

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ
ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF
ENVIRONMENTAL PROTECTION

VYUŽITÍ MECHŮ A LIŠEJNÍKŮ PRO HODNOCENÍ PŘÍTOMNOSTI KOVŮ V EKOSYSTÉMU

APPLICATION OF MOSSES AND LICHENS FOR THE EVALUATION OF PRESENCE OF THE
METALS IN THE ENVIRONMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ADRIÁNA PAVLOVIČOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Mgr. RENATA KOMENDOVÁ, Ph.D.

BRNO

2013



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce: **FCH-BAK0706/2012** Akademický rok: **2012/2013**
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí
Student(ka): **Adriána Pavlovičová**
Studijní program: Chemie a chemické technologie (B2801)
Studijní obor: Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805R002)
Vedoucí práce **Mgr. Renata Komendová, Ph.D.**
Konzultanti:

Název bakalářské práce:

Využití mechů a lišejníků pro hodnocení přítomnosti kovů v ekosystému

Zadání bakalářské práce:

1. Zpracování literární rešerše zaměřené na přehledné posouzení využití mechů a lišejníků k hodnocení stavu životního prostředí z hlediska znečištění kovy.
2. Charakterizace jednotlivých používaných typů mechů a lišejníků a výběr nejvhodnějších a nepoužívanějších z nich.
3. Návrh jejich využití při analýze obsahu platinových kovů v životním prostředí.

Termín odevzdání bakalářské práce: 10.5.2013

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

Adriána Pavlovičová
Student(ka)

Mgr. Renata Komendová, Ph.D.
Vedoucí práce

doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 31.1.2013

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Předložená bakalářská práce se zabývá využitím mechů a lišejníků jako rostlinných bioindikátorů k hodnocení znečištění životního prostředí kovy. Definuje zdroje kovů v životním prostředí, popisuje morfologii jednotlivých druhů mechů a lišejníků. V poslední části se zmiňuje o metodách aktivního biomonitoringu, při kterých se využívají mechy i lišejníky, a navrhuje konkrétní druhy mechů a lišejníků, které by se daly použít k hodnocení znečištění životního prostředí platinovými kovy.

Abstract

This bachelor thesis deals with the use of mosses and lichens as plant bioindicators, to assess environmental pollution by metals. Defines the sources of metals in the environment, describes the morphology of species of mosses and lichens. The last part refers to methods of active biomonitoring which use mosses and lichens and proposes concrete species of mosses and lichens, which could be used to assess environmental platinum metal pollution.

Klíčová slova

biomonitoring, rostlinné bioindikátory, mechy, lišejníky, kovy

Keywords

biomonitoring, plant bioindicators, mosses, lichens, metals

PAVLOVIČOVÁ, A., *Využití mechů a lišejníků pro hodnocení přítomnosti kovů v ekosystému*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2013. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Mgr. Renata Komendová, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Renaty Komendové, Ph.D.

Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

.....
Adriána Pavlovičová
2. 5. 2013

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí mé bakalářské práce paní Mgr. Renatě Komendové, Ph.D. za ochotu, trpělivý přístup, cenné rady a odborné vedení.

© Adriána Pavlovičová, 2013

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě chemické. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

OBSAH

1	ÚVOD.....	7
2	KOVY	8
2.1	Zdroje kovů	8
2.1.1	Přírodní zdroje kovů	8
2.1.2	Antropogenní zdroje kovů.....	9
2.1.3	Těžké kovy	9
2.1.4	Toxické kovy	10
2.1.5	Esenciální kovy	10
2.2	Platinové kovy.....	10
2.2.1	Antropogenní zdroje kontaminace platinových kovů	10
3	BIOINDIKÁTORY	12
3.1	Rostlinné bioindikátory	12
3.2	Mechy jako bioindikátory	13
3.2.1	Morfologie mechů	15
3.2.2	Klasifikace mechů	15
3.2.3	Výskyt mechů	16
3.2.4	Druhy mechů	16
3.2.4.1	Mechy používané pro biomonitoring	16
3.2.4.2	Rozšířené a známé druhy mechů	19
3.3	Lišejníky jako bioindikátory	22
3.3.1	Morfologie lišejníků	23
3.3.2	Výskyt lišejníků	24
3.3.3	Klasifikace lišejníků	24
3.3.4	Druhy lišejníků	24
3.3.4.1	Lišejníky používané pro biomonitoring	25
3.3.4.2	Rozšířené a známé druhy lišejníků	28
3.4	Vliv půdních parametrů na anorganické kontaminanty v půdě.....	30
3.4.1	Mikrobiální sorpce a akumulace kovů	31
3.4.2	Vliv pH na mobilitu anorganických kontaminantů	31
3.4.3	Vliv půdní organické hmoty na mobilitu anorganických kontaminantů	31
4	VYUŽITÍ MECHŮ A LIŠEJNÍKŮ PRO PRO BIOMONITORING KOVŮ V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ	32
4.1	Metody biomonitoringu.....	32
4.2	Techniky biomonitoringu	33

4.2.1	"Bag" technika	33
4.2.2	Transplantační technika	36
4.2.3	Původní druhy	37
4.3	Mechy jako bioindikátory atmosférické depozice těžkých kovů	39
4.4	Využití lišejníků k posouzení čistoty životního prostředí.....	39
4.4.1	Vzorkování lišejníků pro bioakumulaci prvků	40
4.5	Biomonitoring skupiny platinových kovů.....	40
4.5.1	Odběr vzorků.....	41
4.5.2	Příprava vzorků a rozklad	42
4.5.3	Metody analýzy	42
4.5.4	Mechy a lišejníky použitelné pro biomonitoring skupiny platinových kovů.....	43
5	ZÁVĚR	44
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	45
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	51

1 ÚVOD

S rozvíjejícím se průmyslem a dopravou se do životního prostředí uvolňuje stále vyšší množství anorganických kontaminantů. Mezi nejrizikovější anorganické kontaminanty patří kovy a to především těžké kovy, které jsou vážným problémem ve všech složkách životního prostředí a vzhledem ke svým vlastnostem jsou řazeny mezi jedny z nejnebezpečnějších látek, které se v životním prostředí vyskytují. I když je kovy nejvíce znečišťováno ovzduší, vlivem atmosférické depozice se dostávají i do vod, půdy, sedimentů, do rostlinných a živočišných organizmů [1].

Tradiční studie kontaminace atmosféry jsou omezeny problémy s vysokými náklady a obtížemi při provádění rozsáhlého vzorkování, jak z hlediska času tak prostoru. K dispozici jsou nepřímé monitorovací metody, jako je analýza organizmů, které fungují jako bioakumulátory sledované depozice těžkých kovů [2].

