

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA EKOLOGIE

Bioindikace vlivu chemické zimní údržby
komunikací na smrk ztepilý (*Picea abies*)

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. RNDr. Petr Anděl, CSc.

Diplomant: Bc. Jana Zítková

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jana Zítková

Aplikovaná ekologie

Název práce

Bioindikace vlivu chemické zimní údržby komunikací na smrk ztepilý (*Picea abies*)

Název anglicky

Bioindication of road salting impact on Norway spruce (*Picea abies*)

Cíle práce

Chemická zimní údržba komunikací patří k významným negativním vlivům na životní prostředí. Postiženy jsou především stromy rostoucí v místech rozplavování solných roztoků. Jako bioindikátor potenciálního poškození se používá stanovení obsahu sodíku a chloridů v jehličí. Dosud ale není dostatečně popsána variabilita těchto ukazatelů, aby bylo možné je exaktně využít pro praktickou kontrolu zimní údržby.

Cílem práce je vyhodnotit vliv dvou základních faktorů, a to potenciální míry kontaminace lokality a délky expozice, na obsah sodíku a chloridů v jehličí. Následně na základě získaných výsledků a kritického zhodnocení literárních údajů navrhnout rámcové hodnoty koncentrací pro praktické hodnocení stupně kontaminace.

Metodika

- a) zpracování podrobné literární rešerše
- b) odběr vzorků jehličí na lokalitách s různým stupněm kontaminace
- c) předúprava vzorků pro analýzu (vlastní chemické analýzy budou provedeny v laboratořích Centra dopravního výzkumu v.v.i. Brno)
- d) statistické vyhodnocení výsledků
- e) návrh rámcových hodnot koncentrací pro praktické posuzování stupně kontaminace

Doporučený rozsah práce

Cca 40 stran, přílohy podle potřeby

Klíčová slova

Chemická zimní údržba komunikací, smrk ztepilý, jehličí, koncentrace sodíku a chloridů

Doporučené zdroje informací

Anděl P. (2011): Ekotoxikologie, bioindikace a biomonitoring. – Evernia, Liberec. Forman R. T. T. et al. (2003): Road ecology. Science and solutions. – Island Press, Washington DC. van der Ree R., Smith D. J. et Grilo C. /eds./ (2015): Handbook of road ecology. Wiley Blackwell, Oxford. Wiersma B. G. /ed./ (2004): Environmental monitoring. – CRC Press, Boca Raton. Zákon o pozemních komunikacích, vyhlášky a technické podmínky Ministerstva dopravy k zimní údržbě komunikací, údaje Ředitelství silnic a dálnic ČR.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. RNDr. Petr Anděl, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 26. 8. 2015

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 9. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením doc. RNDr. Petra Anděla, CSc., a že jsem uvedla všechny literární prameny a zdroje, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 19. 4. 2016

.....

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat všem, kteří mi pomohli během tvorby mé diplomové práce. Za odborné vedení bych chtěla poděkovat svému vedoucímu diplomové práce doc. RNDr. Petru Andělovi, CSc. a za podporu, pomoc a trpělivost své rodině, blízkým a kamarádům. Také bych chtěla poděkovat Centru dopravního výzkumu v.v.i. Brno a jeho pracovníkům za vlastní analýzu vzorků a Mgr. Jitce Hegrové, Ph.D. za odbornou konzultaci.

V Praze dne 19. 4. 2016

.....

Abstrakt

Chemická zimní údržba komunikací patří k významným negativním vlivům na životní prostředí. Aplikací chemických solných rozmrazovacích materiálů bývají nejvíce postiženy stromy rostoucí v blízkosti komunikací. Sodík a chlór, které jsou vyplaveny do prostředí, jsou přijímány okolní vegetací a jejich zvýšená koncentrace má negativní dopady na jejich zdravotní stav. Práce hodnotí vliv potenciálu kontaminace na obsah sodíku a chlóru v jehličí smrku ztepilého (*Picea abies*). Ten byl pro studii vybrán pro svůj hojný výskyt a zvýšenou citlivostí k zasolení. Studijní území bylo zvoleno na severu České republiky v Libereckém kraji mezi Jabloncem nad Nisou, Železným Brodem a Tanvaldem. Pro bioindikaci potenciálu poškození chemickou zimní údržbou byly sebrány vzorky prvního a druhého ročníku jehličí smrku ztepilého a stanoveny koncentrace sodíku a chlóru. Zároveň byl hodnocen potenciál kontaminace lokality a zdravotní stav jedinců zájmového jehličnanu. Získané výsledky koncentrací prvků byly vyhodnoceny v závislosti na čtyřech faktorech: na potenciálu kontaminace, zdravotním stavu stromu, vzdálenosti od komunikace a na stáří jehličí. Na základě vyhodnocení výsledků byla navržena stupnice s rámcovými hodnotami koncentrací, kterou je možné využít pro praktické hodnocení stupně kontaminace.

Klíčová slova: chemická zimní údržba komunikací, smrk ztepilý, jehličí, koncentrace sodíku a chloridů

Abstract

Road salting is one of the major negative impacts on the environment. Application of chemical salt based de-icing materials damages mostly the trees growing near the roads. Sodium and chlorine which are washed into the environment are absorbed by the surrounding vegetation and their increased concentration has a negative impact on their health. This thesis work assesses the influence of contamination potential on the content of sodium and chlorine in the needles of Norway spruce (*Picea abies*). This tree was used for the study because of its abundance and increased sensitivity to salinity. Study area was chosen in the northern part of the Czech Republic in the Liberec Region in between Jablonec nad Nisou, Železný Brod and Tanvald. To indicate the potential damage caused by road salting, the samples of 1-year-old and 2-year-old needles of Norway spruce were collected and examined for the concentration of sodium and chlorine. Also, the site contamination potential was assessed and the health conditions of individual conifers were evaluated. The measured concentrations of elements were evaluated based on four factors: the potential contamination sites, the health of the tree, the distance from the road and the age of needles. Based on the results of the evaluation, a measurement scale was designed with framework concentration values which can be used for practical assessment of the level of contamination.

Keywords: road salting, Norway spruce, needles, concentration of sodium and chlorides

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíle diplomové práce	12
A - TEORETICKÁ ČÁST	13
3. Současný stav problematiky	13
3.1. Zimní údržba silnic	13
3.1.1. Legislativa	13
3.1.2. Chemický posypový materiál.....	15
3.2. Vliv chloridu sodného na prostředí a dřeviny.....	17
3.3. Minerální výživa a klasifikace biogenních prvků	21
3.4. Vlastnosti vybraných prvků a jejich obsah v jehličí smrku zteplého.....	23
3.4.1. Draslík (K)	23
3.4.2. Vápník (Ca).....	24
3.4.3. Hořčík (Mg)	25
3.4.4. Sodík (Na)	26
3.4.5. Chlór (Cl)	26
B – EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	28
4. Metodika	28
4.1. Plán pracovního postupu	28
4.2. Charakteristika studijního území.....	29
4.3. Způsob odběru vzorků a použité materiály	30
4.3.1. Odběry půdních vzorků.....	31
4.3.2. Odběry vzorků asimilačních orgánů	31
4.4. Hodnocení zdravotního stavu.....	32
4.5. Hodnocení potenciálu kontaminace	33
4.6. Analýza vzorků	34
4.6.1. Použité chemikálie	34
4.6.2. Přístroje použité pro úpravu a analýzu vzorků.....	35
4.6.3. Zpracování a příprava vzorků asimilačních orgánů	35
4.6.4. Příprava vodního výluhu půd.....	36

4.6.5.	Titrační stanovení chloridů	36
4.6.6.	Stanovení obsahu kovů	37
4.7.	Statistické hodnocení výsledků analýz.....	38
5.	Výsledky	40
5.1.	Vztah koncentrace prvků v jehličí a potenciálu kontaminace lokality	41
5.2.	Vztah koncentrace prvků v jehličí a zdravotního stavu stromu	45
5.3.	Srovnání koncentrace prvků v závislosti na vzdálenosti od komunikace	48
5.4.	Srovnání koncentrací prvků v závislosti na stáří jehličí.....	51
6.	Diskuse.....	53
7.	Závěr	56
8.	Přehled literatury a použitých zdrojů.....	57
10.	Přílohy.....	63
10.1.	Příloha č. 1 Lokalizace studijního území	63
10.2.	Příloha č. 2 Zimní údržba komunikací ve studijním území	64
10.3.	Příloha č. 3 Uložení odebraných vzorků	65
10.4.	Příloha č. 4 Analýza vzorků	66

1. Úvod

Silniční doprava je v dnešní době velmi intenzivní a je velmi důležité zajistit její bezpečný a plynulý provoz. V zimních měsících je pak údržba mnohem náročnější, vzhledem k odstraňování napadlého sněhu, námrazy či ledu (Hofman et al., 2012). Významný nárůst silniční dopravy začal v Evropě počátkem 60. let 20. století (Fischel, 2001) v té době se začaly k údržbě vozovek využívat posypové materiály, jako je písek ale i chemické na bázi chloridů (Hofman et al., 2012).

Aplikace chemických materiálů během zimní údržby silnic způsobuje značné negativní vlivy na životní prostředí (Hofman et al., 2012). S velkým nárůstem silniční dopravy je tak spojena i zvýšená aplikaci chemických rozmrazovacích materiálů na komunikace (Fischel, 2001). Aplikace těchto materiálů nejvíce ohrožuje dřeviny, které se vyskytují v blízkosti komunikací, kde dochází k rozplavování roztoků, které obsahují velké množství solí (Blomqvist et Johansson, 1999; Černošková et al., 2008; Hofman et al., 2012). Jedním z nejsnadněji zjištěných účinků aplikace rozmrazovacích posypových solí je zhoršení zdravotního stavu vegetace v okolí komunikací. Vegetace podél silnic se tak stává významným ukazatelem, který deklaruje vysoké používání solných posypů (Langen et Prutzman, 2006). Dosud však nejsou dostatečně popsány tyto ukazatele, aby bylo možné je využít pro praktickou kontrolu zimní údržby komunikací.

V České republice jsou některé studie věnovány vlivu solení na půdní prostředí (Hofman et al., 2012, Černošková et al., 2008). Chemické analýzy biomasy byly také provedeny na různých druzích vegetace, jako travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*), metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*) i na smrku ztepilém (*Picea abies*), které však analyzovaly především těžké kovy a další prvky pro zjištění kontaminace z antropogenních zdrojů v industrializovaných oblastech (Suchara et al., 2011). V Polsku byla studie věnována biodikaci solení vozovek na obsah prvků (draslíku, hořčíku, sodíku, vápníku a chlóru) v půdní prostředí a v listech lípy malolisté (*Tilia cordata*) (Czerniawska-Kusza et al., 2004). Ve studii Kayama et al. (2003) zkoumali efekt rozmrazovacích solí na vitalitu a zdraví dvou druhů smrků a to na smrk ztepilý (*Picea abies*) a smrk Glehnův (*Picea glehnii*)

v severním Japonsku. V této studii, mimo jiné prokázali, že vysoká hladina sodíku a chlóru v půdě způsobuje i zvýšenou hladinu těchto prvků v asimilačních orgánech studovaných druhů smrků (Kayama et al., 2003).

U smrkových druhů je známa jejich zvýšená citlivost na zasolení ve srovnání s jinými druhy dřevin (Larcher, 1995), proto je smrk ztepilý vhodným bioindikátorem vlivu chemické zimní údržby komunikací solnými posypovými materiály. Pro tuto práci byla zvolena lokalita na severu České republiky, jižně od Jizerských hor, kde je hojný výskyt smrkových porostů a kde je v zimním období na komunikace aplikovaný solný rozmrazovací materiál.

2. Cíle diplomové práce

Jako bioindikátor vlivu chemické zimní údržby se používá stanovení obsahu sodíku a chloridů v asimilačních orgánech jehličnatých stromů. Dosud však nejsou dostatečně popsány obsahy těchto prvků v asimilačních orgánech, aby bylo možné je využít pro praktickou kontrolu zimní údržby komunikací. Cílem práce je tedy stanovit obsahy vybraných prvků v asimilačních orgánech a vyhodnotit míru zasolení na vybraném typu jehličnanu, smrku ztepilém (*Picea abies*). Na základě výsledků a zhodnocení literárních údajů poté navrhnout rámcové hodnoty koncentrací pro praktické posouzení stupně kontaminace.

A - TEORETICKÁ ČÁST

3. Současný stav problematiky

3.1. Zimní údržba silnic

Silniční doprava je v dnešní době velmi intenzivní a je tedy důležité zajistit bezpečný a plynulý provoz. V zimních měsících je pak údržba mnohem intenzivnější, vzhledem k odstraňování napadlého sněhu a ledu (Hofman et al., 2012). Písek a chlorid sodný byly jako posypové materiály na redukci sněhu a ledu používány ve Spojených státech Amerických již od roku 1930. Těchto materiálů bylo mnoho a byly ekonomicky dostupné, což umožnilo průjezdnost velkého počtu silnic i během zimního období. Významný nárůst silniční dopravy i její chemické údržby v Evropě začal počátkem 60. let 20. století (Fischel, 2001) a též se začaly k údržbě vozovek využívat posypové materiály na bázi chloridů a písek. Navzdory všem výhodám bezpečné dopravy způsobují tyto posypy i negativní vlivy, zejména vyplavování iontů sodíku a chloridů do životního prostředí (Hofman et al., 2012). Následkem toho se pak začali objevovat informace o negativních důsledcích posypových materiálů na životní prostředí. Nicméně, výhody používání chemických posypů pro zvýšení bezpečnosti v zimních obdobích zůstalo hlavním faktorem pro jejich pokračující užívání. Používání rozmrazovacích činidel bylo důležité pro bezpečné a sjízdné komunikace a minimalizaci nehod v zimních obdobích (Roth et Wall, 1976; Fischel, 2001; Wegner et Yaggi, 2001).

3.1.1. Legislativa

V České republice je údržba silnic upravena zákonem č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, v platném znění a vyhláškou č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, v platném znění (dále jen vyhláška č. 104/1997 Sb.). Tyto právní předpisy stanovují základní podmínky pro plány zimní údržby, které se zpracovávají pro jednotlivé oblasti a podle nichž se zimní údržba provádí. Plány zimní údržby pak stanovují a popisují přesné provedení zimní údržby, použité technologie a posypové materiály. Dle vyhlášky č. 104/1997 Sb. se zimní

údržbou podle pořadí důležitosti zmírňují závady vznikající povětrnostními vlivy a podmínkami za zimních situací ve sjízdnosti komunikací a ve schůdnosti místních komunikací a průjezdných úseků silnic. Během obvyklé zimní situace má správce komunikace povinnost odstranit nebo alespoň zmírnit závady ve sjízdnosti komunikace v časových lhůtách, které jsou stanoveny v plánech zimní údržby. Zimní období je podle vyhlášky č. 104/1997 Sb. stanoveno dobou od 1. listopadu do 31. března následujícího roku. V této době se provádí zimní údržba dle plánu zimní údržby a vnikne-li zimní povětrnostní situace mimo tuto dobu, zmírňují se závady ve sjízdnosti komunikace bez dalších odkladů přiměřeně k vzniklé situaci.

Do sněhové vrstvy vyšší než 3 cm není dle vyhlášky č. 104/1997 Sb. dovoleno aplikovat chemický posyp. Napadlý sníh od výšky 3 cm se odstraňuje mechanicky, tedy pluhováním. Předpis udává povinnost použití chemických rozmrazovacích materiálů na dálnicích, rychlostních silnicích a silnicích I. a II. pořadí důležitosti. Posyp zdrsňovacími materiály se používá na komunikacích, které nejsou udržovány pomocí chemických rozmrazovacích materiálů. Námraza, náledí a napadlý sníh do 3 cm se odstraňují pomocí chemických rozmrazovacích materiálů.

Podle vyhlášky č. 104/1997 Sb. se chemické rozmrazovací materiály zásadně aplikují na zbytkovou vrstvu sněhu, která již nelze odstranit nebo snížit mechanickými prostředky. Pomocí těchto materiálů lze efektivně a rychle odstranit vrstvy uježděného sněhu do výšky 1 - 2 cm nebo náledí do výšky 2 mm. Při vyšších vrstvách je nutný opakovaný posyp za součinnosti mechanických prostředků. Při posypu chloridem sodným nebo chloridem vápenatým se dávkování provádí v závislosti na intenzitě sněžení a teplotě. Při teplotách kolem -5°C se používá chlorid sodný a při teplotách kolem -15°C se používá chlorid vápenatý. Při malé intenzitě sněžení (1 - 1,5 cm za hodinu) se komunikace sype dávkou 10 g/m^2 , při vyšší intenzitě se používá dávka 20 g/m^2 . Posyp dávkou 10 g/m^2 lze v průběhu sněžení opakovat, a to při mimořádně dlouhém sněžení nebo při mimořádné intenzitě spadu sněhu, ale vždy však až po provedení pluhování, aby se sůl dostala na povrch vozovky. Při odstraňování vyšších vrstev náledí je většinou nutné použití vyšších dávek chemických posypových materiálů, celková spotřeba posypových solí však při jednom zásahovém dni nemá překročit 60 g/m^2 . Jen ve zcela výjimečných

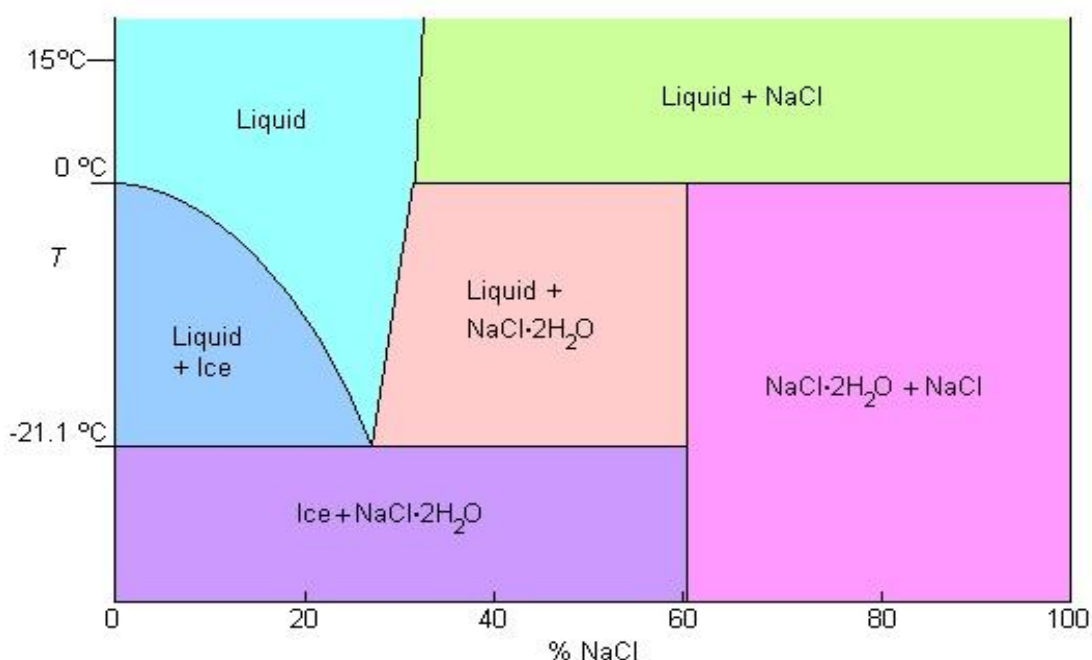
případech, lze použít dávku vyšší než 60 g/m^2 a to v situaci, kdy je nezbytné rychle obnovit úplnou sjízdnost komunikace. Uvedené dávky jsou pro chlorid sodný i pro chlorid vápenatý a jejich maximální uvedené množství nesmí být překročeno.

