

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
PEDAGOGICKÁ FAKULTA
KATEDRA APLIKOVANÉ CHEMIE

**Obsah vybraných kovů v půdě jako indikátor
kontaminace v důsledku silniční dopravy**

Tomáš Volavka

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Martin Šeda, Ph.D.

2015

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledky obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum: 15. 4. 2015

Tomáš Volavka

Poděkování

Děkuji vedoucímu této mé bakalářské práce Mgr. Martinu Šedovi, Ph.D., za vedení této práce, rady a odborné konzultace.

Abstrakt

Půda, největší přírodní bohatství každého státu, je neustále ohrožena a vystavena negativním vlivům. Ke znehodnocování půdy do jisté míry přispívá i člověk, mimo jiné i díky budování infrastruktur a jejich údržbou. Hlavní dopravní tepny a hlavní silnice jsou v zimním období ošetřovány chemickými látkami, zejména chloridem sodným, popřípadě dalšími látkami. Tyto látky se díky splachům dostávají do půdy, kde jejich koncentrace narůstá nepřírozenou cestou a to negativně ovlivňuje přirozené minerální složení půd i vegetaci daného místa. V této práci bylo analyzováno železo, měď a sodík v půdách v blízkosti silnice mezi Veselím nad Lužnicí a Českými Budějovicemi. Vzorky byly odebrány v různých vzdálenostech od silnice a vždy ve 2 hloubkách (0-15cm a 15-30 cm), následovalo stanovení pomocí atomové absorpční spektrometrie (AAS). Obsah železa se pohyboval v rozmezí 1 744 mg·kg⁻¹ až 15 488 mg·kg⁻¹, obsah mědi v intervalu 3,74 mg·kg⁻¹ až 31,41 mg·kg⁻¹ a obsah sodíku 37 mg·kg⁻¹ až 769 mg·kg⁻¹. Nejvyšší naměřené hodnoty byly detekovány v blízkosti silnice.

Klíčová slova

půda, atomová absorpční spektrometrie, železo, měď, sodík, solení silnic

Abstract

Soil, the largest natural resource of each and every country, is permanently threatened and exposed to negative influences. Humans are responsible for soil degradation too, for example because of building and maintaining the infrastructure. In winter, the main thoroughfare and highways are treated with chemicals, primarily sodium chloride or the other substances. These substances get into the soil due to run-off where their concentration increases. This fact is disruptive to the natural mineral composition of soils thereby influencing the vegetation of the place. Iron, copper and sodium were analyzed in soils near the road between Veselí nad Lužnicí and České Budějovice. Samples were taken at five different distances from the road in two different depths (0-15 cm and 15-30 cm), followed by determination using atomic absorption spectrometry technique (AAS). The iron content ranged from 1 744 mg·kg⁻¹ to 15 488 mg·kg⁻¹. The concentrations of copper and sodium was 3,74 – 31,41 mg·kg⁻¹ and 37 – 769 mg·kg⁻¹ respectively. The highest concentrations of metals were detected in the soil samples near the road.

KEYWORDS

soil, atomic absorption spectrometry, iron, copper, sodium, salting roads

Obsah

1	Úvod.....	7
1.1	Cíl práce.....	9
2	Rešerše	10
2.1	Atomová absorpční spektrometrie	10
2.2	Železo.....	12
2.3	Sodík	14
2.4	Měď	18
2.5	Silniční doprava	20
3	Praktická část	22
3.1	Odběrová místa	22
3.2	Odběry vzorků	24
3.3	Zpracování vzorků	25
4	Výsledky a diskuze	26
5	Závěr	35
6	Literatura.....	36
7	Seznam zkratk	39
8	Přílohy.....	40

1 Úvod

Jedním ze základních dějů, který vůbec umožňuje život na naší planetě, je fotosyntéza, během které je do atmosféry uvolňován kyslík. Atmosféra obsahuje přibližně 21% kyslíku. Producenty kyslíku jsou zelené rostliny, řasy, prvoci, kteří obsahují chlorofyl (zelené barvivo) potřebný k fotosyntéze. Flóra, která je největším producentem kyslíku, roste většinou v půdě, kterou má jako svůj nosný materiál. Získává z ní vodu, v ní rozpuštěné živiny nutné pro svou existenci. Půda, jako přírodní bohatství každého státu, je nezbytná pro flóru, faunu a lidstvo. Vzniká během půdotvorného procesu z matečného substrátu. Půdotvorný proces je velmi pomalý a zdoluhavý proces trvající desítky až stovky let. Kvalita vznikající půdy se odvíjí od typu půdotvorného procesu a matečného substrátu, ze kterého vzniká. Ne každá nově vzniklá půda je vhodná pro zemědělskou činnost. Půda je omezený zdroj, velmi snadno zničitelný a kontaminovatelný antropogenní a zemědělskou činností. Velký problém v současné době představují kyselé deště. Zvýšená koncentrace kovů v půdě se projeví zvýšeným obsahem kovů v těle rostlin. Kovy, které nalezneme v rostlinném těle, budou pravděpodobně nalezeny na příslušném místě i v půdě. Za výjimku lze považovat některé další prvky, které jsou rostliny schopné absorbovat listy. Pedologie, jakožto obor studující půdu, hraje významnou roli při hospodaření s půdou. Bonitace půd v minulém století umožnila půdy v České republice zmapovat, zaevidovat a zanést jednotlivé typy půd do map. Podle kvality jsou půdy rozděleny do skupin a příslušně ohodnoceny jednotlivé pozemky. Podle těchto informací je s pozemky dále manipulováno a jsou určeny k výstavbě či zemědělské činnosti.

Minerální složení jednotlivých typů půd je rozmanité a odlišné. Podle toho jsou pro určitý typ charakteristické a vhodné jiné plodiny. Tento fakt je v mnoha případech a mnoha místech planety narušen těžbou nerostných surovin, hutnickým průmyslem, dopravou a mnoha dalšími faktory. Silniční doprava zvyšuje koncentraci kovů v blízkosti silnic, bohužel i těch toxických (např. olovo). Nárůst koncentrací těchto prvků má negativní dopady na životní prostředí, ať už přímo nebo s odstupem času. Zvýšenou koncentraci sodíku v blízkosti silnic lze připsat důsledku používání chemického posypu v zimních měsících. Jako chemický posyp je používán nejčastěji

chlorid sodný a chlorid vápenatý v technické kvalitě, často s obsahem dalších kovů. Zasolené půdy nejsou vhodné pro mnoho druhů rostlin, navíc se ionty kontaminujících kovů dostávají do spodních vrstev půdy, kde mohou znečistit podzemní vody. Z tohoto důvodu není chemický posyp povolen v okolí pramenů pitné vody, kde je upřednostňováno použití ostatních typů posypů.

Pro stanovení příslušných koncentrací kovů v půdě lze použít několik způsobů. Jednou z možností je atomová absorpční spektrometrie. Jedná se o optickou analytickou metodu, založenou na principu měření úbytku záření, které je způsobeno volnými atomy stanovovaného prvku, který absorbuje záření. Nejjednodušší pro analýzu je kapalný vzorek. Při aplikaci této metody na půdní vzorky je nutné připravit vhodný výluh, který poslouží k následné analýze.

1.1 Cíl práce

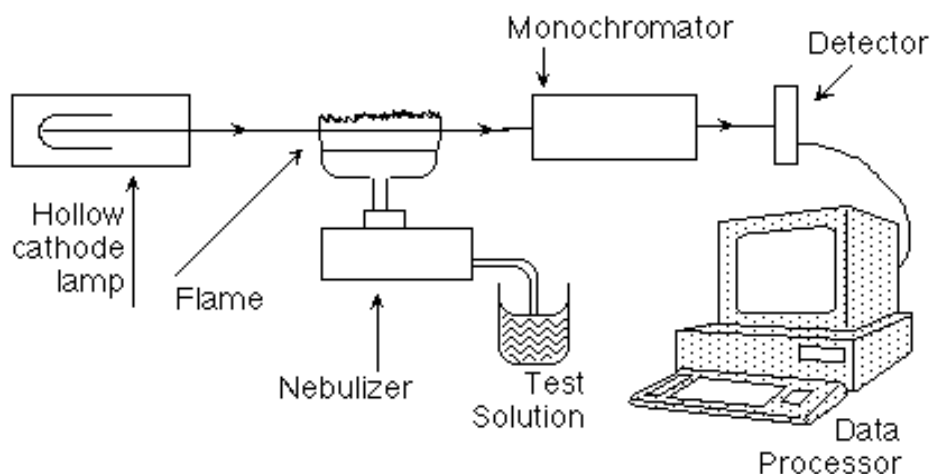
Cílem této práce bylo sepsání literární rešerše a laboratorní stanovení koncentrace vybraných kovů v půdě. Vybrané kovy (železo, měď a sodík) byly stanoveny atomovou absorpční spektrometrií. Literární rešerše je zaměřena na sledované kovy, jejich vliv na životní prostředí a použitou analytickou metodu (AAS). Práce je zaměřena na stanovení koncentrace vybraných kovů v půdě jako indikátor kontaminace silniční dopravou, možnost využití sodíku jako ukazatele znečištění půdy posypovou solí během zimní údržby. Z tohoto důvodu byly vzorky odebrány během celého roku a to ve všech ročních obdobích.

2 Rešerše

2.1 Atomová absorpční spektrometrie

Atomová absorpční spektrometrie (AAS) je optická analytická metoda založena na absorpci záření volných atomů zkoumaného vzorku. Počátky této metody sahají do 19. století. Volné atomy jsou schopné absorbovat záření o vlnové délce, které samy vyzařují. Absorpcí přejde atom ze základního stavu do vzbuzeného stavu a jeho elektrony přejdou do vyšší energetické hladiny. Přejod se neděje samovolně, ale je podmíněn zářením (výbojkou s dutou katodou). Rozmezí vlnové délky, které jsou schopné atomy absorbovat, je od 190 nm do 900 nm. Na vytvoření volných atomů ve spektrometru se používá plamen. Teplota plamene se pohybuje mezi 2 000-3 500 K. Při této teplotě je vzorek rozkládán. Metoda AAS je metodou srovnávací, při které je měřena absorbance, jako koncentrace sledovaného prvku. Spektrometr má 5 základních součástí: zdroj záření, atomizátor, monochromátor, detektor, indukční systém (DRBAL, KŘÍŽEK; 1999).