Biomonitoring je dnes již nezbytnou součástí ochrany životního prostředí, právě z důvodu sledování přítomnosti a transportu kovových kontaminantů. Mechy a lišejníky lze využít v biomonitoringu jako bioindikátory znečištění ovzduší, protože jsou velmi závislé na živinách z atmosférických zdrojů, nemění svoji morfologii v průběhu ročního období, jsou dobře známé svou kumulační schopností a tolerancí vyšších koncentrací kovů [3, 4].

2 KOVY

Kovy představují část anorganické složky životního prostředí. V ekosystému je nevyhnutelné posuzovat je ve vzájemné souvislosti s jejich obsahem a pohybem ve všech složkách životního prostředí. Kovy jsou prvky mající snahu předávat valenční elektrony, tj. tvořit jednoatomové kationty. Typickými vlastnostmi kovů jsou elektrická a tepelná vodivost, kujnost a tažnost, tvoří kationty a jsou to redukční činidla. Elektropozitivnější kovy uvolňují při reakci s neoxidujícími kyselinami vodík. Kovy tvoří mezi sebou slitiny, jejich oxidy jsou zásadité nebo amfoterní. Ve vodě rozpustné chloridy jsou hydratovány a jejich kationty jsou Lewisovými kyselinami. Pro prvky kovové povahy jsou typické nízké hodnoty ionizačních energií, elektronových afinit a elektronegativit. Kovy dělíme na kovy *s* a *p*, přechodné kovy, které dále dělíme na kovy řady *d*, lanthanoidy (řada *4f*) a aktinoidy (řada *5f*). [5]

Podle některých studií se chemické prvky a jejich sloučeniny rozdělují do čtyř kategorií, na základě jejich negativního působení na lidský organismus:

- První kategorie - látky, které vyžadují zavedení nových kritérií. Ze stopových prvků, do této kategorie patří například mangan;
- druhá kategorie - látky, které vyžadují nové údaje a hodnocení. V této kategorii je zařazeno např. kadmium, olovo a rtuť;
- třetí kategorie - látky, které vyžadují hloubkové posouzení na národní i mezinárodní úrovni. Jde o velké množství látek, které se vyskytují ve stopovém množství. Jedná se zejména o sloučeniny, kde je zdrojem kontaminace průmysl, spalování fosilních paliv, likvidace odpadů nebo přirozených produktů. Sem řadíme arsen, beryllium, chrom, měď, nikl, vanad a zinek;
- čtvrtá kategorie - chemické látky vyžadující předběžné posouzení. Patří sem antimon, cín, kobalt, palladium a platina [6].

Kovy v ekosystému je nevyhnutelné posuzovat ve vzájemné souvislosti s jejich obsahem a pohybem ve všech složkách životního prostředí [7].

2.1 Zdroje kovů

Kovy se v přírodě vyskytují buď v elementární formě, nebo ve formě sloučenin. V elementární formě se nachází jen ušlechtilé kovy. Ve sloučeninách se kovy vyskytují převážně v nerostech. Většinou se jedná o sloučeniny oxidické (hnědel, bauxit) nebo sulfidické (sfalerit, chalkopyrit), ale také uhličitany (siderit, magnezit), sírany (kieserit, zirkon), halogenidy (kryolit), křemičitany (rhodonit), aj. [8, 9].

2.1.1 Přírodní zdroje kovů

Zdroje emisí stopových kovů z primárních přírodních zdrojů mohou být následující:

- větrem unášené částice půdy – obsahují víc jak 50 % Mn, Cr a V a od 30-50 % Sb, Ni, Mo a Zn,
- sopečná činnost – víc jak 60 % Cd, 40-50 % Hg a Ni, 30-40 % As, Cr a Cu,
- biogenní zdroje – ve kterých dominují Mn, Zn a Se,
- lesní požáry – ve kterých dominuje Mn, méně Zn a Cu,
- mořská voda – rozprašuje všeobecně množství menší jak 15 % z celkových přírodních emisí každého prvku.

Některé kovy emitované z přírodních zdrojů jsou antropogenního původu. Například kovy obsažené v prachu unášeného větrem, jsou často průmyslného původu [7].

2.1.2 Antropogenní zdroje kovů

Existují tři hlavní průmyslné zdroje atmosférických kovových polutantů:

- hornictví, hutnictví a čištění kovů,
- spalování fosilních paliv,
- produkce a používání kovových obchodních produktů.

Hutě jsou dominantním zdrojem As, Cu a Zn. Výroba oceli je zodpovědná za největší množství Mn a Cr, která se uvolňují do atmosféry lidskou činností.

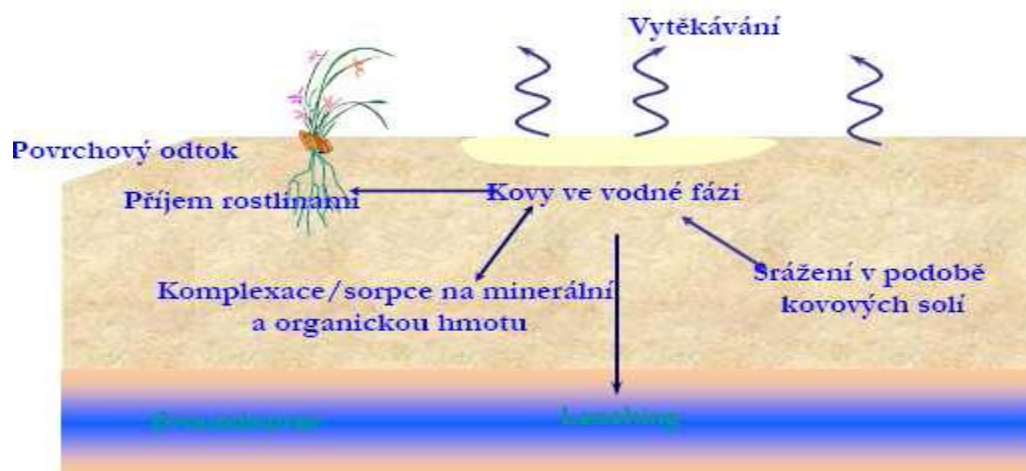
Spalování fosilních paliv na výrobu elektrické energie představuje více než 95 % znečištění V a 80 % znečištění Ni. Tyto dva prvky (V a Ni) se používají i na identifikaci vzorků vzduchu, které pochází z elektráren. Spalovaná fosilní paliva obsahují také asi 60 % antropogenních emisí Hg, Se a Sn a významné množství Sb, As a Cu [7].

Dalším velmi významným zdrojem znečištění kovy je časté používání hnojiv, nebo jiných zemědělských chemikálií. Tyto látky obsahují velké spektrum toxických prvků, jejichž obsah je závislý na způsobu jejich výroby. Například hnojiva přirozeného původu, zejména superfosfát, obsahují v jednom kilogramu až 30 mg kadmia a olova. Některé prvky se do hnojiv přidávají záměrně, například za účelem zlepšení výnosů. Ovšem vzhledem k jejich dalšímu transportu do podzemních vod, nebo živých organismů, představují vážný ekologický problém. V minulosti se používaly na ošetření obilí a trávníků fungicidy s obsahem rtuti. V důsledku toho došlo k hromadným intoxikacím u lidí [10].

