

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí



**Biomonitoring znečištění atmosféry těžkými kovy
na území severovýchodních Čech
pomocí chemické analýzy mechu**

Kateřina Hejzlarová



Bakalářská práce
předložená
na Katedře ekologie a životního prostředí
Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků
na získání titulu Bc. v oboru
Ochrana a tvorba životního prostředí

Vedoucí práce: RNDr. Zbyněk Hradílek, Ph.D.

Olomouc 2012

Hejzlarová K. (2012): Biomonitoring znečištění atmosféry těžkými kovy na území severovýchodních Čech pomocí chemické analýzy mechu. Bakalářská práce, Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 45 s., v češtině.

Abstrakt

Hlavním cílem této práce bylo metodou biomonitoringu za použití chemické analýzy mechu zjistit úroveň znečištění atmosféry vybranými těžkými kovy (Ni, Zn, Cu a Pb) na území severovýchodních Čech. Kromě toho jsem se pokusila zjistit, zda se koncentrace jednotlivých těžkých kovů v mechu rostoucím pod korunami stromů liší oproti místům, nad nimiž se koruny stromů nerozprostírají, a také, zda se liší koncentrace těžkých kovů v dolní, starší části rostlin od koncentrací ve vrcholové, nové části.

Výsledky spektrometrické analýzy 48 vzorků získaných ze 12 čtverců standardní středoevropské mapovací sítě, statisticky zpracované za použití vícefaktorové analýzy rozptylu, Tukey-Kramerova testu a párových T-testů, ukazují některé signifikantní rozdíly v obsahu jednotlivých těžkých kovů mezi různými typy místa odběru (pod korunami vs. na světlínách) i mezi staršími a novými částmi rostlin, nicméně žádný jednoznačný obecný trend pro všechny zkoumané těžké kovy se u těchto faktorů prokázat nepodařilo.

Při srovnání získaných výsledků s údaji ze čtyř etap celostátního průzkumu v rámci mezinárodního biomonitorovacího programu OSN EHK ICP-Vegetace 2000 se celkový trend snižování obsahu těžkých kovů ve zkoumaných mechorostech a tudíž zlepšující se stav kvality ovzduší potvrdil jen u olova, zatímco u zbývajících zkoumaných těžkých kovů byly moje výsledky mírně vyšší než výsledky celostátního průzkumu z předchozích období.

Klíčová slova: bryomonitoring, emise, měď, nikl, olovo, spektrometrická analýza, travník Schreberův, zinek

Hejzlarová K. (2012): Bio-monitoring the pollution of the atmosphere by heavy metals in north-eastern Bohemia using chemical analysis of moss. Bachelor thesis, Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University in Olomouc, 45 pp., in Czech.

Abstract

The main objective of this bachelor thesis was to determine the level of air pollution by selected heavy metals (Ni, Zn, Cu and Pb) in northeastern Bohemia using the biomonitoring method based on the chemical analysis of moss. In addition, I tried to determine whether the concentrations of individual heavy metals in moss growing under the tree canopy differ from those found in the samples taken at the sites away from the canopy and the concentrations of heavy metals in the lower, older parts of the plants differ from the those found in the upper, new parts of the plants.

The results of spectrometric analysis of 48 samples obtained from 12 squares of the standard mapping network for Central Europe, statistically processed using multi-factor analysis of variance, Tukey-Kramer test and paired T-tests show some significant differences in the content of individual heavy metals between different types of sampling sites (under the canopies versus in the clearings) and between older and new parts of the plants, but no clear trend for all studied heavy metals could be shown using these factors.

When comparing the results obtained with those of the four national surveys pursued in the framework of the international UNECE ICP-Vegetation biomonitoring program, the overall downward trend of the content of heavy metals in the bryophytes investigated and thus the trend of the improving air quality was confirmed only for lead, while for the remaining heavy metals investigated my results were slightly higher than those obtained in the national surveys carried out in previous years.

Keywords: air pollutants, bryomonitoring, copper, lead, nickel, *Pleurozium schreberi*, spectrometric analysis, zinc

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Zbyňka Hradílka, Ph.D. s použitím citované literatury.

V Olomouci 11. května 2011

Podpis:

Obsah

Seznam tabulek	viii
Seznam obrázků	ix
Seznam příloh.....	x
Poděkování	xi
1. Úvod.....	1
1.1 Těžké kovy v atmosféře	1
1.2 Ženevská úmluva	2
1.3 Biomonitoring	2
2. Cíle práce	5
3. Materiál a metody	6
3.1 Studované území	6
3.1.1 Geologie	6
3.1.2 Geomorfologie	7
3.1.3 Vegetační pokryv	9
3.1.4 Vodopis	10
3.1.5 Podnebí.....	10
3.1.6 Vliv člověka	10
3.2 Sledované prvky.....	12
3.2.1 Nikl.....	12
3.2.2 Zinek	12
3.2.3 Měď.....	13
3.2.4 Olovo.....	13
3.3 Použitý materiál	14
3.4 Odběr vzorků.....	16
3.5 Zpracování vzorků	17
3.6 Analýza vzorků	18
3.6.1 Použitá metoda a přístroje.....	18
3.6.2 Princip fungování atomového absorpčního spektrometru.....	19
3.7 Analýza dat.....	19
4. Výsledky	20
4.1 Nikl.....	20
4.2 Zinek	22
4.3 Měď.....	24
4.4 Olovo.....	26

5. Diskuze.....	28
5.1 Nikl.....	28
5.2 Zinek	30
5.3 Měď.....	31
5.4 Olovo.....	32
6. Závěr	34
7. Citovaná literatura.....	36
8. Přílohy.....	38

Seznam tabulek

Tabulka 1: Naměřený obsah niklu Ni [mg/kg].....	21
Tabulka 2: Deskriptivní statistiky naměřeného obsahu Ni [mg/kg].....	21
Tabulka 3: Výsledky vícefaktorové analýzy rozptylu (Ni)	21
Tabulka 4: Výsledky párového T-testu (Ni).....	22
Tabulka 5: Naměřený obsah zinku Zn [mg/kg].....	23
Tabulka 6: Deskriptivní statistiky naměřeného obsahu Zn [mg/kg]	23
Tabulka 7: Výsledky vícefaktorové analýzy rozptylu (Zn).....	24
Tabulka 8: Výsledky párového T-testu (Zn)	24
Tabulka 9: Naměřený obsah Cu [mg/kg]	25
Tabulka 10: Deskriptivní statistiky naměřeného obsahu Cu [mg/kg]	25
Tabulka 11: Výsledky vícefaktorové analýzy rozptylu (Cu).....	25
Tabulka 12: Výsledky párového T-testu (Cu)	26
Tabulka 13: Naměřený obsah Pb [mg/kg].....	27
Tabulka 14: Deskriptivní statistiky naměřeného obsahu Pb [mg/kg]	27
Tabulka 15: Výsledky párového T-testu (Pb)	27

Seznam obrázků

Obrázek 1: Geologická stavba Královéhradeckého kraje (převzato z: Rybář 1986).....	7
Obrázek 2: Geomorfologické členění Královéhradeckého kraje (převzato z: Rybář 1986).....	9
Obrázek 3: Travník Schreberův (<i>Pleurozium schreberi</i>) (převzato z www.botany.cz , autor snímku: Naděžda Gutzerová).....	15
Obrázek 4: Travník Schreberův (<i>Pleurozium schreberi</i>) – detail (převzato z fi.wikipedia.org , autor snímku: Kristian Peters)	15
Obrázek 5: Trend v rozdílu množství niklu v jednotlivých částech rostlinky travníku	22
Obrázek 6: Graf průměrných hodnot obsahu Ni naměřených v horních segmentech mechu sebraného na světlinách	29
Obrázek 7: Graf průměrných hodnot obsahu Zn naměřených v horních segmentech mechu sebraného ve světlinách	31
Obrázek 8: Graf průměrných hodnot obsahu Cu naměřených v horních segmentech mechu sebraného ve světlinách	32
Obrázek 9: Graf průměrných hodnot obsahu Pb naměřených v horních segmentech mechu sebraného ve světlinách	33

Seznam příloh

Příloha 1: Seznam odběrových míst	38
Příloha 2: Mapa odběrových lokalit.....	39
Příloha 3: Tabulky zobrazující prostorové rozmístění naměřených hodnot jednotlivých prvků ve vzorcích horních segmentů mechu sebraných mimo koruny stromů	40
Příloha 4: Obrazová příloha.....	41

Poděkování

V první řadě děkuji svému vedoucímu práce RNDr. Zbyňku Hradílkovi, Ph.D. za cenné podněty, rady a nápady, za vstřícnost a nakažlivé nadšení pro dané téma. RNDr. Petru Hekerovi, Ph.D. děkuji za velmi ochotnou pomoc v laboratoři a užitečné konzultace týkající se zpracování vzorků a jejich následné analýzy. RNDr. Martinu Duchoslavovi Ph.D. děkuji za pomoc při zpracování statistických dat.

Velice děkuji svým rodičům PharmDr. Miroslavě Hejzlarové a PaedDr. Jaroslavu Hejzlarovi za nepostradatelnou morální i finanční podporu během studia a za obrovskou pomoc při sběru a třídění vzorků. Svému otci navíc děkuji za pomoc s překladem anglicky psané literatury, překladem abstraktu a za rady týkající se jazykové stránky práce a formálních úprav.

Svému příteli DiS. Jakubu Kolářovi děkuji za technickou pomoc, poskytnutí dobrého zázemí pro mé studium a především za neúnavné povzbuzování.

Za upřímnou podporu děkuji i dalším členům rodiny a nejbližším přátelům.

1. Úvod

1.1 Těžké kovy v atmosféře

Částice těžkých kovů (TK), které se dnes nachází v atmosféře, se tam z drtivé většiny dostávají v důsledku lidské činnosti. Přírozené děje jako zvětrávání hornin nebo sopečná činnost mají v porovnání s vlivem člověka mnohem menší význam. Na znečištění ovzduší TK se nejvíce podílí metalurgický průmysl, především pyrometalurgie, což je způsob zpracování rud při vysokých teplotách. (Bencko et al. 1995). Tímto procesem se získává například železo, měď, zinek a olovo. Ke znečištění přispívá také sekundární prašnost z hald vytěžené hlušiny. Další činností, která výrazně zvyšuje koncentraci TK v ovzduší, je spalování fosilních paliv. Nejhorší je z tohoto hlediska spalování uhlí. Některé jeho druhy obsahují velké množství těchto látek, které se do ovzduší rozptylují v podobě popílku (ibid.).

Termínem těžké kovy se zpravidla označují kovové prvky o hustotě větší než 5g/cm^3 . Zdaleka ne všechny jsou pro živé organismy škodlivé. Některé z nich jsou pro ně ve stopovém množství dokonce nezbytné neboli esenciální (např. Fe, Cu, Zn, Mn, Co) a až ve vyšších koncentracích se stávají pro organismus jedovatými. Některé jsou ale naopak toxické v jakémkoliv množství (např. Pb, Hg, Cd, As) (ibid.).

Okamžité koncentrace TK ve vzduchu většinou nepřekračují povolené limity a bezprostředně neohrožují zdraví živých organismů. Problém však tkví v tom, že se tyto látky akumulují v půdě, vodě i živých organismech. Půdní a vodní mikroorganismy navíc svou činností mohou způsobit navázání některých TK na organické sloučeniny. Tím se může jejich toxicita i několikanásobně zvýšit (ibid.). Spady TK kontaminují vegetaci a dostávají se do potravního řetězce, kde se hromadí. Ve vyšších koncentracích pak mohou způsobovat fyziologická i genetická poškození rostlin a živočichů. Nejvíce jsou jejich účinky ohroženi predátoři na špičce potravní pyramidy, tedy i člověk (Suchara & Sucharová 2004).

V druhé polovině 20. století se v Evropě množství škodlivin vypouštěných člověkem do ovzduší začalo rychlým tempem zvyšovat. V České republice se rozvíjel hlavně hutní, strojírenský a chemický průmysl. Odborníci poukazovali na negativní dopad znečištěného vzduchu na životní prostředí i lidské zdraví a nutnost vzniku

mezinárodních výzkumných programů a s nimi spojených mezinárodně koordinovaných řešení tohoto problému.

1.2 Ženevská úmluva

Dne 13. listopadu 1979 v Ženevě byla evropskými státy podepsána Úmluva o dálkovém znečišťování ovzduší překračujícím hranice států (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution – LRTAP). V Československu vstoupila v platnost 22. března 1984. Česká republika je smluvní stranou této úmluvy od svého vzniku dne 1. ledna 1993, kdy převzala závazky Československa. Úmluva zavazuje signatářské země ke snižování produkce emisí, monitoringu stavu ovzduší a studiu vlivu jeho znečištění na životní prostředí a zdraví člověka. Její součástí je 8 protokolů, z nichž každý se věnuje jiné skupině znečišťujících látek zvlášť. Protokol o těžkých kovech byl přijat roku 1998 a v platnost vstoupil 29. prosince 2003. V rámci tohoto protokolu byly vypracovány metody pro modelování pohybu a ukládání TK v biosféře a metody pro určování kritické koncentrace TK v prostředí, což je koncentrace, která ještě významně nepoškozuje zdraví člověka nebo fungování ekosystémů.

