



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra aplikované chemie

Diplomová práce

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

Vypracoval: Bc. Tomáš Volavka
Vedoucí práce: Mgr. Martin Šeda, Ph.D.

České Budějovice 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji magisterskou 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 magisterské 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: 28. 4. 2017

Tomáš Volavka

Poděkování

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

ABSTRAKT

Půda je neustále ohrožena znečištěním a vystavená degradaci. Velký podíl na znečištění půdy má člověk. Především průmyslová výroba, zemědělství a doprava. V zimních měsících je nutná intenzivní údržba povrchů vozovek chemickými látkami, aby nedošlo ke snížení sjízdnosti komunikace. Chemické látky se postupně dostávají do půdy a kontaminují ji. V této práci byly analyzovány půdní vzorky z blízkosti silnice vedoucí z Veselí nad Lužnicí do Třeboně, v rámci analýzy byly stanoveny koncentrace mědi, sodíku a zinku. Vzorky byly odebírány ve dvou hloubkách 0 - 15 cm (povrchový vzorek) a 15 – 30 cm (podpovrchový vzorek). Příslušné kovy byly analyzovány pomocí atomové spektrometrie. Koncentrace mědi se pohybovala v rozmezí $2,24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ až $84,35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, koncentrace sodíku od $11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $1\,697 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a koncentrace zinku v rozmezí $9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ – $526 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Nejvyšší koncentrace mědi $84,35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ byla zjištěna u podpovrchového vzorku odebraného z bezprostřední blízkosti železnice v únoru 2017. Naměřená nejvyšší koncentrace sodíku $1\,697 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ byla v únoru 2016 u podpovrchového vzorku z bezprostřední blízkosti silnice. U podpovrchového vzorku v bezprostřední blízkosti železnice byla v říjnu 2015 naměřena nejvyšší koncentrace zinku, a to $526 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

KLÍČOVÁ SLOVA

půda, atomová spektrometrie, měď, sodík, zinek, silnice, solení silnic

ABSTRACT

The soil, as a part of ecosystem, is permanently endangered by pollution and exposed to degradation. A large share on this pollution has a human. This problem is caused mainly by industrial production, agriculture and transport. Intensive chemical maintenance is necessary during winter. It is because of better driving on the roads. Chemicals gradually soak into the soil and contaminate it. This master thesis deals with the analysis of soil samples from close proximity of road from Veseli nad Luznici to Trebon. There was analyzed the concentration of copper, sodium and zinc. Samples were collected in two depths: from 0 to 15 cm (surface sample) and 15 to 30 cm (subsurface sample). The mentioned metals were analyzed by atomic spectrometry. The measured value concentration of copper was between $2.24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $84.35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, the sodium concentration was from $11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ to $1\,697 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and the zinc concentration was in the range of $9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ – $526 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. The highest concentration of copper ($84.35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) was found in the subsurface sample taken from the immediate proximity of the railway in February 2017. The highest concentration of sodium ($1\,697 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) was measured near the road in February 2016. The highest concentration of zinc ($526 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) was measured near railway in October 2015.

KEYWORDS

soil, atomic spectrometry, copper, sodium, zinc, roads, roads maintenance in winter

OBSAH

1. ÚVOD.....	7
2. CÍL PRÁCE.....	9
3. TEORETICKÁ ČÁST.....	10
3.1. ATOMOVÁ ABSORPČNÍ SPEKTROMETRIE	11
3.2. SODÍK.....	12
3.3. MĚĎ	15
3.4. ZINEK	17
3.5. DOPRAVA	21
3.6. CHRÁNĚNÁ KRAJINNÁ OBLAST TŘEBOŇSKO	23
4. PRAKTICKÁ ČÁST	25
4.1. ODBĚROVÁ MÍSTA.....	26
4.2. ODBĚR VZORKŮ.....	31
4.3. ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ	33
5. VÝSLEDKY A DISKUZE.....	34
6. ZÁVĚR.....	44
7. SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	45
8. SEZNAM ZKRATEK	49
9. PŘÍLOHY	50

1. ÚVOD

Půda je nedílnou součástí našeho života. Na význam půdy můžeme nahlížet z několika pohledů. Každý vnímáme půdu jinak, ale pro každého z nás je důležitá. Vznik půdy je velmi dlouhodobý a především složitý proces. Půda, kterou v současné době využíváme je stará miliony let. Přitom kdyby nedošlo během půdotvorných procesů ke vzniku půdy (tak jak ji známe dnes), jen těžce bychom zde mohli existovat v současné podobě. Půda slouží jako nosný materiál pro floru a tvoří domov pro faunu. Díky jedinečnému minerálnímu složení půdy můžeme využívat její vlastnosti. Víme, která půda je vhodná na pěstování plodin, nebo naopak, která je pro nás nevhodná. V půdě můžeme nalézt i bakterie, které jsou schopné fixovat vzdušný dusík a využít jej ke svému prospěchu (sekundárně ku prospěchu vyšších organismů). Člověk upravuje svět k obrazu svému, ale mnohdy zapomíná sledovat přírodu a děje v ní přirozené. Jinak tomu není ani u půdy. Mnoho velmi kvalitní půdy bylo nenávratně zničeno. Dnes je úkolem zemědělského půdního fondu tuto skutečnost sledovat. Půdu lze kontaminovat a její obnova je velmi zdlouhavá. Stavba nákupních center, obytných domů, nebo komunikací na místech s kvalitní půdou je nevhodná. Další nedílnou složkou půdy je půdní voda. Podzemní prameny jsou zdrojem kvalitní pitné vody, která je bohatá na obsah rozpuštěných minerálních látek. V případě kontaminace půdy hrozí i sekundární kontaminace podzemní vody.

S rozvojem dopravní infrastruktury se objevily další zdroje antropogenního znečištění půd. Jednou z největších hrozeb pro půdu bylo používání příměsí olova do benzínu. Dopad této toxické látky na životní prostředí byl velký, a nyní je používání olovnatých příměsí do benzínu zakázáno. Ve spojitosti se silniční dopravou se do půdy dostávají i další kovy. Jedná se buď o přímou kontaminaci či o kontaminaci formou imisí. Rostliny rostoucí z půdy z ní přijímají i všechny ostatní látky. Tudiž dojde-li ke zvýšení koncentrace kovu v půdě, tento fakt se projeví i v těle rostliny. Záleží na tom, o jaké kovy se jedná a jak na ně rostlina zareaguje. Pokud se bude jednat například o toxický kov, rostlina může až odumřít. Velmi často je diskutován dopad tzn. PAU (polycyklické aromatické uhlovodíky), nicméně i další látky mohou půdu nenávratně poškodit. V průběhu zimních měsíců dochází na většině silnic k chemickému ošetření vozovky posypovou solí. Půda v blízkosti silnic je též

zasazena a kvůli tomu zasolení půdy narůstá. V blízkosti pramenů podzemní vody je chemické ošetření silnic zakázáno. Stejně tak je posyp zakázán na železničních přejezdech, kde by sůl mohla způsobit poruchu signalizačního zabezpečení. S nárůstem silniční i železniční dopravy dochází k většímu namáhání kovových součástí a otěru jejich částí.

Pro analýzu půdy, určení jednotlivých složek a jejich koncentrace lze použít řadu metod a přístrojů. Jednou z možností jsou spektrofotometrické metody, které určí koncentrace sledovaných vzorků ve výluhu. Jedná se o dostatečně přesnou metodu, pomocí které lze stanovit širokou škálu prvků v roztoku či výluhu.

2. CÍL PRÁCE

U této práce byly stanoveny tři hlavní cíle. Prvním cílem bylo sepsání literární rešerše na zadané téma. Stručně charakterizovat použité metody a určované prvky. Druhým cílem bylo laboratorní stanovení koncentrací sledovaných prvků v půdních vzorcích. V této práci byla sledovaná koncentrace sodíku, mědi a zinku v půdních vzorcích, odebraných v blízkosti silnice a železnice nacházející se v chráněné krajinné oblasti Třeboňsko. Posledním cílem bylo porovnání výsledků z více lokalit a více sledování. Některá data byla získána již v minulosti (data z Bakalářské práce).

3. TEORETICKÁ ČÁST

3.1. ATOMOVÁ ABSORPČNÍ SPEKTROMETRIE

Atomová absorpční spektrometrie (AAS) patří mezi optické analytické metody používané při stanovení koncentrace prvku v analyzovaném vzorku. Základ této metody tvoří absorpce záření volných atomů ve zkoumaném vzorku. Využívá se schopnosti volných atomů absorbovat záření o vlnové délce, které jsou schopné samy vyzářit. Rozmezí vlnových délek dosahuje hodnot 190 – 900 nm. Spektrometr, přístroj sloužící k této metodě, má pět základních součástí – zdroj záření, atomizátor, monochromátor, detektor a indukční systém (DRBAL a kol., 1999). Zdrojem záření je převážně výbojka s dutou katodou. Je tvořena skleněným pláštěm, uvnitř je umístěna katoda z příslušného prvku a celá je plněna inertním plynem (neon). Výbojka emituje čárové spektrum prvku, ze kterého je katoda vyrobena, což umožňuje vysokou selektivitu metody. Rezonanční záření je modulováno (elektronicky, mechanicky) výbojkou a je tedy monochromatické.

V atomizátoru dochází k atomizaci vzorku, tzn. převedení atomů analyzovaného vzorku do měřitelné podoby. K atomizaci se používá plamen o teplotě 2000 – 3000 K (při této teplotě je vzorek rozkládán) a nosný plyn (směs acetylen-vzduch, acetylen – oxid dusný). Analyzovaný vzorek se přivádí do plamene ve formě aerosolu. Ke zmlžování vzorku dochází ve zmlžovači. Plamen má oblast redukční a oxidační. Každá část plamene je vhodná pro stanovení určitých prvků, pro termostabilní oxidy je vhodný plamen redukční. Monochromátor slouží k izolaci záření o vhodné vlnové délce. Detektor zesiluje signál a převádí signál optický na signál elektrický. Poslední součástí přístroje je počítač, který ukládá změřená data. Každý prvek má pro své stanovení optimální vlnové délky. Optimální vlnová délka pro měď je 324 nm, pro zinek 213 nm. Sodík je stanovován z režimu emise, přičemž optimální emise při stanovování ve směsi acetylen-vzduch je 589 nm (CRESSER, 1994).

3.2. SODÍK

Sodík (Na, *Natrium*) je kov patřící do skupiny prvků, která je označována jako alkalické kovy (1. skupina). Sodík je z této skupiny nejrozšířenější. Obecně se jedná o kovy hojně se vyskytující a je pro ně typický kovový lesk. Jsou lehké a měkké, například chlorid sodný (NaCl) je v Mohsově stupnici tvrdosti na druhém místě (jedná se o druhý nejměkčí minerál). Dále je pro kovy této skupiny charakteristické barvení plamene. Sodík barví plamen do žluté barvy. Těto vlastnosti se využívá při plamenových zkouškách. Celkově se jedná o kovy velmi reaktivní a důležité pro život na Zemi (především Na a K).

Chlorid sodný (NaCl) je nejrozšířenější sloučeninou sodíku. Největší přírodní ložiska vznikala postupně odpařováním starých moří (ze slané mořské vody). Touto metodou vznikla mocná ložiska chloridu sodného. Nyní k těmto procesům dochází například v Mrtvém moři. Koncentrace NaCl v těchto ložiscích dosahuje 90 %. Existuje několik způsobů těžby NaCl. Podle způsobu těžby a dalšího zpracování vzniká NaCl určený k různému využití. Jednou z možností je těžba přímo z ložisek, kde se NaCl těží jako sůl kamenná. Dále lze NaCl těžit jako solanku (rozpuštěný NaCl), nebo jej lze získat odpařováním. Vytěžená sůl ve většině případů prochází rafinací (GREENWOOD, 1993).

Vytěžený chlorid sodný má široké spektrum využití. Nejvýznamnější využití nachází v potravinářství, chemickém průmyslu, dopravě a jako zdroj minerálů pro zvěř (krmná sůl). V dopravě se používá jako chemický posyp při zimní údržbě silnic. Může se využít přímo krystalický chlorid sodný, nebo jako tzv. solanka (používaná nejčastěji). Jedná se o nasycený vodný roztok chloridu sodného. Využití solanky je vhodné proti spékavosti a funkčnosti při nižších teplotách. Krystalický chlorid sodný se efektně používá do teplot okolo $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při teplotě $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ se posyp stává nefunkčním a tedy zbytečným. Velikost krystalů chloridu sodného se pohybuje v rozmezí 0,16 - 0,5 mm. Při nižších teplotách se při ošetření silnic používá směs chloridu sodného s chloridem vápenatým. Tato směs je účinná i při nižších teplotách ($-35\text{ }^{\circ}\text{C}$) (EKOLIST.CZ, 2017).