Obr.č. 1: Schéma AAS



zdroj: <http://web.nmsu.edu/~kburke/Instrumentation/AAS1.html>, 5. 3. 2015

Zdroj záření představují bezelektroodové a anodové lampy. Tyto lampy jsou konstruovány pro většinu prvků, buď specificky pro jeden určitý prvek, nebo pro více prvků. Jsou vyrobeny z křemičitého (optického) skla. Při výrobě je sledována vlnová délka záření, která bude použita při analýze. Výbojky s dutou katodou pracují s výbojem, který vznikne během ionizace vzácného plynu, kterým je výbojka plněna. Výbojky se plní vzácnými plyny zejména neonem a argonem. Záření je stabilní a intenzivní. Tyto výbojky emitují spektrum s převládajícími rezonančními čarami. Úkolem monochromátoru je vybrat záření pouze o určité vlnové délce. Většina přístrojů obsahuje mřížkový monochromátor, který je schopen pohltit záření o vlnové délce 180-900 nm. Jako detektory jsou používány fotonásobiče, které zesilují signál a převádějí optický signál na signál elektrický. Posledním článkem k získání výsledku je počítač, do kterého se ukládají všechny naměřené výsledky a vytvořené metody (PAVELKA, a kol., 1990).

Stanovení prvků v půdě se na atomovém absorpčním spektrometru provádí na upravených vzorcích, s výjimkou stanovení dusíku. Vzorky je nutno před analýzou vysušit, rozdrtit, připravit výluh a poté stanovit koncentraci kovu ve výluhu na AAS. Touto metodou lze stanovit téměř všechny kovy, které analyzovaný vzorek obsahuje. Železo je stanovitelné poměrně snadno, tento fakt je způsoben dostatkem Fe v zemské kůře. Optimální stanovení železa probíhá při vlnové délce 248 nm za použití plamenové atomizace s plamenem typu vzduch-acetylen. Ke stanovení mědi se také používá směs acetylen-vzduch. Při stanovení mědi nedochází ve většině případů k rušivému efektu jiného kovu a vzorky není třeba speciálně ředit a upravovat. Optimální vlnová délka pro měď je 324 nm. Sodík je ve většině případů stanovován v režimu emise za přítomnosti pufru v analyzovaném vzorku. Optimální emise při směsi acetylen-vzduch je 589 nm (CRESSER, 1994).

2.2 Železo

Železo (*Ferrum*, Fe), kov tvořící spolu s Co a Ni tzv. triádu železa. Některé organismy jej potřebují na přenos kyslíku, neboť je součástí hemoglobinu. V přírodě lze nalézt železo v mnoha formách. Nejstarší nálezy jsou přisuzovány dopadům meteoritů, které roztavily okolní horninu (železnou rudu) a daly vzniknout železným kuličkám. Ve vesmíru je velmi rozšířeno a jinak tomu není ani na naší planetě, kde tvoří hlavní část zemské kůry. Co se rozšíření kovů na Zemi týká, železo představuje čtvrtý nejčastější prvek. Nejvýznamnějšími a nejrozšířenějšími sloučeninami železa jsou hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4), siderit (FeCO_3) a pyrit (FeS_2). Díky velkému rozšíření ložisek rud železa lze k těžbě vybírat pouze ta nejkvalitnější naleziště, ale také musíme brát v úvahu i dlouhodobý dopad na okolní krajinu a vliv na životní prostředí. Největší naleziště vhodné pro těžbu jsou v západní Austrálii, kde probíhá těžba hematitu, který obsahuje až 70 % železa.

Jedná se o kovově lesklý kov tvořící kubickou mřížku a mající feromagnetické vlastnosti. Teplota tání není stálá, ale pohybuje se okolo 1 535°C. Ovlivňuje ji přítomnost uhlíku a to tak, že čím více uhlíku je přítomno, tím je teplota tání nižší. Jedná se o kov, který velmi snadno podléhá korozi. Koroze je děj, ke kterému dochází za přítomnosti kyslíku, vody a elektrolytu. Dochází tak ke znehodnocení železa.

Železo se v půdě vyskytuje ve formě Fe^{2+} , která se snadno oxiduje na Fe^{3+} a stejně tak probíhá v půdě i jeho redukce. Železo je v půdě velmi významné pro rostliny. Váže se zde do tzv. chelátů a tím se dostává do půdního roztoku, který mohou přijímat rostliny. Nedostatečný obsah iontů železa v půdě je na rostlinách velmi dobře viditelný. V rostlinném těle slouží železo (jeho ionty Fe^{2+} a Fe^{3+}) k metabolismu dusíku a především k tvorbě chlorofylu, což je zelené barvivo potřebné k fotosyntéze. Rostliny kumulují železo v listech. Pokud půda, na které se rostlina nachází, obsahuje nedostatek železa a není jinak rostlině dodáno, rostlina nemá dostatek chlorofylu. Tento nedostatek se projeví tzv. chlorózou (slámově žluté zbarvení rostliny) (LARCHER, 1988).

Ke konci minulého století proběhla v Chorvatsku práce na stanovení vybraných kovů metodou AAS a výluhu v EDTA a v HNO_3 a porovnání výsledků obou výluhů. Půda určená k analýze byla odebrána v lesích. Celkem bylo analyzováno 50 vzorků, ve kterých byly určeny všechny pozorované kovy, hodnoty obsahů jednotlivých kovů poté

byly zprůměrovány. Průměrná koncentrace železa z kyseliny dusičné činila $5\,907\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Žádný další sledovaný kov tuto koncentraci nepřekročil. Zároveň bylo stanovení provedeno metodou EDTA, kterou byly stanoveny značně nižší koncentrace kovů (s výjimkou kadmia) (KUČAK, BLANUŠA, 1998).

Použitá metoda (AAS) pro stanovení kovů v půdě ukazuje pokles koncentrací se vzdáleností od silnice. Pro práci byly vytipovány dvě lokality, přičemž je patrný klesající trend směrem od vozovky. Nejvyšší koncentrace prvků byly zjištěny na kruhovém objezdu. Kovy byly stanovovány ve výluhu půd a kyseliny dusičné (ASLAM, a kol., 2011). Při měření, které proběhlo v Oslu, byla stanovena střední koncentrace mědi $23,5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Železo a sodík nebyly stanoveny na AAS ale na ICP-AES, naměřené střední hodnoty jsou pro Fe $21\,100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a pro Na $306\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Během sledování byla zjištěna vyšší koncentrace mědi (TIJHUIS, a kol., 2002).

2.3 Sodík

Sodík (*Natrium*, Na) patří mezi nejrozšířenější prvky v zemské kůře a nejčastěji se vyskytuje ve formě NaCl (chloridu sodného) známého též jako halit nebo sůl kamenná. Dalším velkým zdrojem sodíku je mořská voda. Mocnost podzemních ložisek dosahuje několika metrů, nachází se téměř po celém světě. Způsob těžby závisí na místě naleziště. Ve Velké Británii se 18% těží jako sůl kamenná, která se používá jako posypová sůl na silnice v zimním období. Ve světovém měřítku představuje spotřeba soli kamenné, jako posypového materiálu silnic, necelých 17% z celkové produkce (GREENWOOD, 1993).

Sodík patří do skupiny prvků, které jsou označovány jako alkalické kovy, obecně známé jako kovy lehké, kovově lesklé a velmi měkké (Mohsova stupnice tvrdosti řadí sůl kamennou na druhé místo). Celkový obsah sodíku v půdě je nižší než obsah draslíku. V přírodě se vyskytuje pouze ve formě sloučenin. Vyrábí se elektrolýzou taveniny NaCl, při které na grafitové anodě vzniká chlor, na železné katodě sodík. Všechny alkalické kovy mají charakteristické zbarvení plamene. Sodík zbarvuje plamen do žluté barvy.

Chlorid sodný (NaCl) je možné získat několika způsoby. Jednou z možností je získání z mořské soli. Mořská sůl se nechá odpařit a vzniká tzv. solární sůl, která je určena k dalšímu zpracování. Jiné způsoby jsou založeny na získání sodíku z minerální soli. Obecně lze tyto způsoby rozdělit podle typu těžby do několika skupin. Pokud bude probíhat těžba extrakcí, dojde ke vzniku solanky, která bude připravena k dalšímu zpracování. Dalším používaným způsobem je těžba v komorách. Tímto procesem se získává sůl kamenná. Takto získaná sůl následně prochází rafinací, ze které jako produkt vystupuje opět solanka. Vytěžená sůl, která neprojde rafinací je určena jako sůl krmná, nebo jako sůl posypová. Průmyslově se sodík vyrábí elektrolýzou ze směsi NaCl a CaCl_2 při teplotě cca 580°C. Kovový sodík se vyloučí na ocelové katodě a tento prvek má silné redukční účinky. Používá se jako antidetonátor přidávaný do benzínu, nebo při výrobě pryží a elastomerů (MUCK, 2006).