2.1.3 Těžké kovy

V oblasti škodlivých cizorodých látek anorganického původu představují největší problém tzv. těžké kovy. Těžké kovy jsou definovány jako skupina prvků mezi mědí a olovem v periodické tabulce prvků s hustotou větší než 5 g.cm^{-3} . Obvykle se považuje za nejnebezpečnější kadmium, dále olovo, rtuť a chrom. Problémy však mohou působit i měď, zinek, molybden, nikl aj. [11, 12].

Problematika znečištění těžkými kovy souvisí s jejich schopností kumulace v půdě, rostlinném a živočišném materiálu. Koloběh kovů v přírodě je znázorněn na obrázku [13].



Obr. 1. Koloběh kovů v přírodě [13]

2.1.4 Toxické kovy

Představují důležitý faktor životního prostředí, který se může negativně projevit zejména v metabolických procesech u živých organismů. Nejvýznamnější příčinou je kontaminace jednotlivých složek životního prostředí, zejména v důsledku činnosti člověka. Do této kategorie jsou řazeny kovy s toxickými vlastnostmi, jako jsou Hg, Cd, Pb, Cr, Ni, Be a další [3]. Toxické i těžké kovy patří k rizikovým kovům.

2.1.5 Esenciální kovy

Tyto kovy jsou nepostradatelné v malých dávkách pro optimální funkci organismu. Jsou důležitou součástí některých proteinů (metaloproteinů). Díky svým specifickým vlastnostem dodávají proteinům jedinečné katalytické a redoxní vlastnosti. Katalyzují fyziologické oxidačně-redukční reakce. Mezi esenciální kovy patří Ca, Mg, K, Na, Mn, Fe, Cu, Zn, Co, Mo, Ni, W. Po překročení určitého množství jsou však považovány za toxické [3, 14].

2.2 Platinové kovy

Jako platinové kovy (PGE - platinum group elements) jsou označovány chemické prvky platina (Pt), palladium (Pd), rhodium (Rh), iridium (Ir), ruthenium (Ru) a osmium (Os). Tyto kovy se přirozeně vyskytují v životním prostředí jen ve velmi malých množstvích. Průměrné obsahy v zemské kůře se odhadují na Pt $0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$, Pd $0,015 \text{ mg.kg}^{-1}$, Rh $0,0001 \text{ mg.kg}^{-1}$, Ir $0,001 \text{ mg.kg}^{-1}$, Ru $0,0001 \text{ mg.kg}^{-1}$ a Os $0,005 \text{ mg.kg}^{-1}$. Jejich hlavním zdrojem jsou sulfidické rudy obsahující společně nikl a měď. Platinové kovy jsou ušlechtilé, chemicky málo reaktivní a jsou mimořádně chemicky odolné. [12] Kovová platina je považována za biologicky inertní. Styk s jejími rozpustnými sloučeninami však způsobuje různá onemocnění [15].

Nejvíce studií je zaměřeno na sledování koncentrací platiny v životním prostředí. Palladium a rhodium byly monitorovány až v novějších výzkumných projektech. Stanovení obsahu platinových kovů v environmentálních vzorcích vyžaduje s ohledem na jejich velmi nízké koncentrace v životním prostředí citlivé analytické metody a mnohdy také separační a prekoncentrační kroky před jejich samotným stanovením [15].

2.2.1 Antropogenní zdroje kontaminace platinových kovů

Platinové kovy se využívají v automobilových katalyzátorech, kde slouží k usnadnění oxidačně-redukčních reakcí vedoucích k čištění výfukových plynů [15]. Při používání katalyzátorů obsahujících platinové kovy dochází k jejich značným únikům do životního prostředí. Tímto způsobem platinové kovy kontaminují složky životního prostředí jako ovzduší, půda, voda, sedimenty a biotu. Velkou měrou k šíření znečištění přispívají deště [16]. Dalším zdrojem znečištění jsou léčebná zařízení, v nichž jsou pacientům aplikována protinádorová cytostatika obsahující platínu. Představují nezanedbatelný zdroj kontaminací, který po aplikaci skončí v kanalizaci a následně ve složkách životního prostředí [11].

Současný výzkum dále poukázal na možnost transformace platinových kovů na rozpustnější, biodostupnější sloučeniny po jejich vstupu do životního prostředí. Platinové kovy je možné zařadit mezi kovy pro rostliny špatně až středně dostupné. Dostupnost rostlinami ovlivňuje také chemická forma prvků. Zjistilo se, že siderofory, tj. látky běžně se vyskytující v půdě produkované rostlinami a mikroorganismy za účelem zvýšení dostupnosti

železa, vytvářejí s Pt a Pd komplexy a zvyšují tak jejich mobilitu. Potenciál zvýšit biodostupnost těchto kovů byl zaznamenán také u dalších komplexotvorných látek, jako je např. kyselina ethylendiamintetraoctová a huminových látek, které zvyšují rozpustnost Pt a Pd v tucích. Toto zjištění je velmi důležité z důvodu jejich možné akumulace ve vodních organismech. V případě platiny je nejméně biologicky dostupná kovová platina, přičemž biologická dostupnost se zvyšuje v případě PtCl_4 a je nejvyšší pro komplex $\text{Pt}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_3)_2$ [16]. Za nejvíce rozpustné a mobilní v životním prostředí, a tedy s největším potenciálem vstřebávat se do organismu, je považováno palladium [15].

3 BIOINDIKÁTORY

Pro sledování úrovně kontaminace životního prostředí, monitoring a také pro kontrolu stavu znečištění složek životního prostředí, se vedle známých matic, tj. ovzduší, půdy a vody, používají také bioindikátory rostlinného nebo živočišného původu. Bioindikátor je organismus, podle jehož výskytu na určitém stanovišti se dokládá (indikuje) specifická vlastnost prostředí. Bioindikátory mohou obsahovat podstatně vyšší koncentrace některých polutantů, než bývají detekovány v ovzduší, vodě a v půdě. U bioindikátorů, které se používají pro potřeby biomonitoringu, musí být stanoven koeficient akumulace K_c [6, 18].

Bioakumulace je vzrůst koncentrace látky v organismu, jako výsledek příjmu (potravou a difúzí z prostředí) a eliminace (vyučování). Pokud je dosaženo rovnovážného vztahu mezi koncentrací látky v organismu a v prostředí, či mezi koncentrací v potravě a v prostředí, stupeň bioakumulace může být vyjádřen bioakumulačním faktorem BAF, který je definován jako poměr koncentrace látky v organismu a koncentrace látky v prostředí [18].

$$BAF = C_{\text{organismus}} / C_{\text{prostředí}}$$

Termín bioindikátor je proto používán pro ty organismy, které reagují na zátěž cizorodými látkami změnami životních projevů nebo akumulací sledovaných látek.