1.3 Biomonitoring

Již První evropský kongres kongres o vlivu znečištění atmosféry na rostliny a živočichy konstatoval, že epifytické nižší rostliny lze doporučit jako obecné biologické indikátory znečištění, protože se s nimi velmi snadno pracuje a vykazují velmi širokou škálu hodnot specifické citlivosti na atmosférické polutanty, která značně přesahuje tuto schopnost u většiny vyšších rostlin (Rao 1982).

Ke zjišťování dlouhodobých hodnot atmosférického spadu TK se dnes biomonitoring hojně využívá, protože je navíc i levnou alternativou monitorovacích stanic. Některé organismy mají schopnost hromadit znečišťující látky ve svých tělech bez zjevných známek poškození. Označujeme je jako akumulativní organismy a je jich hojně využíváno pro bioindikaci míry znečištění prostředí. Odolné rostliny mají mechanismy znesnadňující vstup toxických prvků do cytosolu. Patří k nim například vylučování organických kyselin do rhisosféry, sorpce na pektinové látky v buněčných stěnách nebo větší selektivita transportních proteinů v cytoplazmatické membráně (Procházka et al. 1998). Pro každý organismus, i ten nejprizpůsobivější, však existuje kritická hodnota koncentrace škodlivin, jejíž překročení způsobí jeho náhlé nebo postupné poškození

(Hašek 1968). Vhodnost použití rostlin jakožto indikátorů vzdušného spadu TK prokázaly například studie těchto autorů: Rühling a Tyler (1968), Hutchinson a Whitby (1974). Při zjišťování stavu ovzduší se nejčastěji využívají epifytické řasy, lišejníky, mechorosty, plodnice hub, borka stromů a listy cévnatých rostlin. Koncentrace prvků absorbovaných ze vzduchu je v rostlinných pletivech závislá na koncentraci těchto látek v atmosféře, schopnosti rostlin tyto prvky absorbovat, poměru povrchu rostliny k její celkové hmotě, schopnosti iontové výměny rostliny a době expozice. Absorpci TK ovlivňují rovněž meteorologické a topografické faktory a vzdálenost od zdroje znečištění (Rao 1982).

„Prvky zastoupené převážně v plynné formě nebo vázané na malé pevné aerosoly mohou být deponovány značně daleko od emisních zdrojů (př. Cd, Pb, část S)“. Pokud se k výzkumu daného prostředí použijí organismy, které se v něm přirozeně vyskytují, jedná se o pasivní biomonitring. Aktivní biomonitring se provádí přenesením organismů do prostředí, které chceme zkoumat (Suchara & Sucharová 2004).

Mechy se k monitoringu atmosférické depozice osvědčily nejlépe, a to zejména proto, že svými kořenovými vlásky absorbují látky pouze z opadu, a výsledná data tedy nejsou zkreslena látkami přijatými z půdy. Obsah většiny prvků v reprezentativním vzorku mechu odpovídá relativní míře jejich atmosférické depozice na místě odběru (Suchara & Sucharová 1998b). K vlastnostem umožňujícím akumulaci cizorodých látek patří především absence kutikuly, velká adsorpční kapacita pektinu v pletivech a velký povrch buněčných struktur. Jejich schopnost akumulovat TK je mnohem větší než u cévnatých rostlin (Rao 1982) K nejčastěji využívaným patří tyto bokoplodé druhy: travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*), rokytník skvělý (*Hylocomium splendens*), lazovec čistý (*Scleropodium purum*), rokyt cypřišovitý (*Hypnum cupressiforme*), zpeřenka jedlová (*Abietinella abietina*), baňatky (*Brachythecium* spp.) a trněnky (*Eurhynchium* spp.) (Suchara & Sucharová 2004).

Metodu zjišťování atmosférického spadu kovů pomocí analýzy mechu vypracovali na přelomu 60. a 70. let pracovníci ekologického oddělení švédské univerzity v Lundu. Nejprve byla velkoplošně testována na území Švédska. Roku 1980 byl proveden první dánsko-švédský velkoplošný biomonitring. V roce 1985 již tuto metodu použily všechny skandinávské země. Od roku 1990 sledují úroveň atmosférické depozice vybraných 13 prvků pomocí této metody téměř všechny evropské země každých pět let.

Zpočátku tento celoevropský biomonitorovací program koordinovala skupina skandinávských odborníků. Od roku 1998, kdy byl v rámci Úmluvy o dálkovém znečišťování ovzduší překračujícím hranice států přijat Protokol o těžkých kovech, spadá mezinárodní biomonitorovací program do programu OSN EHK ICP-Vegetace a je řízen koordináčním centrem programu ICP-Vegetace v Bangoru (Spojené království).

Celoevropské výsledky jsou zveřejňovány koordináčními pracovišti, jednotlivé státy získaná data prezentují formou národních zpráv a odborných publikací. V České republice proběhl tento velkoplošný biomonitoring v letech 1991, 1995, 2000 a 2005. Byl veden pracovníky Výzkumného ústavu Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví v Průhonicích. Výsledky publikovali formou národních zpráv ČR Doc. RNDr. Ivan Suchara, CSc. a Ing. Julie Sucharová, Ph.D.

2. Cíle práce

Hlavním zdrojem informací pro mne byly národní zprávy ČR vydaná v roce 2004 a 2008 Výzkumným ústavem pro krajinu a okrasné zahradnictví Silva Taroucy v Průhonicích, které zveřejňují výsledky českého biomonitorovacího průzkumu prováděného v rámci mezinárodního programu OSN EHK ICP-Vegetace. Zaměřila jsem se na oblast severovýchodních Čech, kde žiji, a pokusila jsem se získat podrobnější údaje o tamějším atmosférickém spadu vybraných 4 TK (Ni, Zn, Cu, Pb.). Prvky jsem zvolila podle možností chemické laboratoře na Katedře ekologie a životního prostředí UP Olomouc. Na vytyčeném území jsem shromáždila vzorky z více lokalit než celostátní průzkum. Metodiku sběru vzorků jsem upravila tak, aby jejich analýza podala také nové poznatky o fyziologii ukládání TK v mechu a o vlivu podkorunových srážek na obsah TK v jeho pletivech.

Hlavní body:

- 1) Zjistit aktuální znečištění atmosféry vybranými těžkými kovy (Ni, Zn, Cu, Pb) na území severovýchodních Čech.
- 2) Zjistit, zda se liší koncentrace TK v mechu rostoucím pod korunami stromů od jejich koncentrací v mechu sebraném na světlinách.
- 3) Zjistit, zda se liší koncentrace TK ve starých a nových částech rostlin, tedy zda dochází k jejich vymývání, nebo zda zůstávají pevně vázané na buněčné struktury.
- 4) Porovnat nově získaná data s výsledky předchozích měření.

3. Materiál a metody

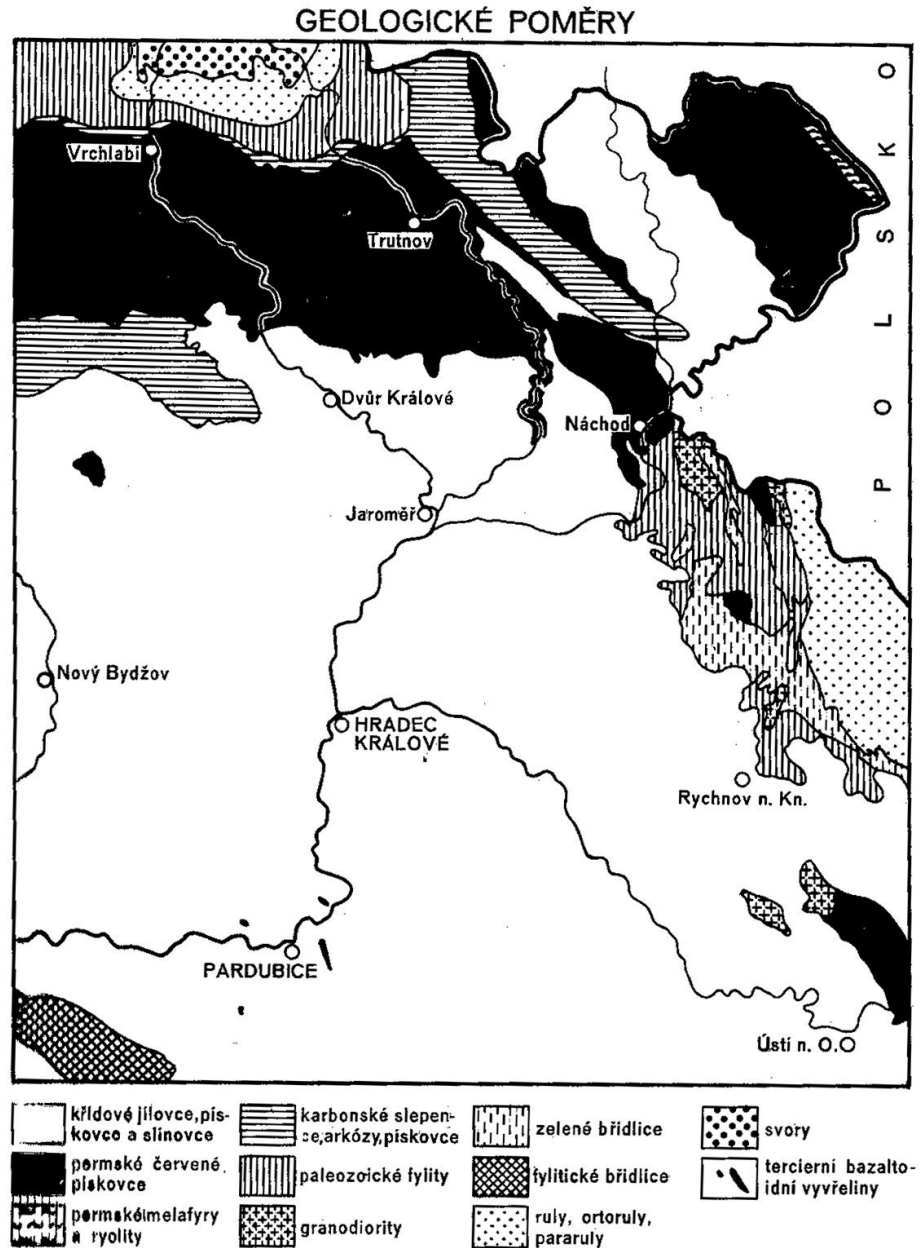
3.1 Studované území

K vytyčení studované plochy jsem použila standardní střeoevropskou mapovací síť, kterou tvoří čtverce o straně 8 km (www.bibliotheca.cz). Podle této sítě jsem na území severovýchodních Čech zvolila 12 čtverců tvořících kompaktní obdélníkovou plochu o rozloze

32 × 24 km (768 km²). Jedná se o kvadranty 5361 až 5364, 5461 až 5464 a 5561 až 5564. Oblast se rozkládá na česko-polském pohraničí mezi Krkonošemi a Orlickými horami. Na severu a východě hranice zvoleného území přibližně kopíruje státní hranici s Polskem, kvadrant 5564 se již nachází na polském území téměř celý. Na jihu zasahuje území až k Náchodu (346 m n. m.) a České Skalici (284 m n. m.), na západě ke Dvoru Králové nad Labem (298 m n. m.), Trutnovu (427 m n. m.) a Žacléři (612 m n. m.). V centrálních dvou kvadrantech najdeme Úpici (352 m n. m.), Teplice nad Metují (463 m n. m.), Polici nad Metují (441 m n. m.) a Broumov (405 m n. m.). Celé území se nachází v Královéhradeckém kraji. Jeho velkou část zaujímá CHKO Broumovsko a zasahuje na něj také polský národní park Stolové hory (Park Narodowy Gór Stołowych).

3.1.1 Geologie

Geologický podklad studovaného území (viz obr. 1) tvoří hlavně prvohorní a druhohorní usazeniny. Plošně jsou nejvíce zastoupeny slínovce, jílovce (opuky) a pískovce svrchní křídy. Meziměstská vrchovina, tedy severovýchodní část Broumovského výběžku až po Broumovské stěny, je budována permskými červenými pískovci a slepenci. Na jejím severním okraji v Javořích horách najdeme i vyvěřelá a metamorfované horniny, především permské ryolity a melafyry. Polická vrchovina je charakteristická kvádrovými pískovci svrchní křídy, které zde vytvářejí skalní města. Největším z nich je NPR Adršpašsko-teplické skály. Podloží Žacléřské vrchoviny je na severu tvořeno ryolitem, na jihozápadě slepenci a arkózami karbonského stáří. Podkrkonošská pánev nacházející se mezi Náchodem a Trutnovem je stejně jako Meziměstská vrchovina tvořena hlavně permskými červenými pískovci a slepenci.