Chlorid sodný (NaCl) má velké využití při zimní údržbě silnic. Je nejpoužívanější chemickou látkou na údržbu silnic v zimních měsících. Nejčastěji se na zimní údržbu používá v pevném stavu, ale je možno využít i solanku (nasycený roztok

chloridu sodného). Používají se částice velikostně v rozmezí od 0,16 do 0,5 mm. Optimální teplota, za které chlorid sodný ideálně reaguje, se pohybuje v rozmezí okolo 5°C až -7°C. Pokud dojde k překročení této teploty, chlorid sodný ztrácí své tavící schopnosti a při teplotách pod -11°C se již prakticky nepoužívá, protože by byl neúčinný. Pokud tedy dojde k většímu poklesu teploty, musí být používán chlorid sodný smíchan s chloridem vápenatým. Tato směs je účinná i za nižších teplot a to až do -35°C. Posypové soli obsahují protispékací materiály jako jsou ferrokyanid draselný nebo ferrokyanid sodný. Používání NaCl jako posypové soli v blízkosti zemědělské půdy zvyšuje koncentraci sodíku a protispékacích látek v půdě. I z tohoto důvodu je vynakládána stále větší snaha na vytvoření jiného posypového materiálu, který by byl šetrnější k okolí. Jedním z možných kandidátů je tzv. CMA (octan vápenato-hořečnatý), avšak v současné době se od používání této látky odstupuje. Během testovacích pokusů, které probíhaly v zahraničí, bylo zjištěno, že doba nástupu účinnosti je pomalejší než u NaCl, látka je dražší a navíc u lidí pracujících s touto látkou se začali objevovat dýchací problémy (MECHLER, 2001). V České republice je v zimním období chemický posyp používán přibližně na 42% celkové silniční síť. Na zbytku jsou používány materiály, které jsou šetrnější k životnímu prostředí, jedná se především o šěrky, písky a drtě. V 90. letech 20. století byl proveden výzkum, kde bylo porovnáváno použití chemického posypu suchého a vlhčeného. Z výsledku vyplývá, že jako výhodnější se ukazuje používání vlhčeného posypu, který však nelze používat vždy. Pokud dochází k používání suchého posypu, tak na ošetření plochy jednoho metru čtverečního je zapotřebí 19,63 g·m², zatímco vlhčeného materiálu je zapotřebí 16,63 g·m² (MECHLER, 2001). Během používání posypu vzrůstá vodivost půdy. Vlivem velkého používání posypové soli ve Švédsku dochází k výrazné kontaminaci půdy v blízkosti silnic. Z čehož je patrné ohrožení kontaminací některých mělkých nálezíšť pitné vody. V okolí Norsholmu bylo použito na zimní údržbu 30 tun a v okolí Svanbergu 13 tun posypové soli (BÄCKSTRÖM, a kol, 2004).

V České republice se používání chemických posypových materiálů a celková zimní údržba silnic řídí podle zákona č.104/1997 Sb. přílohy 7: Technologie zimní údržby. Použití chemického posypu je dovoleno pouze na místech k tomu určených. Chemické ošetření se může použít za předpokladu, že výška sněhu nepřesahuje 3 cm. Pokud by souvislá vrstva sněhu byla vyšší jak 3 cm, chemické ošetření by bylo

neúčinné. Dále je možno chemický posyp použít na odstranění náledí. Do teploty okolo -5°C postačí použití chloridu sodného a při vyšším mrazu je nutno použít chlorid vápenatý nebo směs obou těchto chloridů. Dávka, která by měla postačit na ošetření povrchu silnice, je $20\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Maximální použitelná dávka je $60\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, ale tato dávka se používá pouze ve výjimečných případech. Často je nahrazována jinými technologiemi údržby.

Chemické ošetření se provádí pomocí sypačů. Těchto strojů je několik druhů. Pokud je používán stroj, který má zkrápěcí zařízení a údržba je provedena pomocí solanky, tak doporučená koncentrace chloridu sodného v solance je 18-21%. Posypové soli obsahují stopové množství dalších látek a kovů (mimo jiné i těžké kovy), které se touto cestou dostávají do půdy a odtud do životního prostředí. Doposud nebyly stanoveny limity pro obsah těžkých kovů v posypových materiálech (PORTÁL VEŘEJNÉ SPRÁVY, 2015).

Posypová sůl, jako taková, je popsána v bezpečnostním listě pod oficiálním a obchodním názvem. Posypová sůl. Jedná se o sůl, kterou tvoří z více jak 99,8 % chlorid sodný, určenou k zimní údržbě silnic a chodníků. Nemá určené jiné zpracování. Nemá být klasifikována jako nebezpečná látka, avšak velké množství může mít negativní dopady na životní prostředí. Jedná se o krystalickou látku, bílé až šedé barvy, bez zápachu. Za normálních podmínek stabilní, rozpustná ve vodě a glycerolu. LD_{50} pro králíka $10\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, LC_{50} pro sladkovodní ryby $1\,294,6\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (LACH–NER.CZ, 2015).

Zvýšená koncentrace sodíku v půdě má negativní vliv na vegetaci. Je prokázáno, že zvýšení hladiny sodíku v půdě má za následek špatnou absorpci prvků, jako je draslík, vápník nebo hořčík, které rostliny potřebují ke svému životu (MOŤKOVÁ a kol., 2014). Dále sodík ve vyšších koncentracích zvyšuje pH půdy, omezuje dostupnost mikronutrientů, pro většinu rostlin se stává toxickým. Půdy, ve kterých je zvýšená koncentrace sodíku, lze rozdělit do dvou skupin, a sice půdy alkalické a půdy zasolené. Alkalické půdy jsou charakteristické vysokými koncentracemi sodných kationtů a vysokým pH (8,5 a více). Zasolené půdy obsahují stejně jako půdy alkalické sodné kationty, ale navíc ještě obsahují anionty síranové a chloridové – pH těchto půd je nižší. Vegetace rostoucí na zasolených půdách má problém s příjmem vody a živin.

Rostliny, které dobře snášejí místa s vyšší koncentrací, jsou označovány jako halofyty (halofytní vegetace). Této adaptace je schopno přibližně asi 1 % rostlin a to především z čeledí *Poaceae* (lipnicovité), *Fabaceae* (bobovité) a *Asteraceae* (hvězdnicovité). Dá se předpokládat, že rostliny, které jsou schopné života na zasolených půdách, mají i vyšší schopnost akumulovat těžké kovy ve svých tělech. Tento poznatek je v současnosti zájmem několika výzkumů, které se snaží nalézt vhodné druhy pro pěstování na zasolených půdách a zároveň tyto rostliny využít jako dekontaminanty půd a životního prostředí (MOŤKOVÁ, a kol., 2014)

V Německu byly po dobu 2 let odebírány a analyzovány vzorky z blízkosti frekventované silnice. Koncentrace kovů byly stanoveny metodou AAS. V práci jsou uvedeny minimální, maximální a průměrné hodnoty. Minimální naměřená hodnota sodíku je $17,6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ($110 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) a nejvyšší $10\,400 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ($65\,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). U sodíku není uvedena průměrná hodnota z důvodu velkého výkyvu v průběhu ročních období. Tento výkyv je způsoben zimní údržbou. Z údajů, které byly v průběhu sledování zjištěny, není patrná závislost mezi používáním odmrazovacích solí a nárůstu těžkých kovů v půdě v okolí silnice (HELMREICH, a kol., 2010).

Studie sledující vliv používání soli jako posypového materiálu prokázala mobilitu sodíku do hlubších vrstev, a lze předpokládat posyp silnic za potencionální zdroj kontaminace podzemních vod. Nejvyšší nárůst způsobuje tání sněhu a odtok vody z vozovky a blízkého okolí, která s sebou do hlubších vrstev přináší sodík (AMRHELN a kol, 1992).

2.4 Měď

Měď (*Cuprum*, Cu) patří mezi nejdéle známé kovy. V přírodě je nachází v čisté formě a ve sloučeninách, a to nejčastěji v sulfidických rudách obsahujících železo. Nejčastější sloučeniny mědi jsou chalkopyrit (CuFeS_2), kuprit (Cu_2S) a bornit (CuFeS_3). Ve stopovém množství ji lze nalézt v živočišné krvi. Jedná se o kov červené barvy, krystalizující v soustavě krychlové, tající při teplotách okolo 1083°C a pro člověka v malém množství esenciální, ve větším potenciálně toxický. Jedná se o výborný vodič elektrické energie a tepla, čehož se využívá ve stavebnictví. Měď lze průmyslově získat mokřým a suchým způsobem. Na vzduchu je stálá, avšak po dlouhodobém vystavení se na povrchu pokrývá tzv. měděnkou. Měděnka je označení pro vrstvu zeleného uhličitanu měďnatého, který se vytváří na povrchu mědi. V průmyslové výrobě je velmi používaná a to jak ve formě čisté (dráty, nádoby, nářadí), tak ve formě slitin. Nejčastější slitinou je mosaz – slitina mědi a zinku. Chlorid měďný je v průmyslu používán jako katalyzátor a k odstranění oxidu uhelnatého (PAVELKA, SCHÜTZ, 1974).

Výroba mědi stále stoupá, ročně se do životního prostředí dostane až milion tun tohoto prvku. Obsah mědi v půdách je proměnlivý. Měď se koncentruje v minerální složce půdy a na kořenech rostlin. Obsah v půdě se pohybuje okolo 20-50 mg mědi na kilogram půdy. Vyšší koncentrace se vyskytují v místech, kde se jako hnojivo používá vodárenský kal. Na vstup mědi do rostlinného těla má vliv pH půdy a přítomnost zinku, který zpomaluje transport mědi do rostlinného těla, nicméně stále je pohyblivější než železo. Rostliny nemají velké nároky na koncentraci mědi s výjimkou obilnin. Pokud je v půdě vyšší koncentrace mědi, rostliny špatně přijímají železo a dochází k chloróze (BENCKO a kol., 1995).

Podle vyhlášky č.13/1994 Sb. Ministerstva životního prostředí, ve které jsou uvedeny maximální přípustné hodnoty, je přípustná koncentrace mědi v rozmezí 30 mg až 50 mg na kilogram půdy. Tyto hodnoty platí při stanovení obsahu mědi ve výluhu 2M kyseliny dusičné. Při použití výluhu v lučavce královské je to hodnota 60-100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy (Ministerstvo životního prostředí, 2015).