Bioindikátory musí splňovat následující podmínky, aby bylo jejich posuzování dostatečně efektivní:

- snadné použití a kultivace,
- možnost standardizace,
- znalost reakčních mechanismů,
- cenová výhodnost,
- snadné vyhodnocení signálu,
- jednoznačnost a kvantifikace účinku,
- genetická jednota,
- statistická vyhodnotitelnost signálu [12].

3.1 Rostlinné bioindikátory

Rostlinné bioindikátory se dělí do několika skupin. Rozlišujeme bioindikátory pasivní, aktivní, akumulační a reakční. Pasivní bioindikace využívá schopnosti selektivního poškození rostlinných částí (reakční bioindikátor) či akumulace některých látek ve vybraných rostlinách (akumulační bioindikátor). Při tomto typu sledování se používají buď kulturní plodiny, nebo plané rostliny rostoucí v zájmové oblasti. Aktivní neboli expoziční bioindikace, je založena na vystavení vybraných rostlin vlivům prostředí. Ty pak reagují akumulací sledovaných látek (akumulační bioindikátor) nebo poškozením (reakční bioindikátor). Tyto bioindikátory jsou obvykle umísťovány do zájmové oblasti ve standardizovaných kulturách. Existují i metody kombinující pasivní a aktivní bioindikační postupy. Mezi celoročně dostupné rostlinné bioindikátory patří mech, jehličí a lišejníky – tyto „stálezelené“ matrice mají tu velkou výhodu, že je možné jejich pomocí vzorkovat po celý rok. Mechy a lišejníky mají velký povrch bez pokrytí kutikulou, což jim umožňuje příjem i vzdušných polutantů téměř výhradně depozicí částic [12, 19].

Hromadění a zpracování makroživin a stopových prvků je stejně jako u jiných organismů pro mechy a lišejníky životně důležité. Jejich přítomnost zajišťuje normální průběh základních životních funkcí, fyziologických procesů, růstu a vývoje [20].

3.2 Mechy jako bioindikátory

Mechy jsou zelené rostliny, které se pravděpodobně vyvinuly ze zelených řas. V tradičním systému existovalo oddělení mechorosty, které zahrnovalo tři třídy: hlevíky (*Anthocerotopsida*), játrovky (*Hepaticae*) a mechy (*Musci*). Mechy mohou růst na rozmanitém podkladu: na skalách, na půdě, na dřevu, na kůře živých stromů, dokonce na mršinách a na výkalech. Protože jsou konkurenčně slabé, osidlují nejčastěji mezery ve vegetační mozaice vyšších rostlin – často se jedná o extrémní stanoviště. Rostliny, které rostou na kůře stromů, (nejen mechy) označujeme jako epifyty. Mechy přijímají celým svým povrchem vodu a minerální soli. Většinou druhů však chybí účinná ochrana proti vysychání a výkonné orgány pro zadržování vody. Proto jsou mechy ve velké míře odkázané na pravidelné srážky a vysokou vlhkost vzduchu [21]. Jednotlivé mechové rostliny často tvoří husté trsy, které dobře zadržují vodu, a tak zabraňují jejímu rychlému odtoku z krajiny [22]. Při nedostatku vody mechy vysychají a zvládnou přečkat i delší období sucha se sníženou látkovou výměnou, aby se s novými srážkami opět „probudily“ k původní aktivitě. Mechy hrají v ekosystémech a v krajině důležitou roli (primární producenti, zadržování vody, ochrana půdy před erozí, prostředí pro malé živočichy, tvorba rašeliny, materiál pro hnízda ptáků, aj.). Reagují velmi citlivě na antropogenní vlivy, jako jsou klimatické změny, depozice škodlivých látek, meliorace [21].

Mechy mají jednoduché tělo bez dokonalého systému vodivých pletiv [22]. Mnoho druhů je kosmopolitně rozšířených. Jsou malé a jejich výskyt na lokalitách bývá hojný. Mají výbornou bioakumulační schopnost. Rostliny mechorostů postrádají kutikulu a kořenový systém. Nemohou tedy přijímat prvky z půdních pokryvů [18]. Proto obsah prvků v mechu těsně koreluje s úrovní jejich atmosférického spadu. Pokud známe účinnost mechu přijímat prvky z atmosférické depozice, je možné na základě obsahu prvku v mechu a ze znalosti ročního přírůstku biomasy spolehlivě odhadnout i absolutní hodnoty průměrného spadu prvků.

Mechy mohou akumulovat prvky v mnohem větší míře než je nevyhnutelné pro jejich fyziologické potřeby. Navíc mechy mohou akumulovat a soustřeďovat toxické látky, které mohou být přítomné i v nízkých koncentracích v místním prostředí.

Příjem a akumulace prvků v mechu závisí především na následujících faktorech:

- množství a složitosti lístků,
- velikosti jejich povrchu (velikost plochy / objemový poměr),
- propustnosti vody a prvků tkanivem,
- schopnosti zadržovat vodu,
- velikosti kapacity kationové výměny, vzhledem k vazebným místům na buněčné stěně.

Všeobecně platí, že nahromadění stopových prvků závisí na jejich příjmu ze vzduchu, jejich rozpustnosti ve vodě, dostupnosti vody a vlhkosti prostředí [23].

Výhody mechu jako indikátorů pro biomonitoring rizikových kovů:

- mnohé druhy jsou geograficky hojně rozšířené a rostou v různých podmínkách a také v průmyslových a městských oblastech,
- nemají epidermis a kutikulu, takže kovové ionty lehce proniknou do buněčné stěny,
- nemají kořenový systém, takže minerální látky přijímají pouze z atmosféry,
- některé druhy mají strukturu vrstev a produkují organické usazeniny,

- transport minerálních látek mezi segmenty je omezený, z důvodu nedostatku vodivých pletiv,
- mechy akumulují kovy pasivním způsobem, chovají se jako iontoměniče, pro většinu kovů mechy vykazují vztah mezi množstvím suché hmoty a koncentrací mokré atmosférické depozice [2].

Biomonitoring aktuální úrovně atmosférické depozice prvků na území ČR pomocí analýzy mechu je prováděn od roku 1990/1991 v pětiletých cyklech, jako součást celoevropských biomonitorovacích programů (např. UN/ECE ICP Vegetation). V roce 2000 byl zjišťován obsah 36 prvků v mechu na 250 místech ČR v hustotě odběrových bodů zhruba 15 x 15 km. V roce 1995 byly souběžně se vzorky mechu odebrány a analyzovány i vzorky lesního nadložního humusu na 196 místech ČR a bylo zjištěno rozložení obsahu 14 prvků v mechu a humusu na území státu. Víceprvkové analýzy byly prováděny metodou ICP-OES, ICP-MS a AAS-AMA-256. Zjištěné a lineárně interpolované obsahy prvků v mechu na území ČR byly zpracovány formou bodových a izoliniových map, které informují o relativní zátěži území spadem sledovaných prvků. Obsah prvku v mechu násobený příslušným koeficientem podává spolehlivý odhad absolutní průměrné roční depozice daného prvku v místě růstu analyzovaného mechu [24].

