe byly nejvyšší na lokalitě I (S) ($17074,40 \text{ mg.kg}^{-1}$) a III (J) ($17050,80 \text{ mg.kg}^{-1}$). Nejméně Fe bylo naměřeno taktéž na lokalitě IV (JZ) ($13681,70 \text{ mg.kg}^{-1}$).



Obr. 27 Srovnání koncentrací Ni, Zn, Cu, Pb a Cr v půdě na jednotlivých lokalitách



Obr. 28 Srovnání koncentrací Fe v půdě na jednotlivých lokalitách

5 Diskuse

5.1 Atmosférická depozice

Ze značně rozdílných výsledků hodnot atmosférické depozice je patrné, že v průběhu celého roku, byly depozice ovlivňovány určitými vlivy. Např. srážkovými úhrny za daný měsíc, převládajícími směry větru a vzdáleností lokality od různých zdrojů znečištění (průmysl, doprava, lokální topeniště atd.). Obecně všechna meteorologická data bývají využita k vyhodnocení imisní situace (Hekera 2013).

Po zprůměrování hodnot za celý rok vykazovala lokalita I (S) druhé nejvyšší zatížení atmosférickou depozicí ze všech sledovaných oblastí. Nejvyšší hodnota depozice zde byla naměřena v červenci (obr. 17). Tato hodnota je zároveň nejvyšší ze všech lokalit za celý rok. To může souviset s vysokým srážkovým úhrnem za tento měsíc, který činil asi 170 mm (ČHMÚ 2016b). Červenec byl nejdeštivějším měsícem sledovaného roku a průměrná hodnota atmosférické depozice ze všech lokalit byla nejvyšší (obr. 15). Vlivem vyššího úhrnu srážek mohly být částice z atmosféry více strhávány k zemskému povrchu. Druhá nejvyšší hodnota na této lokalitě byla naměřena v listopadu, což mohlo souviset s poklesem teploty a začátkem topné sezóny. Průměrná teplota vzduchu činila asi 4 °C (Magistrát města Olomouce 2016). Totéž platí pro únor, kdy byly naměřené hodnoty spadu taktéž vysoké. Vliv na tuto hodnotu mohl mít také srážkový úhrn, který byl v únoru druhý nejvyšší za celý sledovaný rok, a to 75 mm (ČHMÚ 2016b). V zimních měsících obecně dochází k méně příznivým meteorologickým podmínkám pro rozptyl. Vyšší hodnoty suspendovaných částic v zimě jsou také způsobené v důsledku intenzivního vytápění domácností (Janota, Stach 2014). Vyšší hodnoty byly naměřeny i v červnu a květnu. Důvodem mohla být sekundární prašnost vlivem zvýšeného pohybu chodců a cyklistů. Lokalita I (S) se nacházela v oblasti, kam jihozápadní směr větru, mohl přivánout vyšší množství částic přímo ze železárny (obr. 29) (Magistrát města Olomouce 2016). Je možné, že z tohoto důvodu byly hodnoty na této lokalitě obecně vyšší. Západní proudění mohlo způsobit zatížení depozicí lokality ze 700 m západním směrem vzdálené silnice 4463, kdy projíždějící automobily mohly způsobovat sekundární prašnost (Jaeger-Voirol, Pelt 2000). Dalším důvodem mohla být sekundární prašnost, která byla způsobena návštěvností vodní plochy Poděbrady v letních měsících. Nachází se zde také parkoviště aut, což mohlo vlivem zvýšeného počtu automobilů přispět k zatížení lokality.

Na Lokalitě II (V) se projevila nejvyšší depozice ze všech sledovaných míst (obr.16). Nejvyšší hodnoty byly naměřeny taktéž v červenci, což by mohlo souviset s již zmíněným vyšším srážkovým úhrnem. V červnu, srpnu i v září byly naměřeny vyšší hodnoty depozic, což mohlo souviset se sekundární prašností. K tomuto odběrnému místu těsně přiléhala poměrně frekventovaná cyklostezka. V únoru, listopadu, prosinci i lednu byla naměřena taktéž vyšší depozice. Důvodem mohlo být znečištění z lokálních topenišť, kdy jsou často používány zastaralé kotle a spalovány nekvalitní materiály (Ritz et al. 2003). Tato obydlená část se nacházela západním směrem.

