

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Vliv zimní údržby na znečištění půd v okolí komunikací

Bc. Jakub Capouch

Diplomová práce

2015

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Capouch**
Osobní číslo: **D13652**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury:
Ochrana životního prostředí v dopravě**
Název tématu: **Vliv zimní údržby na znečištění půd v okolí komunikací**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem diplomové práce bude specifikace posypových materiálů standardně používaných k zimní údržbě komunikací na území ČR (zdrsňovací i rozmrazovací) a stručný popis jejich fyzikálně chemických vlastností. S využitím zákonů, norem a technických předpisů vymezit možnosti použití těchto materiálů k ošetření komunikací na našem území (běžné komunikace, komunikace ležící v ochranném pásmu vod nebo v oblasti se zvláštním režimem ochrany přírody). Na základě získaných poznatků z literatury bude popsáno znečištění půd v okolí komunikací chloridy. Bude proveden výběr cca dvou (tří) lokalit s vysokou intenzitou dopravy a častým užíváním chemických rozmrazovacích materiálů v zimním období a stanovena míra kontaminace půd chloridy na těchto lokalitách. Na základě získaných výsledků bude zhodnocen vliv chemických rozmrazovacích materiálů na půdy v okolí komunikací.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

[1] Použití ovoce, trávy a zeminy ze silničních pozemků. Technický předpis č. 116. Brno: IMOS 1999.

[2] Vyhl. 104/1997 Sb. provádějící zákon o pozemních komunikacích. Praha: 1997.

[3] VYHNÁLEK V. a kol. Koncentrace chloridových iontů v půdách, povrchových a podzemních vodách v koridoru silnice I/20 České Budějovice Vodňany v zimním období 2005/2006. EIA servis s.r.o. 2007

Vedoucí diplomové práce:

Mgr. Jitka Hegrová, Ph.D.

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno

Datum zadání diplomové práce: 25. února 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 22. května 2015

doc. Ing. Ivo Drahotský, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2015

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 21. 5. 2015

Bc. Jakub Capouch

Poděkování

Poděkování patří vedoucí práce Mgr. Jitce Hegrové, Ph. D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, a také Janě Sturilové za pomoc při přípravě vzorků. Dále poděkování patří Janě Haubertové za podporu a trpělivost.

Anotace

Cílem diplomové práce je specifikace posypových materiálů standardně používaných k zimní údržbě komunikací na území ČR (zdrsňovací i rozmrazovací) a stručný popis jejich fyzikálně chemických vlastností. Dále pak s využitím zákonů, norem a technických předpisů vymezit možnosti použití těchto materiálů k ošetření komunikací na našem území (běžné komunikace, komunikace ležící v ochranném pásmu vod nebo v oblasti se zvláštním režimem ochrany přírody) a prvková analýza reálných vzorků půd z Pardubického kraje a její vyhodnocení. Lokality pro odběr vzorků půd jsou zvoleny podle lokalit sledovaných v minulosti, tak aby mohly být získané výsledky prvkové analýzy porovnány. Lokality se nachází v blízkosti frekventovaných silnic I. třídy, kde je prováděna zimní údržba.

Klíčová slova

Zimní údržba, posypové materiály, zasolení půd, ICP MS

Title

Influence of winter maintenance on soil pollution near the roads

Annotation

The aim of this thesis is the specification of spreading materials normally used for winter maintenance of roads in the Czech Republic (roughing and thawing) and a brief description of their physical and chemical properties. With the use of laws, norms and technical regulations define the possibilities of using these materials to treat the roads (normal communication, communication lying in the water protection zone or in a special area of nature protection) and elemental analysis of real samples of soil from the Pardubice region. Locations for soil sampling sites are selected according to the works from past. The obtained results from elemental analysis are compared. The locations are located near the major roads where the winter maintenance is.

Keywords

Winter maintenance, spreading materials, soil pollution, ICP-MS

Obsah

Úvod	11
Teoretická část.....	13
1 Zimní údržba na komunikacích	13
2 Rozdělení komunikací	18
2.1 Dálnice a rychlostní silnice.....	18
2.2 Silnice 1. až 3. tříd	19
2.3 Místní komunikace	20
2.4 Zimní údržba ve zvláště chráněných územích, zdrojů pitných vod, přírodních léčivých zdrojů, památných alejích stromů	21
3 Mechanismy používané při zimní údržbě komunikací	23
3.1 Sypače chemických rozmrazovacích materiálů.....	23
3.2 Sypače zdrsňovacích materiálů	24
4 Druhy chemických materiálů pro zimní údržbu	25
4.1 Chloridové soli	25
4.2 Acetáty a formiáty	27
4.3 Močovina	28
4.4 AQUA gelo.....	29
4.5 Alkoholy a glykoly	29
4.6 Rozmrazovací materiály zemědělského původu	30
4.7 Shrnutí	31

5	Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS)	32
5.1	Konstrukce a princip ICP MS.....	32
5.1.1	Plazmový zdroj	33
5.1.2	Spojení ICP a hmotnostního spektrometru	34
5.1.3	Hmotnostní spektrometrie (MS)	35
5.2	Interference	36
5.2.1	Spektrální interference	37
5.2.2	Nespektrální interference	38
5.3	Detekce	39
5.4	Aplikace metody	40
5.5	Zpracování výsledků ve spektrometrii	41
5.5.1	Mez detekce	41
5.5.2	Mez stanovitelnosti	41
5.5.3	Kalibrační křivka	42
6	Současný stav problematiky	42
	Experimentální část	44
7	Použité přístroje	44
7.1	Sítovací stroj Retsch AS 200	44
7.2	Rotační třepačka Heidolph Relax 20	45
7.3	Laboratorní centrifuga Hettich Universal 320 R	45
7.4	Oscilační mlýn Retsch MM 400	45

7.5	Mikrovlonné rozkladné zařízení SW-4.....	46
7.6	ICP-MS	46
8	Použité chemikálie	48
8.1	Standardní jednoprvkové roztoky.....	48
8.2	Ostatní chemikálie a mineralizační činidla.....	48
8.3	Referenční materiály.....	48
9	Zvolené lokality pro odběr vzorků.....	49
9.1	Nové město u Chlumce nad Cidlinou (I/11).....	50
9.2	Chýšť (I/36)	51
9.3	Opatovice nad Labem (I/37).....	52
9.4	Pardubice – Semtín (I/36 - železniční zastávka)	53
9.5	Pardubice – Popkovice (I/2 – směr Kolín)	54
9.6	Trhová Kamenice (I/37)	55
10	Postup odběru vzorků.....	56
10.1	Způsob odběrů a označení vzorků	56
10.2	Sušení vzorků	56
11	Výsledky a diskuze.....	57
11.1	Kalibrační křivky a mez detekce	58
11.2	Analýza referenčního materiálu.....	59
11.3	Výsledky získané pro jednotlivé odběrové lokality	59
11.3.1	Nově Město u Chlumce nad Cidlinou (I/11)	59

11.3.2	Chýšť (I/36)	68
11.3.3	Opatovice nad Labem (I/37)	75
11.3.4	Pardubice – Semtín (I/36)	83
11.3.5	Pardubice – Popkovice (I/2)	90
11.3.6	Trhová Kamenice (I/37).....	95
11.4	Shrnutí	100
	Závěr.....	102
	Seznam použité literatury	103
	Seznam tabulek	106
	Seznam obrázků	110
	Seznam grafů.....	111

Úvod

V Evropě dochází od šedesátých let dvacátého století stále více ke zvyšování hustoty dopravy a budování nových silničních sítí. Na všech těchto komunikacích je potřeba zajistit jejich sjízdnost a bezpečnost pro silniční provoz a to i v zimním období, kde na provozuschopnost komunikací negativně působí sněhová pokrývka, námraza nebo povětrnostní podmínky.

S rozrůstající dopravou se začínají používat chemické rozmrazovací materiály na bázi chloridů. Postupem času se začaly zkoumat jejich negativní účinky na životní prostředí a okolí, ale výhody stále převyšují nad jejich nevýhodami i v současné době. Proto existuje několik cest, kterými se lze vydat ke snížení jejich dopadů na okolí komunikací. První cesta vede ke změně používaného chemického rozmrazujícího materiálu, který za obdobné výkonnosti bude mít menší dopady na okolí pozemních komunikací. Druhá cesta vede ke snižování dopadů z chemických rozmrazujících materiálů na životní prostředí, komunikace a dopravní prostředky. Třetí cestou se legislativou upravuje způsob údržby, použití chemických rozmrazujících materiálů a požadavky na mechanismy, které lze použít pro zimní údržbu.

Teoretická část této diplomové práce se zabývá problematikou zimní údržby na komunikacích, a to v jakých intervalech je potřeba škody vzniklé na komunikacích odstranit, jaké se používají chemické rozmrazovací materiály, které jsou doporučeny legislativou, ale i ty, které se používají jen na vyhrazených místech, jako jsou například letiště, ale i materiály, které jsou ve vývoji. Jsou popsány dopady těchto materiálů na životní prostředí.

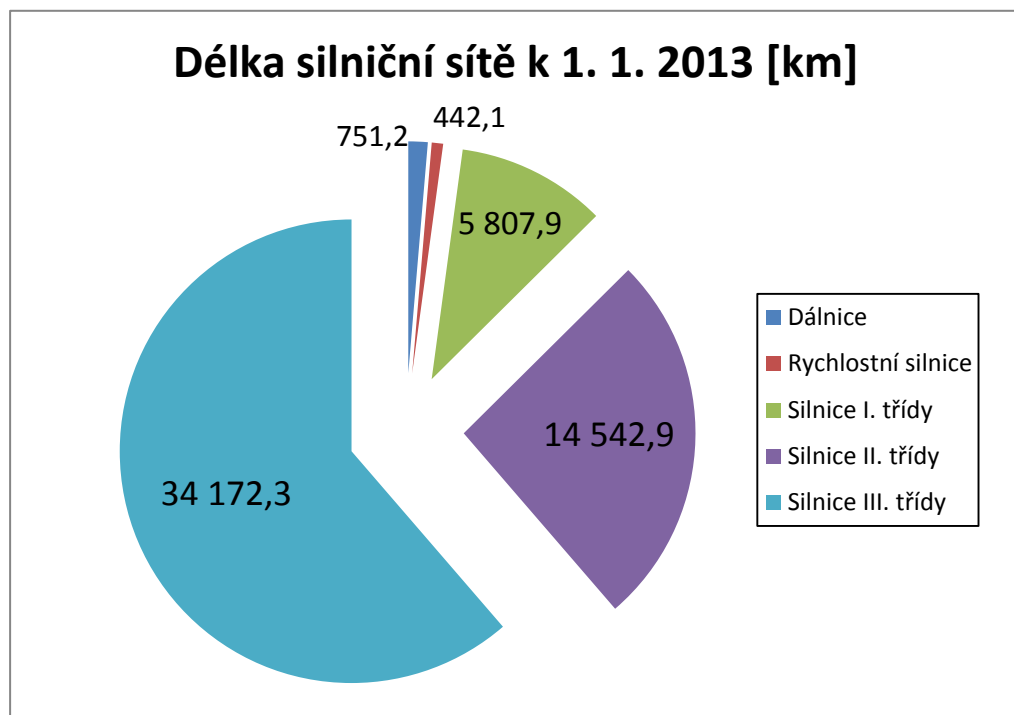
Experimentální část práce je zaměřena na prvkovou analýzu půd odebraných v okolí frekventovaných silnic v Pardubickém kraji. Lokality odběru byly vybrány v návaznosti na předešlé diplomové práce, aby byla patrná návaznost získaných výsledků a bylo možné vyvodit, zda došlo postupem času ke změně obsahu hledaných prvků v půdě. Prvkové analýzy byly provedeny pomocí hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP MS). V odebraných vzorcích půd v okolí komunikací byly stanoveny tyto prvky: sodík, hořčík, vápník, draslík, chlor, arsen, kadmium, kobalt, chrom, měď, zinek, nikl, olovo a vanad.

Cílem této práce je zjistit, míru kontaminace půd a zjistit, k jaké změně došlo v porovnání s předešlými roky.

Teoretická část

1 Zimní údržba na komunikacích

Zimní údržba komunikací bývá od 1. listopadu až do 31. března velmi důležité téma. Zapotřebí je potřeba udržet ve sjízdném stavu skoro 56 tisíc kilometrů, z toho přes 750 kilometrů dálnic, přes 440 kilometrů rychlostních komunikací a více než 50 tisíc kilometrů silnic prvních až třetích tříd. Nejvíce silnic v České republice zastupují silnice třetích tříd, jedná se o více než 34 tisíc kilometrů (Graf 1). Nelze proto zajistit všechny silnice třetích tříd sjízdné, a proto se tyto úseky vyřadí z mapy udržovaných silnic podle důležitosti a významnosti. [1]



Graf 1 Rozdělení a délka silniční sítě k 1. 1. 2013 [1]

Lze proto rozdělit pozemní komunikace pro účely zimní údržby do tří skupin, a to na dálnice a rychlostní silnice, silnice první až třetí třídy a místní komunikace. Aby bylo možné provádět zimní údržbu systematicky a nedocházelo k nedorozumění, byla schválena vyhláška č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích. Vyhláška definuje plán zimní údržby, ve které jsou silnice a místní komunikace rozděleny dle důležitosti. Dále definuje postup odstranění vzniklých závad a do jakého času mají být odstraněny. Vyhláška

obsahuje přílohy, které určují plán a organizaci zimní údržby, technologii zimní údržby a denní záznam o zimní údržbě a její vyhodnocení. [2]

Plán a organizace zimní údržby je definovaná v příloze šest této vyhlášky. Tato příloha zahrnuje plán zimní údržby pro dálnice, silnice a místní komunikace, operační štáby a zpravodajství.

Plány zimní údržby pro dálnice a silnice jsou předkládány Ministerstvu dopravy a spojů. Pro dálnice se plán zpracovává ve dvou stupních. V prvním stupni zpracují plán jednotlivá střediska správ a údržby dálnic (SSÚD). Ve druhém stupni zpracuje plán organizace, která plán předloží do 20. října. U silnic předkládá plán do 30. září správce silnic, jenž předtím plán předloží příslušnému správnímu úřadu k zaujetí stanoviska. Pro místní komunikace se plán zimní údržby zpracovává na základě rozhodnutí obce. Plány jsou rozděleny na mapovou a textovou část.

V mapové části je zahrnuta mapa v měřítku 1:50 000, na které se vyznačí udržované úseky a způsob jejich údržby. Na mapě pro dálniční úseky je ještě vyznačeno stanoviště mechanismů a uložení materiálu pro údržbu dálnice. Pro bezpečnost jsou na mapě zobrazeny zásněžky, telefonní spojení, stanoviště radiotelefonních stabilních stanic, sklady a čerpací stanice pohonných hmot a umístění sond hlásičů náledí. U silnic se ještě používá mapa v měřítku 1:100 000, na které jsou úseky vyznačeny s pořadím důležitosti zimní údržby.

V textové části jsou uvedeny osoby, které zodpovídají za sjízdnost dálnic nebo silnic. Uvede se seznam udržovaných úseků, a jakou technologií se údržba provádí. Vypracuje se seznam mechanismů, vedoucích zaměstnanců a uložení posypového materiálu. Dále se uvede, jak je provedeno spojení s nepřetržitou službou, jaká je sjednaná výpomoc při kalamitách a jak se provádí zimní údržba v chráněné krajinné oblasti, v oblasti zdroje pitných vod, v ochranných pásmech přírodních léčivých zdrojů a přírodních zdrojů minerálních vod stolních a na mostech dle normy ČSN 73 6221.

Operační štáby zimní údržby dělíme na okresní a hlavní. K účasti v okresním operačním štábu přizve správce silnice zástupce referátu dopravy a životního prostředí, okresního ředitelství Policie ČR a právnických osob, které se podílejí na materiální a technické spolupráci při zabezpečování zimní údržby silnic. Hlavní operační štáb zřizuje Ministerstvo dopravy a spojů za účelem operativního řešení mimořádných situací. K účasti

v operačním štábu se přizve zejména zástupce Prezidia Policie ČR, Ministerstva obrany a Ministerstva životního prostředí. Operační štáby zasedají vždy před zimním obdobím, kde se projednává plán zimní údržby, její organizace a vzájemná spojení. Další zasedání jsou svolávána operativně podle potřeby, nebo kdy správce silnice nebo dálnice není schopen zvládnout kalamitní situaci.

Informace o sjízdnosti předkládají správci dálnic a silnic pracovišti pověřenému Ministerstvem dopravy a spojů, které zajišťuje informování veřejnosti sdělovacími prostředky. Technologie zimní údržby je definována ve vyhlášce č. 104/ 1997 Sb. v příloze 7. Příloha je vodítkem, jak zajistit sjízdnost komunikací během zimní údržby. [1]

Aby bylo možné sjízdnost komunikací zajistit bez zbytečných komplikací, jsou v příloze 7 stanovena opatření, která je nutná provést před zahájením zimní údržby. Jako je zajistit připravenost mechanismů, dále stavení zásněžek v místech, kde hrozí zavátí komunikace, také je zapotřebí osazení orientačních sněhových tyčí s odrazkami a s černožlutým nátěrem (Obrázek 1), které slouží k lepší orientaci při pluhování. Dále je nutné označit komunikace, které nejsou udržované, nebo došlo ke změně technologie a proškolení osoby provádějící zimní údržbu. Nakonec správce s dostatečným předstihem uzavře smlouvy o výpomoci v kalamitních situacích, smlouvy o vzájemné výměně udržovaných komunikací a dohody o jednotné údržbě silnic procházejících územími více správců tak, aby jejich sjízdnost byla zajišťována pokud možno stejnou technologií.



Obrázek 1 Osazená orientační sněhová tyč [vlastní]

V době, kdy se zahájí zimní údržba, je v příloze 7 definován postup odstranění vzniklých závad vinnou zimních podmínek, jak sněhových nebo mrazivých, tak i povětrnostních. Úklid sněhu se provádí především mechanicky, protože provádění postřiku, či posypu je účinné pouze do vrstvy 3 cm čerstvě napadeného sněhu. Proto se chemické rozmrazovací materiály používají pouze na komunikacích určených plánem údržby a dávkování je závislé na intenzitě sněžení. Odstraňování náledí nebo ujetých sněhových vrstev za pomoci chemických rozmrazovacích materiálů se aplikují až na zbytkovou vrstvu (1 až 2 cm pro vrstvu uježděného sněhu a 2 mm náledí), kterou již nelze odstranit nebo snížit mechanickými prostředky. Za pomoci posypu zdrsňovacími materiály se náledí a ujeté sněhové vrstvy ošetřují na komunikacích, kde se nepoužívají chemické rozmrazovací materiály. Na místních komunikacích IV. třídy se sníh a námraza odstraňují odmetením, odhrnutím sněhu, oškrábáním zmraků nebo posypem zdrsňovacími materiály, podle rozhodnutí obce.

Chemické rozmrazovací materiály se používají pouze na komunikacích určených plánem zimní údržby. Posyp se provádí pouze, pokud výška sněhu nepřesáhne 3 cm, proto není dovoleno do vyšší sněhové vrstvy provádět posyp. Dávkování při posypu chloridem sodným nebo vápenatým je závislé na intenzitě sněžení. Při malé intenzitě (1 až 1,5 cm za hodinu) je sypací dávka $10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, při větší intenzitě dávkou $20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Při mimořádně dlouhém sněžení nebo při mimořádné intenzitě spadu lze v průběhu sněžení posyp opakovat dávkou $10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, ale až po pluhování, aby se sůl dostala na povrch vozovky. Při použití vyšších dávek dochází ke vzniku sněhové „břečky“. Odstranění náledí a ujetých sněhových vrstev, lze pomocí chemických rozmrazovacích solí pouze do tloušťky 1 až 2 cm uježděného sněhu nebo do 2 mm tloušťky náledí. Na vyšší vrstvy je nutný opakovaný posyp. Pro teploty do $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ se použije chlorid sodný a pro teploty kolem $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ se použije chlorid vápenatý.

Dále jsou definovány technické požadavky, které musí splňovat mechanismy určené k zimní údržbě a doporučené materiály pro zimní údržbu v ČR. [2]

Požadavky na denní záznam o zimní údržbě je vyhláškou č.104/1997 Sb. popsán v příloze osm. Tento deník si vedou správci dálnic a silnic, kteří chronologicky zaznamenávají všechna zjištění a činnosti tak, aby nemohlo být nic do deníku dodatečně vpisováno, ani z něj vypuštěno. Do deníku se v průběhu zaznamenávají veškerá hlášení,

oznámení, sdělení, výjezdy, návraty, zpráva o sjízdnosti, počasí, náhlé změny teplot, srážky, vítr, hlášení na dispečink a hlášené dopravní nehody. [1], [2]

2 Rozdělení komunikací

Při zimní údržbě lze rozdělit komunikace do tří skupin a to na dálnice a rychlostní komunikace, silnice první až třetí třídy a místní komunikace. V každé skupině je definováno, jak se provádí zimní údržba, a jaké materiály se používají, aby se zajistila dostatečná sjízdnost silnic. [2]

2.1 Dálnice a rychlostní silnice

Dálnice je pozemní komunikace určená pro rychlou dálkovou a mezistátní dopravu silničními motorovými vozidly, která je budována bez úrovnových křížení, s oddělenými místy napojení pro vjezd a výjezd a která má směrově oddělené jízdní pásy. Rychlostní silnice je určena pro rychlou dopravu a má obdobné stavebně technické vybavení jako dálnice. Tyto komunikace jsou přístupné pouze silničním motorovým vozidlům, jejichž nejvyšší povolená rychlost není nižší než 80 km/h. Na těchto komunikacích platí vyšší povolená rychlost provozu než na ostatních komunikacích, proto je potřeba provádět zimní údržbu za co nejkratší dobu, aby nedocházelo k nehodám. [3]

Zimní údržba se na těchto komunikacích provádí posypem nebo postřikem převážně chemickými rozmrazovacími materiály prostřednictvím mechanismů nebo zařízeními, které umožňují přesné dávkování a rovnoměrné rozprostření chemických rozmrazovacích látek na vozovce. Zdrsňovací materiály se používají v případě, pokud je vydán zákaz použití chemických rozmrazovacích materiálů, nebo pokud by nebylo v důsledku povětrnostní situace možné jejich použití.

První mechanismy by měli vyjet k zajištění sjízdnosti dálnic a rychlostních komunikací do třiceti minut od zjištění vzniku závad a sjízdnost komunikací by měla být zajištěna do dvou hodin od výjezdu mechanismu. Pokyn k výjezdu vydává správce komunikací zabezpečující zimní údržbu. [1]

Zmírňování závad, které brání ve sjízdnosti komunikací, se nejdříve odstraňují na všech průběžných jízdních pruzích, dále pak v následujícím pořadí na jízdních pruzích křižovatek, pruzích pro pomalá vozidla, na zpevněných krajnicích, na příjezdech a výjezdech z odpočívek a na odpočívkách. Poté se pouze za denního světla zmírňují závady ve schůdnosti

odpočívek. Za nepříznivých povětrnostních podmínek se závady zmírňují nejméně na jednom jízdním pruhu v každém jízdním směru. [2]

2.2 Silnice 1. až 3. tříd

Pozemní komunikace jsou veřejně přístupné, a lze je využívat silničními a jinými vozidly a chodci. Komunikace tvoří silniční síť, která měří 54 523,1 km. Proto se silniční síť rozděluje do tří tříd podle svého určení a dopravního významu. Silnice první třídy jsou určeny pro dálkovou a mezinárodní dopravu, jejichž vlastníkem je stát. Silnice druhých tříd jsou určeny pro meziokresní dopravu a silnice třetích tříd spojují obce nebo je napojují na ostatní pozemní komunikace. [1], [3]

Pro potřeby zimní údržby se silnice prvních až třetích tříd rozdělují podle důležitosti do třech pořadí podle důležitosti (Obrázek 2). Silnice nezařazené do těchto okruhů se vedou jako neudržované. [2]



Obrázek 2 Pořadí důležitosti silnic [5]

Do prvního pořadí se zařazují silnice prvních tříd a dopravně významné silnice druhých tříd. Silnice druhých tříd nezařazené do prvního pořadí jsou i s významně důležitými silnicemi třetích tříd zařazeny do druhého pořadí. Ostatní silnice třetích tříd jsou zařazeny do třetího pořadí důležitosti. A na těchto silnicích se provádí údržba zpravidla jen pluhováním. Ostatní silnice se vedou jako neudržované silnice, které mají nepatrný dopravní význam a na

kterých není provozována osobní linková doprava. Na tuto skutečnost musí být uživatel upozorněn způsobem stanoveným ve zvláštním předpise.

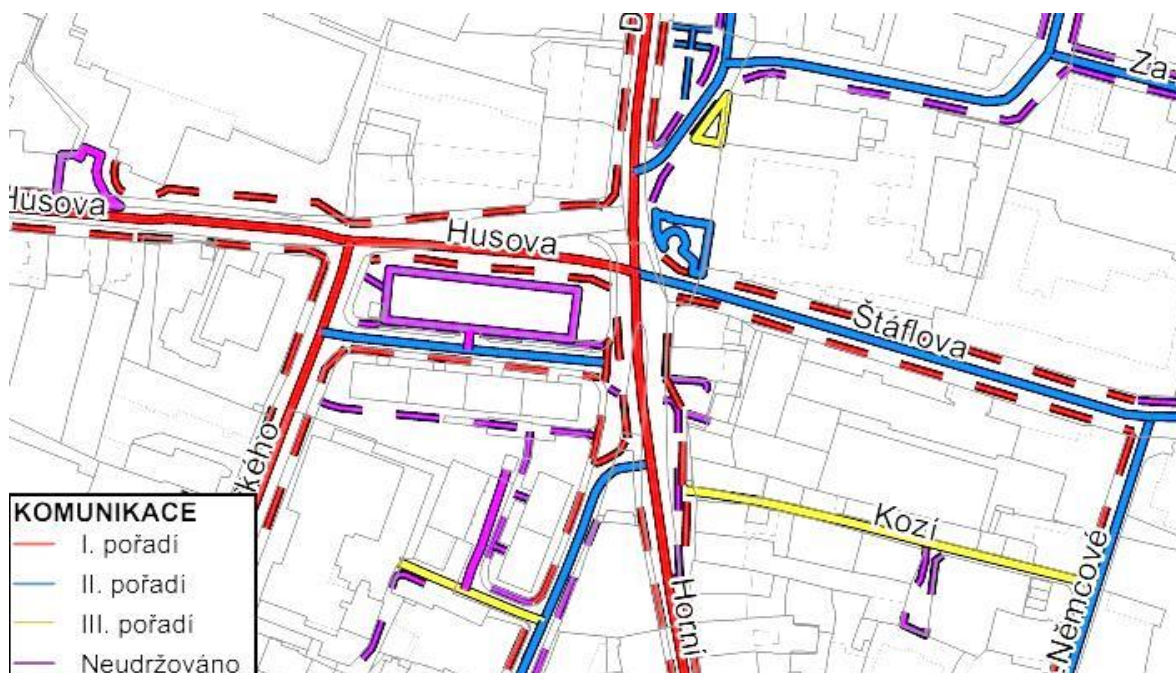
Pro výkon zimní údržby se použije dostupná technologie, která je provedena v souladu schváleným plánem zimní údržby a vyhovuje místním podmínkám a pořadí důležitosti silnice. U silnic zařazených v prvním pořadí se udržuje celá šířka a délka vozovky. Sjízdnost silnic se zajišťuje chemickými rozmrazovacími materiály, kterými se odstraňuje náledí a zbytková vrstva sněhu o tloušťce menší než 3 cm, při jejich neúčinnosti se zdrsňují posypem zdrsňovacími materiály. Pro druhé pořadí se používají shodné materiály jako v prvním pořadí. V případě nutnosti se na silnicích ponechávají uježděné sněhové vrstvy, které se zdrsňují posypem zdrsňovacími materiály. Posyp lze provádět pouze na místech, kde si to vyžaduje dopravně technický stav komunikace (křižovatky, velká stoupání, ostré oblouky, zastávky linkové osobní dopravy). Ve třetím pořadí se údržba provádí až po ošetření silnic prvního a druhého pořadí důležitosti. Údržba se provádí hlavně pluhováním, ale v místech, kde si to vyžádá dopravně technický stav komunikace, se provede posyp zdrsňovacími materiály.

První mechanismy by měly vyjet k zajištění sjízdnosti silnic do třiceti minut od zjištění vzniku závad a sjízdnost silnic by měla být zajištěna pro první pořadí do tří hodin, pro druhé pořadí do šesti hodin a pro třetí pořadí do dvanácti hodin od výjezdu mechanismu. Pokyn k výjezdu vydává správce komunikací zabezpečující zimní údržbu. [2]

2.3 Místní komunikace

Pozemní komunikace je veřejná a slouží převážně místní dopravě na území obce. Komunikace se dále rozděluje podle dopravního významu, určení a stavebně technického vybavení do čtyř tříd. A to na rychlostní místní komunikace, dopravně významnou komunikaci s omezením přímého připojení sousedních nemovitostí, obslužnou komunikaci a komunikaci nepřístupnou provozu silničních motorových vozidel nebo na které je umožněn smíšený provoz. [3]

Vlastníkem místních komunikací je obec, na jejímž území se místní komunikace nacházejí. Ty potom podle velikosti obce a dopravního významu místních komunikací rozhodují o zpracování plánu zimní údržby pro místní komunikace. Pokud se rozhodnou zpracovat plán, přihlédnou k následujícímu pořadí důležitosti, které rozděluje místní komunikace do tří pořadí (Obrázek 3). [2]



Obrázek 3 Pořadí důležitosti místních komunikací [6]

Do prvního pořadí jsou zařazeny rychlostní a sběrné místní komunikace s hromadnou veřejnou a linkovou osobní dopravou, příjezdové místní komunikace ke zdravotnickým zařízením a další významné místní komunikace. Sběrné místní komunikace nezařazené do prvního pořadí a důležité obslužné místní komunikace jsou ve druhém pořadí důležitosti a ostatní obslužné místní komunikace ve třetím pořadí. Obec může zařadit místní komunikaci mezi neudržované, pokud na nich z důvodu dopravní bezvýznamnosti není potřeba vykonávat zimní údržbu. Na místní komunikace, které se zařadí mezi neudržované, upozorní obec uživatele způsobem v místě obvyklým.

Pro zmírňování závad ve sjízdnosti mají obce zajistit sjízdnost místních komunikací do čtyř hodin pro první pořadí a do dvanácti hodin pro druhé pořadí důležitosti. Místní komunikace zařazené do třetího pořadí důležitosti se udržují až po ošetření prvního a druhého pořadí, ale maximálně do 48 hodin.

2.4 Zimní údržba ve zvláště chráněných územích, zdrojů pitných vod, přírodních léčivých zdrojů, památných alejích stromů

Zimní údržba ve zvláště chráněných územích (národní parky, chráněné krajinné oblasti, národní přírodní rezervace, přírodní rezervace, národní přírodní památky, přírodní

památky) je prováděna podle zákona č. 144/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny, ve kterém se údržba omezuje s ohledem na životní prostředí. Na územích národních parků a chráněných krajinných oblastí je zakázáno provádět údržbu silnic a cest chemickými materiály.

Ze zákazu lze udělit výjimku v případě, že zájem veřejnosti výrazně převažuje nad zájmem ochrany přírody. Tuto výjimku uděluje Ministerstvo životního prostředí, jako příslušný správní úřad, který po obdržení žádosti o výjimku předloží tuto žádost na jednání vlády do šedesáti dnů a podle rozhodnutí vlády ministerstvo vydá do třiceti dnů rozhodnutí. Pokud povolovaná činnost významně neovlivní zachování stavu zvláště chráněného území, je výjimka vydána příslušným orgánem ochrany přírody a krajiny.

V ostatních zvláště chráněných územích, zdrojů pitných vod, přírodních léčivých zdrojů a památných alejích stromů se způsob provedení zimní údržby stanoví individuálně. [7]

3 Mechanismy používané při zimní údržbě komunikací

Dle vyhlášky č.104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, jsou mechanismy rozděleny na mechanismy pro pluhování a mechanismy pro posyp. Mechanismy pro pluhování, jsou používány k mechanickému odstranění závad na komunikacích, způsobené během zimního období bez možnosti současného posypu. Jsou to nosiče se sněhovou radlicí nebo šípovým pluhem, traktory se závěsnou radlicí nebo škrabkou, sněhové metače nebo frézy. Mechanismy pro posyp se rozdělují na sypače chemických rozmrazovacích materiálů a sypače pro zdršňovací posyp. U obou variant mohou být sypače vybaveny sněhovou radlicí a musí splňovat technické požadavky, které jsou stanoveny vyhláškou.

3.1 Sypače chemických rozmrazovacích materiálů

Jedná se o sypače, které pro posyp používají suchou nebo vlhčenou sůl a musí splňovat následující technické požadavky. Dávka chemického rozmrazovacího materiálu na pruhu požadované šířky má být plynule nastavitelná v mezích 10 až 60 g·m⁻². Při stupňovité regulaci posypové dávky je požadováno nastavení 10, 20, 30,40 a 60 g·m⁻², nejméně však 10, 20 a 40 g·m⁻². Nastavené dávkování má být automaticky dodržováno i při změně pracovní rychlosti sypače, která by se měla pohybovat v mezích 10 až 60 km·h⁻¹. Šířka posypu chemického rozmrazovacího materiálu má být nastavitelná minimálně v mezích 2 až 9 m. U sypačů s konstantní šířkou posypu má být minimálně 2 m a maximálně 3,5 m. Příčná a podélná rovnoměrnost posypu v závislosti na jakosti posypové soli má být uvedena v technických podmínkách sypače.