V České republice je zimní údržba silnic upravována zákonem. V zákoně č. 104/1997 Sb. je přesně zanesen postup při zimním ošetřování silnic. Je zde

definováno, kde se chemický posyp používat nesmí (okolí pramenů pitné vody, vodních nádrží sloužících jako zdroj pitné vody, na železničních přejezdech, ve zvláště chráněných oblastech). Z celkové silniční sítě v ČR je více jak polovina v zimních měsících ošetřována inertním posypem. Zbytek (přibližně 45 % silnic) je ošetřen chemicky, a to právě buď přímo posypem, nebo solankou. Melcher uvádí, že na ošetření plochy o rozloze 1 m² je zapotřebí 19,6 g krystalického materiálu nebo 16,6 g solanky (EKOLIST.CZ, 2017).

Správa silnic a dálnic České republiky udává, že na ošetření plochy 1 m² by mělo stačit 20 g krystalického chloridu sodného, maximálně lze použít 60 g krystalického chloridu sodného na metr čtvereční. Tento posyp může být použit pouze tehdy, pokud souvislá sněhová pokrývka není vyšší jak 3 cm. Většina území je ošetřena právě solankou. V roztoku lze ovšem nalézt i další, mnohdy toxické látky (PORTÁL VEŘEJNÉ SPRÁVY, 2017).

Helmreich (2010) ve své práci uvádí, že naměřené koncentrace sodíku se u frekventované silnice v Německu pohybují v rozmezí od 110 mg·kg⁻¹ do 65 000 mg·kg⁻¹ (HELMREICH, 2010). Zasolení půd patří mezi jeden z nejhorších degradačních mechanismů. V celosvětovém měřítku si nejhůře stojí severské státy, v důsledku používání chemického posypu během zimních měsíců. Odhaduje se, že zasolením jsou postiženy až 3 miliony hektarů půdy v Evropě.

Vyšší koncentrace sodíku v půdě má negativní dopad na rostliny. Sodík blokuje vstup ostatních prvků a stává se pro rostliny toxický. Pouze malé množství rostlin můžeme označit jako halofytní rostliny. Z nejběžnějších čeledí do této skupiny patří rostliny čeledi lipnicovité (*Poaceae*) a bobovité (*Fabaceae*) (MOŤKOVÁ a kol., 2014).

V současné době nejsou stanoveny přípustné koncentrace sodíku v půdě. Největší nárůst koncentrace sodíku v půdě má na svědomí tání sněhu, popřípadě dešťové srážky v době, kdy je povrch vozovky chemicky ošetřen. Je prokazatelné, že nejvyšší koncentrace sodíku jsou zjištěné po odtání sněhu. Se vsakem vody do nižších vrstev se sodík postupně dostává do nižších vrstev půdního profilu (AMRHELN a kol., 1992).

Solení má vliv na zeleň vyskytující se v blízkosti silnice. Pro tato místa jsou typické halofytní druhy, jako například zblochanec oddálený (*Puccinellia distans*), kuřinka solná (*Spergularia salina*) a stále častěji se zde vyskytuje i rosička krvavá (*Digitaria sanguinalis*). Jedná se o druhy, které tyto lokality vyhledávají. Nicméně solení má vliv i na stromy rostoucí v blízkosti komunikace. Jedním ze stromů, který nejhůře snáší zasolenou půdu je lípa srdčitá (*Tilia cordata*). Dříve byla lípa hodně sázena k silnicím, dnes ji postupně nahrazují druhy, které jsou vhodnější na zasolené půdy. Jedná se například o javor mléč (*Acer platanoides*), břízu bělokorou (*Betula pendula*) nebo dub zimní (*Quercus petraea*) (ŠERÁ, 2005).

Městská zeleň je přímo i nepřímo ovlivněna zimní chemickou údržbou silnic. Chlorid sodný vstupuje do rostliny dvěma způsoby. První cestu představuje vstup do rostliny přímo přes kořeny. Druhou cestu vstupu představují listy, popřípadě další nadzemní části rostlin. Zvýšení koncentrace chloridů sodného v půdě vede k nárůstu pH půdy a následně k degradaci půdy. Následky jsou pro městskou zeleň nebezpečné a mohou vést k zániku městské zeleně (KOLAŘÍK, 1994).

Po zimní údržbě silnic v Rakousku byla sledována mobilita sodíku. Bylo zjištěno, že sodík pocházející ze zimní údržby je mobilnější než sodík vyskytující se v daném místě přirozeně. Současně se sodíkem byla sledována i mobilita dalších kovů (mědi, zinku, niklu, chromu a olova). Všechny kovy, včetně sodíku, vykazaly klesající koncentraci s narůstající vzdáleností od silnice. Při 5 - 10 metrech od silnice byly koncentrace prvků srovnatelné s okolím (ZEHETNER a kol., 2009).

Toxické dopady posypové soli sledovala dlouhodobá studie probíhající v USA. Koncentrace chloridu sodného byla analyzována ve vzorcích říční vody, které byly získány z odběrů ve sledovaných lokalitách. Nejvyšší naměřená koncentrace dosahuje $11\,200\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, která značně překračuje koncentrace chloridů ve vodě povolené, které jsou $860\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (akutní) a $230\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (chronická) (CORSI a kol., 2010). Další studie sledovala koncentraci sodíku v půdě v blízkosti silnice, kde se používá chemický posyp (5,5 kg na 1,6 km silnice). Koncentrace ve svrchní vrstvě půdy dosahovaly hodnot $16\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ až $101\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy. Jedná se o vzorky v bezprostřední blízkosti silnice. Se vzdáleností od silnice klesala i koncentrace. V blízkosti silnice má zvýšená koncentrace sodíku negativní dopad na rostliny. Problém byl zaznamenán u borovic (*Pinus*), kterým v důsledku zasolení hnědlo jehličí (BRYSON a kol., 2002).

3.3. MĚĎ

Měď (Cu, *Cuprum*) je prvek nacházející se v 11. skupině periodické tabulky prvků. Jedná se o kovově lesklý prvek načervenalé barvy. Hojně se vyskytuje v zemské kůře, hlavně v sulfidech, oxidech a uhličitanech. Nejrozšířenější minerál, ve kterém se měď vyskytuje, je chalkopyrit (CuFeS_2). Velká naleziště mědi jsou v oblastech Severní Ameriky. Měď patří mezi nejdéle používané kovy. Její objev a používání slitin přispělo k velkému rozvoji a vzniku doby bronzové (období 3 000 př. n. l.). Stopové množství mědi se nalézá i v lidském těle. Nejjednodušší způsob, jak získat měď, je přímá redukce její rudy s koksem za vysoké teploty. Měď se získává i ze železných rud. Využití nachází měď ve stavebnictví, kde se používá jako elektrický vodič. Dále se s ní můžeme setkat v mincovnictví a je nedílnou součástí slitin. Například hojně užívaný bronz je slitina mědi a cínu (GREENWOOD, 1993).

Přirozený obsah mědi je dán během půdotvorných procesů. Větší koncentrace mědi jsou patrné ve vyšších (svrchních) půdních horizontech. Měď se na tato místa dostává přirozenými procesy i antropogenní činností. Největší zdroje z antropogenní činnosti představuje průmysl, emise a používání agrochemikálií. Měď je vázána na vyšší obsah organické hmoty v půdě, půdy s dostatkem humusu jsou bohaté na měď. Měď velmi ochotně tvoří komplexy (patří mezi přechodné prvky), jejichž stabilita roste s narůstajícím pH půdy. Koncentrace kovů v půdě je stále větší zátěží a stává se předmětem sledování. Koncentrace mědi v půdě je závislá na pH. Při neutrálním pH dosahuje koncentrace mědi hodnot 1 – 3000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy. Nejnížší koncentrace byly zjištěny v Polsku 1 – 31 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, naopak nejvyšší v USA 3 – 3000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy. Ve všech sledovaných místech se jednalo o půdu ze svrchních vrstev (MAKOVNÍKOVÁ a kol., 2006).

Jako průměrná koncentrace mědi v půdě se uvádí 30 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy, přičemž se pohybují v rozmezí 2 – 250 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy. Optimální koncentrace pro zemědělskou půdu odpovídá rozsahu 1 – 50 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy (ADRIANO, 2001).

Koncentrace mědi se v O horizontu u trvale travního porostu pohybuje v rozmezí hodnot 3,64 - 30,48 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy, přičemž průměrná koncentrace je 10,57 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy. U P horizontu jsou koncentrace 2,39 - 40,10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy,

průměrná koncentrace je $10,14 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy (POLÁKOVÁ a kol., 2016). Maximální přípustné koncentrace kovů v půdě jsou uvedeny ve vyhlášce č. 13/1994 Sb., kde pro měď (stanovovanou ve výluhu 2M HNO_3) je uvedeno $30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy (pro lehkou půdu) a $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy (pro ostatní půdy) (POLÁKOVÁ a kol., 2016).

Jako lehké půdy jsou označovány půdy, které vznikají na chudých matečných horninách, jedná se především o písky a štěrkopísky. Typická je pro ně nízká absorpční schopnost.

Rimmer (2004) ve své studii sledoval koncentraci mědi v půdních vzorcích v Anglii. Jako rozmezí koncentrací mědi v půdě uvádí $5,25 - 15,27 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy. Dále odebíral vzorky v Litvě. V závěru uvádí, že koncentrace mědi ve vzorcích z Litvy dosahovala nižších koncentrací než u vzorků z Anglie (RIMMER, 2004). Další studie provedená v Pekingu prokazuje klesající koncentraci mědi s narůstající vzdáleností od silnice (CHEN a kol., 2010). V Polsku dosahuje koncentrace mědi v půdních vzorcích hodnot $9,04 - 11,42 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy. Jedná se o koncentrace, které nepřekračují koncentrace dovolené zákonem (CHRZAN a kol., 2013).

V Německu byla sledovaná koncentrace těžkých kovů a pH v blízkosti silnice, kde se hustota provozu pohybuje v hodnotách 50 000 až 90 000 vozidel. Byl zde prokázán nárůst pH u půdy, pH bylo vyšší u vzorků získaných blíže u silnice, což je zdůvodněno ukládáním prachu ze silnice a používáním solí k zimní údržbě. Koncentrace mědi byla nejvyšší u vzorků z blízkosti silnice, ale nepřekročila limity stanovené zákonem (KOCHER a kol., 2005).

Koncentrace mědi v blízkosti silnice závisí na hustotě dopravního provozu v dané oblasti. Sledování, které proběhlo v Dubaji, porovnávalo 3 vybrané silnice - dálnici, klasickou silnici a velmi málo frekventovanou silnici. V blízkosti silnice byly odebrány půdní vzorky, které byly následně analyzovány pomocí atomové absorpční spektrometrie. Koncentrace mědi v blízkosti dálnice dosahovala koncentrace $15,51 - 65,90 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy, u klasické silnice $0,82 - 18,04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy a u málo frekventované silnice $2,88 - 5,81 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy (ASLAM a kol., 2011).

3.4. ZINEK

Zinek (Zn, *Zincum*) je prvek patřící do 12. skupiny periodické tabulky prvků. Jedná se o měkký, snadno tavitelný kov. Zinku se v zemské kůře vyskytuje více jak mědi. Stejně jako měď je používán velmi dlouho. Nejrozšířenější rudou, ze které se zinek získává, je sfalerit (ZnS), který má svá velká naleziště v Severní Americe a Kanadě. Zinek se používá jako antikoroziční povlak, dále jako příměs pigmentů, slitin a do tzv. suchých článků. Zinek je nedílnou součástí lidského těla, kde se vyskytuje v enzymech (GREENWOOD, 1993). Do životního prostředí se dostává jak přirozeně, tak i antropogenní činností. Pro některé organismy je ovšem toxický, například pro vodní organismy nebo ryby, kde nejcitlivěji na změny koncentrace zinku reagují lososovité ryby. Nadbytečný příjem zinku je nebezpečný i pro člověka, může způsobit anémii či porušení plodu u těhotných žen (ARNIKA.org, 2017) .

Zinek se v půdě v největších koncentracích akumuluje ve svrchní vrstvě půdy. Rostlinám je zinek z povrchové vrstvy dobře dostupný a mohou jej využívat. Koncentrace zinku se zvyšuje v kyselých půdách. V půdě je zinek vázán na organickou hmotu a je závislý na pH. Čím je půda zásaditější, tím méně zinku obsahuje, což se může negativně projevit na rostlinách. Nedostatek se projeví chlorózou, která se nejčastěji projevuje zakrslostí rostlin či změnami na listech, také způsobuje úbytek rostlinných hormonů a chlorofylu. Rostliny se liší v nárocích na obsah zinku. Mezi druhy, které jsou citlivé na nedostatek zinku, lze zařadit chmel (*Humulus*), kukuřici (*Zea*), len (*Linum*) a některé obiloviny (KABATA-PENDIAS, 2011).