Koncentrace mědi v půdě stanovená pomocí AAS srovnávala půdu v Anglii a Litvě. Na přípravu výluhu byla použita 2M HNO_3 . Vyšší hodnoty byly naměřeny

v Anglii a to v rozsahu 5,25-15,27 mg·kg⁻¹. Hodnoty u vzorků z Litvy dosahovaly nižších koncentrací mědi (RIMMER, 2004). Mezní koncentrace mědi v půdě odpovídá koncentraci 60 mg·kg⁻¹ pro těžké půdy a 45 mg·kg⁻¹ pro písky a hlinité písky. Vyšší koncentrace mohou být způsobeny mimo jiné odpady, nebo používáním fungicidních přípravků na hubení hub, bakterií a plísní (KAFKA, 2002). Měď se v půdě dobře váže do tuhých částic, čímž významně snižuje svoji toxicitu, nicméně vyšší koncentrace mědi ve vodě a především v pitné vodě jsou nežádoucí. V současnosti je nejvyšší mezní hodnota 1 000 μg·dm⁻³ a větší hrozbu než kontaminace přes půdu představují používané materiály na rozvody pitné vody (NĚMCOVÁ a kol., 2007). Studie provedená v Pekingu jasně ukazuje klesající trend v koncentraci mědi v půdě s rostoucí vzdáleností od silnice. Vzorky byly odebírány v několika vzdálenostech od silnice. Studie ukázala korelaci hodnot s hodnotami z jiných částí světa (CHEN a kol, 2010).

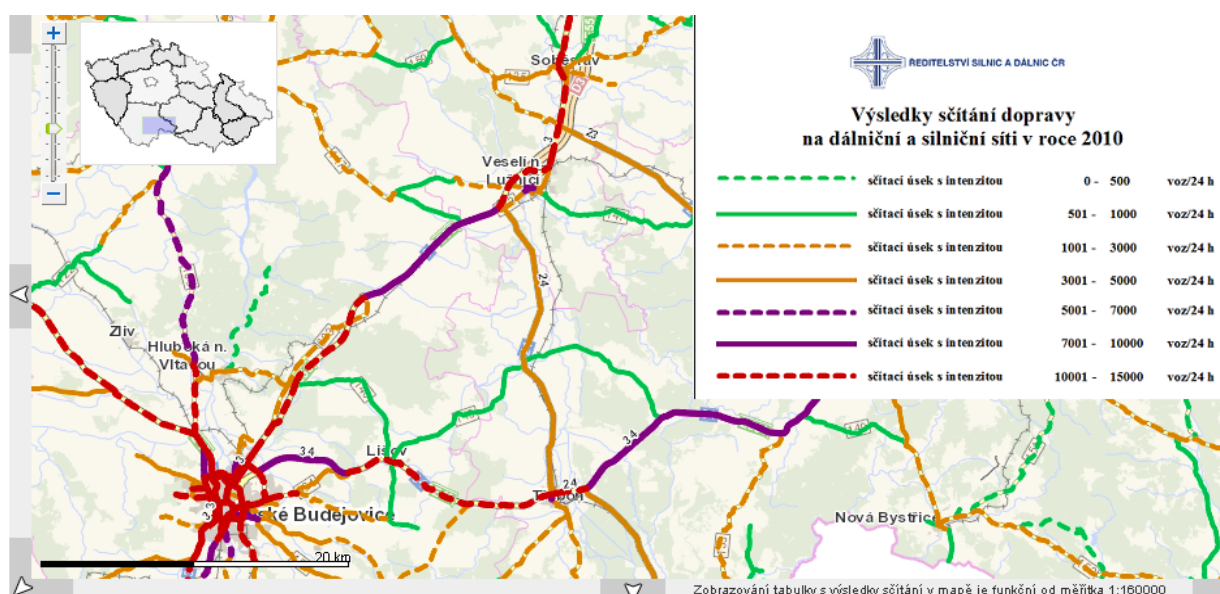
2.5 Silniční doprava

Silniční doprava má řadu důležitých funkcí (transport osob, surovin, materiálů) ale i řadu negativních dopadů na životní prostředí. Doprava produkuje velké množství škodlivých látek, především oxidy dusíku a oxidy uhlíku, které se podílejí na vzniku skleníkového efektu a mají též dopad na zdraví obyvatel. Samotné znečištění však nezpůsobuje pouze samotná doprava, ale i výstavby a rekonstrukce silnic. Se stavbou nových komunikací souvisí zábor půdy, narušení biotopů a přirozených koridorů. Biokoridory, pokud přes ně stavba prochází, jsou uměle nahrazeny. V současnosti je stavba nových silnic dlouhodobě plánována a nejkvalitnější půda z místa stavby odvážena a následně využita na jiné, zemědělsky obdělávané lokality. Všechny tyto aspekty se negativně podílejí na koloběhu látek v přírodě. Dochází k nárůstu nebo k poklesu obsahu minerálních látek v okolní silnici, ke kontaminaci těžkými kovy, kontaminaci během havárií a k narušení vodních poměrů v přírodě.

Silnice v České republice lze rozdělit podle několika hledisek, mimo jiné podle materiálu, který je na povrchu, a to na cementobetonové a asfaltové. První zmíněné mají výhodu ve vysoké životnosti a v minimální náročnosti údržby a rekonstrukcí. Dále lze tyto vozovky pokládat za ekologičtější. Největší nevýhodou cementobetonových vozovek je vyšší hlučnost a výškové rozdíly mezi jednotlivými bloky, což má negativní vliv na stav vozidel. Pokud dochází k rekonstrukci, ve většině případů se povrch z jednoho typu na druhý nemění (České dálnice.cz, 2015).

Měření intenzity dopravy je hlavním měřítkem pro stanovení hustoty dopravy. Toto měření probíhá v pravidelných cyklech, které se opakují po pěti letech. Poslední měření proběhlo v roce 2010. Jiná situace je u dálnic a rychlostních silnic, kde dochází k měření intenzity dopravy každý rok. Hodnoty intenzity dopravy v jednotlivých úsecích můžeme zjistit na portálu ředitelství silnic a dálnic. Ze sledování konkrétní silnice, v blízkosti které byly odebírány vzorky, vyplývá, že intenzita dopravy se během obou sledovaných období (2005, 2010) pohybuje v intervalu od 7 001 do 10 000 vozidel za den.

Obr.č.2: Mapa ukazující intenzitu dopravy na sledovaném úseku



Zdroj: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/map/default.aspx>, upraveno 20. 3. 2015

3 Praktická část

3.1 Odběrová místa

Spolu s vedoucím bakalářské práce jsme našli místo vhodné ke sledování. Odběrové místo se nachází v blízkosti silnice I/3 (E55) na úseku vedoucím z Veselí nad Lužnicí do Českých Budějovic. Jedná se o mezinárodní silnici I. třídy. Naším cílem bylo vyhledat na dané silnici místo, které bude vzhledem k silnici v přibližně stejné výšce a zároveň bude poblíž silnice možné odebírat vzorky až do několika desítek metrů od okraje vozovky. V blízkosti silnice se nachází louka, která je pravidelně sečena. Lokalita spadá do katastrálního území Jihočeského kraje, okresu České Budějovice. Odběr vzorků probíhal na pravé straně silnice ve směru do Českých Budějovic. Asi dvě stě metrů od odběrového místa se nachází křižovatka se silnicí číslo 147, na které se v zimních měsících nepoužívá chemické ošetření, jelikož prochází oblastí s prameny pitné vody. Tyto prameny jsou důležitým zdrojem pitné vody pro okolní obce. Sledovanou lokalitou prochází stoka na odvod přebytečné vody. Při pohledu od silnice je vidět pokles povrchu směrem ke stoce, poté se terén výškově vrací zpět, téměř na úroveň silnice. Na sledované lokalitě jsme vytipovali 5 odběrových míst v různých vzdálenostech od silnice. Na každém místě byly provedeny odběry vzorků ve třech opakováních, každý vzorek byl navíc odebrán ve dvou hloubkách a to 0-15 cm a 15-30 cm. Odběr z 15-30 cm byl proveden pomocí půdní sondy (viz příloha).

Tab.č. 1.: Obecná charakteristika odběrových míst

Odběrové místo	Vzdálenost od silnice	Charakteristika
1	bezprostředně u silnice	místo s travnatým porostem, vzorky bohaté na organický materiál a drobný štěrk
2	5 metrů	v mírném svahu nad stokou odvádějící vodu, velmi zamokřená půda
3	10 metrů	přechod mezi loukou a svahem nad stokou, hranice kosená/nekosená tráva
9	80 metrů	louka, viditelné stopy megafauny, souvislý travnatý porost
10	100 metrů	louka, viditelné stopy megafauny, souvislý travnatý porost, v blízkosti místní komunikace

Obr.č.3: Místa odběru



(Zdroj: [www. mapy.cz](http://www.mapy.cz))

První odběrové místo (1) se nachází v bezprostřední blízkosti silnice. Vzorky byly odebírány co nejblíže silnici.

Druhé odběrové místo (2) leží ve vzdálenosti 5 metrů od prvního odběrového místa. Zároveň leží v mírném svahu nad stokou, která místem prochází. V průběhu odběru vzorků při zimním odběru byla stoka plná vody.

Třetí odběrové místo (3) je 10 metrů od silnice. Při pohledu od silnice se nachází za stokou, na rozhraní stoky a louky.

Čtvrté odběrové místo (9) leží na louce. Vzdálenost od silnice činí 80 metrů. Louka se zemědělsky využívá a během letních měsíců byla kosena. Tráva během odběrů vzorků půd nebyla vysoká. Na tomto odběrovém místě byly vzorky odebírány pouze ve dvou opakováních.

Páté odběrové místo (10) leží na opačném konci louky, než silnice E55. Na tomto konci louky se nachází místní pozemní komunikace sloužící k obsluze přilehlých luk, polí a vodojemu. Komunikace je ve špatném stavu a v zimních měsících není nijak

udržována. Toto místo bylo zvoleno jako místo kontrolní, pro potvrzení předpokládající klesající koncentrace příslušných látek se vzdáleností od silnice.

3.2 Odběry vzorků

První odběr proběhl 25. 4. 2014. Odběr proběhl za příznivého počasí, bylo slunečno a sucho. Celá předchozí zima byla velmi chudá na sněhové a dešťové srážky. Nedochozelo k výraznému solení silnic, což se může projevit i v získaných výsledcích. Fotky z odběru jsou součástí příloh.

Druhý odběr proběhl 10. 8. 2014. Před odběrem bylo sledováno počasí, aby odběr vzorků proběhl v době, kdy více než jeden týden nebyly dešťové srážky. Při odběru byla zemina velmi vysušená.

Třetí odběr proběhl 17. 11. 2014. Počasí před odběrem bylo sychravé. Během dne slunečno, ale v dopoledních hodinách mlhy a občasné mrholení.