Lokalita III (J) vykazovala nejvyšší hodnoty depozic v zimních měsících (listopad, prosinec, leden, únor). Vzhledem k jejímu umístění na zahradě rodinného domu by toto mohlo souviset s vytápěním okolních domácností (Ritz et al. 2003). Vzhledem k převládajícím směrům větru (obr. 29), by tato lokalita neměla být více ovlivňována znečištěním ze železáren. Na zvýšeném spadu v květnu, červnu a červenci by mohla mít podíl sekundární prašnost z důvodu pohybu lidí na zahradě, zahradničení apod. V období těchto měsíců probíhala také rekonstrukce domu u sousedů, což mohlo mít za následek vyšší podíl prachu.

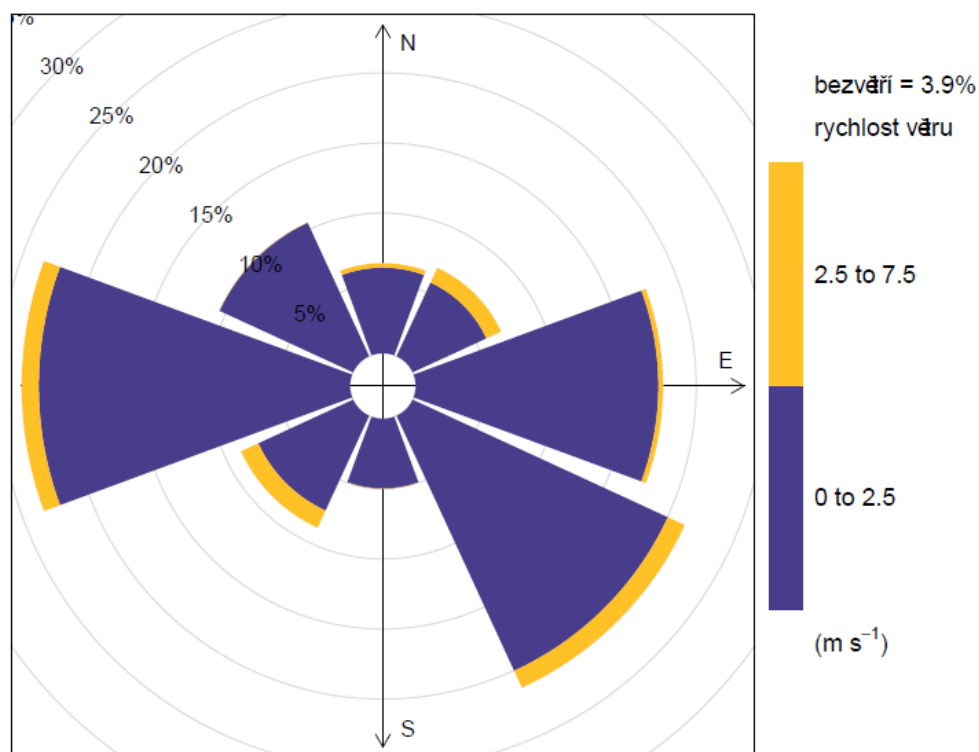
Na Lokalitě IV (JZ) byla naměřena nejvyšší atmosférická depozice v červenci, což mohlo souviset s již zmíněným vysokým srážkovým úhrnem. Druhý nejvyšší spad byl zaznamenán v únoru, kdy srážkový úhrn vykazoval také vyšších hodnot (obr. 17). Vyšší hodnoty spadu v červnu a v srpnu mohly souviset se sekundární prašností ze zemědělské činnosti. Tato lokalita byla ze severu i západu obklopena polem, tudíž se zde mohl vyskytnout vyšší podíl částic v atmosféře vlivem větrné eroze (Vysoudil 2002). Zároveň zde východní a jihovýchodní proudění (obr. 29) mohlo převážně v zimních měsících přivánout znečištění z městské části Řepčín. Vlivem severovýchodního proudění, které dosahovalo $2,5\text{--}7,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (obr. 29), mohla být lokalita zatížena imisemi z železářny.