Obrázek 1: Geologická stavba Královéhradeckého kraje
(převzato z: Rybář 1986)

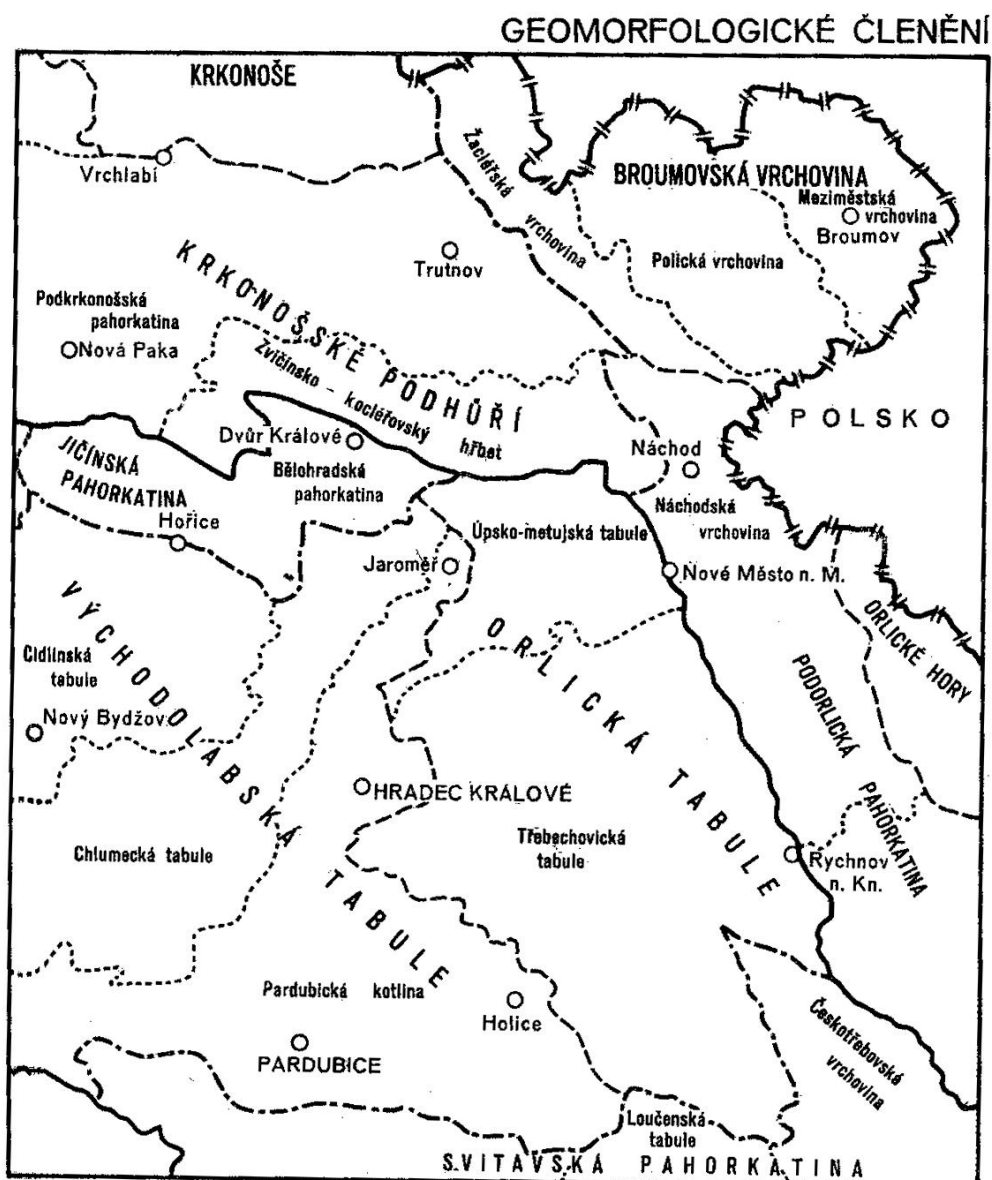
3.1.2 Geomorfologie

V rámci studované plochy se nachází několik meších geomorfologických celků (viz obr. 2), všechny však jsou součástí Českého masivu. Většinu studovaného území zaujímá Broumovská vrchovina, která spadá do Krkonošsko-jesenické subprovincie. Dělí se na Meziměstskou, Polickou a Žacléřskou vrchovinu. Je charakteristická členitým

povrchem. Najdeme zde četné kuesty, tabulové plošiny, kaňony i široká údolí. Dominantou Meziměstské vrchoviny jsou Javoří hory a jejich nejvyšší vrchol Ruprechtický Špičák (880 m n. m.). Nejvyšší body Polické vrchoviny se nacházejí na Broumovských stěnách. Na české straně je to Bor (828 m n. m.), Božanovský Špičák (773 m n. m.) a Koruna (772 m n. m.), v Polsku Velká Hejšovina (919 m n. m.) a Malá Hejšovina (896 m n. m.). K výrazným vrcholům Polické vrchoviny patří i vrch Čáp (785 m n. m.) a stolové hory Ostaš (700 m n. m.) a Hejda (627 m n. m.). Na severu Žacléřské vrchoviny ve Vraních horách je nejvyšší kótou Královecký Špičák (879 m n. m.) Na jejím jihovýchodním okraji se táhne hřbet Jestřebích hor s vrcholy Žaltman (739 m n. m.) a Švédský vrch (660 m n. m.).

Mezi Jestřebími horami a vnější kuestou Broumovské vrchoviny se rozkládá Hronovská kotlina. Ta již spadá do Náchodské vrchoviny, která je součástí Podorlické pahorkatiny, z větší části spadající do subprovincie Česká tabule. Severní hranice Podorlické pahorkatiny probíhá mezi Červeným Kostelcem (414 m n. m.) a Hronovem (364 m n. m.). Zde se nadmořská výška pohybuje mezi 300 až 500 m a směrem na jih se postupně zvedá až k 800 m. Jižní hranice mnou zkoumaného území prochází poblíž vrchu Dobrošov (622 m n. m.) u Náchoda.

Západní a jihozápadní část zkoumaného území se nachází ve východní části Krkonošského podhůří. Oblast západně od Náchoda je tvořena Zvičinsko-kocléřovským hřbetem. Území rozprostírající se od tohoto hřbetu směrem na sever přes Trutnov až k hranici Žacléřské vrchoviny je již součástí Podkrkonošské pahorkatiny. V její jižní a jihovýchodní části se nadmořská výška pohybuje kolem 450 m a směrem ke Krkonošům pozvolna stoupá.



Obrázek 2: Geomorfologické členění Královéhradeckého kraje (převzato z: Rybář 1986)

3.1.3 Vegetační pokryv

Z celkové plochy kraje zaujímá 59 % zemědělská půda a 31,2 % lesy, přičemž 68,5 % zemědělské půdy představuje půda orná. Z celkové plochy lesů je 74,9 % pokryto jehličnatými stromy, 24,5 % listnatými dřevinami a 0,6 % tvoří holiny. Nejvyšší lesnatost je v okrese Trutnov (45,5 %) (Cenia 2007).

Díky velkému výškovému rozpětí a geomorfologické různorodosti najdeme v rámci studované oblasti velmi pestrou nabídku ekosystémů. Mezi druhově vůbec nejbohatší

společenstva patří smíšené lesy podél koryta řeky Metuje mezi Velkými Petrovicemi a Hronovem.

3.1.4 Vodopis

Většina studovaného území spadá prostřednictvím řek Úpy a Metuje do povodí Labe. Pouze Broumovská kotlina je odvodňována řekou Stěnavou, která patří k povodí Odry. Evropské rozvodí Odry a Labe probíhá po hřebeni Broumovských stěn.

Broumovský výběžek je významnou zásobárnou podzemní vody, některé ze zdejších pramenů jsou minerální. Nejcennější zdroje pitné vody se nachází na Policku. V roce 1981 zde byla na ploše 218,2 km² vyhlášena Chráněná oblast přirozené akumulace vod Polická pánev. Celková vydatnost zdejších zdrojů je přibližně 350 l/s. Významné zásoby podzemní vody se nachází také v další Chráněné oblasti přirozené akumulace vod zvané Východočeská křída. Jedná se o území na středním a dolním toku Metuje, Úpy a Orlice, táhnoucí se od podhůří Orlických hor, přes jižní část Náchodska až k Podkrkonoší o rozloze 1 245,8 km².

3.1.5 Podnebí

Podle počtu letních dnů se dá vybrané území rozdělit na dvě klimaticky odlišné oblasti. Broumovská vrchovina s výjimkou Broumovské kotliny a okolí Police nad Metují je oblastí chladnou. Ročně je zde přibližně jen 20 letních dnů, roční průměrná teplota vzduchu je 5 až 6 °C, červencový průměr teplot 15 až 16 °C, lednový -3 až -4 °C, roční srážkový úhrn je 850 až 1000 mm. Zbývající území je klasifikováno jako mírně teplé. Červencový průměr teplot je 15 až 18 °C, lednový -2 °C až -4 °C, roční srážkový úhrn se pohybuje mezi 700 až 800 mm (Rybář, 1986).

Nad zkoumanou oblastí převládají po většinu roku západní a severozápadní větry. V roklích a skalních městech jsou častým jevem krátkodobé teplotní inverze.

3.1.6 Vliv člověka

V Královéhradeckém kraji připadá na 1 km² přibližně 115 obyvatel, což je v porovnání s ostatními kraji podprůměrné osídlení. Celorepublikový průměr se v současnosti pohybuje kolem 130 obyvatel na 1 km² (Cenia 2007). Zkoumaným územím prochází

dvě silnice mezinárodního významu: E67 a E442. Celá oblast je bohatě protkána železniční sítí.

Z ekonomického hlediska je Královéhradecký kraj charakterizován jako zemědělsko-průmyslová oblast s dobře rozvinutým cestovním ruchem. Většina průmyslu je soustředěna do velkých měst. V Hradci Králové je rozvinutý strojírenský, elektrotechnický, kovozpracující, chemický a dřevozpracující průmysl a hutnictví neželezných kovů. Na zbývajícím území kraje najdeme textilní, sklářský a papírenský průmysl, výrobu elektrických a optických zařízení a hutnictví železných kovů. K celostátní průmyslové produkci však kraj přispívá jen malým dílem. Podle údajů Českého statistického úřadu se kraj podílí na celkových tržbách velkých průmyslových podniků ČR 4 %. V 1. až 3. čtvrtletí roku 2011 bylo v Královéhradeckém kraji 131 podniků se 100 a více zaměstnanci. To je po Karlovarském a Libereckém kraji nejméně v republice.

Ke dni 31. 3. 2012 bylo v Registru ekonomických subjektů evidováno celkem 135 266 ekonomických subjektů se sídlem v Královéhradeckém kraji, z toho 42 010 se věnuje obchodu, ubytování a stravování, 18 896 průmyslu, 17 628 stavebnictví a 6 841 zemědělství, lesnictví a rybářství.

Podle zprávy zpracované v roce 2007 agenturou Cenia jsou nejvýznamnějšími zdroji emisí v Královéhradeckém kraji:

ČEZ, a. s. Praha, OJ Elektrárny Poříčí – provoz Elektrárna Poříčí

ČEZ, a. s. Praha, OJ Elektrárny Poříčí – provoz Teplárna Dvůr Králové nad Labem

KA Contracting ČR s.r.o. – Teplárna Náchod

SAINT-GOBAIN ORSIL s.r.o. Častolovice

HELIOR CZ, a.s. – TEVEX Černožice

Cukrovary TTD a.s. České Meziříčí

Ammann Czech Republic a.s. Nové Město nad Metují

Škoda Auto a.s., Mladá Boleslav – závod Kvasiny

PETER GFK s.r.o. Kocbeře

ESAB VAMBERK, s.r.o.

Vzhledem k tomu, že emise z průmyslové výroby jsou vzduchem roznášeny na velké vzdálenosti, uvádím zde přehled průmyslové výroby celého kraje, a nikoli pouze studovaného území.

Ve zvolených kvadrantech převládá zemědělská výroba a cestovní ruch. Pěstuje se zde hlavně ječmen, pšenice, řepka, kukuřice, cukrová řepa a jablka. Živočišná výroba je zaměřena na chov skotu a prasat. S čilým cestovním ruchem je spojeno znečištění z dopravy, ke kterému velkou měrou přispívá i kamionová doprava mezi Polskem a Českou republikou.

3.2 Sledované prvky

3.2.1 Nikl

Nikl je velmi tažný lesklý stříbrobílý kov o relativní atomové hmotnosti 58,09. Ryzí se nachází pouze v železných meteoritech, v přírodě se vyskytuje ve vazbě se sírou, arzenem, antimonem a kyselinou křemičitou ve formě sulfidů a křemičitanů. V zemské kůře je hojně zastoupen, jeho průměrný obsah je 51 až 105 mg/kg (Sucharová & Suchara 2004). Tím se řadí na 7. místo ze všech prvků na Zemi.

Používá se k legování oceli jako antikoroziční ochrana jiných kovů, je důležitou složkou slitin, z kterých se vyrábí např. mince a přístroje, je nepostradatelnou surovinou pro některé typy galvanických článků a katalyzátorů.