Na vybraných plochách jsou zmíněná měření doplněna analýzami mechu Rokyty cypřišovitý (*Hypnum cupressiforme*), jako vhodného bioindikátoru depozice vybraných zátěžových kovových elementů. Pro účely bioindikace byly ve studii z let 1995 – 2000 využívány tyto druhy mechu: Travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*), Rokytník skvělý (*Hylocomium splendens*) [19].

Tabulka 1 Vyhodnocení stavu mechu Rokyty cypřišovitý (*Hypnum cupressiforme*), Travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*), Dvouhrotec chvostnatý (*Dicranum scoparium*) [24].

Kov	Běžná koncentrace kovu (mg.kg ⁻¹ sušiny mechu)	Sledovaná lokalita	Překročení běžné koncentrace / množství ve sledované lokalitě (mg.kg ⁻¹ sušiny mechu)
Arsen	0,2 – 0,6	Ostravice - Moravskoslezské Beskydy Hrušková u Sokolova Karlovarská vrchovina (elektrárna Tisová)	12krát
Chrom	1,2	Hrušková u Sokolova Moravskoslezské Beskydy	4krát
Kadmium	0,2	Babylon v Českém lese, Příbram, Moravskoslezské Beskydy Churáňov, Třeboň	4krát / 1 mg.kg ⁻¹ 4krát / 1 mg.kg ⁻¹ 4krát / 1 mg.kg ⁻¹ běžná koncentrace
Nikl	2 - 4	Velmovice – Českomoravská vrchovina Karlov na Křivoklátsku	29 mg.kg ⁻¹ 2krát 10,1 mg.kg ⁻¹
Měď	3	Beskydy, Poříčí u Trutnova, Hrušková u Sokolova	4krát

Kov	Běžná koncentrace kovu (mg.kg ⁻¹ sušiny mechu)	Sledovaná lokalita	Překročení běžné koncentrace / množství ve sledované lokalitě (mg.kg ⁻¹ sušiny mechu)
Olovo	19	maximum v Beskydech (Komorovský Grůň) a Příbram nejnižší západní a jižní Čechy	přes 200 mg.kg ⁻¹
Zinek	30		2krát

Mangan – mobilní, snadný příjem rostlinami, na všech lokalitách vyšší.

Rtuť – relativně nízká zátěž

3.2.1 Morfologie mechů

Mechy jsou vyšší zelené necévnaté rostliny malého vzrůstu, s výraznou schopností zadržovat vodu. Většinou preferují vlhká a stinná stanoviště [25]. Patří do oddělení mechorostů (*Bryophyta*), jsou to autotrofní výtrusové rostliny. Z haploidní jednobuněčné spory klíčí vláknitý větvený prvoklíček (protema), řidčeji lupenitý. Z něj vyrůstající rostlina je členěna v lodyžku (kauloid, *kaulinium*) a lístky (fyloidy, *phylidia*). Lístky mají často centrální svazek vodivého pletiva (primitivní střední žebro), v jejich buňkách jsou četné chloroplasty. Protonema a mechová rostlina společně představují haploidní pohlavní fázi (gameofyt). K substrátu je většinou přichycena vláknitými rhizoidy [22].

Jednotlivé mechové rostlinky jsou přizpůsobené podmínkám stanoviště svým tvarem a způsobem růstu - tj. růstová forma mechu. Existují dvě základní růstové formy:

- vzpřímené (orthotropické) mechy,
- poléhavé, plazivé (plagiotropické) mechy [25].

3.2.2 Klasifikace mechů

Podtřídy mechů [22]:

- rašelínky (*Sphagnidea*) – představují nejpůvodnější větev mechů, nemají kořínky, lodyžka s charakteristickými svazečky větví na vrcholu nahloučených v hlavičku (nahore stále dorůstá a dole odumírá = vytváří se rašelina za omezeného přístupu vzduchu), lístky nemají střední žebro a jsou tvořeny poměrně malými zelenými buňkami s chloroplasty (chlorocysty) a jednak velkými bezbarvými buňkami, které slouží jako zásobárna vody (hyalocysty). Štět je krátký, tobolka kulovitá, bez čepičky. Rašelínky jsou schopny přijmout mnohem větší množství vody, než je jejich hmotnost. Vyskytují se zejména v podhorských a horských rašelinných lesích [22, 23],
- štěrbovky (*Andreaeidae*) - typický je pentlicovitě větvený prvoklíček, spirálovité postavení lístků na lodyžce, tobolka vyrůstá na pastopečce (*pseudopodium*) vzniklé prodloužením nejhořejšího úseku lodyžky, tobolka neúplně vyvinutá a kalyptra (čepička, kryjící tobolku) je redukována. Obvykle rostou na skalách s obsahem křemičitanů [22]
- vlastní (pravé) mechy (*Bryidae*) – vláknité větvené protonema, gameofyt s rhizoidy. Lístky mají často střední žebro, jejich buňky nejsou diferencovány v chlorocysty a halocysty. Tobolka je různého tvaru, zřídka kulovitá, v mládí krytá čepičkou, otvírá se víčkem [22].

3.2.3 Výskyt mechů

Většina druhů mechů roste ve vlhkých biotopech, např. na rašeliništích, kde významně spoluutvářejí vegetační mozaiku. Některé mechy osídlují i skály a další nehostinná místa. Svými přichytnými vlákny postupně rozrušují horninu a vytvářejí první vrstvičku humusu, v níž se později uchytilí další rostliny. Najdeme je všude, od pobřeží arktických moří, přes tropy, až k Antarktidě. Tak jako se vyskytují se v lesích, od nížin až do vysokých horských poloh, najdeme je také na zdech, ve spárách mezi pouliční dlažbou, na okrajích cest a na střeších [21].