Odběrné zařízení na lokalitě V (Z) bylo nejbližší stacionárnímu zdroji znečištění, tudíž zde byl vyšší předpoklad zatížení depozic, avšak průměrná hodnota atmosférické depozice za celý rok byla nižší než ze vzdálenějších lokalit I (S) a II (V). Důvodem mohlo být západní proudění, které dosahovalo vyšších rychlostí než proudění východní (obr. 29). Pokud je proudění vzduchu vyšší, částice se drží v atmosféře déle a sedimentují k zemskému povrchu pomaleji (Thorpe et al. 2007). Nejvyšší hodnoty spadu zde ale byly pouze v srpnu a lednu (obr. 17) Vyšší hodnoty by mohly souviset se znečištěním z přilehlé

silnice 4463 a také vlivem sekundární prašnosti způsobené pohybem pracovníků firmy HECKEL.

Lokalita VI (JV) vykazovala nejnižší průměrnou hodnotu depozic ze všech sledovaných lokalit za daný rok (obr. 16). Tato skutečnost by odpovídala tomu, že odběrné zařízení bylo umístěno přes 3 km daleko od železářny. V průběhu roku zde ale nastaly rozdíly v naměřené atmosférické depozici. Vysoké hodnoty v únoru a červenci by mohly souviset s vyšším srážkovým úhrnem, který je již rozebrán u lokality I (S). Vysoká hodnota v lednu mohla být způsobena probíhající topnou sezónou (Ritz et al. 2003). Ostatní značně variabilní hodnoty mohly být způsobeny probíhající stavební činností poblíž odběrného zařízení. Kdy vlivem sekundární prašnosti z pohybu těžké dopravy a pracovníků mohla být lokalita více zatížena.

Po zhodnocení získaných dat bych uvedla jako klíčový faktor vyššího podílu atmosférických depozic úhrny srážek. Pokud se v daném měsíci vyskytly vyšší úhrny srážek, byla zaznamenaná depozice vyšší než v měsících s nižšími úhrny srážek. Dalším významným faktorem by mohla být sekundární prašnost, kdy se především v letních měsících (lokalita I (S) a lokalita II (V)) vyskytla vyšší depozice, pravděpodobně vlivem zvýšeného pohybu chodců a cyklistů a také sekundární prašnost z dopravy. Depozici by mohly ovlivňovat i převládající směry a rychlosti větru. Zatížení lokalit mohlo nastat také v závislosti na topné sezóně a na vzdálenosti od železářny.



Obr. 29 Větrná růžice, lokalita Olomouc Velkomoravská, rok 2016
Zdroj: Odbor životního prostředí Magistrátu města Olomouce

5.2 Těžké kovy v atmosférické depozici

Lokalita I (S) byla zhodnocena jako nejméně zatěžována těžkými kovy. Žádný ze sledovaných kovů, zde nevykazoval nejvyšší průměrné hodnoty. V letních měsících (červen, červenec a srpen), byly na této lokalitě naměřeny obsahy Pb v atmosférických depozicích. Téměř ty samé obsahy Pb byly naměřeny na lokalitě II (V). V červnu a v červenci byla na těchto lokalitách zaznamenána i vysoká atmosférická depozice (obr.15), což by mohlo souviset s výskytem Pb v ovzduší. Čím více atmosférického aerosolu se v ovzduší vyskytuje, tím se zvyšuje možnost navázání těžkých kovů na porézní povrch částic (Vysoudil 2002). Pb, které se v těchto měsících vyskytlo mohlo souviset s dopravou, kdy je emitováno do ovzduší především při spalování pohonných hmot, při otěru pneumatik a také díky sekundární prašnosti, kterou způsobují vozidla (Lough et al. 2005). Cr byl jediný kov, u kterého byly na lokalitě I (S) naměřeny nejvyšší obsahy v lednu. Kromě lokality III (J) byly zaznamenány všechny obsahy Cr v tom samém měsíci. Jelikož je tento kov používán především v metalurgickém průmyslu, mohlo dojít k intenzivnějšímu provozu v železárně. Také bývá použit k impregnaci dřeva, tudíž vyšší koncentrace Cr v lednu mohlo způsobit i lokální topeniště při spalování takto

upraveného dřeva (Bencko et al 1995). Dalším důvodem mohly být také špatné rozptylové podmínky, které jsou charakteristické pro zimní měsíce, především z důvodu inverze (Vysoudil 2002). I když lokalita III (J) vykazovala vyšší hodnoty v červenci, rozdíl mezi touto hodnotou a hodnotou v lednu byl nepatrný. Lokalita I (S) i II (V) vykazovaly značné zatížení Zn v červnu.