V této části je také nutné zmínit zákon, který upravuje aplikaci chemických posypových materiálů pro zimní údržbu komunikací a to Zákon č. 114/1992 Sb. Tento zvláštní zákon mimo jiné upravuje aplikaci chemických rozmrazovacích materiálů formou zákazu aplikace chemických posypů na komunikace v národních parcích a chráněných krajinných oblastech dle §16 a §26. Zde je tedy v rozporu chemická zimní údržba silnic a ochrana zvláště chráněných území, jelikož i v těchto oblastech se nachází komunikace, které je nutné v zimních měsících chemicky ošetřit. Tato vzájemná konfrontace je regulována §43 o výjimkách ze zákazů ve zvláště chráněných územích zákona č. 114/1992 Sb. Pro tento účel, tedy může být udělena výjimka ze zákazu ve zvláště chráněných územích (dle §43) v případě, kdy jiný veřejný zájem výrazně převažuje nad zájmem ochrany přírody. Součástí výjimky jsou také podmínky pro zmírnění negativního vlivu chemické údržby na životní prostředí, např. aplikace musí být prováděna moderní technologií, která umožňuje přesné dávkování soli, regulaci dávkování a minimalizaci posypového materiálu, chemicky ošetřený sníh nesmí být ukládán v blízkosti nebo přímo do místních vodotečí, apod. (Rozhodnutí AOPK, 2015).

3.1.2. Chemický posypový materiál

Chemické rozmrazovací materiály díky svým fyzikálním vlastnostem mají schopnost snížit bod mrazu vody pod 0°C a tak v podstatě zabránit vytvoření ledu nebo zajistit tání ledu či sněhu na vozovkách, který se již vytvořil (Melcher, 2001; MD, 2015). Pro tyto účely lze používat např. chlorid sodný, chlorid vápenatý a směsi obou chloridů. Tyto látky se používají ve formě posypu, postřiku nebo jako zvlhčovaná neboli zkrápěná sůl (MD, 2015). Posypové soli tedy snižují bod tuhnutí vody, čím vyšší je koncentrace solného roztoku, tím je nižší bod tuhnutí. Snížení bodu tuhnutí má však svou mez. Pro různé druhy chemických posypů je dána míra maximální koncentrace, při které ještě k tání dochází. Hranicí je teplota určená bodem fázového diagramu, tzv. eutektický bod. Je to teplota, kdy již dochází

k zmrznutí nasyceného roztoku. Solný roztok chloridu sodného má eutektický bod v teplotě -21,1 °C, při které je koncentrace chloridu sodného ve vodě je cca 23% (obr. č. 1). Solný roztok tedy začíná tuhnout až při takto nízké teplotě. Čím více se teplota blíží eutektickému bodu, tím více se proces tání zpomaluje. Hranice praktického užití aplikace solí, při běžné zimní údržbě komunikací, je tedy výrazně nad eutektickým bodem. Při zvýšení koncentrace roztoku nad tento bod zapříčiní, že teplota tuhnutí roztoku se začne zvyšovat. Je tedy účelné dodržovat maximální koncentrace chemických posypů komunikací, vzhledem k omezené míře jejich účinnosti (Dutch, 1997; Melcher, 2001).



Obr. č. 1 Fázový diagram směsi vody a chloridu sodného znázorňuje tzv. eutektický bod, tedy bod mrazu, při kterém již dochází k tuhnutí solného roztoku. Klesne-li teplota pod -21,1 °C tento chemický rozmrazovací posyp ztrácí svou účinnost. Význam také nemá zvyšovat koncentraci chloridu sodného nad 23%, v tomto případě se opět rozmrazovací vlastnost posypu nezvýší.

(Zdroj: Dutch, 1997)

Rozmrazovací chemické látky, které se na území Evropy i Severní Ameriky aplikují nejvíce je chlorid sodný (sůl kamenná), chlorid vápenatý, močovina, aj. Běžně se však díky vlastnostem materiálu nejčastěji používá k údržbě komunikací jen chlorid sodný nebo v menší míře chlorid vápenatý (Fukuda, 1997). Nejvíce používaný chlorid sodný se získává těžbou v dolech nebo se odpařuje z mořské vody. K zimní údržbě komunikací se užívá ve formě pevné nebo jako solný roztok. Chlorid

sodný je aplikován nejčastěji jako 97, 5% s příměsí ferrokyanidu draselného proti spékavosti (Ondráček, 2006). Chlorid sodný je aktivní i pod teplotu -10°C , jako rozmrazovací materiál však nejlépe účinkuje do teploty -5°C až -7°C . Při nižších teplotách (cca pod -11°C) už se stává méně účinným pro tavení sněhu a ledu, protože se již značně zpomaluje jeho rozmrazovací schopnost (Melcher, 2001). Chlorid sodný je užívaným rozmrazovacím činidlem díky jeho dostupnosti, nízké ceně, snadnému skladování a manipulaci. I přes jeho evidentní výhody při zajišťování bezpečné dopravy, má také mnoho škodlivých účinků, týkající se zejména zvýšené hladiny chloridových a sodných iontů rozplavovaných do okolního prostředí komunikací (Hofman et al., 2012).

3.2. Vliv chloridu sodného na prostředí a dřeviny

Chlorid sodný je nejčastěji používaným posypovým materiálem pro zimní údržbu silnic, s jehož vysokým použitím se nabízí otázka, jak významný vliv má na životní prostředí. V mnoha zemích se používá velké množství rozmrazovacích solí již několik desetiletí, což představuje vážný environmentální problém (Černohlávková et al., 2008). Použití rozmrazovacích solí je obvykle velmi úspěšná strategie v krátkodobém horizontu, ale z dlouhodobějšího hlediska je nutné účinky této aplikace řešit (Roth et Wall, 1976).

Ve Spojených státech amerických je za rok aplikováno přibližně 8 – 12 miliónu tun posypové soli (Wegner et Yaggi, 2001). V České republice se spotřeba během jednoho zimního období dle charakteru zimy pohybuje v rozsahu 150 - 300 kt rozmrazovacích solí, z nichž 98% představuje chlorid sodný (Černohlávková et al., 2008). Aplikovaný chlorid sodný je mobilizován tajícím sněhem či ledem a dešťovými srážkami a následně tak vstupuje do půdního prostředí, povrchových vod, horninového prostředí a podzemních vod (Howard et Beck, 1993). Ve vodním prostředí následně chlorid sodný disociuje na kationty sodíku (Na^+) a anionty chlóru (Cl^-). Kationty sodíku se pak v půdním prostředí dále vážou na jiné záporně nabitě ionty a vytěsňují dvojmocné především vápenaté (Ca^{2+}) a hořečnaté (Mg^{2+}) kationty. Chloridové anionty jsou dále transportovány do vod v nezměněné podobě, díky své malé reaktivitě (Ondráček, 2006). Chlorid sodný smytý

z komunikací je zodpovědný za zvýšenou salinitu povrchových a podzemních vod ještě několik měsíců po jeho aplikaci (Thunqvist, 2004).

Rostoucí množství iontů sodíku a chloridu v půdním prostředí ovlivňuje strukturu půdy, disperzi látek, propustnost a osmotický potenciál a vede ke zhoršení kvality půdy a ztrátě stability půdy. Nestabilní půdní vlastnosti pak vedou ke stresovým podmínkám pro půdní makroorganismy a mikroorganismy a pro vegetaci (Černošlávková et al., 2008).

Jedním z nejsnadněji zjištěných účinků aplikace rozmrazovacích posypových solí je snížení zdravotního stavu vegetace v okolí komunikací. Vegetace podél silnic se tak stává významným ukazatelem, který deklaruje vysoké používání solných posypů (Langen et Prutzman, 2006). Vegetace v okolí komunikací je negativnímu účinku soli vystavena dvojitým způsobem. Nadzemní rostlinné tkáně jsou přímo vystaveny solnému roztoku, který je rozstříkovan projíždějícími vozidly. Nepřímé ovlivnění je způsobeno rozlivem solných roztoků do půdního prostředí v okolí komunikací, který působí na chemismus půd, dynamiku půdních procesů a její strukturu a tím přes kořenový systém negativně působí na vegetaci (Semorádová, 2003; Langen et Prutzman, 2006).

Projevem poškození vegetace mohou být např. usychání a nekróza jehlic a listů, zpomalení růstu, nekrotizace kořenového systému, vadnutí, žloutnutí listů, snížení růstu a velikosti listů, životaschopnost semen může být snížena a jejich klíčení může být zpožděno (Langen et Prutzman, 2006). Posypová sůl ovlivňující půdu může snížit příjem vody dřevinou a její transpiraci, což může mít za následek redukci fotosyntézy a následně snížení výšky a tloušťky stromu (Kayama et al., 2003). U jehličnanů lze pozorovat zrudnutí nebo zhnědnutí jehlic (obr. č. 2). Vlivem solného roztoku může také dojít k předčasnému opadu jehlic, kdy se rostlina nadměrné koncentrace chloridů zbavuje, dále pak ke snížení kondice stromu a zpomalení jeho růstu (Cain et al., 2001). Většinou se příznaky vysoké koncentrace soli projevují až v době, kdy rostlina přijímá vyšší množství vody, tedy v jarních měsících. S vodou tak rostlina přijímá i solný roztok (Roth et Wall, 1976). Tolerance ke zvýšenému zasolení se u různých druhů rostlin liší, např. jehličnaté stromy bývají více poškozeny než druhy listnaté, především

při kontaminaci přímým postřikem, a to proto, že jehlice mají větší relativní povrch než listy a tedy větší plochu styku s roztokem (Wegner et Yaggi, 2001).



Obr. č. 2 Poškození asimilačních orgánů smrku ztepilého (*Picea abies*) je způsobeno přítomností vysokého obsahu solí v půdním prostředí. Na jehlicích je zřetelné jejich hnědé zbarvení.

(Zdroj: Mountain High Tree, 2014)

Čím vyšší je koncentrace sodíku a chlóru v půdě, tím vyšší je jejich akumulace v rostlinách a v důsledku toho i větší poškození. Nejvýznamnější příznaky, které lze na těchto dřevinách pozorovat je hnědnutí jehličí, odumírání částí stromů a v extrémních případech i odumření celého stromu. Je zřejmé, že některé z těchto příznaků mohou být důsledkem i jiných příčin, než posypových solí. Jednou z příčin může být například vliv výfukových plynů (Czerniawska-Kusza et al, 2004). Podél komunikací s nižší intenzitou dopravy je však mnoho poškozených stromů, což může poukazovat na to, že hlavní příčinou zasolení jsou posypové soli (Sucoff, 1975; Larcher, 1995). Sníh smíchaný se solí je odklizen nebo taje a končí podél komunikací, kde jsou vysázeny stromy, a infiltruje do půdního prostředí (Sucoff, 1975). U smrkových druhů je známa jejich větší citlivost na zasolení ve srovnání s jinými druhy dřevin (Larcher, 1995). Fostad et Pedersen (2000) ve svém výzkumu dokonce potvrdili, že smrk ztepilý byl nejvíce citlivým na zasolení půd ze všech

ostatních zkoumaných dřevin, kterými byli javor mléč (*Acer platanoides*), bříza bělokorá (*Betula pendula*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a zmíněný smrk ztepilý.

Když je chlorid sodný absorbován rostlinou, různé fyziologické vlastnosti rostliny jsou potlačeny, kvůli nadměrné koncentraci sodíku a chlóru. Vysoké hladiny solí v půdě snižují dostupnost různých živin pro rostliny. Klíčové prvky, jejichž obsah je snižován, když je hladina sodíku vysoká, jsou draslík (K), hořčík (Mg) a vápník (Ca) (Rose et Webber, 2011). Vyplavování těchto živin bylo ověřeno experimentem se solným roztokem, kde došlo k vyplavení vápníku a hořčíku ze substrátu (Bogemans et al., 1989). Ve výzkumu Kayama et al. (2003) bylo také prokázáno, že v poškozených jedincích smrku ztepilého byla v jehlicích nižší koncentrace vápníku. Bylo ověřeno, že koncentrace vápníku a draslíku byly nízké kvůli přítomnosti vysokého množství chloridu sodného (Bogemans et al., 1989), což znamená, že příjem živin byl potlačen.

V České republice v blízkosti komunikací se často nachází smrkové porosty, jejichž zhoršený zdravotní stav je způsoben zejména použitím chloridu sodného, jako rozmrazovacího materiálu, během zimní údržby silnic (Hofstra et Hall, 1971; Fostad et Pedersen, 2000). Spotřeba se v České republice dle charakteru zimy pohybuje v rozsahu 150 – 300 kt za rok, což je srovnatelné s množstvím používaným v jiných Evropských státech (Forczek et al., 2011). Globální tok chlóru z troposféry do pedosféry je odhadován na přibližně 34 miliónů tun za rok, přičemž solení silnic může dosahovat až 60 miliónů tun ročně v severní části polokoule (Houska, 2007). Používání solí během zimní údržby silnic, tak může být značným stresovým faktorem pro přilehlé ekosystémy a může měnit přirozené toky chlóru (Matucha et al., 2010).

Rozmrazovací solné roztoky aplikované v zalesněných částech jsou transportovány mimo komunikaci a přibližně 90% z nich se akumuluje ve vzdálenosti cca 2 – 40 m od silnice (Blomqvist et Johansson, 1999). U smrku ztepilého jsou účinky vysoké salinity vyvolané změnou morfologie a anatomie stromu a mohou mít nepříznivé účinky na vegetativní a reprodukční systém (Kozlowski et Pallardy, 2008). Na malé stromy může mít používání posypových solí letální efekt (Kayama et al., 2003). K příjmu solí jehličnany dochází přes půdní

prostředí kořeny nebo vzduchem přes jehlice, jež je ovlivněn počasím a dalšími lokálními podmínkami (Forczek et al., 2011).

Dle výzkumu Kayama et al.(2003), vysoká hladina sodíku a chlóru v půdě má za následek i vysokou hladinu těchto prvků v jehličí smrku ztepilého a smrku Glehnova (*Picea glenhii*). Mimo jiné potvrdili, že toxický účinek chlóru je větší, než účinek sodíku. Jedním z indikátorů zasolení je tak stanovení obsahu chloridů a sodíku v asimilačních orgánech jehličnanů.

3.3. Minerální výživa a klasifikace biogenních prvků

Biogenní prvky, jsou prvky, které tvoří živé organismy. Základ organických látek tvoří prvky – uhlík (C), vodík (H) a kyslík (O) a dále rostliny obsahují mnoho dalších prvků, které se v nich vyskytují zvláště v anorganických sloučeninách, tyto prvky se nazývají minerální. Majoritní část těchto prvků má v rostlině specifické funkce, jakými jsou metabolické procesy nebo tvorba funkčních struktur. Minerální prvky jsou tak pro existenci všech druhů rostlin nepostradatelné, nenahraditelné a díky jejich funkcím také nezastupitelné. Tyto nezbytné prvky se nazývají esenciální a bez jejich dostatečného množství neabsolvuje rostlina všechna vývojová stádia a její vývoj bývá ukončen dříve (Pavlová, 2006). Minerální živiny jsou prvky, jež jsou součástí důležitých molekul a sloučenin rostlinného organismu a nemohou být nahrazeny jinými prvky, což znamená, že symptom deficitu konkrétního prvku nemůže být eliminován či odstraněn aplikací jiného prvku. Tyto živiny mají přímý vliv na metabolismus rostlinných buněk, orgánů a na vývojový proces a růst rostliny (ČZU, 2012). Prvky můžeme rozdělit do skupin, dle jejich nezbytného obsahu pro správný vývoj rostliny na makrobiogenní prvky (makroelementy), mikrobiogenní prvky (mikroelementy) popřípadě ještě prvky užitečné či ostatní (Richter, 2004; Lhotáková, 2012). Mezi makrobiogenní prvky patří uhlík (C), kyslík (O), vodík (H), dusík (N), fosfor (P), draslík (K), vápník (Ca), hořčík (Mg) a síra (S), jež jsou obecně zastoupeny v 1 kg sušiny rostliny v množství větším než 1000 mg. Mezi prvky mikrobiogenní náleží chlór (Cl), železo (Fe), bór (B), mangan (Mn), zinek (Zn), měď (Cu), nikl (Ni), molybden (Mo) a sodík (Na), jež jsou v 1kg sušiny rostliny zastoupeny množstvím menším než 100 mg (Pavlová, 2006; Lhotáková, 2012).

Některé prvky jako například chlór a sodík mohou být zařazeny i do skupiny prvků užitečných, jejich požadavek na ně je specifický podle druhu rostliny (Richter, 2004). Minerální prvky jako součást rostlin, lze také rozdělit, dle jejich fyziologických a biochemických vlastností. Draslík, vápník, hořčík, chlór a sodík jsou tak dle biochemických vlastností zařazeny do skupiny minerálních látek, jež jsou rostlinou přijímány v iontových formách z půdního roztoku, tedy jako K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Na^+ (Richter, 2004; Lhotáková, 2012).

Obsah minerálních látek, které jsou zařazeny mezi makrobiogení – draslík, vápník a hořčík a mikrobiogenní – chlór a sodík bude v praktické části této práce zjišťován v asimilačních orgánech smrku ztepilého.

Přijímání minerálních látek rostlinou znamená jejich transport do vnitřního prostředí rostlinného těla. Rostliny mohou přijímat minerální látky z okolí prostřednictvím celého povrchu svého těla, ale většina minerálních látek je do rostlin transportována jejich kořenovým systémem z půdního prostředí. Nejvyšší podíl minerálních látek kořenový systém získává přes kořenové vlásky, jež značně zvětšují plochu po příjem látek z půdy (Pavlová, 2006). Kationty (např. K^+) a anionty (např. Cl^-) jejichž formou jsou minerální látky rostlinou přijímány, jsou v půdě rozpuštěné v půdním roztoku (Lhotáková, 2012).