Pro rostliny a některé živočichy je ve stopovém množství esenciálním prvkem. Ve vyšší koncentraci je však toxický, pro člověka jsou nejzávažnější jeho alergenní a karcinogenní účinky. Dlouhodobá profesionální expozice prachu obsahujícímu nikl způsobuje rakovinu plic a nosních dutin (Bencko et al. 1995).

3.2.2 Zinek

Zinek je měkký lesklý modrobílý kov o relativní atomové hmotnosti 65,38. Jeho průměrný obsah v zemské kůře je 73 až 80 mg/kg (Sucharová & Suchara 2004). V přírodě se nejčastěji vyskytuje jako sfalerit (ZnS). Zinek je velice reaktivní prvek, proto jej v ryzím stavu téměř nenajdeme.

Mezi hlavní zinkové rudy patří sfalerit (ZnS) a zinkit (ZnO). Při samotné těžbě se zinek dostává do životního prostředí jen minimálně, ale při tavení rudy se do ovzduší uvolňují emise obsahující kromě zinku také kadmium, olovo, arzen a další kovy (Bencko et al. 1995).

V průmyslu se zinek používá k výrobě nerezavějících slitin a mosazi, při výrobě železa, ke galvanizaci oceli a k pozinkování železa. Jemně práškováný oxid zinečnatý se používá jako zinková běloba.

Zinek obsahují prakticky všechna rostlinná pletiva a všechny živočišné tkáně. Je například nezbytný pro správnou funkci některých savčích enzymů. Páry nebo velmi jemný prach kovového zinku a oxidu zinečnatého však způsobují horečku z kovů připomínající svými příznaky malárii.

3.2.3 Měď

Měď je dobře zpracovatelný lesklý kov červenozlaté barvy o relativní atomové hmotnosti 63,54. Její průměrný obsah v zemské kůře je 19 až 75 mg/kg (Suchara & Sucharová 2004). V přírodě se měď vyskytuje převážně ve sloučeninách, z nich nejčastější jsou sulfidy jako například chalkozin (Cu_2S) a chalkopyrit (CuFeS_2). Přibližně 6 % světových zásob mědi je v ryzí formě (Bencko et al. 1995).

Nejvyužívanější měděné rudy jsou chalkopyrit (CuFeS_2) a bornit (CuFeS_4). Měď se používá k výrobě elektrotechnických zařízení, instalatérských a topenářských dílů a součástek, je součástí slitin a její sloučeniny jsou obsaženy v některých pesticidech.

Měď je esenciálním stopovým prvkem pro rostliny i živočichy. Páry obsahující měď a měděný prach ale vyvolávají horečku z kovů. Soli mědi působí dráždivě na kůži a sliznici spojivek a rohovku.

3.2.4 Olovo

Olovo je měkký stříbrolesklý kov o relativní atomové hmotnosti 207,21. Krystalizuje v krychlové soustavě. Jeho průměrný obsah v zemské kůře je jen 8 až 15 mg/kg (Suchara & Sucharová 2004). V přírodě se většinou vyskytuje ve sloučeninách, ale vzácně i ryzí. Pro člověka nejvýznamnější olověnou rudou je galenit (PbS) (Petřů 1966).

Olovo je jedním z typicky antropogenních toxických prvků znečišťujících životní prostředí. Od počátku 20. století se atmosférický spad olova zvýšil na desetinásobek původních hodnot (Cibulka a kol., 1991). Soudine uvádí, že v roce 1990 byly antropogenní emise olova 17,5krát vyšší než jeho přirozené emise z biogeochemických cyklů.

Nejvyšší koncentrace olova byly naměřeny v prachem znečištěné přízemní vrstvě ovzduší průmyslových oblastí a velkých měst. Nejvíce jsou tímto znečištěním postihovány předškolní děti, které si hrají na ulicích městských aglomerací (ibid.). Dlouhodobá expozice těchto dětí i nízkým dávkám olova je příčinou zpomalení duševního vývoje a nepříznivých změn chování. U dospělých lidí způsobuje olovo poruchy krevního tlaku a nepříznivě ovlivňuje reprodukční schopnost žen (Calder 1995).

Hlavními zdroji znečištění životního prostředí olovem jsou dnes olověné doly a hutě, kontaminovaná voda ze starého olověného potrubí, olověné barvy a likvidace olověných baterií (ibid.).

Velké množství olova se dříve do ovzduší dostávalo z automobilové dopravy. Sloučenina tetraethylolovo ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$) se přidávala do benzínu pro zvýšení jeho oktanového čísla za účelem zpomalení rychlosti hoření. Ve vyspělých zemích včetně České republiky je dnes přidávání této látky do benzínu zakázáno a moderní automobily jezdí výhradně na bezolovnatý benzín.

3.3 Použitý materiál

Na všech odběrových plochách jsem odebrala vzorky travníku Schreberova – *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. Jedná se o bokoplodý mech patřící do řádu Hypnales (rokytotvaré), podtřídy Hypnidae, třídy Bryopsida.

Travník vytváří rozsáhlé žlutozelené až bledě zelené porosty (viz obr. 3). Jeho lodyžky jsou nápadně rezavě červené, kolem 10 cm dlouhé, jednoduše zpeřené (viz obr. 4). Lístky jsou lesklé, vejčité, velmi vyduté, na konci zúžené v tupou zoubkatou špičku, mají krátké dvojité žebro. Větevní lístky bývají o něco menší než lístky lodyžní. Oproti severským oblastem u nás mech vytváří tobolky jen vzácně (Kremer B. P. & Muhle H. 1998).

Roste na kyselých půdách, zejména v jehličnatých lesích mezi trávou. Patří k našim nejčastějším mechům. Často se vyskytuje společně s *Hylocomium splendens* a *H. squarrosum* (Velenovský 1897). Je hojně rozšířen po celé severní polokouli a najdeme ho také v Andách. Vyskytuje se od nížin až nad horní hranici lesa.



Obrázek 3: Travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*)
(převzato z www.botany.cz, autor snímku: Naděžda Gutzerová)



Obrázek 4: Travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*) – detail
(převzato z fi.wikipedia.org, autor snímku: Kristian Peters)

3.4 Odběr vzorků

Při odebrání i zpracovávání vzorků jsem se snažila co nejvíce přiblížit metodice mezinárodního biomonitorovacího programu. Ta je detailně popsána v národní zprávě ČR zveřejňující výsledky třetího českého biomonitorovacího průzkumu (Suchara & Sucharová, 2004). V této metodice jsem provedla několik změn. Většinu z nich za účelem získání více dat a nových poznatků, ale některé i z praktických důvodů.

V rámci mezinárodního průzkumu se používá síť čtverců o straně 20 km, v každém čtverci je zvolena odběrová plocha o velikosti 50 × 50 m. Z každé odběrové plochy se na 7 místech odeberou dílčí vzorky, které jsou následně smíchány, aby vytvořily jeden reprezentativní vzorek o objemu 7-8 l. Tento postup ale není vždy striktně dodržován. Na plochách, kde je mechu málo, se odebírá méně větších dílčích vzorků nebo pouze jediný vzorek o potřebném objemu. Místa odběru se vybírají tak, aby vzorky nebyly ovlivněny spadem podkorunových srážek.

Na rozdíl od mezinárodního průzkumu jsem pro vymezení odběrových lokalit použila standardní střeoevropskou mapovací síť. Je tvořena čtverci o straně 8 km a je tedy více než 2× hustší než ta, která se používá při mezinárodním bryomonitoringu (biomonitoring za použití mechů). Na každém čtverci jsem odebrala vzorky ze dvou míst, každý o objemu přibližně 8 litrů. Vždy jsem volila jedno místo odběru pod korunami stromů a druhé mimo ně, abych mohla posoudit míru vlivu podkorunových srážek na koncentraci TK v mechu. Snažila jsem se, aby tato dvě místa od sebe dělila co nejmenší vzdálenost. Tedy aby jediným faktorem, kterým se výrazně liší, byla právě přítomnost/nepřítomnost korun stromů nad místem výskytu a ostatní faktory prostředí byly srovnatelné. Musela jsem najít lokality, na kterých se travník vyskytuje zároveň ve světlínách i pod korunami. Jak jsem však záhy zjistila, tento mech nejraději roste na místech, kde je les řídký. Bylo tudíž obtížné najít místa, kde je mech přímo pod korunami stromů, nebo nad něž naopak větve nezasahují vůbec. Proto jsem neodebírala více dílčích vzorků, ale pouze dva, které se v míře výskytu korun stromů nad nimi lišily skutečně výrazně.

Během vlastního odběru jsem dbala na to, aby vzorky nebyly ovlivněny vzrostlejší vegetací bylinného patra nebo nadměrným opadem a nebyly znečištěné činností lesních živočichů. V době mezi odběrem a zpracováním jsem vzorky skladovala v otevřených

mikrotenových sáčcích zakrytých čistou bavlněnou látkou. Tak se nezapařily a zároveň nedocházelo k jejich kontaminaci.

3.5 Zpracování vzorků

Při zpracovávání vzorků jsem nejdříve chomáče mechu rozebrala na jednotlivé rostlinky. Ty jsem pečlivě očistila od jehličí, větviček a dalších kousků opadu. Každou rostlinku jsem potom rozdělila na dvě části v místě, kde zbarvení lístků přechází ze zeleného do hnědého. Horní zelené segmenty jsou staré maximálně 2 až 2,5 roku (Suchara & Sucharová, 2004). Zatímco pro účely mezinárodního biomonitoringu se používají pouze tyto nejmladší části mechových rostlinek, já jsem pro analýzu zpracovala i spodní segmenty. Na základě porovnání koncentrací TK v mladších a starších částech jsem chtěla zjistit, zda dochází k vymývání TK z lístků, v kterých již neprobíhá fotosyntéza. Takto zpracovaný materiál jsem uložila do papírových sáčků, ve kterých velice rychle uschl.

Suché vzorky jsem namlela na kulovém mlýnku TU 260 vyrobeném v ZPA Dukla Prešov. Mlýnek se skládá ze dvou mlecích nádobek a dvou mlecích kuliček z rozdílných materiálů. V prvním případě jsou nádobka i kulička vyrobeny ze směsi zirkon-oxid, druhá nádobka je polyuretanová a kulička v ní je z wolframu. Oficiální metodika uvádí velikost částic o průměru maximálně 0,2 mm. Této velikosti nebyl problém dosáhnout pomocí wolframové kuličky, s ní se mi vzorky podařilo namlít ještě mnohem jemněji. Při mletí v zirkon-oxidové nádobce byl mech za stejnou dobu rozdrcen jen nahrubo. Proto jsem postupovala tak, že každou dávku vzorku jsem nejdříve mlela 10 min v zirkon-oxidové nádobce a poté 10 min v polyuretanové nádobce pomocí wolframové kuličky. Do doby dalšího zpracování jsem vzorky uchovávala v uzavíratelných polyetylenových sáčcích. Následující kroky jsem prováděla v chemické laboratoři.

Vzorky jsem přesypala do obálek z filtračního papíru a dosušila v sušičce při 60 °C po dobu 1 hodiny. V tomto bodě byly připraveny k mineralizaci neboli rozkladu až na jednoduché organické látky. Na analytických vahách jsem odvažovala 0,5 g vzorku, navážku jsem ihned přesypávala do speciálních teflonových nádobek. Používala jsem váhy Precisa 1212 M SuperBal.

Ke každému vzorku jsem pipetou přidala 7 ml 65% HNO_3 a 1 ml 30% H_2O_2 . Prováděla jsem tedy tzv. rozklad mokrou cestou. Vzniklá směs začala pomalu kypět a bylo nutné ji opatrně sklepávat. Když se její objem přestal zvětšovat, bylo možné nádobky uzavřít a umístit ve speciálním stojanu do mineralizátoru. Používala jsem mikrovlnné mineralizační zařízení speedwave[®] two od firmy Berghof. Průběh mineralizace řídí připojený počítač. Zvolila jsem 40minutový mineralizační program, který prvních dvacet minut postupně zvyšuje teplotu až na 180 °C a dalších dvacet minut tuto teplotu udržuje. Pro dokonalé rozložení vzorků bylo nutné spustit program dvakrát za sebou. Do mineralizátoru se najednou vejde 10 nádobek. Od navažování až do konce přípravy materiálu k analýze jsem proto pracovala vždy s 10 vzorky najednou. Vzorků bylo 48, dvě nádobky jsem použila na blank, takže jsem tento cyklus zopakovala pětkrát.

Přibližně 1 hodinu po ukončení druhého cyklu byly již nádobky dostatečně zchladlé, aby bylo možné je otevřít. Obsah každé z nich jsem přelila do varné baňky, kterou jsem doplnila destilovanou vodou po rysku na výsledný objem 50 ml. Posledním krokem přípravy vzorků bylo jejich přelití přes filtrační papír do uzavíratelných plastových nádobek. Takto byly konečně připraveny na analýzu.

V každé fázi přípravy vzorků jsem dbala na to, aby nebyly kontaminovány. Při manipulaci s nimi jsem používala ochranné rukavice, po namletí každého vzorku jsem pečlivě vyčistila nádobky mlýnku i mlecí kuličky, mineralizační nádobky i laboratorní sklo jsem pro každý nový vzorek nejprve řádně vymyla destilovanou vodou. Všechny sáčky i nádobky jsem popisovala čísly vzorků, aby nedošlo k jejich záměně.