Lokalita II (V) bylo nejvyšší zatížení Cu, což by mohlo souviset především s možným používáním pesticidních přípravků ve sledovaném sadu (Bencko et al. 1995). Všechny obsahy sledovaných kovů v depozici jsou kromě zmíněné Cu téměř srovnatelné s lokalitou I (S). To by mohlo souviset s převládajícími směry větru ze západu a jihozápadu (obr. 29).

Na lokalitě III (J) byly zaznamenány nejvyšší průměrné obsahy Pb, Zn a Ni ze všech sledovaných lokalit za celý rok. Obsahy těchto kovů v půdě by této skutečnosti také odpovídaly. Bylo zde zaznamenáno i Cd, ale jelikož obsahy byly vždy v jednom ze vzorků značně vysoké, byly tyto hodnoty ze souboru vyřazeny. Pravděpodobně šlo o chybu v měření či o kontaminaci vzorků. Kromě června, července a srpna, jako tomu bylo u lokalit I (S) a II (V), zde byl naměřen vyšší obsah Pb i v květnu. V srpnu byl obsah velmi vysoký, ale atmosférická depozice zde byla naměřena jako jedna z nejnižších. Do odběrného zařízení se vzorkem mohl spadnout zdroj kontaminace (hmyz, vegetace atd.). Na druhou stranu na této lokalitě byl zjištěn vysoký obsah Pb i v půdě, tudíž oblast může být tímto kovem více zatížena, ať už průmyslovou výrobou v železárně nebo používáním některých průmyslových kompostů (Cibulka et al. 1998). Tato lokalita byla shledána, jako nejvíce zatížená Pb ze všech sledovaných oblastí.

Lokalita IV (JZ), podobně jako lokalita I (S), neobsahovala žádný z kovů v nejvyšším průměrném množství, tudíž se jeví, taktéž jako méně zatížená kovy. Této skutečnosti by odpovídaly i naměřené obsahy těžkých kovů v půdě. Zde se vyskytlo Cd v říjnu a prosinci. V prosinci bylo naměřeno i na lokalitě II (V) a V (Z). V zimních měsících mohl být obsah Cd v depozici způsoben spalováním paliv. Tento kov se vyskytoval velmi variabilně, jak v zimních, tak i v letních měsících. Pravděpodobně šlo vždy o náhodné kontaminace, které se ale neprojeví na obsahu Cd v půdách. Mohlo jít o ovlivnění ze železářny vlivem zpracovávání rud nebo ze zemědělské činnosti kontaminací např. dusičnatými hnojivy (Cibulka et al. 1998). Pb se v depozicích na této lokalitě vyskytlo v dubnu, červnu a červenci. Důvody by byly pravděpodobně velmi podobné, jako tomu bylo na lokalitě I (S), II (V) a III (J), ale jelikož šlo o místo obklopené převážně poli, mohla mít zemědělská činnost vliv na obsahy Pb v atmosférické depozici.

Obsahy Cu a Zn v depozici byly nejvyšší v obou případech v dubnu, což mohlo být způsobené srážkovým úhrnem 55 mm (ČHMÚ 2016b). V dubnu byla naměřená atmosférická depozice nejvyšší právě na této lokalitě.

Lokalita V (Z) se projevila jako nejvíce zatížená Cr a Fe. Jelikož jde o sledované místo, které bylo nejbližší železárně (170 m), tak by vysoké obsahy těchto kovů v atmosférické depozici mohly být způsobeny především provozem železárny. Cr i Fe bývají používány právě převážně v metalurgickém průmyslu (Bencko et al. 1995). Dalším důvodem by mohla být také těsně přilehlá silnice 4463, kdy vlivem sekundární prašnosti způsobené projíždějícími automobily, mohlo docházet k přenosu již usazených částic znovu do ovzduší a s nimi i navázané kovy (Jaeger-Voirol, Pelt 2000).

Lokalita VI (JV) se projevila jako nejméně zatížená všemi sledovanými kovy. To by odpovídalo předpokladu nejvzdálenější lokality od železárny. Na druhou stranu obsahy těžkých kovů v půdě byly srovnatelné, mnohdy i vyšší, než tomu bylo u lokalit, které byly blíže. Mohlo by jít o starou ekologickou zátěž, která zde mohla být kumulována během intenzivnějšího provozu železáren v minulém století. Obsahy Fe v depozici byly značně variabilní, což mohlo souviset s probíhajícími stavebními pracemi poblíž lokality.