Minerální živiny jsou prvky, jejichž nedostatek nebo nadbytek v půdě, především při jejich nevyrovnaném poměru zastoupení, může vést k různým onemocněním, při kterých lze pozorovat symptomy. Obzvláště deficiencie se projevuje poruchami růstu a metabolických procesů (Mendelova univerzita, 2006). Nedostatečné množství minerálních látek v rostlině se může projevit ve specifických změnách tvaru nebo barvy orgánů, poruchami vývoje, zasycháním, popřípadě snížení rychlosti až zastavení růstu rostliny. Projev syndromu deficiencie je pro různé prvky odlišný a charakteristický. Nároky rostlin na množství jednotlivých prvků se však pro různé rostliny liší. Nedostatečné množství jakéhokoli esenciálního prvku představuje tak pro rostliny limitující faktor pro její vývoj a existenci. V rostlinném těle může být obsah esenciálních prvků o mnoho vyšší, než je nezbytné pro zdravý stav rostlin, avšak některé prvky především mikrogenní mohou při vysokém množství na rostliny působit toxicky (Pavlová, 2006).

Podél komunikací, kde je prováděna aplikace solných rozmrazovacích prostředků, je zvýšená salinita půdního prostředí. Nadměrná přítomnost iontů chlóru a iontů sodíku tak vytváří toxické prostředí pro rostliny rostoucí v okolí těchto komunikací, které tak přijímají nadměrné množství těchto iontů. Minerální výživa rostlin představuje proces příjmu, vedení a využití minerálních látek. Při vysoké hladině množství solí v půdě však dochází ke snížení dostupnosti některých makrobiogenních minerálních látek důležitých pro rostliny a to vede k omezení minerální výživy. Hlavní prvky, k jejichž redukcí dochází zvýšenou hladinou sodíku, jsou draslík, vápník a hořčík (Rose et Webber, 2011). V praktické části práce bylo analyzováno množství sodíku, chlóru, hořčíku, draslíku a vápníku v asimilačních částech jedinců smrku ztepilého, rostoucích podél komunikací, na které jsou aplikovány solné roztoky.

3.4. Vlastnosti vybraných prvků a jejich obsah v jehličí smrku ztepilého

3.4.1. Draslík (K)

Draslík je nejčastěji vyskytujícím se kationtem v těle rostlin a je přijímán jako kationt K^+ (Pavlová, 2006). V rostlině je iont draslíku velmi pohyblivý a jeho charakteristickým rysem je jeho velká schopnost pronikání buněčnými membránami (Richter, 2004). Draselný kationt se neváže do stabilních sloučenin ani struktur, není tedy pevně vázán, vytváří slabé komplexy, ze kterých se snadno uvolňuje (Gloser, 2002; Pavlová, 2006).

Přítomnost draslíku v rostlině je důležitá, kvůli schopnosti regulovat osmotické poměry v buňkách (Pavlová, 2006; Lhotáková, 2012). Prvek také ovlivňuje mnoho metabolických procesů. Velký význam má jeho přítomnost v procesu fotosyntézy a dýchání, a to tak že vytváří optimální podmínky v chloroplastech potřebné pro průběh enzymatických reakcí (Richter, 2004). Draslík reguluje rychlost transpirace rostliny tak, že ovlivňuje otevírání průduchů. Podílí se také na proteosyntéze, ovlivňuje růst buněk a během stresových situací (sucho, nízké teploty) je z rostlinných buněk vyplavován (Richter, 2004; Lhotáková, 2012).

Přijímání draselného kationtu je významně ovlivňováno interakcemi antagonistické povahy, kdy dochází během zvyšování příjmu jednoho prvku k inhibici příjmu prvku jiného. Při zvyšující se koncentraci K^+ dochází ke snižování příjmu např. Ca^{2+} a dalších kationtů a k zvyšování příjmu např. Na^+ , Cl^- a jiných (Richter, 2004; Ulbrichová, 2015). Deficienční syndrom se projevuje zejména na starších částech rostliny (Pavlová, 2006). Dochází k poklesu syntézy proteinů a enzymatické aktivity. Snižuje se odolnost rostliny vůči vodnímu stresu, mrazu a houbovým infekcím (Gloser, 2002; Lhotáková, 2012). Také se vyskytuje zasychání okrajů listů, jejich kroucení a žloutnutí (Lhotáková, 2012; Ulbrichová, 2015). U jehličnatých stromů také dochází k předčasnému opadu starých ročníků jehlic (Ulbrichová, 2015).

Pro smrk ztepilý obsahuje dle Vries et al. (1998) 3,5 – 9 mg/g draslíku v sušině asimilačního aparátu při optimální výživě, kde hodnota 3,5 představuje spodní hranici dostatečné výživy. V analýzách bylo zjištěno, že v sušině v prvních ročnících jehlic smrku ztepilého je obsaženo 5 – 9 mg/g draslíku a v druhých ročnících jehlic je to pak 4 – 7 mg/g (Bouchal, 2012). Množství draslíku v jehličí obecně se stářím jehlic klesá (Truparová et Kulhavý, 2011). Dle studie Kayama et al. (2003) byl u zdravých jedinců smrku ztepilého naměřen obsah draslíku v prvních ročnících v průměru 5,23 mg/g a v druhých ročnících v průměru 3,59 mg/g.

3.4.2. Vápník (Ca)

Vápník je rostlinami vstřebáván jako dvoumocný kationt Ca^{2+} (Pavlová, 2006). Do nadzemních částí je vápník transportován dřevními cévními svazky - tzv. xylémem. Jeho aktivní transport membránami je omezený a redistribuce ze starších částí rostliny do mladších částí je tak limitována (Lhotáková, 2012). Vápník zastává v rostlině několik funkcí. Podílí se na udržení stability buněčné stěny, kde se ho vyskytuje největší množství, dále zajišťuje udržení integrity biologických membrán, u kterých ovlivňuje semipermeabilitu (polopropustnost) a je také důležitým přenašečem signálů v rostlinách. Vápník má také schopnost regulovat osmotické poměry v buňkách a iontovou stabilitu (Gloser, 2002). U stromů dostatek vápníku napomáhá k vyžívání dřeva (Ulbrichová, 2015).

Nedostatek vápenatých iontů se projevuje obzvláště na mladých částech rostliny a to tvorbou deformovaných listů či opadem rostoucích

plodů (Pavlová, 2006). Při deficienci tohoto prvku také dochází ke zbrzdění prodlužovacího růstu rostliny a k zpomalenému růstu kořenů, k zvýšené citlivosti na nedostatek vody, zrychlené respiraci a k poruchám při dělivém růstu (Gloser, 2002; Ulbrichová, 2015).

Optimální obsah vápníku v jehličí smrku ztepilého při jeho adekvátní výživě je v rozsahu 1,5 – 6,0 mg/g v sušině (Vries et al., 1998). Dle analýzy Bouchal (2012) se v jehličí zdravých jedinců smrku ztepilého vyskytuje v prvních ročnicích 2 – 7 mg/g vápníku v sušině. Druhé ročnice jehličí pak obsahovaly 2 – 14 mg/g vápníku v sušině (Bouchal, 2012), což poukazuje na již zmíněnou vlastnost vápníku, tedy omezenou redistribuci tohoto iontu ze starších do mladších částí rostliny (Lhotáková, 2012). Tuto skutečnost potvrzuje i Truparová et Kulhavý (2011), v jejichž výzkumu byly prokázány ve všech druhých ročnicích jehlic vyšší hodnoty vápníku než v ročnicích prvních. Dle studie Kayama et al. (2003) byl u zdravých jedinců smrku ztepilého naměřen obsah vápníku v prvních ročnicích v průměru 5 mg/g a v druhých ročnicích v průměru 10,76 mg/g.

3.4.3. Hořčík (Mg)

Hořčík je přijímán a distribuován po rostlině ve formě dvoumocného kationtu Mg^{2+} (Pavlová, 2006). Příjem hořečnatého kationtu je ovlivněn interakcí antagonistické povahy s vápenatým iontem (Ulbrichová, 2015). Ionť je v rostlině mobilní, z kořenů je transportován do nadzemních částí rostlin dřevními cévními svazky a ze starších do mladších částí rostliny je transportován floémem, tedy lýkovými cévními svazky, které jsou zodpovědné za rozvádění živin po těle rostlin. Příjem hořečnatého kationtu rostlinou může být inhibován výskytem jiných kationtů v půdním roztoku, jako jsou např. K^+ a Ca^{2+} . (Gloser, 2002; Pavlová, 2006). Pozitivně ovlivňuje aktivitu různých enzymů a má význam pro transport sacharidů (Lhotáková, 2012). Strukturně je hořčík vázán v chlorofylu, buněčných stěnách a ribozomech a je tedy nezbytný pro syntézu bílkovin (Gloser, 2002).

Nedostatek hořčíku se projevuje chlorózou na starších listech rostliny. Viditelným symptomem nedostatku je také zakrslý růst (Ulbrichová, 2015). Při deficienci dochází k poklesu rychlosti fotosyntézy a snižuje se obsah fotosynteticky aktivních pigmentů (Lhotáková, 2012). Nedostatek hořčíku způsobuje

inhibici vývoje a růstu, zapříčiněnou omezenou schopností syntetizovat proteiny (Pavlová, 2006).

Ve smrku ztepilém je při optimální výživě obsaženo v sušině asimilačních orgánů 0,6 – 1,5 mg/g hořčíku (Vries et al., 1998). V prvních ročnicích jehlic bylo zjištěno 0,5 – 1 mg/g hořčíku v sušině. Nižší obsah hořčíku v sušině jehlic byl v druhých ročnicích, kde bylo zjištěno 0,3 – 0,9 mg/g (Bouchal, 2012). Dle studie Kayama et al. (2003) byl u zdravých jedinců smrku ztepilého naměřen obsah hořčíku v prvních ročnicích v průměru 0,82 mg/g a v druhých ročnicích v průměru 0,98 mg/g.

3.4.4. Sodík (Na)

Sodík se řadí mezi prvky pro rostliny prospěšné. Sodík je rostlinami přijímán jako iont Na^+ (Pavlová, 2006). Sodík v rostlině reguluje osmotické poměry. Deficience Na^+ se projevuje chlorózami a sníženou tvorbou kořenů (Mendelova univerzita, 2006).

Sodíkový iont je rostlinami přijímán velkou rychlostí, jeho zvyšování v půdním prostředí vede k nárůstu koncentrace v rostlině. Jeho příjem rostlinou také ovlivňuje jiné ionty. Při jeho zvýšeném obsahu dochází ke snížení příjmu draslíku, vápníku a hořčíku rostlinou (Richter, 2004). Proto při zvýšeném zasolení v okolí komunikací dochází u rostlin ke snížení příjmu živin. Obsah sodíku v půdním prostředí bez zasolení je do 50 mg/kg. Při vysokém zasolení při okrajích komunikací může být obsah sodíku v půdě až 900 – 1000 mg/kg (Semorádová, 2003). U zdravých jedinců smrku ztepilého je obsah sodíku dle studie Kayama et al. (2003) v prvních ročnicích v průměru 0,58 mg/g a v druhých ročnicích je obsah tohoto prvku v průměru 0,62 mg/g.

3.4.5. Chlór (Cl)

V přírodě často se vyskytující chlór je snadno rozpustný a ve formě Cl^- je i velmi mobilní, jak v půdním roztoku, tak v těle rostlin (Pavlová, 2006). Ionty chlóru nejsou přijímány pouze kořeny rostlin, ale také asimilačními orgány (Richter, 2004). Chloridový aniont spolu s draselným kationtem mají důležitou funkci

při regulaci osmotických poměrů v buňce (Pavlová, 2006). Chlór se účastní změn otevřenosti průduchů rostlin a také se podílí na fotolýze vody při fotosyntéze (ČZU, 2012). V rostlinách se hromadí v asimilačních orgánech, tedy v listech a jehličí (Ulbrichová, 2015). Rostliny citlivé na obsah Cl^- mají hranici toxicity při koncentraci 2% v sušině rostliny (Richter, 2004).

Deficience Cl^- je u rostlin vzácná, v případě výskytu se projevuje chlorotickým zbarvením do bronzova, vadnutí listů, zakrslostí rostlin, potlačení rozvoje kořenů (Mendelova univerzita, 2006; Lhotáková 2012). Zvýšené množství chlóru naopak působí na rostliny toxicky (Uhlířová et al., 2007). Obsah chloridových iontů v nezasolené půdě je obvykle v rozmezí 30 – 50 mg/kg. Při zvýšení koncentrace chloridových iontů v půdním prostředí, dochází i k nadměrnému přijímání těchto iontů rostlinou a jejich ukládání do asimilačních orgánů (Uhlířová et al., 2007). V prvních ročních jehličí smrku ztepilého je dle výzkumu Kayama et al. (2003) koncentrace chlóru u zdravých jedinců v průměru 0,67 mg/g. Dle stejné studie je ve druhých ročních jehlic smrku ztepilého v průměru 1,09 mg/g chlóru.

Koncentrace prvků - sodíku, chlóru a vápníku je v prvních ročních jehlic nižší než koncentrace těchto prvků v druhých ročních jehlic (tab. č. 1). Koncentrace hořčíku a draslíku je v prvních ročních jehlic smrku ztepilého naopak vyšší než v ročních druhých (tab. č. 1) (Kayama et al., 2003; Bouchal, 2012).

		koncentrace prvků (mg/g)	
		dle Kayama et al. (2003)	dle Bouchala (2012)
sodík	1. ročník	0,58	
	2. ročník	0,62	
chlór	1. ročník	0,67	
	2. ročník	1,09	
hořčík	1. ročník	0,82	0,5 - 1
	2. ročník	0,98	0,3 - 0,9
draslík	1. ročník	5,23	5 - 9
	2. ročník	3,59	4 - 7
vápník	1. ročník	5,00	2 - 7
	2. ročník	10,76	2 - 14

Tab. č. 1 Koncentrace jednotlivých prvků (mg/g) v jehličí prvních a druhých ročníků ve zdravých jedincích smrku ztepilého (Kayama et al., 2003; Bouchal, 2012).
(Zdroj: autor)

B – EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4. Metodika

4.1. Plán pracovního postupu

Pro bioindikaci vlivu chemické zimní údržby, bylo nejprve nutno vybrat lokalitu vhodnou pro tuto experimentální práci. Lokalita musela splňovat několik podmínek, jako jsou vhodné klimatické podmínky, použitá technologie zimní údržby silnic, přítomnost jehličnatých porostů v blízkosti komunikací a citlivost vybrané dřeviny k zasolení půdního prostředí. Studijní území bylo vybráno v oblasti Libereckého kraje jižně od Jizerských hor na severu České republiky (příloha č. 1). Oblast byla pečlivě vybrána, dle zmíněné Zimní údržby na rok 2015/16 v Libereckém kraji (příloha č. 2), kde je specifikováno použití posypových materiálů v dané oblasti (Krajský úřad Libereckého kraje, 2015).

Zdraví vegetace a obsah prvků v orgánech rostlin je významným ukazatelem pro bioindikaci zvýšeného množství soli v prostředí (Langen et Prutzman, 2006). Pro analýzu byl vybrán smrk ztepilý, který se ve vybrané oblasti vyskytuje hojně a často lemuje i komunikace. U smrkových druhů je také známa jejich zvýšená citlivost na zasolení ve srovnání s jinými druhy dřevin (Larcher, 1995), i proto je smrk ztepilý vhodný pro tuto studii.

Pro bioindikaci vlivu zimní údržby tak bylo zvoleno vhodné studijní území a rostlinný druh. Míra kontaminace byla zjištěna chemickou analýzou prvních a druhých ročníků jehličí smrku ztepilého a půdních vzorků. Sledovány byly obsahy prvků – sodíku, chlóru, hořčíku, draslíku a vápníku. U každého odběru bylo třeba také posoudit potenciální míru kontaminace a zdravotní stav jedince. Pro tento účel byly vytvořeny stupnice, které hodnotí míru poškození jedince a potenciální možnost jeho kontaminace vzhledem k podmínkám stanoviště.

Pro tuto studii byly stanoveny následující hypotézy: 1. s vyšší mírou potenciálu kontaminace lokality roste koncentrace sodíku a chlóru v jehličí smrku ztepilého a v půdě, 2. se zhoršujícím se zdravotním stavem stromu roste koncentrace sodíku a chlóru v jehličí smrku ztepilého, 3. koncentrace sodíku a chlóru v jehličí

a v půdě je nižší na lokalitách vzdálenějších od komunikace, než na lokalitách v blízkosti komunikací a 4. koncentrace prvků – sodíku, chlóru, hořčíku, draslíku a vápníku jsou rozdílné v závislosti na ročnicích jehličí vzhledem k jejich různým vlastnostem a mobilitě.

Na základě výsledků analýz a vstupních dat byly navrženy rámcové hodnoty koncentrací prvků (sodíku, chlóru) pro praktické hodnocení míry kontaminace solným rozmrazovacím roztokem.

4.2. Charakteristika studijního území

Studijní území pro sběr vzorků bylo určeno v Libereckém kraji jižně od Jizerských hor na severu České republiky. Území je lokalizováno obcemi s rozšířenou působností - Jablonec nad Nisou a Železný Brod (příloha č. 1). Pro tvorbu mapového výstupu byl použit software ArcGIS verze 10.3 (<http://www.esri.com/>).

Studijní území zasahuje převážně do chladné klimatické oblasti (Hromek et al., 2004). Chladná klimatická oblast je charakteristická průměrnou roční teplotou okolo 5°C a s průměrným ročním úhrnem srážek místy až 1600 mm (Asociace krajů ČR, 2016). Studijní území se nachází v blízkosti Jizerských hor, tedy ve nadmořských výškách cca 310 – 700 m n. m., kde jsou klimatické podmínky chladnější a v zimních obdobích dochází k významnějšímu a většímu spadu sněhových srážek než v nižších polohách České republiky. Vzhledem k výraznějším sněhovým srážkám a nízkým teplotám dochází ke kumulaci sněhové pokrývky a k námraze v dané oblasti a tím k nutnosti odklizení sněhu, námrazy a náledí z místních komunikací pro jejich bezpečnou sjízdnost (Asociace krajů ČR, 2016; Geoportál Libereckého kraje, 2016a).

Území je v kraji s vysokou rozmanitostí přírodních podmínek a s tím související vysokou biodiverzitou ekosystémů (Sýkorová et al., 2015). Zachovalost a vzácnost přírody a krajiny v území prokazuje také velký podíl chráněných území, který zaujímá okolo jedné třetiny rozlohy celého kraje (Geoportál Libereckého kraje, 2016b). Studijní oblast se nachází v blízkosti chráněné krajinné oblasti Jizerské hory,

kde je dle zákona 114/1992 Sb. upraveno používání chemických rozmrazovacích materiálů. Území bylo však zvolená tak, aby nezasahovala do těchto oblastí, kde je aplikace chemických posypových materiálů zakázána.