Sypače s instalovaným zkrápěcím zařízením, mají umožnit dodržení poměru suchého materiálu a solanky 7 : 3 při dávkování 5 až 20 g·m⁻². Doporučená koncentrace chloridu sodného v solance je 18 až 21 %. Je nutné před zimním obdobím přezkoušet skutečné dávkování s používaným materiálem a podle výsledků korigovat nastavení dávkovacího ústrojí tak, aby skutečné dávky byly v souladu s požadovanými hodnotami. [2]

3.2 Sypače zdrsňovacích materiálů

Podobně jako u sypačů chemických rozmrazovacích materiálu mají sypače zdrsňovacích materiálů splňovat následující technické požadavky. Dávka zdrsňovacího posypového materiálu má být nastavitelná v mezích 70 až 500 g·m⁻² (minimálně do 300 g·m⁻²), což odpovídá 0,05 až 0,33 l·m⁻² kameniva při sypané hmotnosti 1 500 kg·m⁻³. Při stupňovité regulaci posypové dávky se požaduje možnost nastavení dávky 70, 100, 200, 300 g·m⁻² při použití zdrsňovacích materiálů se zrnem maximálně 18 mm, přednostně se však požaduje plynulé nastavování. Nastavená dávka má být automaticky udržována i při změnách pracovní rychlosti sypače v mezích 10 až 40 km·h⁻¹.

Šířka posypu s nastavitelnou šířkou posypu má být nastavitelná v mezích 2,5 až 10 m (minimálně 2,4 až 5 m). U sypačů s konstantní šířkou má být šířka posypu v mezích 2,5 až 3,5 m. Příčná a podélná nerovnoměrnost posypu v závislosti na granulaci posypového materiálu má být uvedena v technických podmínkách sypače. [2]

4 Druhy chemických materiálů pro zimní údržbu

Pro údržbu komunikací během zimního období lze použít různorodé materiály. I když je na výběr z více typů materiálu v České republice, na komunikacích se setkáváme pouze s chloridovými solemi, které jsou uzákoněny. Ale kvůli jejich negativním účinkům na složky životního prostředí, na vybavení komunikací a na vozidla se vyhledávají alternativy, které by tyto negativní účinky minimalizovaly. Proto dále budu popisovat i další možné varianty, které lze použít pro potřeby zimní údržby. V USA byl vyroben výrobek známý jako CMA (Calcium Magnesium Acetate), ale jsou i jiné podobné výrobky na acetátové a formiátové bázi, které snižují korozivní dopady a dopady na životní prostředí. Další variantou rozmrazovacích materiálů mohou být močovina, glykoly a alkoholy, které se mohou používat na letištích. Zajímavou alternativou posypových materiálů jsou produkty ze zemědělské produkce, které mají minimální dopady na životní prostředí a po zimním období mohou být použita jako hnojiva.

4.1 Chloridové soli

Běžně se používají tři druhy chloridových solí a to chlorid sodný, chlorid vápenatý a chlorid hořečnatý. Tyto materiály se liší svým eutektickým bodem, který určuje bod mrazu, při kterém nasycený roztok stejnoměrně zmrzne, tedy teplota, při které má sůl rozmrazující účinek a za jakých podmínek jsou schopny vytvářet komplexní účinek.

Chlorid sodný (NaCl) je endotermický a nejrozšířenější materiál s eutektickým bodem $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$, který se používá při zimní údržbě komunikací. Tento materiál je získáván odpařováním z mořské vody nebo těžbou v solných dolech. Materiál je dodáván převážně ve formě zrn jako volně ložený a při převzetí je materiál zkontrolován, zda neobsahuje cizí látky nebo nečistoty, ale může obsahovat pouze malé množství protispékacího přípravku, což je ferrokyanid draselný nebo ferrokyanid sodný, který se používá ke zpomalení ztvrdnutí. Skladování je doporučeno v celodřevěných halách o kapacitě 500 až 1 000 t nebo celodřevěných silách o kapacitě 40 až 200 t, které zamezují úniku a průsaku soli do okolního prostředí. Účinnost NaCl je ovlivněna velikostí zrna a ve způsobu použití. Velikost zrna je v rozmezí 0,16 až 5 mm, a proto je důležité správně vybrat velikost zrna. Menší zrno způsobuje rychlé plošné rozpouštění, ale účinek do hloubky je omezený. Naopak hrubé zrno více proniká do hloubky.

Soli účinkují jako rozmrazovací látky, jestliže absorbovaly vodní vlhkost z ovzduší, nebo byly předem navlhčeny vodou. Po získání potřebné vlhkosti pak uvolňují cestu roztoku vnitřním napětím menším než je u vody nebo ledu. NaCl může být aplikován na komunikaci v pevném stavu nebo v solném roztoku. NaCl má bod tuhnutí 801 °C a voda 0 °C, po smíchání ve vhodném hmotnostním poměru s 23,3 % soli klesne teplota tání na -21,2 °C, ale v praktickém použití se těchto hodnot nedosahuje z důvodu vlivu vlhkosti z okolního prostředí. Rozmrazování komunikací, kde dochází ke zředění NaCl s vodou, proto může optimálně účinkovat do teploty -5 až -7 °C a při -11 °C se stává neúčinný. Při poklesu teploty pod -7 °C se běžně NaCl používá ve spojení s chloridem vápenatým. Kromě NaCl v pevném stavu se aplikuje jako solný roztok s koncentrací 18 až 21 %, který je šetrnější k životnímu prostředí než NaCl v pevném stavu, protože je použito méně materiálů a reakce probíhá rychleji než u použití suché soli na vozovku [16] Ale jeho použití je možné jen pokud teplota neklesne pod -3 °C. Cena 1 t materiálu se pohybuje kolem 2 800 Kč. [1], [16]

Druhým solným výrobkem je chlorid vápenatý (CaCl_2), který je hygroskopický a oproti NaCl exotermický s eutektickým bodem -50 °C, který je vedlejším produktem při výrobě sody. CaCl_2 je z důvodu hygroskopicity dodáván v dobře utěsněných pytlích a to buď ve formě vloček tak ve formě šupin v tloušťce 1,25 mm, o průměrné velikosti 3 až 3,5 mm a přitom se vlastní obsah CaCl_2 pohybuje v rozmezí 77 až 80%. CaCl_2 je hygroskopický již od 40% relativní vlhkosti vzduchu a je velmi účinný při nízkých teplotách až do -35 °C. Používá se v pevném stavu nebo jako solanka s koncentracemi od 15 do 32 %. Nejčastěji je využíván ve směsi s chloridem sodným. Cena 1 t materiálu je 7 900 Kč. [16]

Třetím solným výrobkem je chlorid hořečnatý (MgCl_2), který je více hygroskopický než CaCl_2 a je vedlejším produktem při výrobě potaše a používá se formě roztoku pouze při likvidačním posypu. Nedoporučuje se k preventivnímu použití z důvodu snížení tření vozovky a tím snížení bezpečnosti provozu. Eutektický bod je -33 °C při 21% koncentraci a používá se při teplotách nižších -9 °C. MgCl_2 se dodává přímo z výroby ve formě solného roztoku Cena tuny materiálu je obdobná jako u CaCl_2 . [16]

Negativní dopady chloridů na složky životního prostředí jsou nejvíce ovlivněny jejich rozpustností ve vodách. Proto jsou ohroženy povrchové a podzemní vody i půdy. Ve vodách jsou chloridové soli snadno rozpustné, ale těžko odstranitelné. Chloridové soli aplikované na komunikace při zimní údržbě se mohou dostat do nejbližších povrchových vod. [13]

Soli, které se dostávají do půdy, mohou dále prosakovat do podzemních vod. Množství prosáknuté soli je závislé na propustnosti půd. Oproti povrchovým vodám mají podzemní vody menší možnost rozředění prosáknutého solného roztoku, proto jsou podzemní vody více ohroženy než povrchové vody. Nejčastěji dochází ke kontaminaci vodních zásob, což mění charakteristiku vody určené k pití (slaná chuť). Dále mohou soli zvýšit tvrdost, zásaditost a obsah celkových rozpuštěných látek ve vodě. [15]

Další složkou životního prostředí, která může být ovlivněna zimní údržbou, je půda. Do půdy se soli, zejména NaCl, CaCl₂ dostávají smýváním z vozovky. To má za následek zvýšenou salinitu, což u rostlin s nízkou mírou tolerance může vést k jejich úhynu. Ale mohou zde být vysazeny druhy rostlin, žijící v bažinách a rašelinách, které jsou na zvýšené koncentrace solí v půdě adaptované. [14]

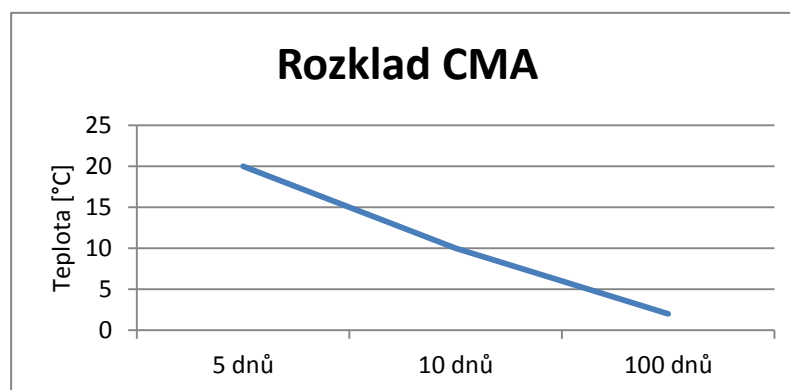
4.2 Acetáty a formiáty

Mnoho let zahraniční výzkumní inženýři hledají nové chemické výrobky, které by mohli nahradit posypové soli a snížit tak dopady na životní prostředí. Jednou z těchto alternativ by mohlo být používání acetátů a formiátů. Mezi nejznámější acetáty patří Vápenato-hořečnatý acetát a draslíkový acetát. Dále je použity acetát sodíku (NaAc), formiát draslíku (KFm) a formiát sodíku (NaFm).

Vápenato-hořečnatý acetát (CMA) je syntetický prášek smíchaný z vápence a kyseliny octové, který pracuje obdobně jako chlorid sodný. Ale k získání podobného účinku je zapotřebí použít o 50 % více materiálu oproti NaCl. CMA má oproti soli pomalejší reakci, nižší efektivitu při mrznoucím dešti, vánici a nižším dopravním zatížením. Dále má nízký účinek na silnější vrstvě sněhu a ledu, a při teplotě pod -5 °C. Reaguje s hydratovaným cementem, který představuje negativní účinek na ztvrdlý beton [15] Abychom dosáhli podobného účinku jako u 1 kg NaCl, je zapotřebí použít 2 až 3 kg materiálu, proto se pro zlepšení účinku CMA přimíchává písek, který zlepšuje přilnavost povrchu vozovky, dokud nezačne CMA reagovat se sněhem či námrazou a písek se přidává také pro lepší udržení CMA na sněhu a ledu [15] Cena materiálu je příliš vysoká, asi 12 krát vyšší než NaCl, a proto by se měl CMA používat ve výjimečných lokalitách, kde se nesmí používat chloridové soli. [15], [16]

Acetát draselný (KAc) je hlavně používán jako protinámrazový materiál a pracuje rychleji než CMA. KAc je nekorozivní s uhlíkovou ocelí, ale je korozivní s galvanizovanou ocelí. KAc negativně působí na asfaltovou vozovku. [13]

Acetáty a formiáty mohou negativně ovlivňovat vody a půdy, ale nebezpečí hrozí i při manipulaci a při aplikaci těchto materiálů. V půdách a ve vodách mohou materiály na acetátové bázi snižovat obsah vázaného kyslíku, což má negativní vliv na žijící organismy v těchto složkách životního prostředí. Graf 2 znázorňuje rozklad CMA v závislosti na teplotě. Z grafu vyplývá, že k rychlejšímu rozkladu dochází při vyšších teplotách a naopak čím je teplota nižší, tím je doba rozkladu delší. Největší riziko hrozí, během jarního období, kdy dochází ke zvýšení teplot a tím rychlejší tání sněhu. Toto ohrožení hrozí od acetátu sodného a formiátu sodného, u kterých byl prokázán zvýšený zákal, tvrdost a alkalita ve vodě. Dále rybám mohou způsobit dezorientaci, vydutá břicha, páteřní zakřivení a roztažitelnost žáber. Acetát sodný a acetát draselný mají vyšší vliv na vodní toxicitu. [13]



Graf 2 Rozklad CMA v závislosti na teplotě [13]

Jelikož se jedná, o jemné částice s nízkou hustotou nastává největší problém při manipulaci a při vlastním posypu vozovek. Při manipulaci materiálu zaměstnancem hrozí dýchací problémy a kožní vyrážky, zejména na ruku, proto zaměstnanci musí být vybaveny ochrannými pomůckami, jako jsou rukavice a ochranné masky na nos a ústa. [16]

4.3 Močovina

Krystalická substance dodávaná v zrnité formě o průměrné velikosti zrn cca 1 až 2 mm. Substance není žíravá, je však velmi lehká a proto snadno odvanutelná větrem. Aby byla účinnou aplikací, musí být používána ve směsi s vodou, nebo v některých případech ve

směsi s pískem. Lze využít při nižších teplotách než NaCl, ale rozmrazovací schopnosti močoviny pod teplotou $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ klesjí. Velkou předností je nízký korozivní účinek na materiály. Nevýhody spočívají ve vysoké pořizovací ceně, která je šestkrát vyšší než u NaCl, proto je jeho aplikace omezena pouze pro určité specifické případy, jako jsou letištní plochy. Močovina díky své schopnosti fungovat jako hnojivo, způsobuje na přilehlých pozemcích u komunikací bujnou vegetaci a to i ve vodních plochách. [13], [16]

4.4 AQUA gelo

Jedná se o mrazuvzdornou kapalinu pro zimní údržbu komunikací až do $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato kapalina je směsí anorganických látek běžně požívaných při výživě rostlin. AQUA gelo je ekologická, netoxická, nehořlavá a nevybušná tekutina pro odstranění sněhu a ledu z povrchu komunikací, která neobsahuje chloridy a jiné škodlivé látky [19] a plně odpovídá nárokům TP 116[17]. Po zkrápění komunikace se během 5 až 20 minut zmrzlý povrch uvolní a změní v kašovitou hmotu, která z komunikace odteče. Velkou výhodou je schopnost ošetřené komunikaci udržet po dobu více jak dvanácti hodin sjízdnou a nezmrzlou. Další výhodou je, že se dá použít na železničních nástupištích, výhybkách a kolejištích a pro rozmrazování sypkých materiálů [17], [19], [26].

Doprava se provádí buď ve velkoobjemových cisternách nebo přímo v PE obalech o objemu 5 a 10 litrů nebo 200 litrových sudech. Při dopravě nepodléhá předpisům ADR/RID, ADN/ADNR, IMDG, ICAO/IATA. Skladování nevyžaduje žádné zvláštní nároky a opatření. Na vlastnosti nemají vliv teplotní změny a ani vnější povětrnostní podmínky. Skladovat lze ve velkoobjemových zásobnících na volném prostranství v rozmezí teplot od $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo uskladnění v uzavřeném skladu, kde je zapotřebí zajistit přirozené větrání. Cena tohoto materiálu je až 8krát vyšší než NaCl. [19]

4.5 Alkoholy a glykoly

Díky jejich antikorozním vlastnostem jsou tyto chemikálie používány hlavně na letištních plochách. Při používání těchto produktů dochází k velmi intenzivnímu vypařování a jejich bod vzplanutí je nízký. Izopropylalkohol navíc snižuje povrchové napětí rozpouštěné vody, která se pak snadněji dostává do jemných trhlinek povrchu vozovky. Po odpaření alkoholu vlivem zamrznutí vody dochází k destrukci povrchu. Účinek rozmrazovací tekutiny

působí zpočátku optimálněji než NaCl. Proces tání ledu však potřebuje mnohem více času a daleko větší množství rozmrazovacích chemikálií. Snižují teplotu tání na $-59\text{ }^{\circ}\text{C}$. [13], [15], [16]

Kvůli vysoké pořizovací ceně, slabé účinnosti a především negativním účinkům těchto chemikálií na životní prostředí zabraňují širšímu uplatnění. Proto se nepoužívají pro zimní údržbu silnic, ale jen pro zimní údržbu letišť, kde nehrozí kontaminace okolí. Alkoholy a glykoly smíšené s vodou také spotřebovávají značné množství kyslíku, proto nesmí ani zředěné roztoky uniknout do povrchových vod. Použití etylen glykolů má za následek akutní úmrtí savců, občas zabijí zvířata při dlouhodobé konzumaci. U lidského organismu má vliv na centrální nervový systém, což má fatální následky i při menším množství, zatímco propylen glykol je v zásadě netoxický.

4.6 Rozmrazovací materiály zemědělského původu

Rozmrazovací materiály zemědělského původu se mohou aplikovat jako rozmrazovací nebo protinamrzací materiály pro zimní údržbu. Jejich základem jsou základní zemědělské chemické látky, které se mohou použít samostatně, nebo jako přísada pro jiné rozmrazovací materiály. Začali se objevovat v 90. letech 20. století, často vyrobené při kvašení a zpracování z řepné šťávy, melasy, kukuřice a jiných zemědělských produktů jako je třtinový cukr, ječmen a mléko. V poslední době se zkoušelo přidávat glukózu, fruktózu a surový cukr přimíchávat do písku k zabránění namrzání silnic a do solného roztoku. Poskytují zvýšenou schopnost tání ledu a snižují bod tuhnutí, snižují korozivní dopady a při aplikování na silnici mají delší účinek.

Neustále jsou vyhledávány nové produkty, které by zvýšily výhody acetátů a zemědělských produktů, a zároveň se snižovaly jejich nevýhody. Při hodnocení solných roztoků z glycerolu, NaCl, MgCl_2 , jednotlivé komerční rozmrazovací produkty a jejich kombinace, vyšel nejlépe roztok z 80 % glycerolu a 20 % NaCl, který měl dobrý výkon a nízké negativní dopady, avšak byla zjištěna velmi vysoká viskozita. Dalším produktem, ve kterém jsou obsaženy produkty ze zemědělství je směs MgCl_2 a vedlejších zemědělských produktů. Tato směs měla negativní vlivy na růst semen trávy, na úmrtnost sladkovodních rybek a stresující účinek na vegetaci v okolí komunikací. Dalším možnou variantou je použití uhličitanu draselného (K_2CO_3), které v porovnání s NaCl má nižší toxické účinky na rostliny

a při nižších koncentracích může být uhličitán draselný použit jako hnojivo, které ale způsobuje posun v druhovém složení a zvýšení pH půdy. Zemědělské produkty jsou patentované a obecně obsahují chloridové soli a nízkou molekulovou hmotnost uhlohydrátů. Používání zemědělských produktů u hlavních tahů má předejít obavám z toxicity na sousedící vodní ekosystémy. Jejich nevýhodou je však vysoká cena a problémová kontrola kvality těchto produktů. [13]

4.7 Shrnutí

Ve výše uvedeném textu byly představeny různé typy chemických rozmrazovacích materiálů. Z těchto materiálů se nejvíce používá chlorid sodný, i když díky své rozpustnosti ve vodě ohrožuje vody i půdy a tím i rostliny a stromy, které jsou na slané prostředí náchylné.

Dalším zajímavým materiálem je CMA, které má oproti NaCl minimální dopady na životní prostředí.

Dále byly zmíněny materiály jako močovina a AQUA gelo, které mají pozitivní vliv na růst rostlin. To má vliv na bujnou vegetaci kolem silnic, ale hlavně negativní účinky na kvalitu vody. Ale AQUA gelo má tento vliv nižší než močovina, proto je z pohledu životního prostředí přijatelnější. Ale pro oba typy materiálů platí, že nesmí být použity v lokalitách, kde hrozí kontaminace vody. Alkoholy a glykoly velmi negativně působí ve vodě, kde spotřebovávají kyslík, proto při konzumaci kontaminované vody může dojít ke smrti zvířat.

Malý dopad na životní prostředí mají materiály zemědělského původu, ale jsou stále ve fázi výzkumu, kvůli jejich nízké účinnosti.

Při výběru vhodného materiálu se vždy rozhoduje podle nákladů na výrobu, skladování, aplikování a odstranění vzniklých škod na okolí komunikace, proto je NaCl nejpoužívanější materiál pro zimní údržbu. Pokud by se vybíral materiál pouze podle nejnižších negativních podmínek. Určitě by byl vybrán CMA nebo materiál zemědělského původu, kvůli jejím minimálním dopadům na životní prostředí.

5 Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS)

Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem je analytická spektrální technika kombinující ICP (indukčně vázané plazma) jako zdroj kladně nabitých částic a MS (hmotnostní spektrometrii), která tyto částice deteguje. Hmotnostní spektrometry s indukčně vázaným plazmatem mají nejčastěji kvadrupólové, sektorové a průletové analyzátory. Hlavní rozdíl spočívá ve schopnosti rozlišit dvě vedle sebe ležící hmotnosti. Rozlišení R se udává jako poměr nominální hodnoty měřené hmotnosti m a šířky píku v 5 % jeho výšky Δm . $R = m/\Delta m$. Nejnížší hodnoty mají kvadrupólové ICP MS, jejichž hodnota nepřevyšuje 200 až 300. Pro spektrometry TOF se hodnota pohybuje okolo 2 000 a nejlepší rozlišení mají sektorové ICP MS, které dosahují až 10 000.

Spektrometry s kvadrupólovými analyzátory se používají pro rutinní analýzy kvůli vyšší rychlosti, nižším pořizovacím nákladům a menším nárokům na vakuum. Před kvadrupólovým analyzátor se zařazuje iontová optika, která fokusuje iontový paprsek z interface do hmotnostního spektrometru.

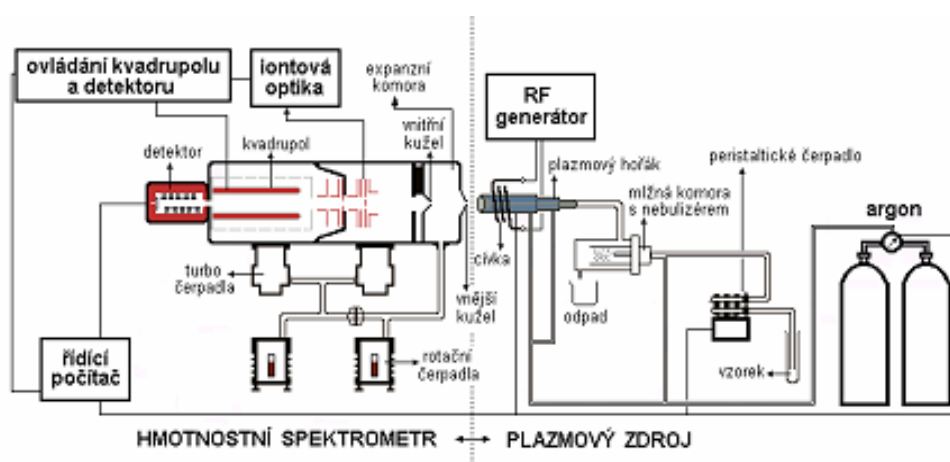
Spektrometry s vysokým rozlišením (sektorové) jsou speciálně určeny pro velmi přesná měření poměrů izotopů, nebo kde je nutné potlačení spektrálních interferencí. Oproti kvadrupólovým analyzátorům mají vyšší pořizovací náklady, vysoké nároky na vakuum a výrazně nižší rychlost analýzy, to je způsobeno vysokým rozlišením výsledků.

Spektrometry s průletovým analyzátozem jsou ideální pro rutinní laboratoře, které vyžadují velký výkon a plně multiprvkovou analýzu, zároveň požadující vysokou přesnost analýzy. Všechny ionty jsou vzorkovány v jeden časový okamžik. Následně jsou fokusovány a elektrostaticky urychleny do ortogonální průletové zóny. Každý takovýto „vzorek iontů“ pak poskytne kompletní hmotnostní spektrum. [8]

5.1 Konstrukce a princip ICP MS

Ionty v ICP-MS se pohybují z prostředí atmosférického tlaku do prostředí s vysokým vakuem. Možnost takovéto spojení umožňuje konstrukce přístroje, která je znázorněna na (obr. 5). Základní součásti přístroje tvoří plazmový zdroj, vlastní hmotnostní spektrometr je

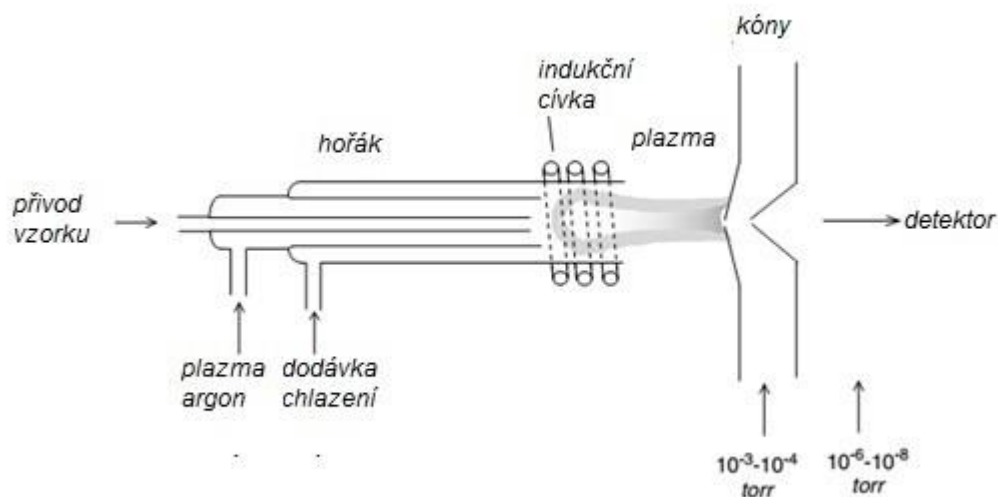
tvořený iontovou optikou, kvadrupólem a detektorem. Všechny tyto součásti jsou výkonnými čerpadly zbavovány vzduchu, aby byl umožněn pohyb vznikajících iontů z plazmatu do analyzátoru a zároveň, aby částice vzduchu nerušily vlastní stanovení. Tlak v prostoru kvadrupólu a detektoru dosahuje až 10^{-5} Pa. [9]



Obrázek 5 Schéma ICP-MS

5.1.1 Plazmový zdroj

Plazmový zdroj (6) je tvořen radiofrekvenčním (RF) generátorem, indukční cívkou, plazmovým hořákem, mlžnou komorou a zmlžovačem. V plazmovém hořáku vzniká díky radiofrekvenčnímu generátoru (frekvence 27 až 40 MHz) a indukční cívce v proudu argonu plazma. Pomocí inertního plynu (Ar) a zmlžovače je tvořen v mlžné komoře z kapalného vzorku aerosol, jehož jemná frakce (částice je menší než 5 μm) se dostává do hořáku. Plazma typu ICP je velmi vhodným zdrojem iontů. Jeho teplota (až 10 000 K, většinou však 7 000 až 8 000 K) je schopna ionizovat většinu prvků. Velmi důležitý je tvar plazmatu. U ICP má plazma prstencový – torodiální tvar. Středem prochází relativně chladnější analytický kanál, kam je možné zavádět vzorek bez rizika zhoršení stability plazmatu. Vzorek se vypařuje do teplejších oblastí. Výboj ICP je prostorově nehomogenní zdroj, jehož jednotlivé oblasti se podstatně liší. Teplotou a koncentrací elektronů. Skládá se ze dvou základních částí: indukční zóny, kde dochází k přenosu energie elektromagnetického pole cívky do plazmatu a analytického kanálu, který vzniká zavedením nosného plynu do výboje, a jímž prochází analyzovaný vzorek.



Obrázek 6 Schéma plazmového zdroje [10]

Vlastní plazmový hořák je tvořen třemi koncentrickými křemennými trubicemi, kterými protéká různými rychlostmi argon (celkový průtok se zpravidla pohybuje od 12 do 18 l·min⁻¹). Konstrukce indukční cívky ovlivňuje vlastnosti plazmatu a jednotlivé typy spektrometrů se liší v jejím uspořádání a možnostmi ovládání pole, kterým je plazma buzeno a udržováno. Výkon plazmového zdroje se v praxi většinou pohybuje mezi 1 200 až 1 400 W, ale může být modifikován v rozmezí 0 až 1 500 W.

Oscilacemi v elektromagnetickém poli v prostředí argonu, dochází ke kolizím jednotlivých částic, elektronů a iontů, které tvoří vlastní plazma. Průchodem aerosolu vzorku plazmatem vzniká pára, následně atomy a ionty. Množství a zastoupení jednotlivých iontů vznikajících z analytu, záleží zejména na energii v plazmatu oscilujících elektronů. Minimální energie elektronů potřebná pro ionizaci molekuly (atomu) se nazývá ionizační energie nebo ionizační potenciál. Většina prvků má první ionizační potenciál menší než Ar a získá v plazmatu s teplotou kolem 8 000 K energii nutnou k vytvoření kladně nabitých iontů. Tyto prvky proto můžeme pomocí plazmatu ionizovat a následně analyzovat. [9]

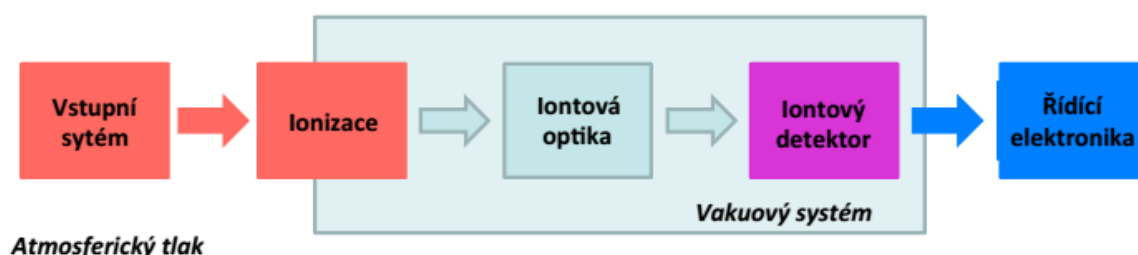
5.1.2 Spojení ICP a hmotnostního spektrometru

Propojení plazmatu s vlastním spektrometrem je tvořeno tzv. interface. (Obrázek 6). Interface musí plnit tyto funkce: vzorkovat ionty v místě jejich vzniku, tedy v ICP; převést ionty z oblasti atmosférického tlaku do vakua; snížit teplotu z 6000K na laboratorní teplotu,

zachovat stechiometrii analytů při transportu iontů. V ICP MS využíváme dvoustupňový interface, který tvoří tzv. kóny. Jsou to kovové kužely vyrobené z platiny nebo niklu. Kóny zajišťují přestup iontů vznikajících za atmosférického tlaku při vysoké teplotě do vakua při laboratorní teplotě. V interface je mechanickou tlakovou pumpou udržován tlak 1 – 2,5 torr, tj 102 Pa (1. kón) a v prostoru za druhým kónem před iontovou optikou (2.stupeň) klesá tlak na 10^{-4} Torr. Tento tlak je dosažen díky čerpání olejovou difusní nebo turbomolekulární pumpou.. Vnější kužel (sampling cone, sampler, extraction cone) je vnořen do ICP a odebírá z analytického kanálu ionty. Průměr otvoru je cca 1 mm. Vzdálenost mezi otvorem a indukční cívkou se nazývá hloubka vzorkování (sampling depth). Zde vstupuje iontový paprsek, který dále expanduje nadzvukovou rychlostí. Kóny jsou chlazeny vodou. [9]

5.1.3 Hmotnostní spektrometrie (MS)

Hmotnostní spektrometrie je analytická technika, která se používá k měření poměru hmotnosti ku náboji u iontů. Původně se tato technika používala ke studiu izotopového složení. V dnešní době už jde o dynamicky se vyvíjející analytickou metodu s širokou škálou aplikací. Základní princip hmotnostní spektrometrie je znázorněn na obrázku (Obrázek 7).



Obrázek 7 Princip hmotnostní spektrometrie [18]

Iontové čočky (elektrody s elektrostatickým napětím) fokusují ionty při průchodu evakuační částí do úzkého paprsku do MS analyzátoru. Eliminují se fotony a nenabitě částice. Hmotnostní analyzátor separuje extrahované ionty z ICP podle jejich m/z . Nejrozšířenější typ MS analyzátoru je kvadrupól. Kvadrupól tvoří čtyři kovové tyče, nejčastěji vyráběny z molybdeny, které oscilací svého elektromagnetického pole umožní pohyb iontu směrem k detektoru. Frekvence oscilací polarity na kvadrupólových tyčích je konstantní, ale mění se amplituda napětí na tyčích, které umožní průchod iontu v závislosti na jeho náboji a hmotnosti. Podmínky na kvadrupólu se mění během zlomků sekundy a umožňují tak analýzu v celém hmotnostním spektru během několika sekund. Ionty, které neprojdou

kvadrupólem, se na některé z tyčí vybijí a jsou odstraněny vakuovými pumpami. Ionty prošlé kvadrupólem dopadají na detektor a jejich signál je dále zesilován v elektronovém násobiči. Dopadem jednoho iontu zde vzniká kaskádovitý tok elektronů, který je zaznamenán jako výsledný signál a je dále zpracováván v řídicí elektronice. Pomocí řídicího počítače je ovládána většina parametrů, především výkon RF generátoru, průtoky plynů, pozice hořáků, napětí iontové optiky a napětí detektoru. [9]

Analytická technika ICP MS je rychlá, multielementární a umožňuje rovněž izotopovou analýzu, a to v rozsahu 5 až 250 atomových hmotnostních jednotek. Přístroj je během několika sekund schopný změřit koncentrace široké škály prvků, která je dána počtem prvků v kalibračním roztoku.