Čtvrtý odběr proběhl 15. 2. 2015. Tomuto odběru předcházelo intenzivní solení silnice, neboť v předchozích dnech byla silnice několikrát pokryta sněhovou pokrývkou a námrazou. Toto počasí si žádalo chemické ošetření. V době odběru byla půda rozmrzlá. Počasí bylo slunečné. Přilehlá stoka byla plná vody a všechny vzorky byly velmi mokré.

3.3 Zpracování vzorků

Po odběru byly vzorky uloženy do popsaných polyethylenových sáčků a zavázány, aby nemohlo dojít k záměně nebo kontaminaci vzorků. Vzorky byly uchovávány v chladu, čímž se zabránilo oxidačně-redukčním a mikrobiálním procesům. V laboratoři došlo nejprve k odstranění většího viditelného organického materiálu, kořínků, zbytků rostlin a kamínků. Takto upravené vzorky byly přesypány do krystalizačních misek a sušeny. Sušení probíhalo při teplotě 100 °C po dobu 6-8 hodin (dle počáteční vlhkosti a struktury půdy). Následně proběhla homogenizace vzorků a kvartací byl získán vzorek vhodný pro analýzu. Z takto upraveného vzorku došlo k navážení 8 gramů a následné vložení do vzorkovnice. K naváženým vzorkům půdy se přidalo 40 ml 2M kyseliny dusičné (HNO_3). Vzorky byly připraveny na třepání (probíhalo po dobu 24 hodin), vytřepané vzorky byly zfiltrány přes membránový filtr se skleněnými vlákny Whatman o velikosti pórů 1,2 μm . Získaný filtrát byl přelit do odměrné baňky o objemu 50 ml a demineralizovanou vodou doplněn po rysku. Pro stanovení koncentrací železa a sodíku bylo nutné zředění vzorků. Část připraveného vzorku se tedy odlila do další odměrné baňky a naředila stonásobně demineralizovanou vodou. Dále byly připraveny kalibrační řady ze standardů příslušných kovů (železo 1000 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, sodík 10 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, měď 1000 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$), ze kterých byly namíchány zásobní roztoky a následně jednotlivé kalibrační řady. Pro všechny prvky byla připravena osmi bodová kalibrační řada. Vzorky byly připraveny ke stanovení na AAS. Měření koncentrací zkoumaných kovů proběhlo na spektrometru AAS Thermo Scientific ICE 3500 v laboratoři katedry aplikované chemie Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Před prvním měřením byly vytvořeny metody pro příslušný kov, uloženy do knihovny metod a následně použity při všech měřeních. Před každým měřením byla namíchána nová kalibrační řada, vždy o stejných koncentracích. Nejprve se v přístroji vyhledala příslušná metoda pro požadovaný kov, následně se proměřila kalibrační řada a poté všechny vzorky příslušné série. Na měření byly nastaveny 3 opakování měření v intervalu 4 sekund. Šířka šterbiny byla 0,5 nm a všechna stanovení byla provedena v režimu plamenové atomizace s plamenem typu vzduch-acetylen.

4 Výsledky a diskuze

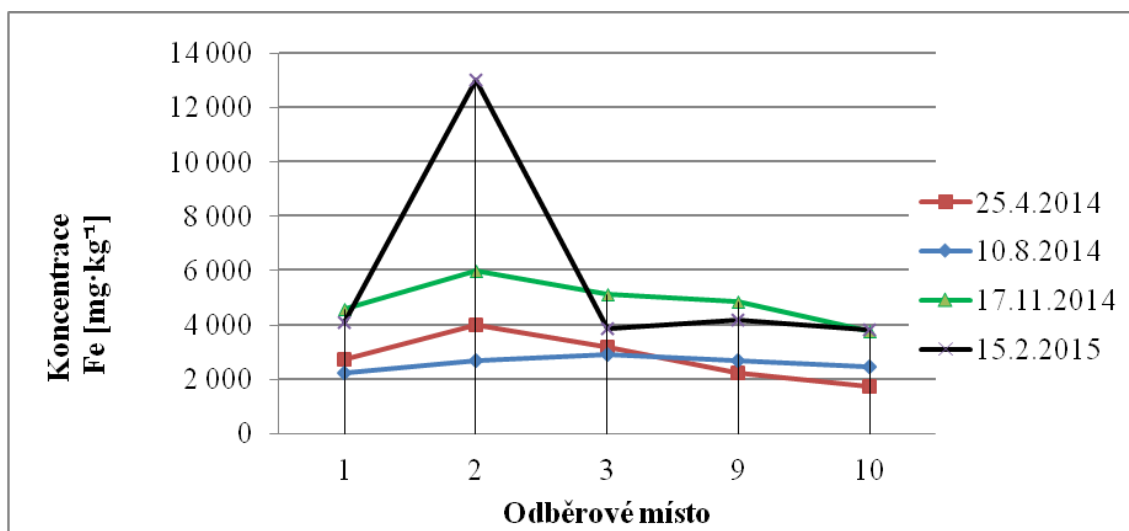
Stanovení příslušných kovů proběhlo atomovou absorpční spektrometrií ve výluhu v 2M HNO₃. Uváděné hodnoty jsou přepočteny a uváděny v miligramech na kilogram půdy (mg·kg⁻¹). Jednotlivé směrodatné odchylky jsou uvedeny spolu s konkrétními hodnotami v příloze v tabulkách č. 1-3. Pro přehlednost a názornost jsou v grafech uváděny vždy průměrné hodnoty jednotlivých odběrových míst, jedná se v podstatě o průměr devíti hodnot (3 opakování, každé z nich proměřeno třikrát na AAS).

Ve vzorcích z prvního odběru bylo změřeno pH (viz tabulka). Měření pH bylo provedeno ve výluhu vzorku půdy v demineralizované vodě. Nejzásaditější půda se nacházela na třetím odběrovém místě (odběrové místo nad stokou u louky). Průměrně bylo pH o málo vyšší (zásaditější) u vzorků z 15-30 cm (0-15 cm → 7,47 a 15-30cm → 7,66)

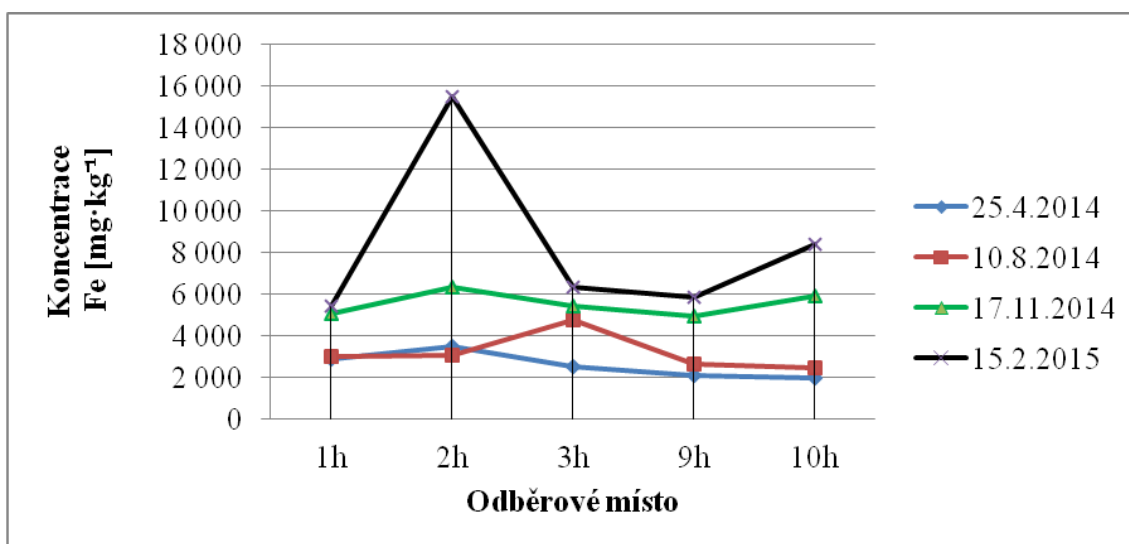
Tab.č.2: Hodnoty pH na jednotlivých odběrových místech (první odběr – 25. 4. 2014) První sloupec ukazuje hodnoty pH u vzorků odebraných z hloubky 0-15 cm. Druhý sloupec hodnoty z hloubky 15-30 cm. Písmena A, B, C označují jednotlivá opakování, písmeno H, odběr z 15-30 cm.

Odběrové místo	pH	Odběrové místo	pH
1A	7,23	1AH	6,97
1B	7,23	1BH	7,28
1C	7,11	1CH	7,41
2A	6,48	2AH	7,71
2B	7,83	2BH	7,56
2C	6,89	2CH	7,06
3A	7,99	3AH	7,74
3B	8,06	3BH	8,01
3C	7,61	3CH	8,36
9A	7,75	9AH	8,46
9B	8,19	9BH	7,84
10A	7,30	10AH	7,47