Studijní území se nachází v okrese Jablonec nad Nisou, kde se lesní komplexy vyskytují hojně a dřeviny lemují i okolí komunikací. Celková lesnatost okresu Jablonec nad Nisou, kde se studijní plocha nachází je nejvyšší z celého Libereckého kraje a činí přibližně 55% rozlohy (Hromek et al., 2004). V celém kraji výrazně převládá zastoupení hospodářsky upřednostňovaných jehličnatých dřevin, které tvoří přibližně 80% lesních porostů s nejvyšším zastoupením smrku ztepilého (CENIA, 2008). V okrese Jablonec nad Nisou je zastoupení smrku ztepilého až téměř 75% (Hromek et al., 2004).

Studijní plocha byla zvolená tak, aby splňovala náležité parametry. V některých částech kraje ve vyšších polohách je rozsáhlé zalesnění a hojný výskyt smrku ztepilého, avšak z důvodů zvláště chráněných území je zde aplikace chemických posypových materiálů omezena. Ve městech a jejich okolí je naopak aplikace posypových solí intenzivní, ale není zde však dostatek jedinců smrku ztepilého pro odběr vzorků. Studijní území se tedy nachází v oblasti, kde jsou veškeré podmínky pro úspěšný odběr a analýzu vzorků splněny.

4.3. Způsob odběru vzorků a použité materiály

Pro tuto práci se z lokality odebíraly vzorky jehličí prvních a druhých ročníků smrku ztepilého a vzorky půdního materiálu z blízkosti jedince, pro stanovení obsahu prvků sodíku, draslíku, hořčíku, vápníku a chlóru. Vzorky byly odebírány v místech s výskytem smrkových porostů podél komunikací a s potenciálem ohrožení lokality kontaminací. Celkem bylo odebráno 32 vzorků prvních ročníků jehlic, ze stejných jedinců i 32 vzorků druhých ročníků a 32 půdních vzorků do 5 m od komunikací. Pro porovnání byly vybrány i vzdálenější lokality od komunikací (minimálně 40 m od komunikací), ze kterých bylo celkem odebráno 12 vzorků asimilačních orgánů z prvních ročníků, stejný počet vzorků druhých ročníků a také 12 vzorků půdního materiálu.

Vzorky byly odebírány podél silnice I. třídy č. 10 v Libereckém kraji, vedoucí severně z města Železný Brod do obce Držkov. Dále byly vzorky sbírány podél silnice III. třídy č. 28745 vedoucí z obce Držkov severozápadně do obce Zásada a dále z obce západně podél silnice III. třídy č. 28743 na obec Pěnčín. Dále se vzorky odebíraly podél navazující silnice III. třídy č. 28741 vedoucí severozápadně do Dolní Černé Studnice a následně podél silnice III. třídy č. 28717 směřující do Jablonce nad Nisou (příloha č. 1).

4.3.1. Odběry půdních vzorků

Pro odběry půdních vzorků byla použita zahradnická lopatka pro odběr z půdního profilu 0 – 25 cm (Semorádová, 2003). V poloměru cca do 1,5 m od každého jedince smrku ztepilého, ze kterého se odebíraly asimilační orgány, byl odebrán vzorek půdy. Celkové množství odebrané půdy (asi 100 g) bylo uloženo do mikrotenových sáčků a označeno patřičným číslem dle lokality odběru (příloha č. 3). Sáčky s odebranými vzorky se pevně neuzavíraly, aby nedošlo k nárůstu plísně. Dále se půdní vzorky ponechaly při pokojové teplotě v otevřených sáčcích tak, aby půda doschla a nedošlo k zmíněnému plesnivění. Vzorky půdy byly vhodně upraveny pro další analýzu. Byly z nich odstraněny velké kameny, popřípadě kusy větví, apod.

4.3.2. Odběry vzorků asimilačních orgánů

Pro odběr asimilačních orgánů smrku ztepilého bylo potřeba kvalitních zahradnických nůžek, pro stříhání větví. Odstříhávaly se větve prvních dvou ročníků, ne pouze samostatné jehličí. U každého jedince smrku ztepilého se získaly první a druhé ročníky větví a ukládaly se zvlášť do papírových pytlíků (příloha č. 3). Každý vzorek pak byl označen příslušným pořadovým číslem a do vlastních záznamů bylo poznamenáno, zda se jedná o první či druhý ročník. Vzorky asimilačních orgánů poté byly taktéž uloženy při pokojové teplotě, aby nedošlo k nárůstu plísní a doschly. Před samotnou analýzou obsahů prvků v asimilačních orgánech tak byly vzorky již suché a jehličí opadalo z větví. Větve pak byly následně z papírových sáčků odstraněny. V každém papírovém sáčku tak zbylo pouze jehličí smrku ztepilého.

4.4. Hodnocení zdravotního stavu

Každý jedinec smrku ztepilého, ze kterého byly odebrány asimilační orgány pro analýzu, byl posouzen i vizuálně z hlediska zdravotního stavu. Bylo třeba sestavit v praxi použitelnou stupnici pro posouzení zdraví jedince na základě vizuálního zhodnocení (Semorádová, 2003). Škála je stanovena hodnotami od 1 do 5, kde 1 znamená nejnižší a 5 nejvyšší míru poškození. Stupnice tak popisuje celkové zdraví stromu z vizuálně dostupných dat, jako je celkové olistění stromu, struktura větví a zbarvení jehlic (Tab. č. 2). Vliv vysoké koncentrace solí se projevuje např. rezavěním asimilačních orgánů či jejich opadem (Cain et al., 2001; Langen et Prutzman, 2006), což jsou také ukazatele zdravotního stavu stromu.

Třída poškození	Popis míry poškození	Charakteristika zdravotního stavu
1	zdravý	bez vizuálně patrných příznaků poškození, bez ztráty jehlic, má sytě zelené nezkrácené jehličí, bez rezavění
2	mírně poškozený	ztráta sytě zelené barvy, rezavění neznatelné, popřípadě jen nepatrné na částech větví
3	středně poškozený	ztráta sytě zelené barvy je výraznější, mírně prorezlé některé části větví
4	poškozený	intenzivnější ztráta sytě zelené barvy, patrný opad jehličí či jeho zkrácení a rezavění
5	silně poškozený	jehlice zkrácené, části větví prorezlé, redukce ročníků - max. 3 ročníky jehlic, prořídlá koruna

Tab. č. 2 Stupnice vytvořená pro hodnocení zdravotního stavu jedinců smrku ztepilého (Semorádová, 2003; Vacek et al., 2007; Anděl, 2011).

(Zdroj: autor)

Při odebírání vzorků jehličí, se vždy hodnotil celkový zdravotní stav jedince dle uvedené stupnice (tab. č. 2) a třída poškození se zaznamenala do vlastních záznamů k danému odebranému vzorku.

4.5. Hodnocení potenciálu kontaminace

Každé místo výskytu jedince, ze kterého byly odebrány vzorky asimilačních orgánů a půdní vzorek z jeho blízkosti, bylo posouzeno z hlediska potenciálu kontaminace. Pro posouzení konkrétních lokalit tak byla vytvořena stupnice, určující míru potenciálu kontaminace (tab. č. 3). Škála je definována hodnotami od 1 do 3, kde 1 znamená nejnižší a 3 nejvyšší potenciál kontaminace. Stupně ohrožení jsou definované především místní polohou komunikace v terénu a kombinací dalších podmínek lokality a nejbližšího okolí, jako je sklon, intenzita solení, terénní změny apod. (Semorádová, 2003).

Třída potenciálu kontaminace	Charakteristika stanoviště
1	jedinec se nachází nad úrovní vozovky, kde je nižší pravděpodobnost kontaminace, vzhledem ke zvedajícímu se terénu
2	jedinec se nachází v úrovni vozovky, na místě bez výrazné terénní změny
3	jedince se nachází v blízkosti komunikace, pod její úrovní či v terénní depresi, kde je potenciál akumulace smytého roztoku

Tab. č. 3 Stupnice vytvořená pro hodnocení potenciálu kontaminace lokality, na které se vyskytuje jedinec vybraný pro odběr asimilačních orgánů a místo pro odběr půdního vzorku. (Zdroj: autor)

Na každé lokalitě s vybraným jedincem smrku ztepilého byla dle škály (tab. č. 3) posouzena míra kontaminace dané lokality a třída potenciálu kontaminace se zaznamenala do vlastních záznamů k dané lokalitě.

Rozsah poškození a míra kontaminace však mohou být odlišné, s ohledem na interakci mnoha faktorů, které jsou závislé na konkrétních podmínkách s různou vahou, jako je poloha komunikace v terénu, frekventovanost dopravy, spádové poměry komunikace či průběh počasí. Předpokládaná ohroženost je nejvíce v blízkosti komunikace a také až do vzdálenosti cca 15 m (Semorádová, 2003), kde může docházet k depozici odstříkující směsi sněhu či vody a solných roztoků způsobené projíždějícími vozidly (Blomqvist, 2001).

4.6. Analýza vzorků

Analýza vzorků půd a jehličí byla provedena v Centru dopravního výzkumu v.v.i. Brno, pracovníky laboratoří pod vedením Mgr. Jitky Hegrové, Ph.D. Pro analýzu byly použity následující metody podle platných postupů - stanovení Na, K, Mg, Ca a stanovení Cl. Veškeré výsledky jsou vztaženy na sušinu vzorků (mg/g sušiny). Analýzy byly provedeny dle postupů laboratoří ALS (2016). V následující části budou tyto postupy podrobněji popsány.

4.6.1. Použité chemikálie

Standardní jednoprvkové roztoky:

Kalibrační roztoky prvků (Na, Ca, K, Mg) byly připraveny z jednoprvkových standardních roztoků firmy Analytika o koncentraci $1000 \text{ g/l} \pm 0,002 \text{ g/l}$. Roztoky byly okyseleny koncentrovanou kyselinou dusičnou ultračistou a naředěny ultračistou vodou.

Ostatní chemikálie a mineralizační činidla:

- ultračistá kyselina dusičná (Analytika),
- 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,
- Dusičnan stříbrný AgNO_3 p.a. (Lach-Ner),
- Chroman draselný K_2CrO_4 p.a. (Lach-Ner),
- Chlorid sodný NaCl p.a. (Penta) pro stanovení faktoru titrace.

Referenční materiál:

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

Referenční materiál SLRS-5 (NRS-CNRC, 2016) certifikovaný obsah Na $5,38 \pm 0,1 \text{ } \mu\text{g/g}$, Mg $2,54 \pm 0,16 \text{ } \mu\text{g/g}$, K $0,839 \pm 0,036 \text{ } \mu\text{g/g}$, Ca $10,5 \pm 0,4 \text{ } \mu\text{g/g}$.

Naměřené hodnoty pro Na: $5,34 \pm 0,09 \mu\text{g/g}$, Mg: $2,54 \pm 0,16 \mu\text{g/g}$, K: $0,810 \pm 0,044 \mu\text{g/g}$ a Ca: $10,5 \pm 0,4 \mu\text{g/g}$.

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.

4.6.2. Přístroje použité pro úpravu a analýzu vzorků

Ke zpracování a analýze vzorků asimilačních orgánů a půdních vzorků byly použity tyto přístroje:

- Analytický síťovací stroj AS 200 basic, Retsch, Hann, Německo (Retsch, 2016),
- Rotační třepačka Reax 20, Heidolph, Německo (Heidolph Instruments, 2016),
- Laboratorní centrifuga Universal 320 R, Hettich, Tuttlingen, Německo (Hettich, 2016),
- ICP-MS Spektrometr 8800 Triple Quadrupole, Agilent, Japonsko (Agilent Technologies, 2014).

4.6.3. Zpracování a příprava vzorků asimilačních orgánů

Nejprve se zjistila celková hmotnost daného vzorku. Vzorek byl kvartován (zmenšování velikosti vzorku) a vykvarovaný díl vzorku byl pro stanovení chloridů upraven na velikost $< 2 \text{ mm}$, pro stanovení vápníku, hořčíku, draslíku a sodíku na velikost $< 0,25 \text{ mm}$.

Pro stanovení chloridů v asimilačních orgánech se nejprve smíchal homogenizovaný vzorek (upraven na velikost $< 2 \text{ mm}$) s vodou v poměru 1:10, následně byl promíchán a přiveden k varu. Ke vzorku byly přidány varné kuličky, které se vzorkem míchají. Po asi minutovém varu se vzorky nechaly zchladnout. Vzorek byl v kontaktu s loužící vodou celkově minimálně 30 minut. Po následné filtraci byl obsah chloridů stanoven titračně - argenometricky .

Pro stanovení kovů (sodíku, draslíku, vápníku a hořčíku) byl vzorek smíchán s 2 M (mol/l) kyselinou dusičnou (HNO_3) v poměru cca 1:12,5 a ponechán 30 minut v kontaktu s kyselinou. Potom byl třicet minut vařen za stálého míchání. Po ochlazení byl filtrován do baňky.

4.6.4. Příprava vodního výluhu půd

Ze vzorku půdy se odstraní větší kameny a části rostlin. Suchý vzorek se prosévá přes síto o velikosti ok 2 mm (Analytický síťovací stroj AS 200 basic). Takto upravený vzorek se použije po přípravu vodního výluhu dle normy ČSN EN 12457 (příloha č. 4). 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 (Rotační třepačka Reax 20) 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. Vzorky půd extrahované vodou se po extrakci odstředí na centrifuze (Laboratorní centrifuga Universal 320 R) 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 (titrační stanovení chloridů a stanovení vybraných prvků metodou (ICP-MS) (příloha č. 4).

4.6.5. Titrační stanovení chloridů

Argentometrické stanovení chloridů je založeno na reakci chloridů se stříbrnými ionty za vzniku bílé sraženiny chloridu stříbrného. K vizuální indikaci bodu ekvivalence se používá jako indikátor chroman draselný (K_2CrO_4), který vytvoří s prvním nadbytkem AgNO_3 červenohnědou sraženinu chromanu stříbrného. Bod ekvivalence se tedy projeví červenohnědým zbarvením původně bílé sraženiny chloridu stříbrného. Podmínkou pro vznik chromanu stříbrného je hodnota pH titrovaného roztoku v rozmezí 6,5 až 10,5. Pracovní postup je následující: k 1 ml vzorku v titrační baňce jsou přidány 4 ml ultračisté vody a 0,15 ml 5% roztoku indikátoru. Po změření pH a jeho úpravě kyselinou dusičnou je vzorek titrován 0,01 M roztokem dusičnanu stříbrného (AgNO_3) za stálého míchání až do ukončení titrace, tedy do vzniku trvalého zbarvení červenohnědou koloidní sraženinou

chromanu stříbrného. Stejně je provedeno i stanovení slepého pokusu (ultračistá voda).

Hmotnost chloridových aniontů ve vzorku se vypočítá podle rovnice (1.1) (Bartoš et al., 2004):

$$1.1 \quad c(Cl) = \frac{(V_{AgNO_3} - V_{bl}) \cdot c_{AgNO_3} \cdot f_{AgNO_3} \cdot M_{Cl}}{m_{navážka \ vzorku}}$$

kde $c(Cl)$ je výsledná koncentrace chloridových iontů v mg/g,

$V(AgNO_3)$ je objem činidla spotřebovaný při titraci vzorku v ml,

$V(bl)$ je objem činidla spotřebovaný při titraci blanku (slepého pokusu) v ml,

$c(AgNO_3)$ je koncentrace použitého titračního činidla v mol/l,

$f(AgNO_3)$ faktor odměrného roztoku (bezrozměrný),

$M(Cl)$ je molární hmotnost v g/mol,

$m(navážka)$ je množství vzorku použité po analýzu v g.

4.6.6. Stanovení obsahu kovů

Ve vzorcích půd i jehličí byl stanoven obsah prvků: sodík, hořčík, draslík, vápník, s využitím hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) a to ve vodním výluhu půd dle kap. 4.6.4. a výluhu jehličí v kyselině dusičné dle kap. 4.6.3 (příloha č. 4).

ICP-MS 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 (Agilent Technologies, 2014). Po vytvoření metody měření a kalibraci, jsou vzorky analyzovány a z kalibračních přímek odečteny koncentrace hledaných prvků v mg/l.

Hledané obsahy prvků v mg/g jsou vypočítány podle rovnice (1.2) (Bartoš et al., 2004):

$$1.2 \quad c_m(\text{prvek}) = \frac{c_{\text{prvek}} \cdot V_{\text{vzorek}}}{m_{\text{navážka}}}$$

kde $c_m(\text{prvek})$ je hledaný obsah prvku v mg/g,

c_{prvek} je koncentrace získaná z kalibrační přímky v mg/l,

V_{vzorek} je objem vzorku použitý pro analýzu v ml,

$m_{\text{navážka}}$ je množství vzorku použité pro analýzu v g.

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. Standardy pro kalibrační závislosti byly připraveny se stejným obsahem činidel jako reálné vzorky.

Meze detekce pro jednotlivé prvky jsou: Na = 0,009 µg/l; Mg = 0,007 µg/l; K = 0,028 µg/l; Ca = 0,149 µg/l. Mez detekce měření je definována jako koncentrace analytu poskytující analytický signál rovný trojnásobku směrodatné odchylky slepého pokusu. Mez detekce v hmotnostní spektrometrii je vyjádřena součtem velikosti signálu měření slepého pokusu plus trojnásobek směrodatné odchylky deseti opakování měření slepého pokusu.

4.7. Statistické hodnocení výsledků analýz

Nejprve byly sumarizovány data a vypočteny základní charakteristiky pro vizualizaci obsahu koncentrací jednotlivých prvků v jehličí a v půdě. Pro posouzení závislosti potenciálu kontaminace a koncentrace prvků v jehličí byl proveden neparametrický Kruskal-Wallisův test (R Development Core Team, 2007). Nejprve byla testována normalita dat (Shapirův-Wilkův test) na hladině významnosti $\alpha = 0,05$; H_0 = data mají normální rozdělení (R Development Core Team, 2007). Normální rozdělení dat se nepotvrdilo, hypotéza H_0 byla zamítnuta. Pro data

s nenormálním rozdělením se aplikují neparametrické testy, proto byl zvolen Kruskal-Walisův test (Novotný, 2011). S vyšší třídou potenciálu kontaminace (tab. č. 3) se předpokládala vyšší koncentrace sodíku a chlóru v jehličích smrku ztepilého a v půdě na dané lokalitě. Byla stanovena nulová hypotéza na hladině významnosti $\alpha = 0,05$; H_0 = koncentrace prvků (v prvních a druhých ročních jehlic a půdě) jsou nezávislé na potenciálu kontaminace.