3.6 Analýza vzorků

3.6.1 Použitá metoda a přístroje

K analýze vzorků byla použita atomová absorpční spektrometrie, což je analytická metoda sloužící ke stanovení obsahu látek v roztoku. Připravené vzorky podrobil analýze RNDr. Petr Hekera Ph.D z katedry Ekologie a životního Prostředí na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci. Použil atomový absorpční spektrometr Avanta Σ s automatickým podavačem SDS-270 od firmy GBS. Přístroj umožňuje detekci značného i stopového množství jednotlivých prvků. Vybrané prvky (Ni, Zn, Cu, Pb, Cd) byly stanovovány v plameni acetylen-vzduch. Software Avanta pracuje pod operačním systémem Windows[®] 95.

3.6.2 *Princip fungování atomového absorpčního spektrometru*

Kapilára automatického podavače nasaje malé množství vzorku a rozpráší jej v podobě aerosolu do plamene spektrometru. Působením vysoké teploty se poruší chemické vazby v molekulách přítomných sloučenin. Součástí přístroje jsou výbojky s dutou katodou. Pro detekci každého prvku se používá samostatná výbojka vyzařující světlo o takové vlnové délce, které jeho atomy nejvíce pohlcují. Přístroj měří úbytek intenzity světla po průchodu atomizovaným vzorkem v plameni a na základě tohoto úbytku vypočítá koncentraci volných atomů testovaného prvku. V praxi se úbytek intenzity procházejícího světla vyjadřuje veličinou zvanou absorbance (A), která je vyjádřena vzorcem Lambert-Beerova zákona:

$$A = \log_{10} (I_0/I_t) = K \cdot C \cdot L,$$

kde I_0 = počáteční intenzita záření světelného zdroje,

I_t = naměřená intenzita záření po průchodu atomizovaným vzorkem,

K = experimentálně určená konstanta,

C = koncentrace volných atomů ve vzorku,

L = délka dráhy světla.

3.7 **Analýza dat**

Statistické zpracování dat bylo provedeno v programu NCSS 2007 (Hintze J., 2001, Kaysville, Utah). Metodou vícefaktorové analýzy rozptylu (GLM) a následným vícenásobným porovnáním pomocí Tukey-Kramerova testu byly hodnoceny rozdíly mezi 3 faktory: 1) místo odběru: pod korunami stromů/mimo koruny stromů („les/neles“), 2) část rostliny: vrchní segmenty/spodní segmenty („vršky/spodky“) a 3) vliv lokality, přičemž vliv stromů a části rostliny byly v analýze použity jako pevné (fixed) faktory a lokalita jako „nested“ faktor. Testovány byly pouze 4 kovy – Zn, Ni, Cu a Pb. U olova a niklu jsou výsledky díky malému množství použitelných dat problematické a proto byl vliv jednotlivých faktorů zjišťován ještě dílčími analýzami pomocí párového t-testu.

4. Výsledky

Obsah čtyř vybraných TK (Ni, Zn, Cu, Pb) byl sledován na všech 12 lokalitách. Na každé lokalitě jsem zvolila 2 odběrová místa, celkem tedy bylo analyzováno 48 vzorků. Zdaleka ne ve všech vzorcích se podařilo stanovit koncentraci příslušného prvku. Velice nízké hodnoty, které jsou příliš zatíženy chybou měření použitého přístroje, jsou v tabulkách uváděny jako hodnoty pod mezí detekce (<MD).

Do výpočtu deskriptivních statistik párového T-testu jsem zahrнула i vzorky s naměřenou koncentrací pod mezí detekce, u nichž jsem pak počítala s nulovou koncentrací daného prvku. Vícefaktorové analýze rozptylu byly podrobeny pouze vzorky s obsahem příslušného prvku nad mezí detekce. Omezená velikost souboru dat se pak ale rušivě projevila na výsledcích analýzy.

V tabulkách deskriptivních statistik uvádím aritmetický průměr (\bar{x}), směrodatnou odchylku ($\pm s$) a počet měření, z kterých byly tyto statistiky vypočítány.

4.1 Nikl

Při spektrometrické analýze se podařilo stanovit obsah niklu v 34 vzorcích ze 48. Nejvyšší průměr hodnot byl zjištěn ve spodních segmentech rostlin sebraných pod korunami stromů, nejnižší ve vrchních segmentech pod korunami stromů (tab. 1 a 2).

Vícefaktorové analýze rozptylu bylo podrobena pouze 34 vzorků s obsahem niklu nad mezí detekce. Omezená velikost souboru dat se rušivě projevila na výsledcích analýzy. U žádného z testovaných faktorů nebyl zjištěn významný rozdíl oproti ostatním testovaným faktorům (tab. 3). Z dat je patrný pouze jistý trend v rozdílu množství niklu v jednotlivých částech mechu (obr. 5).

Pomocí párového T-testu byl zjištěn průkazný rozdíl mezi vrchními a spodními segmenty sebranými pod stromy, přičemž více niklu obsahovaly spodní segmenty. Rozdíl mezi vrchními a spodními segmenty ze světlin byl neprůkazný. Neprůkazný byl rovněž rozdíl mezi vrchními segmenty sebranými pod stromy a vrchními segmenty ze světlin. Naopak rozdíl mezi spodními segmenty rostlin sebranými pod stromy a spodními segmenty ze světlin průkazný byl (tab. 4), více niklu obsahovaly segmenty rostlin sebraných pod korunami stromů.

Tabulka 1: Naměřený obsah niklu Ni [mg/kg]

POD KORUNAMI STROMŮ		MIMO KORUNY STROMŮ	
vrchní segmenty	spodní segmenty	vrchní segmenty	spodní segmenty
4,0	5,3	<MD	<MD
<MD	5,8	<MD	<MD
<MD	8,4	5,0	7,4
<MD	6,6	5,9	<MD
<MD	5,4	<MD	6,3
<MD	6,8	5,3	5,5
4,7	7,7	6,7	6,2
<MD	5,2	<MD	4,7
<MD	6,8	4,5	4,1
5,0	6,6	4,8	6,4
5,0	8,9	5,9	7,1
5,8	7,5	6,4	4,1

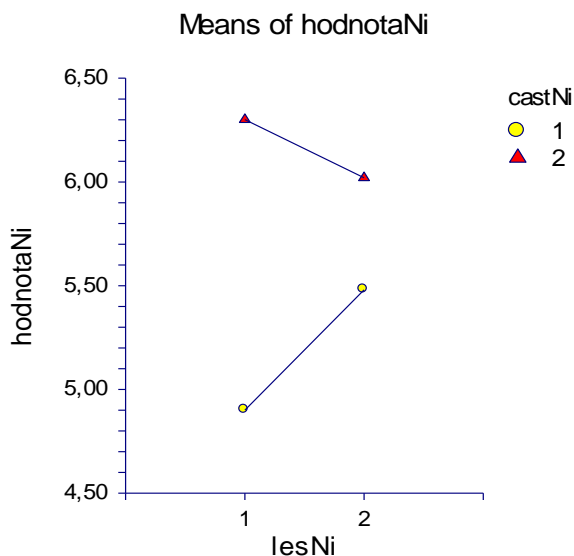
Tabulka 2: Deskriptivní statistiky naměřeného obsahu Ni [mg/kg]

POD KORUNAMI STROMŮ		MIMO KORUNY STROMŮ	
vrchní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)	spodní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)	vrchní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)	spodní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)
2,04 \pm 2,55 (12)	6,75 \pm 1,21 (12)	3,71 \pm 2,81 (12)	4,32 \pm 2,81 (12)

Tabulka 3: Výsledky vícefaktorové analýzy rozptylu (Ni)

Znak (zdroj proměnlivosti)	Počet stupňů volnosti	Součet druhých mocnin	Průměr druhých mocnin	F-poměr	Hladina významnosti
A: místo odběru	1	0,1125	0,1125	0,12	0,752740
B(A): lokalita	3	2,8325	0,9441667	0,91	0,471915
C: část rostliny	1	4,7045	4,7045	7,40	0,072587
AC	1	0,9245	0,9245	1,45	0,314421
BC(A)	3	1,9085	0,6361667	0,61	0,623188

* Znak signifikantní při hladině významnosti $\alpha = 0,05$



Obrázek 5: Trend v rozdílu množství niklu v jednotlivých částech rostlinky travníku

Tabulka 4: Výsledky párového T-testu (Ni)

Porovnávané kategorie	T- hodnota	Hladina významnosti	Zamítám H0 (P ≤ 0,05)	Síla testu (α = 0,05)
les: vršky-spodky	-6,8828	0,000026	Ano	0,999989
neles: vršky-spodky	-0,6736	0,514450	Ne	0,094574
vršky: les-neles	-1,9541	0,076585	Ne	0,430042
spodky: les-neles	3,5401	0,004632	Ano	0,895808

4.2 Zinek

Při spektrometrické analýze se podařilo stanovit obsah zinek ve všech 48 vzorcích. Nejvyšší průměr hodnot byl zjištěn ve spodních segmentech rostlin sebraných pod korunami stromů, nejnižší ve vrchních segmentech rostlin sebraných ve světlínách (tab. 5 a 6).

Vícefaktorové analýze rozptylu bylo podrobena 48 vzorků s obsahem niklu nad mezí detekce. Výsledky byly signifikantní pouze u znaku lokalita a také u interakce znaků lokalita – část rostliny (tab. 7). Tukey-Kramerův test proto neukázal rozdíly mezi sledovanými parametry.

Pomocí párového T-testu byl zjištěn průkazný rozdíl mezi vrchními a spodními segmenty rostlin sebraných pod korunami stromů i mezi vrchními a spodními segmenty rostlin ze světlin. V obou případech bylo více zinku naměřeno ve spodních segmentech. Rozdíl mezi vrchními segmenty rostlin sebraných pod korunami stromů a vrchními segmenty rostlin ze světlin nebyl signifikantní stejně jako rozdíl mezi spodními segmenty rostlin sebraných pod korunami stromů a spodními segmenty rostlin ze světlin. (tab. 8).

Obsah měřených prvků je udáván v mg na 1 kg sušiny mechu.

Tabulka 5: Naměřený obsah zinku Zn [mg/kg]

POD KORUNAMI STROMŮ		MIMO KORUNY STROMŮ	
vrchní segmenty	spodní segmenty	vrchní segmenty	spodní segmenty
54,6	55,5	61,8	68,8
45,2	50,9	39,7	68,1
38,5	51,4	47,9	51,1
69,4	85,6	56,5	66,0
76,4	91,8	35,9	42,4
59,3	64,2	57,0	70,0
55,1	50,0	42,8	36,7
33,7	52,3	50,5	43,5
44,8	54,3	36,0	40,5
53,1	55,5	44,7	50,0
51,2	80,2	41,7	44,1
45,8	41,9	41,0	53,7

Tabulka 6: Deskriptivní statistiky naměřeného obsahu Zn [mg/kg]

POD KORUNAMI STROMŮ		MIMO KORUNY STROMŮ	
vrchní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)	spodní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)	vrchní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)	spodní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)
52,26 \pm 12,14 (12)	61,13 \pm 15,94 (12)	46,29 \pm 8,53 (12)	52,91 \pm 12,26 (12)

Tabulka 7: Výsledky vícefaktorové analýzy rozptylu (Zn)

Znak (zdroj proměnlivosti)	Počet stupňů volnosti	Součet druhých mocnin	Průměr druhých mocnin	F-poměr	Hladina významnosti
A: místo odběru	1	719,9752	719,9752	3,01	0,113614
B(A): lokalita	10	2395,042	239,5042	3,27	0,008435*
C: část rostliny	1	604,2102	604,2102	2,22	0,166683
AC	1	15,30021	15,30021	0,06	0,817180
BC(A)	10	2716,027	271,6027	3,71	0,004119*

* Znak signifikantní při hladině významnosti $\alpha = 0,05$

Tabulka 8: Výsledky párového T-testu (Zn)

Porovnávané kategorie	T- hodnota	Hladina významnosti (P)	Zamítám H0 ($P \leq 0,05$)	Síla testu ($\alpha = 0,05$)
les: vršky-spodky	-3,0711	0,010638	Ano	0,798165
neles: vršky-spodky	-2,4748	0,030855	Ano	0,616324
vršky: les-neles	-1,4452	0,176282	Ne	0,261846
spodky: les-neles	-1,4187	0,183688	Ne	0,254110

4.3 Měď

Při spektrometrické analýze se podařilo stanovit obsah mědi ve všech 48 vzorcích. Nejvyšší průměr hodnot byl zjištěn ve spodních segmentech rostlin sebraných ve světlinách, nejnižší ve vrchních segmentech rostlin sebraných ve světlinách (tab. 9 a 10).

Vícefaktorové analýze rozptylu bylo podrobena 48 vzorků s obsahem mědi nad mezí detekce. Průkazný rozdíl v obsahu mědi se projevil pouze při srovnání vzorků sebraných pod korunami stromů se vzorky ze světlin, přičemž více mědi bylo zaznamenáno u vzorků ze světlin (tab. 11).