3.2.4 Druhy mechů

3.2.4.1 Mechy používané pro biomonitoring

Rokytník skvělý (*Hylocomium splendens*) (obr. 2) - tvoří mohutné několikavrstevné porosty žluté až olivově zelené barvy. Svým vzhledem může připomínat lesklé koberce či polštáře. Jednotlivé lodyžky (kauloidy) bývají dlouhé 10 až 15 cm, mohou však dorůstat do výšky až 20 cm. Jsou vzpřímené, dvojnásobně či trojnásobně větvené, vždy poschodovitě rozprostřené. Na lodyžkách jsou husté, vláknité, červené výrůstky. Lístky jsou přitisklé k lodyžce. Bývají zpravidla dlouhé 1 až 3 mm a mají vejčitý tvar. Na konci jsou zúžené v dlouhou, zprohýbanou špičku. Okraj mívají jemně pilovitý. Jejich žebro je velice krátké a dvojité. Z lodyžky vyrůstají šroubovitě lístky a vzájemně se překrývají. Sporofyt je tvořen štětem, který může být dlouhý až 4 cm. Červený štět vyrůstající z postranních lodyžek je silný, nese oválnou, hnědou tobolku, která je přikryta malým víčkem. Uvnitř tobolky dozrávají na jaře výtrusy. Charakteristický je zejména pro kyselá stanoviště s dobrým rozkladem humusu, s průměrnou zásobou živin a s dostatečnými vlhkostními podmínkami. Vyskytuje se v lesích, od nížin až do vysokých horských poloh. Nesnáší přímé sluneční světlo, je polostinný [26].

Rokyt cypřišovitý (*Hypnum cupressiform*) (obr. 3) – je to druh mechu, jenž vytváří rozsáhlé, nažloutlé až sytě zelené, lesklé porosty. Lodyžka je poléhavá, dlouhá 3 až 10 cm, lístky jsou duté, spirálovitě uspořádané, dlouhé 2 až 3 mm, s vejčitou bází, z níž přecházejí v dlouhou ostrou špičku. Tobolky jsou hnědé, válcovité (ale lehce zkroucené), rostou šikmo až vodorovně na 1 až 3 cm dlouhém štětu, výtrusy dozrávají v zimě a na jaře. Tento druh mechu je celosvětově rozšířený a častý. Roste především v lesích (na mrtvém dřevu, na kamenech, na kůře, na lesní půdě), také na skalách a na zdech, od nížin do nejvyšších poloh. V půdě je indikátorem špatně se rozkládajícího humusu [21].



Obr. 2 Rokytník skvělý [27]



Obr. 3 Rokytník cypřišovitý [28]

Travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*) (obr. 4) - jde o statný mech, lodyžky jsou 10 až 15 cm dlouhé, pravidelně 1krát zpeřené. Jejich červená až červenohnědá barva zřetelně prosvítá mezi sbíhavými, vydutými, široce vejčitými až zaoblenými, střechovitě přilehlými lodyžními listy. Má krátké, dvojité žebro, někdy dokonce chybí úplně. Buňky, které se nacházejí uprostřed čepele, mají čárkovitou strukturu a jsou hladké. Jedná se o dvoudomý druh. Je velmi vzácně plodný. Štět dosahuje délky až 4 cm. Vyzdvihuje tobolku, která je nachýlená až vodorovná. Tobolka je válcovitého tvaru a dosahuje délky kolem 2 až 2,5 mm. Je velmi dobře rozpoznatelný v terénu díky své červenohnědé lodyžce. Tento mech je charakteristický pro kyselé substráty jehličnatých lesů. Roste na skalách, kamenech i tlejícím dřevě. Typickými biotopy jsou paseky, travnaté stráně, vřesoviště, lesy a rašeliniště. Je velice hojným druhem, je rozšířen od nížin až po horské oblasti [29].

Dvouhrotec chvostnatý (*Dicranum scoparium*) (obr. 5) – rostliny mechu vytvářejí rozsáhlé, lesklé, zelené trsy. Rostlina má vzpřímené lodyžky, které jsou až 10 cm vysoké, hustě listnaté se srpovitě zahnutými, tupými, na špičce drobně zoubkatými lístky. Ve spodní části velmi často bílé, později rezavě hnědé. Žebro je slabé, vybíhající do špičky, na hřbetní straně ve špičce se dvěma až čtyřmi zubatými lístky. Štět je 2 až 4 cm vysoký, červenavě zbarvený s tobolkou válcovitou, slabě zahnutou, hnědavou, s víčkem dlouze zobanitým, červenavě zbarveným, čepička přesahuje z víčka na tobolku. Roste hojně na zemi, na pařezech, kmenech, balvanech i skálách od nížin až po horské oblasti [30, 31].



Obr. 4 Travník Schreberův [32]



Obr. 5 Dvouhrotec chvostnatý [33]

Dutolistec čistý (*Scleropodium purum*, *Pseudoscleropodium purum*) (obr. 6) – další názvy Roket čistý, Lazovec čistý - robustní, světle až žlutavě zelený mech rostoucí v rozlehlých kobercích. Lodyžky jsou poléhavé nebo mírně vystoupavé, 5 až 15 cm dlouhé, pravidelně a jednoduše větvené, hustě jehnědovitě olistěné. Lístky jsou silně vyduťté, někdy slabě nepravidelně podélně řáskaté, 2 až 2,8 mm dlouhé, jsou široce elipsoidní až téměř kruhové, obvykle s krátkou nasazenou špičkou, někdy i zaoblené. Okraje lístků jsou ploché nebo ohrnuté, celokrajné nebo slabě zoubkaté v horní části. Žebro je poměrně slabé, jednoduché, končící přibližně v polovině délky listu. Štět je dlouhý, hladký, tobolka asymetricky vejčitá. V Evropě je rozšířen od severu až po Středomoří, nejčastěji na polostinných až stinných, vlhčích, místech v podrostu jehličnatých, vzácněji i listnatých lesů, typicky okolo lesních cest a na pasekách, někdy ho najdeme i v kobercích pokrývajících humusem pokryté silikátové i vápencové skály a balvany, v trávnicích, z nížin do montánního stupně [34].

Abietinella abietina (obr. 7) – žluto až hnědo zelený mech, může být i zelený. Tvoří rozsáhlé porosty. Lodyžky s nádechem do červena jsou 1,5 až 3 cm dlouhé a téměř vzpřímené. Lístky jsou 1,5 mm dlouhé s plochým okrajem na vrcholu někdy zoubkaté. Tobolky jsou válcovité, lehce zakřivené, velmi krátké a zúžené, čepička má tvar kapuce. Roste na volné půdě. *Abietinella abietina* má dvě odrůdy, které se liší nepatrně v morfologii a odlišných požadavcích na stanoviště výskytu [35].



Obr. 6 *Dutolistec čistý* [34]



Obr. 7 *Abietinella abietina* [36]

Baňatka obecná (*Brachythecium rutabulum*) (obr. 8) - pevný mech, který vytváří husté, sytě zelené nebo žlutozelené lesklé porosty. Lodyžka je poléhavá, 5 až 15 cm dlouhá, nepravidelně větvená, na konci často s výběžky. Lodyžní lístky jsou široce vejčité, krátce zašpičatělé, okraje jemně pilovité, tobolky jsou krátce vejčité, na cca 2 cm dlouhých štětech. Velmi často se vyskytuje na všech typech stanovišť s dostatkem živin, jako jsou skály v údolích, pod zemědělskými plochami, lesní půda, mrtvé dřevo, kůra stromů, zdi, louky, parky [21].