Pokud je zinku v půdě nadbytek, může dojít k porušení příjmu jiných prvků rostlinou. Při vysoké koncentraci zinku v půdě rostlina špatně přijímá železo, mangan a měď, což může vést až k fatálním nedostatkům těchto prvků v rostlině. Naopak zinek je pro rostlinu i esenciální – význam má při růstu a vývoji rostlin (IMTIAZ a kol., 2003).

U trvale travního porostu se koncentrace zinku ve svrchní vrstvě půdy pohybuje v rozmezí 10,04 - 66,00 mg·kg⁻¹ půdy, přičemž jako průměrná koncentrace se uvádí 33,52 mg·kg⁻¹ půdy. U lehkých půd jsou koncentrace v rozmezí 8,17 -

47,25 mg·kg⁻¹ půdy, s průměrem 25,93 mg·kg⁻¹. Podle vyhlášky MŽP č.13/1994 Sb. je maximální přípustná koncentrace zinku v půdě 50 mg·kg⁻¹ půdy (pro lehkou půdu) a 100 mg·kg⁻¹ půdy (pro ostatní půdy), při výluhu ve 2M HNO₃. Z dlouhodobého sledování vyplývá, že trvale travní plocha vykazuje vyšší koncentrace zinku než plochy ostatní (POLÁKOVÁ a kol., 2016).

Adriano (2001) uvádí jako střední koncentraci zinku v půdě (u trvale travního porostu) 40 až 77 mg·kg⁻¹ půdy. Jako průměrnou hodnotu uvádí 68 mg·kg⁻¹ půdy. Za jeden z velkých zdrojů zinku v životním prostředí lze označit hnojiva. Zinek se dále dostává do půdy z průmyslové činnosti během srážek (ADRIANO, 2001).

Jiným zdrojem zinku v půdě je aplikace hnojiv. Ze série několika pokusů a měření vychází, že během jednoho roku je na jeden hektar půdy uměle přidáno až 453 g zinku. Další zdroj zinku představují kaly z čistíren odpadních vod. Bylo zjištěno, že zinek uvolněný z kalů pocházejících z čistíren odpadních vod je v přírodě mobilnější (POLÁKOVÁ, 2006).

Zvýšená koncentrace zinku znamená zvýšení zátěže pro životní prostředí. V důsledku silniční dopravy je nejvyšší zátěž v úplné blízkosti vozovky. Při sledování bylo zjištěno, že u běžných silnic v Iráku je roční zatížení zinku 4 mg·m⁻². U dálnice se jedná o koncentraci několikanásobně vyšší a to až 38 mg·m⁻² za rok. Hlavním zdrojem tohoto zinku jsou opotřebované pneumatiky a další součástky. Pneumatiky obsahují okolo 1 % zinku ve formě oxidu nebo sulfidu zinečnatého, proto se zinek používá jako stopovač otěru pneumatik. Zinek dále může být ve zvýšených koncentracích nalezen ve vodách pod mosty, kam se opět dostává z automobilové dopravy, či z opotřebování mostních konstrukcí (BLOK, 2005).

Zinek byl sledován u nejvytíženější dálnice v hlavním městě Pákistánu. Zde byla odebrána série čtyř vzorků půdy (místa s trvale travním porostem) v blízkosti silnice. Průměrná koncentrace zinku zde dosahuje 116 mg·kg⁻¹ půdy. Současně se zinkem byly sledovány i další kovy jako měď, nikl, olovo a kadmium. Koncentrace mědi byla 52 mg·kg⁻¹ půdy. Ze všech sledovaných kovů dosahoval nejvyšších koncentrací zinek. Všechny kovy byly zjištěny pomocí plamenové atomové absorpční spektrometrie (FAIZ a kol., 2009).

Koncentrace zinku není všude v prostředí stejná. Studie, která byla provedena v Číně, ukazuje, že koncentrace zinku v blízkosti železniční tratě je vyšší než v okolí. Nejvyšší koncentrace, které byly v rámci této studie zjištěny, dosahují hodnot $304 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy. Dále je zde uveden trend klesající koncentrace zinku se vzdáleností od železniční tratě (ZHANG a kol., 20013).

V Polsku byl proveden výzkum, který sledoval akumulaci zinku v blízkosti silnic, v rostlinných tělech. V průběhu byly sbírány a analyzovány (pomocí AAS) vybrané druhy rostlin – srha laločnatá (*Dactylis glomerata*), psárka luční (*Alopecurus pratensis*), ovsík vyvýšený (*Arrhenatherum elatius*). Cílem bylo zjistit, do kterého rostlinného orgánu se ukládá nejvíce zinku. Z provedených rozborů vyplynulo, že nejvíce zinku se ukládá v listech (MALINOWSKA a kol., 2015). Dále v Polsku byla v roce 2013 zkoumána koncentrace zinku v půdních vzorcích odebraných v lese. V lesní půdě je průměrná koncentrace zinku $30,45 - 40,22 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy. Jedná se o koncentrace, které nepřekračují limity povolené zákonem (CHRZAN a kol., 2013). V Nigérii byla sledovaná koncentrace zinku v půdě v závislosti na množství srážek. Do práce byly publikovány výsledky za období sucha a období dešťů. Koncentrace zinku v období dešťů byla $48,98 \pm 0,12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy ve vzorku odebraném v hloubce 0 – 15 cm, v hloubce 15 – 30 cm se jedná o hodnotu $44,75 \pm 0,09 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy. V období sucha se jednalo o průměrné koncentrace $50,22 \pm 0,02 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy a $46,46 \pm 0,03 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy. Analýza byla provedena pomocí atomové absorpční spektrometrie (OLAFISOYE a kol., 2013).

Koncentrace zinku v blízkosti silnice závisí na hustotě dopravního provozu v dané oblasti. Sledování, které proběhlo v Dubaji, porovnávalo tři vybrané silnice - dálnici, klasickou silnici a velmi málo frekventovanou silnici. V blízkosti silnice byly odebrány půdní vzorky, které byly následně analyzovány pomocí atomové absorpční spektrometrie. Koncentrace zinku v blízkosti dálnice dosahovala koncentrace $91,34 - 166,43 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy, u klasické silnice $8,97 - 106,11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy a u málo frekventované silnice $1,23 - 46 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy (ASLAM a kol., 2011).

Studie provedená v USA v roce 1993 zanalyzovala přes 3 000 vzorků, kde byly stanoveny těžké kovy. K analýze byly použity půdní vzorky odebrané ze svrchní

vrstvy půdy. Nejnižší koncentrace zinku byla $< 3,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, nejvyšší $264 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a průměrná koncentrace byla $53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy (HOLMGREN a kol., 1993).

3.5. DOPRAVA

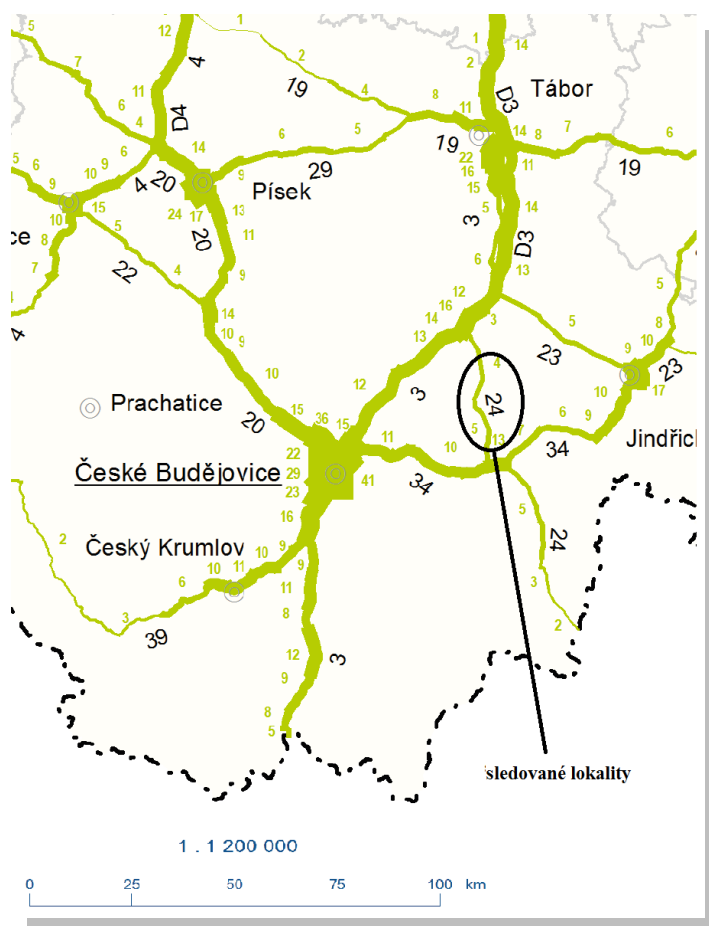
Na celém světě existuje několik typů a způsobů dopravy. Dopravu vnímáme jako přemísťování osob či materiálů z jednoho místa na jiné. V této práci se zabýváme především dopravou silniční a dopravou železniční. Široký definuje oba tyto typy dopravy následovně: *„Železniční doprava je doprava uskutečňována železničními dopravními prostředky po železničních tratích.“* *„Silniční doprava je doprava, při níž se zajišťuje přemísťování osob a věcí silničními vozidly (silničními dopravními prostředky), jakož i přemísťování silničních vozidel samých po pozemních komunikacích, dopravních plochách a volném terénu.“* (ŠIROKÝ, 2005)

Silniční síť v České republice tvoří několik typů silnic. Jejich úroveň se liší podle hustoty provozu na daném úseku, způsobu ošetřování, či dle typu vybudování. V dnešní době je většina silnic asfaltových, ale stále se vyskytují i cementobetonové vozovky. Oba typy mají své výhody i nevýhody. Velkou výhodou cementobetonových vozovek je dlouhá životnost, naopak nevýhodou je vysoká hlučnost. U asfaltových je velkou výhodou nízká hlučnost, nicméně lze tyto vozovky (v porovnání s cementobetonovými) považovat za méně šetrné k životnímu prostředí.

Vozovky lze rozdělit podle druhu zimní údržby. Z celkové plochy silniční sítě ČR se na 42 % používá chemický posyp, na 34 % písek a drť, na 11 % škvára či struska. Chemický posyp se nesmí používat v blízkosti pramenů pitné vody, vodních ploch, v blízkosti a přímo na železničních přejezdech, v chráněných územích nebo v místech, kde to zakáže vyhláška či zákon. Pokud chráněným územím prohází dopravní tepna, lze zákaz používání chemických posypů upravit vyhláškou a chemický posyp zde povolit udělením výjimky (EKOLIST.CZ, 2017).

Hlavní ukazatel pro stanovení provozu představuje pravidelné měření hustoty provozu. Jedná se o celostátní měření, které probíhá pravidelně jednou za 5 let. Častěji dochází k měření u rychlostních silnic a dálnic (zde probíhá měření každý rok). Se získanými výsledky dále pracuje Ředitelství silnic a dálnic České republiky (ŘSD ČR).

Obr. č. 1: Intenzita dopravy v roce 2016 (roční průměr denních intenzit (voz/24) v tisících)



zdroj: www.rsd.cz, upraveno: 27. 3. 2017

Z obrázku číslo 1 můžeme vyčíst, že obě sledované lokality leží v úseku se stejnou hustotou dopravy. Hustota silničního provozu zde byla (v roce 2016) 5 000 vozidel za 1 den.