Kalibrační roztoky jsou připravovány zejména s ohledem na stálost jednotlivých prvků, minimalizaci interferenčních jevů a minimalizaci paměťového efektu. (tj. schopnosti ovlivňovat signál, i když přestal být vstřikován analyzovaný vzorek). Výjimečný paměťový efekt vytvářejí zejména bor, jod, rtuť, méně pak např. tantal a cín. Pro běžnou analýzu obecně platí, že těžké ionty, které díky větší hmotnosti snáze „prolétnou“ až k detektoru, se analyzují lépe než ionty lehké.

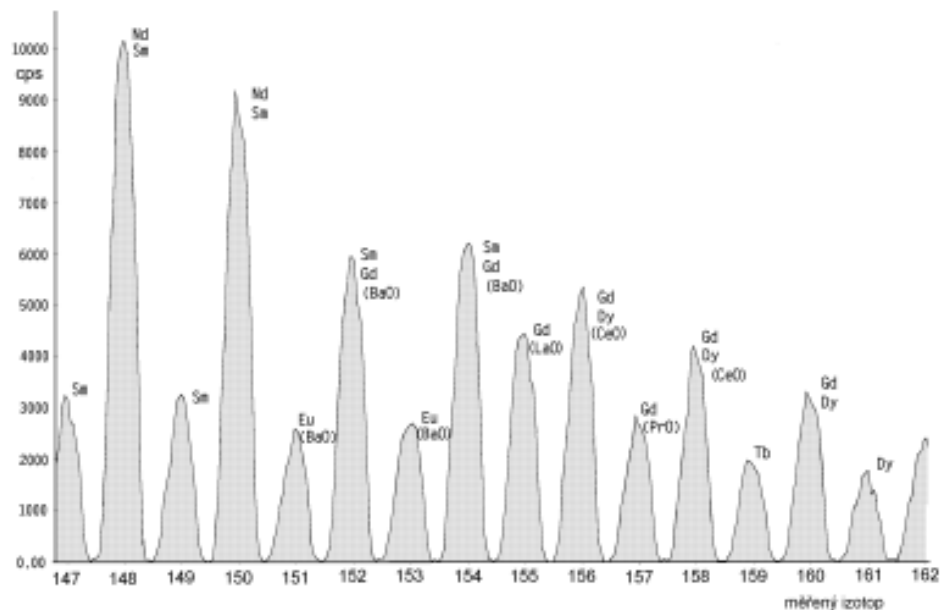
Vzorek nesmí obsahovat velké koncentrace kyselin, jenž způsobují korozi vnějšího kónu, případně degradaci vakuových pump, nebo velká množství solí (celkové množství rozpuštěných látek by nemělo být nižší než cca $1 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$).

Vysoké koncentrace solí kyselin zvyšují viskozitu a současně způsobují zanesení prvního kónu ve vnějším děliči tlaku a tím změnu parametrů měření. Podobně je omezeno i množství organických sloučenin v roztocích, které mohou způsobit ukládání uhlíkatých částic ve vnějším děliči tlaku a následnou změnu signálu. Při měření velmi nízkých koncentrací je třeba neustále sledovat koncentrace analytu ve slepém pokusu. [9]

5.2 Interference

Výsledkem procesu měření je hmotnostní spektrum s rozsahem 5 – 250 atomových hmotnostních jednotek (amu). Ačkoliv je hmotnostní spektrum mnohem jednodušší než spektrum atomové, setkáváme se i v ICP MS s řadou interferencí (Obrázek 8). Existují

interference spektrální dané překryvem izobarických iontů ve spektru a interference nespektrální způsobené zejména složením matrice.



Obrázek 8 výřez částí hmotnostního spektra vzorku granitu (Gd) [11]

Na obrázku (Obrázek 8) je zobrazen výřez částí hmotnostního spektra vzorku granitu (Gd) s hlavními izotopy europia, gadolinia a monoizotopového terbia a dalších zastoupených izotopů. Je patrné, že dochází k hmotnostním překryvům izotopů různých prvků a výběr izotopů vhodných k vlastnímu měření se tím značně zužuje. Například pro sedm izotopů gadolinia se výběr zužuje na pouhé dva izotopy ^{155}Gd a ^{157}Gd .

5.2.1 Spektrální interference

Některé částice, které se hojně vyskytují v argonovém plazmatu například Ar^+ s hmotnostní jednotkou 40, nebo ArAr^+ s hmotnostní jednotkou 80, či ArO^+ s hmotnostní jednotkou 56, bývají v hmotnostním spektru při detekci přeskakovány z důvodu snahy o minimalizaci zátěže detektoru. Komplikují se tím stanovení draslíku, vápníku, železa a selenu. Řada izobarických interferencí jednotlivých prvků může být eliminována počítačově tím, že měříme současně signál dalšího izotopu, který není zatížen interferencí, a vypočítáme korekční faktor pro interferující izotop na základě jejich přírodního zastoupení. Jeho signál (koncentraci) poté odečteme od celkového signálu. Z toho vyplývá, že většina prvků tvoří kladně nabitě ionty.

Dvakrát nabité ionty se projeví v hmotnostním spektru s poloviční nominální hodnotou mateřského iontu. Např. $^{140}\text{Ce}^{++}$ se projeví v hmotnostním spektru na pozici zdánlivě odpovídající $^{70}\text{Zn}^+$. Poměr mezi ionty nesoucí jeden nebo dva náboje je závisí exponenciálně na poměru prvního a druhého ionizačního potenciálu. Tento poměr však může být snížen vhodným nastavením měřicích podmínek na hodnotu menší než 0,5 % mateřského iontu.

Spektrální interference vyvolávají rovněž prvky matrice nebo nosného plynu spojené do polyatomových částic. V praxi se nejčastěji můžeme setkat s interferujícími polyatomovými částicemi vznikajícími kombinací Ar, O, C, N, H s dalšími ionty. Například CaO^+ (40+16) může interferovat s $^{56}\text{Fe}^+$ nebo ClO^+ (37+16) s $^{53}\text{Cr}^+$, vzhledem k častému výskytu Ca a Cl ve vzorcích. Přítomnost chloridů, síranů a fosforečnanů může rovněž způsobovat vznik nežádoucích interferencí. Typickým případem je stanovení As v roztocích s vysokým obsahem Cl iontů (částice ArCl^+ interferuje s jediným izotopem $^{75}\text{As}^+$). Problém interferencí byl u nově konstruovaných přístrojů odstraněn pomocí cely, kde kolizemi s He, CH_4 nebo NH_3 dochází k rozbití interferencím, používá se jako základní rozpouštědlo roztok HNO_3 (1-5 %), který zajistí stabilitu iontů a přítomnost dusíku nezpůsobuje ve větší míře vznik nežádoucích interferujících částic. Při běžných rutinních stanoveních je však většina předpokládaných interferencí minimalizována vhodným nastavením parametrů zmlžovače a iontové optiky. [11]

Tabulka 1 Příklady nejčastěji se vyskytujících spektrálních interferencí při běžné analýze geomateriálů [9]

Hlavní interferent O	ovlivněná hmotnost	Hlavní interferent Cl	ovlivněná hmotnost	Hlavní interferent C	ovlivněná hmotnost
$^{40}\text{Ar}^{16}\text{O}^+$	$^{56}\text{Fe}^+$	$^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$	$^{75}\text{As}^+$	$^{40}\text{Ar}^{12}\text{C}^+$	$^{52}\text{Cr}^+$
$^{40}\text{Ca}^{16}\text{O}^+$	$^{56}\text{Fe}^+$	$^{40}\text{Ca}^{35}\text{Cl}^+$	$^{75}\text{As}^+$	$^{40}\text{Ca}^{12}\text{C}^+$	$^{52}\text{Cr}^+$
$^{44}\text{Ca}^{16}\text{O}^+$	$^{60}\text{Ni}^+$	$^{35}\text{Cl}^{116}\text{O}^+$	$^{51}\text{V}^+$		
$^{135}\text{Ba}^{16}\text{O}^+$	$^{151}\text{Eu}^+$	$^{37}\text{Cl}^{116}\text{O}^+$	$^{53}\text{Cr}^+$		
$^{137}\text{Ba}^{16}\text{O}^+$	$^{153}\text{Eu}^+$				

5.2.2 Nespektrální interference

Matriční prvky mohou vyvolávat nespektrální interference, zejména potlačení signálu tím, že ovlivňují energetické poměry a tudíž ionizační rovnováhy v plazmatu.

Obecně platí, že signál izotopově lehkého analytu v izotopově těžké matici je potlačen ve větší míře, než signál izotopově těžšího analytu v matici izotopově lehké. Znamená to, že lépe se stanovuje např. koncentrace Th v roztoku obsahujícím B, než B v matici obsahující Th. Míru potlačení signálu mezi prvky, které jsou si hmotnostně blíže než B a Th, určuje hodnota ionizačního potenciálu. V páru dvou prvků s odlišným ionizačním potenciálem, potlačení signálu záleží spíše než na poměru koncentrace analytu a koncentrace matričního elementu na absolutních obsazích matričních prvků. Z praxe je známé i zesílení signálu pravděpodobně pochází z dokonalejší ionizace srážkami a atomy uhlíku.

Jednotlivé interferující vlivy potlačujeme několika způsoby. A to měření pomocí externího standardu, pomocí interního standardu a metodou izotopového ředění.

Externí standard či standardní přídavek zajišťuje stejné podmínky při měření standardu a vzorku. Interní standard je izotop, jehož průběžným měřením umožňujeme řídicímu systému reagovat na běžné změny ve stabilitě signálu přístroje. Pomocí interního standardu systém opravuje výchyly změřené koncentrace analytu vzniklé náhodnou stabilitou přístroje. Interní standard musí být dobře ionizovatelný prvek, který se v měřeném vzorku nevyskytuje. Nejčastěji bývá interním standardem ^{115}In , ^{45}Sc , ^{209}Bi nebo ^{103}Rh . Ideální interní standard pro dané měření je jeden z izotopů analyzovaného prvku, Je-li použit takovýto interní standard, hovoříme o metodě izotopového ředění. Tento postup je velmi pracný a náročný, ale ve svém důsledku přesný. Metoda izotopového ředění bývá používána pro analýzu referenčních materiálů a dalších vzorků vyžadujících vysokou přesnost stanovení.

5.3 Detekce

Pro detekci a kvalifikaci počtu dopadených iontů se v MS ICP nejčastěji využívá vícekanálový elektronásobič. Jeho funkce je obdobná jako u klasického fotonásobiče a spočívá v mnohonásobném zesílení elektrického signálu, vzniklého dopadem měřeného iontu na měrnou plošku, na kterou je vložen elektrický potenciál velikosti přibližně 3 kV. Dopadem pozitivně nabitého iontu Me dojde k vypuzení velkého počtu tzv. sekundárních elektronů, které jsou dále směřovány elektrickým polem k dalším elektrodám a znovu zesilovány, až je na výstupu detektoru získán měřitelný elektrický proud.

Při vlastním měření metodou ICP-MS jsou kvadrupólovým separátorem na detektor směřovány ionty o zvolené hmotnosti vždy po dobu 10–100 ms a počet dopadajících iontů je

zaznamenáván řídicím počítačem. Poté jsou na detektor nasměrovány další ionty o jiné hodnotě amu a celý proces se opakuje. Proměření celého zadaného spektra iontů se opakuje 100 – 1000 krát a výsledný signál je počítán jako průměr ze všech těchto měření. Stejným způsobem dále probíhá i kalibrace přístroje, kdy jsou proměřovány standardní roztoky o známé koncentraci měřených prvků a na základě velikosti signálů těchto standardů jsou finálně vypočteny. [8]

5.4 Aplikace metody

Metoda ICP MS nachází uplatnění zejména v oblasti stopové a ultrastopové analýzy. Běžně dosahované detekční limity se v současné době výrazně liší podle typu použitého přístroje. U přístrojů s kvadrupólovým analyzátozem dosahují detekční limity na hranicích $\text{ng}\cdot\text{l}^{-1}$ (Tabulka 2).

Tabulka 2 Detekční limity 3σ [12]

Skupiny prvků	DL (3σ)
Na, Mg, Al, V, Co, Ni, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Cd, In, Sn, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Ti, Pb, Bi, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu, Th, U, Np, Pu, Am	$< 1 \text{ ng}\cdot\text{l}^{-1}$
Li, Be, B, K, Sc, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Ga, As, Pd, Ag, Sb, Te, Hg	1 až $10 \text{ ng}\cdot\text{l}^{-1}$
Ca, Se, I	10 až $100 \text{ ng}\cdot\text{l}^{-1}$
Si, P, Br	0,1 až $1 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$
Cl	$> 1 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$

Z hlediska oborů nacházela ICP MS nejprve uplatnění v geologii (analýza stop vzácných zemin a platinových kovů), v jaderné energetice a při analýze velmi čistých chemikálií a materiálů (elektronika, zbrojní a kosmické technologie). V současné době velmi vzrůstá počet aplikací zaměřených na analýzy vzorků životního prostředí, monitorování nízkých koncentrací v tkáních a při kontrole potravin.

Při kombinaci techniky s elektrotermickým vypařováním (ETV) je možná i analýza velmi malých vzorků, případně analýza velmi nízkých koncentrací a ve spojení s laserovou

ablaci pak velmi citlivá lokální semikvantitativní analýza. Pro analýzu kovů geologických materiálů jsou používány infračervené lasery, při analýze skel, keramiky a materiálů po elektrotechnický průmysl pak lasery pracující v ultrafialové oblasti. [12]

5.5 Zpracování výsledků ve spektrometrii

5.5.1 Mez detekce

Mez detekce měření je definována jako koncentrace analytu poskytující analytický signál rovný trojnásobku směrodatné odchylky slepého pokusu.

Mez detekce je jednou s důležitějších metrologických charakteristik analytického stanovení, kterou je třeba se zabývat v procesu ověřování metody. Pro potřebu dvou základních úkolů. A to posouzení, zdali experimentální výsledek indikuje přítomnost či nepřítomnost analytu a určení detekčního a kvantifikačního potenciálu chemického měřícího procesu. Mez detekce v hmotnostní spektrometrii je vyjádřena součtem velikosti signálu měření slepého pokusu plus trojnásobek směrodatné odchylky deseti opakování měření slepého pokusu.

5.5.2 Mez stanovitelnosti

Mezi stanovitelnosti je rovna koncentraci poskytující signál rovný desetinásobku směrodatné odchylky měření slepého pokusu plus hodnota signálu slepého pokusu. Je to nejnižší množství analytu ve vzorku, které jsme schopni stanovit jako exaktní hodnotu se stanovenou nejistotou.

Mez detekce i mez stanovitelnosti lze získat na základě experimentálního vyhodnocení variability měření slepých vzorků, tzv. blanků, kde variabilita je vyjádřena ve formě směrodatné odchylky, která může být stanovena přímo metodou z opakovaných měření slepých vzorků s velmi malým množstvím analytu, nebo může být hodnota směrodatné odchylky slepého pokusu stanovena nepřímo a to extrapolací z dat lineární kalibrační závislosti. Mez detekce vázána na hodnotu obsahu ve vzorku, která v použitém detekčním systému vykazuje zvolený poměr signálu k šumu. Tento postup je běžný u těch detekčních

systémů, které umožňují kontinuální registraci nulové linie, jako je tomu například u chromatografických technik. [23]

5.5.3 Kalibrační křivka

Kalibrační křivka je závislost signálu série standardů na koncentraci. Z této závislosti je pak odečtena hodnota koncentrace pro neznámý vzorek. Nejvýhodnější je lineární tvar křivky v celém jejím rozsahu. Vhodné je, aby se signál vzorku nacházel uvnitř koncentračního rozsahu standardů.

Hodnota kalibrační přímky je dána vztahem:

$$S = a + b \cdot c$$

kde: S...hodnota signálu

a...absorbance

b...směrnice přímky

c...koncentrace

Lineární rozsah kalibračních křivek v ICP-MS dosahuje až 9 řádů a to i díky možnosti využití digitálního i analogového detektoru. [21]

6 Současný stav problematiky

V současnosti je v ČR vyhláškou doporučeno používat chemické rozmrazovací materiály, jako je NaCl, CaCl₂, MgCl₂. Tyto materiály jsou nejpoužívanější, ale najdou se i země (např. Švédsko, Maďarsko nebo Španělsko), které zkouší jiné materiály (CMA), ale kvůli jejich negativním vlastnostem (např. vysoká cena, problémy se skladováním, nebo třeba i snížení přilnavosti pneumatik k vozovce omezily jejich případné použití na velmi specifické lokality a vysoce specifické účely. [2], [16]

Důvod, proč země hledají náhradu za rozšířený NaCl, je snaha snížit negativní dopady zimní údržby na životní prostředí. NaCl je rozpustný ve vodě, ale těžko odstranitelný, a proto ohrožuje povrchové a podzemní vody, ale i půdy. V povrchových vodách se NaCl rozředí, ale v podzemních vodách nemá tolik prostoru k rozředění, a proto může dojít k tomu, že se změní charakteristika vody určené k pití. Do podzemních vod se nejčastěji NaCl dostává přes půdy,

kde je množství prosáknuté vody kontaminované NaCl závislé na filtrovatelnosti půd. [13], [15]

V roce 2005 Bohumír Dušek ve své diplomové práci zkoumal, do jaké vzdálenosti od vozovky lze naměřit zvýšený obsah iontů Na^+ a Cl^- . Proto byly vybrány čtyři komunikace první třídy s vysokou intenzitou dopravy a z těchto lokalit se provedlo sedm odběrů během zimní sezóny ve vzdálenostech 0 m, 2 m, 4 m, 6 m, 8 m a 10 m od kraje vozovky. Z výsledků této práce vyplynulo, že zimní údržba se projevila zvýšenými obsahy sodíku a chloridů v půdě v okolí silnic. Zvýšené obsahy Na^+ se vyskytovaly ve vzdálenostech od 2 m až do 6 m v závislosti na měřené lokalitě. Zvýšené obsahy Cl^- se také vyskytovaly do vzdálenosti od 2 m do 6 m. [27]

Na jeho práci v roce 2006 navázala ve své diplomové práci Jana Bulíčková, která během zimní údržby provedla 6 odběrů ve čtyřech stejných lokalitách. Odběry provedla ve vzdálenostech 0 m, 5 m a 10 m od komunikace a ve vzorcích stanovila obsahy Na^+ , Cl^- a vybraných kovů (As, Cd, Cr, Ni, Pb, V, Zn). Ve výsledcích je uvedeno, že obsah Na^+ klesal v závislosti na vzdálenosti od komunikace, což je zdůvodněno nízkou mírou mobility Na^+ iontu. Obsah chloridů díky své vyšší mobilitě nedá využít jako ukazatel zasolení půdy. Při hodnocení vybraných těžkých kovů se vzorky posuzují ve vzdálenosti 0 m podle TP č. 116 [17] a ve vzdálenosti 5 m a 10 m dle vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 13/1994. Bylo zjištěno, že naměření hodnoty Zn a Cu souvisí s provozem, ale možná i ze samotné zimní údržby komunikací. [28]

Experimentální část

Záměrem experimentu bylo vyhodnotit vliv chemických rozmrazovacích materiálů používaných během zimní údržby na znečištění půd v okolí silnic. Pro správné provedení experimentu bylo nutné splnit tyto body:

- zvolit vhodné lokality pro odběr vzorků půd u frekventovaných silnic a intenzivní zimní údržbou
- provést odběr půd na těchto lokalitách
- odebrané vzorky vhodně upravit pro chemickou analýzu
- v odebraných vzorcích půd stanovit obsah vybraných prvků
- výsledky vhodně vyhodnotit a vyvodit závěr

Odběr půdních vzorků byl proveden v lokalitách Nové Město u Chlumce nad Cidlinou (I/11), Chýšť (I/36), Opatovice nad Labem (I/37), a výsledky získané ze vzorků z těchto lokalit budou porovnány s naměřenými daty z diplomových prací z let 2005 a 2006. Dále byly půdní vzorky odebrány z lokalit Pardubice – Popkovice (I/2) a Trhová Kamenice (I/37).

7 Použité přístroje

Následující přístroje byly použity pro úpravu vzorků a chemickou analýzu.

7.1 Sítovací stroj Retsch AS 200

Sítovací stoj byl využit na úpravu vysušených půdních vzorků.

Ze vzorku se odstraní větší kameny a části rostlin. Suchý vzorek se prosévá přes síto o velikosti ok 2 mm. Část přesítovaného vzorku se použije pro další úpravu mletím. Část pro vodní výluh.



Obrázek 4 Sítovací zařízení Retsch AS 200 [vlastní]

7.2 Rotační třepačka Heidolph Relax 20

Rotační třepačka Heidolph Relax 20 se používá k přípravě vodního výluhu dle normy ČSN EN 12457.

Do plastové nádoby o objemu 500 ml se naváží 25,0 g suchého přesátého vzorku půdy a přidá se 250 ml ultračisté vody. Nádoby se umístí do třepačky a nechají se třepat po dobu 24 hodin při laboratorní teplotě a otáčkách 5 ot/min. Po extrakci se vzorky nechají 20 min stát a dále se zpracovávají.



Obrázek 5 Heidolph Relax 20

7.3 Laboratorní centrifuga Hettich Universal 320 R

Laboratorní centrifuga se používá k rychlému a efektivnímu oddělení pevných částic z roztoku pomocí odstředivé síly. Urychluje proces sedimentace a často slouží jako náhrada zdlouhavé filtrace vzorků. Vzorky půd extrahované vodou se po extrakci odstředí na centrifuze po dobu 20 min. při otáčkách 4000 ot/min. V případě potřeby se dále vzorky přefiltrují přes 0,45 μm membránový filtr. Takto upravené vzorky se použijí k analýze.

7.4 Oscilační mlýn Retsch MM 400

Oscilační mlýn MM 400 je vyvinut pro mletí malých objemů vzorku.

Mlecí nádoby mlýnu Retsch MM 400 vytvářejí radiální oscilace v horizontální poloze. Následný pohyb mlecích kuliček způsobí náraz s vysokou energií na vzorek materiálu v kulatých koncích mlecí nádoby, tím se vzorek umele. [25]

7.5 Mikrovlnné rozkladné zařízení SW-4

Mikrovlnné rozkladné zařízení Speedwave SW-4 (Berghof, Německo) je využito pro rozklad vzorků půd lučavkou královskou., dle normy ČS EN 13346. Vzorek půdy ($1,0000\text{g} \pm 0,005\text{g}$) se naváží do teflonové nádoby, která se po přidání kyselin uzavře. Nádoby se vloží do rotoru. Rozklad probíhá při postupném nárůstu teplot až do 200°C a tlaku 30 bar přibližně čtyřicet minut (viz. Tabulka 3). Po skončení rozkladu se nádoby nechají zchladnout na laboratorní teplotu, vzorek se převede do odměrné baňky 100 ml a doplní ultra čistou vodou po rysku.



Obrázek 6: Mikrovlnné zařízení Speedwave SW-4 [31]

Tabulka 3 Nastavení extrakčního programu

Teplota [$^{\circ}\text{C}$]	Tlak [bar]	čas [min]
140	30	5
170	30	10
200	30	15
50	5	10
50	0	1

7.6 ICP-MS

ICP-MS Spektrometr 8800 Triple Quadrupole (Agilent, Japonsko) kombinuje vysoké teploty zdroje indukčně vázaného plazmatu (ICP) s hmotnostním spektrometrem (MS). Zdroj ICP převede proudem argonu atomy prvků ve vzorku na ionty, které jsou následně separovány a detekovány pomocí hmotnostního spektrometru.

Hmotnostní spektrometr ICP-QQQ 8800 je řešením pro stanovení „komplikovaných“ prvků, které za využití klasických jednokvadrupolových ICP-MS není možné stanovit v nízkých koncentracích, nebo jejich stanovení vyžaduje určitou předúpravu vzorku. ICP-QQQ je vhodným přístrojem pro vzorky s komplikovanou maticí a/nebo vzorky obsahující „komplikované“ prvky.

ICP-QQQ obsahuje dva kvadrupóly umístěné za sebou, mezi nimiž je kolizně-reakční cela (Octopole Reaction System - ORS3). Tato cela může být zaplněna kolizním nebo reakčním plynem, který interaguje s ionty prošlými prvním kvadrupólem. Výsledné produkty z ORS jsou selektovány druhým kvadrupólem. První kvadrupól propustí jen ionty (i interferenty - on mass) s vybraným poměrem m/z . Tyto ionty o vybraném m/z dále interagují v kolizně-reakční cele s vybraným plynem. Dochází tedy k více účinnému odstranění interferencí, než u ICP-MS s jedním kvadrupólem, kde kolizní nebo reakční plyn reaguje se všemi ionty. ICP-QQQ je ideálním řešením pro dříve problematické vzorky a analyty.

Připravené vodní a lučavkové výluhy půd byly analyzovány pomocí toho přístroje. Ve vzorcích byly stanoveny koncentrace prvků: sodík, hořčík, draslík, vápník, chlor, arsen, kobalt, chrom, nikl, olovo, vanad, zinek.



Obrázek 7: Agilent 8800 Triple Quadrupole ICP-MS

8 Použité chemikálie

8.1 Standardní jednoprvkové roztoky

Kalibrační roztoky prvků (Na, Ca, K, Mg, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn) byly připraveny z jednoprvkových standardních roztoků firmy Analytika o koncentraci 1000 g/l \pm 0,002 g/l. Roztoky byly okyseleny koncentrovanou kyselinou dusičnou Analpure a koncentrovanou kyselinou chlorovodíkovou Analpure.

8.2 Ostatní chemikálie a mineralizační činidla

- kyselina dusičná Analpure,
- kyselina chlorovodíková Analpure,
- ultračistá voda Merck,
- roztok vnitřního standardu Internal standard mix Agilent (obsahuje prvky: Li, , Ge, Bi, Sc, Y, In, Tb.
- ladící roztok ICP MS tuning solution Agilent.

8.3 Referenční materiály

Pro kontrolu správnosti zvolené analytické metody byl vybrán níže uvedený referenční materiál:

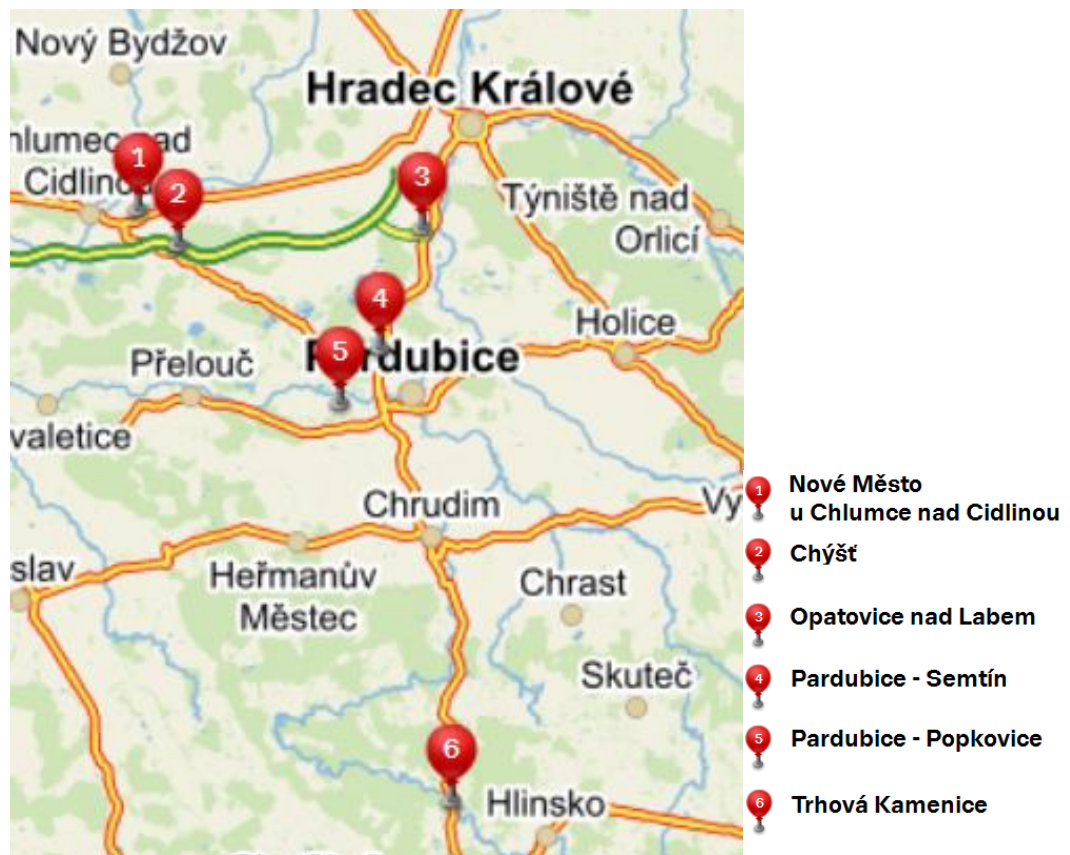
Referenční materiál Metranal 33 (Analytika Praha) certifikovaný obsah Na₂O 0,74%, CaO 1,38%, K₂O 2,21 %, MgO 1,02 %.

Uvedené rozšířené nejistoty měření jsou součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k = 2$, což odpovídá hladině spolehlivosti 95%.

Veškeré použité nádoby bylo před užitím namočeno v 5% kyselině dusičné, řádně vymyto ultračistou vodou a usušeno. Čištění je nutné po uvolnění nasorbovaných iontů.

9 Zvolené lokality pro odběr vzorků

Pro odběr vzorků bylo použito 6 lokalit (**Obrázek 8**). První čtyři lokality byly vybrány podle diplomových prací z let 2005 a 2006. Pátá lokalita se nachází na okraji Pardubic v městské části Popkovice na frekventované silnici první třídy I/2 a vzorky byly odebrány v přilehlém lese. Šestá lokalita se nachází na silnici první třídy I/37, která je hlavním tahem mezi Ždírcem nad Doubravou a Pardubicemi a vzorky byly odebrány za městem Trhová Kamenice, kde stále na povrchu půdy ležel sníh.



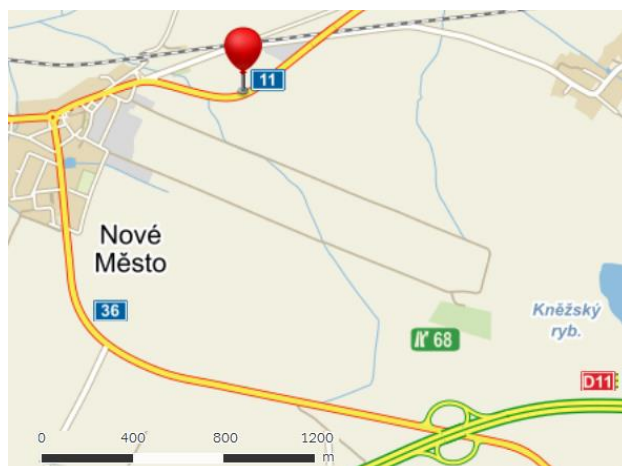
Obrázek 8 Vybrané lokality pro odběr vzorků[30]

9.1 Nové město u Chlumce nad Cidlinou (I/11)

Odběrové místo leží u frekventované silnice I/11 vedoucí z Nového Města do Hradce Králové. Odběr vzorků byl proveden na severně exponovaném náspu, naproti místu odběru se nachází železniční trať.

Data o místu odběru:

- Silnice: I/11
- GPS souřadnice: N 50°8.91673', E 15°30.34812'
- Nadmořská výška 224 m. n. m
- Počasí: 7 °C, oblačno
- Datum odběru: 3. 4. 2015 v 12:30
- Odebrané vzorky: N000_I/11, N005_I/11, N010_I/11, N100_I/11
- Intenzita dopravy: 6 110 voz/24h



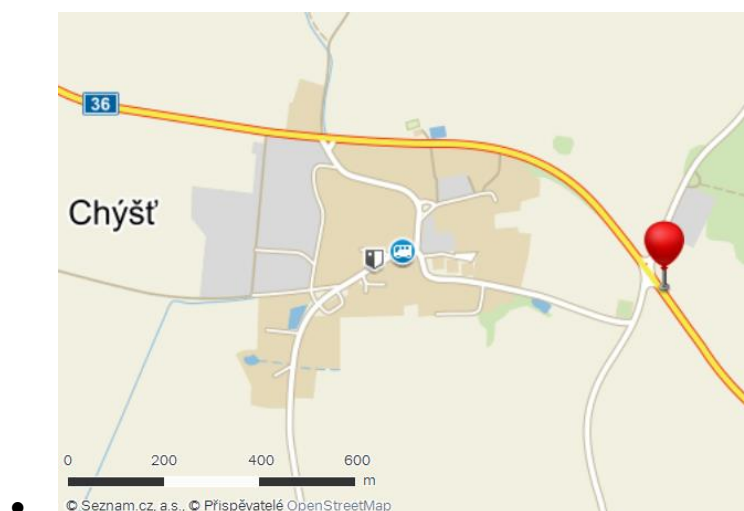
Obrázek 9 Odběrové místo Nové Město I/11 [vlastní]

9.2 Chýšť (I/36)

Odběrové místo leží východně od obce na severní straně exponovaného náspu na frekventované silnici I/36 vedoucí z Chlumce nad Cidlinou do Pardubic. Oproti předchozím odběrům zde byla zprovozněna dálnice D11.