Pomocí párového T-testu nebyl zjištěn signifikantní rozdíl ani v jedné testované kategorii (tab. 12).

Tabulka 9: Naměřený obsah Cu [mg/kg]

POD KORUNAMI STROMŮ		MIMO KORUNY STROMŮ	
vrchní segmenty	spodní segmenty	vrchní segmenty	spodní segmenty
10,2	7,0	1,3	4,6
5,9	5,8	4,2	8,1
5,5	7,0	7,7	6,1
8,7	9,0	27,0	1,7
7,2	3,9	5,0	13,7
7,6	5,7	49,2	2,8
11,3	7,8	4,7	3,9
4,9	5,6	5,6	3,4
9,0	9,8	5,8	5,5
8,4	7,5	6,1	6,9
7,6	10,1	10,1	15,7
32,4	4,4	4,9	3,4

Tabulka 10: Deskriptivní statistiky naměřeného obsahu Cu [mg/kg]

POD KORUNAMI STROMŮ		MIMO KORUNY STROMŮ	
vrchní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)	spodní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)	vrchní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)	spodní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)
9,89 \pm 7,33 (12)	6,97 \pm 2,00 (12)	10,97 \pm 13,69 (12)	6,32 \pm 4,33 (12)

Tabulka 11: Výsledky vícefaktorové analýzy rozptylu (Cu)

Znak (zdroj proměnlivosti)	Počet stupňů volnosti	Součet druhých mocnin	Průměr druhých mocnin	F-poměr	Hladina významnosti
A: místo odběru	1	172,1419	172,1419	5,53	0,040521*
B(A): lokalita	10	311,2504	31,12504	0,40	0,935334
C: část rostliny	1	0,541875	0,541875	0,01	0,931909
AC	1	8,926875	8,926875	0,13	0,729505
BC(A)	10	705,8337	70,58337	0,90	0,548448

* Znak signifikantní při hladině významnosti $\alpha = 0,05$

Tabulka 12: Výsledky párového T-testu (Cu)

Porovnávané kategorie	T- hodnota	Hladina významnosti	Zamítám H0 ($P \leq 0,05$)	Síla testu ($\alpha = 0,05$)
les: vršky-spodky	1,2448	0,239083	Ne	0,206551
neles: vršky-spodky	1,0324	0,324042	Ne	0,156759
vršky: les-neles	0,2268	0,824736	Ne	0,054958
spodky: les-neles	-0,4863	0,636272	Ne	0,073012

4.4 Olovo

Při spektrometrické analýze se podařilo stanovit obsah olova jen v 19 vzorcích ze 48. Nejvyšší průměr hodnot byl naměřen ve spodních segmentech rostlin sebraných pod korunami stromů, nejnižší ve vrchních segmentech rostlin sebraných na světlinách (tab. 9 a 10).

Pro malé množství použitelných dat nebylo možné uplatnit metodu vícefaktorové analýzy rozptylu. Charakter dat umožnil pouze dílčí srovnání významnosti rozdílů v obsahu Pb ve spodních segmentech rostlin sebraných pod stromy a spodních segmentech ze světlin pomocí párového T-testu, rozdíl byl ale neprůkazný (tab. 15).

Tabulka 13: Naměřený obsah Pb [mg/kg]

POD KORUNAMI STROMŮ		MIMO KORUNY STROMŮ	
vrchní segmenty	spodní segmenty	vrchní segmenty	spodní segmenty
< MD	12,2	<MD	<MD
< MD	15,3	<MD	11,5
< MD	9,5	<MD	14,7
14,5	27,2	7,1	10,7
< MD	<MD	<MD	8,3
< MD	17,3	9,3	23,6
< MD	11,4	<MD	11,2
< MD	8,3	<MD	<MD
< MD	12,9	<MD	<MD
< MD	8,8	<MD	10,1
7,1	22,7	<MD	17,0
< MD	19,2	<MD	11,1

Tabulka 14: Deskriptivní statistiky naměřeného obsahu Pb [mg/kg]

POD KORUNAMI STROMŮ		MIMO KORUNY STROMŮ	
vrchní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)	spodní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)	vrchní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)	spodní segmenty $\bar{x} \pm s$ (n)
1,80 \pm 4,49 (12)	13,73 \pm 7,23 (12)	1,37 \pm 3,23 (12)	9,85 \pm 7,16 (12)

Tabulka 15: Výsledky párového T-testu (Pb)

porovnávané kategorie	T- hodnota	Hladina významnosti	Zamítám H0 (P \leq 0,05)	Síla testu ($\alpha = 0,05$)
spodky: les-neles	1,6566	0,125810	Ne	0,327759

5. Diskuze

Hlavním cílem práce bylo zjistit koncentrace vybraných TK (Ni, Zn, Cu, Pb) ve vzorcích mechu sebraných na 12 lokalitách severovýchodních Čech. Obsah zinku a mědi se podařilo stanovit ve všech vzorcích. Koncentrace niklu a olova byly v relativně velkém množství vzorků pod mezí detekce použitého spektrometru, což ztížilo interpretaci statistických dat.

Odběr vzorků v terénu byl navržen tak, aby kromě porovnání úrovně znečištění atmosféry těžkými kovy bylo také možné zhodnotit vliv zástinu stromů a případné rozdíly v obsahu kovů mezi mladou rostoucí částí rostliny a starší částí, ve které již neprobíhají tak intenzivní metabolické pochody. Odpovědi na tyto otázky byly zjišťovány pomocí vícefaktorové analýzy rozptylu (GLM) a následným vícenásobným porovnáním pomocí Tukey-Kramerova testu. Kvůli nedostatku dat nebo neprůkaznosti Tukey-Kramerova testu jsem musela použít také párový T-test.

K porovnání výsledků mého zkoumání s výsledky celostátního biomonitorovacího programu z předchozích let jsem použila data popisující obsah TK ve vrchních segmentech rostlin mechu sebraných na světlinách, protože s těmito údaji pracuje výše zmíněný celostátní biomonitorovací program. Jelikož se mi z dostupné literatury nepodařilo získat konkrétní údaje pro vybrané lokality, porovnála jsem u každého zkoumaného prvku průměrné výsledky ze všech svých lokalit s celorepublikovými průměry ze čtyř etap biomonitorovacího průzkumu od roku 1991 do roku 2006 v souhrnné zprávě (Suchara et al. 2008).

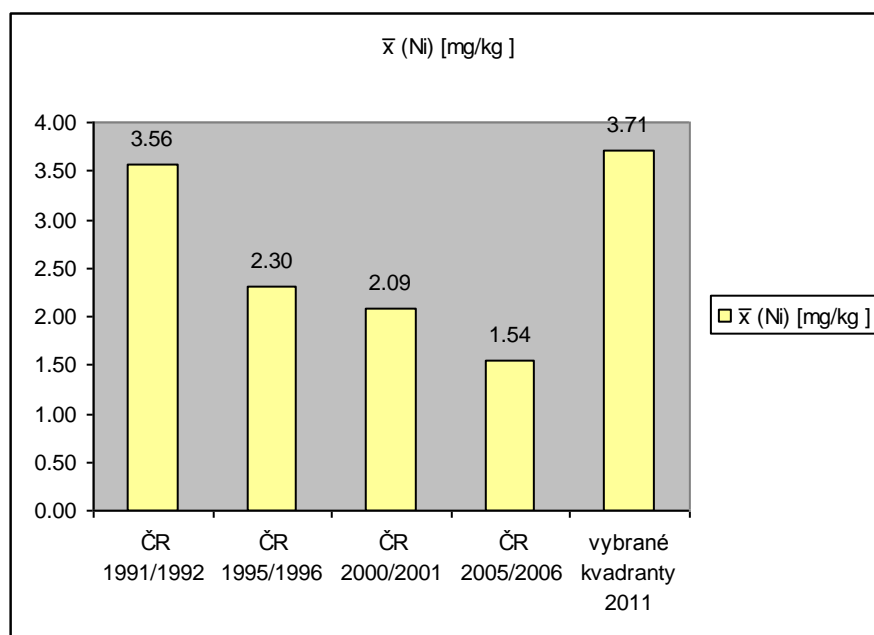
5.1 Nikl

V rámci vzorků vrchních segmentů sebraných ve světlinách byl největší obsah niklu naměřen ve vzorku z lokality č. 7 u Dědova (6,7 mg/kg). Příčinou zvýšeného množství niklu na této lokalitě může být skutečnost, že se v blízkosti obce Dědov nachází provoz firmy Feron, která se zabývá metalurgií a obchodováním s hutními výrobky. V rámci všech analyzovaných vzorků byl největší obsah niklu zjištěn ve vzorku spodních segmentů sebraných pod korunami stromů na lokalitě č. 11 u Dobrošova (8,9 mg/kg). Pro větší počet vzorků s obsahem olova pod mezí detekce neuvádím lokality s nejmenší zjištěnou koncentrací.

Pomocí párového T-testu bylo zjištěno signifikantně větší množství niklu ve spodních částech rostlin sebraných pod stromy oproti spodním částem rostlin sebraných ve světlinách. Tento dílčí výsledek svědčí o tom, že koncentraci niklu v mechu zvyšují podkorunové srážky. Pod stromy jsou obecně zjišťovány vyšší koncentrace znečišťujících látek, protože dešťové srážky smývají z jejich korun imise zachycené za předcházející období beze srážek (Suchara & Sucharová 1998a).

Pomocí párového T-testu bylo zjištěno také signifikantně větší množství niklu ve spodních částech rostlin sebraných pod stromy oproti vrchním částem rostlin sebraných pod stromy. Tento dílčí výsledek podporuje hypotézu, že ze starších segmentů mechu se akumulovaný nikl nevymývá vůbec a nebo jen minimálně.

Průměrný obsah niklu (naměřený v horních segmentech rostlin sebraných ve světlinách) na studovaném území převyšoval celorepublikový průměr z let 2005 až 2006 více než dvakrát a byl dokonce o 0,15 mg/kg vyšší než celorepublikový průměr naměřený v letech 1991 až 1992 (Suchara et al. 2008). Tento fakt není v souladu s všeobecným trendem poklesu množství TK v životním prostředí.



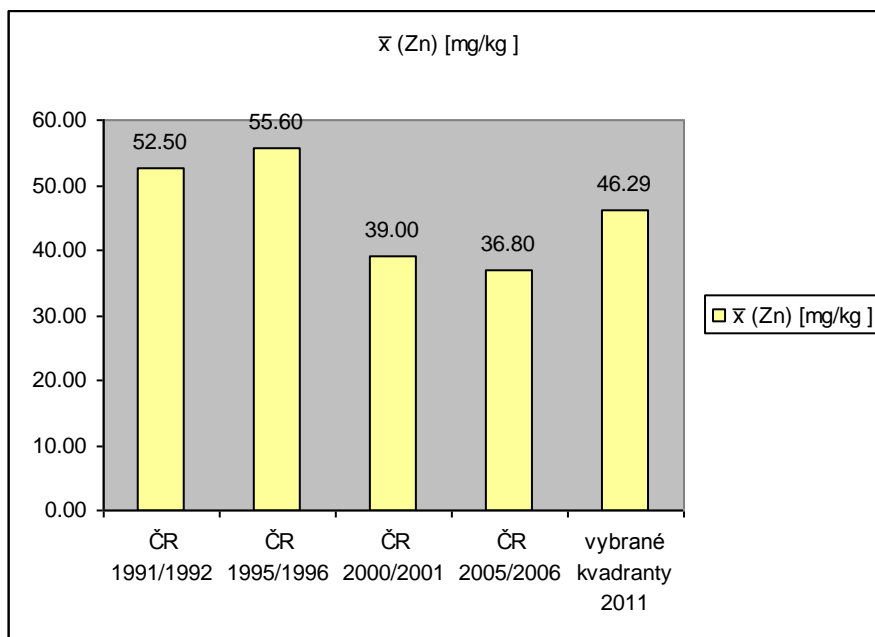
Obrázek 6: Graf průměrných hodnot obsahu Ni naměřených v horních segmentech mechu sebraného na světlinách

5.2 Zinek

V rámci vzorků vrchních segmentů sebraných ve světlinách byl největší obsah zinku naměřen ve vzorku z lokality č. 1 u Žacléře (61,8 mg/kg) a nejmenší obsah na lokalitě č. 5 u Trutnova (35,9 mg/kg). V rámci všech analyzovaných vzorků byl největší obsah zinku zjištěn ve vzorku spodních segmentů rostlin sebraných pod korunami stromů také na lokalitě č. 5 u Trutnova (91,8 mg/kg), nejméně niklu obsahovaly vzorky spodních segmentů rostlin sebraných ve světlinách na lokalitě č. 8 u Božanova (33,7 mg/kg). Z výše uvedených údajů vyplývá, že na lokalitě č. 5 je vliv podkorunových srážek i stáří segmentu na koncentraci TK v mechu značný.