Ploník ztenčený (*Polytrichum formosum*) (obr. 9) – je to velký druh mechu, lodyžky jsou až 15 cm dlouhé tvořící tmavozelené porosty. Lístky za vlhka od lodyžky odstávají, jsou kopinatě šídlovité, zakončené ostnitou špičkou. Okraj lístku je pilovitý, žebro vybírá až do špičky. Suché listy jsou od okraje stočené ke středu a více přitisklé k lodyze. Štět je až 8 cm dlouhý, načervenalý, nahoře nažloutlý. Tobolky tupě čtyřhranné, čepička z jemných

chlupů, rezavě hnědá, zahalující celou tobolekku. Roste na kyselé lesní půdě, od nížin až po horní hranici lesa [37].



Obr. 8 Baňatka obecná [38]



Obr. 9 Ploník ztenčený [37]

Trněnka Zetterstedtova (*Eurhynchium angustirete*) (obr. 10) - velké nebo středně velké rostliny tvořící rozlehlé, světle nebo tmavě zelené husté koberce. Lodyžky jsou plazivé nebo větve krátce vystoupavé, se středním svazkem, jednoduše zpeřené, větve přímé nebo za sucha obloukovitě ohnuté, vzpřímené nebo poléhavé. Lístky lodyžní a větvní tvarem i velikostí velmi podobné, za sucha kolmo odstálé, výrazně podélně řáskaté, ploché nebo slabě vyduťté s ostrou špičkou, okraje jsou výrazně po celé délce zubaté. Žebro jednoduché, na hřbetě vybíhající jednobuněčným trnem. Štět je 2 až 2,5 cm dlouhý, přímý, hladký. Tobolka je asymetrická, nachýlená až vodorovná, vejčitě elipsoidní, prstenek po částech se loupající, víčko z kuželovité báze dlouze šikmo zobánkaté. Čepička je kápoovitá, lysá [39].



Obr. 10 Trněnka Zetterstedtova [39]

3.2.4.2 Rozšířené a známé druhy mechů

Bezvláska vlnkatá (*Atrichum undulatum*) (obr. 11) - tento druh mechu vytváří poměrně velké, tmavě zelené porosty, lodyžka je 2 až 8 cm dlouhá, přímá a obvykle nevětvená. Lístky jsou jazykovité, vpředu zašpičatělé, dlouhé 5 až 8 mm a dvojité zubaté. Listové žebro má čtyři podélné lamely. Na 2 až 5 cm dlouhém, červeném štětu, jsou válcovité tobolekky, které mají 4 až 5 mm, jsou mírně nakloněné nebo vodorovné. Je to velmi rozšířený druh mechu, častý na lesních půdách, ale také na čerstvé půdě na stráních a ladech [21].

Kostrbatec zelený (*Rhytidiadelphus squarrossus*) (obr. 12) - mech, který vytváří nápadné řídké žlutozelené porosty; lodyžka je až 15 cm dlouhá, vícekrát větvená, lístky jsou 3 až 3,5 mm dlouhé, vejčité, na konci zúžené v dlouhou, dozadu zkroucenou špičku. Vodorovně uspořádané tobolky jsou vejčité až válcovité, na 2 až 4 cm dlouhých štětech, které vyrůstají z postranních výhonků. Vyskytuje se převážně na světlých a kyselých stanovištích, která jsou středně bohatá na živiny, jako jsou louky a často kosené travnaté porosty, okraje lesů, travnaté okraje cest, stráně, často ho najdeme v blízkosti lidských sídel [21].



Obr. 11 Bezvláska vlnkatá [40]



Obr. 12 Kostrbatec zelený [41]

Prutník stříbřitý (*Bryum argenteum*) (obr. 13) – vytváří husté, zelenobílé až stříbřitě lesklé polštářky, může být až 2 cm vysoký. Lodyžka je nevětvená nebo vidličnatě větvená, lístky spirálovitě uspořádané, přilehlé, široce vejčité, jsou max. 1,5 mm dlouhé s bezbarvou špičkou. Tobolky jsou válcovité, na bázi širší, tmavě červené až skoro do černa. Vyskytuje se především na půdách s dostatkem živin, ale také na zdech, ve spárách mezi pouliční dlažbou, na okrajích cest a na střeších (často společně s dalšími mechy). Najdeme ho od nížin až do nejvyšších poloh hor. Prutník stříbřitý snadno rozpoznáme díky typickému zbarvení. Mnoho dalších druhů prutníků, se však navzájem rozlišuje velmi obtížně a mohou být také zaměněny za podobné mechy jiných rodů [21].

Rohozub nachový (*Ceratodon purpureus*) (obr. 14) - poznáme ho podle purpurově červených štětů, nejčastěji osídluje městská vysychavá prostředí. Lístky jsou vejčité až čárkovitě kopinaté, obvykle s výrazně ohrnutým okrajem, pod špičkou alespoň na některých lístcích jemně až hrubě zoubkaté. Žebro je velmi variabilní, v horní části obvykle purpurově naběhlé, zpravidla končí ve špičce, ale někdy je dlouhé a může končit pod špičkou. Štět je zpravidla purpurový až hnědý, vzácně oranžový. Tobolka přímá až téměř horizontální. Je to mimořádně polymorfní druh. Roste na všech typech substrátů, na zemi, skalách i dřevě, zejména jako kolonizátor narušovaných biotopů, světlomilný, tolerantní ke znečištění prostředí, hojný ve všech oblastech od nížin až do nejvyšších poloh [42].



Obr. 13 Prutník stříbrný [43]



Obr. 14 Rohozub nachový [44]

Měřík bodlavý (*Plagiomnium cuspidatum*) (obr. 15) – je tmavě žlutý, nebo zelený mech, který tvoří chomáče vysoké 2 až 3,5 cm. Jeho lístky jsou vzpřímené vejčité, velké 3 až 4,5 mm, které jsou volně uspořádané ve dvou řadách. Žlutohnědé tobolky rostou na 1 až 3 cm dlouhém štětu. Roste v zastíněných koutech a na okrajích cest, také ve vlhkých lesích na půdě nebo humusu [45].

Kroucenec zední (*Tortula muralis*) (obr. 16) – obvykle roste v hustých porostech nebo polštářích, rostlinky jsou zbarvené podle stanoviště zelené až hnědé. Lodyžky jsou nízké, obvykle do 5 mm dlouhé. Lístky jsou za sucha přitisklé, za vlhka odstávající, podlouhle vejčité až dlouze jazykovité se slabě zúženou bází. Špička je zaokrouhlená, někdy postupně. Žebro poměrně silné, v bazální části někdy zúžené, většinou vybíhající v hyalinní chlup. Štět je přímý, asi 0,5 až 1,5 cm dlouhý, žlutý, ve stáří purpurově hnědý. Tobolka je slabě nahnutá nebo vzpřímená, typicky válcovitá, hladká a hnědá. Víčko kuželovité, čepička kápovitá, hladká. Tento mech je typický pro městská vysychavá prostředí. Roste na nejrůznějších bazických substrátech, ve štěrbinách skal a zdí, vzácně přímo na zemi, na otevřených i stinných, ale i suchých stanovištích od nížin do horských oblastí [46].