5.3 Těžké kovy v půdě

Na lokalitě I (S) byly ze všech sledovaných lokalit naměřeny nejvyšší obsahy Ni (obr. 27). Jelikož se na znečištění životního prostředí tímto kovem podílí asi z 62,1 % veřejná energetika a výroba tepla a také v menší míře (7,1 %) výroba železa a oceli (ČHMÚ 2016f) znečištění lokality by mohlo být způsobeno z těchto zdrojů. Na této lokalitě se také vyskytly nejvyšší hodnoty Cr, které mohly být způsobeny činností metalurgického průmyslu, jelikož Cr bývá využíván k povrchové úpravě kovů (Bencko et al. 1995). Také se zde vyskytovaly nejvyšší hodnoty Fe (obr. 28). Tyto vyšší hodnoty mohly být spojeny s již zmíněným metalurgickým průmyslem a také s převládajícími směry větru ze západu a jihozápadu (obr. 29) (Magistrát města Olomouce 2016).

Na lokalitě II (V) se vyskytovaly vysoké koncentrace Zn a Cr. (obr. 27). Obsah Zn byl dokonce vyšší (obr. 27), než je preventivní hodnota dle vyhlášky 153/2016 Sb. Hodnoty Zn v zemědělských půdách neměly překročit 120 mg.kg^{-1} (Sbírka zákonů ČR 2016). Jelikož se jednalo o jabloňový sad, mohla tato vyšší koncentrace souviset s používáním pesticidů a hnojiv s obsahem těchto kovů (Bencko et al. 1995). Hodnoty

Pb, Cu a Ni byly velmi podobné jako na lokalitě I (S). Hodnota Fe zde byla nižší, což by mohlo souviset s částečnou ochranou tohoto místa stromy podél Mlýnského potok.

V půdě na lokalitě III (J) se vyskytovaly vysoké obsahy všech kovů. Půda byla odebírána na záhonu v zahradě rodinného domu, tudíž vysoké hodnoty mohly být ovlivněny hnojivy s vyšším obsahem těchto prvků. Hodnoty Zn zde byly až čtyřikrát vyšší, než tomu bylo na lokalitě IV (JZ). Obsah Zn na této lokalitě byl více než dvakrát vyšší, než je preventivní hodnota pro tento kov (obr. 27). Indikační hodnota dle vyhlášky 153/2016 Sb., která činí pro Zn 400 mg.kg^{-1} překročena nebyla (Sbírka zákonů ČR 2016). Smyslem těchto indikátorů znečištění je určit místa, která vyžadují další zkoumání, zda látky obsažené v půdě nepředstavují riziko pro lidské zdraví a pro ekosystémy (Indikátory znečištění 2013). Zn bývá součástí mnoha pesticidů, což by mohlo souviset se znečištěním na této zahradě. Dále bývá používán při výrobě slitin, železa nebo galvanizaci oceli. Vysoký obsah Zn by mohl tedy souviset i s činností železářny. Obsahy Pb a Cu sice nepřesahují preventivní hodnoty dle vyhlášky, ale těmto preventivním hodnotám (60 mg.kg^{-1} pro Pb i Cu) jsou značně blízko (Sbírka zákonů ČR 2016). S provozem železářny, stejně jako u Zn, by mohly souviset také vysoké koncentrace Cu, Pb i Fe. Vysoký obsah Cu mohlo také způsobit používání pesticidů. Vyšší obsah Cr mohl souviset s používáním fosforečných hnojiv (obr. 27) (Bencko et al. 1995). Aby bylo v půdě dosaženo snížení obsahu Pb, lze zvýšit pH půdy vápněním nebo zapravit do půdy organickou hmotu. Někteří autoři doporučují odstranit a speciálně upravit svrchní vrstvu půdy nebo překrýt kontaminovanou půdu vrstvou nekontaminovanou (Cibulka et al. 1998).

Lokalita IV (JZ) se jevila jako nejméně znečištěná těžkými kovy. U všech sledovaných kovů vykazovala nejnižší obsahy v půdě. To mohlo být způsobeno větší vzdáleností od průmyslového zdroje a také převládajícími směry větru, kdy v této oblasti převažovalo západní a východní proudění (obr. 29). Tato lokalita (kromě lokality v centru) se nacházela nejdále. Půda byla odebírána z pole, tudíž nízké hodnoty zde byly více než žádoucí.