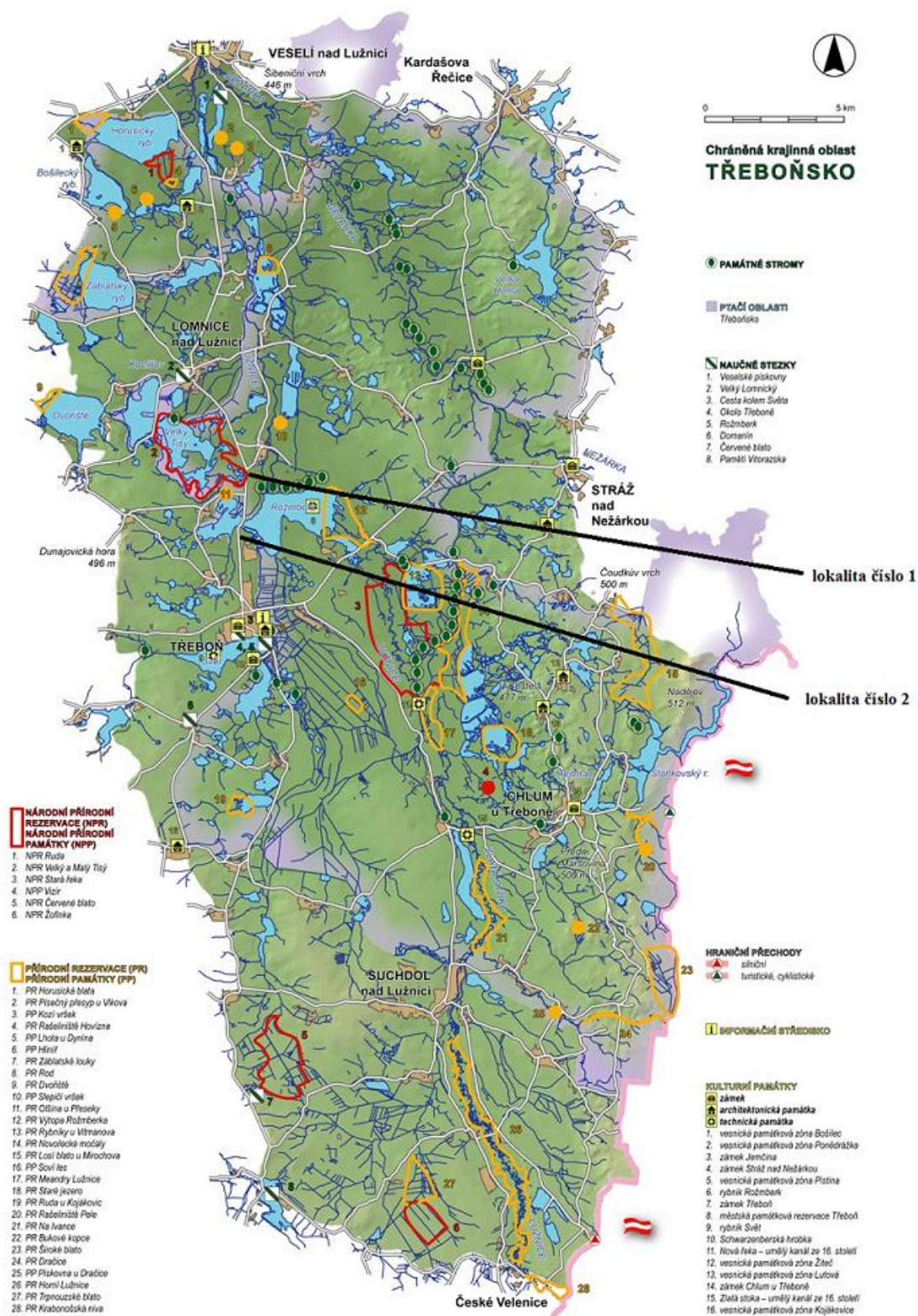
3.6. CHRÁNĚNÁ KRAJINNÁ OBLAST TŘEBOŇSKO

Chráněná krajinná oblast Třeboňsko (CHKO Třeboňsko) byla vyhlášena v roce 1979 na území Jihočeského kraje. CHKO se rozléhá na ploše 707 km². Oblast byla osídlena okolo 12. století a člověk si krajinu začal přetvářet ke své potřebě. Velký vliv na úpravy krajiny měl Štěpánek Netolický a Jakub Krčín. V oblasti došlo k vybudování umělého vodního systému a mnoha rybníků. Jejich účelem bylo jednak zadržení vody v krajině a jednak rozkvet rybářství. Toto vedlo ke vzniku jedinečné přírody. Nyní se na území chráněné krajinné oblasti nalézá okolo 460 rybníků. Rybníky se druhotně staly hnízdištěm a migrační zastávkou mnoha druhů ptáků. V CHKO je řada maloplošných, zvláště chráněných území a naučné stezky. Dále jsou zde evropsky významné lokality a ptačí oblasti. V současné době je více jak 45 % rozlohy CHKO tvořeno lesy. Největší hrozbu pro přírodu zde představuje intenzivní zemědělství s používáním umělých přihnojovacích prostředků, těžba surovin, městské aglomerace a rozvoj cestovního ruchu (ČIHAŘ, 1998).

Na velké části území zůstaly zachovány původní meandry řeky. Mezi nejcennější biotopy Třeboňska patří rozsáhlá rašeliniště. Na těchto plochách zůstaly zachovány původní druhy fauny a flory. V oblasti se vyskytuje mnoho ohrožených obratlovců. Jako příklad je možné uvést vydru říční (*Lutra lutra*) či orla mořského (*Haliaeetus albicilla*). Ornitologové každý rok monitorují orla mořského a sledují jeho hnízda. Kromě přírodních památek zde můžeme nalézt i památky architektonické (ČIHAŘ, 1998).

Většina komunikací, nacházejících se v CHKO Třeboňsko, je v zimním období ošetřována inertními materiály a nepoužívají se chemické posypy. Silnice I. a II. třídy mohou mít udělenou výjimku a mohou být ošetřovány chemickým posypem. Jedná se o důležité a významné komunikace procházející přes chráněnou krajinnou oblast. Výjimka platí mimo jiné i na komunikaci I/24 vedoucí z Veselí nad Lužnicí přes Třeboň na hraniční přechod Halámky (SPRÁVA CHKO, 2007).

Obr. č. 2: Mapa CHKO Třeboňsko s vyznačenými lokalitami, kde probíhal odběr vzorků pro tuto práci.



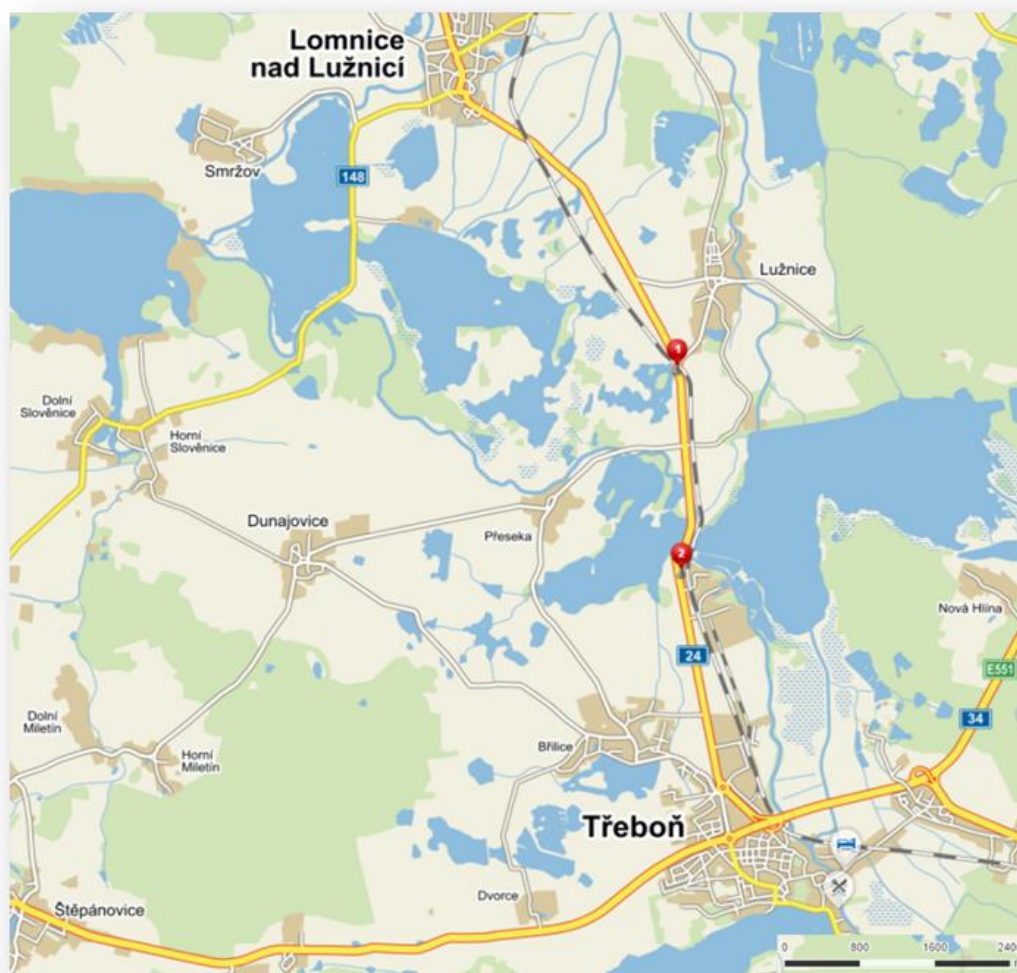
zdroj: www.cittadella.cz, upraveno: 27. 2. 2017

4. PRAKTICKÁ ČÁST

4.1. ODBĚROVÁ MÍSTA

Po dohodě s vedoucím diplomové práce byly vybrány dvě vhodné lokality k odběru vzorků. Obě se nalézají v jihočeském kraji, v okrese Jindřichův Hradec, v blízkosti města Třeboň (Chráněná krajinná oblast Třeboňsko). Místa pro odběr vzorků jsou v blízkosti silnice a železnice – z jedné strany sledovaná louka končí silnicí a z druhé železnicí. Každá louka je jinak velká, obě se nacházejí na levé straně silnice ve směru jízdy z Veselí nad Lužnicí do Třeboně. Vzorky byly odebírány u silnice č. I/24 vedoucí z Veselí nad Lužnicí do Třeboně a dále na státní hranice se sousedním Rakouskem. Obě louky byly pravidelně v letních měsících sečeny a udržovány. Porost byl shodný. Nebyly pozorovány výrazné odlišnosti ve struktuře flory.

Obr. č. 3: Vybrané lokality



zdroj: www.mapy.cz, upraveno: 7. 2. 2017

Lokalita číslo 1 se nachází v blízkosti železniční zastávky Lužnice. Jedná se o malou louku mezi silnicí a železnicí. Na této lokalitě byly vzorky odebírány ve třech vzdálenostech od silnice (v blízkosti silnice, 5 metrů od silnice, v blízkosti železnice), ve třech opakováních a ve dvou hloubkách 0 – 15 cm a 15 – 30 cm.

Tab. č. 1: Popis odběrových míst na lokalitě číslo 1

Odběrové místo	Vzdálenost od silnice	Charakteristika místa
1	bezprostředně u silnice	travnatý porost, u okraje asfaltového povrchu silnice
2	5 metrů od silnice	travnatý porost, ojediněle vyskytující se kameny
3	10 metrů od silnice, bezprostředně u železnice	travnatý porost, velké množství štěrku a kamenů, v blízkosti malá stružka na odvod dešťové vody

Obr. č. 4: Lokalita číslo 1



zdroj: www.mapy.cz, upraveno: 7. 2. 2017

Lokalita číslo 2 se nachází u třeboňského sídliště Gigant (malé sídliště vzdálené několik stovek metrů od města Třeboň). Opět se jedná o louku z jedné strany ohraničenou silnicí a z druhé železnicí. Vzorky zde byly odebrány v pěti vzdálenostech od silnice – v blízkosti silnice, 5 metrů od silnice, 25 metrů od silnice, 45 metrů od silnice, v blízkosti železnice (50 metrů od silnice). Vzorky byly odebrány ve třech opakováních a ve dvou hloubkách 0 – 15 cm a 15 – 30 cm. Nejhůře se odebíraly vzorky v blízkosti železnice. Půda zde obsahovala velké množství štěrku a dalších látek, byla bohatá na půdní živočichy.

Tab. č. 2: Popis odběrových míst na lokalitě číslo 2

Odběrové místo	Vzdálenost od silnice	Charakteristika
4	bezprostředně u silnice	travnatý porost, rozhraní asfaltu a travního porost, velké množství štěrku
5	5 metrů od silnice	mírný svah nad strouhou pro odvod vody, v blízkosti dopravní značení
6	25 metrů od silnice	travní porost, půda bohatá na půdní živočichy
7	45 metrů od silnice	rozhraní stromy, keře a travní porost
8	50 metrů od silnice, u železnice	velké množství kamenů a štěrku, odběr v mírném svahu u železniční tratě

Obr. č. 5: Lokalita číslo 2



zdroj: www.mapy.cz, upraveno: 7. 2. 2017

4.2. ODBĚR VZORKŮ

V průběhu všech ročních období bylo postupně odebráno pět sérií vzorků. Na lokalitě číslo 1 byly odebrány vzorky ze tří vzdáleností od silnice, ve dvou hloubkách a třech opakováních. Na lokalitě číslo 2 byly vzorky odebrány v pěti vzdálenostech od silnice, ve dvou hloubkách a ve třech opakováních. Celkem bylo odebráno 240 vzorků.