Pomocí párového T-testu bylo zjištěno signifikantně větší množství zinku ve spodních částech rostlin sebraných pod stromy oproti vrchním částem rostlin sebraných pod stromy. Zároveň bylo zjištěno i signifikantně větší množství zinku ve spodních segmentech rostlin ze světlin oproti vrchním segmentům ze světlin. Tyto dílčí výsledky podporují hypotézu, že ze starších segmentů mechu se akumulovaný zinek nevymývá vůbec a nebo jen minimálně.

Průměrný obsah niklu (naměřený v horních segmentech rostlin sebraných ve světlinách) na studovaném území byl o 9,49 mg/kg vyšší než celorepublikový průměr naměřený v letech 2005 až 2006. Nepřekračoval však celorepublikové průměry naměřené v letech 1991 až 1992 a 1995 až 1996 (Suchara et al. 2008).



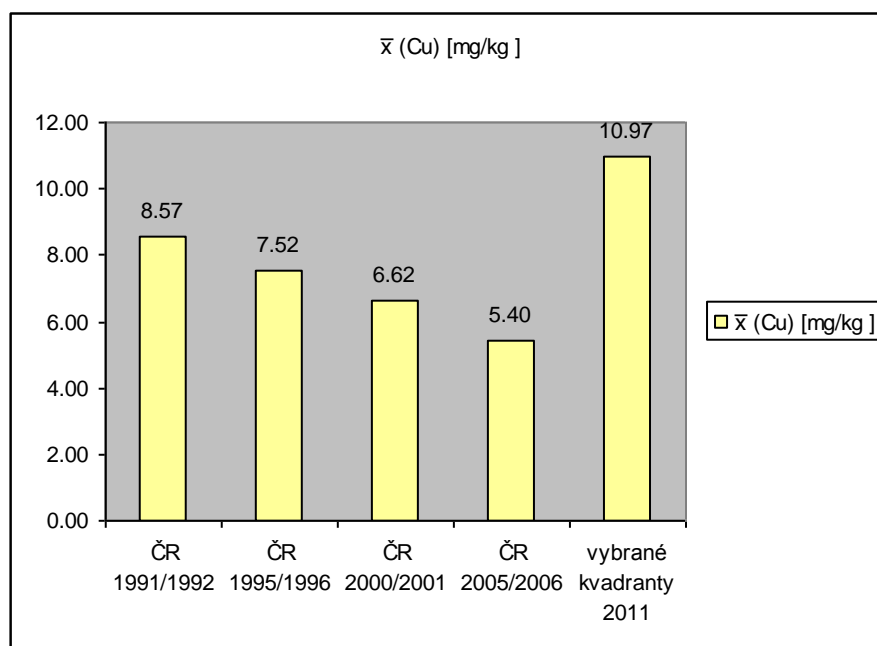
Obrázek 7: Graf průměrných hodnot obsahu Zn naměřených v horních segmentech mechu sebraného ve světlinách

5.3 Měď

V rámci vzorků vrchních segmentů sebraných ve světlinách byl největší obsah mědi naměřen ve vzorku z lokality č. 6 u Radvanic (49,2 mg/kg) a nejmenší obsah na lokalitě č. 1 u Žacléře (1,3 mg/kg). Zároveň se jedná o maximální i minimální naměřené hodnoty v rámci všech analyzovaných vzorků. Hodnota obsahu mědi naměřená ve vzorku z lokality č. 6 u Radvanic velmi vyčnívá nad hodnoty naměřené ve vzorcích z okolních lokalit (viz příl. 3). Příčinou by mohla být prašnost z hald tamních bývalých uhelných dolů.

Pomocí vícefaktorové analýzy rozptylu bylo zjištěno signifikantně větší množství zinku ve vzorcích rostlin ze světlin oproti vzorkům rostlin sebraných pod korunami stromů. Tento výsledek hovoří proti předpokladu, že koncentraci mědi v mechu zvyšují podkorunové srážky.

Průměrný obsah mědi (naměřený v horních segmentech rostlin sebraných ve světlinách) na studovaném území převyšoval všechny uvedené celorepublikové průměry. Celorepublikový průměr z let 2005 až 2006 převyšoval dvakrát (Suchara et al. 2008). Tento fakt není v souladu s všeobecným trendem poklesu množství TK v životním prostředí. Tak vysoká hodnota průměru byla však způsobena tzv. ulétlými hodnotami, zejména hodnotou naměřenou na lokalitě č. 6 u Radvanic (viz příl. 3). Pokud bychom ulétlé hodnoty do výpočtu průměru nezahrnuli, blížil by se celorepublikovým průměrem z předchozích let.



Obrázek 8: Graf průměrných hodnot obsahu Cu naměřených v horních segmentech mechu sebraného ve světlinách

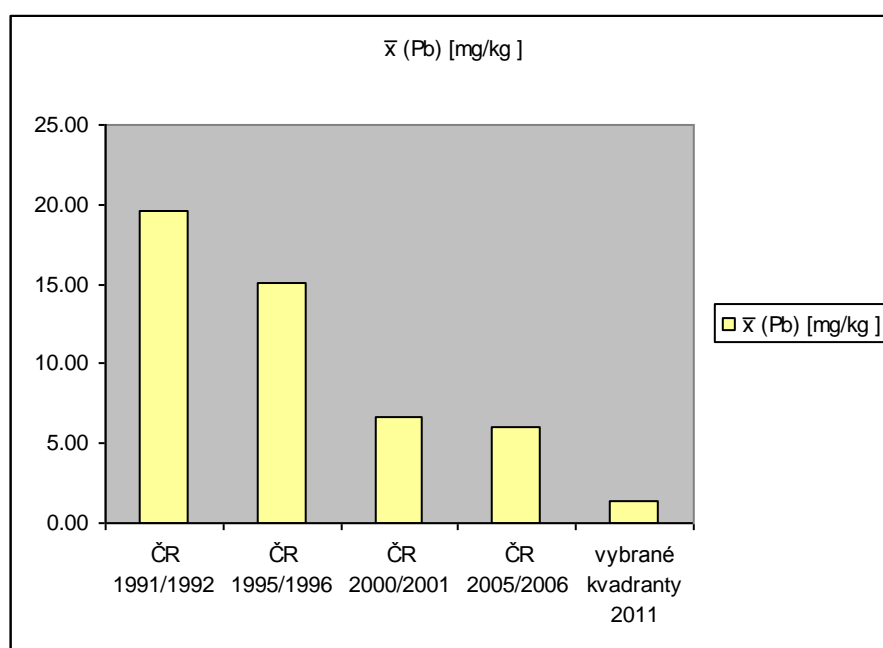
5.4 Olovo

V rámci vzorků vrchních segmentů sebraných ve světlinách byl největší obsah olova naměřen ve vzorku z lokality č. 6 u Radvanic (9,3 mg/kg). Tato skutečnost může souviset se sekundární prašností z uhelných hald stejně jako v případě mědi (viz výše).

V rámci všech analyzovaných vzorků byl největší obsah mědi zjištěn ve vzorku spodních segmentů rostlin sebraných pod korunami stromů na lokalitě č. 4 u Janoviček (27,2 mg/kg). Pro velký počet vzorků s obsahem olova pod mezí detekce neuvádím

lokality s nejmenší zjištěnou koncentrací. Statistické analýza dat byla získáním velmi omezeného souboru dat téměř znemožněna a nepodalala žádné signifikantní výsledky.

Průměrný obsah olova (naměřený v horních segmentech rostlin sebraných ve světlinách) na studovaném území byl výrazně nižší než všechny uvedené celorepublikové průměry (Suchara et al. 2008). Tento fakt je v souladu s všeobecným trendem poklesu množství TK v životním prostředí. Za tak významným snížením pravděpodobně stojí zavedení bezolovnatého benzínu, protože v minulých letech byly největším zdrojem olova spaliny z motorů využívajících benzín s přídavkem tetraetylolova.



Obrázek 9: Graf průměrných hodnot obsahu Pb naměřených v horních segmentech mechu sebraného ve světlinách

6. Závěr

Hlavním cílem práce bylo získat údaje o aktuálním znečištění atmosféry vybranými TK (Ni, Zn, Cu, Pb) na území severovýchodních Čech. Celkem jsem shromáždila 48 vzorků mechu z 12 lokalit. Obsah zinku a mědi se mi podařilo stanovit ve všech 48 vzorcích. Koncentrace niklu a olova byla u velké části vzorků pod mezí detekce použitého spektrometru. Pro statistické vyhodnocení dat představují chybějící údaje velkou komplikaci, z hlediska ochrany životního prostředí se ale jedná o pozitivní skutečnost. Při pokračování v započatém průzkumu by bylo vhodné použít spektrometr s větší rozlišovací schopností.

Otázky týkající se vlivu podkorunových srážek na koncentraci TK v travníku a otázky týkající se fyziologie ukládání TK jeho pletivech nelze na základě získaných dat jednoznačně zodpovědět. Dílčí výsledky statistické analýzy neudávají žádný trend společný pro všechny zjišťované prvky, spíše vyvolávají řadu nových otázek a vybízejí k dalšímu výzkumu. Nejvyšší obsah niklu, zinku i olova byl zjištěn ve spodních segmentech rostlin sebraných pod korunami stromů, což by svědčilo ve prospěch hypotézy, že k vymývání těchto prvků z pletiv travníků pravděpodobně nedochází vůbec, nebo k němu dochází jen v omezené míře a že podkorunové srážky zvyšují jejich obsah v tomto mechu. Vzhledem k výsledkům dílčích statistických testů však nelze tento závěr jednoznačně potvrdit.

Ze srovnání s výsledky předchozích čtyř etap celostátního biomonitorovacího průzkumu vyplývá, že v případě niklu a zinku byly mnou zjištěné průměrné hodnoty obsahu daného TK v horních segmentech rostlin sebraných ve světlinách vyšší než průměrné hodnoty u odpovídajících segmentů z celostátního průzkumu. Při též porovnání byly v případě mědi moje výsledky výrazně vyšší, což bylo ovšem způsobeno několika výrazně vyššími hodnotami oproti ostatním lokalitám studovaného území, jejichž hodnoty jsou v souladu s celorepublikovým průměrem z posledního měření v letech 2005 až 2006. U olova moje výsledky odpovídají dlouhodobému klesajícímu trendu jeho výskytu v ovzduší.

Pomocí chemické analýzy mechu jsou dnes v rámci mezinárodního biomonitorovacího programu OSN EHK ICP-Vegetace zjišťovány atmosférické depozice 37 vybraných prvků a jejich sloučenin téměř ve všech evropských zemích každých 5 let. Nové

poznatky o vlivech na akumulovanou koncentraci TK v mechu jsou důležité pro zkvalitňování tohoto průzkumu.

7. Citovaná literatura

- Bencko V., Cikrt M., Lener J. (1955): Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka. – Grada Publishing, Praha, 288 s.
- Suchara I. & Sucharová J. (2004): Biomonitoring atmosférické depozice prvků a jejich sloučenin v České republice pomocí analýzy mechů. Výsledky ČR mezinárodního biomonitorovacího programu OSN EHK ICP-Vegetace 2000. Část I.: Prvky požadované pro biomonitorovací program. – Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice, 135 s.
- Suchara I., Sucharová J., Holá M. (2008): Obsah 37 prvků v mechu a časové a prostorové změny jeho hodnot v České republice během posledních 15 let. Čtvrtý český biomonitorovací průzkum prováděný v rámci mezinárodního biomonitorovacího programu OSN EHK ICP-Vegetace 2005/2006. Část I.: Prvky požadované pro biomonitorovací program. – Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice, 171 s.
- Rao D. N. (1982): Responses of Bryophytes to Air Pollution. – In: Smith A. J. E. [eds.], Bryophyte ecology, 12: pp. 445–469, Chapman & Hall, London.
- Kremer B. P. & Muhle H. (1998): Lišejníky, mechorosty, kaprad'orosty. – Ikar, Praha, 286 s.
- Rybář P. (1986): Všeobecná část – příroda. – In: autorský a lektorský kolektiv, Náchodsko a Hradecko, turistický průvodce ČSSR, svazek 26, 1: s. 7–16, Olympia, Praha.
- Kučera J. [ed.] (2007): Mechorosty České republiky. On-line klíče, popisy a ilustrace. Jihočeská Univerzita. <http://botanika.bf.jcu.cz/bryoweb/klic>.
- Cibulka J. et al. (1991): Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře. – Academia, Praha, 427 s.
- Calder I. (1995): Olovo a zdraví. – Státní zdravotní ústav Praha, 20 s.
- Petrů F. (1966): Anorganická chemie, Kovy a polokovy I. – Státní nakl. tech. literatury, Praha, 155 s.
- Hašek M. (1968): Čistota ovzduší. – Práce, Praha, 184 s.
- Rühling Å. & Tyler G. (2001): Changes in Atmospheric Deposition Rates of Heavy Metals in Sweden, A Summary of Nationwide Swedish Surveys in 1968/70 – 1995. – Water, Air, & Soil Pollution: Focus, Springer Netherlands, 1: 311C323.
- Hutchinson T. C. & Whitby L. M. (1974): Heavy-Metal Pollution in the Sudbury Mining and Smelting Region of Canada, I. Soil and Vegetation Contamination by Nickel, Copper, and Other Metals. Environmental Conservation, 1: pp. 123–132.