Data o místě odběru:

- Silnice: I/36
- GPS souřadnice: N 50°7.60252', E 15°32.91218'
- Nadmořská výška 262 m. n. m
- Počasí: 8 °C, oblačno
- Datum odběru: 3. 4. 2015 v 13:00
- Odebrané vzorky: Ch000_I/36, Ch005_I/36, Ch010_I/36, Ch100_I/36
- Intenzita dopravy: 4 361 voz/hod



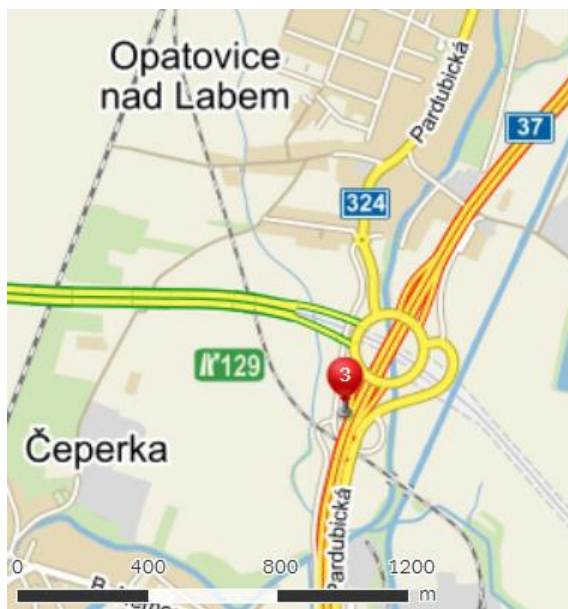
Obrázek 10 odběrové místo Chýšť I/36 [vlastní]

9.3 Opatovice nad Labem (I/37)

Odběrové místo se nachází jižně od města Opatovice nad Labem na silnici I/37, která je hlavním tahem mezi Hradcem Králové a Pardubicemi. Od posledního odběru okolo odběrového místa byla vybudována rychlostní silnice R35 a dokončena víceúrovňová křižovatka která má nyní dvě úrovně a byla otevřena v listopadu 2009. V první úrovni se nachází čtyřproudá silnice I/37. Ve druhé úrovni se nachází kruhový objezd, který by měl v budoucnu propojit silnici I/37 s rychlostní komunikací R35, která bude 3. úrovní křižovatky.

Data o místě odběru:

- Silnice: I/37
- GPS souřadnice: N 50°8.24573', E 15°47.23800'
- Nadmořská výška 224 m. n. m
- Počasí: 5 °C, slabý déšť, kroupy
- Datum odběru: 3. 4. 2015 v 15:00
- Odebrané vzorky: O000_I/37, O005_I/37, O010_I/37, O100_I/37
- Intenzita dopravy: 15 141 voz/hod



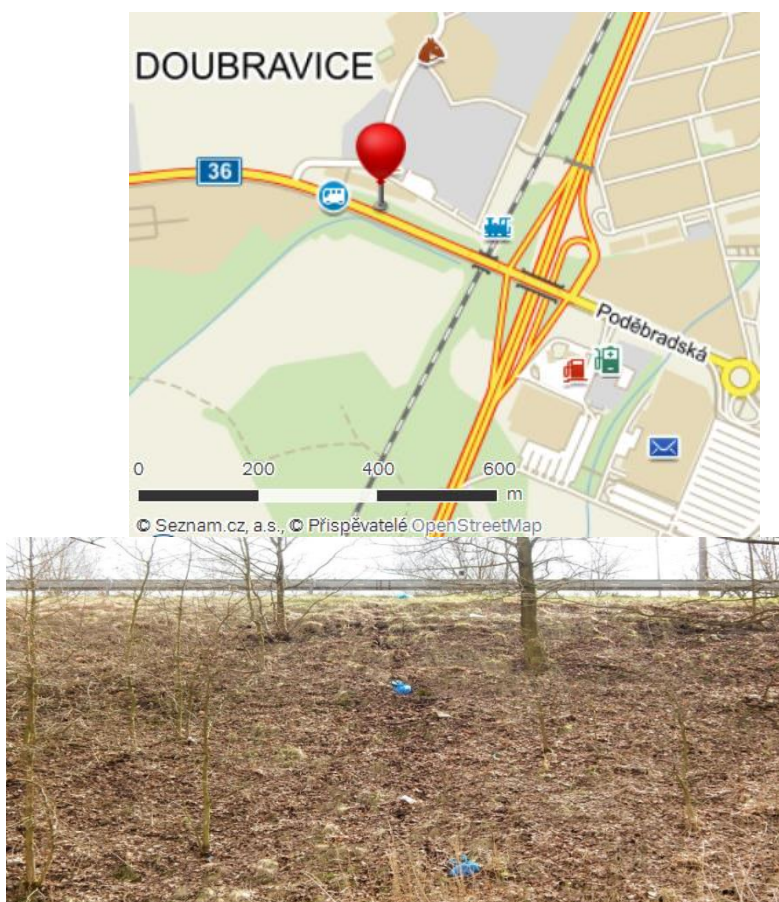
Obrázek 11 Odběrové místo Opatovice nad Labem I/37 [vlastní]

9.4 Pardubice – Semtín (I/36 - železniční zastávka)

Odběrové místo leží na severním náspu nadjezdu přes železniční trať, v těsné blízkosti železniční stanice Semtín. Severovýchodně se nachází odloučené pracoviště Dopravní fakulty Jana Pernera.

Data o místu odběru:

- Silnice: I/36
- GPS souřadnice: N 50°3.71018', E 15°44.70878'
- Nadmořská výška 216 m. n. m
- Počasí: 11 °C, polojasno
- Datum odběru: 3. 4. 2015 v 16:00
- Odebrané vzorky: S000_I/36, S005_I/36, S010_I/36, S100_I/36
- Intenzita dopravy: 8 730 voz/hod



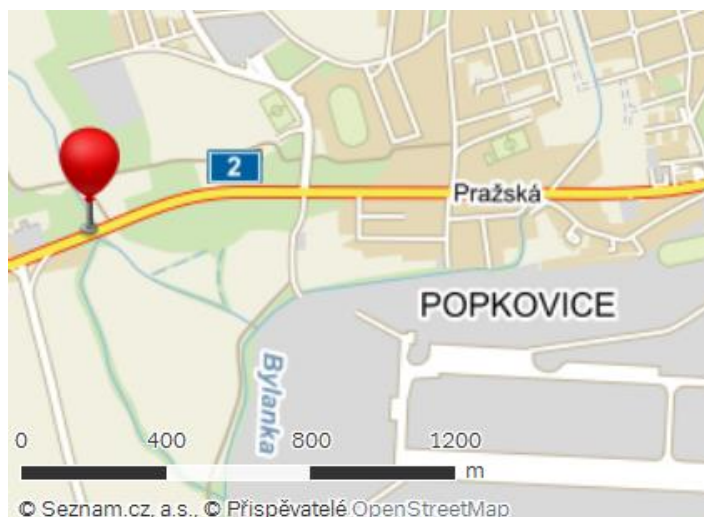
Obrázek 12 Odběrové místo Pardubice - Semtín I/36 [vlastní]

9.5 Pardubice – Popkovice (I/2 – směr Kolín)

Odběrové místo se nachází na západním výjezdu z města Pardubice na severní straně komunikace I/2, kde se nachází les. Tato komunikace je hlavním tahem Z Pardubic do Kolína a za tímto místem se nachází odbočka k obci Heřmanův Městec.

Data o místě odběru:

- Silnice: I/2
- GPS souřadnice: N 50°1.18350', E 15°42.55937'
- Nadmořská výška 226 m. n. m
- Počasí: 8 °C, polojasno
- Čas odběru: 3. 4. 2015 v 16:30
- Odebrané vzorky: P000_I/2, P005_I/2, P010_I/2, P100_I/2
- Intenzita dopravy: 13 446 voz/hod



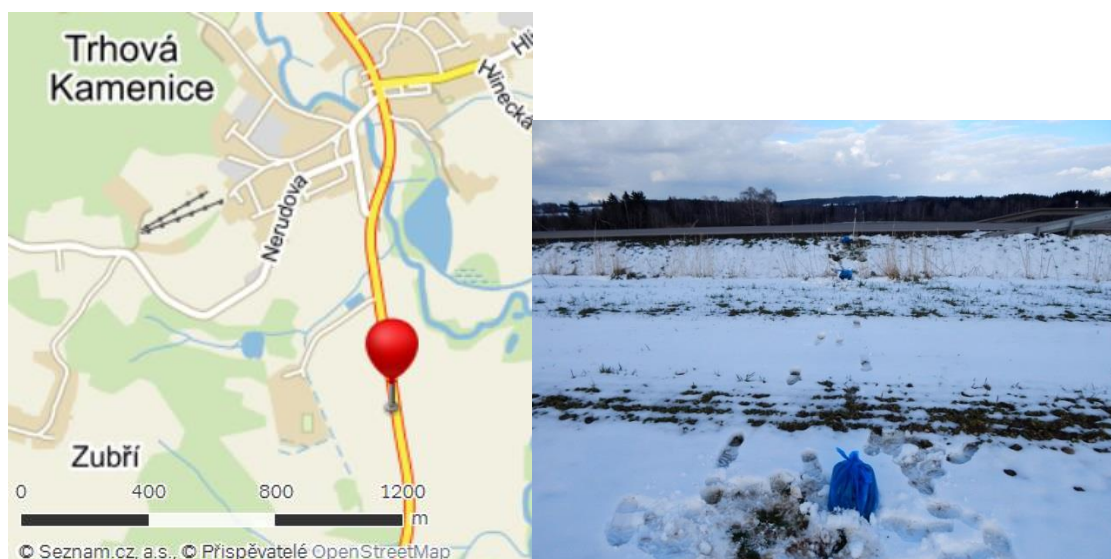
Obrázek 13 Odběrové místo Pardubice – Popkovice [vlastní]

9.6 Trhová Kamenice (I/37)

Poslední odběrové místo se nachází jižně od města Trhová Kamenice na západní straně komunikace I/37, která je hlavním tahem z Pardubic do Ždírcce nad Doubravou. Toto odběrové místo je specifické v tom, že v místě se nacházela sněhová pokrývka.

Data o místě odběru:

- Silnice: I/37
- GPS souřadnice: N 49°46.65045', E 15°48.99377'
- Nadmořská výška: 544 m. n. m.
- Počasí: 4 °C, zataženo
- Čas odběru: 3. 4. 2015 v17:30
- Odebrané vzorky: TK000_I/37, TK005_I/37, TK010_I/37, TK100_I/37
- Intenzita dopravy: 5 622 voz/hod



Obrázek 14 Odběrové místo Trhová Kamenice [vlastní]

10 Postup odběru vzorků

10.1 Způsob odběrů a označení vzorků

Z každé lokality byly odebrány čtyři vzorky, kromě v lokality Pardubice – Semtín bylo kvůli zástavbě možno odebrat pouze tři vzorky. Nejdříve byl odebrán vzorek pomocí zahradního rýče u krajnice, a pak ve vzdálenosti 5, 10 a 100 metrů od silnice do hloubky 15 cm. Po vyjmutí z půdy byl vzorek vložen do předem označeného modrého igelitového pytle na odpadky o objemu 35 litrů a následně přenesen do kufru přistaveného osobního automobilu.

Odebraný vzorek půdy je označen ve tvaru: **Počáteční písmeno dané lokality, vzdálenost od komunikace_číslo silnice** např. pro lokalitu Nové Město u Chlumce nad Cidlinou, 5 metrů kolmo od kraje komunikace, na silnici první třídy I/11.

- N005_I/11

10.2 Sušení vzorků

Odebrané vzorky byly vysypány na papír a sušeny v tmavé místnosti při stálé teplotě po dobu 17 dnů. Poté byly upraveny výše uvedenými postupy (kap. 7.1 až 7.4).



Obrázek 15 Sušení vzorků [vlastní]

11 Výsledky a diskuze

Ve vzorcích půd byl stanoven obsah prvků: sodík, chlor, hořčík, draslík, vápník, arsen, kadmium, chrom, měď, mangan, nikl, olovo, vanad a zinek s využitím hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem, ve dvou typech výluhů (vodní a lučavkový).

Vodní výluh byl vybrán po stanovení celkového obsahu rozpustných solí, tedy hlavně pro stanovení obsahu sodíku a chloru. Lučavkový výluh byl vybrán pro stanovení obsahu těžkých kovů. Zjištěný obsah prvků v lučavkovém výluhu nelze považovat za celkový obsah, ale ani za biologicky dostupný obsah, protože lučavkový výluh je silnější než biologické procesy, vypovídá však o složení půdy a o možné kontaminaci půdy.

Získané výsledky byly porovnány s výsledky publikovanými v diplomové práci Jany Bulíčkové z roku 2006 a diplomové práci Bohumíra Duška z roku 2005 (v případě vzorků půd odebraných ve stejných lokalitách jako v těchto dřívějších pracích). Obsah těžkých kovů byl také porovnán s obsahy povolenými a danými technickým předpisem č. 116 pro nezemědělské půdy, tedy krajnice silnice (0 m) a pro zemědělské půdy, které jsou vzdáleny 5, 10 a 100 m, jež hodnotí vyhláška MŽP č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. [29]

V příloze 1 TP č. 116 se hodnotí podle kritérií, která jsou rozdělena do kritérií A, B, C (Tabulka 4). Kritéria A odpovídají přibližně přirozeným obsahům sledovaných látek v přírodě. Překročení kritéria A pro daný prvek neznamená znečištění, ale jde o přirozené obsahy sledovaných látek. Kritérium B je uměle zavedené a udává přibližně aritmetický průměr kritérií A a C. Překročení kritéria B se posuzuje jako znečištění, které může mít negativní vliv na zdraví člověka a jednotlivé složky životního prostředí. Kritérium C zohledňuje fyzikálně-chemické, toxikologické, ekotoxikologické vlastnosti látek. Překročení kritéria C představuje významné riziko zdraví člověka a životního prostředí. Závažnost rizika může být potvrzena pouze jeho analýzou. [17]

Tabulka 4 Hodnocení znečištění zeminy podle TP č. 116 [17]

Kovy	A [mg/kg]	B [mg/kg]	C [mg/kg]
As	30	65	55
Cd	0,5	10	12
Cr celk.	130	450	380
Cu	70	500	190
Ni	60	180	210
Pb	80	250	300
V	180	340	N
Zn	150	1500	720

Tabulka č. 2 v příloze č. 1 vyhlášky MŽP č. 13/1994 Sb., jsou stanoveny maximálně přípustné hodnoty pro zemědělské lehké půdy, kterými se rozumí písčité a hlinitopísčité půdy a ostatní zemědělské půdy (Tabulka 5).

Tabulka 5 Maximálně přípustné hodnoty pro zeminy podle vyhlášky č. 13/1994 Sb. [29]

Maximálně přípustné hodnoty		
Prvky	lehké půdy [mg/kg]	ostatní půdy [mg/kg]
As	30,0	30,0
Cd	0,4	1,0
Cr	100,0	200,0
Cu	60,0	100,0
Ni	60,0	80,0
Pb	100,0	140,0
V	150,0	220,0
Zn	130,0	200,0

11.1 Kalibrační křivky a mez detekce

Vodní a lučavkové výluhy byly analyzovány přístrojem ICP-QQQ a výsledné koncentrace prvků ve vzorcích byly získány pomocí kalibračních závislostí. Kalibrační křivky jsou pro všechny prvky lineární v širokém rozsahu koncentrací. Pro prvky: sodík, hořčík, vápník a draslík byly použity roztoky o koncentraci 0, 1, 10, 100, 1000 mg/l. Pro těžké kovy 0, 1, 10, 100, 1000 µg/l a pro chlor 0; 0,1; 0,5; 1; 5; 10; 50 mg/l. Standardy pro kalibrační závislosti byly připraveny se stejným obsahem kyselin jako reálné vzorky.

Meze detekce pro jednotlivé prvky jsou spočítány podle vztahu uvedeného v kapitole 5.5.2. Jejich hodnoty jsou: Na = 0,009 µg/l; Mg = 0,007 µg/l; K = 0,028 µg/l; Ca = 0,149 µg/l; Cl = 40,1 µg/l; As = 0,086 µg/l; Cd = 0,006 µg/l; Cr = 0,028 µg/l;

Cu = 0,061 µg/l; Mn = 0,136 µg/l; Ni = 0,137 µg/l; Pb = 0,093 µg/l; V = 0,071 µg/l;
Zn = 0,821 µg/l.

11.2 Analýza referenčního materiálu

Referenční materiál Metranal 33 byl rozložen lučavkovým výluhem a zanalyzován společně se vzorky půd. Výsledky stanovení jsou uvedeny v tabulce. Výsledky jsou srovnatelné s certifikovanými hodnotami.

Tabulka 6 Výsledky stanovení referenčního materiálu lučavkovým výluhem a jejich porovnání s certifikovanými hodnotami

[mg/kg]	Mn	Ni	As	Cu	Cd	
certifikovaný	529 ± 19	28,8 ± 1,2	11,6 ± 0,7	25,4 ± 0,9	0,32 ± 0,03	
stanovený	511 ± 25	32,4 ± 3,2	11,1 ± 1,4	16,3 ± 1,9	0,33 ± 0,56	
	Pb	V	Cr	Zn	Na	Cl
certifikovaný	25,2 ± 1,1	52,9 ± 2,7	42,4 ± 0,9	69,4 ± 1,8	0,07	19,3
stanovený	28,3 ± 3,2	48,1 ± 3,2	45,5 ± 1,6	67,9 ± 2,5	0,109	23,3

11.3 Výsledky získané pro jednotlivé odběrové lokality

Z naměřených koncentrací byly vypočítány obsahy pro jednotlivé prvky podle vztahu:

$$c_{\text{výsledná}} (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}) = f * \frac{c(\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}) * V (\text{l})}{m (\text{g})}$$

$c_{\text{výsledná}}$: hledaný obsah prvku v $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

f: faktor ředění

c: změřená koncentrace prvku v $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$

V: objem vzorku v litrech

m: navážka v gramech

11.3.1 Nově Město u Chlumce nad Cidlinou (I/11)

Od roku 2006 došlo na jihu od této lokality k otevření dálnice D11, která byla v prosinci roku 2006 otevřená až po exit 84 před Hradcem Králové (Obrázek 9), bylo proto

předpokládáno, že naměřené hodnoty budou být nižší než v předchozích letech. Měřené místo se nachází východně od Nového Města a na severní straně exponovaného náspu. Vzorek, který byl odebrán ve vzdálenosti 100 m se nacházel ve středu přilehlého pole. [32]

Ve vodních výluzích půd byl stanoven obsah vybraných prvků včetně chloru (Tabulka 7). A to ve vzorcích odebraných u krajnice (0m) a 10m od krajnice. Z výsledků je patrný vyšší obsah sodíku a chloru ve vzorku 0m, lze tedy usuzovat, že tyto prvky se do půdy dostaly ze soli použité při zimní údržbě.

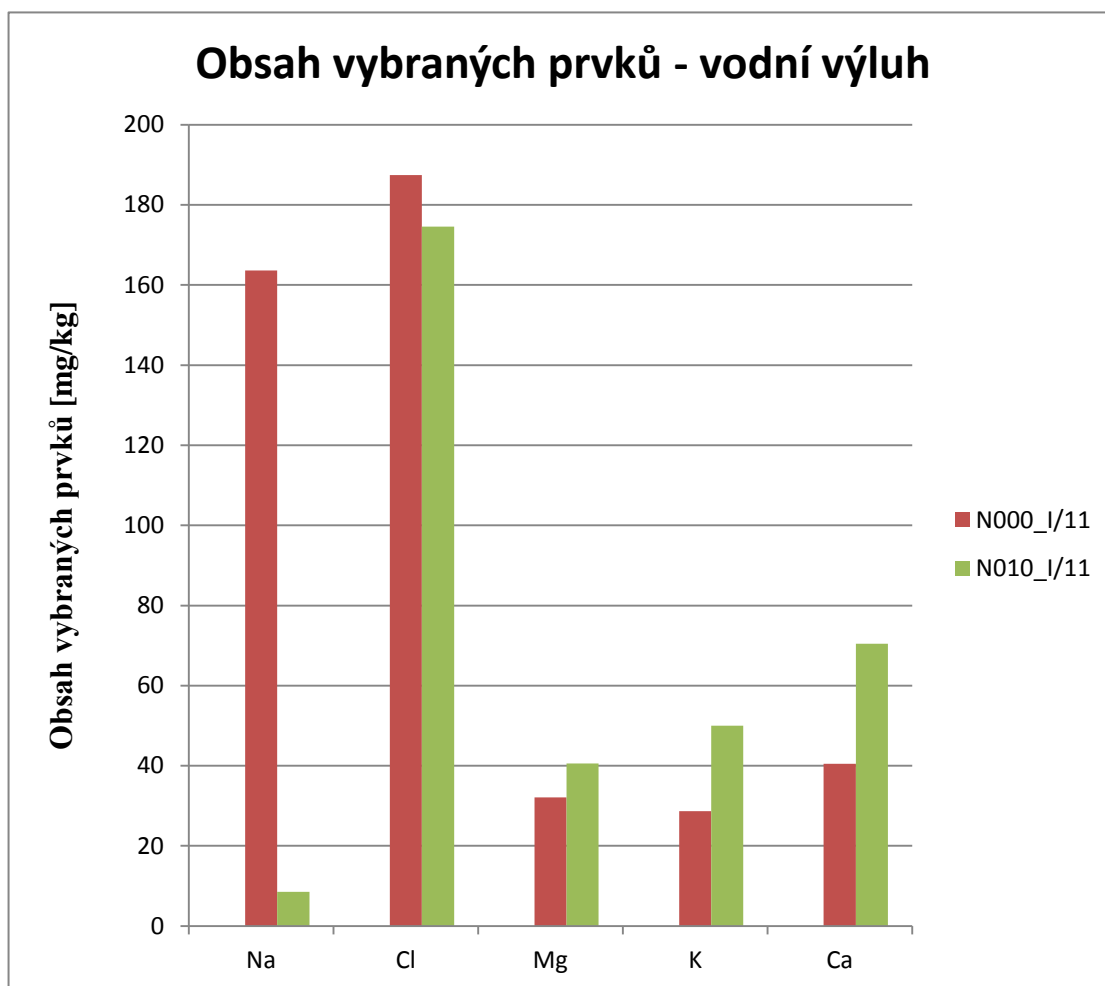
V případě lučavkového výluhu je u sodíku patrný stejný trend (nejvyšší hodnota je u krajnice ve vzdálenosti 0m od silnice). U ostatních prvků je také patrný klesající trend se zvyšující se vzdáleností od silnice, nárůst je patrný až u posledního vzorku, který je odebrán 100m od krajnice (Tabulka 8, Graf 4). Je pravděpodobné, že tento nárůst je způsoben návanem prachu z vozovky do této vzdálenosti (došlo zde ke spadu prachu).

Naměřené koncentrace obsahu těžkých kovů nepřekračují kritérium A, tedy jsou přípustné. Zemědělské půdy, tedy vzorky odebrané ve vzdálenostech 5, 10 a 100 m, se hodnotí jako ostatní půdy. Z těchto vzorků žádný nepřekračuje stanovenou hranici. Pro mangan nejsou maximální přípustné hodnoty stanoveny. Ve většině případů je obsah těchto prvků nejvyšší ve vzorku 0, poté klesá což je nevíce patrné v případě olova, mědi, chromu a zinku. Lze tedy říci, že zvýšený obsah těchto prvků je způsoben dopravou.

Vzorky odebrané z této lokality nepřekračují přípustné hodnoty a nemají negativní vliv na zdraví člověka a životní prostředí.

Tabulka 7 Obsah prvků ve vodním výluhu půd v lokalitě Nové Město v závislosti na vzdálenosti

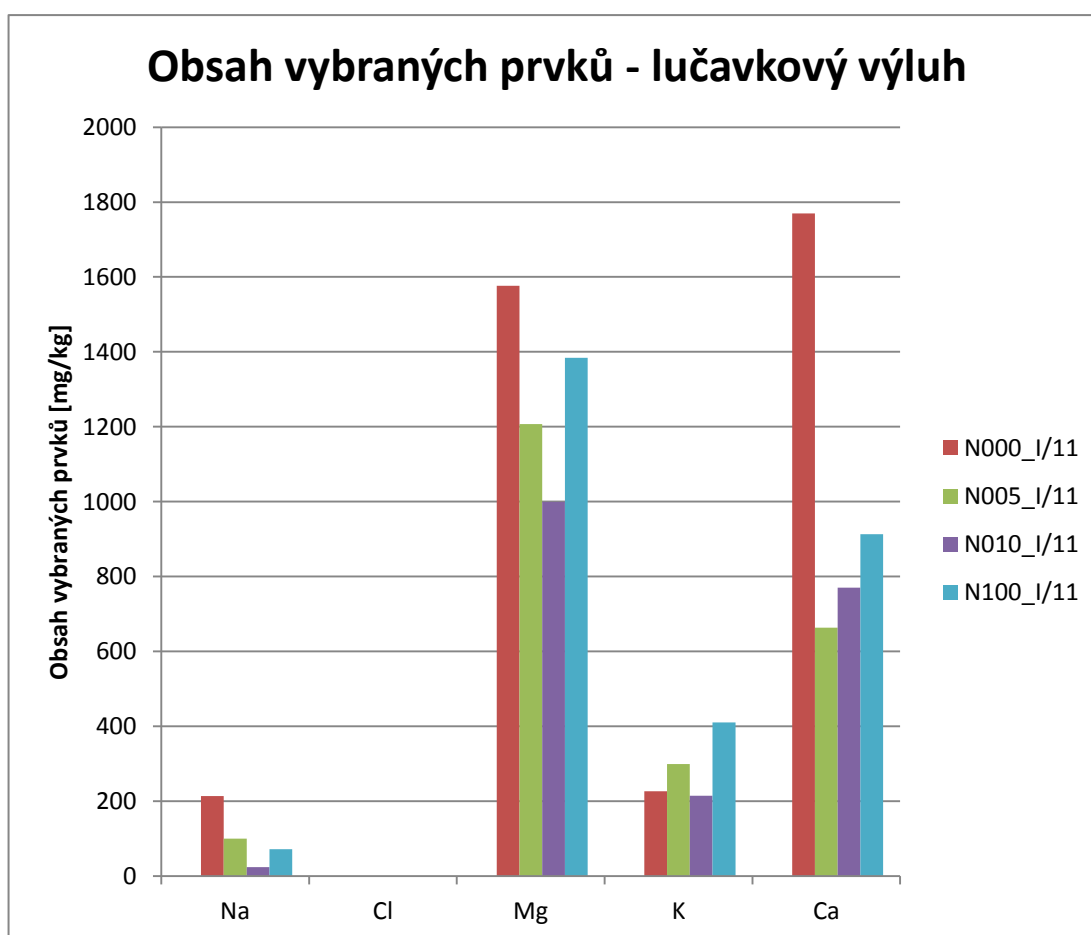
Vodní výluh	Obsah vybraných prvků [mg/kg]				
	Na	Cl	Mg	K	Ca
Vzorky					
N000_I/11	164	187	32,1	28,7	40,52
N005_I/11	N	N	N	N	N
N010_I/11	8,53	175	40,6	50,0	70,5
N100_I/11	N	N	N	N	N



Graf 3 Naměřené množství vybraných prvků ve vzorcích vodního výluhu v lokalitě Nové Město, v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 8 Obsažené množství vybraných prvků stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Nové Město v závislosti na vzdálenosti

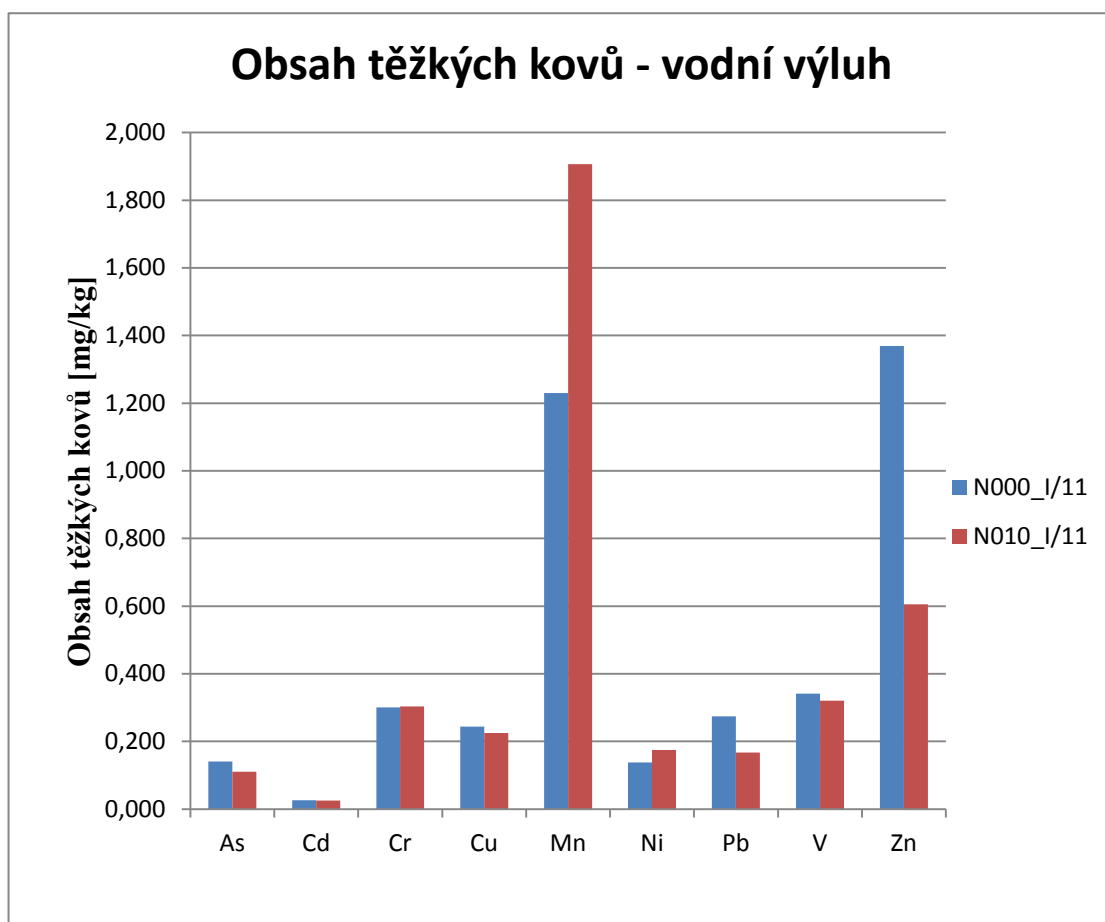
Lučavkový výluh	Obsah vybraných prvků [mg/kg]				
Vzorky	Na	Cl	Mg	K	Ca
N000_I/11	214	N	1 576	226	1 770
N005_I/11	99,8	N	1 207	299	663
N010_I/11	23,7	N	1 000	215	770
N100_I/11	71,5	N	1 384	410	913



Graf 4 Obsažené množství vybraných prvků stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Nové Město v závislosti na vzdálenosti.