První série

První odběr vzorků proběhl 2. 10. 2015. Počasí před odběrem bylo sychravé, ale bez většího množství dešťových srážek. Tráva byla pokryta rosou. Během odběru byla půda suchá.

Druhá série

Druhý odběr proběhl 6. 2. 2016. Zima tohoto roku byla velmi mírná, s absencí silných mrazů, dešťových i sněhových srážek. V době odběru, ani před odběrem, nebyla souvislá sněhová pokrývka. Na sledovaných lokalitách nebyla (na základě počasí) nutná údržba silnic chemickým posypem.

Třetí série

Třetí série vzorků byla pořízena 5. 6. 2016. Před odběrem bylo několik dní sucho a teplo. Lokalita číslo 1 byla čerstvě posečena, posekaná tráva zůstala na místě. Domnívám se, že ani po odběru vzorku nebyla posečená tráva odvezena, ale na místě byla ponechána k zetlení.

Čtvrtá série

Čtvrtá série vzorků byla odebrána 22. 10. 2016. Počasí bylo srovnatelné s předchozím rokem. Nicméně obě lokality byly mokré. Na lokalitě číslo 2 byly vzorky 7 a 8 (vzorky nejdál od silnice) velmi mokré.

Pátá série

Poslední série vzorků byla pořízena 24. 2. 2017. Předchozí zima byla bohatá na sněhové srážky a teploty velmi nízké pod bodem mrazu. Sledované lokality byly několik dní pod silnou, souvislou vrstvou sněhu. V průběhu zimy musela být silnice, v blízkosti lokalit, několik dní intenzivně ošetřována chemickým posypem. Samotný odběr proběhl za slunečného počasí. Vzorky z lokality číslo 2 byly sušší.

4.3. ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ

Vzorky byly při odběru uloženy do označených polyethylenových sáčků. Sáčky byly důkladně popsány a zavázány, aby nemohlo dojít k záměně vzorků či jejich vzájemné kontaminaci. V laboratoři byly vzorky uchovávány v chladničce, čímž došlo k potlačení oxidačně-redukčních procesů, které by ve vzorcích mohly probíhat. Následnou úpravou byl každý vzorek zbaven viditelného organického a anorganického materiálů (kořínky rostlin, části rostlin, kameny, šterk). Následně proběhlo sušení, před kterým byly vzorky přemístěny do krystalizačních misek. Sušení probíhalo v sušárně při teplotě 100 °C 6 – 8 hodin (doba sušení se odvíjela od vlhkosti vzorků). Po sušení následovala homogenizace. Vzorky byly rozetřeny v keramické misce tloučkem na požadovanou analytickou velikost a přesáty přes síto. Z takto upraveného vzorku bylo do prachovnice naváženo 8 g vzorku a přidáno 40 ml 2M HNO₃ (kyselina dusičná). Takto zpracované vzorky byly připraveny k třepání na třepače po dobu 24 hodin. Výluh, získaný po třepání, se nechal odstát, čímž došlo k usazení sedimentu a následovala filtrace. Filtrace probíhala na filtrační aparatuře přes filtry se skleněným vláknem Whatman o velikosti pórů 1,2 μm. Získaný filtrát byl převeden do odměrné baňky o objemu 50 ml a demineralizovanou vodou doplněn po rysku. Takto byl vzorek připraven k analýze na přístroji. V některých vzorcích byla koncentrace sledových kovů natolik vysoká, že je bylo nutné zředit (100x, jen výjimečně 1000x). S ředěním bylo počítáno při vyhodnocování koncentrací jednotlivých kovů. Dále do vzorků, kde byla měřená koncentrace sodíku, byl přidán chlorid cesný (analytické činidlo). Před samotnou analýzou na přístroji byly připraveny kalibrační řady ze standardů sledovaných kovů. Kalibrační řada vždy obsahovala tzv. slepý vzorek a 8 standardů v rozsahu 0,5 – 20 mg·l⁻¹ standardního roztoku. Měření proběhlo na přístroji AAS Thermo Scientific ICE 3500, na katedře Aplikované chemie Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Po proměření všech vzorků byly koncentrace přepočteny, zaneseny do tabulek, následně do grafů, vyhodnoceny a diskutovány. V práci jsou uváděny vzorky z povrchového odběru (0 – 15 cm), které jsou označeny pouze číslem (např. 1). Dále jsou zde uváděny vzorky z podpovrchového odběru (15 – 30 cm), které jsou označeny číslem a písmenem H (např. 1H).

5. VÝSLEDKY A DISKUZE

Stanovení vybraných kovů (měď, sodík, zinek) proběhlo pomocí atomové spektrofotometrie. Měď a zinek byly stanoveny v režimu absorpce (atomová absorpční spektrometrie), sodík v režimu emise (atomová emisní spektrometrie). Všechny sledované prvky byly stanoveny ve výluhu půdy v roztoku 2M HNO₃. Naměřené koncentrace byly přepočteny, zprůměrovány a v práci jsou uváděny v miligramech na kilogram půdy (mg·kg⁻¹). Dále byly vypočteny intervaly směrodatných odchylek. Odchytky jsou zaneseny do grafů (kde nejsou viditelné z důvodu příliš malých hodnot v porovnání s koncentrací jednotlivých kovů), pro přehlednost jsou uvedeny v tabulkách, které jsou součástí přílohy této práce.

U vzorků bylo změřeno pH (viz tabulka) ve výluhu půdy v demineralizované vodě.

Tab. č. 3: Hodnoty pH na jednotlivých odběrových místech

vzorek	pH	
1	6,36	lokalita číslo 1
1H	5,98	
2	6,28	
2H	6,13	
3	6,26	
3H	6,07	
4	6,68	lokalita číslo 2
4H	7,18	
5	6,86	
5H	6,27	
6	5,23	
6H	5,06	
7	5,49	
7H	5,46	
8	5,52	
8H	5,25	

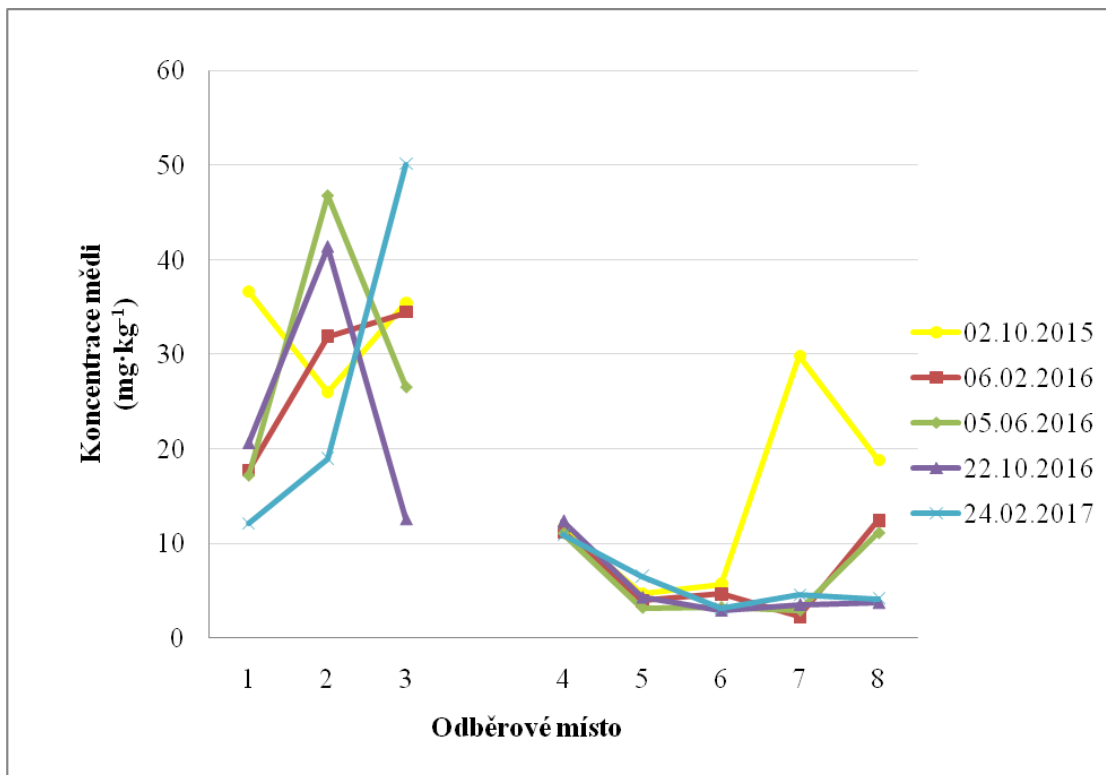
Na obou lokalitách bylo změřeno vyšší pH u vzorků z povrchového odběru. Z porovnání lokalit vyplývá, že zásaditější půda je na první lokalitě. Nejvyšší pH bylo zjištěno na odběrovém místě 4, což může souviset s těsnou blízkostí silnice.

Pomocí certifikovaných referenčních materiálů (SpS – WW2) byly určeny charakteristiky používaných analytických metod.

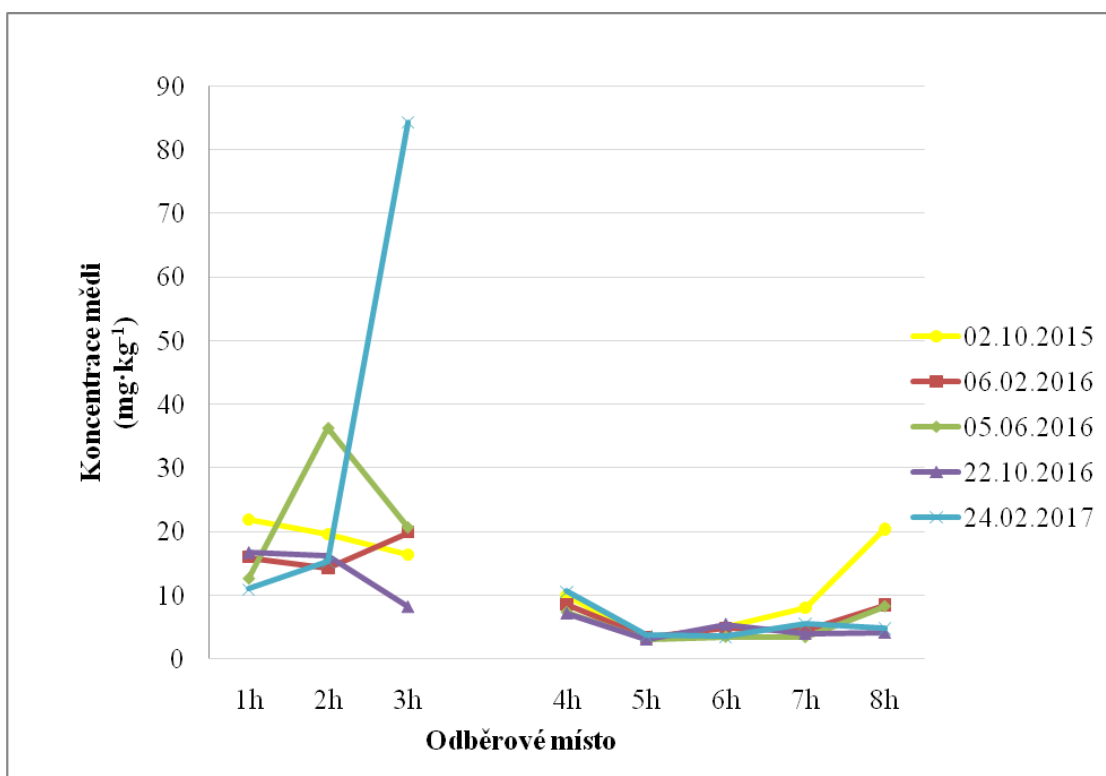
Tab. č. 4: Charakteristika stanovení Cu, Na a Zn pomocí AAS Thermo Scientific ICE 3500.

CHARAKTERISTIKA	Cu	Na	Zn
Přesnost (výtěžnost) %	99,9	99,1	102,6
Preciznost (opakovatelnost) %	0,27	0,26	0,12
Lineární dynamický rozsah (LDR) mg·l ⁻¹	0,138 – 10,000	0,080 – 2,000	0,037 – 3,000
Mez detekce (LOD) mg·l ⁻¹	0,041	0,024	0,011
Mez stanovitelnosti (LOQ) mg·l ⁻¹	0,138	0,080	0,037
Citlivost l·mg ⁻¹	0,0351	0,491	0,1323
Korelační koeficient	0,9998	0,9988	0,9989
Charakteristická koncentrace mg·l ⁻¹	0,125	N / A	0,033

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



Na grafech je viditelná různá koncentrace mědi, jak v jednotlivých odběrech, tak i na jednotlivých odběrových místech. Lokalita číslo jedna zahrnuje odběrová místa 1 až 3 (1H až 3H). Odběrová místa 4 až 8 (4H až 8H) se nacházejí na lokalitě číslo 2.