Lokalita V (Z) vykazovala vyšší hodnoty pouze Zn a Cu (obr. 27), což bylo pravděpodobně spojeno s blízkostí železářny, kde se tyto kovy používají (Bencko et al. 1995). I když byla tato lokalita nejbližší zdroji, koncentrace těžkých kovů v půdě nejsou tak vysoké, jako je tomu u jiných lokalit. Důvodem by mohl být dešťníkový efekt, kdy teplý vzduch z průmyslového zdroje stoupá vzhůru a po ochlazení dopadá dále od svého zdroje. Tím pádem vzdálenější oblasti mohou být více zatížené depozicemi.

Na lokalitě VI (JV) se překvapivě nacházelo více Ni, než tomu bylo na lokalitě V (Z), která byla nejbližší průmyslovému zdroji. Vyšší obsah Ni v centru města mohl být způsoben lokálními topeništi (Ritz et al.). Vyšší hodnota mohla být způsobena také stavebními pracemi, které zde v průběhu odběru atmosférických depozic probíhaly. Hodnota Zn a Cr zde byla třetí nejvyšší a hodnota Pb a Cu dokonce druhá nejvyšší ze sledovaných lokalit. Zn na této lokalitě také lehce převyšoval preventivní hodnotu (obr.27). Usuzuji, že by mohlo jít o starou ekologickou zátěž. Preventivní a indikační hodnoty dle vyhlášky 153/2016 Sb. jsou uvedeny v příloze.

6 Závěr

Cílem práce bylo zhodnotit zatížení vybranými těžkými kovy (Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, Fe) na předem stanovených lokalitách v Olomouci, které mohly být zatíženy provozem železárny. Obsahy těchto kovů byly stanovovány pomocí atomového absorpčního spektrometru z atmosférické depozice a z půdy. Na základě získaných dat byla zjišťována závislost na faktorech, které těžké kovy v atmosféře a pedosféře mohly ovlivnit. Jednalo se především o srážkové úhrny, převládající směry větru, vzdálenost od průmyslového zdroje (železárny) či z jiných zdrojů znečištění pocházející především ze zemědělství, lokálních topenišť a také z dopravy. Nezanedbatelnou byla také sekundární prašnost, která se podílela na obsahu částic v atmosféře.

Z výsledků usuzuji, že kvalita ovzduší v centru Olomouce je podstatně lepší, než je tomu v městské části Řepčín. Na druhou stranu obsahy těžkých kovů v půdě byly téměř srovnatelné s obsahy, které byly naměřeny na ostatních lokalitách blíže k železárně. Pravděpodobně šlo o starou ekologickou zátěž, kterou půda nebyla schopna eliminovat. Tento výsledek dokazuje, jak je rozdílná samočistící schopnost atmosféry a pedosféry.

Drtivá většina kovů se vyskytovala v atmosférické depozici spíše od dubna do srpna. Naopak nejnižší obsahy se nejčastěji vykazovaly v listopadu a prosinci. Ve většině případů souvisel obsah kovů s naměřenou atmosférickou depozicí. V měsících, kdy byla zaznamenána vyšší depozice se objevovaly také vyšší obsahy kovů, které se na tyto částice mohly snadněji navázat. Jako klíčový faktor pro množství depozice bych uvedla srážkový úhrn. To dokazuje průměrná depozice, která byla zaznamenána v červenci, kdy bylo až pětkrát více srážek než v říjnu, kdy byla naměřena nejnižší průměrná depozice.

Ze získaných dat bych jako nejzatíženější těžkými kovy uvedla lokalitu III (J), kde se vyskytly vysoké obsahy těchto prvků jak v půdě, tak v atmosférické depozici. Důvodem ale nejspíše nebude jen samotná železárna, ale také lokální antropogenní zásahy, jako je hnojení nebo používání postřiků s pesticidy a jiné. Lokalita V (Z), která byla nejbližší železárně vykazovaly také vyšší obsahy těžkých kovů, než tomu bylo u jiných sledovaných míst. Vzdálenost od zdroje tedy hraje také klíčovou roli v zatížení určité oblasti znečišťujícími látkami.

O Cd lze říci, že se pouze ojediněle vyskytovalo v atmosférické depozici, ale v půdě zjištěno nebylo, tudíž se do půdy ve větším množství neukládá. Cr se nejvíce vyskytuje v zimě, Pb zase spíše v letních měsících.