Tabulka 9 Naměřené množství těžkých kovů ve vzorcích vodního výluhu v lokalitě Nové Město, v závislosti na vzdálenosti

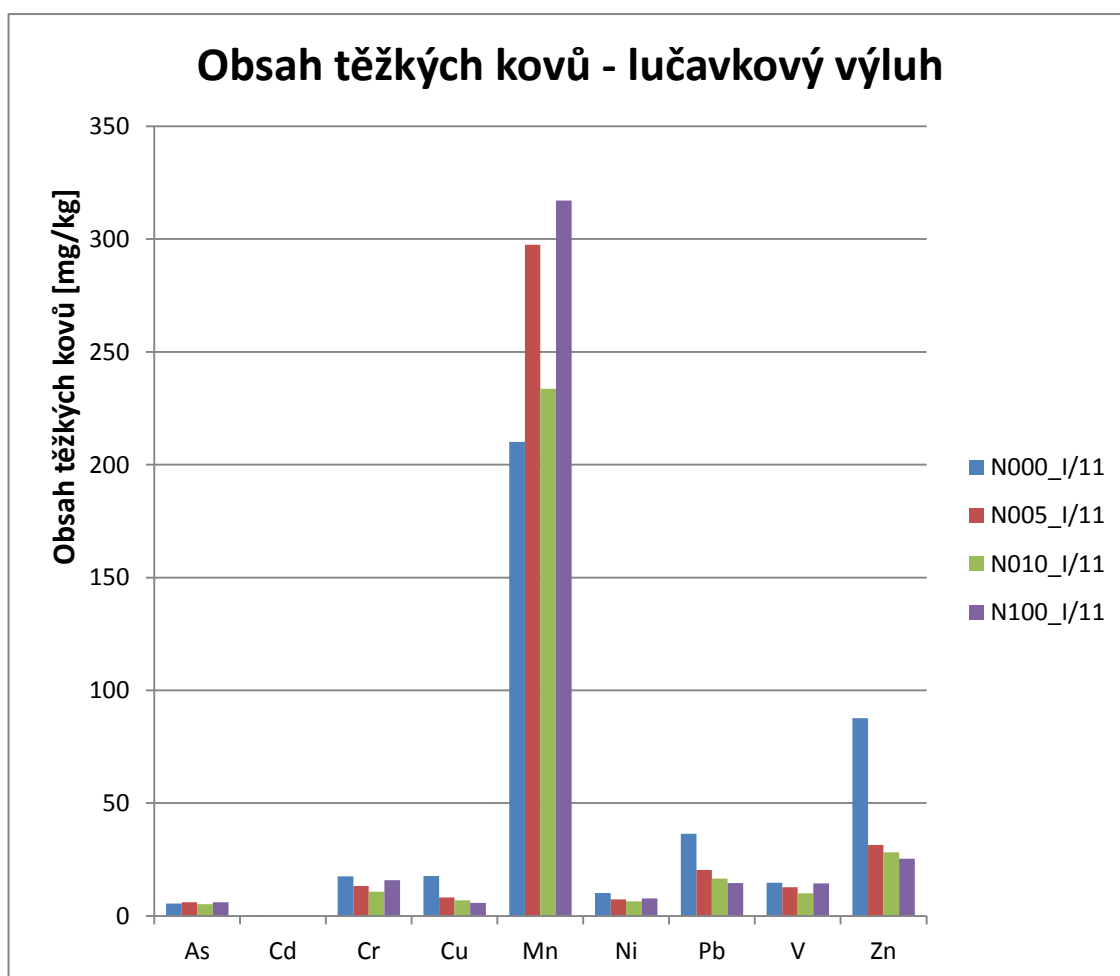
Vzorek	Obsah těžkých kovů vodním výluhem [mg/kg]								
	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
O000_I/37	0,141	0,0266	0,301	0,243	1,23	0,138	0,274	0,341	1,37
O005_I/37	N	N	N	N	N	N	N	N	N
O010_I/37	0,110	0,0255	0,304	0,225	1,91	0,175	0,167	0,320	0,605
O100_I/37	N	N	N	N	N	N	N	N	N



Graf 5 Naměřené množství těžkých kovů ve vzorcích vodního výluhu v lokalitě Nové Město, v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 10 Naměřené množství těžkých kovů ve vzorcích lučavkového výluhu v lokalitě Nové Město, v závislosti na vzdálenosti

Vzorek	Obsah těžkých kovů lučavkovým výluhem [mg/kg]								
	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
N000_I/11	5,56	0,318	17,6	17,7	210	10,142	36,399	14,705	87,719
N005_I/11	6,07	0,0821	13,3	8,22	297,44	7,383	20,411	12,766	31,501
N010_I/11	5,19	0,104	10,8	6,98	233	6,46	16,5	10,1	28,1
N100_I/11	6,03	0,0842	15,9	5,75	317	7,75	15,5	14,4	25,3



Graf 6 Naměřené množství těžkých kovů ve vzorcích lučavkového výluhu v lokalitě Nové Město, v závislosti na vzdálenosti

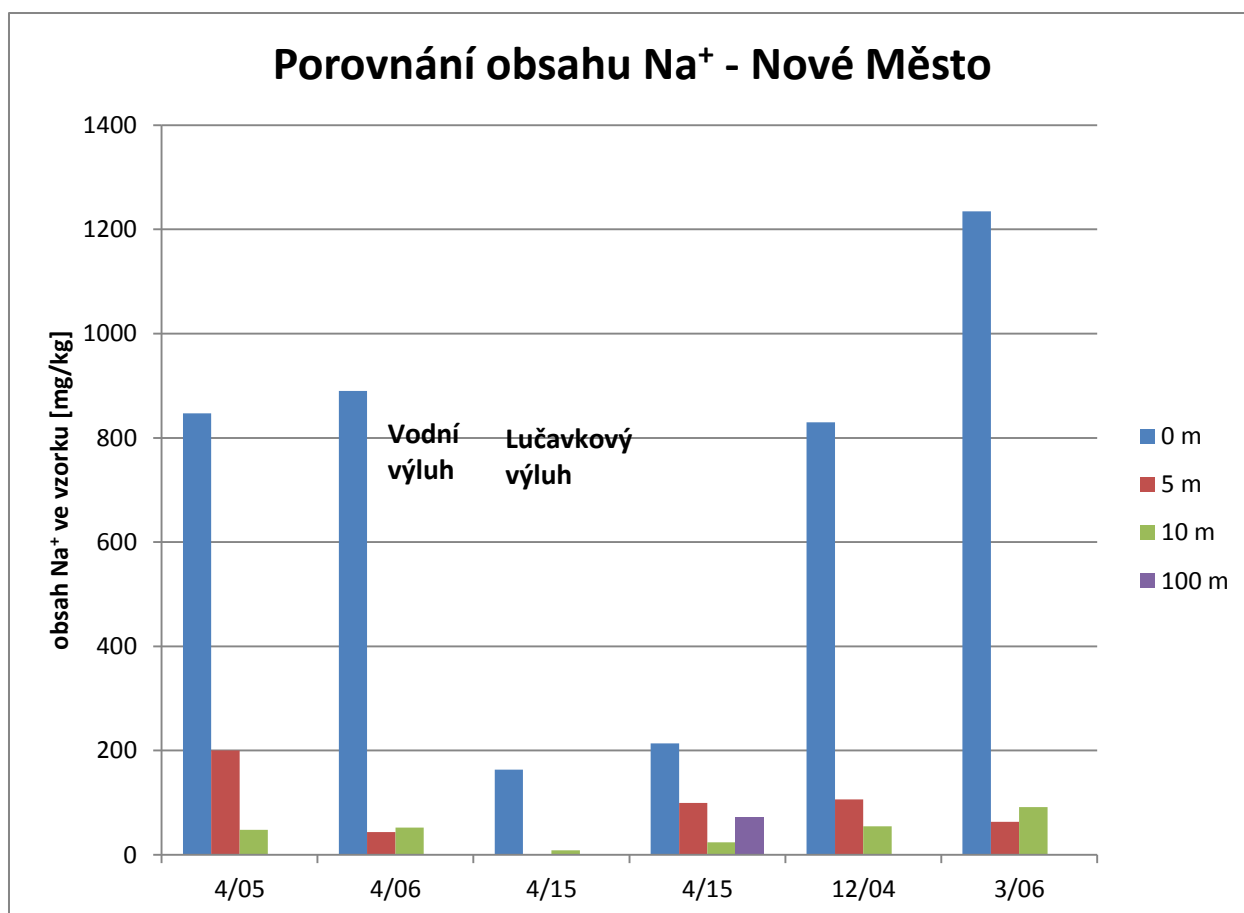
Porovnání hodnot s hodnotami naměřenými v letech 2005 a 2006

Byl porovnán obsah sodíku a chloru ve vzorcích půd s výsledky získanými v předchozích letech z půd ze stejné lokality. Došlo ke snížení obsahu sodíku a nepatrně i chloru. Snížení může být způsobeno tím, že letošní zima nebyla tak silná a nebylo tedy potřeba provádět solení delší dobu. Kontaminace okolních půd tedy byla nižší. Pokles však může být způsoben i použitím šetrnějšího posypového materiálu.

Při porovnání obsahu těžkých kovů (Tabulka 13) došlo po deseti letech k mírnému nárůstu v této lokalitě a to v případě těchto prvků: arsen, chrom, nikl, vanad. Nárůst může být způsoben zvýšením intenzity dopravy, tedy větším počtem projíždějících aut než před deseti lety a to i přes to, že došlo k odklonu dopravy přes nově vybudovanou dálnici.

Tabulka 11 Porovnání naměřených hodnot Na⁺ v oblasti Nové Město s předchozími měřeními

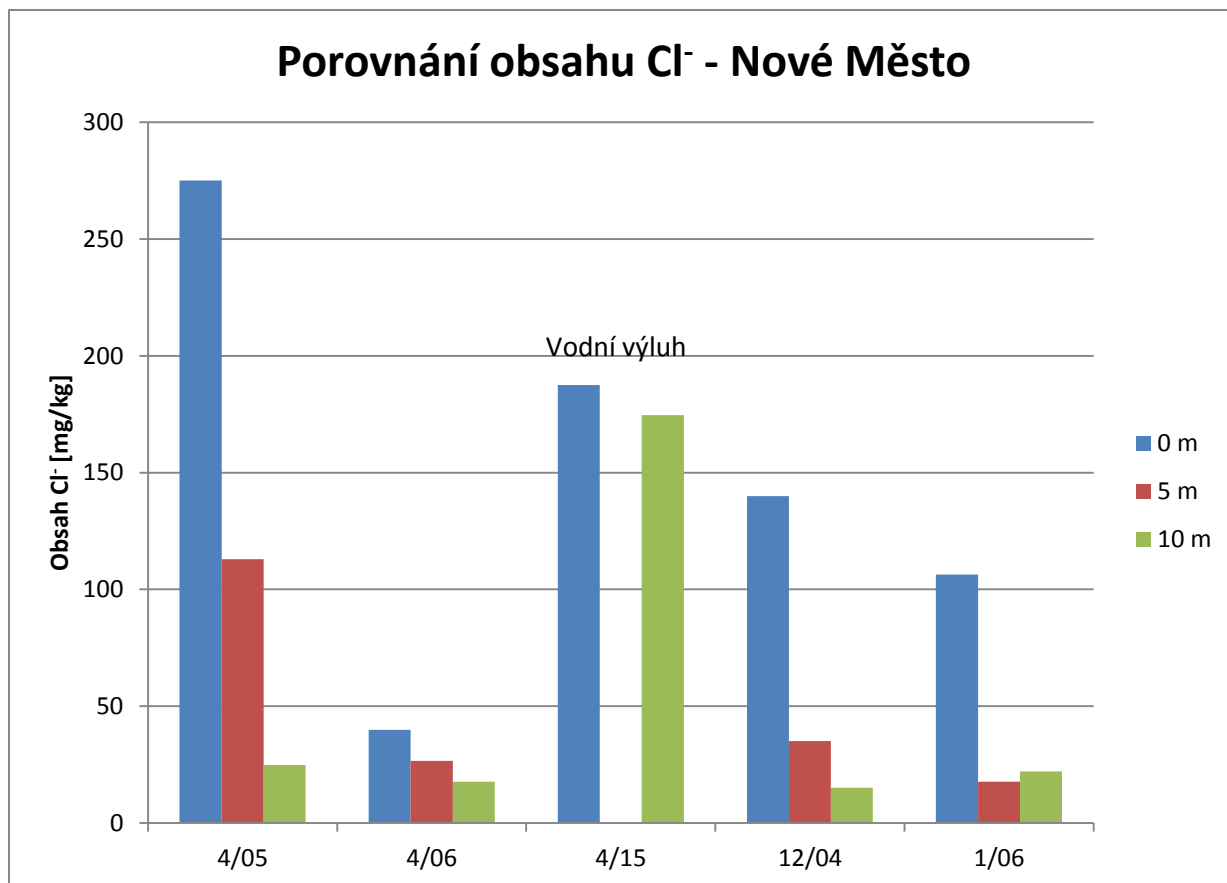
Vzdálenost [m]	Naměřené hodnoty Na ⁺ [mg/kg]					
	4/05	4/06	4/15	4/15	12/04	3/06
0	847	889	164	214	830	1 232
5	200	43,6	N	99,8	106	63,3
10	47,9	52,0	8,53	23,7	54,4	91,7
100	N	N	N	71,5	N	N
			Vodní výluh	Lučavkový výluh		



Graf 7 Porovnání naměřených hodnot Na⁺ v oblasti Nové Město s předchozími měřeními

Tabulka 12 Porovnání naměřených hodnot Cl⁻ v oblasti Nové Město s předchozími měřeními

Vzdálenost [m]	Naměřené hodnoty Cl ⁻ [mg/kg]					
	4/05	4/06	4/15	4/15	12/04	1/06
0	275	39,9	187	N	140	106,4
5	113	26,6	N	N	35,1	17,7
10	24,9	17,7	175	N	15,1	22,2
100	N	N	N	N	N	N
			Vodní výluh	Lučavkový výluh		



Graf 8 Porovnání naměřených hodnot Cl⁻ v oblasti Nové Město s předchozími měřeními

Tabulka 13 Porovnání naměřených hodnot těžkých kovů v oblasti Nové Město s předchozími měřeními

Obsah těžkých kovů [mg/kg]									
Vzorek	4/06			4/15			4/15		
	0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m
As	1,85	2,69	3,45	0,141	N	0,110	5,56	6,07	5,19
Cd	0,47	0,23	0,27	0,0266	N	0,0255	0,318	0,0821	0,104
Cr	6,62	2,27	3,44	0,301	N	0,304	17,6	13,3	10,8
Cu	42,83	6,06	6,54	0,243	N	0,225	17,7	8,22	6,98
Ni	4,33	2,74	2,17	0,138	N	0,175	10,1	7,38	6,46
Pb	39,97	19,35	15,08	0,274	N	0,167	36,4	20,4	16,5
V	6,39	4,87	5,47	0,341	N	0,320	14,7	12,8	10,1
Zn	386,00	22,46	22,11	1,37	N	0,605	87,7	31,5	28,1
						Vodní výluh		Lučavkový výluh	

11.3.2 Chýšť (I/36)

Místo odběru se nachází východně od obce Chýšť. Na východní straně exponovaného náspu silnice I/36. Dále od komunikace se nachází orná půda, kterou od náspu dělí příkop a křovina. Stejně jako v předchozí lokalitě, tak i v této lokalitě došlo k otevření dálnice D11, která se nachází severně od místa odběru.

Z výsledků je patrné, že obsah sodíku i chloru (Tabulka 14, Tabulka 15),(Graf 9, Graf 10) je opět nejvyšší ve vzorku 0m, tedy ve vzorku u krajnice a se zvyšující vzdáleností se obsah snižuje. Můžeme tedy usuzovat na znečištění vlivem solení silnic při zimní údržbě.

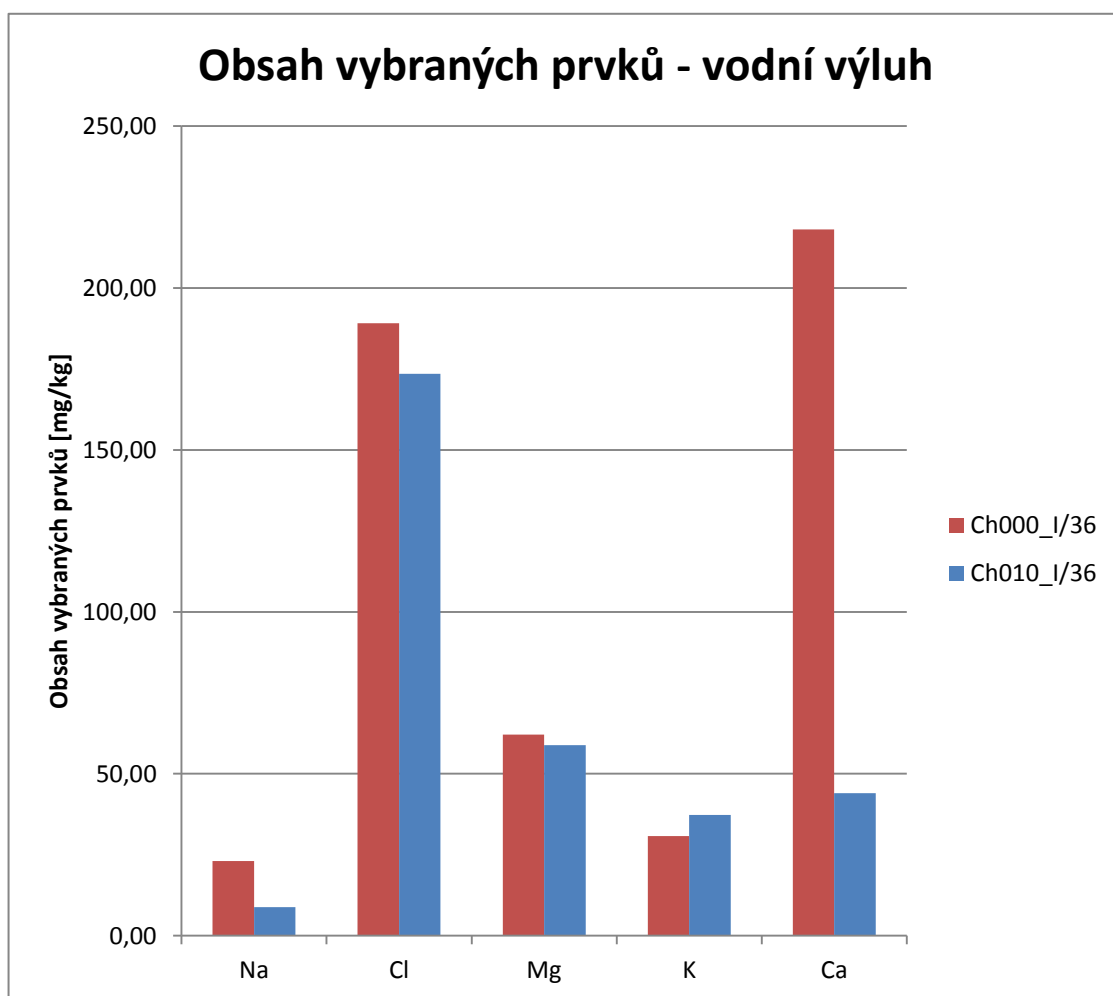
Zvýšený obsah hořčíku a vápníku ve vzorku 5m může být dán zůstatkem hnojivých látek na začátku zemědělské půdy.

Obsah těžkých kovů je ve všech vzorcích přibližně na stejné úrovni, pouze obsah zinku je ve vzorku 0m vyšší (Tabulka 16, Tabulka 17), (Graf 11). Vzorky odebraných půd ze vzdálenosti 0 m od silnice nepřekračují kritérium A, tedy jsou přípustné. Zemědělské půdy, tedy vzorky odebrané ve vzdálenostech 5, 10 a 100 m, se hodnotí jako ostatní půdy. Z těchto vzorků žádný nepřekračuje stanovenou hranici.

Lze tedy říct, že vzorky odebrané z této lokality nepřekračují přípustné hodnoty a nemají negativní vliv na zdraví člověka a životní prostředí.

Tabulka 14 Obsažené množství vybraných prvků stanovené vodním výluhem ve vzorku Chýšť v závislosti na vzdálenosti

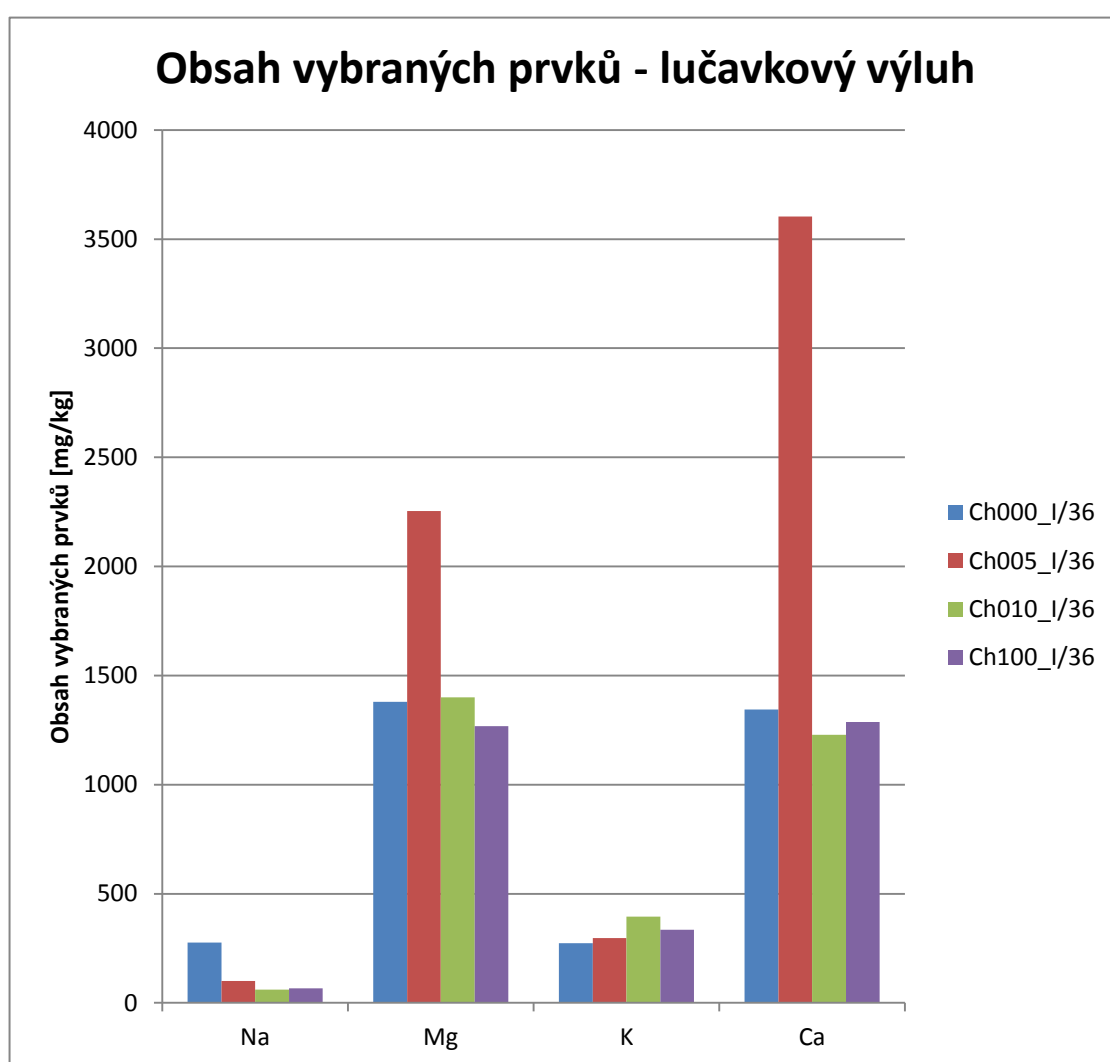
Vodní výluh	Obsah vybraných prvků (mg/kg)				
Vzorek	Na	Cl	Mg	K	Ca
Ch000_I/36	23,0	189	62,1	30,7	218
Ch005_I/36	N	N	N	N	N
Ch010_I/36	8,82	174	58,8	37,3	44,0
Ch100_I/36	N	N	N	N	N



Graf 9 Naměřené množství vybraných prvků ve vzorcích vodního výluhu v lokalitě Chýšť, v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 15 Obsažené množství vybraných prvků stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Chýšť v závislosti na vzdálenosti

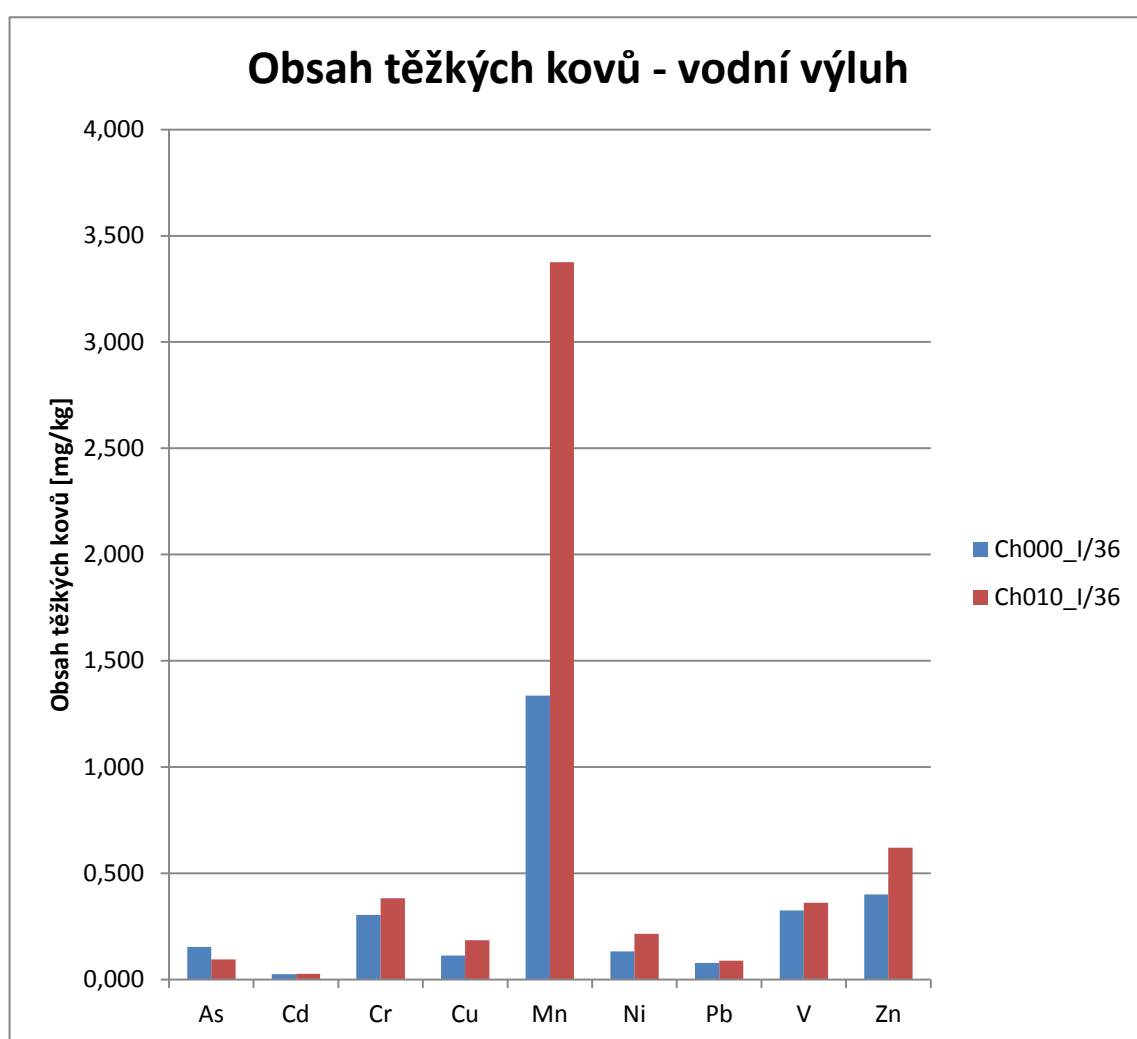
Lučavkový výluh	Obsah vybraných prvků (mg/kg)				
Vzorek	Na	Cl	Mg	K	Ca
Ch000_I/36	276	N	1 379	273	1 344
Ch005_I/36	100	N	2 254	297	3 604
Ch010_I/36	61,1	N	1 400	395	1 230
Ch100_I/36	66,8	N	1 268	334	1 287



Graf 10 Naměřené množství vybraných prvků ve vzorcích lučavkového výluhu v lokalitě Chýšť, v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 16 Obsažené množství těžkých kovů stanovené vodním výluhem ve vzorku Chýšť v závislosti na vzdálenosti

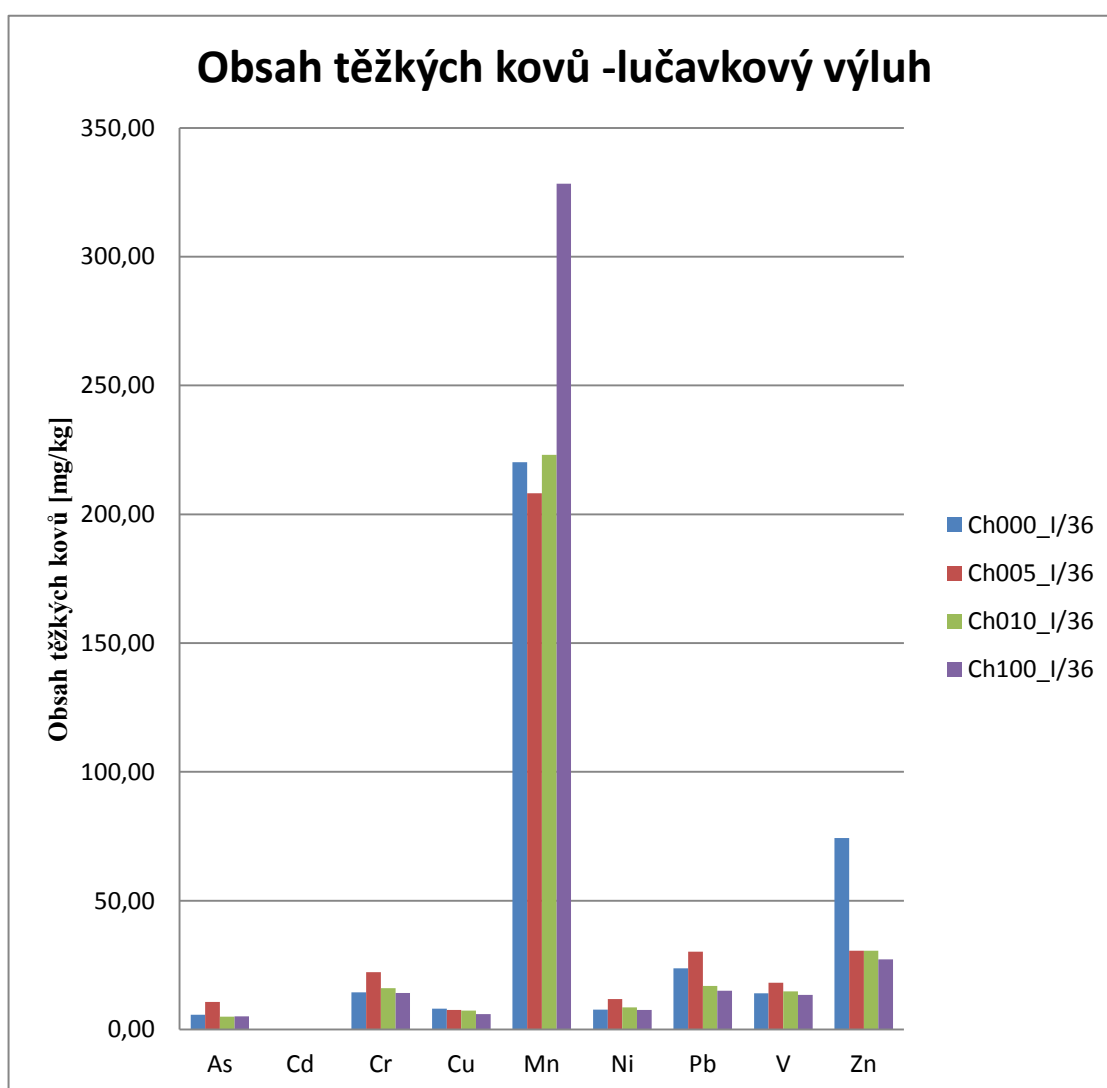
Vzorek	Obsah těžkých kovů vodním výluhem [mg/kg]								
	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Ch000_I/36	0,154	0,0255	0,304	0,113	1,34	0,133	0,0786	0,325	0,401
Ch005_I/36	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Ch010_I/36	0,095	0,0266	0,382	0,185	3,376	0,215	0,0879	0,361	0,621
Ch100_I/36	N	N	N	N	N	N	N	N	N



Graf 11 Obsažené množství těžkých kovů stanovené vodním výluhem ve vzorku Chýšť v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 17 Obsažené množství těžkých kovů stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Chýšť v závislosti na vzdálenosti

Vzorek	Obsah těžkých kovů lučavkovým výluhem [mg/kg]								
	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Ch000_I/36	5,69	0,147	14,4	8,06	220	7,72	23,71	14,1	74,3
Ch005_I/36	10,7	0,161	22,2	7,60	208	11,9	30,3	18,2	30,6
Ch010_I/36	5,01	0,112	16,0	7,40	223	8,55	16,9	14,8	30,6
Ch100_I/36	5,10	0,105	14,2	5,99	328	7,62	15,1	13,4	27,3



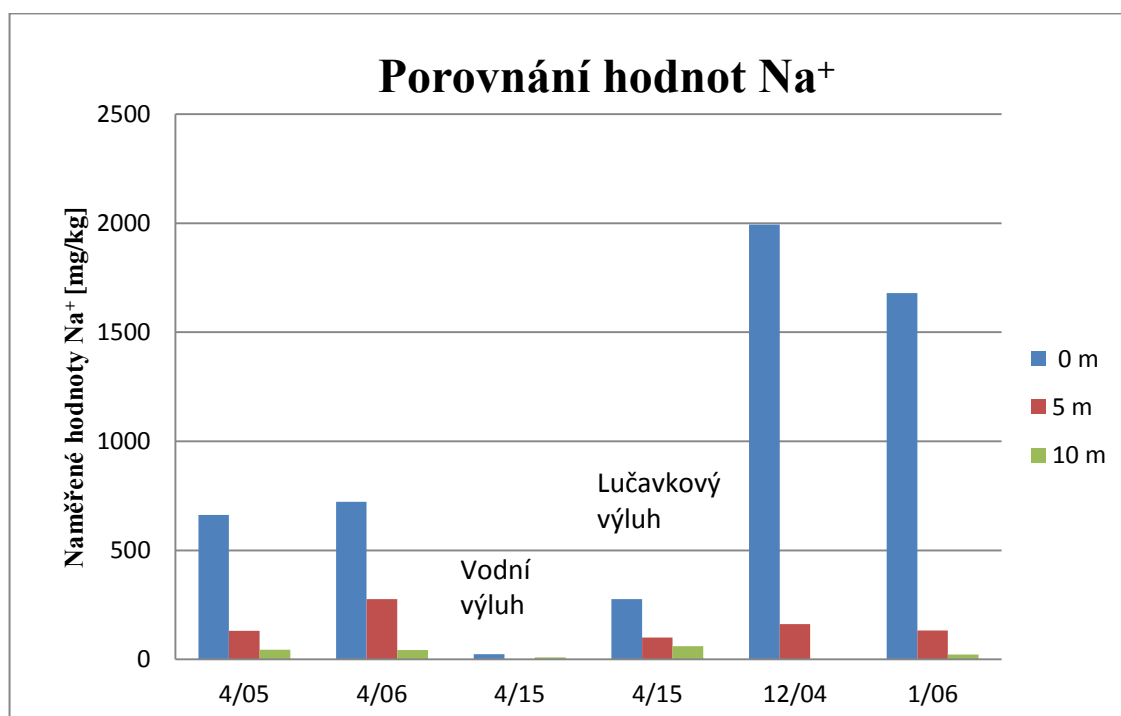
Graf 12 Obsažené množství těžkých kovů stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Chýšť v závislosti na vzdálenosti

Porovnání hodnot s hodnotami získanými v předchozích letech

Při porovnání obsahu sodíku s hodnotami získanými v předchozích letech vidíme patrný pokles obsahu tohoto prvku v půdě. Stejně tak jako v lokalitě Nové Město můžeme usuzovat na nižší spotřebu posypového materiálu z důvodu mírnější zimy nebo na využití šetrnějšího druhu posypu. V případě chloru došlo k mírnému nárůstu (Graf 16). Tabulka 18 Porovnání naměřených hodnot Na⁺ v oblasti Chýšť s předchozími měřeními.