Kruskal-Wallisův test byl použit i pro posouzení závislosti zdravotního stavu stromu a koncentrace prvků v prvních a druhých ročních jehlic (R Development Core Team, 2007). S horším zdravotním stavem stromu (tab. č. 2) se předpokládá vyšší koncentrace sodíku a chlóru v asimilačních orgánech. Byla stanovena nulová hypotéza na hladině významnosti $\alpha = 0,05$; H_0 = koncentrace prvků (v prvních a druhých ročních jehlic) jsou nezávislé na zdravotním stavu stromu.

Pro porovnání koncentrace sodíku a chlóru (v asimilačních orgánech a v půdě) v blízkosti komunikací a ve vzdálenějších lokalitách byl použit Wilcoxonův párový test (R Development Core Team, 2007). Byl zvolen na základě potvrzení nenormálního rozdělení dat pomocí Shapiro-Wilkova testu (R Development Core Team, 2007). Výpočet testu vychází z párových hodnot dvou měření (Budíková et al., 2005) – v blízkosti komunikace a ve vzdálenější lokalitě. Ve vzdálenějších lokalitách od komunikací se předpokládá nižší obsah chlóru a sodíku než v blízkosti komunikací. Byla stanovena nulová hypotéza na hladině významnosti $\alpha = 0,05$; H_0 = hodnoty koncentrací prvků se v blízkosti komunikací a ve vzdálenějších lokalitách neliší.

Byl také posouzen vztah koncentrace prvků – sodíku, chlóru, vápníku, hořčíku a draslíku v prvních a druhých ročních jehlic. Pro toto porovnání byl také zvolen neparametrický Wilcoxonův párový test na základě potvrzení nenormálního rozdělení dat (R Development Core Team, 2007). Dle studií byl potvrzen rozdíl koncentrací těchto prvků v různých ročních smrku ztepilého (Kayama et al., 2003; Truparová et Kulhavý, 2011; Bouchal, 2012). Byla stanovena nulová hypotéza na hladině významnosti $\alpha = 0,05$; H_0 = hodnoty koncentrací prvků se neliší v prvních a druhých ročních.

5. Výsledky

Pro získání celkového přehledu o koncentračních rozsazích analyzovaných prvků v hodnoceném souboru jsou v následující tabulce uvedeny základní parametry popisné statistiky (tab. č. 4).

	Na (mg/g)			Cl (mg/g)		
	1. ročník	2. ročník	půda	1. ročník	2. ročník	půda
počet vzorků	32	32	32	32	32	32
minimum	*	0.0250	0.0022	*	*	*
1. kvartil	0.0427	0.0689	0.0108	0.2939	0.4238	0.1083
medián	0.0831	0.1405	0.0185	0.6323	0.6521	0.2592
průměr	0.4589	0.6359	0.0311	0.8704	1.1272	0.2297
3. kvartil	0.1231	0.4482	0.0529	1.2233	1.1951	0.3263
maximum	3.7700	5.1066	0.1013	4.0688	6.3273	0.6072
SD	0.9775	1.1236	0.0270	0.8569	1.3132	0.1413
	Mg (mg/g)			K (mg/g)		
	1. ročník	2. ročník	půda	1. ročník	2. ročník	půda
počet vzorků	32	32	32	32	32	32
minimum	0.0004	0.2647	0.0023	*	0.9414	0.0006
1. kvartil	0.6731	0.5467	0.0037	3.9893	3.4295	0.0059
medián	0.8553	0.8304	0.0051	5.5563	5.1949	0.0099
průměr	0.9640	0.8621	0.0065	6.2028	5.1620	0.0125
3. kvartil	1.2370	1.1102	0.0077	7.2714	6.6976	0.0155
maximum	2.0056	1.8770	0.0235	18.7791	9.1051	0.0470
SD	0.4441	1.1346	1.3139	3.3671	2.1623	0.0107
	Ca (mg/g)					
	1. ročník	2. ročník	půda			
počet vzorků	32	32	32			
minimum	*	1.0440	0.0029			
1. kvartil	2.6973	2.8666	0.0062			
medián	3.2632	3.9706	0.0151			
průměr	3.9481	4.9263	0.0206			
3. kvartil	4.8042	5.9738	0.0255			
maximum	12.6679	14.6580	0.0804			
SD	2.5121	3.1731	0.0182			

Tab. č. 4 Numerické charakteristiky dat pro jednotlivé prvky (sodík, chlór, hořčík, draslík, vápník). Koncentrace (mg/g) v prvních a druhých ročních jehličích smrku ztepilého a půdy (* hodnoty pod mírou detekce, SD – směrodatná odchylka).

(Zdroj: autor)

Získané výsledky koncentrací prvků byly vyhodnoceny v závislosti na čtyřech faktorech:

1. na potenciálu kontaminace,
2. na zdravotním stavu,
3. na vzdálenosti od komunikace,
4. na stáří jehličí (první a druhý ročník).

5.1. Vztah koncentrace prvků v jehličí a potenciálu kontaminace lokality

Pro hodnocení vztahu koncentrace sodíku a chlóru v jehličí a půdě a potenciálu kontaminace byly vzorky rozděleny do tří tříd (podrobněji tab. č. 3):

1. **třída** - nejnižší potenciál kontaminace, strom leží mimo možnost kontaminace,
2. **třída** - střední potenciál kontaminace, přechodná zóna s dílčí kontaminací,
3. **třída** - nejvyšší potenciál kontaminace, stromy bezprostředně u silnice.

Základní přehled výsledků je uveden ve formě parametrů popisné statistiky (tab. č. 5, tab. č. 6) a dále v grafech (obr. č. 7, obr. č. 8, obr. č. 9).

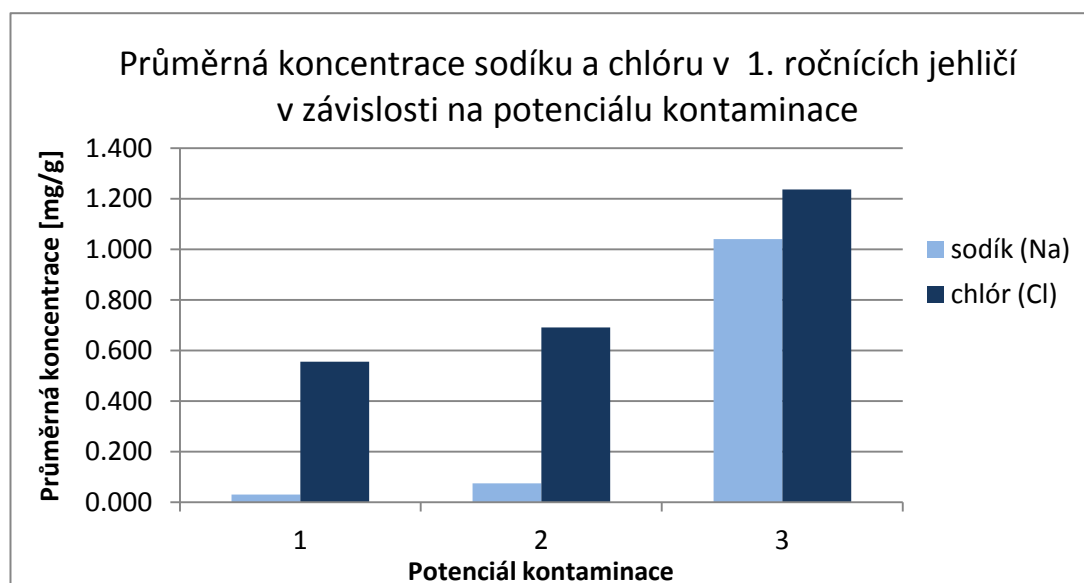
Na (mg/g)	1. třída nejnižší potenciál			2. třída střední potenciál			3. třída nejvyšší potenciál		
	1. ročník	2. ročník	půda	1. ročník	2. ročník	půda	1. ročník	2. ročník	půda
počet vzorků	10	10	9	8	8	10	14	14	13
minimum	*	0.0250	0.0022	0.0216	0.0366	0.0028	0.0884	0.0814	0.0080
1. kvartil	0.0295	0.0391	0.0069	0.0676	0.0653	0.0077	0.1170	0.2630	0.0143
medián	0.0323	0.0652	0.0126	0.0804	0.0964	0.0276	0.3198	0.6008	0.0200
průměr	0.0299	0.0835	0.0272	0.0737	0.1846	0.0319	1.0404	1.3205	0.0330
3. kvartil	0.0415	0.1149	0.0360	0.0833	0.3818	0.0528	1.2602	2.1212	0.0524
maximum	0.0447	0.2282	0.1013	0.0989	0.4482	0.0718	3.7700	5.1066	0.0900
SD	0.0148	0.0610	0.0306	0.0198	0.1646	0.0261	1.3208	1.4623	0.0246

Tab. č. 5 Popisné statistiky koncentrace sodíku v prvních a druhých ročnících jehličí a půdě v závislosti na potenciálu kontaminace (* hodnoty pod mírou detekce, SD – směrodatná odchylka).
(Zdroj: autor)

Cl (mg/g)	1. třída nejnižší potenciál			2. třída střední potenciál			3. třída nejvyšší potenciál		
	1. ročník	2. ročník	půda	1. ročník	2. ročník	půda	1. ročník	2. ročník	půda
počet vzorků	10	10	9	8	8	10	14	14	13
minimum	*	*	*	0.1374	*	*	0.0884	*	*
1. kvartil	0.1457	0.0475	0.0855	0.3027	0.5157	0.2384	4.0688	0.5157	0.1405
medián	0.3446	0.4712	0.1076	0.4057	0.6141	0.2624	0.9458	0.7885	0.2611
průměr	0.5546	0.6943	0.1647	0.6910	0.9380	0.2883	1.2369	1.5852	0.2301
3. kvartil	0.8690	1.0106	0.2621	0.7145	0.9120	0.3508	1.6915	2.1293	0.2954
maximum	1.5460	2.6521	0.3862	2.9397	2.6046	0.6072	4.0688	6.3273	0.4798
SD	0.5320	0.7914	0.1330	0.7458	0.8078	0.1458	0.9827	1.7261	0.1220

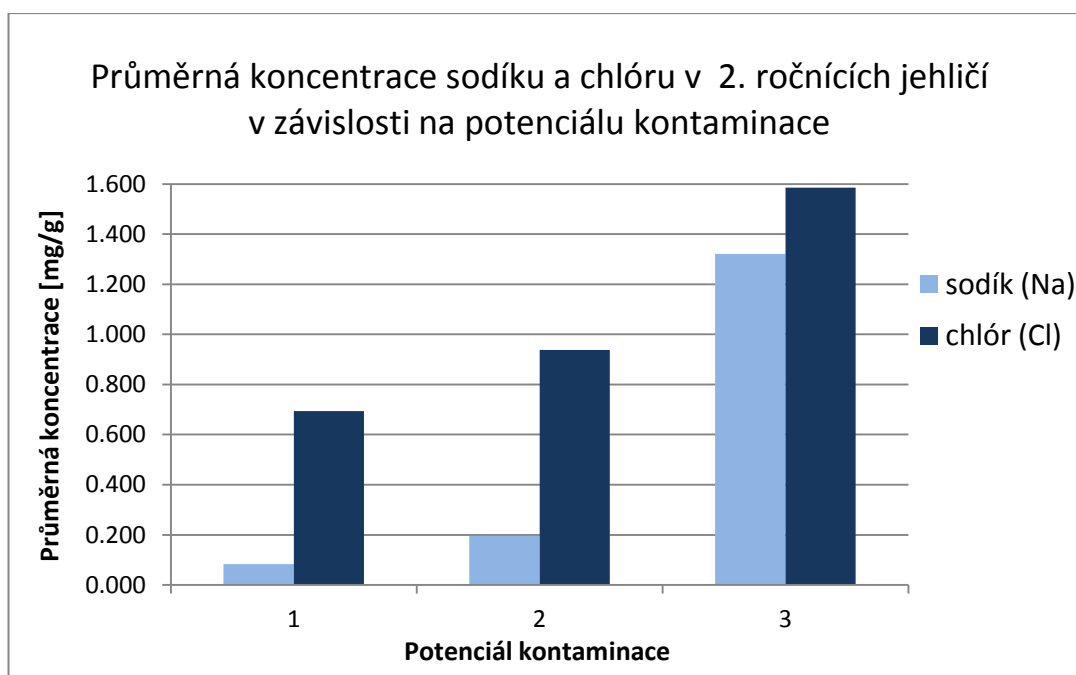
Tab. č. 6 Popisné statistiky koncentrace chlóru v prvních a druhých ročních jehličích a půdě v závislosti na potenciálu kontaminace (* hodnoty pod mírou detekce, SD – směrodatná odchylka).
(Zdroj: autor)

Průměrná koncentrace sodíku v prvních ročních jehličích byla naměřena v 1. třídě kontaminace: 0,030 mg/g, 2. třídě kontaminace: 0,074 mg/g, a 3. třídě kontaminace: 1,040 mg/g, což ukazuje rostoucí tendenci koncentrace se zvyšujícím se potenciálem kontaminace (tab. č. 5, obr. č. 7). Průměrná koncentrace chlóru v prvních ročních jehličích byla naměřena v 1. třídě kontaminace: 0,555 mg/g, 2. třídě kontaminace: 0,691 mg/g, a 3. třídě kontaminace: 1,237 mg/g, což vykazuje rostoucí koncentraci se zvyšujícím se potenciálem kontaminace (tab. č. 6, obr. č. 7).



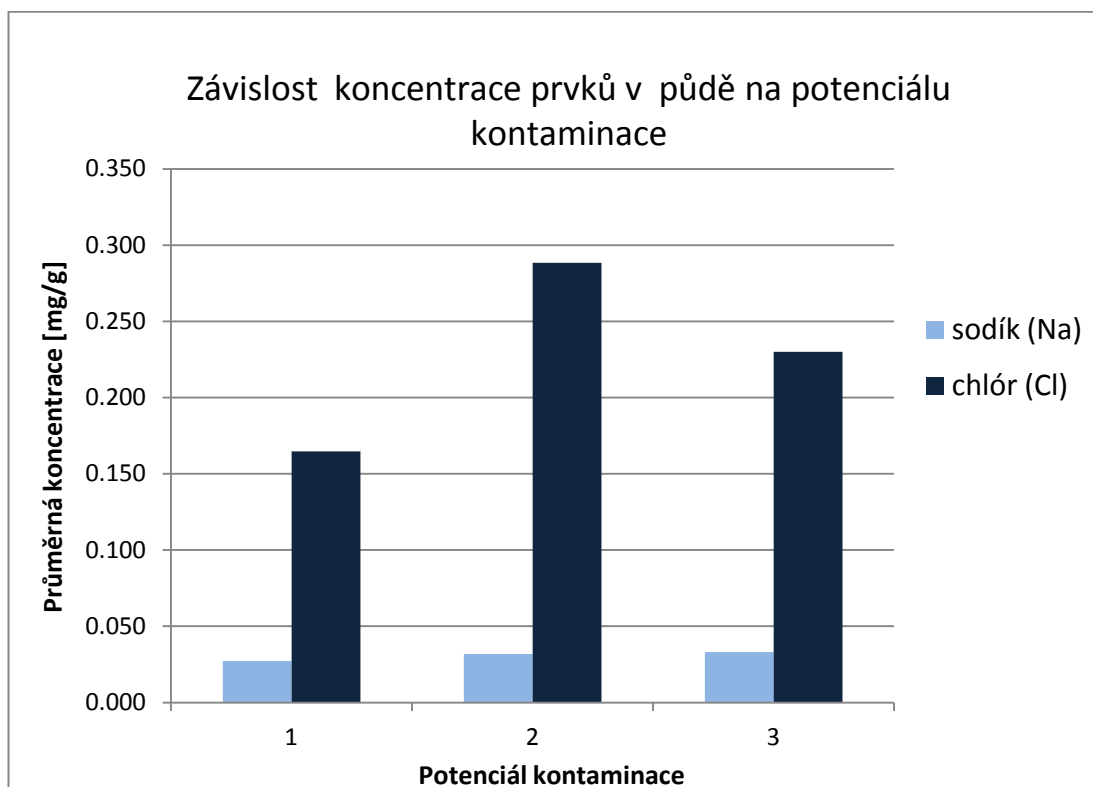
Obr. č. 7 Průměrná koncentrace chlóru a sodíku v prvních ročních jehličích v závislosti na potenciálu kontaminace.
(Zdroj: autor)

Průměrná koncentrace sodíku v druhých ročnicích jehličí byla naměřena v 1. třídě kontaminace: 0,084 mg/g, 2. třídě kontaminace: 0,185 mg/g, a 3. třídě kontaminace: 1,320 mg/g, což ukazuje rostoucí tendenci koncentrace se zvyšujícím se potenciálem kontaminace (tab. č. 5, obr. č. 8). Průměrná koncentrace chlóru v druhých ročnicích jehličí byla naměřena v 1. třídě kontaminace: 0,694 mg/g, 2. třídě kontaminace: 0,938 mg/g, a 3. třídě kontaminace: 1,585 mg/g, což opět ukazuje rostoucí koncentraci se zvyšujícím se potenciálem kontaminace (tab. č. 6, obr. č. 8).



Obr. č. 8 Průměrná koncentrace sodíku a chlóru v druhých ročnicích jehlic v závislosti na potenciálu kontaminace. (Zdroj: autor)

Průměrná koncentrace sodíku v půdě byla naměřena v 1. třídě kontaminace: 0,027 mg/g, 2. třídě kontaminace: 0,032 mg/g a 3. třídě kontaminace: 0,033 mg/g, což ukazuje mírnou rostoucí tendenci koncentrace se zvyšujícím se potenciálem kontaminace (tab. č. 5, obr. č. 9). Průměrná koncentrace chlóru v půdě byla naměřena v 1. třídě kontaminace: 0,165 mg/g, 2. třídě kontaminace: 0,288 mg/g a 3. třídě kontaminace: 0,230 mg/g, (tab. č. 6, obr. č. 9).



Obr. č. 9 Průměrná koncentrace sodíku a chlóru v půdě v závislosti na potenciálu kontaminace. (Zdroj: autor)

Pro testování významnosti rozdílů koncentrací sodíku a chlóru mezi jednotlivými třídami potenciálu kontaminace byl proveden Kruskal-Wallisův test. Ten potvrdil statisticky významnou závislost potenciálu kontaminace na koncentraci sodíku v prvních a druhých ročnících jehlic. Tato závislost se nepotvrdila u chlórů a v půdních vzorcích (tab. č. 7).