U povrchového odběru (0 – 15 cm) můžeme vidět, že na první odběrové lokalitě je vyšší koncentrace mědi než na lokalitě druhé. Lokalita první se nachází v mírné začátce se sklonem na odběrové místo, což může být příčinou vyšších koncentrací mědi v půdě než na lokalitě druhé, která se nachází na rovině. Žádná hodnota nepřekračuje $60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, což je maximální přípustná koncentrace uvedena ve vyhlášce MŽP. Nejvyšší koncentrace ($84,35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) byla naměřena v únoru 2017 u povrchového vzorku na odběrovém místě číslo 3. Toto odběrové místo se nachází v blízkosti železnice. Lze předpokládat, že vyšší koncentraci mědi v půdě způsobuje vliv železnice. Měď se do půdy může dostat během tření, které vzniká při jízdě vlakové soupravy po kolejnicích, intenzita tření může být ovlivněna počasím. Největší rozdíl je zjištěn u listopadových vzorků 2015 na odběrovém místě číslo 7 ($2,24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ - $29,81 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), jedná se o odběrové místo na louce. Rozdíl koncentrací by mohl být způsoben použitím hnojiva na danou louku, zemědělskou činností. U vzorků 4 - 5 z odběrové lokality číslo 2 můžeme sledovat pokles mědi směrem od silnice do louky. Průměrně koncentrace mědi v podpovrchových vzorcích dosahovala, až na výjimky, nižších hodnot než u vzorků povrchových. U odběru z února 2017 byly na odběrovém místě číslo 3 zjištěny nejvyšší koncentrace mědi, a to jak u povrchového ($50,12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), tak i podpovrchového ($84,35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) vzorku. Také tyto zvýšené koncentrace mohou být způsobeny blízkostí železniční tratě, měď se do půdy dostává pravděpodobně vlivem železniční dopravy.

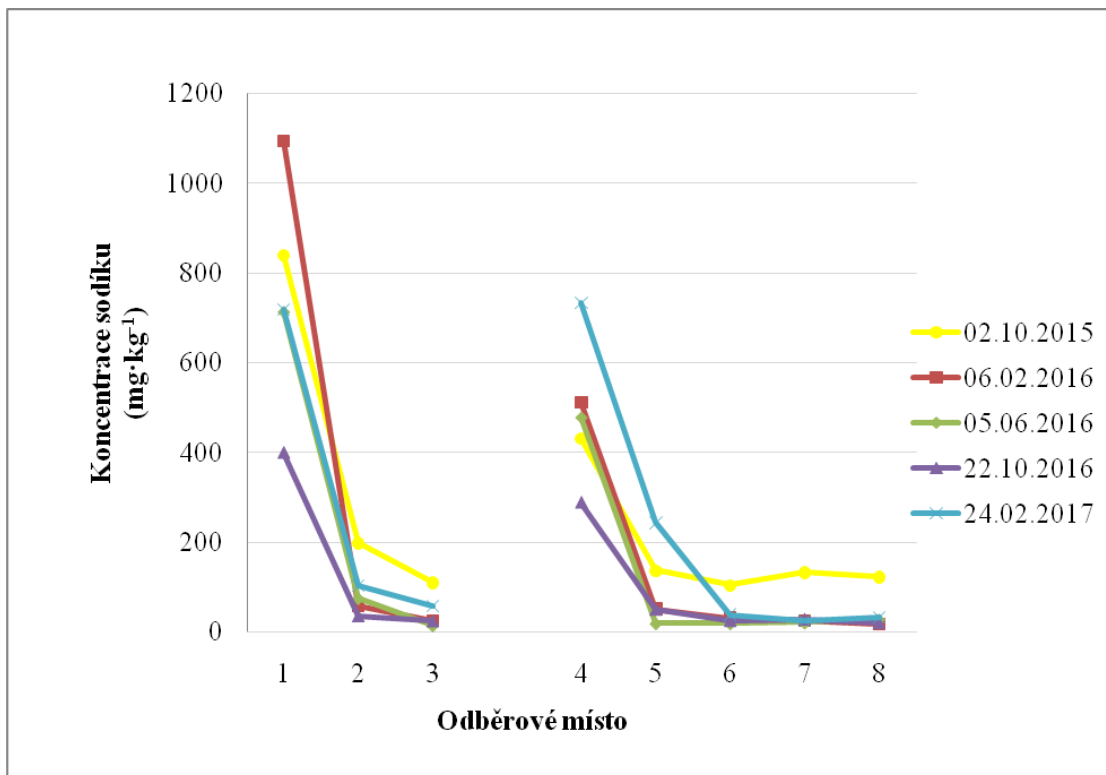
Vyšší koncentrace mědi pocházejí z první lokality. Blízko této lokality je železniční přejezd, stanice a mírně nakloněná železnice a silnice. Můžeme předpokládat, že při brždění a rozjíždění vlaků dochází k většímu tření a namáhání součástí, což může způsobit větší odlup mědi, kterou posléze nacházíme v půdě.

Adriano (2001) uvádí jako optimální koncentrace mědi v půdě $1 - 50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Pouze jeden vzorek se nevešel svým výsledkem do tohoto rozpětí - vzorek 3H ($84,35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Ze studie Polákové (2016) vyplývá jako průměrná koncentrace mědi (půda z povrchové vrstvy u trvale travního porostu) $10,57 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy. Všechny

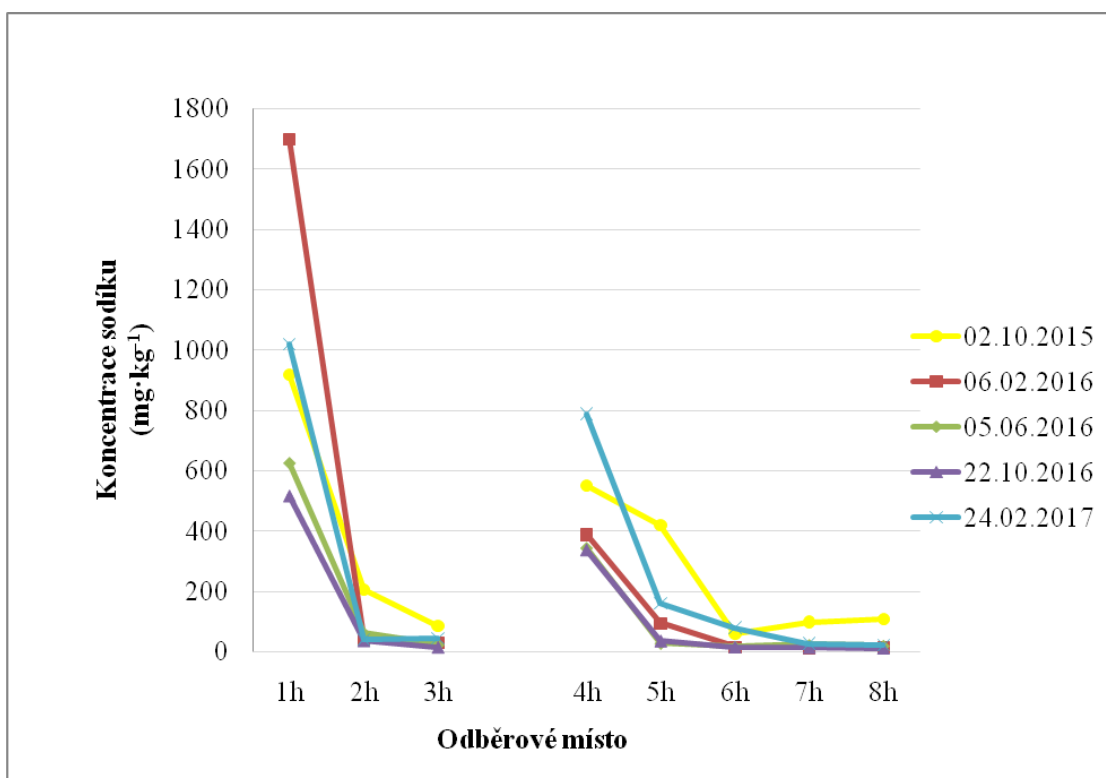
vzorky u povrchových vzorků z lokality číslo 1 dosahují vyšší koncentrace. U druhé lokality tuto koncentraci nepřekročily vzorky z odběrového místa 5 - 6. Ve stejné studii uvádí údaje i pro půdu z podpovrchového vzorku (podpovrchová vrstva půdy u trvale travního porostu), a sice $10,14 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. I u podpovrchových vzorků tuto koncentraci překročila většina vzorků z lokality číslo 1, výjimkou je pouze odběr z října 2016 na odběrovém místě 3. Vzorky z odběrových míst 4 - 7 tuto koncentraci nepřekročily.

Volavka (2012) ve své studii stanovil průměrnou koncentraci mědi $3,7 - 31,41 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. V porovnání s našimi výsledky se jedná o nižší koncentrace. ASLAM (2011) sledoval měď v půdě v blízkosti silnice, zjištěná koncentrace se pohybuje v rozmezí $0,82 - 18,04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Jedná se o rozmezí, do kterého spadají naše vzorky z odběrových míst 4 - 7 (povrchové i podpovrchové). Výjimku představuje povrchový vzorek z odběrového místa 7 (říjen 2015). Vzorky z blízkosti silnice tuto koncentraci překračují.

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



Naměřené koncentrace sodíku potvrzují naši prvotní hypotézu - se vzdáleností od silnice bude koncentrace sodíku klesat a nejvyšší koncentrace budou zjištěny v zimních měsících v blízkosti silnice. Dále bylo předpokládáno, že v závislosti na srážkách a čase, se bude akumulovat sodík v podpovrchových vrstvách půdy.

Nejvyšší naměřená koncentrace ($1\,697,84\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) byla zjištěna na odběrovém místě číslo 1 v blízkosti silnice. Na lokalitě číslo jedna všechny vzorky odběrového místa 1 dosahují výrazně vyšších koncentrací, než ostatní vzorky této lokality. Odběrové místo 1 se nachází v blízkosti silnice před stokou na odvod přebytečné vody. Podobný trend lze vyzorovat i u druhé lokality. Zde byla nejvyšší koncentrace naměřena u vzorku z odběrového místa 4 v únoru 2017 ($733,49\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), opět se jedná o odběrové místo bezprostředně u silnice. Pokud porovnáme odběry únor 2016 až říjen 2016, vidíme klesající koncentrace na všech odběrových místech. Nárůst koncentrací sodíku v půdě souvisí s chemickým posypem silnic v zimních měsících. V letních měsících, kdy k posypu nedochází, klesá koncentrace v blízkosti silnice a klesá se vzdáleností od silnice směrem do louky.

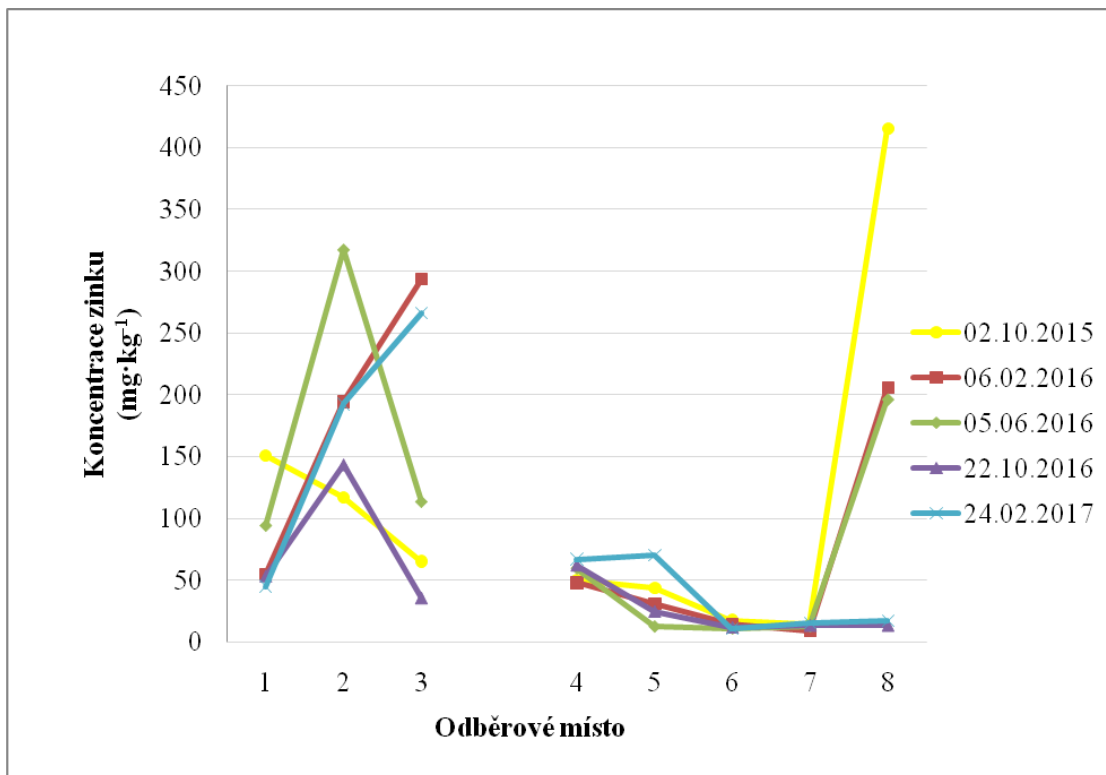
Podpovrchový vzorek z února 2016 opět představuje nejvyšší zjištěnou koncentraci ($787,44\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). U těchto vzorků lze demonstrovat klesající koncentraci směrem od silnice do louky. U odběrového místa 8 můžeme vidět mírný nárůst u vzorků 7 - 8 v říjnu 2015. Jedná se o stejný trend, jako u mědi.