Obr č.4: Průměrná koncentrace železa u vzorků z hloubky 0-15 cm



Obr č.5: Průměrná koncentrace železa u vzorků z hloubky 15-30 cm

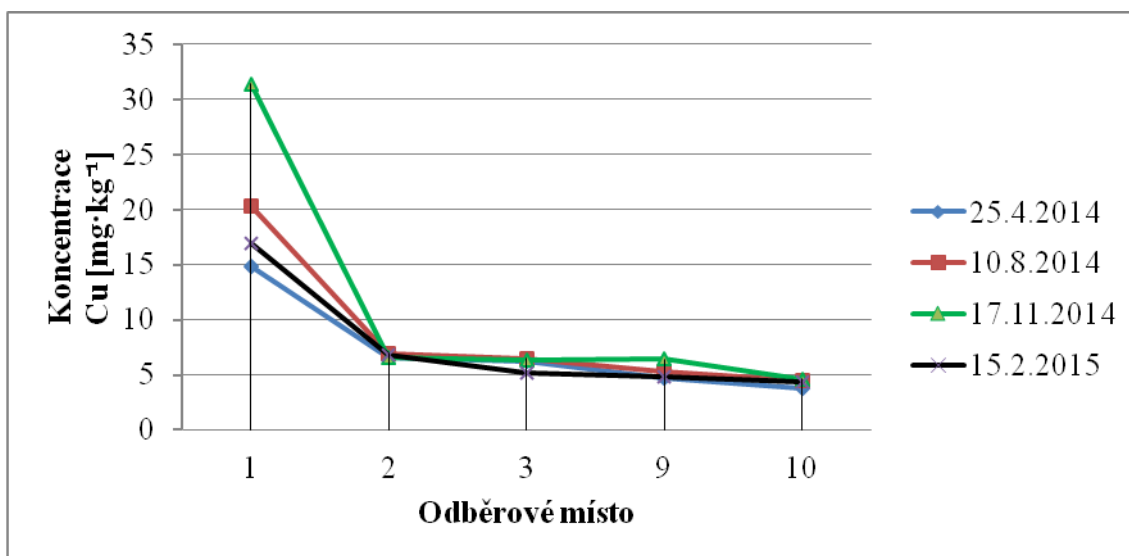


Ze získaných výsledků v povrchové vrstvě je vidět velký nárůst koncentrace železa na druhém odběrovém místě v zimním období. Tento nárůst je patrný jak u vzorků z povrchu, tak i u vzorků z 15-30 centimetrů. Nejpravděpodobnější příčinou tohoto nárůstu se ukazuje vnější kontaminování. Zvýšená koncentrace u vzorku z odběrového místa č.10 je způsobena kontaminací z přilehlé polní cesty. Cesta je využívána pouze pro zemědělskou techniku. Nelze jednoznačně potvrdit, že vlivem silniční dopravy dochází ke zvyšování koncentrace železa v půdě, a to jak na povrchu tak v hloubce.

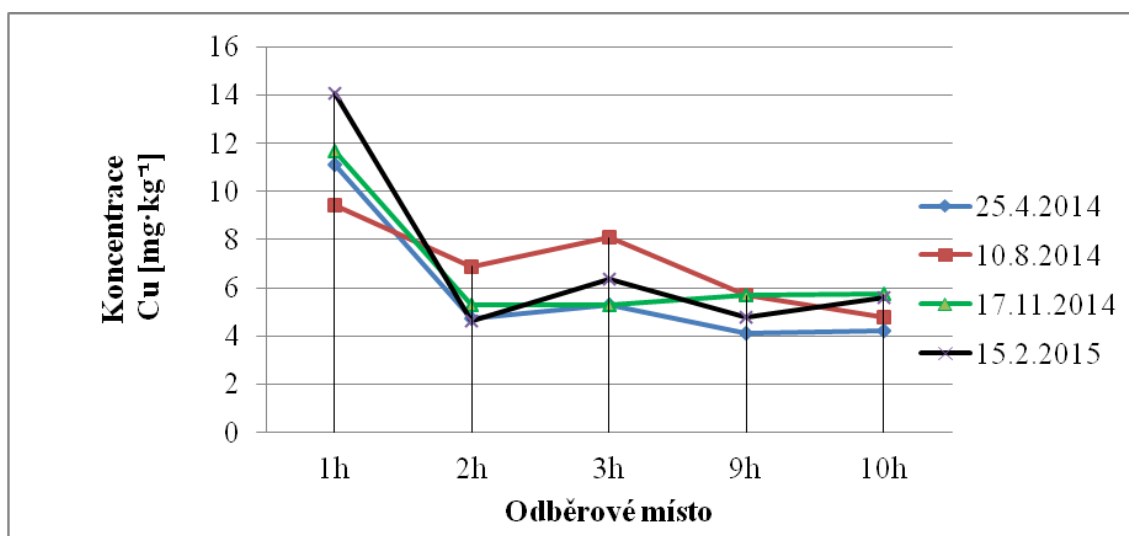
Koncentrace železa u vzorků z 15-30 cm je největší u únorového odběru na druhém odběrovém místě ($15\,488,50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \pm 40,19$). Pro kontrolu bylo stanovení tohoto vzorku provedeno ještě jednou (kontrolně). Možnou příčinou zvýšení koncentrace mohla být kontaminace z nedaleké výstavby železničního koridoru. Celkově nejnížší koncentrace byly zjištěny u dubnového odběru. Nárůst koncentrací mohlo způsobit hospodaření na sledovaném místě.

Celkově nejvyšší naměřená koncentrace vyluhovatelného železa byla zjištěna při únorovém odběru na odběrovém místě číslo 2, v hloubce 15-30 cm, a to $15\,488,50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} (\pm 40,19)$. Naopak nejnížší na odběrovém místě číslo 10 při dubnovém odběru. Zde koncentrace dosahuje hodnoty $1\,744,94\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} (\pm 10,47)$. Koncentrace zjištěné na třetím odběrovém místě přibližně odpovídají koncentraci, kterou ve své práci zjistil KUČAK, BLANUŠA. Naopak koncentrace na odběrovém místě číslo 2 v únorovém odběru jsou vyšší. (KUČAK, BLANUŠA, 1998).

Obr č.6: Průměrná koncentrace mědi u vzorků z hloubky 0-15 cm



Obr č.7: Průměrná koncentrace mědi u vzorků z hloubky 15-30 cm

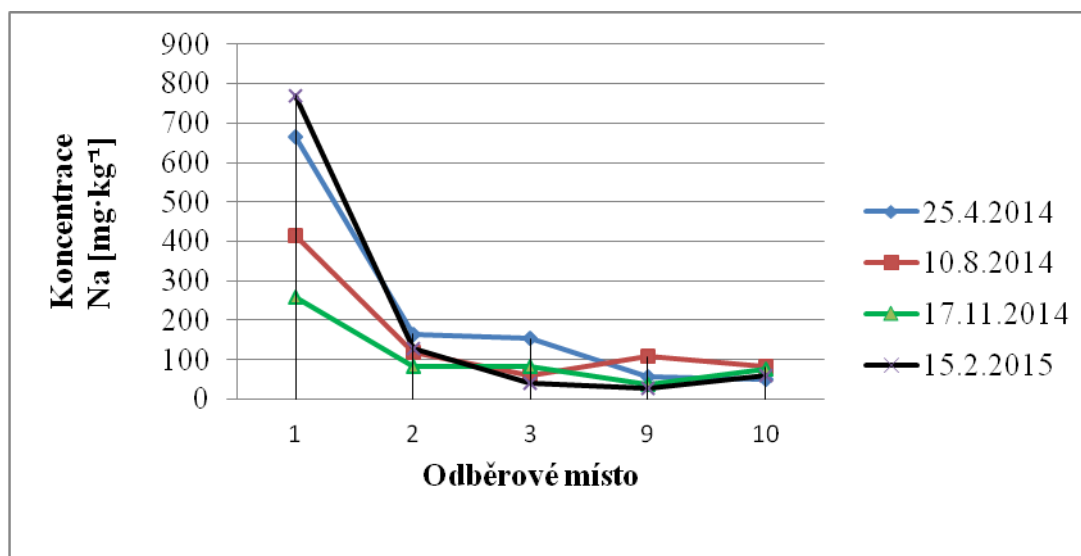


Nejvyšší koncentrace mědi byla během všech měření zjištěna u vzorků odebraných v bezprostřední blízkosti silnice. Podle pokynů vydaných MŽP je přípustná koncentrace mědi v půdě 30-50 mg·kg⁻¹ (při stanovení v 2M HNO₃). Této hodnoty nedosáhly ani vzorky z bezprostřední blízkosti silnice (s výjimkou nejvyšší zjištěné koncentrace). Nejvyšší koncentrace byla naměřena v listopadu 31,4077 mg·kg⁻¹ (± 0,0946). Jedná se o nejvyšší zjištěnou koncentraci mědi v celé práci. V dalších sériích vzorků byla koncentrace výrazně nižší. Ostatní vzorky se této hodnotě nepřibližují. Vyšší koncentrace jsou u vzorků z blízkosti silnice a dále do hloubky louky se koncentrace snižuje.

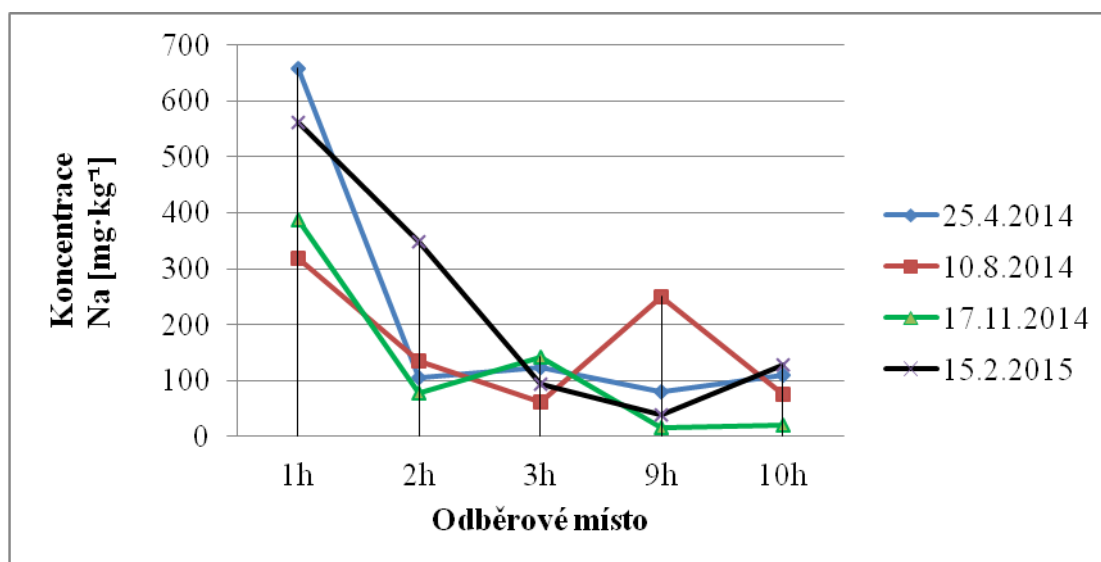
Koncentrace mědi v 15-30 cm je rozdílná od povrchového vzorku. Nejvyšší koncentrace byla zjištěna při únorovém odběru 14,0804 mg·kg⁻¹ (± 0,0251), kdežto u povrchového vzorku to bylo u odběru listopadového. Nicméně celkově v průměru obsah mědi ve vzorcích z 15-30 centimetrů byl nižší než u vzorků z povrchu. Nejvyšší koncentrace je zde poloviční v porovnání s povrchovými vzorky. Díky tomu lze usuzovat na vnější kontaminaci odběrového místa. Pokles koncentrace s hloubkou ukazuje na kontaminaci antropogenní činností. Nejvyšší koncentrace jsou v blízkosti silnice a proto lze jako možný kontaminant považovat silniční dopravu a těžkou techniku. Pohyb těžké techniky narostl od podzimu 2014, kdy v blízkosti začaly stavební práce na železničním koridoru.