V případě obsahu těžkých kovů jsou výsledky srovnatelné s hodnotami získanými v předchozích letech, pouze došlo k mírnému nárůstu obsahu vanadu a chromu (Tabulka 19).

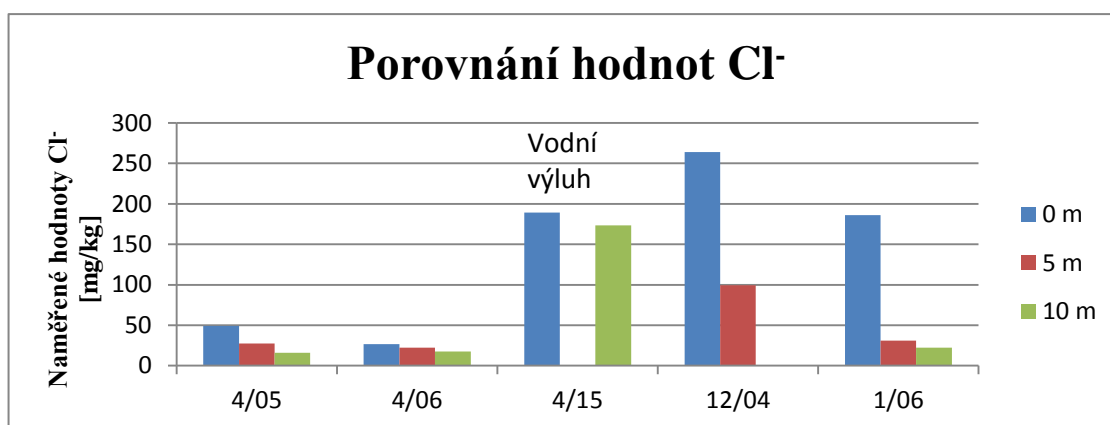
Vzdálenost [m]	Naměřené hodnoty Na ⁺ [mg/kg]					
	4/05	4/06	4/15	4/15	12/04	1/06
0	663	722	23,0	276	1 994	1 681
5	131	276	N	100	161	133
10	44,4	42,4	8,82	61,1	N	22,8
100	N	N	N	66,8	N	N
			Vodní výluh	Lučavkový výluh		



Graf 13 Porovnání naměřených hodnot Na⁺ v oblasti Chýšť s předchozími měřeními

Tabulka 18 Porovnání naměřených hodnot Cl⁻ v oblasti Chýšť s předchozími měřeními

Vzdálenost [m]	Naměřené hodnoty Cl ⁻ [mg/kg]					
	4/05	4/06	4/15	4/15	12/04	1/06
0	49,0	26,6	189	N	264	186
5	27,6	22,2	N	N	99,6	31,0
10	16,0	17,7	174	N	N	22,2
100	N	N	N	N	N	N
			Vodní výluh	Lučavkový výluh		



Graf 14 Porovnání naměřených hodnot Cl⁻ v oblasti Chýšť s předchozími měřeními

Tabulka 19 Porovnání naměřených hodnot těžkých kovů v oblasti Chýšť s předchozími měřeními

Vzorek	Obsah těžkých kovů [mg/kg]								
	4/06			4/15			4/15		
	0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m
As	2,35	3,06	1,92	0,154	N	0,0946	5,69	10,7	2,01
Cd	0,26	0,27	0,25	0,0255	N	0,0266	0,147	0,161	0,112
Cr	5,34	3,38	3,43	0,304	N	0,382	14,4	22,2	16,0
Cu	22,75	7,26	6,64	0,113	N	0,185	8,06	7,60	7,40
Ni	4,24	4,12	4,67	0,133	N	0,215	7,72	11,9	8,55
Pb	21,07	19,17	14,98	0,0786	N	0,0879	23,7	30,3	16,9
V	4,62	5,52	5,41	0,325	N	0,361	14,1	18,2	14,8
Zn	72,20	18,78	13,64	0,401	N	0,621	74,3	30,6	30,6
				Vodní výluh			Lučavkový výluh		

11.3.3 Opatovice nad Labem (I/37)

Odběrové místo se nachází jižně od obce Opatovice nad Labem v místě, kde se nachází víceúrovňová křižovatka, která má nyní dvě úrovně a byla otevřena v listopadu 2009. Místo odběru se nachází u připojovacího pruhu z kruhového objezdu na silnici I/37. Odběrová místa ve vzdálenosti 5 m a 10 m se nacházeli v náspu komunikace mezi křovinami. Odběrové místo ve vzdálenosti 100 m se nacházelo v blízkosti potoku, které od náspu oddělovala místní komunikace.

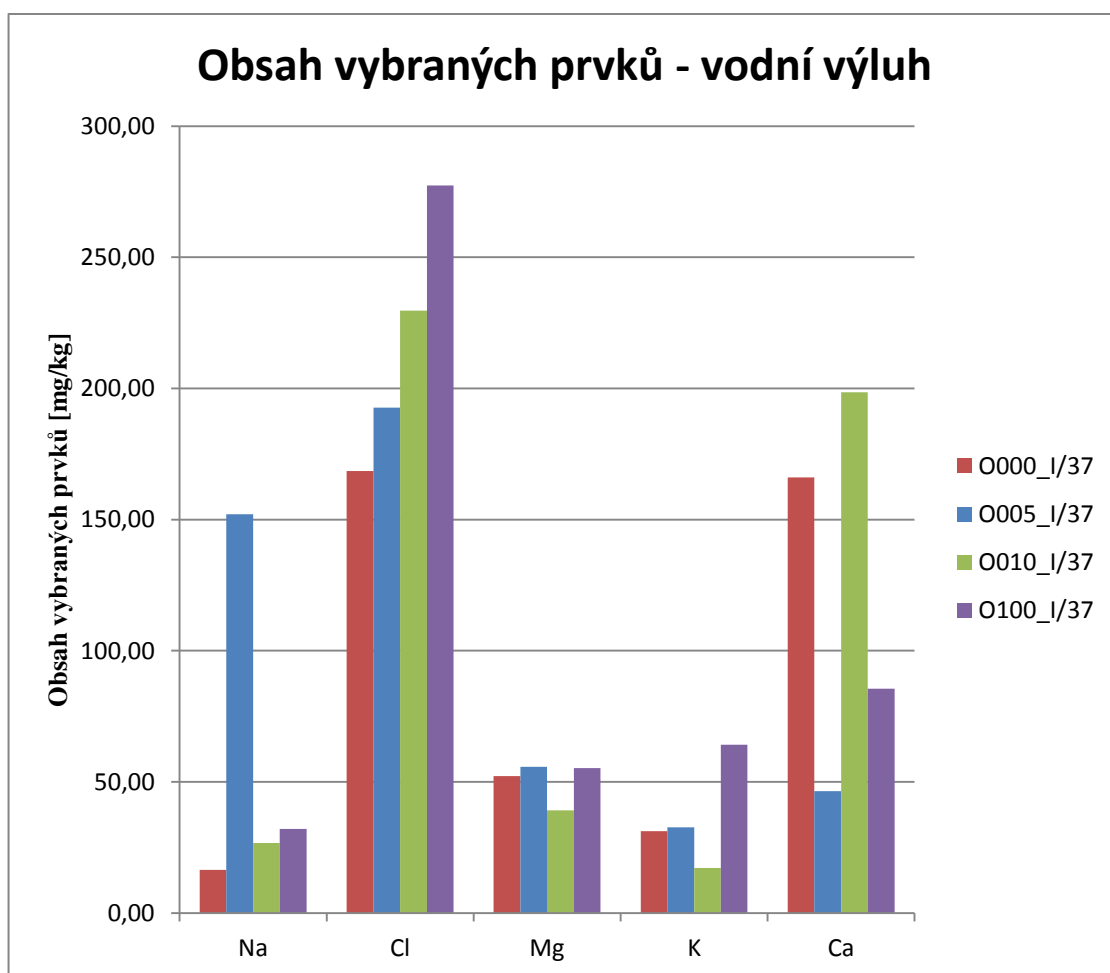
Sodík se vyznačuje nízkou mírou mobilitou, proto by se nejvyšší naměřené koncentrace měli nacházet, co nejbliže k vozovce. To v této lokalitě neplatí, jak je znázorněno na grafu (Graf 15, Graf 16), kde jsou nejvyšší koncentrace naměřeny 5 m od komunikace (151,99 mg/kg), což může být způsobeno vyvýšením vozovky oproti okolí (Obrázek 11) a tedy pravděpodobně dochází vlivem dešťů ke splavu posypu a půdy dál od vozovky. Hodnoty v 10 a 100 m jsou koncentrace vyšší než hodnoty naměřené u krajnice, to může být způsobeno vlivem přilehlé komunikace druhé třídy a současně i stékající vodou z křižovatky, kdy se poté znečišťující látky dostávají dále od vozovky. Stejný trend je patrný u chloru.

V případě těžkých kovů, jsou vyšší hodnoty naměřeny u vzorku 5 m (pravděpodobně důsledkem splavu z vyvýšení vozovky) a u vzorku 100 m, kde tedy může docházet ke kontaminaci nejen návanem ale z přilehlé vozovky II. Třídy. Obsahy těžkých kovů z odebraných půd ze vzdálenosti 0 m od silnice nepřekračují kritérium A, tedy jsou přípustné. Zemědělské půdy, tedy vzorky odebrané ve vzdálenostech 5, 10 a 100 m, se hodnotí jako ostatní půdy. Z těchto vzorků žádný nepřekračuje stanovenou hranici.

Lze tedy říct, že vzorky odebrané z této lokality nepřekračují přípustné hodnoty a nemají negativní vliv na zdraví člověka a životní prostředí.

Tabulka 20 Obsažené množství vybraných prvků stanovené vodním výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti

Vodní výluh	Obsah vybraných prvků (mg/kg)				
Vzorek	Na	Cl	Mg	K	Ca
O000_I/37	16,4	168	52,3	31,2	167
O005_I/37	152	193	55,8	32,7	46,5
O010_I/37	26,7	230	39,2	17,1	199
O100_I/37	32,0	277	55,3	64,2	85,6



Graf 15 Obsažené množství vybraných prvků stanovené vodním výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 21 Obsažené množství vybraných prvků stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti

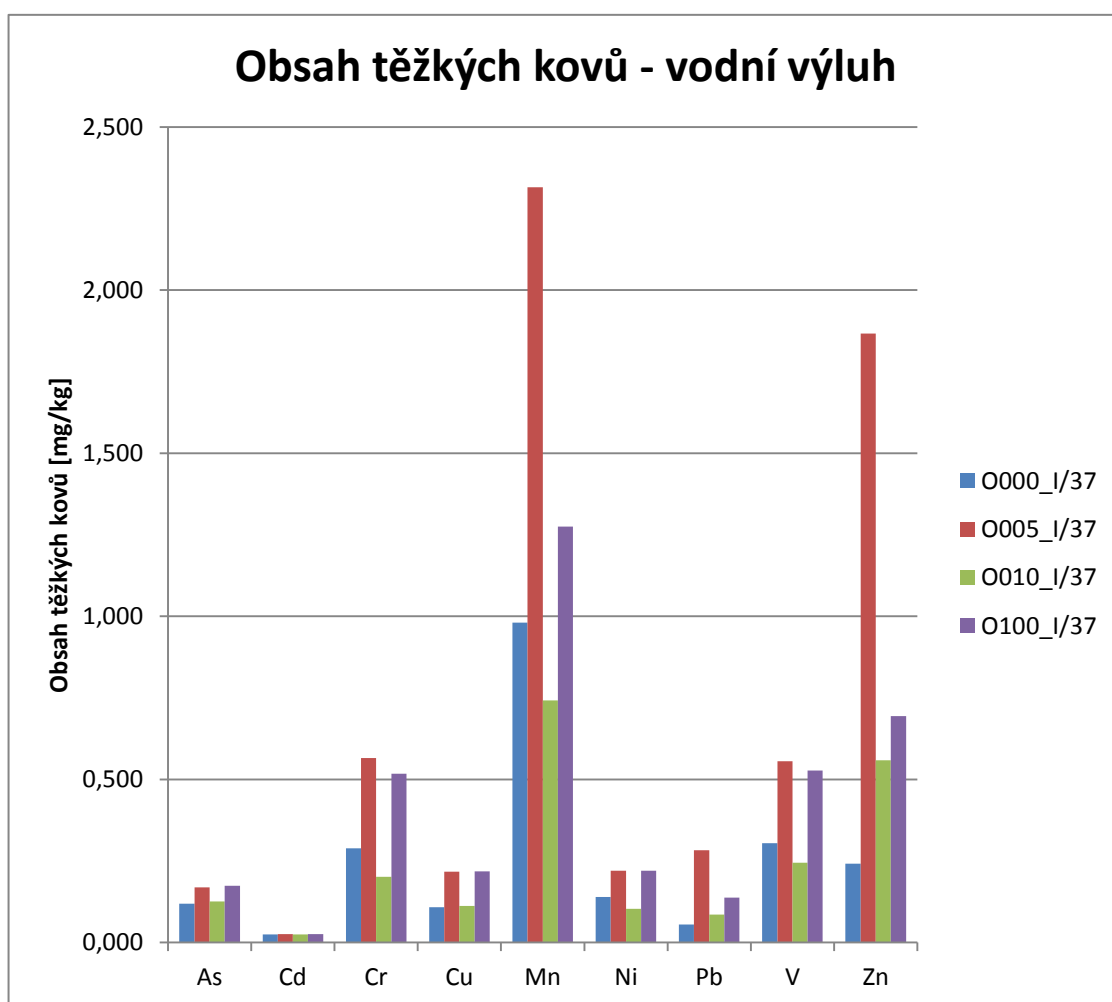
Lučavkový výluh	Obsah vybraných prvků [mg/kg]				
Vzorek	Na	Cl	Mg	K	Ca
O000_I/37	59,8	N	1 965	335	1 587
O005_I/37	91,4	N	2 929	510	2 506
O010_I/37	113	N	2 809	310	6 321
O100_I/37	93,2	N	3 156	646	1 183



Graf 16 Obsažené množství vybraných prvků stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem

Tabulka 22 Obsažené množství těžkých kovů stanovených vodním výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti

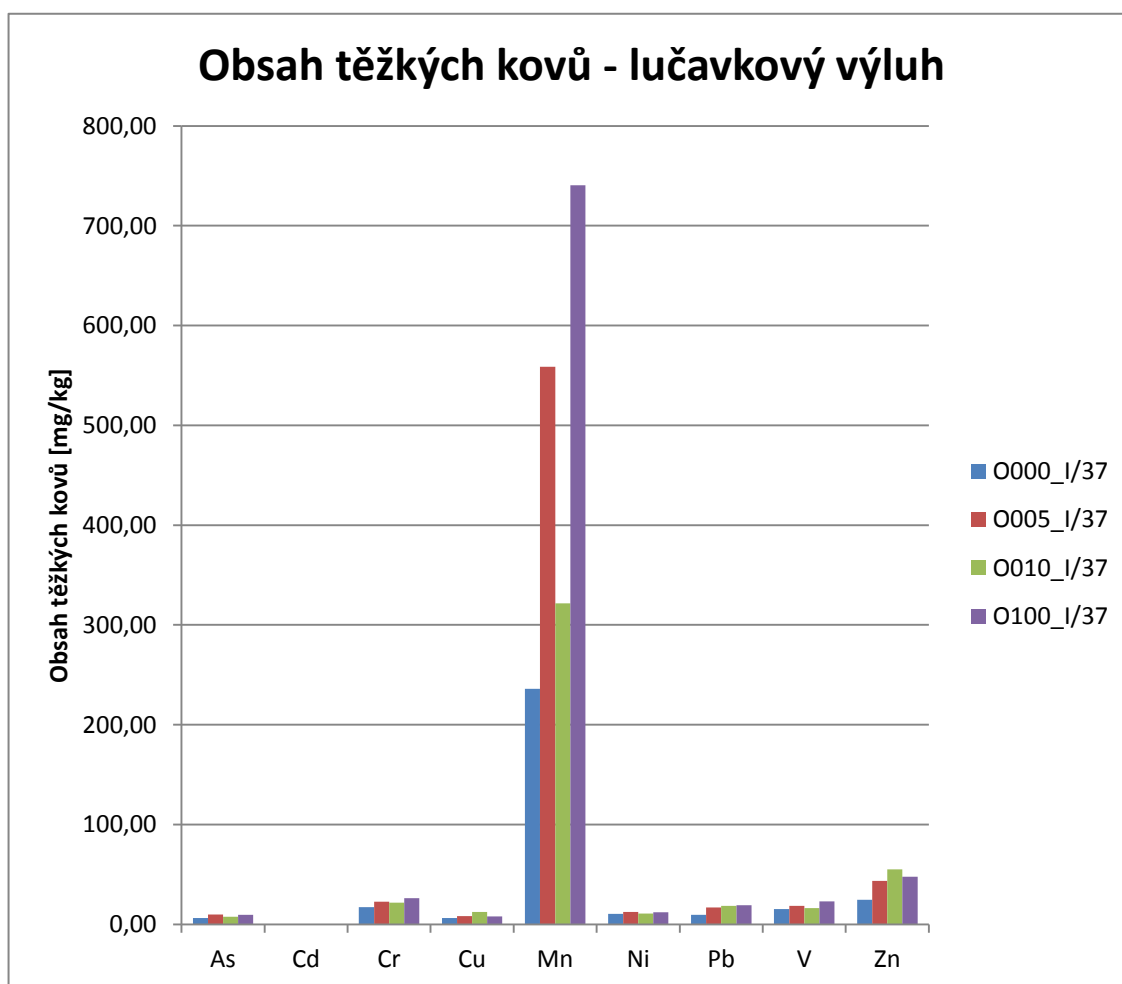
Vzorek	Obsah těžkých kovů vodním výluhem [mg/kg]								
	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
O000_I/37	0,120	0,0252	0,2886	0,1079	0,9802	0,140	0,0557	0,305	0,242
O005_I/37	0,169	0,0262	0,566	0,217	2,32	0,220	0,283	0,556	1,867
O010_I/37	0,126	0,025	0,202	0,112	0,742	0,103	0,086	0,245	0,559
O100_I/37	0,174	0,0259	0,518	0,218	1,28	0,220	0,138	0,527	0,694



Graf 17 Obsažené množství těžkých kovů stanovených vodním výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 23 Obsažené množství těžkých kovů stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti

Vzorek	Obsah těžkých kovů lučavkovým výluhem [mg/kg]								
	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
O000_I/37	6,37	0,0914	17,1	6,34	236	10,3	9,54	15,3	24,4
O005_I/37	9,86	0,184	22,6	8,21	559	12,4	17,0	18,4	43,4
O010_I/37	7,51	0,125	21,7	12,3	321	10,9	18,4	16,2	55,0
O100_I/37	9,39	0,132	26,1	8,04	741	12,1	19,0	22,9	47,6



Graf 18 Obsažené množství těžkých kovů stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti

Porovnání hodnot s hodnotami získanými v předchozích letech

Jak je patrné z grafu (Graf 19), v předchozích letech, kdy nebyla vybudovaná víceúrovňová křižovatka, je nejvyšší obsah sodíku ve vzorku 0 m. Po jejím vybudování jsou hodnoty Na^+ vyšší ve větší vzdálenosti od křižovatky. Celkově však obsah sodíku klesl oproti rokům 2005 a 2006 a lze tedy opět usuzovat, že bylo použito méně solných materiálů z důvodů mírnější zimy nebo použití šetrnějších posypových materiálů.

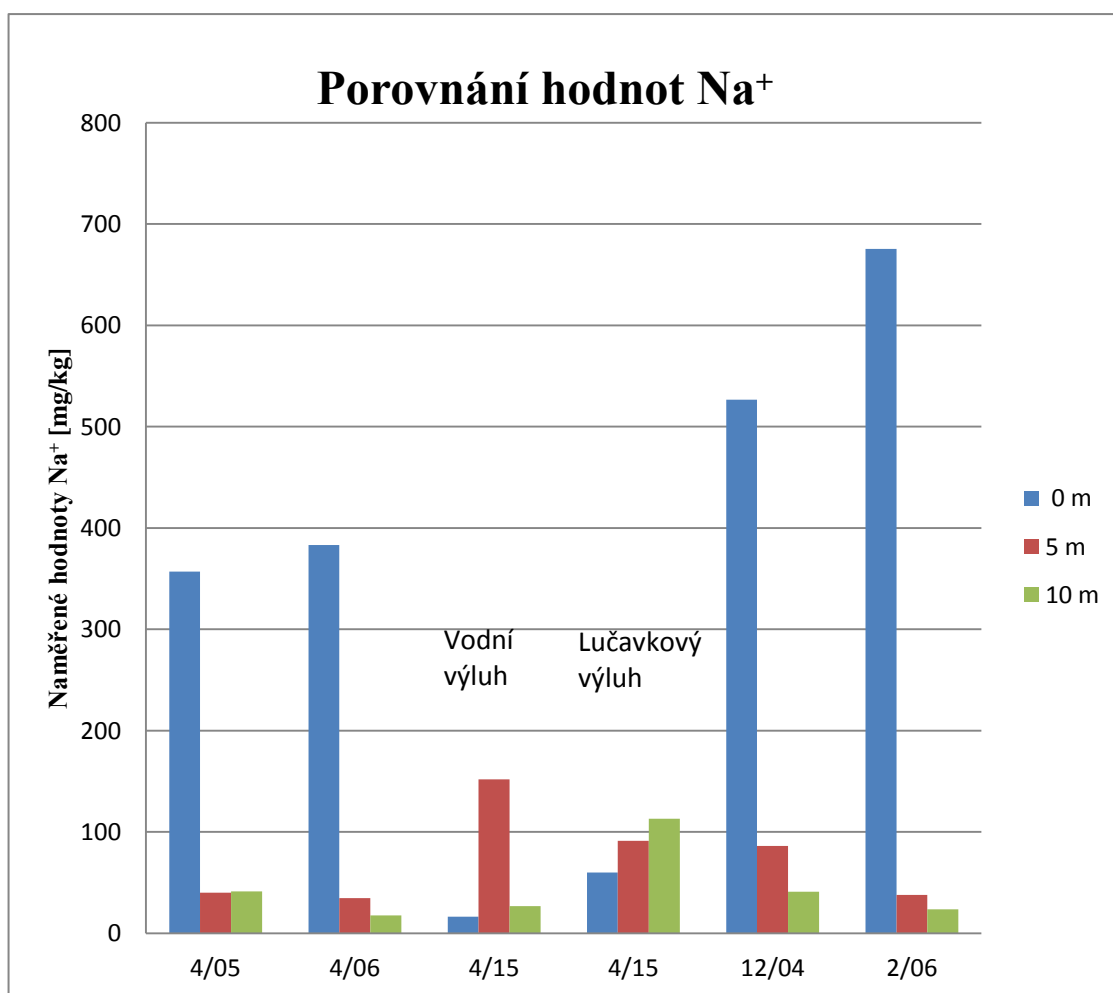
Hodnoty sodíku, jsou u vzorků z lučavkového i vodního výluhu v 0 m nižší, ale ve vzdálenosti 5 a 10 m od silnice jsou naopak vyšší, než hodnoty z předchozích let.

Hodnoty chloridů jsou vyšší než hodnoty z podobného období a jsou srovnatelné s nejvyššími hodnotami z předešlých zimních sezón.

Při porovnání výsledků obsahu těžkých kovů (Tabulka 26) můžeme konstatovat, že obsah většiny z nich je velice podobný jako v předchozích letech. Došlo však v této lokalitě k výraznému snížení obsahu olova a zinku. Důvod vysokého obsahu těchto prvků v roce 2006 však není znám v této lokalitě.

Tabulka 24 Porovnání naměřených hodnot Na⁺ v oblasti Opatovice nad Labem s předchozími měřeními

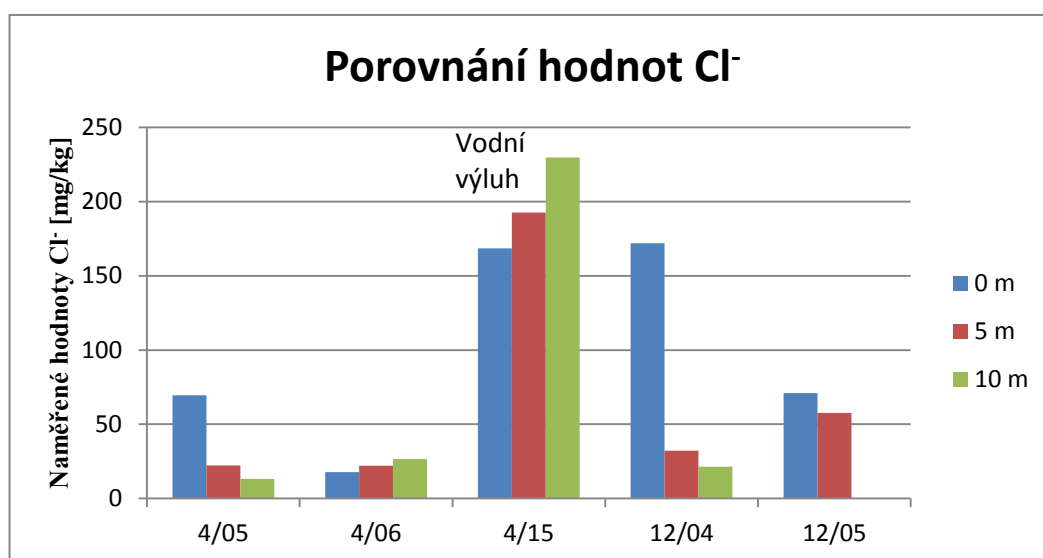
Vzdálenost [m]	Naměřené hodnoty Na ⁺ [mg/kg]					
	4/05	4/06	4/15	4/15	12/04	2/06
0	357	383,07	16,4	59,8	527	676
5	39,9	34,55	152	91,4	86,3	37,7
10	41,2	37,55	26,7	113	41,1	23,6
100	N	N	32,1	93,2	N	N
			Vodní výluh	Lučavkový výluh		



Graf 19 Porovnání naměřených hodnot Na⁺ v oblasti Opatovice nad Labem s předchozími měřeními

Tabulka 25 Porovnání naměřených hodnot Cl⁻ v oblasti Opatovice nad Labem s předchozími měřeními

Vzdálenost [m]	Naměřené hodnoty Cl ⁻ [mg/kg]					
	4/05	4/06	4/15	4/15	12/04	12/05
0	69,5	17,7	169	N	172	70,9
5	22,3	22,2	193	N	32,1	57,6
10	13,2	26,6	230	N	21,4	48,8
100	N	N	277,36	N	N	N
	Vodní výluh			Lučavkový výluh		



Graf 20 Porovnání naměřených hodnot Cl⁻ v oblasti Opatovice nad Labem s předchozími měřeními

Tabulka 26 Porovnání naměřených hodnot těžkých kovů v oblasti Opatovice nad Labem s předchozími měřeními

Vzorek	Obsah těžkých kovů [mg/kg]								
	4/06			4/15			4/15		
	0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m
As	5,16	3,27	1,68	0,120	0,169	0,126	6,37	9,86	7,51
Cd	0,4	0,4	0,38	0,0252	0,0262	0,0252	0,0914	0,184	0,125
Cr	5,59	5,51	4,88	0,289	0,566	0,202	17,1	22,6	21,7
Cu	20,81	7,08	6,27	0,108	0,217	0,112	6,34	8,21	12,3
Ni	3,34	3,52	3,06	0,140	0,220	0,103	10,3	12,4	10,9
Pb	280,53	16,02	12,76	0,0557	0,282	0,0861	9,54	17,0	18,4
V	7,25	5,96	5,34	0,305	0,556	0,245	15,3	18,4	16,2
Zn	215,73	25,96	15,57	0,242	1,87	0,559	24,4	43,4	55,0
	Vodní výluh						Lučavkový výluh		

11.3.4 Pardubice – Semtín (I/36)

Místo odběru se nachází na severním exponovaném náspu na silnici I/36 v blízkosti železniční zastávky Pardubice – Semtín. Z důvodů zastavení plochy nebylo možné odebrat vzorek ve vzdálenosti 100 m. Ostatní vzorky byly odebrány z náspu, na kterém byly už vzrostlé stromy.

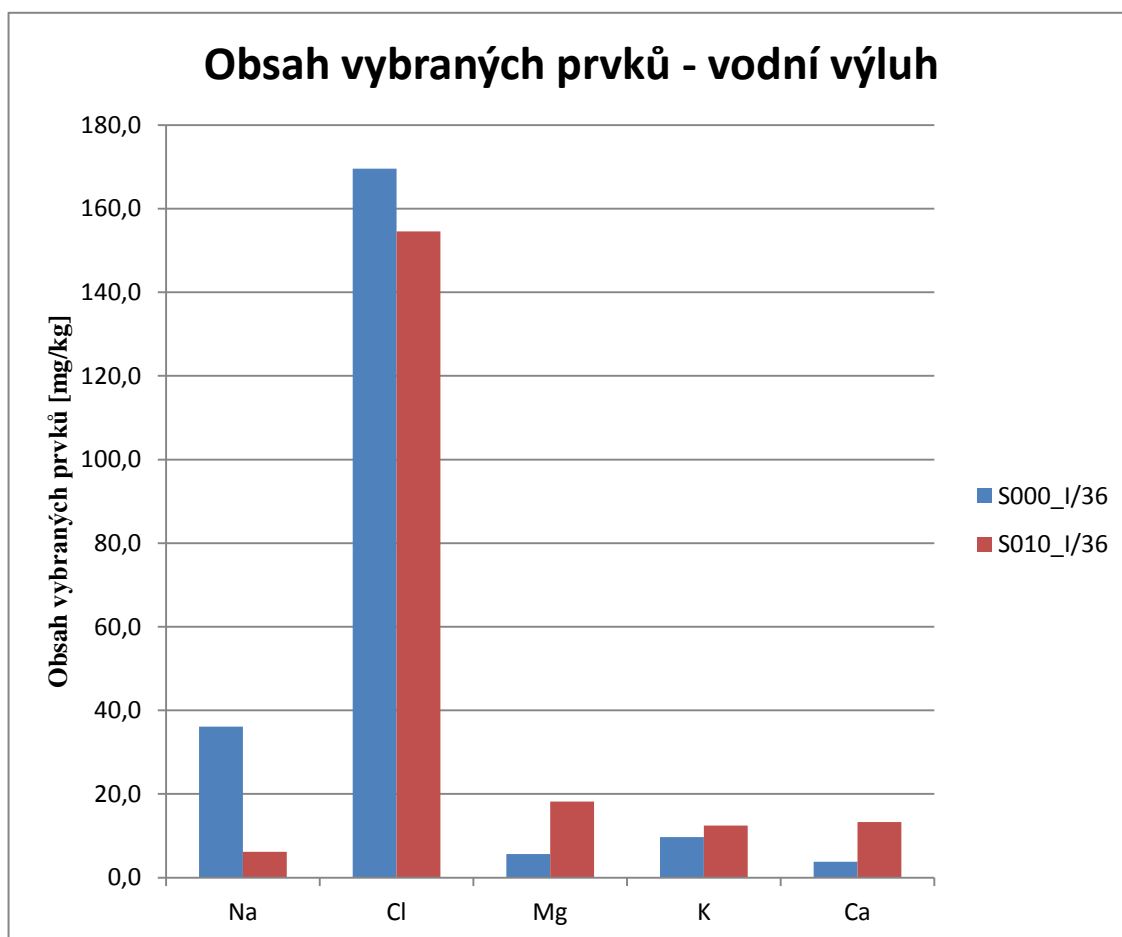
Výsledky z této lokality mají podobný trend jako u lokality předchozí, tedy že ve vzdálenosti 5m od silnice je obsah všech hledaných složek vyšší nebo srovnatelný s obsahem prvků v odběrovém místě 0m (u krajnice). Došlo tedy už k odplavení či odvání znečišťujících látek do okolí (Graf 21, Graf 22). Vliv zimní údržby v tomto místě není patrný.

Obsah těžkých kovů stejně jako v případě výše uvedených lokalit ani vzorky odebraných půd v této lokalitě ve vzdálenosti 0 m od silnice nepřekračují kritérium A, tedy jsou přípustné. Zemědělské půdy, tedy vzorky odebrané ve vzdálenostech 5, 10 a 100 m, se hodnotí jako ostatní půdy. Z těchto vzorků žádný nepřekračuje stanovenou hranici (Graf 23).

Lze tedy říct, že vzorky odebrané z této lokality nepřekračují přípustné hodnoty a nemají negativní vliv na zdraví člověka a životní prostředí.