	1. ročník	2. ročník	půda
Na	0.000001338	0.000372	0.4236
Cl	0.06851	0.4244	0.2944

Tab. č. 7 Závislost potenciálu kontaminace na koncentraci prvků (sodíku a chlóru) v prvních a druhých ročnících jehličí smrku ztepilého a půdě. Výsledky Kruskal-Wallisova testu (p-hodnoty) (R Development Core Team, 2007). Hodnoty <0,05 potvrzují závislost. (Zroj: autor)

5.2. Vztah koncentrace prvků v jehličí a zdravotního stavu stromu

Pro hodnocení vztahu koncentrace sodíku a chlóru v jehličí a zdravotního stavu stromu byly vzorky rozděleny do pěti tříd (podrobněji tab. č. 2):

1. třída - zdravý jedinec,
2. třída - mírně poškozený jedinec,
3. třída - středně poškozený jedinec,
4. třída - poškozený jedinec,
5. třída - silně poškozený jedinec.

Základní přehled výsledků je uveden ve formě parametrů popisné statistiky (tab. č. 8, tab. č. 9) a dále v grafech (obr. č. 10, obr. č. 11).

Na (mg/g)	1. třída zdravý		2. třída mírně poškozený		3. třída středně poškozený	
	1. ročník	2. ročník	1. ročník	2. ročník	1. ročník	2. ročník
počet vzorků	7	7	10	10	6	6
minimum	*	0.0382	0.0307	0.0250	0.0672	0.0803
1. kvartil	0.0133	0.0421	0.0400	0.0478	0.0833	0.1918
medián	0.0294	0.0634	0.0676	0.0968	0.0965	0.3278
průměr	0.0249	0.0773	0.0617	0.1465	0.0983	0.2952
3. kvartil	0.0368	0.0698	0.0812	0.1377	0.1170	0.3942
maximum	0.0447	0.2282	0.0884	0.4482	0.1242	0.4721
SD	0.0162	0.0584	0.0217	0.1402	0.0190	0.1386
	4. třída poškozený		5. třída silně poškozený			
	1. ročník	2. ročník	1. ročník	2. ročník		
počet vzorků	4	4	5	5		
minimum	0.1068	0.0929	1.1090	1.9140		
1. kvartil	0.1783	0.2062	1.3106	2.1903		
medián	0.3198	0.4867	3.1862	2.9147		
průměr	0.3053	0.4793	2.5603	3.0422		
3. kvartil	0.4468	0.7598	3.4257	3.0855		
maximum	0.4750	0.8507	3.7700	5.1066		
SD	0.1552	0.3183	1.1200	1.1206		

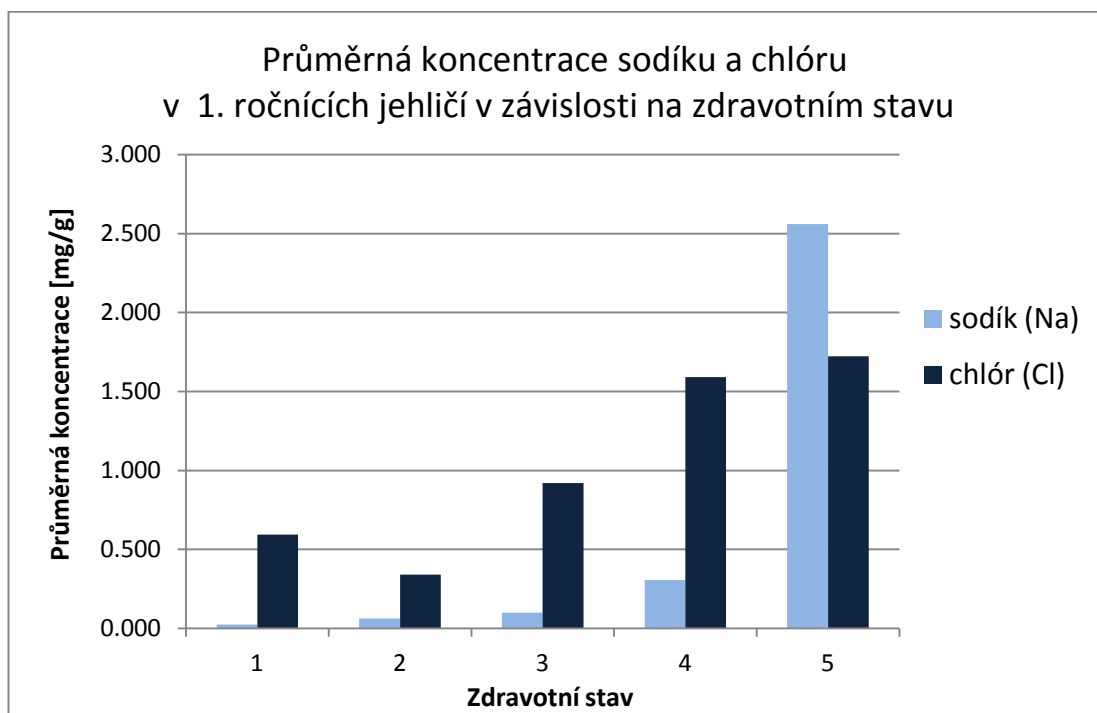
Tab. č. 8 Popisné statistiky koncentrace sodíku v prvních a druhých ročních jehličích v závislosti na zdravotním stavu stromu (* hodnoty pod mírou detekce, SD – směrodatná odchylka).
(Zdroj: autor)

Cl (mg/g)	1. třída zdravý		2. třída míně poškozený		3. třída středně poškozený	
	1. ročník	2. ročník	1. ročník	2. ročník	1. ročník	2. ročník
počet vzorků	7	7	10	10	6	6
minimum	0.0490	*	*	*	0.2354	*
1. kvartil	0.1458	0.4455	0.1793	0.3359	0.5032	0.4331
medián	0.2634	0.6821	0.3931	0.6874	0.7678	0.4961
průměr	0.5939	0.8918	0.3408	1.0819	0.9152	0.5328
3. kvartil	1.0584	1.1463	0.5247	2.0683	0.8570	0.6687
maximum	1.5460	2.6521	0.6323	2.6046	2.9397	1.0167
SD	0.5682	0.7758	0.2181	0.9904	0.7980	0.2767
	4. třída poškozený		5. třída silně poškozený			
	1. ročník	2. ročník	1. ročník	2. ročník		
počet vzorků	4	4	5	5		
minimum	1.0568	0.3825	0.6445	*		
1. kvartil	1.3245	0.5370	0.7012	0.6521		
medián	1.6304	0.9424	1.4187	0.9250		
průměr	1.5916	2.1486	1.7231	1.7286		
3. kvartil	1.8975	2.5541	1.7825	2.8989		
maximum	2.0486	6.3273	4.0688	4.1671		
SD	0.3846	2.4363	1.2495	1.5562		

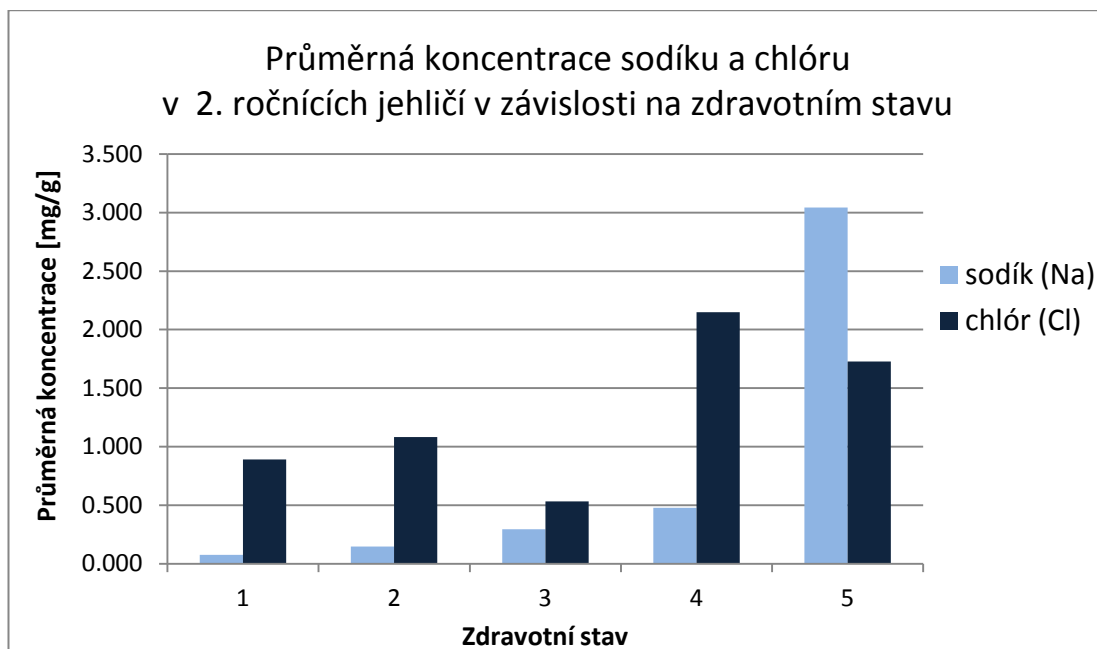
Tab. č. 9 Popisné statistiky koncentrace chlóru v prvních a druhých ročnících jehličí v závislosti na zdravotním stavu stromu (* hodnoty pod mírou detekce, SD – směrodatná odchylka).

(Zdroj: autor)

Průměrná koncentrace sodíku v prvních ročnících jehličí stoupá se zhoršujícím se zdravotním stavem stromu (tab. č. 8, obr. č. 10). U chlóru je tomu obdobně až na první kategorii, kde průměrná koncentrace převyšuje koncentraci v kategorii druhé (tab. č. 9, obr. č. 10). Průměrná koncentrace sodíku v druhých ročnících jehličí také stoupá se zhoršujícím se zdravotním stavem stromu (tab. č. 8, obr. č. 11). U chlóru tato pravidelná rostoucí tendence není patrná (tab. č. 9, obr. č. 11). Přestože uvedené tendence jsou z průměrných koncentrací patrné, vzhledem k malému počtu vzorků v jednotlivých třídách zdravotního stavu, je třeba tyto výsledky považovat za orientační.



Obr. č. 10 Průměrná koncentrace sodíku a chlóru v prvních ročnicích jehličí v závislosti na zdravotním stavu stromu. (Zdroj: autor)



Obr. č. 11 Průměrná koncentrace sodíku a chlóru v druhých ročnicích jehličí v závislosti na zdravotním stavu stromu. (Zdroj: autor)

Pro testování významnosti rozdílů koncentrací sodíku a chlóru mezi jednotlivými třídami zdravotního stavu stromů byl proveden Kruskal-Wallisův test. Ten potvrdil statisticky významnou závislost zdravotního stavu stromu na koncentraci sodíku v prvních a druhých ročních jehličích a na koncentraci chlóru v prvních ročních smrku ztepilého. Závislost koncentrace chlóru v druhých ročních jehličích na zdravotním stavu stromu se nepotvrdila (tab. č. 10).

	1. ročník	2. ročník
Na	0.00001188	0.000429
Cl	0.003753	0.591

Tab. č. 10 Závislost zdravotního stavu stromu na koncentraci prvků (sodíku, chlóru) v prvních a druhých ročních jehličích smrku ztepilého. Výsledky Kruskal-Wallisova testu (p-hodnoty) (R Development Core Team, 2007). Hodnoty <0,05 potvrzují závislost. (Zdroj: autor)

5.3. Srovnání koncentrace prvků v závislosti na vzdálenosti od komunikace

Pro hodnocení vztahu koncentrace sodíku a chlóru v jehličích u jedinců v blízkosti komunikace a jedinců ve vzdálenějších lokalitách od komunikace byly vzorky rozděleny do dvou kategorií:

1. **kategorie** – vzorky odebrané do 5 m od komunikace,
2. **kategorie** – vzorky odebrané minimálně 40 m od komunikace.

Základní přehled výsledků je uveden ve formě parametrů popisné statistiky (tab. č. 11, tab. č.12) a dále v grafech (obr. č. 12, obr. č. 13).

Průměrné koncentrace prvků v prvních a druhých ročních jehlicích a půdě byly u sodíku nižší ve vzdálenějších lokalitách (tab. č. 11, obr. č. 12). Chlór v prvních ročních jehličích vykazuje vyšší průměrnou hodnotu koncentrace ve vzdálenějších lokalitách, v druhých ročních jehličích a v půdě je koncentrace chlóru vyšší v blízkosti komunikace (tab. č. 12, obr. č. 13).

Na (mg/g)	1. kategorie do 5 m			2. kategorie nad 40 m		
	1. ročník	2. ročník	půda	1. ročník	2. ročník	půda
počet vzorků	12	12	12	12	12	12
minimum	*	0.0382	0.0067	0.0205	0.0192	0.0004
1. kvartil	0.0275	0.0555	0.0078	0.0263	0.0359	0.0020
medián	0.0614	0.0972	0.0126	0.0309	0.0602	0.0033
průměr	0.4262	0.8350	0.0263	0.0468	0.0767	0.0049
3. kvartil	0.1155	0.6495	0.0382	0.0542	0.0817	0.0050
maximum	3.4257	5.1066	0.1013	0.1122	0.2298	0.0243
SD	0.9509	1.4834	0.0274	0.0318	0.0598	0.0061

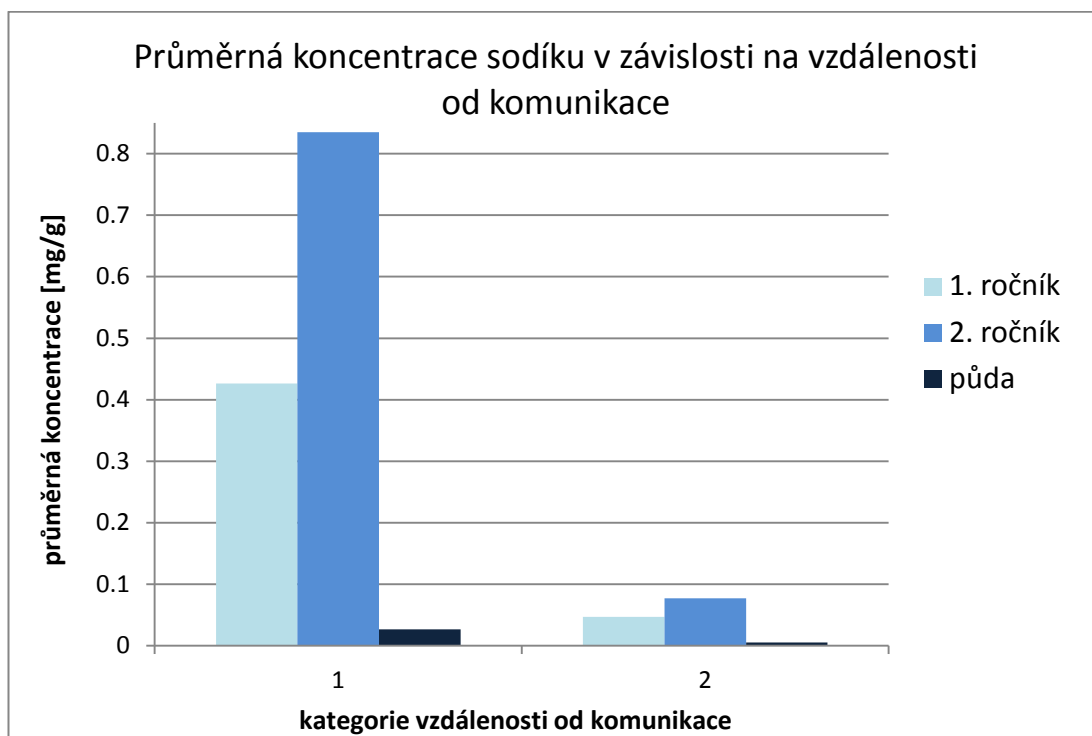
Tab. č. 11 Popisné statistiky koncentrace sodíku v prvních a druhých ročních jehličích a půdě v závislosti na vzdálenosti od komunikace (* hodnoty pod mírou detekce, SD – směrodatná odchylka).

(Zdroj: autor)

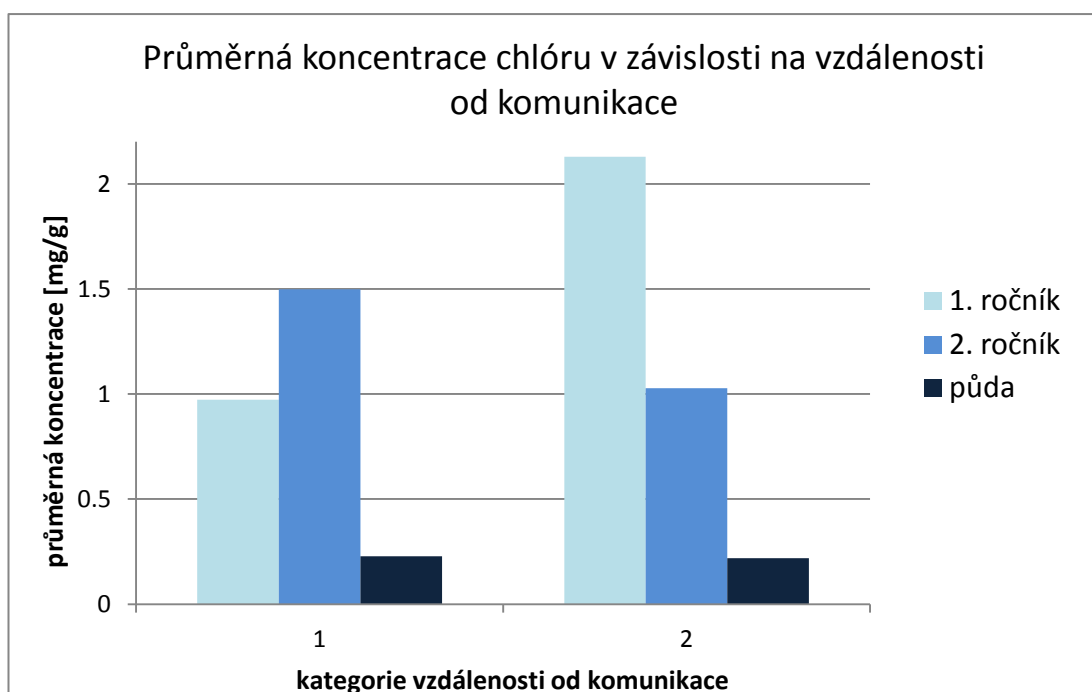
Cl (mg/g)	1. kategorie do 5 m			2. kategorie nad 40 m		
	1. ročník	2. ročník	půda	1. ročník	2. ročník	půda
počet vzorků	12	12	12	12	12	12
minimum	0.0490	*	*	*	*	*
1. kvartil	0.2486	0.3793	0.1515	0.6783	0.0000	0.0867
medián	0.4850	0.6515	0.2615	1.5475	0.6286	0.1983
průměr	0.9729	1.4985	0.2283	2.1294	1.0270	0.2182
3. kvartil	1.4468	2.5705	0.2847	2.0924	1.3252	0.3381
maximum	4.0688	6.3273	0.3862	7.2704	4.0247	0.5227
SD	1.0944	1.7691	0.1142	2.3199	1.2111	0.1711

Tab. č. 12 Popisné statistiky koncentrace chlóru v prvních a druhých ročních jehličích a půdě v závislosti na vzdálenosti od komunikace (* hodnoty pod mírou detekce, SD – směrodatná odchylka).