V práci (RIMMER, 2004) byla stanovená koncentrace mědi v rozmezí 5,25-15,7 mg·kg⁻¹. Na všech našich odběrových místech byly podobné hodnoty, ovšem u silnice jsme naměřili hodnoty vyšší.

Obr č.8: Průměrná koncentrace sodíku u vzorků z hloubky 0-15 cm



Obr č.9: Průměrná koncentrace sodíku u vzorků z hloubky 15-30 cm



Sodík a jeho koncentrace byla během všech měření nejvyšší v bezprostřední blízkosti silnice. Je zde dobře patrný rozdíl mezi vzorkem v blízkosti silnice a vzorky ze vzdálenějších míst. Nejvyšší naměřená hodnota byla v únoru $769,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($\pm 1,598$). Tuto nejvyšší koncentraci lze vysvětlit solením silnice, které probíhalo před odběrem vzorku. Dále je vysoká koncentrace u dubnového vzorku ($664,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \pm 1,119$). Tato koncentrace je pravděpodobně způsobena použitím posypové soli v předchozí zimě. Této skutečnosti odpovídá i vyšší koncentrace u vzorku z 15-30 cm.

U sodíku jsou koncentrace v hloubce nejvíce proměnlivé v porovnání s povrchovým vzorkem. U některých míst koncentrace klesla, naopak u jiných narostla a to poměrně výrazně. Nejvyšší koncentrace byla naměřena v blízkosti silnice v dubnovém odběru ($658,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \pm 1,094$). Tato hodnota potvrzuje mobilitu sodíku vlivem srážek do nižších hloubek. Tudíž nejvyšší koncentrace budou nalezeny v blízkosti silnice v zimním období a postupně budou vlivem srážek klesat do spodních vrstev, kde budou prokazatelné v jarních měsících. Dále je vidět pokles koncentrace (v blízkosti silnice) v průběhu léta a podzimu, opětovný nárůst s nástupem zimy a zimní údržby silnice. U vzorku srpnového odběru došlo k velkému nárůstu na odběrovém místě číslo 9. Zvýšení této koncentrace lze přisuzovat k použití hnojiva na sledované louce, avšak toto nelze doložit.

Z výsledků, které byly během rozborů jednotlivých vzorků získány, nelze jednoznačně prokázat mobility jednotlivých kovů. Některé vzorky s poklesem hloubky vykazují koncentrace nižší, naopak některé vykazují koncentrace vyšší. Zvýšení koncentrací ve vyšších hloubkách lze odůvodnit splachem a vsakem z povrchu. Kromě vody se vsakují i rozpuštěné prvky.

Železo dosáhlo nejvyšší koncentrace na druhém odběrovém místě v únorovém odběru. Jedná se o lokalitu blízko stoky na odvod vody. Lze předpokládat, že tato zvýšená koncentrace souvisí se splachem díky srážkám.

Koncentrace mědi je podstatně nižší než zbylé sledované kovy. Koncentrace mědi klesá s hloubkou. Pokud budeme vycházet z limitu, které vydalo MŽP, žádný ze vzorků daný limit nepřekročil. Z hlediska celkové koncentrace vyluhovatelné mědi se nejedná o znečištěnou půdu.

Patrný je nárůst koncentrace sodíku v zimním a jarním období. Zvýšené hodnoty ukazují na používání posypové soli v okolí odběrového místa. Se vzdáleností od solené silnice koncentrace sodíku klesá a dosahuje podobných hodnot, jako během ostatních měření. U prvního odběrového místa (bezprostřední blízkost silnice) byla nejvyšší hodnota v povrchovém vzorku v zimním měsíci. I tato skutečnost potvrzuje používání posypové soli. Ze získaných hodnot je vidět mobilita sodíku směrem do hloubky. V zimních měsících byla nejvyšší koncentrace naměřena v povrchovém vzorku, ale v jarních měsících ve vzorku z 15-30 centimetrů. Pokud by docházelo k odběru vzorků z větší hloubky, lze předpokládat, že by i nadále docházelo k nárůstu koncentrace sodíku. Zimní měsíce, předcházející prvnímu odběru, byly srážkově podprůměrné (CHMI.CZ, 2015). Lze tedy předpokládat, že s nárůstem srážek by docházelo i k výraznějším splachům a vyšší koncentrace by byly naměřeny ve větších hloubkách půdy. Ve srovnání s odběry (srpen, listopad) je zde koncentrace sodíku dvojnásobně vyšší. Dále je viditelná zvýšená koncentrace u dubnové série vzorků. Tato skutečnost opět potvrzuje kontaminaci posypovou solí, kdy v dubnu byly ve vzorku změřeny vyšší koncentrace, které jsou zapříčiněny používáním chemického posypu v předchozí zimě. Pro lepší prokázání dopadů používání posypové soli by bylo vhodné srovnání se vzorky půd, které by se nacházely v blízkosti silnic, kde se chemický posyp nepoužívá. Sledovaná lokalita nebyla bohatá na srážky ani v letošní zimě, tudíž nebylo nutné časté

použití chemického posypu. Pokud by byla zima bohatší na srážky, došlo by k nárůstu sodíku v půdě. Půdy s vysokým obsahem sodíku, nejsou vhodné pro pěstování plodin, jak již bylo v práci uvedeno.

Ve shodnou dobu, jak probíhala tato bakalářská práce, probíhalo měření koncentrací kovů v blízkosti železnice, které prováděl Jan Vondruška (*Obsah vybraných těžkých kovů v půdě jako indikátor kontaminace v důsledku železniční dopravy*). Ze vzájemného porovnání průměrných koncentrací železa a mědi vyplývá následující: nejvyšší koncentrace železa jsou u silnice $15\,488\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a u železnice $16\,281\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, tudíž rozdíl není nikterak zásadní. Větší rozdíl je viditelný u mědi, kde je nejvyšší naměřená koncentrace mědi u železnice téměř 2x větší než u silnice, příslušné koncentrace jsou $31,41\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ u silnice a $52,73\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ u železnice. Tato vysoká koncentrace mědi je zřejmě způsobena otěrem sběračů elektrických lokomotiv o měděné trakční vedení, nebo uvolněním z dřevěných pražců, které byly dříve impregnovány sloučeninami obsahující měď. V místě, kde byly pražce betonové, nebyly koncentrace tak vysoké, což by mohlo souviset s mořením dřevěných pražců sloučeninami mědi

5 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá rozbořem půdních vzorků odebraných z blízkosti frekventované silnice I. třídy vedoucí z Veselí nad Lužnicí do Českých Budějovic. V rámci sledování byly provedeny analýzy odebraných vzorků a došlo ke stanovení příslušných koncentrací vybraných kovů. V práci bylo sledováno železo, měď a sodík. Vzorky byly odebírány v 5 odběrových místech s různou vzdáleností od silnice, postupně během všech čtyř ročních období. V práci bylo celkem zpracováno a zanalyzováno 96 vzorků. Pro přehlednost byly výsledky jednotlivých míst zprůměrovány a jsou uváděny v grafech a tabulkách. Příslušné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách, které jsou součástí příloh. Všeobecně lze říci, že nejvyšší koncentrace kovů se nacházely v blízkosti silnice a se vzdáleností postupně klesaly s různou intenzitou. V zimních a jarních měsících je patrný nárůst koncentrace sodíku v blízkosti silnice. Díky těmto výsledkům lze považovat sodík za značkovací znečištění životního prostředí vlivem používání posypových solí, neboť vzorky byly odebrány v blízkosti silnice, kde se v zimních měsících používá chemický posyp. Při srovnání koncentrací železa a mědi v blízkosti železnice a silnice byly zjištěny nižší koncentrace obou kovů v blízkosti silnice.

6 Literatura

- AMRHELN, CH., STRONG, J.E., MOSHER, P.A.; Effect of Deicing salts on metal and organic matter mobilization in roadside soils, *Environmental science technology* 26, 703-709, (1992)
- ASLAM, J., KHAN, S.A., KHAN, S.A.; Heavy metals contamination in roadside soil near different trafficc sinals in Dubai, United Arab Emirates, *Journal of Saudi Chemical Society* 17, 315 – 319, (2013)
- BÄCKSTROM, M., KARLSSON, S., BÄCKMAN, L., FOLKESON, L., LIND, B.; Mobilisation of heavy metals by decing salts in a roadside environment, *Water research* 38, 720 – 732, (2004)
- BENCKO, V., CIKRT, M., LENER, J.; Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka. Vyd. 2., přeprac. a dopl. Praha : Grada, (1995), ISBN 80-7169-150-X.
- CRESSER, M.; Flame spectrometry in environmental chemical analysis: A practical guide, Cambridge: Royal Society of Chemistry, (1994)
- DRBAL, K., KRÍŽEK, M.; Analytická chemie. 1. vyd. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, (1999), ISBN 80-704-0352-7.
- GREENWOOD, N., EARNSHAW, A.; Chemie prvků. 1. vyd. Praha: Informatorium, (1993), ISBN 80-854-2738-9.
- HELMREICH, B., HILLIGES, R., SCHRIEWER, A., HORN, H.; Runoff pollutants of a highly trafficked urban road. *Chemosphere* 80, 991-997, (2010)
- CHEN, X., XIA, X., ZHAO, Y., ZHNAG, P.; Heavy metal concentrations in roadside soils and correlation with urban tradic in Beijing, China, *Journal of Hazardous Materials* 181, 640-646, (2010)
- KAFKA, Z., PUNČOCHÁŘOVÁ, J.; Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita, *Chemické listy* 96, 611-617, (2002)