Tabulka 27 Obsažené množství vybraných prvků stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti

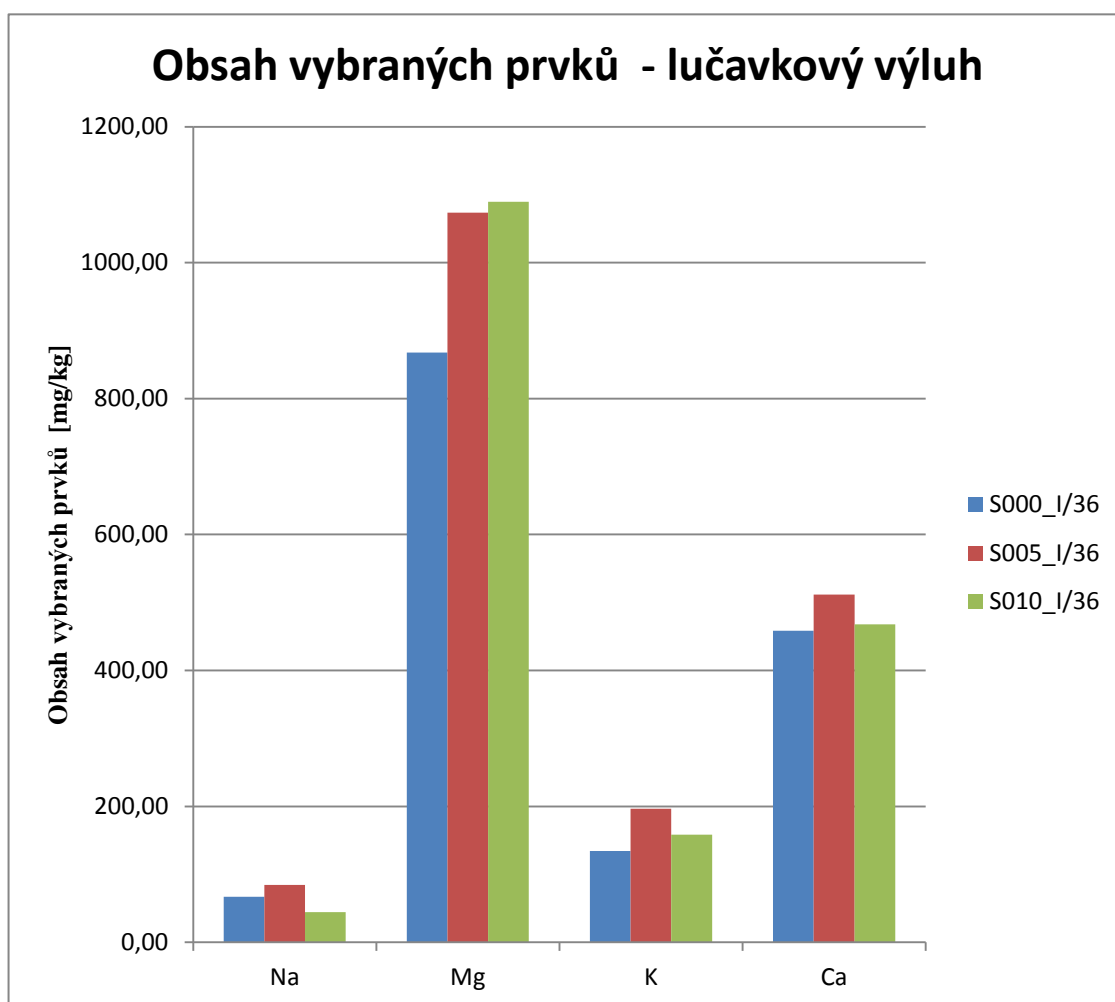
Vodní výluh	Obsah vybraných prvků (mg/kg)				
Vzorek	Na	Cl	Mg	K	Ca
S000_I/36	36,1	170	5,65	9,66	3,82
S005_I/36	N	N	N	N	N
S010_I/36	6,18	155	18,2	12,4	13,3
S100_I/36	N	N	N	N	N



Graf 21 Obsažené množství vybraných prvků stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 28 Obsažené množství vybraných prvků stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti

Lučavkový výluh	Obsah vybraných prvků (mg/kg)				
Vzorek	Na	Cl	Mg	K	Ca
S000_I/36	66,9	N	868	135	458
S005_I/36	84,6	N	1074	196	512
S010_I/36	44,3	N	1090	158	468
S100_I/36	N	N	N	N	N



Graf 22 Obsažené množství vybraných prvků stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 29 Obsažené množství těžkých kovů stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti

Vzorek	Obsah těžkých kovů vodním výluhem [mg/kg]								
	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
S000_I/36	0,0501	0,0249	0,0815	0,117	0,298	0,0493	0,036	0,110	0,203
S005_I/36	N	N	N	N	N	N	N	N	N
S010_I/36	0,121	0,0256	0,207	0,213	1,02	0,114	0,142	0,238	0,241
S100_I/36	N	N	N	N	N	N	N	N	N



Graf 23 Obsažené množství těžkých kovů stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 30 Obsažené množství těžkých kovů stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti

Vzorek	Obsah těžkých kovů lučavkovým výluhem [mg/kg]								
	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
S000_I/36	2,48	0,0341	6,05	5,35	46,5	3,59	5,74	5,21	18,40
S005_I/36	7,41	0,119	11,5	8,83	133	5,69	15,1	11,7	27,05
S010_I/36	6,66	0,0528	11,8	7,17	94,1	6,14	12,0	11,7	21,63
S100_I/36	N	N	N	N	N	N	N	N	N



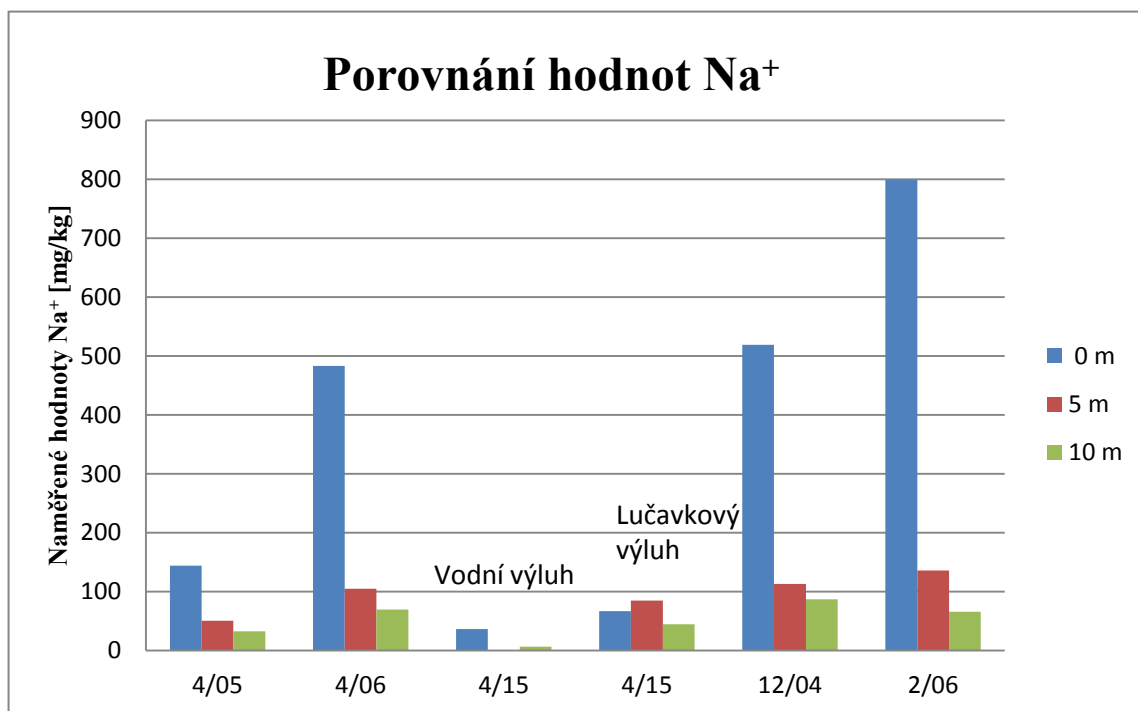
Graf 24 Obsažené množství těžkých kovů stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti

Porovnání hodnot s hodnotami získanými v předchozích letech

Při porovnání výsledků obsahu sodíku získaných v letošním roce s obsahem v předchozích letech je opět patrný nižší obsah (Tabulka 31). Usuzovat můžeme tedy stejně jako ve výše uvedených případech na nižší potřebu solení z důvodu mírnější zimy nebo na využití šetrnějšího způsobu zimní údržby k životnímu prostředí. V případě těžkých kovů (Tabulka 33) jsou obsahy srovnatelné, pouze u prvků měď, olovo a zinek došlo k velkému poklesu hodnot. Důvod vysokého obsahu těchto prvků v roce 2006 není znám.

Tabulka 31 Porovnání naměřených hodnot Na⁺ v oblasti Pardubice - Semtín s předchozími měřeními

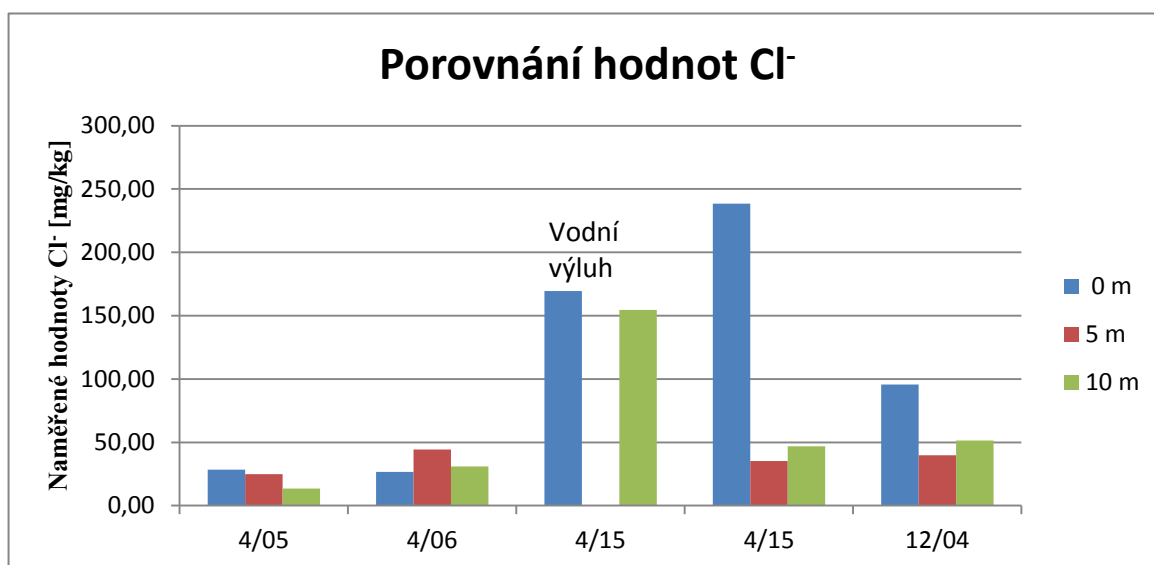
Vzdálenost [m]	Naměřené hodnoty Na ⁺ [mg/kg]					
	4/05	4/06	4/15	4/15	12/04	2/06
0	144	483	36,1	66,9	519	800
5	50,5	105	N	84,6	113	136
10	32,6	69,7	6,18	44,4	86,8	65,6
100	N	N	N	N	N	N
			Vodní výluh	Lučavkový výluh		



Graf 25 Porovnání naměřených hodnot Na⁺ v oblasti Pardubice - Semtín s předchozími měřeními

Tabulka 32 Porovnání naměřených hodnot Cl⁻ v oblasti Pardubice - Semtín s předchozími měřeními

Vzdálenost [m]	Naměřené hodnoty Cl ⁻ [mg/kg]					
	4/05	4/06	4/15	4/15	12/04	12/05
0	28,5	26,6	170	N	238	95,7
5	24,9	44,3	N	N	35,3	39,9
10	13,4	31,0	155	N	46,9	51,4
100	N	N	N	N	N	N
	Vodní výluh			Lučavkový výluh		



Graf 26 Porovnání naměřených hodnot Cl⁻ v oblasti Pardubice - Semtín s předchozími měřeními

Tabulka 33 Porovnání naměřených hodnot těžkých kovů v oblasti Pardubice - Semtín s předchozími měřeními

Vzorek	Obsah těžkých kovů [mg/kg]								
	4/06			4/15			4/15		
	0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m
As	1,76	5,56	7,63	0,0501	N	0,121	2,48	7,41	6,66
Cd	0,31	0,32	0,60	0,0249	N	0,0256	0,0341	0,119	0,0528
Cr	4,02	3,76	8,28	0,0815	N	0,207	6,05	11,5	11,8
Cu	81,65	17,51	20,74	0,117	N	0,213	5,35	8,83	7,17
Ni	2,63	2,32	4,26	0,0493	N	0,114	3,59	5,69	6,14
Pb	50,10	69,10	42,50	0,036	N	0,142	5,74	15,1	12,0
V	4,17	7,80	14,59	0,110	N	0,238	5,21	11,7	11,7
Zn	94,91	24,51	53,45	0,203	N	0,241	18,40	27,05	21,63
	Vodní výluh						Lučavkový výluh		

11.3.5 Pardubice – Popkovice (I/2)

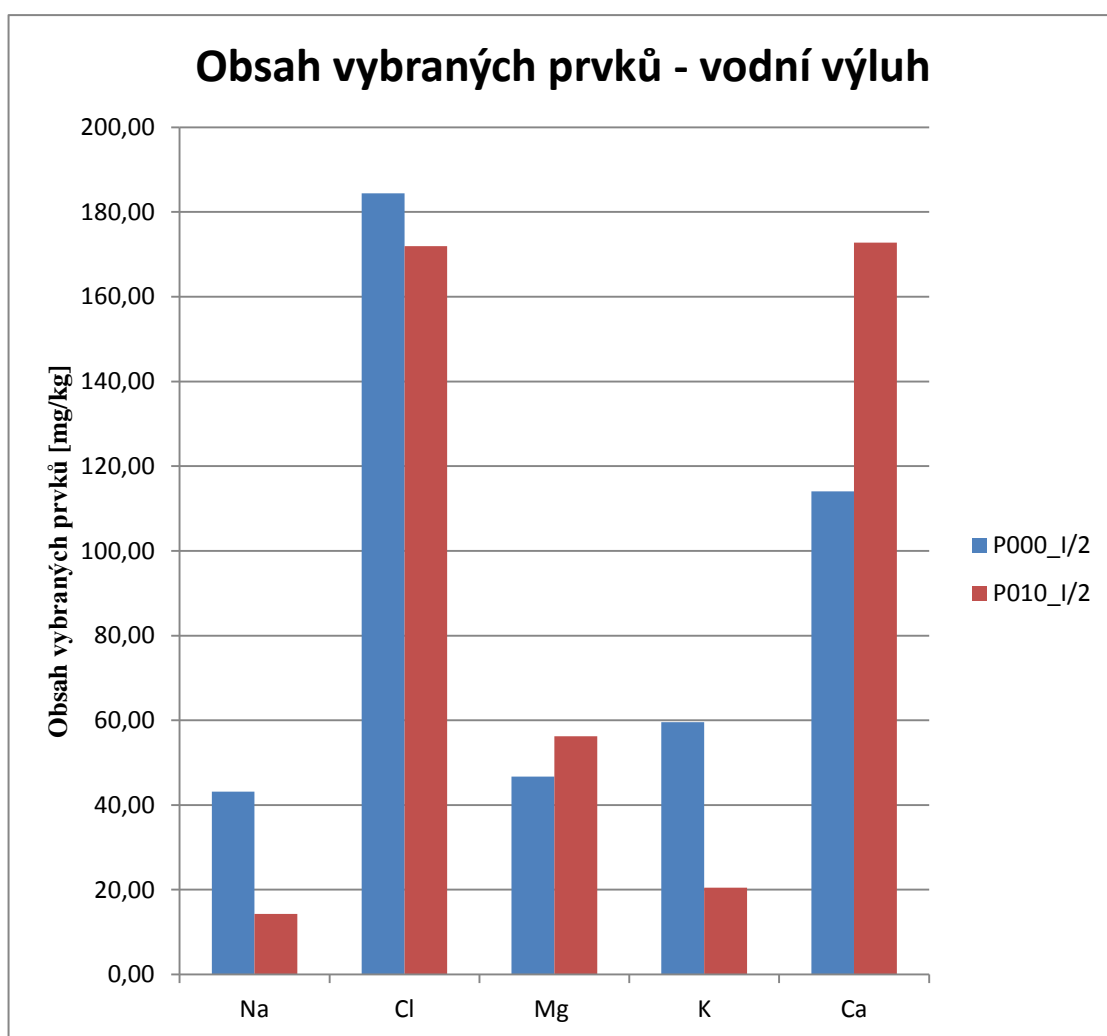
Tato lokalita se nachází na západní straně města Pardubice, kde vede silnice I/2 z Pardubic na Přelouč. Místo odběru se nachází před křižovatkou. Na severní straně komunikace, kde se nachází les, který je ve stejné výšce jako silnice.

V této lokalitě je patrný vliv zimní údržby, protože získané hodnoty obsahu sodíku i chloru (Tabulka 34, Tabulka 35), (Graf 27, Graf 28) jsou nejvyšší ve vzorku 0 m a pak prudce klesají. Obsahy ostatních prvků jsou ve všech vzorcích přibližně na stejné úrovni. Může to být způsobeno tím, že vzorky jsou odebrány v lese, porost může bránit nerovnoměrné distribuci (navátí a splav).

Koncentrace vybraných těžkých kovů jsou nízké, a tedy nepřekračují žádné limitní hodnoty a nemají negativní vliv na zdraví člověka a životní prostředí.

Tabulka 34 Obsažené množství vybraných prvků stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

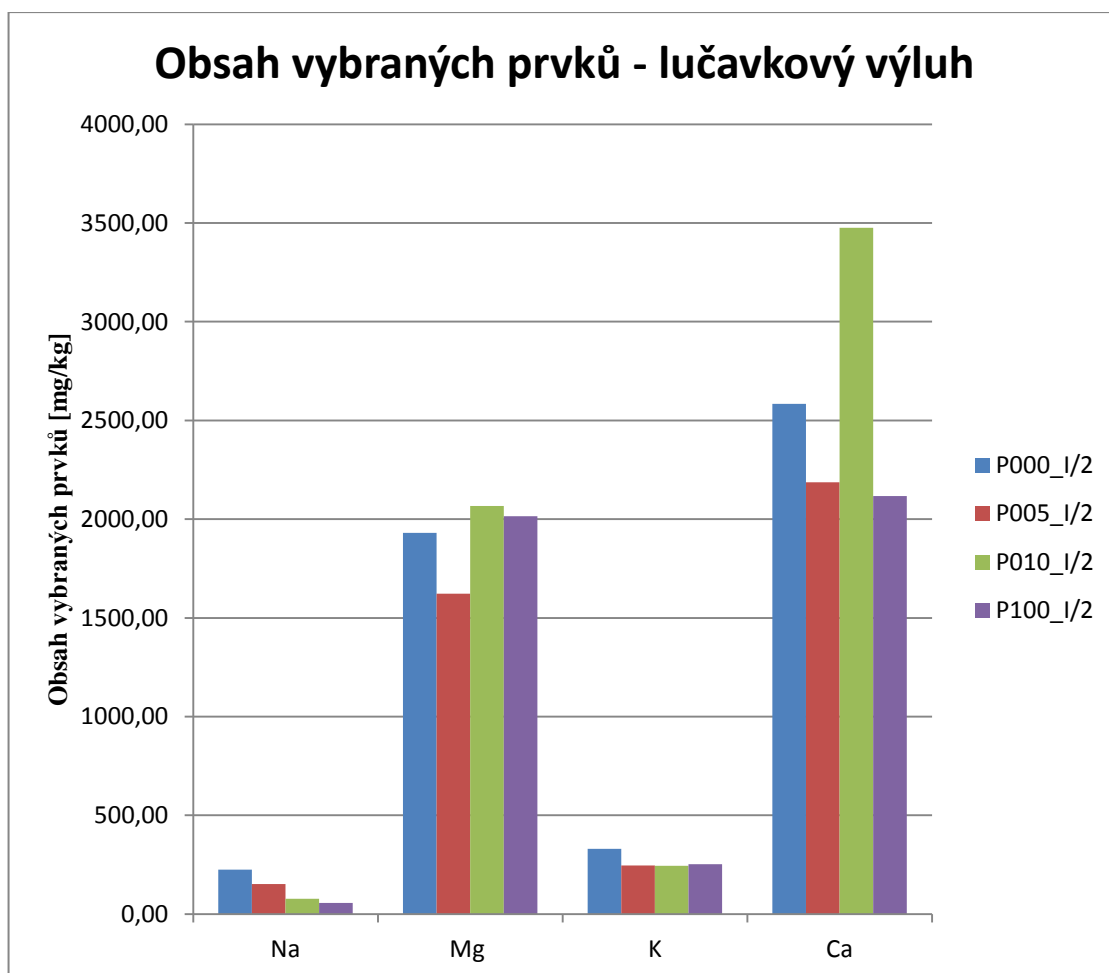
Vodní výluh	Obsah vybraných prvků (mg/kg)				
Vzorek	Na	Cl	Mg	K	Ca
P000_I/2	43,1	184	46,7	59,5	114
P005_I/2	N	N	N	N	N
P010_I/2	14,3	172	56,3	20,5	173
P100_I/2	N	N	N	N	N



Graf 27 Obsažené množství vybraných prvků stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 35 Obsažené množství vybraných prvků stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

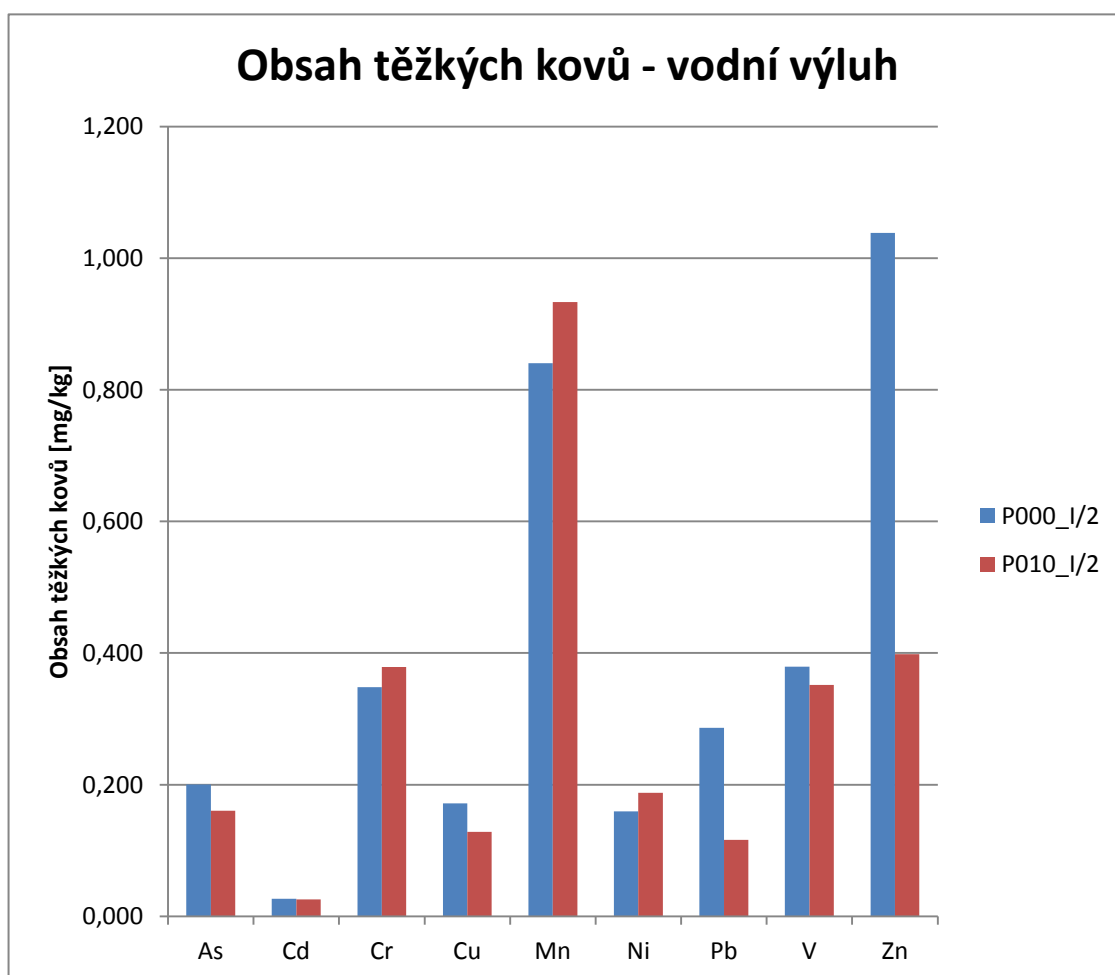
Lučavkový výluh	Obsah vybraných prvků (mg/kg)				
Vzorek	Na	Cl	Mg	K	Ca
P000_I/2	225	N	1 931	330	2 583
P005_I/2	152	N	1 622	247	2 187
P010_I/2	78,41	N	2 067	245	3 476
P100_I/2	56,75	N	2 015	253	2 117



Graf 28 Obsažené množství vybraných prvků stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 36 Obsažené množství těžkých látek stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

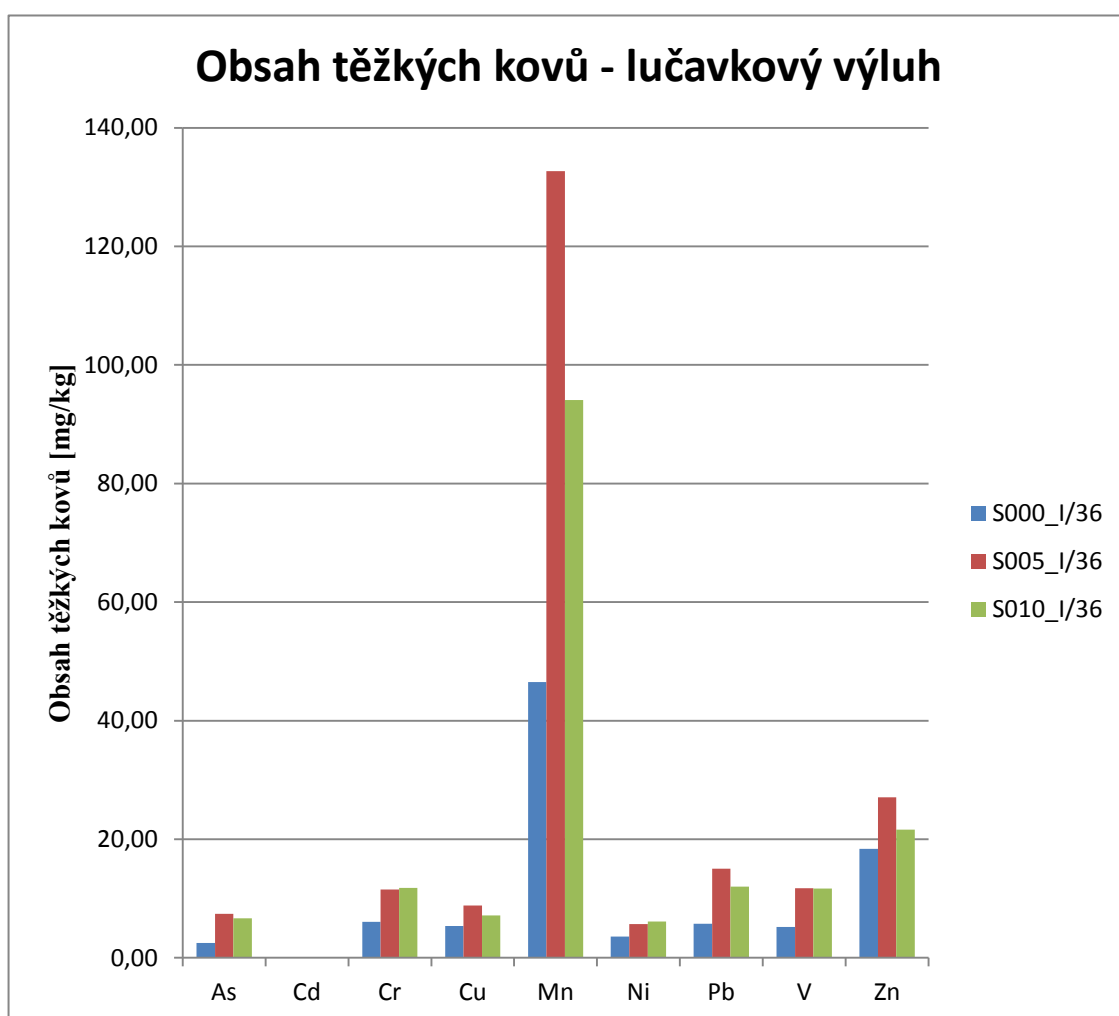
Vzorek	Obsah těžkých kovů vodním výluhem [mg/kg]								
	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
P000_I/2	0,200	0,0265	0,348	0,171	0,840	0,159	0,287	0,379	1,038
P005_I/2	N	N	N	N	N	N	N	N	N
P010_I/2	0,160	0,0257	0,379	0,128	0,933	0,188	0,116	0,352	0,398
P100_I/2	N	N	N	N	N	N	N	N	N



Graf 29 Obsažené množství těžkých látek stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 37 Obsažené množství těžkých látek stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

Vzorek	Obsah těžkých kovů lučavkovým výluhem [mg/kg]								
	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
P000_I/2	6,23	0,221	17,1	11,3	135	9,80	34,1	13,3	55,4
P005_I/2	5,67	0,120	12,8	6,32	131	8,09	13,0	11,4	33,3
P010_I/2	10,3	0,145	19,2	7,02	189	10,7	13,6	15,6	28,1
P100_I/2	23,0	0,181	20,9	6,71	161	9,95	16,5	17,7	36,9



Graf 30 Obsažené množství těžkých látek stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti.

11.3.6 Trhová Kamenice (I/37)

Lokalita se nachází jižně od obce Trhová Kamenice na západní straně komunikace, která je v rovině s přilehlou půdou, kterou odděluje od silnice příkop. Místo odběru se nachází v nadmořské výšce 544 m. n. m., ostatní lokality leží v nadmořské výšce okolo 230 m. n. m. V době odběru se na povrchu půdy nacházela sněhová pokrývka, proto lze očekávat vyšší naměřené obsahy prvků.

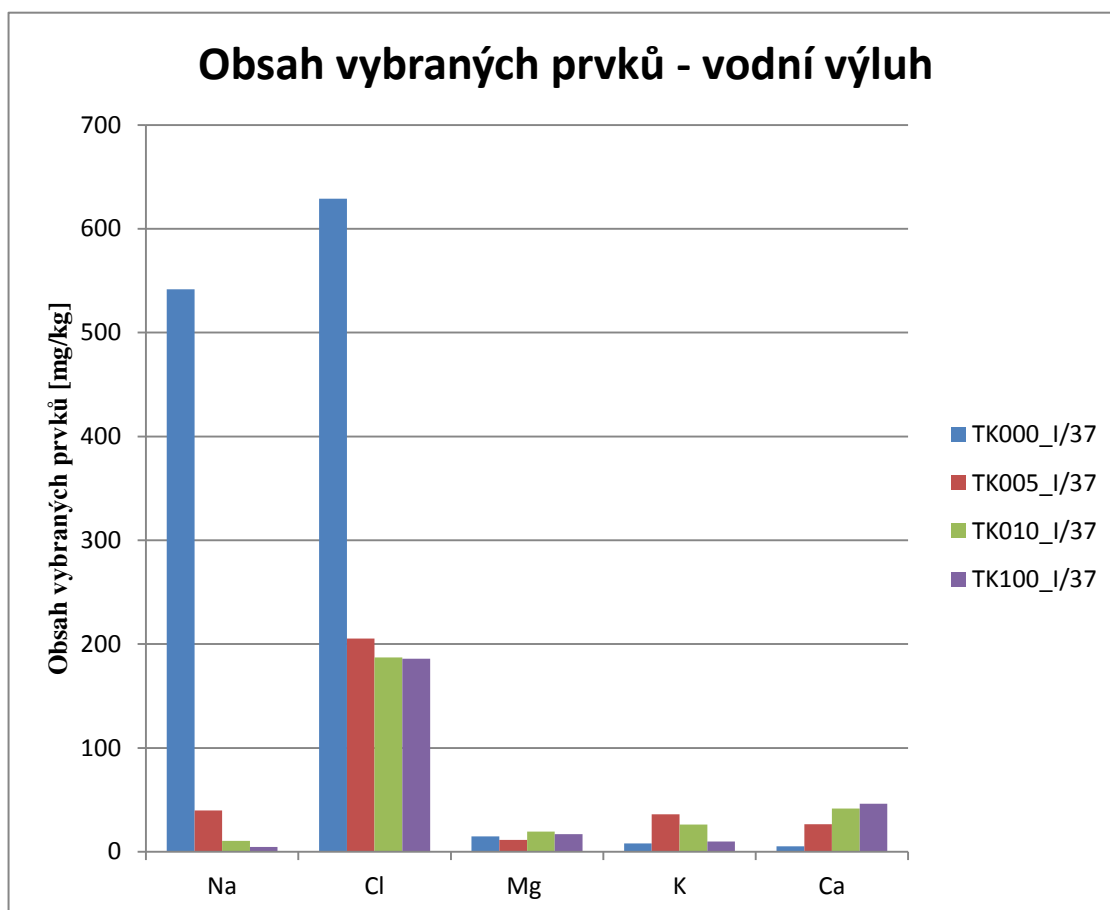
Z naměřených hodnot z obou výluhů je graficky (Graf 31, Graf 32) znázorněna nízká míra mobility sodíku, která je dána vysokou koncentrací sodíku u kraje vozovky. Ve větších vzdálenostech je tato koncentrace oproti kraji silnice nižší. Obsah sodíku a chloru je však v porovnání s výsledky získanými v ostatních lokalitách několikanásobně vyšší. To je pravděpodobně způsobeno tím, že zde byla stále přítomná sněhová pokrývka a půda byla zmrzlá. Posypový materiál tedy zůstal u vozovky a nebyl odplaven a rozpuštěn do okolní půdy.