(Zdroj: autor)



Obr. č. 12 Průměrná koncentrace sodíku v prvních a druhých ročnících jehličí a půdě v závislosti na vzdálenosti od komunikace (1. kategorie – do 5 m, 2. kategorie – nad 40m). (Zdroj: autor)



Obr. č. 13 Průměrná koncentrace chlóru v prvních a druhých ročnících jehličí a půdě v závislosti na vzdálenosti od komunikace (1. kategorie – do 5 m, 2. kategorie – nad 40m). (Zdroj: autor)

Pro testování významnosti rozdílů koncentrací sodíku a chlóru v závislosti na vzdálenosti od komunikace byl proveden Wilcoxonův párový test. Ten potvrdil statisticky významnou odlišnost koncentrací prvků mezi blízkými a vzdálenými lokalitami u chlóru v prvních ročnících jehličí a u sodíku v druhých ročnících jehličí a v půdě (tab. č. 13).

	sodík			chlór		
	1. ročníky	2. ročníky	půda	1. ročníky	2. ročníky	půda
p-hodnota	0.099	0.01855	0.01221	0.03418	0.2061	0.791

Tab. č. 13 Porovnání obsahů prvků (sodíku, chlóru) v blízkých a vzdálených lokalitách v 1. ročnících jehlic, 2. ročnících jehlic a v půdě. Výsledky Wilcoxonova párového testu (p-hodnoty) (R Development Core Team, 2007). Hodnoty < 0,05 potvrzují významnou odlišnost v koncentracích.

(Zdroj: autor)

5.4. Srovnání koncentrací prvků v závislosti na stáří jehličí

Pro hodnocení vztahu koncentrace sodíku, chlóru, hořčíku, draslíku a vápníku v jehličí v závislosti na ročníku byly vzorky rozděleny na první a druhé ročníky.

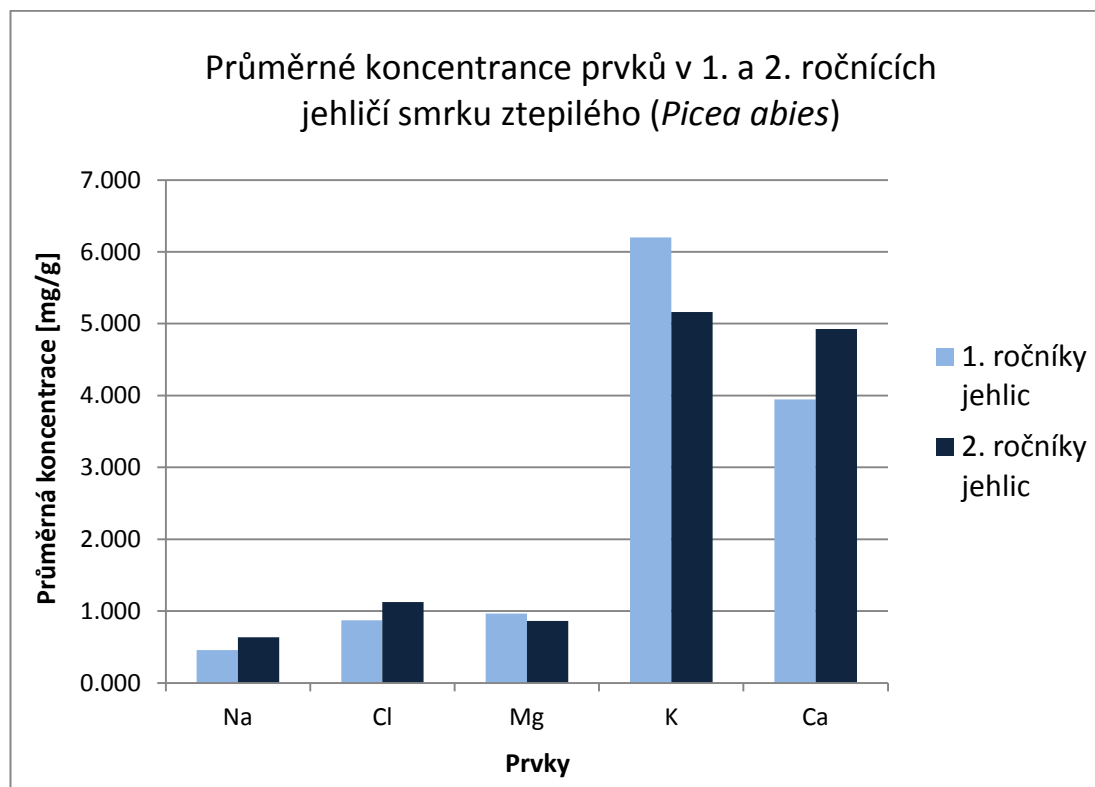
Základní přehled výsledků je uveden ve formě parametrů popisné statistiky (tab. č. 14) a dále v grafu (obr. č. 14).

	Na (mg/g)		Cl (mg/g)		Mg (mg/g)		K (mg/g)		Ca (mg/g)	
	1. ročník	2. ročník	1. ročník	2. ročník	1. ročník	2. ročník	1. ročník	2. ročník	1. ročník	2. ročník
počet vzorků	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
minimum	*	0.0250	*	*	0.0004	0.2647	*	0.9414	*	1.0440
1. kvartil	0.0427	0.0689	0.2939	0.4238	0.6731	0.5467	3.9893	3.4295	2.6973	2.8666
medián	0.0831	0.1405	0.6323	0.6521	0.8553	0.8304	5.5563	5.1949	3.2632	3.9706
průměr	0.4589	0.6359	0.8704	1.1272	0.9640	0.8621	6.2028	5.1620	3.9481	4.9263
3. kvartil	0.1231	0.4482	1.2233	1.1951	1.2370	1.1102	7.2714	6.6976	4.8042	5.9738
maximum	3.7700	5.1066	4.0688	6.3273	2.0056	1.8770	18.7791	9.1051	12.6679	14.6580
SD	0.9775	1.1236	0.8569	1.3132	0.4441	1.1346	3.3671	2.1623	2.5121	3.1731

Tab. č. 14 Popisné statistiky koncentrace sodíku, chlóru, hořčíku, draslíku a vápníku v prvních a druhých ročnících jehličí (* hodnoty pod mírou detekce, SD – směrodatná odchylka).

(Zdroj: autor)

Průměrná koncentrace jednotlivých prvků v obou ročnících jehličí ukazuje odlišnost těchto koncentrací. Sodík, chlór a vápník vykazují vyšší koncentraci v druhých ročnících jehličí a naopak hořčík a draslík vykazují vyšší koncentraci v prvních ročnících jehličí (tab. č. 14, obr. č. 14).



Obr. č. 14 Průměrné koncentrace jednotlivých prvků (sodíku, chlóru, hořčíku, draslíku a vápníku) v prvních a druhých ročnících jehlic smrku ztepilého. (Zdroj: autor)

Pro testování významnosti rozdílů koncentrací sodíku, hořčíku, draslíku, vápníku a chlóru v závislosti na ročníku jehličí byl proveden Wilcoxonův párový test. Ten potvrdil statisticky významnou rozdílnost koncentrací u sodíku a draslíku (tab. č. 15)

	Na	Mg	K	Ca	Cl
p-hodnota	0.001235	0.1716	0.04754	0.1106	0.4776

Tab. č. 15 Porovnání obsahů prvků (sodíku, hořčíku, draslíku, vápníku a chlóru) v prvních a druhých ročnících jehlic. Výsledky Wilcoxonova párového testu (p-hodnoty) (R Development Core Team, 2007). Hodnoty < 0,05 potvrzují významnou odlišnost v koncentracích. (Zdroj: autor)

6. Diskuse

Závislost obsahu koncentrace sodíku (v obou ročnicích jehlic) na potenciálu kontaminace byla potvrzena. S vyšším potenciálem kontaminace rostla i průměrná koncentrace sodíku v jehlicích (obr. č. 7, obr. č. 8). Tuto skutečnost potvrdila i studie dle Kayama et al. (2003), kde obsahy sodíku v jehlicích smrku ztepilého ze vzdálenějších lokalit s menším potenciálem kontaminace solí byly nižší, než u jedinců s větším potenciálem kontaminace. U chlóru se tato skutečnost testem nepotvrdila, ale z průměrných hodnot koncentrace (tab. č. 6) lze pozorovat jistou vzestupnou tendenci se zvyšujícím se potenciálem kontaminace (obr. č. 7, obr. č. 8). Tento jev může být způsoben snadnou rozpustností a následnou vysokou mobilitou chloridových aniontů v půdě i v těle rostlin (Pavlová, 2006). Dochází tak k jeho vyplavování z půdy mnohem snáze a rychleji než je tomu u sodíku.

Zdravotní stav stromu je důležitým ukazatelem kontaminace (Langen et Prutzman, 2006). Závislost zdravotního stavu stromu a obsahu sodíku v obou ročnicích jehličí se potvrdila (tab. č. 10). Se zhoršujícím se stavem stromu je patrná zvyšující se průměrná koncentrace sodíku v jehličí (obr. č. 10, obr. č. 11). Dle studie Kayama et al. (2003) bylo také zjištěno, že obsahy sodíku jsou u poškozených stromů s horším zdravotním stavem vyšší. I u chlóru se tato zvyšující tendence potvrdila, ale jen u prvních ročníků jehlic (tab. č. 10). Druhé ročníky ukazují různorodou koncentraci v závislosti na zdravotním stavu stromu (obr. č. 11), což může být způsobeno opět jeho zvýšenou mobilitou (Pavlová, 2006) nebo např. jeho přímým ostřikem solným roztokem (Langen et Prutzman, 2006; Semorádová, 2003), kdy mohou určité ročníky (kontaminované přímým ostřikem) vykazovat vysoké hodnoty koncentrace chlóru, ale na celkovém zdravotním stavu stromu se nemusejí výrazně projevit.

U porovnání koncentrací sodíku a chlóru dle vzdálenosti lokality od komunikace se potvrdil rozdíl v koncentracích u chlóru v prvních ročnicích jehlic a u sodíku v druhých ročnicích jehličí (tab. č. 13). U půdních vzorků se potvrdila odlišnost koncentrací u sodíku (tab. č. 13). Výrazný rozdíl koncentrací chlóru u prvních ročníků jehličí mezi blízkými a vzdálenými lokalitami však poukazuje dle průměrných koncentrací v jehličí (tab. č. 12), že zvýšené množství chlóru bylo

u vzdálenějších lokalit. Semorádová (2003) však uvádí, že kritickými lokalitami pro akumulaci solných roztoků, mohou být i lokality vzdálené 30 – 70 m od komunikace i dále kvůli různým činitelům, jako jsou prudké svahy, vyústění odtokových zařízení z komunikací či podmáčené paty svahů. Cain et al (2001) také uvádí, že ke kumulaci prvků ze solných rozmrazovacích materiálů může docházet i ve větších vzdálenostech od vozovky v důsledku mnoha vlivů. Akumulace chlóru pak v těchto místech může být výraznější, vzhledem k jeho vysoké mobilitě v půdním prostředí i v rostlinách. U sodíku v prvních ročnících jehličí se nepotvrdil výrazný rozdíl (tab. č. 13). Průměrná koncentrace sodíku ve vzdálenějších lokalitách však ukazuje jistý pokles toho prvku v prvních a druhých ročnících jehličí i v půdě (tab. č. 11).

Porovnání obsahu prvků (sodíku, chlóru, hořčíku, draslíku a vápníku) v prvních a druhých ročnících jehličí se testem potvrdil statisticky významný rozdíl koncentrací u sodíku a draslíku (tab. č. 15). Průměrná koncentrace jednotlivých prvků v odebraných vzorcích ukazuje jistou odlišnost těchto koncentrací u všech prvků (tab. č. 14, obr. č. 14). Sodík, chlór a vápník vykazují v prvních ročnících jehličí nižší hodnoty než v ročnících druhých. Transport vápníku je v rostlinách omezený a jeho redistribuce ze starších ročníků do mladších je limitována (Lhotáková, 2012). Koncentrace vápníku je v prvních ročnících nižší jak potvrdil i Kayama et al. (2003), Truparová et Kulhavý (2011) a Bouchal (2012) ve svých studiích. Sodík a chlór také vykazují menší koncentrace v prvních ročnících jehličí než v druhých a tuto tendenci potvrdili i studie Kayama et al. (2003) a Suchara et al. (2011). Průměrný obsah draslíku v prvních ročnících jehličí byl vyšší než v druhých (tab. č. 14). Množství draslíku v jehličí obecně se stářím jehlic klesá (Truparová et Kulhavý, 2011). Ve studii Bouchal (2012) byla také naměřena v prvních ročnících (5 – 9 mg/g) větší koncentrace draslíku než v druhých (4 – 7 mg/g). Tento trend byl potvrzen i u Kayama et al. (2003). U hořčíku byl průměrný obsah také vyšší v prvních ročnících jehličí než v druhých (tab. č. 14), což bylo potvrzeno i ve studiích Kayama et al. (2003) a Bouchal (2012).

Na základě výsledků a zhodnocení literárních údajů byla na závěr navržena stupnice s rámcovými hodnotami koncentrací pro praktické posouzení stupně kontaminace. Stupnice byla navržena zvlášť pro obsah sodíku a zvlášť pro obsah chlóru v prvních a druhých ročních jehličích smrku ztepilého (tab. č. 16).

třída	míra koncentrace	stav stromu	Na (mg/g)		Cl (mg/g)	
			1. ročník	2. ročník	1. ročník	2. ročník
1	běžná	zdravý	< 0,6	< 0,9	< 0,7	< 1,1
2	mírně zvýšená	mírně poškozený	0,7 - 1,9	1,0 - 2,9	0,8 - 2,0	1,2 - 2,4
3	vysoká	poškozený	> 2,0	> 3,0	> 2,1	> 2,5

Tab. č. 16 Navržená stupnice koncentrací sodíku a chlóru v prvních a druhých ročních jehličích smrku ztepilého pro praktické posouzení stupně kontaminace.

(Zdroj: autor)

7. Závěr

Chemická zimní údržba patří mezi významné negativní vlivy na životní prostředí. Aplikace solných rozmrazovacích materiálů na komunikace během zimních období působí negativně na okolní dřeviny, které se nacházejí v místech, kde se rozplavují solné roztoky. Studium tohoto vlivu na vybraném jehličnanu - smrku ztepilém (*Picea abies*) potvrdilo vysoké koncentrace sodíku a chlóru v jedincích nacházejících se v lokalitách zvýšené potenciální kontaminace. Byl také pozorován zhoršující se zdravotní stav smrků ztepilých v závislosti se zvyšující se koncentrací sodíku a chlóru v jehličí. Práce popisuje a hodnotí negativní vlivy těchto prvků na okolní vegetaci a potvrzuje jejich kumulaci v asimilačních orgánech. Smrk ztepilý je vhodný k bioindikaci chemické zimní údržby vzhledem k jeho zvýšené citlivosti k zasolení a jeho hojnému výskytu v zájmovém území. Navržená stupnice s rámcovými hodnotami koncentrací (v jehličí smrku ztepilého) tak může být použita pro praktické posouzení stupně kontaminace a kontrolu zimní údržby. Pro zvýšení praktické využitelnosti bioindikace by bylo vhodné vytvořit obdobné stupnice pro další druhy hojně rozšířených dřevin a ověřit jejich platnost i v jiných klimatických oblastech.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

Agilent Technologies, 2016: Agilent 8800 Triple Quadrupole ICP-MS. Agilent, Německo, online: http://www.agilent.com/cs/library/brochures/59910079EN_8800_ICPQQQ_Brochure.pdf, cit. 23.3.2016.

ALS, 2016: ALS Czech republic, s.r.o. Akreditované analytické laboratoře, Praha, online: <http://alsglobal.cz/>, cit. 29.3.2016.

Anděl P., 2011: Ekotoxikologie, bioindikace a biomonitoring. Evernia s.r.o., 1. vyd., Liberec.

Asociace krajů ČR, 2016: Charakteristika kraje. Asociace krajů České republiky, online: <http://www.asociacekrajů.cz/kraje-cr/liberecky-kraj/charakteristika-kraje-5/>, cit. 2.2.2016.

Bartoš M., Šrámková J., Staněk V., Renger F. et Kalous J., 2004: Analytická chemie I. Katedra analytické chemie, Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice.

Blomqvist G. et E. - L. Johansson, 1999: Airborne spreading and deposition of de-icing salt — a case study. *Science of The Total Environment*. 235 (1-3): 161-168.

Blomqvist G., 2001: De-icing salt and roadside environment. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

Bogemans J., Neirinckx L., Stassart J. M., 1989: Effect of deicing chloride salts on ion accumulation in spruce (*Picea abies* (L.) sp.). *Plant and Soil*, 113: 3–11.

Bouchal J., 2012: Půdní prostředí lesních ekosystémů na krystaliniku 2 – 3. LVS a eventuelní rizika z toho vyplývající v oblasti VLS Ketkovice. Bakalářská práce, Ústav geologie a pedologie, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně.

Budíková M., Mikoláš Š. et Lerch T., 2005: Základní statistické metody. Masarykova univerzita, 1. vyd., Brno. 180 s.

Cain N. P., Hale B., Berkelaar E. et Morin D., 2001: Review of the Effects of NaCl And other Road Salts on Terrestrial Vegetation in Canada. Report submitted to the Environment Canada CEPA Priority Substances List Environmental Resource Group on Road Salt. Existing Substances Branch, Environment Canada, Hull Quebec.

CENIA, 2008: Stav životního prostředí v jednotlivých krajích České republiky v roce 2007. Česká informační agentura životního prostředí, Ministerstvo životního prostředí, spolupráce: Krajský úřad Libereckého kraje, Český hydrometeorologický úřad, Státní zdravotní ústav, online: [http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/cenmsfsozxii/\\$file/liberecky_kraj-web.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/cenmsfsozxii/$file/liberecky_kraj-web.pdf), cit. 9.2.2016.

Černohlávková J., Hofman J., Bartoš T., Sáňka M. et Anděl P., 2008: Effects of road deicing salts on soil microorganisms. *Plant, Soil and Environment*, 54 (11): 479 – 485.

ČSN EN 12457, 2003: Charakterizace odpadů, vyluhování, ověřovací zkouška vyluhovatelnosti zrnitých odpadů a kalů. Český normalizační institut, Praha.

ČZU, 2012: Minerální výživa rostlin. Katedra botaniky a fyziologie rostlin, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Česká zemědělská univerzita v Praze, online: http://kbfr.agrobiologie.cz/download/3_Mineralni_vyziva_rostlin.pdf, cit. 19.2.2016.