Závěrem bych uvedla, že existuje vysoké množství faktorů, které ovlivňují naše životní prostředí a jelikož často dochází k jejich kombinaci, je obtížné přesně určit původce znečištění. Různá odvětví průmyslu atmosféru i pedosféru zatěžují, ale problémem jsou i samotní obyvatelé, kteří mohou svými aktivitami životní prostředí značně zatěžovat.

7 Reference

- Abdulová L., Satolová J., Krejčí B. (2013): Znečištění ovzduší v Ostravě a podobně velkých evropských městech. *Ochrana ovzduší*. 6: 4–10.
- Bartoš J. et al. (1981): *Okres Olomouc. Profil*, Ostrava.
- Bartoš J., Jankovský A. (1988): *Olomouc: průvodce, informace, fakta*. Olympia, Praha.
- Bencko V., Lener J., Cikrt M. (1995): *Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka*. Grada, Praha.
- Braniš M., Hůnová I. (2009): *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. Karolinum, Praha.
- Bureš S., Machar I. (1999): *Litovelské Pomoraví. INVENCE*, Litomyšl.
- Cibulka J. et al. (1991): *Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře*. Academia, Praha.
- ČHMÚ: imise těžkých kovů obsažených v prašném aerosolu [online]. (1998). Praha: Český hydrometeorologický ústav; [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr98cz/kap_0236/kap_0236.htm
- ČHMÚ: imisní limity 2015 [online]. (C2016a). Praha: Český hydrometeorologický ústav; [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2015_enh/pdf/limity_CZ.pdf
- ČHMÚ: počasí – měsíční data [online]. (2016b). Praha: Český hydrometeorologický ústav; [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data#>
- ČHMÚ: průměrné měsíční koncentrace těžkých kovů v suspendovaných částicích [online]. (C2016c). Praha: Český hydrometeorologický ústav; [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2015_enh/pollution_month/month_MOLJ0_R_TK_CZ.html
- ČHMÚ: průměrné měsíční koncentrace těžkých kovů v suspendovaných částicích [online]. (C2016d). Praha: Český hydrometeorologický ústav; [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2015_enh/pollution_month/month_MOLS0_R_TK_CZ.html

- ČHMÚ: územní teploty [online]. (2016e). Praha: Český hydrometeorologický ústav; [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>
- ČHMÚ: znečištění ovzduší těžkými kovy v roce 2015 [online]. (C2016f). Praha: Český hydrometeorologický ústav; [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/15groc/gr15cz/IV6_TK_CZ.html
- Dube A., et al. (2001): Adsorption and Migration of Heavy Metals in Soil. *Polish Journal of Environmental Studies*. 10: 1–10.
- Havlíková T. (2013): Lokality se zhoršeným životním prostředím v urbánním a suburbánním prostoru města Olomouce [diplomová práce]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Hekera P. (2013): Monitoring životního prostředí. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc
- Honza J., Mareček A. (1998): Chemie pro čtyřletá gymnázia. Nakladatelství Olomouc, Olomouc.
- Horálek J., Ostatnická J. (2013): Stav a vývoj znečištění z hlediska České republiky a Evropy. *Ochrana ovzduší*. 4: 32–34.
- Indikátory znečištění: Metodický pokyn MŽP (2013): Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- Jaecker-Voirol A., Pelt P. (2000): PM10 emission inventory in Ile de France for transport and industrial sources: PM10 re-suspension, a key factor for air quality. *Environmental Modelling & Software*. 15: 575–581.
- Janota J., Stach J. (2014): Ovzduší v hlavní městě Praze a vývoj jeho kvality. *Ochrana ovzduší*. 1–2: 4–14 .
- Kalač P. et al. (2010): Chemie životního prostředí. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, České Budějovice.
- Klouda P. (2003): Moderní analytické metody. Vyd. Ostrava: Pavel Klouda.
- Kurfürst J.(ed.) et al. (2008): Kompendium - ochrana kvality ovzduší. Ekomonitor spol. s.r.o., Chrudim.
- Lough C. G. et al. (2005): Emission of Metals Associated with Motor Vehicle Roadways. *Environ. Sci. Technol.* 39: 826–836.
- Magistrát města Olomouce (2016): Vyhodnocení kvality ovzduší v lokalitě Olomouc-Velkomoravská. ENVITECH BOHEMIA S.R.O., Praha.