Stejně tak v případě obsahu těžkých kovů (Tabulka 42). Tento obsah je také mnohem vyšší a to hlavně ve vzorku 0 m. Prach z automobilů, který způsobuje spad a znečišťuje okolí silnic, zůstal nejvíce těsně u krajnice, protože přes zmrzlou půdu nedošlo ještě k jeho odplavení a smyvu do okolí. I přes to však vzorky odebraných půd ze vzdálenosti 0 m od silnice nepřekračují kritérium A, tedy jsou přípustné. Zemědělské půdy, tedy vzorky odebrané ve vzdálenostech 5, 10 a 100 m, se hodnotí jako ostatní půdy. Z těchto vzorků žádný nepřekračuje stanovenou hranici.

Lze tedy říct, že vzorky odebrané z této lokality nepřekračují přípustné hodnoty a nemají negativní vliv na zdraví člověka a životní prostředí.

Tabulka 38 Obsažené množství vybraných prvků stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

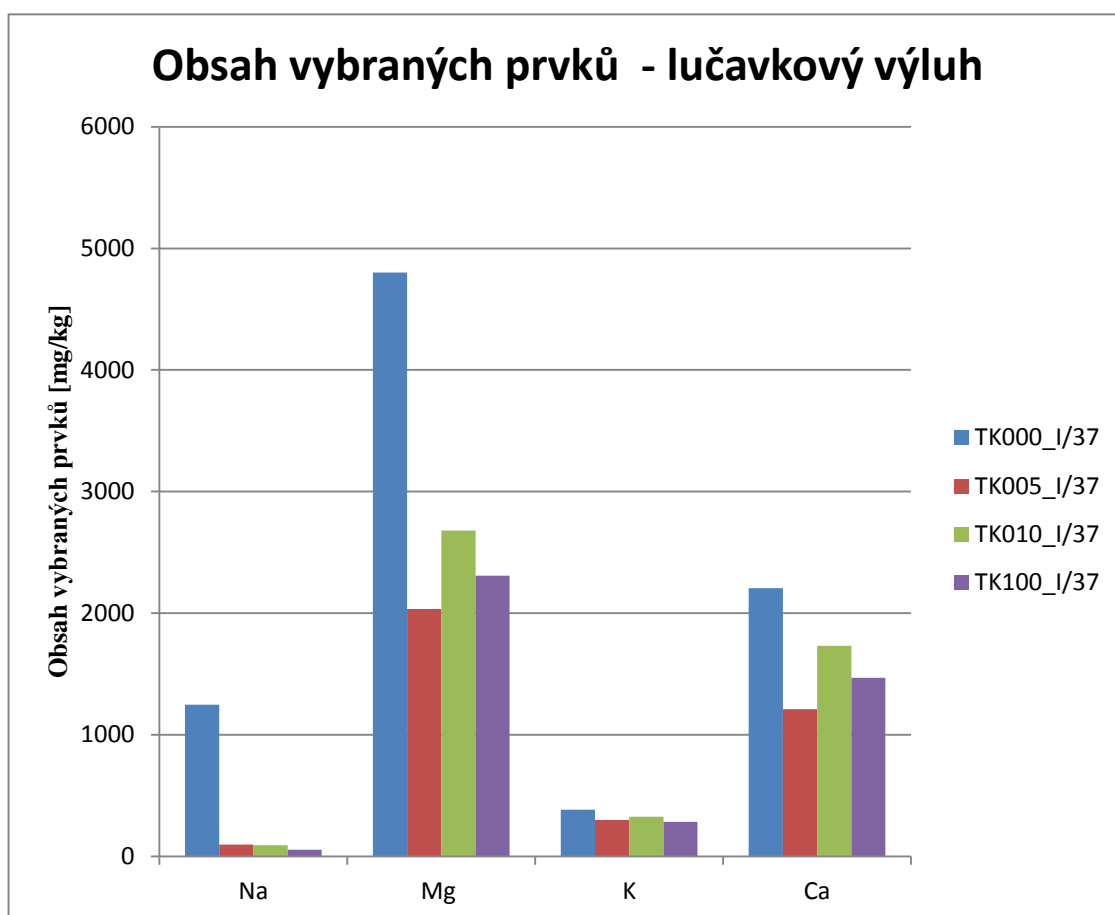
Vodní výluh	Obsah vybraných prvků (mg/kg)				
Vzorek	Na	Cl	Mg	K	Ca
Tk000_I/37	542	629	14,9	8,06	5,23
Tk005_I/37	39,8	205	11,5	36,0	26,3
Tk010_I/37	10,4	187	19,5	26,2	41,5
Tk100_I/37	4,50	186	16,9	9,79	46,3



Graf 31 Obsažené množství vybraných prvků stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 39 Obsažené množství vybraných prvků stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

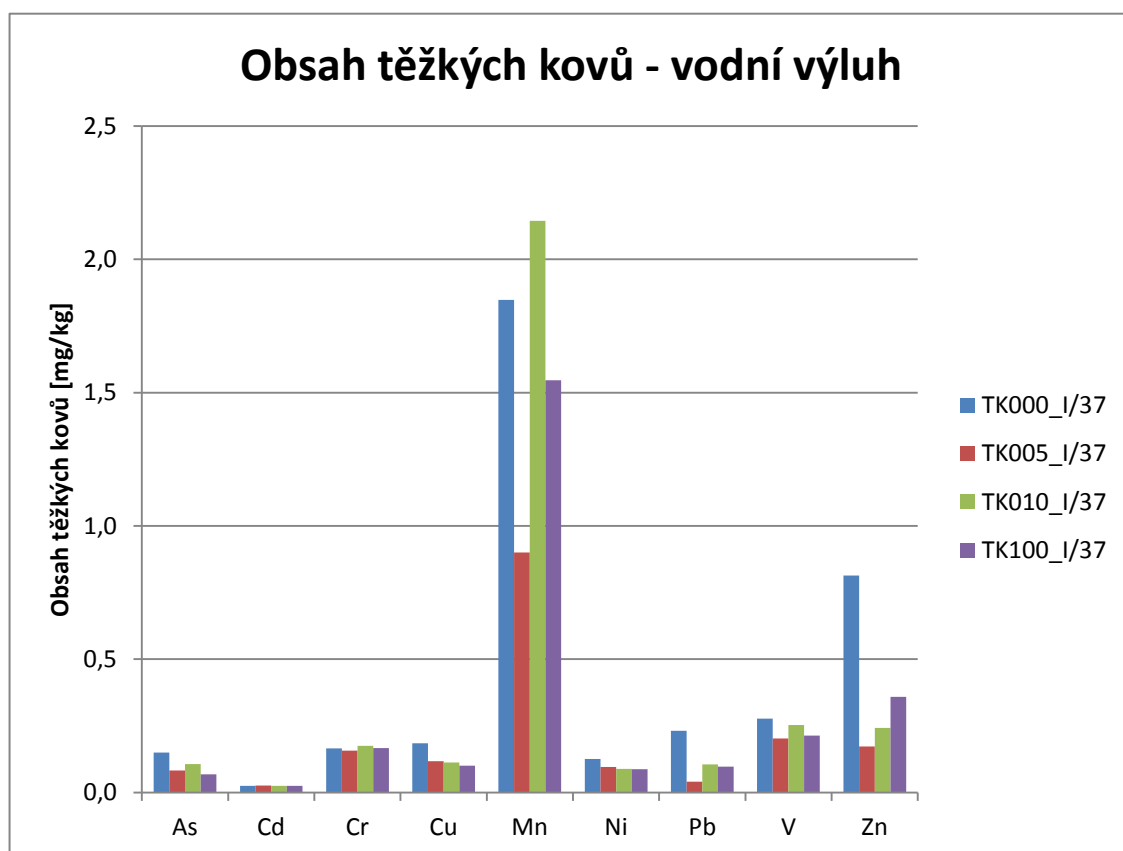
Lučavkový výluh	Obsah vybraných prvků (mg/kg)				
Vzorek	Na	Cl	Mg	K	Ca
Tk000_I/37	1248	N	4801	384	4801
Tk005_I/37	97,0	N	2035	299	2035
Tk010_I/37	91,8	N	2678	325	2678
Tk100_I/37	55,7	N	2309	284	2309



Graf 32 Obsažené množství vybraných prvků stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 40 Obsažené množství těžkých látek stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

Vzorek	Obsah těžkých kovů vodním výluhem [mg/kg]								
	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Tk000_I/37	0,150	0,0255	0,166	0,185	1,85	0,126	0,231	0,277	0,814
Tk005_I/37	0,0826	0,0262	0,158	0,118	0,900	0,0955	0,0410	0,203	0,173
Tk010_I/37	0,107	0,0255	0,175	0,113	2,14	0,089	0,105	0,253	0,243
Tk100_I/37	0,069	0,025	0,166	0,101	1,55	0,0876	0,0967	0,214	0,359



Graf 33 Obsažené množství těžkých látek stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

Tabulka 41 Obsažené množství těžkých látek stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice -Popkovice v závislosti na vzdálenosti

Vzorek	Obsah těžkých kovů lučavkovým výluhem [mg/kg]								
	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Tk000_I/37	13,9	0,271	36,5	25,0	390	22,5	53,9	39,2	106
Tk005_I/37	10,4	0,161	19,5	6,42	335	8,42	14,6	25,6	38,9
Tk010_I/37	11,2	0,188	18,8	7,52	477	7,66	18,6	26,3	45,8
Tk100_I/37	9,84	0,219	21,9	5,94	627	8,28	20,7	26,9	48,3



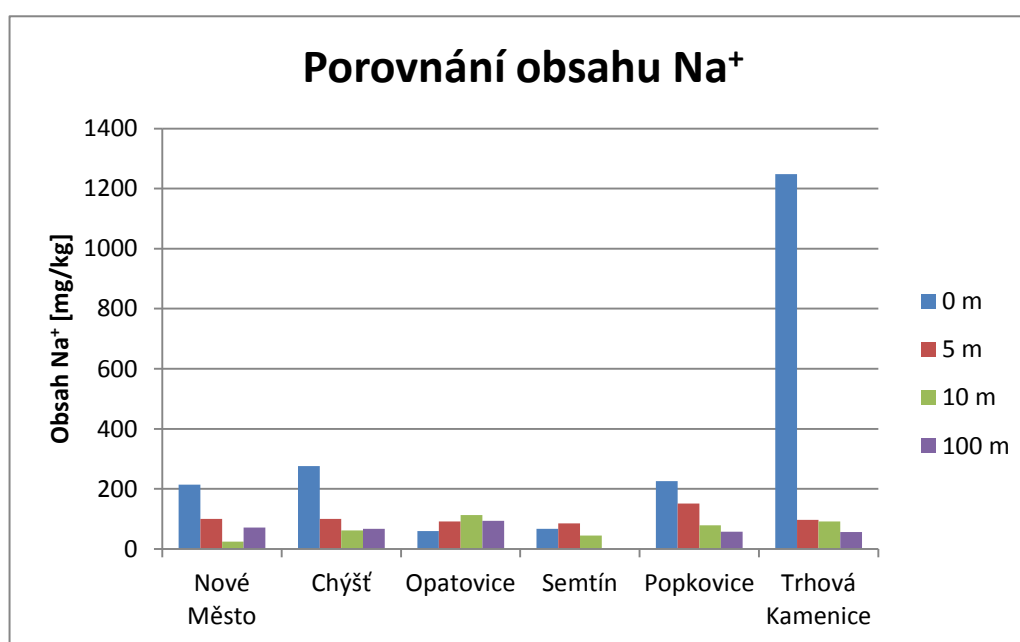
Graf 34 Obsažené množství těžkých látek stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti

11.4 Shrnutí

Z naměřených obsahů sodíku se potvrdila, jeho nízká míra mobility, kterou nejlépe reprezentuje odebraný vzorek z lokality Trhová Kamenice, ve které se v době odběru nacházela sněhová pokrývka. Ve vzdálenosti 0 m od komunikace se v této lokalitě naměřil velmi vysoký obsah sodíku (1248 mg/kg). Tento obsah sodíku byl mnohem nižší již ve vzdálenosti 5 m (97 mg/kg) od komunikace a v dalších vzdálenostech postupně klesal.

Dále je patrné z grafu (Graf 35), že i v lokalitách Nové Město, Chýšť, a Popkovice je ve vzdálenosti 0 m vysoký obsah sodíku, ale vlivem teplejšího počasí došlo k rozpuštění a odplavení posypového materiálu do okolní půdy.

V lokalitách Opatovice nad Labem a Semtín jsou komunikace vyvýšené oproti okolní půdě. To má za následek, že nejvyšší naměřené obsahy sodíku byly ve vzdálenosti 5 m v lokalitě Semtín a 10 m v lokalitě Opatovice nad Labem, kde pravděpodobně dochází vlivem dešťů ke splavu posypu a půdy dál od vozovky. Tento obsah mohla v lokalitě Opatovice nad Labem ovlivnit i přilehlá komunikace.



Graf 35 Porovnání Na⁺ mezi lokalitami - lučavkový výluh

Při porovnání naměřených hodnot sodíku s předchozími pracemi došlo u všech porovnávaných lokalit ve vzdálenosti 0 m ke snížení jeho obsahu v půdě. To může být

způsobeno použitím menšího množství posypového materiálu z důvodu mírné zimy, nebo použitím šetrnějších materiálů k životnímu prostředí.

Obsahy těžkých kovů byly velmi nízké, a proto nedošlo k překročení limitních hodnot. Nejvyšší obsahy byly naměřeny opět v lokalitě Trhová Kamenice, kde se naměřil nejvyšší obsah těžkých kovů ve vzdálenosti 0 m z důvodu zmrzlé půdy, která bránila v odplavení a smyvu do okolní půdy.

V dalších lokalitách došlo k naměření podobných obsahů těžkých kovů, kromě lokality Nové Město a Chýšť, kde se naměřily ve vzdálenosti 0 m vyšší obsahy zinku.

Pro všechny hodnoty naměřených obsahů vybraných těžkých kovů lze říct, že jejich obsahy v půdě jsou nízké, a tedy nepřekračují žádné limitní hodnoty a nemají negativní vliv na zdraví člověka a životní prostředí.

Při porovnání naměřených hodnot vybraných těžkých kovů s předchozími pracemi došlo u všech porovnávaných lokalit ve vzdálenosti 0 m ke snížení obsahu zinku v půdě a ke zvýšení obsahu chromu v půdě. To mohou způsobovat emise chromu z výfukových plynů.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo vyhodnotit vliv chemických posypových materiálů požívaných při zimní údržbě komunikací na obsah reziduí v půdě v okolí komunikace. K tomuto účelu bylo vybráno šest lokalit u frekventovaných silnic I. třídy, Z toho čtyři lokality byly vybrány dle diplomových prací ze zimní sezóny 2004/2005 a 2005/2006. V těchto vybraných lokalitách byl proveden odběr vzorků ve vzdálenostech 0 m, 5 m, 10 m, a 100 m od komunikace. Z odebraných vzorků půd byly stanoveny pomocí hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP – MS) obsahy vybraných prvků Na, Cl, Mg, K, Ca, jež nám charakterizují vliv solení silnic na kontaminaci okolních půd a dále byly stanoveny obsahy vybraných těžkých kovů (As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn) pro zjištění kontaminace okolních půd dopravou. Ze vzorků byly připraveny dva různé typy výluhů a to vodní a lučavkový výluh.

Nejvyšší obsahy sodíku se nacházely v lokalitě Trhová Kamenice, kde se v době odběru nacházela sněhová pokrývka, a proto tento vzorek je reprezentativní pro nízkou míru mobility sodíku. Dále se z naměřených obsahů sodíků v půdě potvrzuje, že komunikace umístěná výše než okolní půdy má větší míru nebezpečí pro místa, která jsou dále od komunikace, protože dochází vlivem dešťů ke splavu posypu a půdy dál od vozovky. Při porovnání naměřených hodnot sodíku s předchozími pracemi došlo u všech porovnávaných lokalit ve vzdálenosti 0 m ke snížení jeho obsahu v půdě. To může být způsobeno použitím menšího množství posypového materiálu, nebo použitím šetrnějších materiálů k životnímu prostředí.

Při hodnocení obsahu vybraných těžkých kovů bylo posuzováno zda vzorky odebrané ze vzdálenosti 0 m od komunikace, tedy nezemědělská půda, splňuje TP 116 a vzorky s ostatních vzdáleností se posuzovaly dle vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 13/1994 Sb., dle lučavkového výluhu. Výsledkem bylo, že všechny vzorky splňují dané limitní hodnoty a nemají negativní vliv na zdraví člověka a životní prostředí. Nejvyšší obsah těžkých kovů byl naměřen v lokalitě Trhová Kamenice.

Oproti předchozím létům došlo ke zvýšení obsahu chromu ve všech porovnávaných lokalitách a ke snížení obsahu zinku ve vzdálenosti 0 m, ale se zvyšující se vzdáleností byl obsah zinku vyšší nebo stejný.

Seznam použité literatury

- [1] Silnice a dálnice v České republice 2013. *Ředitelství silnic a dálnic* [online]. 2013 [cit. 2015-01-12]. Dostupné z: [http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/0/00712811179E3270C1257C08005CD18B/\\$file/RSD2013cz.pdf](http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/0/00712811179E3270C1257C08005CD18B/$file/RSD2013cz.pdf)
- [2] Česká republika. , kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích. In: *104/1997 Sb.* 23.4.1997. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=45313&fulltext=104~2F1997&rpp=15#local-content>
- [3] Česká republika. O pozemních komunikacích. In: *13/1997 Sb.* 1997. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=44836&fulltext=13~2F1997&rpp=15#local-content>
- [4] Highways in the Czech Republic. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-01-12]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Highways_in_the_Czech_Republic#mediaviewer/File:Tschechien_Schnellstrassennetz.jpg
- [5] Zimní údržba silnic Kraje Vysočina 2014/2015. PETRŮ, Jan. *Kraj Vysočina* [online]. 2014 [cit. 2015-01-12]. Dostupné z: http://www.kr-vysocina.cz/VismoOnline_ActionScripts/Image.ashx?id_org=450008&id_obrazky=65365&datum=8.12.2014+11%3A10%3A31
- [6] Grafické znázornění neudržovaných a udržovaných komunikací, včetně jejich zařazení do pořadí údržby I - III. . *Technické služby Havlíčkův Brod: Zimní údržba* [online]. 2013 [cit. 2015-01-12]. Dostupné z: <http://tshb.cz/zimni-udrzba/ds-1010/p1=1058>
- [7] O ochraně přírody a krajiny. In: *č.114/1992 Sb.* 1992. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=39807&fulltext=o~20ochran~C4~9B~20p~C5~99irody&rpp=15#local-content>
- [8] HONSOVÁ, Hana. *Hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu versus atomová absorpční spektrometrie*. Pardubice, 2009. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce Doc. Ing. Jitka Šrámková, CSc.
- [9] JELÍNEK, Emil a Eva JULÁKOVÁ. *Moderní analytické metody v geologii* [online]. Praha, 2008 [cit. 2015-02-11]. Dostupné z:

<http://old.vscht.cz/anl/paci/PAC/prezentace/Moderni%20analyticke%20metody%20v%20geologii.pdf>. Skripta. VŠCHT.

[10] AMMANN, Adrian A. Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP MS): a versatile tool. *Journal of Mass Spectrometry*. 2007, vol. 42, issue 4, s. 419-427. DOI: 10.1002/jms.1206. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/jms.1206>

[11] MIHALJEVIČ, Martin, Ladislav STRNAD. Využití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem v geochemii. *Chemické listy* [online]. 2004, č. 98 [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2004_03_02.pdf

[12] ČERNOHORSKÝ, Tomáš. *Atomová spektroskopie*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1997, 218 s. ISBN 80-7194-114-x.

[13] FAY, Laura a Xianming SHI. Environmental Impacts of Chemicals for Snow and Ice Control: State of the Knowledge. *Water, Air, & Soil Pollution* [online]. 2012, vol. 223, issue 5, s. 2751-2770 [cit. 2015-03-24]. DOI: 10.1007/s11270-011-1064-6.

[14] Chloridy (jako celkové Cl): Látka: Chloridy (jako celkové Cl). CENIA A MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Chloridy (jako celkové Cl): Látka: Chloridy (jako celkové Cl)* [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/57>

[15] RAMAKRISHNA, Devikarani M. a Thiruvenkatachari VIRARAGHAVAN. Environmental Impact of Chemical Deicers – A Review. *Water, Air, and Soil Pollution* [online]. 2005, vol. 166, 1-4, s. 49-63 [cit. 2015-03-24]. DOI: 10.1007/s11270-005-8265-9.

[16] Posypové materiály pro zimní údržbu komunikací v ČR a v zemích EU. In: MELCHER, Karel. *Posypové materiály pro zimní údržbu komunikací v ČR a v zemích EU* [online]. 2001 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/posypove-materialy-pro-zimni-udrzbu-komunikaci-v-cr-a-v-zemich-eu>

[17] Technické podmínky 116. *Použití ovoce, trávy a zeminy ze silničních pozemků*. 2. vydání. Brno: IMOS Brno a.s., 2002. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP%20116.pdf>

[18] Novák, Ondřej. Hmotnostní spektrometrie – Mass spektrometry (MS) [prezentace powerpoint].

[19] Cvrkal, M. Zimní údržba silnic v Pardubickém kraji, aplikace posypových materiálů a jejich optimální výběr s ohledem na životní prostředí (semestrální práce). Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. 2005.

[20] FRIEDECKÝ, Bedřich. Mez stanovitelnosti. In: *Mez stanovitelnosti* [online]. 2004 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://www.enclabmed.cz/encyklopedie/D/BFABJ.htm>

- [21] MACHALÍČEK, Milan. *Plynová chromatografie organických sloučenin*. Brno, 2010. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/270175/prif_b/BAKALARSKA_PRACE.pdf. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav chemie.
- [22] Stanovení koncentrace kreatininu v moči (B1). In: *Stanovení koncentrace kreatininu v moči (B1)* [online]. 2001 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: http://old.lf3.cuni.cz/chemie/cesky/praktika/uloha_B1.htm
- [23] PLZÁK, Zbyněk. Detekční schopnost analytické metody, mez detekce, mez stanovitelnosti. *Detekční schopnost analytické metody, mez detekce, mez stanovitelnosti* [online]. 2011, Metodický list 7 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://www.eurachem.cz/user-files/files/metodicky-list-7-final.pdf>
- [24] ZBÍRAL, Jiří. *Analýza půd: jednotné pracovní postupy*. Vyd. 3., rozš. a přeprac. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2011, 230 s. ISBN 9788074010408.
- [25] Oscilační mlýn MM 400. *Www.retsch.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.retsch.cz/cz/produkty/mleti/kulove-mlyny/mixer-mill-mm-400/oscilacni-mlyn-mm-400/>
- [26] JANKŮ, Vítězslav. *Posypové látky pro zimní údržbu silnic, operační plán zimní údržby silnic v okrese Trutnov* [online]. Pardubice, 2004 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://www.prachatice.eu/sites/default/files/docs/zimni_udrzba/03_seminarni_prace_zimni_udrzba.pdf. Semestrální práce.
- [27] DUŠEK, Bohumír. *Vyhodnocení vlivu posypových materiálů v okolí silnic*. Pardubice, 2005. Diplomová práce.
- [28] BULÍČKOVÁ, Jana. *Vyhodnocení vlivu posypových materiálů v okolí silnic*. Pardubice, 2006. Diplomová práce.
- [29] ČESKÁ REPUBLIKA. , kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. 1994. In: č. 13/1994. Dostupné také z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0>
- [30] *Mapy.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [31] SW-4. *RMI, s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.rmi.cz/mw-tlakove-rozklady>
- [32] Informace o dálnici - D11. *D11* [online]. 2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.d11.cz/informace-o-dalnici>

Seznam tabulek

Tabulka 1 Příklady nejčastěji se vyskytujících spektrálních interferencí při běžné analýze geomateriálů [9]	38
Tabulka 2 Detekční limity 3σ [12].....	40
Tabulka 3 Nastavení extrakčního programu	46
Tabulka 4 Hodnocení znečištění zeminy podle TP č. 116 [17]	58
Tabulka 5 Maximálně přípustné hodnoty pro zeminy podle vyhlášky č. 13/1994 Sb. [29]	58
Tabulka 6 Výsledky stanovení referenčního materiálu lučavkovým výluhem a jejich porovnání s certifikovanými hodnotami	59
Tabulka 7 Obsah prvků ve vodním výluhu půd v závislosti na vzdálenosti.....	61
Tabulka 8 Obsažené množství vybraných prvků stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Nové Město v závislosti na vzdálenosti	62
Tabulka 9 Naměřené množství těžkých kovů ve vzorcích vodního výluhu v lokalitě Nové Město, v závislosti na vzdálenosti.....	63
Tabulka 10 Naměřené množství těžkých kovů ve vzorcích lučavkového výluhu v lokalitě Nové Město, v závislosti na vzdálenosti	64
Tabulka 11 Porovnání naměřených hodnot Na^+ v oblasti Nové Město s předchozími měřeními.....	65
Tabulka 12 Porovnání naměřených hodnot Cl^- v oblasti Nové Město s předchozími měřeními	66
Tabulka 13 Porovnání naměřených hodnot těžkých kovů v oblasti Nové Město s předchozími měřeními.....	67
Tabulka 14 Obsažené množství vybraných prvků stanovené vodním výluhem ve vzorku Chýst' v závislosti na vzdálenosti	69

Tabulka 15 Obsažené množství vybraných prvků stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Chýšť v závislosti na vzdálenosti	70
Tabulka 16 Obsažené množství těžkých kovů stanovené vodním výluhem ve vzorku Chýšť v závislosti na vzdálenosti.....	71
Tabulka 17 Obsažené množství těžkých kovů stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Chýšť v závislosti na vzdálenosti	72
Tabulka 18 Porovnání naměřených hodnot Na^+ v oblasti Chýšť s předchozími měřeními ...	73
Tabulka 19 Porovnání naměřených hodnot Cl^- v oblasti Chýšť s předchozími měřeními	74
Tabulka 20 Porovnání naměřených hodnot těžkých kovů v oblasti Chýšť s předchozími měřeními.....	74
Tabulka 21 Obsažené množství vybraných prvků stanovené vodním výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti	76
Tabulka 22 Obsažené množství vybraných prvků stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti	77
Tabulka 23 Obsažené množství těžkých kovů stanovených vodním výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti	78
Tabulka 24 Obsažené množství těžkých kovů stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti	79
Tabulka 25 Porovnání naměřených hodnot Na^+ v oblasti Opatovice nad Labem s předchozími měřeními.....	81
Tabulka 26 Porovnání naměřených hodnot Cl^- v oblasti Opatovice nad Labem s předchozími měřeními.....	82
Tabulka 27 Porovnání naměřených hodnot těžkých kovů v oblasti Opatovice nad Labem s předchozími měřeními.....	82

Tabulka 28 Obsažené množství vybraných prvků stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti	84
Tabulka 29 Obsažené množství vybraných prvků stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti	85
Tabulka 30 Obsažené množství těžkých kovů stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti	86
Tabulka 31 Obsažené množství těžkých kovů stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti	87
Tabulka 32 Porovnání naměřených hodnot Na^+ v oblasti Pardubice - Semtín s předchozími měřeními.....	88
Tabulka 33 Porovnání naměřených hodnot Cl^- v oblasti Pardubice - Semtín s předchozími měřeními.....	89
Tabulka 34 Porovnání naměřených hodnot těžkých kovů v oblasti Pardubice - Semtín s předchozími měřeními.....	89
Tabulka 35 Obsažené množství vybraných prvků stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti.....	91
Tabulka 36 Obsažené množství vybraných prvků stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti	92
Tabulka 37 Obsažené množství těžkých látek stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti.....	93
Tabulka 38 Obsažené množství těžkých látek stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti.....	94
Tabulka 39 Obsažené množství vybraných prvků stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti.....	96
Tabulka 40 Obsažené množství vybraných prvků stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti	97

Tabulka 41 Obsažené množství těžkých látek stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti..... 98

Tabulka 42 Obsažené množství těžkých látek stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti..... 99

Seznam obrázků

Obrázek 1 Osazená orientační sněhová tyč [vlastní]	15
Obrázek 2 Pořadí důležitosti silnic [5].....	19
Obrázek 3 Pořadí důležitosti místních komunikací [6].....	21
Obrázek 4 Síťovací zařízení Retsch AS 200 [vlastní]	44
Obrázek 5 Heidolph Relax 20.....	45
Obrázek 6: Mikrovlnné zařízení Speedwave SW-4 [31].....	46
Obrázek 7: Agilent 8800 Triple Quadrupole ICP-MS.....	47
Obrázek 8 Vybrané lokality pro odběr vzorků [30].....	49
Obrázek 9 Odběrové místo Nové Město I/11 [vlastní].....	50
Obrázek 10 odběrové místo Chýšť I/36 [vlastní].....	51
Obrázek 11 Odběrové místo Opatovice nad Labem I/37 [vlastní]	52
Obrázek 12 Odběrové místo Pardubice - Semtín I/36 [vlastní].....	53
Obrázek 13 Odběrové místo Pardubice – Popkovice [vlastní]	54
Obrázek 14 Odběrové místo Trhová Kamenice [vlastní]	55
Obrázek 15 Sušení vzorků [vlastní].....	56

Seznam grafů

Graf 1 Rozdělení a délka silniční sítě k 1. 1. 2013 [1]	13
Graf 2 Rozklad CMA v závislosti na teplotě [13].....	28
Graf 3 Naměřené množství vybraných prvků ve vzorcích vodního výluhu v lokalitě Nové Město, v závislosti na vzdálenosti.....	61
Graf 4 Obsažené množství vybraných prvků stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Nové Město v závislosti na vzdálenosti.....	62
Graf 5 Naměřené množství těžkých kovů ve vzorcích vodního výluhu v lokalitě Nové Město, v závislosti na vzdálenosti.....	63
Graf 6 Naměřené množství těžkých kovů ve vzorcích lučavkového výluhu v lokalitě Nové Město, v závislosti na vzdálenosti.....	64
Graf 7 Porovnání naměřených hodnot Na^+ v oblasti Nové Město s předchozími měřeními ..	66
Graf 8 Porovnání naměřených hodnot Cl^- v oblasti Nové Město s předchozími měřeními.....	67
Graf 9 Naměřené množství vybraných prvků ve vzorcích vodního výluhu v lokalitě Chýšť, v závislosti na vzdálenosti.....	69
Graf 10 Naměřené množství vybraných prvků ve vzorcích lučavkového výluhu v lokalitě Chýšť, v závislosti na vzdálenosti.....	70
Graf 11 Obsažené množství těžkých kovů stanovené vodním výluhem ve vzorku Chýšť v závislosti na vzdálenosti.....	71
Graf 12 Obsažené množství těžkých kovů stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Chýšť v závislosti na vzdálenosti.....	72
Graf 13 Porovnání naměřených hodnot Na^+ v oblasti Chýšť s předchozími měřeními	73
Graf 14 Porovnání naměřených hodnot Cl^- v oblasti Chýšť s předchozími měřeními	74

Graf 15 Obsažené množství vybraných prvků stanovené vodním výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti	76
Graf 16 Obsažené množství vybraných prvků stanovené lučavkovým výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem.....	77
Graf 17 Obsažené množství těžkých kovů stanovených vodním výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti	78
Graf 18 Obsažené množství těžkých kovů stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Opatovice nad Labem v závislosti na vzdálenosti	79
Graf 19 Porovnání naměřených hodnot Na^+ v oblasti Opatovice nad Labem s předchozími měřeními.....	81
Graf 20 Porovnání naměřených hodnot Cl^- v oblasti Opatovice nad Labem s předchozími měřeními.....	82
Graf 21 Obsažené množství vybraných prvků stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti	84
Graf 22 Obsažené množství vybraných prvků stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti	85
Graf 23 Obsažené množství těžkých kovů stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti	86
Graf 24 Obsažené množství těžkých kovů stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Semtín v závislosti na vzdálenosti	87
Graf 25 Porovnání naměřených hodnot Na^+ v oblasti Pardubice - Semtín s předchozími měřeními.....	88
Graf 26 Porovnání naměřených hodnot Cl^- v oblasti Pardubice - Semtín s předchozími měřeními.....	89
Graf 27 Obsažené množství vybraných prvků stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti.....	91

Graf 28 Obsažené množství vybraných prvků stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti.....	92
Graf 29 Obsažené množství těžkých látek stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti.....	93
Graf 30 Obsažené množství těžkých látek stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti.....	94
Graf 31 Obsažené množství vybraných prvků stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti.....	96
Graf 32 Obsažené množství vybraných prvků stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti.....	97
Graf 33 Obsažené množství těžkých látek stanovených vodním výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti.....	98
Graf 34 Obsažené množství těžkých látek stanovených lučavkovým výluhem ve vzorku Pardubice - Popkovice v závislosti na vzdálenosti.....	99
Graf 35 Porovnání Na ⁺ mezi lokalitami - lučavkový výluh.....	100