Czerniawska-Kusza I., Kusza G. et Dużyński M., 2004: Effect of Deicing Salts on Urban Soils and Health Status of Roadside Trees in the Opole Region. *Environmental Toxicology*, 19(4), 296-301.

Dutch S., 1997: Simple Eutectic. Natural and Applied Sciences, University of Wisconsin - Green Bay, Wisconsin, online: <https://www.uwgb.edu/dutchs/Petrology/beutect.htm>, cit. 21.1.2016.

Fischel M., 2001: Evaluation of selected deicers based on a review of the literature. Colorado dept. of transportation, research branch, final report, Denver, Colorado.

Forczek S.T., Benada O., Kofroňová O., Sigler K., Matucha M., 2011: Influence of road salting on the adjacent Norway spruce (*Picea abies*) forest. *Plant Soil Environmental*, 57(7): 344–350.

Fostad O. et Pedersen P. A., 2000: Container-grown tree seedling responses to sodium chloride applications in different substrates. *Environmental Pollution*, 109(2): 203-210.

Fukuda T., 1997: The removal and the melting of snow on roads. Department of Infrastructure Planning, Tohoku University, Sendai, Japan. In: Izumi M., Nakamura T. et Sack L. R. [eds]: *Snow Engineering: Recent Advances*, Balkema, Rotterdam.

Geoportál Libereckého kraje, 2016a: Klimatické podmínky. Geoportál Libereckého kraje, online: <https://maps.kraj-lbc.cz/mapserv/prvkuk/dokumenty/klima.htm>, cit. 2.2.2016.

Geoportál Libereckého kraje, 2016b: Příroda. Geoportál Libereckého kraje, online: <http://geoportal.kraj-lbc.cz/priroda>, cit. 12.2.2016.

Gloser V., 2002: Draslík, vápník, hořčík. Minerální výživa rostlin, Ústav experimentální biologie, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Brno, online: http://www.sci.muni.cz/m_vyziva/pdf/prednaska7.pdf, cit. 19.2.2016.

Heidolph Instruments, 2016: Overhead shakers Reax 20. Heidolph, Německo, online: <http://www.heidolph-instruments.com/products/shakers-mixers/overhead-shakers/reax-2012/>, cit. 23.3.2016.

Hettich, 2016: Universal 320/320 R Benchtop Centrifuges. Hettich, Tuttlingen, Německo, online: <http://www.hettichcentrifuge.co.uk/pdf/universal320.pdf>, cit. 23.3.2016.

Houska C., 2007: Deicing Salt – Recognizing the Corrosion Threat. International Molybdenum Association, Pittsburgh, online: http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/DeicingSalt.pdf, cit. 26. 6. 2016.

Hromek J., Višňák R., Martinovský V., Morávková K., Vargová J., Vonička P., Lubojacký O. et Šmída J., 2004: Charakteristika současného stavu životního prostředí. Koncepce ochrany přírody a krajiny Libereckého kraje, Liberec, online: http://www.kraj-lbc.cz/public/kopk_a_241_2_2fc038822e.pdf, cit. 2.2.2016.

Hofman J., Trávníčková E. et Anděl P., 2012: Road salts effects on soil chemical and microbial properties at grassland and forest site in protected natural areas. *Plant, Soil and Environment*, 58 (6): 282 – 288.

Hofstra G. et Hall R., 1971: Injury on roadside trees: leaf injury on pine and white cedar in relation to foliar levels of sodium and chloride. *Canadian Journal of Botany*, 49(4): 613-622.

Howard K. W. F., Beck P. J., 1993: Hydrogeochemical implications of groundwater contamination by road deicing chemicals. *Journal of kontaminant hydrology*, 12 (3): 245 – 268.

Kayama M., Quoreshi A. M., Kitaoka S., Kitahashi Y., Sakamoto Y., Maruyama Y., Kitao M. et Koike T., 2003: Effects of deicing salt on the vitality and health of two spruce species, *Picea abies* Karst., and *Picea glehnii* Masters planted along roadsides in northern Japan. *Environmental Pollution*, 124: 127-137.

Kozłowski T. T. et Pallardy S. G., 2008: Photosynthesis. Physiology of woody plants. 3rd ed., Elsevier, Boston.

Krajský úřad Libereckého kraje, 2015: Zimní údržba na rok 2015/16 v Libereckém kraji, Technologie. Oddělení pozemních komunikací, Odbor dopravy, Krajský úřad Libereckého kraje, online: <http://doprava.kraj-lbc.cz/getFile/id:325578/lastUpdateDate:2015-10-21%2008%3A31%3A10>, cit. 11.3.2016.

Langen T. A. et Prutzman H., 2006: The effects of chemical road deicers on surrounding boreal forests and lakes. In: Langen T. A., Twiss M., Young T., Janoyan K., Stager J. C., Osso J. Jr., Prutzman H et Green B. [eds]: Environmental Impacts of Winter Road Management at the Cascade Lakes and Chapel Pond. The Final Report, New York State Department of Transportation, New York, 15 – 48.

Larcher W., 1995: Physiological Plant Ecology. Fifth ed., Springer-Verlag, Berlin.

Lhotáková Z., 2012: Minerální výživa rostlin. Přednáška 7, Katedra Experimentální Biologie rostli, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, online: http://kfrserver.natur.cuni.cz/lide/lhotakova/MB130P74/prednasky/2012_prednaska07.pdf, cit. 18.2.2016.

Matucha M., Clarke N., Lachmanová Z., Forczek S.T., Fuksová K. et Gryndler M., 2010: Biogeochemical cycles of chlorine in the coniferous forest ecosystem: Practical implications. *Plant, Soil and Environment*, 56: 357–367.

MD, 2015: TP 116 – Chemické rozmrazovací posypové materiály, nakládání s biologickým odpadem ze silničních pozemků. Ministerstvo dopravy ČR, Praha.

Melcher K., 2001: Posypové materiály pro zimní údržbu komunikací v ČR a zemích EU. *Ekolist.cz*, Praha, online: <http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/posypove-materialy-pro-zimni-udrzbu-komunikaci-v-cr-a-v-zemich-eu>, cit. 21.1.2016.

Mendelova univerzita, 2006: Určení symptomů deficiencie makrobiogenních prvků na rostlinách z vodních kultur. Výukové texty, Mendelova univerzita v Brně, online: http://web2.mendelu.cz/af_211_multitext/vyuka/fyr1/rtf/6.pdf, cit. 19.2.2016.

Mountain High Tree, 2014: Denver Tree Care Tips – Salt Accumulation. Tree, Lawn & Landscape Co, online: <http://mountainhightree.com/blog/index.php/2014/05/tree-damage-denver/>, cit. 24.1.2016.

Novotný J., 2011: Přehled vybraných parametrických a neparametrických testů ve statistice. Masarykova univerzita, Brno, online: <http://www.fsps.muni.cz/~novotny/Statistika.htm>, cit. 31.3.2016.

NRS-CNRC, 2016: SLRS-5 River water reference material for trace metals. National Research Council, Canada.

Ondráček P., 2006: Impact of road de-icing chemicals on groundwater quality. Geol. výzk. Mor. Slez. 2005: 130 – 132.

Pavlová L., 2006: Fyziologie rostlin. Nakladatelství Karolinum, Univerzita Karlova v Praze, Praha.

R Development Core Team, 2007: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, online: <http://www.R-project.org>, cit. 27.3.2016.

Retsch, 2016: Analytický síťovací stroj AS 200 basic. Retsch, Hann, Německo, online: <http://www.retsch.cz/cz/produkty/sitovani/analyticke-sitovaci-stroje/as-200-basic/>, cit. 23.3.2016.

Richter R., 2004: Biogenní prvky. Multimediální učební texty z výživy rostlin, Ústav agrochemie a výživy rostlin, Mendelova univerzita v Brně, online: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/a_index_biogen.htm, cit. 18.2.2016.

Rose D. et Webber J., 2011: De-icing salt damage to trees. Pathology Advisory Note, Centre for Forestry and Climate Change, Forest Research, online: [http://www.forestry.gov.uk/pdf/pathology_note11.pdf/\\$FILE/pathology_note11.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/pathology_note11.pdf/$FILE/pathology_note11.pdf), cit. 24. 1. 2016.

Roth D. et Wall G., 1976: Environmental effects of highway deicing salts. Ground Water, 14 (5): 286 – 289.

Rozhodnutí Agentury ochrany přírody a krajiny ČR, Správa Chráněné krajinné oblasti Beskydy, ze dne 16. 10. 2015: Provádění chemického posypu cest na území CHKO Beskydy - řízení o povolení výjimky dle § 43 odst. 3 zákona č.114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Spis SR/0130/BE/2015, online: http://www.valasskabystrice.cz/VismoOnline_ActionScripts/File.ashx?id_org=17625&id_dokumenty=1500, cit. 20.1.2016.

Semorádová E., 2003: Poškození lesních porostů posypovou solí. Lesnická práce, 82 (01/03), online: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-82-2003/lesnicka-prace-c-01-03/strana-2>, cit. 22.1.2016.

Sucoff E., 1975: Effect of deicing salts on woody vegetation along Minnesota roads. Technical Bulletin, 303: 1–49.

Sýkorová J., Vlčková R. et Modrý M., 2015: Maloplošná chráněná území Libereckého kraje. Liberecký kraj, odbor životního prostředí a zemědělství, 3. vyd., online: <http://zivotni-prostredi.kraj-lbc.cz/getFile/id:334611/lastUpdateDate:2015-12-11%2014%3A03%3A23>, cit. 12.2.2016.

Thunqvist E. L., 2004: Regional increase of mean chloride concentration in water due to the application of deicing salt. *Science of The Total Environment*, 325 (1-3): 29 – 37.

Truparová S. et Kulhavý J., 2011: Výživa smrkových porostů na vápněných plochách s různou intenzitou probírkového zásahu v Moravskoslezských Beskydech. *Zprávy lesnického výzkumu*, 56 (3): 178 – 188.

Uhlířová H., Matucha M. et Novotný R., 2007: Chlor v lesním ekosystému. Sůl nad zlato, ale ne v lesních ekosystémech podél silnic. *Vesmír*, 86(4): 246 - 248.

Ulbrichová I., 2015: Význam prvků pro výživu rostlin. *Ekologie lesa, studijní materiály*, Katedra ekologie lesa, Fakulta lesnická a dřevařská, Česká zemědělská univerzita v Praze, online: http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_EKOL/ziviny/ziviny.htm, cit. 19.2.2016.

Vries W. de, Reinds G. J., Deelstra H. D., Klap J. M. et Vel E. M., 1998: Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe. Technical Report. Brussels.

Vyhláška č. 104/1997 Sb., Ministerstva dopravy a spojů, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, v platném znění ze dne 23. dubna 1997.

Wegner, W. et Yaggi, M., 2001: Environmental Impacts of Road Salt and Alternatives in New York City Watershed. *Stormwater, The Journal for Surface Water Quality Professionals*, 2: 24 -31.

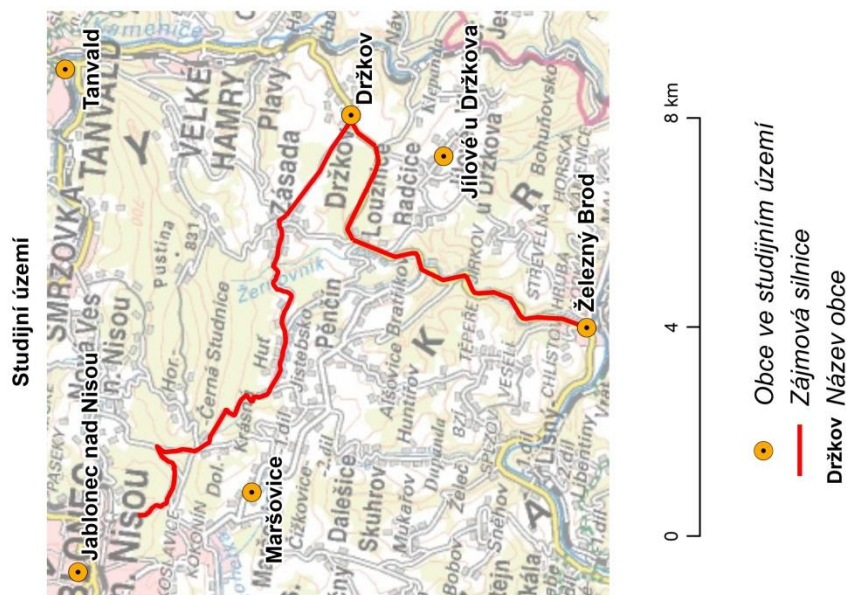
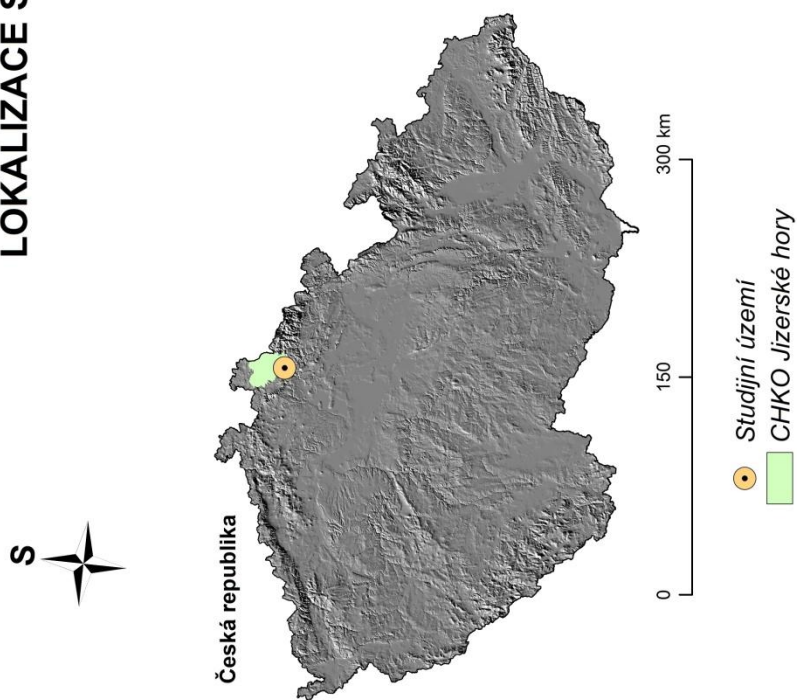
Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, v platném znění. Zákon parlamentu České republiky ze dne 23. ledna 1997, Sběrka zákonů České republiky.

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v platném znění. Zákon České národní rady ze dne 19. února 1992, Sběrka zákonů České republiky.

10. Přílohy

10.1. Příloha č. 1 Lokalizace studijního území

LOKALIZACE STUDIJNIHO ÚZEMÍ



ZÍTKOVÁ Jana
Česká zemědělská univerzita v Praze, FŽP, Praha 2016
Software: ArcGIS 10.3
Souřadnicový systém: S-JTSK Krovak East North
Zdroj dat: at: ARCDATA PRAHA, S. R. O. Č. S. Ú. Č. ÚZK, ArcC.R. 500 3.1, [vid. 31. 3. 2016], Dostupné z: <http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/arccr-500>,
ČÚZK, 2015. ZÁKLADNÍ MAPA ČR, ArcGis Online, [vid. 31. 03. 2016], Dostupné z: <http://ags.cuzk.cz/arcgis/re/st/services/zm/MapServer>

10.2. Příloha č. 2 Zimní údržba komunikací ve studijním území



M 1 : 230 000



Zpracoval: Krajský úřad Libereckého kraje
odbor dopravy 09/2014/Mikulecká
Podklady: GIS Libereckého kraje, KSS LK, Silnice LK, ŘSD ČR,
Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální

- chemický
- zdrsňovací posyp
- TR (plužení)
- neudržované úseky
- předané úseky
- Zastavěné území
- Hranice územní působnosti POIII

Zimní údržba na rok 2014/15 v Libereckém kraji – technologie.

(Zdroj: Krajský úřad Libereckého kraje, 2015)

10.3. Příloha č. 3 Uložení odebraných vzorků



System uložení odebraných vzorků asimilačních orgánů smrku ztepilého (*Picea abies*) a jejich označení. Jehličí je již usušené a připravené pro vlastní analýzu na obsah prvků.

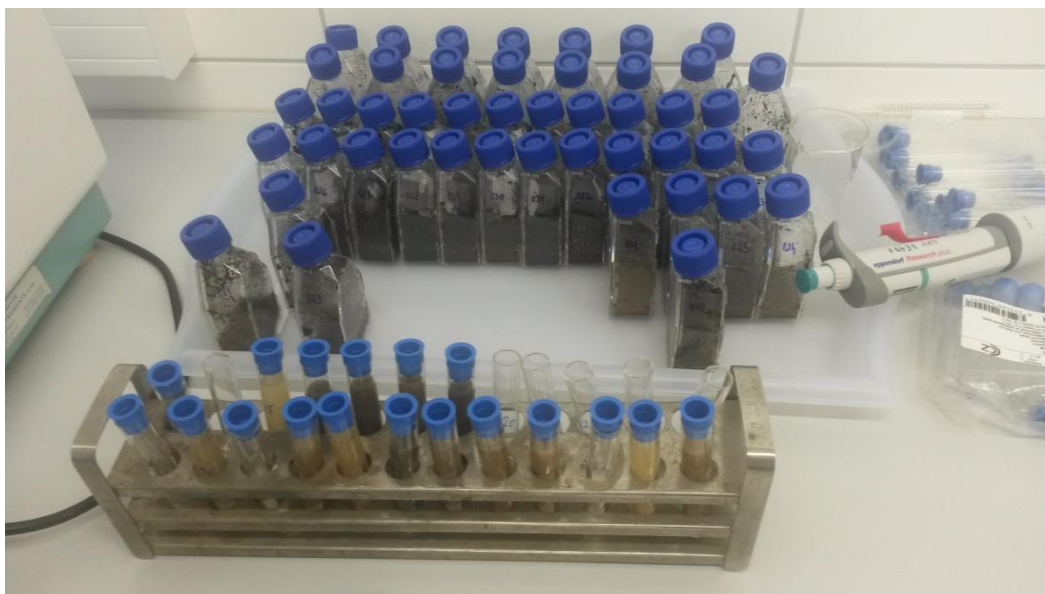
(Zdroj: autor)



System uložení odebraných půdních vzorků a jejich označení. Půda je již usušená a připravené pro vlastní analýzu na obsah prvků.

(Zdroj: autor)

10.4. Příloha č. 4 Analýza vzorků



Příprava výluhů půdních vzorků pro následné stanovení obsahů prvků.

(Zdroj: autor)



Stanovení vybraných prvků (sodíku, hořčíku, draslíku a vápníku) metodou ICP-MS.

(Zdroj: autor)