- Manahan S. E. (2010): Environmental chemistry. CRC Press, Boca Raton.
- MŽP: definice půdy [online]. (C2008–2015). Praha: Ministerstvo životního prostředí; [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/definice_pudy
- Olomouc: demografie [online]. (C1998–2000). [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.olomouc.com/demografie/>
- Olomouc: o městě [online]. (C2012). Olomouc: Magistrát města Olomouce; [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.olomouc.eu/o-meste>
- Olomouc: průmysl a vybrané tradiční firmy [online]. (C2012). Olomouc: Magistrát města Olomouce; [cit.2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.olomouc.eu/podnikatel/profil-mesta-a-informace-pro-investory/prumysl-a-tradicni-firmy>
- Prvky: periodická tabulka – kadmium [online]. (C2009–2017a). [cit.2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/48.html>
- Prvky: periodická tabulka – železo [online]. (C2009–2017b). [cit.2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/26.html>
- Rauch S. et al. (2000): Elemental Association and Fingerprinting of Traffic-Related Metals in Road Sediments. *Environ. Sci. Technol.* 34: 3119–3123.
- Ritz M., Bartoňová L., Klika Z. (2003): Emise těžkých kovů a polyaromatických uhlovodíků při spalování uhlí v průmyslových a malých topeništích. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava.* 49: 69–82.
- Řezníček P. (2011): Hodnocení úrovně znečištění ovzduší prašným aerosolem frakcí PM10 a PM2,5 ve městě Olomouci [diplomová práce]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- ŘSD ČR: celostátní sčítání dopravy [online]. (C2011). Praha: Ředitelství silnic a dálnic ČR; [cit.2017-05-07]. Dostupné z: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/results/section/default.aspx?l=Olomouck%C3%BD%20kraj>
- Sbírka zákonů ČR: vyhláška 153/2016 Sb. [online]. (2016). AION CS, s.r.o. [cit.2017-05-07]. Dostupné z: <https://zakonyprolidi.cz/cs/2016-153>
- Správa CHKO Litovelské Pomoraví: charakteristika oblasti [online]. (C2017). AOPK ČR; [cit.2017-05-07]. Dostupné z: <http://litovelskepomoravi.ochranaprirody.cz/charakteristika-oblasti/>
- Šarapatka B. (2014): Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

- Thorpe J. A., Harrison M. R., Boulter G. P., McCrae S. I. (2007): Estimation of particle resuspension source strength on a major London Road. *Atmospheric Environment*. 41: 8007–8020.
- UNEX: o společnosti [online]. (C2016–2017). Uničov: UNEX; [cit.2017-05-07].
Dostupné z: <http://www.unex.cz/cs>
- Urbášková S. (2008): Tematický atlas olomouckého kraje. Kartografie PRAHA, a. s., Praha.
- Vach M. (2013): Ochrana ovzduší. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha.
- Vrzal R. (2014): Základy toxikologie. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Vysoudil M. (2002): Ochrana ovzduší. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Vysoudil M. (2013): Základy fyzické geografie 1: meteorologie a klimatologie. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Výškopis: Výškopis ČR [online]. (C2017). [cit.2017-05-07]. Dostupné z: <http://vyskopis.cz/>
- Wikipedia: Litina [online]. (2017). [cit.2017-05-07]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Litina>

8 Příloha

Tab. 1 Preventivní hodnoty obsahů rizikových prvků v zemědělské půdě zjištěné extrakcí lučavkou královskou (mg.kg⁻¹ sušiny)

Kategorie půdy	Preventivní hodnota					
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Běžné půdy	0,5	90	60	50	60	120
Lehké půdy	0,4	55	45	45	55	105

Zdroj: www.zakonyprolidi.cz

Tab. 2 Hodnoty indikátorů znečištění zemin (mg.kg⁻¹ sušiny)

Zemina	Indikační hodnota					
	Cd	Cr ⁶⁺	Cu	Ni	Pb	Zn
Průmyslově využívané území	800	5,6	41 000	20 000	800	310 000
Ostatní plochy	70	0,29	3 100	1 500	400	23 000

Zdroj: www.mzp.cz

Tab. 3 Indikační hodnoty při jejichž překročení může dojít k ohrožení zdraví lidí a zvířat (mg.kg⁻¹ sušiny) (extrakce lučavkou královskou)

Rizikový prvek	Indikační hodnota
Cd	20
Pb	400

Zdroj: www.zakonyprolidi.cz