[CENIA] česká informační agentura životního prostředí, 2007. Stav životního prostředí v jednotlivých krajích České republiky v roce 2006, Královéhradecký kraj.

Velenovský J. (1897): Mechy české. – Česká akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, Praha, 348 s.

Suchara I. & Sucharová J. (1998b): Mechorosty a monitorování (2). – Živa, Academia, Praha, 6: s. 246–248.

Suchara I. & Sucharová J. (1998a): Mechorosty a monitorování (1). – Živa, Academia, Praha, 5: s. 201–202.

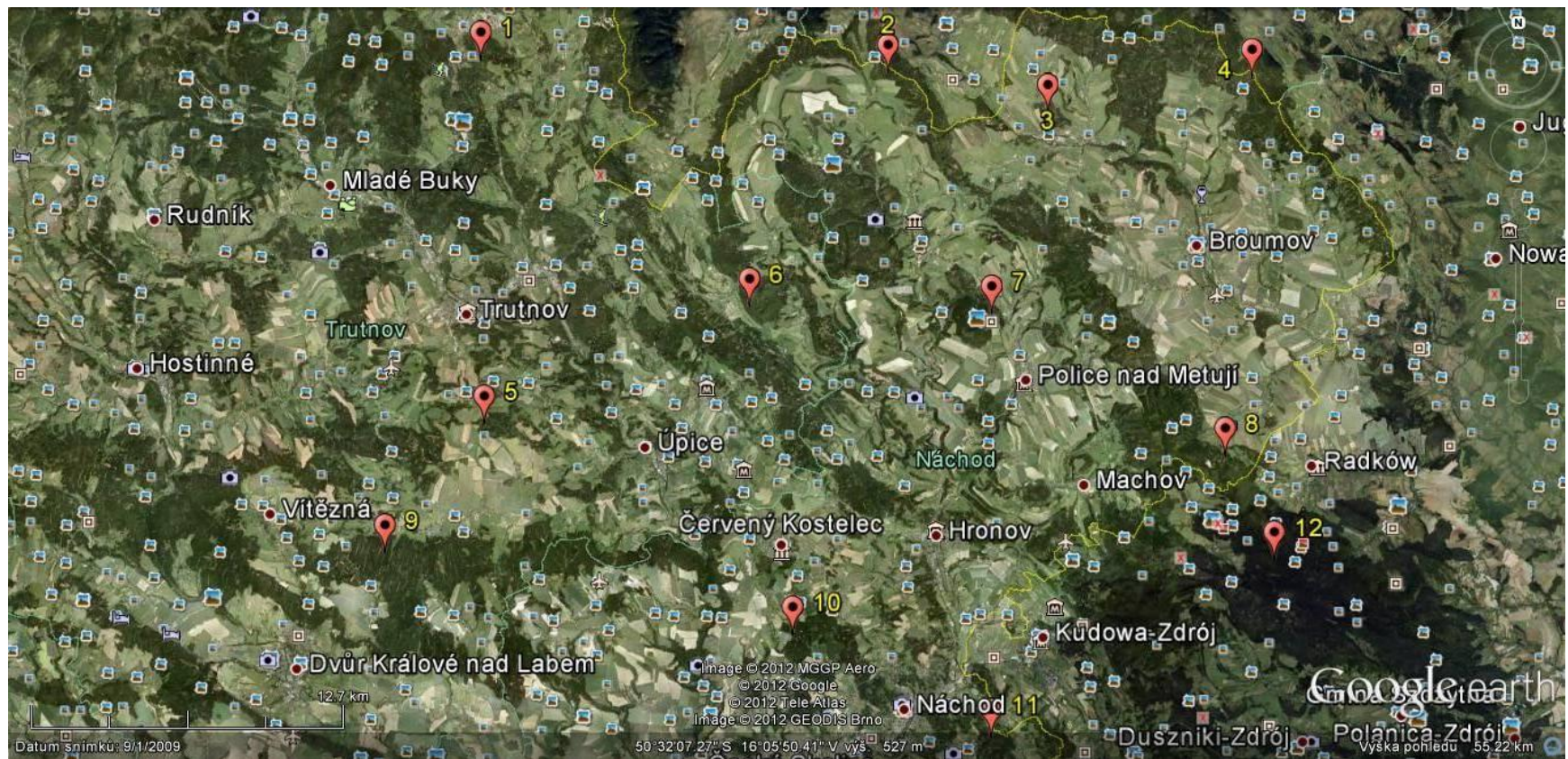
Procházka S., Macháčková I., Krekule J., Šebánek J. et al. (1998): Fyziologie rostlin. – Academia, Praha, 15: 422 s.

8. Přílohy

Příloha 1: Seznam odběrových míst

číslo lokality	kvadrant	zeměpisné souřadnice	datum odběru	pod korunami stromů	nejbližší sídlo
1	5361	50°39'12.12"S 15°55'16.68"V	14.11.2011	ano	Žacléř
1	5361	50°39'12.12"S 15°55'16.68"V	14.11.2011	ne	Žacléř
2	5362	50°38'54.84"S 16°09'17.64"V	18.9.2011	ano	Zdoňov
2	5362	50°38'54.84"S 16°09'17.64"V	18.9.2011	ne	Zdoňov
3	5363	50°38'02.20"S 16°14'47.90"V	19.8.2011	ano	Meziměstí
3	5363	50°38'02.20"S 16°14'47.90"V	19.8.2011	ne	Meziměstí
4	5364	50°38'45.48"S 16°21'47.16"V	2.10.2011	ano	Janovičky
4	5364	50°38'45.48"S 16°21'47.16"V	2.10.2011	ne	Janovičky
5	5461	50°31'15.96"S 15°55'22.68"V	28.9.2011	ano	Trutnov
5	5461	50°31'15.96"S 15°55'22.68"V	28.9.2011	ne	Trutnov
6	5462	50°33'48.72"S 16°04'30.42"V	28.9.2011	ano	Radvanice
6	5462	50°33'48.72"S 16°04'30.42"V	28.9.2011	ne	Radvanice
7	5463	50°33'38.28"S 16°12'49.38"V	26.9.2011	ano	Dědov
7	5463	50°33'38.28"S 16°12'49.38"V	26.9.2011	ne	Dědov
8	5464	50°30'30.90"S 16°20'50.46"V	25.9.2011	ano	Božanov
8	5464	50°30'30.90"S 16°20'50.46"V	25.9.2011	ne	Božanov
9	5561	50°28'27.00"S 15°51'57.90"V	21.8.2011	ano	Kocbeře
9	5561	50°28'27.00"S 15°51'57.90"V	21.8.2011	ne	Kocbeře
10	5562	50°26'38.90"S 16°05'57.50"V	30.7.2011	ano	Trubějov
10	5562	50°26'38.90"S 16°05'57.50"V	30.7.2011	ne	Trubějov
11	5563	50°24'24.18"S 16°12'45.18"V	16.11.2011	ano	Dobrošov
11	5563	50°24'24.18"S 16°12'45.18"V	16.11.2011	ne	Dobrošov
12	5564	50°28'15.18"S 16°22'26.04"V	2.10.2011	ano	Karlów
12	5564	50°28'15.18"S 16°22'26.04"V	2.10.2011	ne	Karlów

Příloha 2: Mapa odběrových lokalit



Příloha 3: Tabulky zobrazující prostorové rozmístění naměřených hodnot jednotlivých prvků ve vzorcích horních segmentů mechu sebraných mimo koruny stromů

Legenda: číslo kvadrantu; nejbližší sídlo od odběrové lokality

5361 Žaclěť	5362 Zdoňov	5363 Meziměstí	5364 Janovičky
5461 Trutnov	5462 Radvanice	5463 Dědov	5464 Božanov
5561 Kocbeře	5562 Trubějov	5563 Dobrošov	5564 Karlów

Ni [mg/kg]

<MD	<MD	5,0	5,9
<MD	5,3	6,7	<MD
4,5	4,8	5,9	6,4

Zn [mg/kg]

61,8	39,7	47,9	56,5
35,9	57,0	42,8	50,5
36,0	44,7	41,7	41,0

Cu [mg/kg]

1,3	4,2	7,7	27,0
5,0	49,2	4,7	5,6
5,8	6,1	10,1	4,9

Pb [mg/kg]

<MD	<MD	<MD	7,1
<MD	9,3	<MD	<MD
<MD	<MD	<MD	<MD

Příloha 4: Obrazová příloha

Kulový mlýnek TU 260 vyrobený v ZPA Dukla Prešov



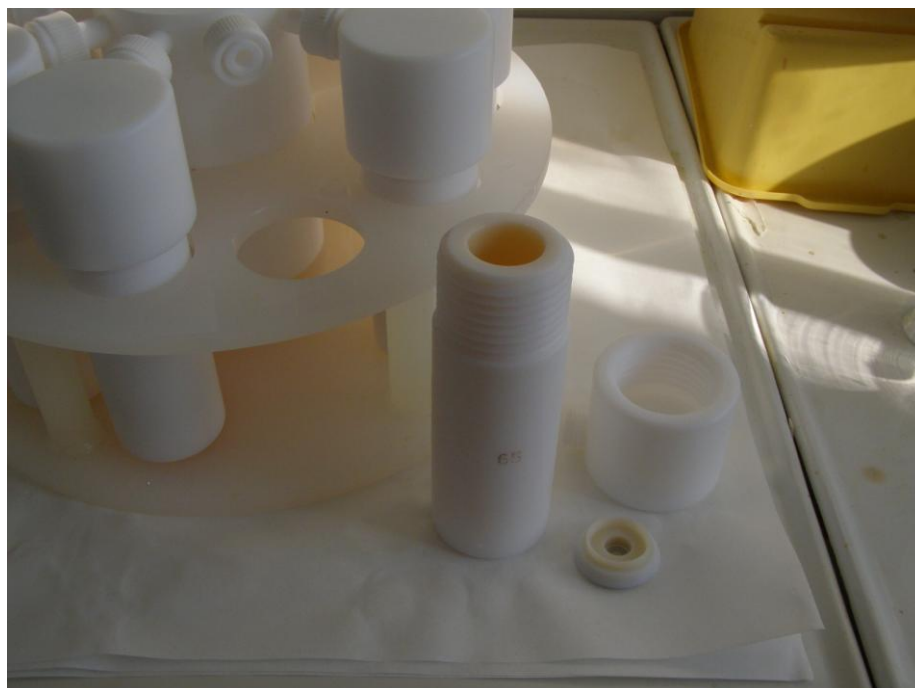
Nádobka a mlecí kulička ze směsi zirkon-oxid



Polyuretanová nádobka a wolframová mlecí kulička



Navážka 0,5 g připravená k mineralizaci



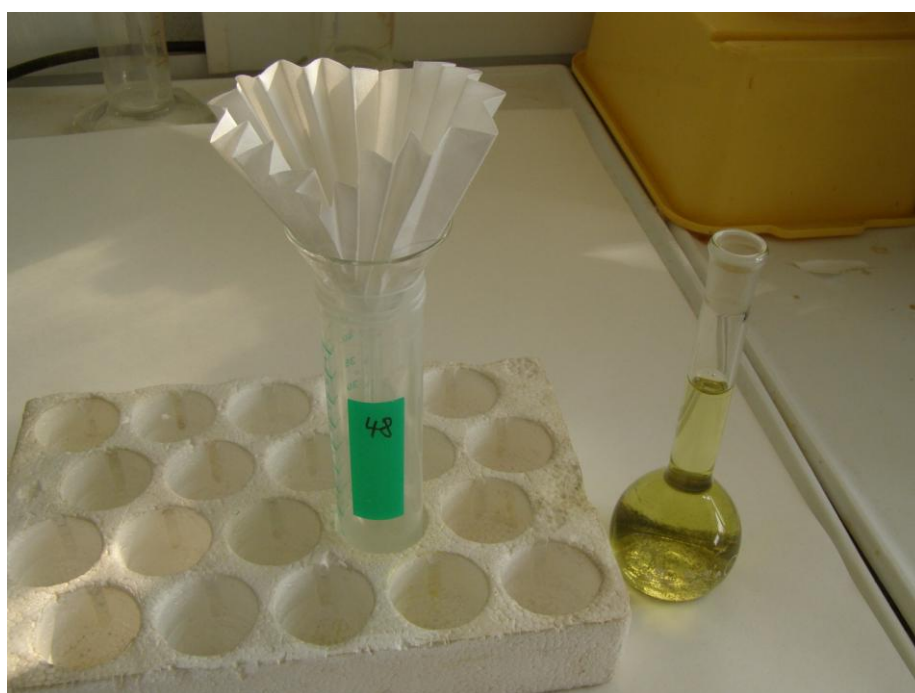
Teflonové mineralizační nádoby



Mikrovlnné mineralizační zařízení speedwave® two od firmy Berghof



Zmineralizovaný vzorek naředěný destilovanou vodou



Filtrování zmineralizovaného vzorku do plastové vzorkovnice



Vzorky připravené k analýze



Atomový absorpční spektrometr Avanta Σ s automatickým podavačem SDS-270 od firmy GBS