V legislativě není stanovena maximální přípustná koncentrace sodíku v půdě v souvislosti se solením (zimní údržbou) silnic. Z předchozích studií můžeme uvést výsledky, které uvádí Helmreich (2010) ve své práci. U frekventované silnice v Německu se pohybují koncentrace sodíku v rozmezí od $110\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $65\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Žádný z našich výsledků nepřekročil zmiňované koncentrace, tudíž naše výsledky dosahují nižších hodnot. Tento fakt může být způsoben mírnější zimou, či méně intenzivním solením na sledovaném úseku během zim, které předcházely odběru vzorků.

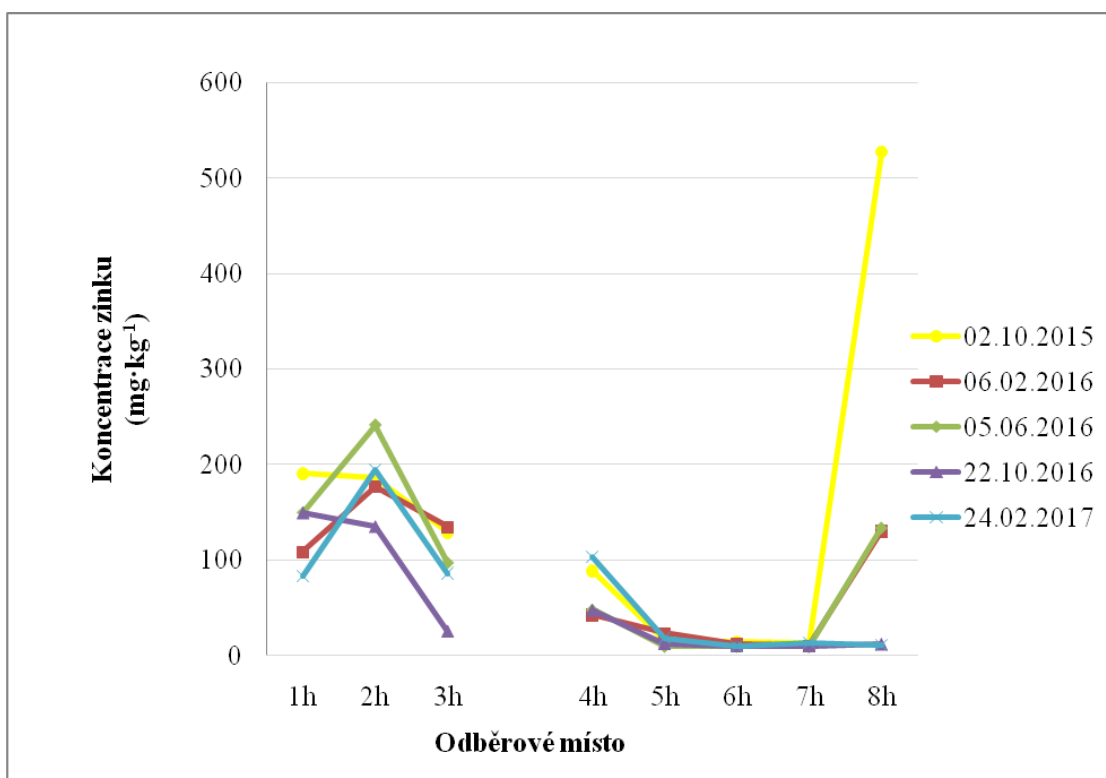
Bryson (2002) stanovil jako průměrné koncentrace sodíku v půdě 16 až $101\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Toto rozpětí překročily všechny vzorky z odběrového místa čísla 1 a 4 (povrchové i podpovrchové vzorky). Jedná se o místa z blízkosti silnice, tedy o místa, v jejichž blízkosti byl použit posyp na silnici.

Volavka (2012) uvádí jako průměrné koncentrace sodíku v půdě $37 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ až $769 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. V naší studii dosahují vzorky vyšších koncentrací. U obou studií byla použita stejná metodika a totožný postup práce. Z porovnání hustoty dopravy vyplývá, že na námi sledovaných lokalitách, byla nižší hustota silničního provozu. Vyšší koncentrace sodíku poukazuje na vyšší intenzitu zimní údržby v dané lokalitě. Zima letošního roku (2017) byla bohatší na silné mrazy a sněhové srážky, tudíž bylo potřeba intenzivnějšího posypu, čímž došlo k nárůstu obsahu sodíku v půdě.

Obr. č.10: Průměrná koncentrace zinku u vzorků z hloubky 0 – 15 cm



Obr.č. 11: Průměrná koncentrace zinku u vzorků z hloubky 15 – 30 cm



Ze zjištěných výsledků vyplývá, že se více zinku vyskytuje v povrchových vrstvách půdy než v podpovrchových, což ukazuje na znečištění zvenčí. Nejvyšší naměřená koncentrace zinku ($526,79 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) pochází z odběrového místa 8 z října 2015. U tohoto odběru byla zjištěna nejvyšší koncentrace v povrchovém ($415,54 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) i podpovrchovém ($526,79 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) vzorku. Zinek se používá na ochranu oceli, ze které se vyrábějí kolejnice. Můžeme předpokládat, že právě proto je v blízkosti železnice (vlivem tření) největší koncentrace zinku v půdě. Zajímavé je, že nejnižší koncentrace zinku v blízkosti železnice jsou v zimě. Zde mohou hrát roli srážky, se kterými se zinek dostává do nižších vrstev.

Na lokalitě číslo 1 (odběrová místa 1 - 3) byly koncentrace zinku vyšší než na lokalitě číslo 2 (odběrová místa 4 - 8). První lokalita se nachází v blízkosti železničního přejezdu a železniční zastávky. Můžeme předpokládat, že během brždění (vlaku, automobilu) dochází k většímu uvolnění zinku z pneumatik a kolejnic. U povrchového vzorku (0 – 15 cm) byla nejnižší koncentrace zinku ($11,79 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) při odběru v říjnu 2016 na odběrovém místě 6. U podpovrchového (15 – 30 cm) na odběrovém místě 7H ($9,71 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) v říjnu 2016. Odběrové místo 6 se nachází uprostřed louky, tudíž toto místo bylo nejméně zatíženo silnicí i železnicí. Nejnižší koncentrace byly zjištěny u vzorků 5 - 6 (povrchové i podpovrchové). Jedná se o vzorky odebrané na louce na lokalitě číslo 2. Rozpětí, ve kterém se výsledky pohybují, je větší u povrchových vzorků.

Polákové (2016) ve své studii stanovila průměrnou koncentraci zinku v půdě $10,04 - 66 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Jednalo se o vzorky půdy odebrané z trvale travního porostu. K podobným závěrům dospěl i Adriano (2001), který uvádí hodnoty od 40 do $77 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy. V porovnání s našimi výsledky dospěli oba k výrazně nižším koncentracím. Z našich vzorků se jejich výsledkům nejvíce podobají vzorky z odběrových míst 4 - 6 (povrchový odběr), 5 - 6 (podpovrchový odběr).

Faiz (2009) stanovil $116 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ jako průměrnou koncentraci zinku v půdě. Jedná se o vyšší hodnotu, než která je stanovena ve vyhlášce MŽP. MŽP uvádí $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, ovšem tuto koncentraci překročily i naše vzorky. V blízkosti silnice i železnice jsme v průměru naměřili vyšší koncentrace zinku než uprostřed louky.

6. ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá stanovením koncentrace vybraných kovů – měď, sodík, zinek – v půdních vzorcích odebraných v blízkosti silnice vedoucí z Veselí nad Lužnicí do Třeboně. Během dvou let byly na sledovaném úseku odebírány vzorky, které byly následně v laboratoři analyzovány pomocí atomové spektrofotometrie. Během práce bylo zanalyzováno 240 vzorků.

Koncentrace mědi v půdě se pohybovala od $2,24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $84,35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Z našich výsledků lze odvodit, že v povrchových vrstvách půdy je vyšší koncentrace mědi než v podpovrchových vrstvách. U vzorků z blízkosti silnice a železnice máme v průměru vyšší hodnoty, které pocházejí ze silniční a železniční dopravy.

U sodíku je dobře patrný trend klesající koncentrace se vzdáleností od silnice. Nejvyšší koncentrace sodíku byly zjištěny v bezprostřední blízkosti silnice v zimních měsících. V průběhu této práce se koncentrace sodíku pohybují v rozmezí od $11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $1\,697 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Sodík pocházející ze solení během zimní údržby můžeme považovat za indikátor znečištění životního prostředí.

Vyšší hodnoty u zinku byly zjištěny v blízkosti silnice. Se vzdáleností od silnice koncentrace zinku klesají. Větší koncentrace jsou v průměru v povrchových vzorcích. Silniční i železniční doprava má vliv na koncentraci zinku v půdě. Zinek, který se může uvolňovat z pneumatik, se akumuluje v půdě v blízkosti silnice.

7. SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

ADRIANO, D. C.; Trace Elements in Terrestrial Environments Biogeochemistry Bioavailability and Risk of Metals, second ed. Springer-Verlag, New-York, (2001)

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. H.; Heavy metals contamination in roadside soil near different tradic signals in Dubai, United Arab Emirates, Journal of Saudi Chemical Society 17, 315-319, (2011)

BLOK, J.; Environmental exposure of road borders to zinc, Science of The Total Environment 348, 173 – 190, (2005)

BRYSON, G., BARKER, A.; Sodium accumulation in soils and plants along Massachusetts roadsides, Communication in soils science and plant analysis 3, 67-78, (2002)

CORSI, S. R., GRACZYK, D. J., GEIS, S. W., BOOTH, N. L., RICHARDS, K. D.; A Fresh Look at Road Salt: Aquatic Toxicity and Water-Quality Impacts on Local, Regional, and National Scales, Environmental Science & Technology 44, 7376 – 7382, (2010)

CRESSER, M.; Flame spektrometry in environmental chemical analysis: A practical guide, Cambridge: Royal Society of Chemistry, (1994)

ČIHAŘ, M.; Ochrana přírody a krajiny, Praha: Karolinum, (1998), ISBN 80-7066-509-4.

DRBAL, K., KŘÍŽEK, M.; Analytická chemie. 1. vyd. v Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, (1999), ISBN 80-704-0352-7.

FAIZ, Y., TUFAIL, M., JAVED, M. T., CHAUDHRY, M. M., SIDDIQUE, N.; Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along Islamabad Expressway, Pakistan, Microchemical Journal 92, 186 – 192, (2009)

GREENWOOD, N., EARNSHAW, A.; *Chemie prvků*. Praha: Informatorium, (1993), ISBN 80-85427-38-9.

HELMREICH, B., HILLIGES, R., SCHIEWER, A., HORN, H.; Runoff pollutants of a highly trafficked urban road. *Chemosphere* 80, 991-997, (2010)

HOLMGREN, G. G. S., MEYER, M. W., CHANEY, R. L., DANIELS, R. B.; Cadmium, Lead, Zinc, Copper, and Nickel in Agricultural Soils of the United States of America, *Journal of Environmental Quality* 22, 335 – 348, (1993)

CHEN, X., XIA, X., ZHAO, Y., ZHNAG, P.; Heavy metal concentrations in roadside soils and correlation with urban traffic in Beijing, China, *Journal of Hazardous Materials* 181, 640-646, (2010)

CHRZAN, A., FORMICKI, G., MARKO-WORLOWSKA, M.; Heavy metals concentration in forest soils, *Fresenius Environmental Bulletin* 22, 1993-1996, (2013)

IMTIAZ, M., ALLOWAY, B. J., SHAH, K. H., SIDDIQUI, S. H., MEMON, M. Y., ASLAM, M., KHAN, P.; Zinc Nutrition of Wheat: II: Interaction of Zinc other Trace Elements, *Asian Journal of Plant Sciences*, Vol. 2, No. 156-160, (2003)

KABATA-PENDIAS, A.; *Trace elements in soil and plants*, 4th ed., Boca Raton: CRC Press, (2011), ISBN 978-1-4200-9368-1.