- KUČAK, A., BLANUŠA M.; Comparison of two extraction procedures for determination of trace metals in soil by atomic absorption spectrometry. *Arh hig toksikol* 49:327-334 (1998)
- LARCHER, W.; Fyziologická ekologie rostlin vyd. Academia Praha, (1988)
- MOŤKOVÁ, K., PODLIPNÁ, R., VANĚK, T., KAFKA, Z.; Halofytní rostliny a jejich možné využití ve fytořemediacích. *Chem. Listy* 108, 586–591, (2014)
- MUCK, A.; Základy strukturní anorganické chemie. 1. vyd. Praha: Academia, (2006), ISBN 80-200-1326-1.
- NĚMCOVÁ, V., KANTOROVÁ, J., KOŽÍŠEK, F., GARI, D. W., POMYKAČOVÁ, I.; Měď a pitná voda: situace v České republice, *Vodní hospodářství*, (2007)
- NORRSTRÖM, A.C.; Metal mobility by de-icing salt from an infiltration trench for highway runoff. *Applied Geochemistry*. 20, 1907-1919, (2005)
- PAVELKA, V., SCHÜTZ, A.; Anorganická chemie pro pedagogické fakulty. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, (1974)
- PAVELKA, J.; Využití atomové absorpční spektrometrie v potravinářské a zemědělské praxi, Výzkumný ústav potravinářského průmyslu, (1990). ISBN 80-85120-09-7
- RIMMER, D., SABIENĚ, N., BRAZAUSKIENĚ, D.M.; Determination of heavy metal mobile forms by different extraction methods. *Ekologija* Nr.1, 36-41, (2004)
- ŠIMEK, M.; Základy nauky o půdě, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Biologická fakulta, (2007), ISBN 80-704-0747-6
- TIJHUIS, L., BRATTLI, B., SAETHER, O.M.; A geochemic survey of topsoil in the city of Oslo, *Environmental Geochemistry and Health* 24, 67-94, (2002)

TROMP, K., LIMA, A.T., BARENDREGT. A., VERHOEVEN. J.T.A., Retention of heavy metals and poly-aromatic hydrocarbons from road water in a constructed wetland and the effect of de-icing. Journal of Hazardous Materials. 203-204, 290-298, (2012)

Internetové zdroje:

<http://www.ceskedalnice.cz/odborne-info/rozdily-mez-cb-a-ab>, 20. 3. 2015

<http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/posypove-materialy-pro-zimni-udrzbu-komunikaci-v-cr-a-v-zemich-eu>, 28. 1. 2015

http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_5_Uzemni_srazky&last=false, 20. 3. 2015

http://www.lach-ner.cz/files/7647-145_Chlorid_sodny_CZ.pdf, 13. 3. 2015

[http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/43B5A6E50D46EB69C12564EA003DE8B0/\\$file/V%2013_1994.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/43B5A6E50D46EB69C12564EA003DE8B0/$file/V%2013_1994.pdf), 18. 3. 2015

<http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=1&idBiblio=45313&recShow=68&nr=104~2F1997&rpp=50#parCnt>, 28. 1. 2015

<http://scitani2010.rsd.cz/pages/map/default.aspx>, upraveno 20. 3. 2015

<http://web.nmsu.edu/~kburke/Instrumentation/AAS1.html>, 5. 3. 2015

7 Seznam zkratk

AAS	atomová absorpční spektrometrie
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
EDTA	ethyldiamintetraoctová kyselina
CMA	octan vápenato-hořečnatý
ICP-AES	indukčně vázané plazma – atomové emisní spektrometrie
LD ₅₀	množství látky, které způsobí smrt 50 % živočichů do 24 hodin od expozice (pevná látka)
LC ₅₀	množství látky, které způsobí smrt 50 % živočichů do 24 hodin od expozice (plynná látka)

8 Přílohy

Seznam příloh

Tab.č.1: Průměrná koncentrace železa ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Tab.č.2: Průměrná koncentrace mědi ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Tab.č.3: Průměrná koncentrace sodíku ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Obr.č.1: Odběrové místo, pohled směrem na Veselí nad Lužnicí

Obr.č.2: Odběrové místo, pohled směrem na České Budějovice

Obr.č.3: Odběr pomocí půdní sondy

Obr.č.4: Odběrové místo před odběrem

Obr.č.5: Půdní sonda – součásti

Obr.č.6: Půdní sonda

Tab.č.1: Průměrná koncentrace železa ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Fe	25.4.2014		10.8.2014		17.11.2014		12.2.2015	
1	2751,23	$\pm 7,48$	2219,00	$\pm 8,76$	4579,04	$\pm 7,54$	4108,67	$\pm 8,22$
1h	2896,44	$\pm 6,64$	3045,65	$\pm 9,62$	5067,85	$\pm 11,46$	5439,63	$\pm 5,44$
2	4004,27	$\pm 6,87$	2681,06	$\pm 5,57$	5989,08	$\pm 16,43$	13003,92	$\pm 45,85$
2h	3511,81	$\pm 7,87$	3070,94	$\pm 9,21$	6341,08	$\pm 10,63$	15488,50	$\pm 40,19$
3	3189,04	$\pm 6,45$	2904,42	$\pm 5,61$	5124,04	$\pm 7,28$	3851,73	$\pm 8,25$
3h	2569,38	$\pm 5,33$	4796,19	$\pm 11,92$	5467,52	$\pm 10,94$	6338,88	$\pm 13,89$
9	2238,75	$\pm 6,72$	2671,41	$\pm 8,01$	4848,06	$\pm 9,70$	4192,25	$\pm 6,42$
9h	2113,75	$\pm 1,12$	2650,13	$\pm 3,82$	4948,97	$\pm 7,10$	5864,72	$\pm 14,61$
10	1744,94	$\pm 10,47$	2481,13	$\pm 4,96$	3774,75	$\pm 11,32$	3813,38	$\pm 11,44$
10h	1979,19	$\pm 3,96$	2451,25	$\pm 2,45$	5922,89	$\pm 11,85$	8418,06	$\pm 16,84$

Tab.č.2: Průměrná koncentrace mědi ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Cu	25.4.2014		10.8.2014		17.11.2014		12.2.2015	
1	14,8183	$\pm 0,0296$	20,3183	$\pm 0,0474$	31,4077	$\pm 0,0946$	16,8750	$\pm 0,0409$
1h	11,0935	$\pm 0,0281$	9,4438	$\pm 0,0194$	11,6613	$\pm 0,0465$	14,0804	$\pm 0,0251$
2	6,5798	$\pm 0,0158$	6,9094	$\pm 0,0202$	6,5831	$\pm 0,0155$	6,8231	$\pm 0,0130$
2h	4,7531	$\pm 0,0124$	6,8813	$\pm 0,0118$	5,3058	$\pm 0,0176$	4,6260	$\pm 0,0091$
3	6,2006	$\pm 0,0240$	6,4888	$\pm 0,0150$	6,2940	$\pm 0,0084$	5,1035	$\pm 0,0137$
3h	5,3135	$\pm 0,0131$	8,0771	$\pm 0,0192$	5,3154	$\pm 0,0254$	6,3581	$\pm 0,0189$
9	4,6519	$\pm 0,0145$	5,2419	$\pm 0,0157$	6,3919	$\pm 0,0122$	4,8244	$\pm 0,0023$
9h	4,1275	$\pm 0,0184$	5,6794	$\pm 0,0114$	5,6763	$\pm 0,0124$	4,7684	$\pm 0,0144$
10	3,7431	$\pm 0,0150$	4,4931	$\pm 0,0135$	4,6050	$\pm 0,0092$	4,3681	$\pm 0,0262$
10h	4,2169	$\pm 0,0127$	4,7831	$\pm 0,0143$	5,7331	$\pm 0,0115$	5,6213	$\pm 0,0056$

Tab.č.3: Průměrná koncentrace sodíku ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Na	25.4.2014		10.8.2014		17.11.2014		12.2.2015	
1	664,9167	$\pm 1,119$	415,5208	$\pm 1,114$	257,1875	$\pm 1,255$	769,8750	$\pm 1,598$
1h	658,2708	$\pm 1,094$	318,9583	$\pm 0,319$	386,2083	$\pm 2,113$	560,6875	$\pm 1,14$
2	165,0000	$\pm 0,214$	119,1250	$\pm 1,133$	83,0625	$\pm 1,351$	128,0417	$\pm 0,841$
2h	105,9375	$\pm 0,339$	135,3333	$\pm 0,362$	78,0208	$\pm 0,611$	348,4583	$\pm 0,394$
3	154,2708	$\pm 0,384$	58,5208	$\pm 0,351$	83,0417	$\pm 0,746$	40,7898	$\pm 0,436$
3h	123,0417	$\pm 1,256$	61,3333	$\pm 0,505$	142,2292	$\pm 0,839$	94,0208	$\pm 0,151$
9	56,9375	$\pm 0,384$	108,0313	$\pm 0,641$	35,8125	$\pm 0,596$	28,4688	$\pm 0,086$
9h	80,6563	$\pm 0,453$	250,7188	$\pm 2,609$	16,5625	$\pm 0,377$	37,5625	$\pm 0,499$
10	50,313	$\pm 0,503$	82,563	$\pm 0,083$	76,188	$\pm 0,305$	59,563	$\pm 1,370$
10h	109,750	$\pm 0,329$	74,375	$\pm 0,149$	21,000	$\pm 0,483$	128,313	$\pm 1,027$

Obr.č.1: Odběrové místo, pohled směrem na Veselí nad Lužnicí



Foto: T. Volavka

Obr.č.2: Odběrové místo, pohled směrem na České Budějovice



Foto: T. Volavka

Obr.č.3: Odběr pomocí půdní sondy



Foto: T. Volavka

Obr.č.4: Odběrové místo před odběrem



Foto:T. Volavka

Obr.č.5: Půdní sonda – součásti



Foto: T. Volavka

Obr.č.6: Půdní sonda



Foto: T. Volavka