KOCHER, B., WESSOLEK, G., STOFFREGEN, H.; Water and heavy metal transport in roadside soils, *Pedosphere* 15, 746-753, (2005)

KOLAŘÍK, J.; *Stromy ve městě, Valašské Meziříčí, ČSOP*, (1994)

MALINOWSKA, E., JANKOWSKI, K., WISNIEWSKA-KADZAJAN, B., JANKOWSKA, J., SOSNOWSKI, J., CIEPIELA, G. A., SZULE, W., KOLCZARELE, R.; Content of zinc in different grass species growing along a fast highway, *Fresenius Environmental Bulletin* 24, 3759 – 3765, (2015)

MARKOVNÍKOVÁ, J., BARANČÍKOVÁ, G., DLAPA, P., DERCOVÁ, K.; Anorganické kontaminanty v pôdnom ekosystéme, *Chem. Listy*, 424 - 432, (2006)

MOŤKOVÁ, K., PODLIPNÁ, R., VANĚK, T., KAFKA, Z.; Halofytní rostliny a jejich možné využití ve fytoremediacích, *Chem. Listy* 108, 586 - 591, (2014)

OLAFISOYE, O. B., ADEFIOYE, T., OSIBOTE, O. A.; Heavy Metals Contamination of Water, Soil, and Plants arend an Electronic Waste Dumpsite, Polish Journal of Environmental 22, 1431 – 1439, (2013)

POLÁKOVÁ, Š., FLORIÁN, M.; Balance and forms of zinc in soil and its uptake by plants. Acta uviv. agric. et silvic. Mendel. Brun., LIV, No. 1, pp. 59-70, (2006)

POLÁKOVÁ, Š., NĚMEC, P., PRÁŠKOVÁ, L., KUBÍK, L., SUŠIL, A.; Obsah rizikových prvků v zemědělských půdách Bazálního monitoringu půd 1995 – 2013, Brno, (2016)

RIMMER, D. SABIENĚ, N., BRAZAUSKIENĚ, D.M.; Determination of heavy metal mobile forms by different extraction methods, Ekologija Nr. 1, 36-41, (2004)

ŠERÁ, B.; Roadside Greenery in the Open Landscape. Život. Prostr., Vol. 39, No. 4, 208-211, (2005)

ŠIROKÝ, J.; Základy technologie a řízení dopravy. Pardubice: Univerzita Pardubice, (2005), ISBN 80-85630-29-9.

VOLAVKA, T.: Obsah vybraných kovů v půdě jako indikátor kontaminace v důsledku silniční dopravy, Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, (2012)

ZEHETNER, F., ROSENFELLNER, U., MENTLER, A., GERZABEK, M.; Distribution of road salt residues, heavy metals polycyclic aromatic hydrocarbons across a highway-forest interface, Water, Air and Soil Pollution 198, 125 - 132, (2009)

ZHANG, H., ZHANG, Y., WANG, Z. et al. Environ Monit Assess (2013) 185: 5435. doi:10.1007/s10661-012-2957-6

Internetové zdroje:

<http://www.arnika.org/zinek>, 01. 03. 2017

http://www.cittadella.cz/europarc/index.php?p=mapa&site=CHKO_trebonsko_cz

<http://www.chmi.cz>

<http://www.ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/posypove-materialy-pro-zimni-udrzbu-komunikaci-v-cr-a-v-zemich-eu>, 15. 03. 2017

<http://www.mapy.cz>

<http://www.rsd.cz/wps/wcm/connect/23b634b7-c224-4e0f-8e8b9b532470ab7/pentlogram-2016.png?MOD=AJPERES>

<http://www.trebonsko.ochranaprirody.cz/res/archive/168/021842.pdf?seek=1402574338>

<https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=44836&fulltext=~C3~BAdr~C5~BEba~20komunikac~C3~AD&rpp=15#local-content>

8. SEZNAM ZKRATEK

AAS	atomová absorpční spektrometrie
AES	atomová emisní spektrometrie
CHKO	chráněná krajinná oblast
MŽP	ministerstvo životního prostředí
PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky
ŘSD ČR	Ředitelství silnic a dálnic České republiky

9. PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

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

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

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

Tab. č. 1: Průměrná koncentrace mědi v půdě (mg·kg⁻¹)

Cu	02.10.2015		06.02.2016		05.06.2016		22.10.2016		24.02.2017	
1	36,5994	± 0,0039	17,7412	± 0,0014	17,1937	± 0,0007	20,6285	± 0,0008	12,1310	± 0,0005
1h	21,8541	± 0,0008	16,0027	± 0,0010	12,6759	± 0,0008	16,7794	± 0,0012	11,0234	± 0,0007
2	25,9650	± 0,0017	31,9172	± 0,0034	46,8606	± 0,0046	41,3828	± 0,0018	18,9866	± 0,0004
2h	19,6110	± 0,0014	14,2893	± 0,0015	36,3585	± 0,0014	16,1601	± 0,0006	15,2124	± 0,0014
3	35,4198	± 0,0015	34,4323	± 0,0061	26,5539	± 0,0009	12,5682	± 0,0004	50,1228	± 0,0064
3h	16,3756	± 0,0012	19,8745	± 0,0046	20,7311	± 0,0017	8,2128	± 0,0004	84,3527	± 0,0093
4	11,6880	± 0,0046	11,1909	± 0,0007	11,0740	± 0,0063	12,3836	± 0,0006	10,9570	± 0,0009
4h	9,9173	± 0,0032	8,5380	± 0,0005	7,3953	± 0,0004	7,1782	± 0,0004	10,5953	± 0,0005
5	4,6967	± 0,0007	3,9519	± 0,0004	3,1733	± 0,0002	4,2844	± 0,0004	6,5515	± 0,0067
5h	3,2246	± 0,0003	3,4363	± 0,0004	3,1074	± 0,0003	3,0463	± 0,0004	3,7384	± 0,0014
6	5,6695	± 0,0010	4,6447	± 0,0004	3,2221	± 0,0002	2,9035	± 0,0005	3,1636	± 0,0004
6h	4,9780	± 0,0008	4,7780	± 0,0004	3,5295	± 0,0004	5,4378	± 0,0002	3,5518	± 0,0004
7	29,8134	± 0,0468	2,2397	± 0,0002	2,8854	± 0,0006	3,5308	± 0,0003	4,6050	± 0,0006
7h	7,9834	± 0,0021	4,4970	± 0,0001	3,4817	± 0,0003	3,9691	± 0,0004	5,5701	± 0,0007
8	18,7778	± 0,0084	12,4326	± 0,0003	11,1017	± 0,0005	3,7304	± 0,0003	4,1808	± 0,0003
8h	20,3495	± 0,0133	8,4661	± 0,0004	8,3186	± 0,0003	4,1294	± 0,0002	4,8515	± 0,0004

Tab. č. 2: Průměrná koncentrace sodíku v půdě (mg·kg⁻¹)

Na	02.10.2015		06.02.2016		05.06.2016		22.10.2016		24.02.2017	
	1	838,3940	± 0,0585	1094,5269	± 0,1224	713,6129	± 0,0437	399,0852	± 0,0543	718,8280
1h	916,2769	± 0,0521	1697,8354	± 0,0960	625,7208	± 0,0415	516,8901	± 0,0864	1018,1375	± 0,0737
2	198,8194	± 0,0424	58,4963	± 0,0281	74,8017	± 0,0153	34,5416	± 0,0041	103,3916	± 0,0261
2h	204,9931	± 0,0363	40,6376	± 0,0074	61,7733	± 0,0276	36,4278	± 0,0100	38,6660	± 0,0198
3	110,6931	± 0,0143	25,3024	± 0,0084	13,8457	± 0,0016	23,2900	± 0,0005	57,9170	± 0,0102
3h	85,2929	± 0,0653	30,8620	± 0,0045	22,4442	± 0,0004	14,7270	± 0,0005	43,1330	± 0,0032
4	431,2550	± 0,0652	512,9231	± 0,0751	478,4975	± 0,0233	288,0935	± 0,0475	733,4885	± 0,0411
4h	549,0173	± 0,0405	388,7435	± 0,0816	343,7433	± 0,0182	337,8403	± 0,0464	787,4388	± 0,0470
5	136,6746	± 0,0202	51,9333	± 0,0130	18,8529	± 0,0055	49,1490	± 0,0063	243,6928	± 0,0264
5h	417,6027	± 0,0681	94,9479	± 0,0253	27,6191	± 0,0054	35,8879	± 0,0079	159,7436	± 0,0147
6	104,8298	± 0,0534	32,2469	± 0,0037	18,5011	± 0,0031	24,1679	± 0,0011	39,1744	± 0,0030
6h	59,1492	± 0,0108	14,7619	± 0,0007	15,7496	± 0,0032	15,4119	± 0,0008	77,8284	± 0,0230
7	132,9725	± 0,0389	25,3733	± 0,0007	20,3785	± 0,0009	27,4983	± 0,0044	25,4904	± 0,0012
7h	97,4277	± 0,0215	12,4316	± 0,0032	21,6886	± 0,0048	14,0424	± 0,0008	25,5837	± 0,0009
8	122,8410	± 0,0278	18,5539	± 0,0013	27,8931	± 0,0016	19,3366	± 0,0007	32,5022	± 0,0014
8h	107,1135	± 0,0136	15,3536	± 0,0008	19,2597	± 0,0011	11,5330	± 0,0008	20,4271	± 0,0012

Tab. č. 3: Průměrná koncentrace zinku v půdě (mg·kg⁻¹)

Zn	02.10.2015		06.02.2016		05.06.2016		22.10.2016		24.02.2017	
	1	150,9812	± 0,0125	54,7350	± 0,0044	94,0208	± 0,0041	53,2792	± 0,0028	45,1360
1h	190,7232	± 0,0037	108,5625	± 0,0036	149,9330	± 0,0033	148,9905	± 0,0023	83,3776	± 0,0014
2	117,0166	± 0,0086	194,5800	± 0,0141	317,6095	± 0,0125	143,3092	± 0,0139	192,7054	± 0,0145
2h	186,3802	± 0,0079	176,7536	± 0,0075	241,2961	± 0,0268	134,6950	± 0,0086	193,9716	± 0,0151
3	65,4581	± 0,0079	293,6898	± 0,0207	113,3656	± 0,0063	35,5407	± 0,0031	266,1508	± 0,0070
3h	128,8389	± 0,0037	134,6866	± 0,0136	97,2807	± 0,0042	25,2189	± 0,0016	86,1932	± 0,0109
4	50,4198	± 0,0025	47,9881	± 0,0016	59,4169	± 0,0048	62,0921	± 0,0026	67,0747	± 0,0040
4h	88,9915	± 0,0042	42,5457	± 0,0015	48,0395	± 0,0036	47,2956	± 0,0016	103,4696	± 0,0028
5	43,8387	± 0,0025	31,0717	± 0,0023	12,2042	± 0,0011	24,7001	± 0,0019	70,0605	± 0,0052
5h	15,5232	± 0,0007	23,4366	± 0,0021	9,8452	± 0,0007	12,1451	± 0,0012	18,7802	± 0,0018
6	17,9127	± 0,0010	14,0931	± 0,0006	10,5647	± 0,0010	11,7922	± 0,0011	10,8830	± 0,0007
6h	14,5975	± 0,0005	12,1517	± 0,0011	9,7920	± 0,0007	9,8647	± 0,0005	10,3277	± 0,0004
7	14,7918	± 0,0008	9,0573	± 0,0003	12,2144	± 0,0007	13,3163	± 0,0006	15,1463	± 0,0009
7h	12,8473	± 0,0009	10,4187	± 0,0011	9,2851	± 0,0011	9,7133	± 0,0004	13,5153	± 0,0008
8	415,5360	± 0,0657	206,0051	± 0,0200	196,2370	± 0,0135	13,3409	± 0,0008	16,8570	± 0,0008
8h	526,7282	± 0,0378	130,3761	± 0,0072	133,7252	± 0,0068	11,7600	± 0,0007	10,9711	± 0,0010