Obr. 15 Měřík bodlavý [47]



Obr. 16 Kroucenec zední [48]

Dvouhrotec nepravý (*Dicranum spurium*) (obr. 17) - rostliny vytváří rozsáhlé, lehce rozpadavé, lesklé, žlutozelené trsy. Lodyžky jsou 2 až 6 cm vysoké, lísky 4 až 5 mm dlouhé, 3 až 4krát delší než širší, za sucha obloukovitě přitisklé, ve špičce pokroucené až kadeřavé, za vlhka přímo odstávají, v horní části listu příčně vlnité. Žebro je slabé. Štět je 2 až 3 cm

vysoký, žlutohnědý, levotočivě zkroucený. Tobolka podlouhle válcovitá, skoro vzpřímená, slabě obloukovitě zahnutá, olivově hnědá, pruhovaná. Víčko dlouze zobanité, okraj vroubkovaný, prstenec jedno až dvouřadý, oddělitelný. Roste na suchých, písčítých, kyselých půdách, vřesovištích a suchých skalách a v jehličnatých, zejména borových lesích, od nížin do montánního pásma [49].



Obr. 17 *Dvuhrotec nepravý* [50]

3.3 Lišejníky jako bioindikátory

Lišejníky (*Lichenes*) patří do podříše nižších rostlin, stélkatých rostlin (*Thallobionta*), jejichž tělo tvoří jednobuněčná, nebo vícebuněčná stélka. Lišejníky jsou složené organismy, každý je tvořen dvěma organismy – lišejníkovou houbou (mykobiont), která žije v symbióze se sinicí nebo zelenou řasou (fykobiont). Společně tvoří vysoce morfologicky a fyziologicky diferencovanou jednotku, která má vzhled nové rostliny. Při tomto symbiotickém způsobu života má lišejníková houba nejen příznivé podmínky k výživě, díky odnímání produktů fotosyntézy fykobiontu, ale je také stimulována k dalšímu vývoji. Houba dodává fykobiontu vodu a v ní rozpuštěné anorganické látky. Lišejníkové substance, což jsou specifické produkty látkové výměny, často zbarvují stélku lišejníku červeně, zeleně nebo žlutě, ale také šedě nebo bíle [22].

Ačkoli jsou lišejníky odolné vůči rozličným přírodním extrémům, většina z nich je velmi citlivá ke znečištění životního prostředí. Stavba stélky, která není krytá žádnými ochrannými strukturami a jejíž obě složky jsou v křehké rovnováze snadno porušitelné změnami prostředí, ale také pomalý růst a dlouhověkost, jsou významnými vlastnostmi z hlediska využití lišejníků jako bioindikátorů [24]. Nejcitlivější jsou obecně druhy s keříčkovitou stélkou (provazovka, vousatec, a podobně), tolerantní jsou např. misničky (*Lecanora*) a některé efemérní lišejníky s krátkou vegetační dobou. Cyanolišejníky (lišejníky s fotobiontem sinicí) jsou obecně velmi citlivé. Mezi látky, které mají negativní vliv na růst lišejníků, patří sloučeniny těžkých kovů, fluor, brom a radioaktivní spad [51].

Skutečnost, že lišejníky nemají kořenový systém, který vyšším rostlinám umožňuje vstřebávání živin z půdního fondu, vede k velké závislosti lišejníků na atmosférických zdrojích živin. Protože atmosférické zdroje živin jsou relativně nízké ve srovnání s živinami v půdě, u lišejníků se musely vyvinout mechanismy pro získávání těchto živin z atmosféry, a této skutečnosti je využíváno v biomonitoringu pomocí lišejníků. Lišejníková stélka má velmi jednoduchou stavbu. Díky této struktuře mohou lišejníky získávat ionty kovů z velmi

zředěných roztoků, jako je např. roztátý sníh. K elementární výměně tedy může docházet na celém povrchu lišejníku [20].

Obecně lze říci, že k absorpci kovů v lišejníku dochází třemi mechanismy:

- mezibuněčnou absorpcí pomocí procesu výměny,
- mezibuněčnou akumulací,
- zachycením částic, které obsahují kovy [2].

Výhody a nevýhody využívání lišejníků jako bioindikátorů:

Nejčastějšími výhodami při využívání lišejníků jako bioindikátorů jsou:

- lišejníky mají široké geografické rozšíření, které umožňuje jejich využití jako bioindikátorů v různých klimatických oblastech,
- morfologie lišejníků nepodléhá sezónním změnám,
- neexistují žádné sezónní rozdíly v dostupnosti a použitelnosti lišejníků pro biomonitoring,
- jsou schopny hromadit polutanty z ovzduší,
- jsou vhodné jak pro aktivní, tak pro pasivní monitoring,
- jsou známy standardní metody analýz v bioindikaci pomocí lišejníků,
- existuje souvislost mezi akumulací látek v lišejnících a vstupem těchto látek do ovzduší,
- přítomnost některých látek (např. radionuklidy) v lišejnících nemá vliv na jejich délku života,
- lišejníky jsou organismy, u kterých se může velmi jednoduše získávat materiál vzorkováním, zejména se jedná o lišejníky s lupenitou a keříčkovitou stélkou,
- lišejníky rostou velmi pomalu, proto si po dlouhou dobu mohou zachovat počáteční hladinu znečišťujících látek,
- analýzy využívající lišejníky mohou být prováděny na celých lišejníkových stélkách, ale mohou být odděleny a využity pouze mladší nebo starší části stélek,
- lišejníky nejsou napadány škůdci a nemocemi,
- nízké náklady oproti biomonitoringu pomocí přístrojů [20].

Některé nevýhody lišejníků jako bioindikátorů:

- je velmi obtížné určit stáří jednotlivých částí lišejníkových stélek,
- je velmi složité v laboratoři zajistit vhodné podmínky pro růst lišejníků, proto je nejčastěji používán materiál získaný v přírodě,
- určování lišejníků vyžaduje zkušenosti,
- lišejníky neodrážejí obsah kontaminantů v půdě jako vyšší rostliny [20].

3.3.1 Morfologie lišejníků

Na stavbě lišejníků se jako mykobionty podílí převážně vřeckovýtrusové houby, tvořící třídu *Ascolichenes*, méně často stopkovýtrusové houby, které tvoří třídu *Basidiolichenes*. Stélka lišejníku je většinou utvářena houbou, i když tvar stélky určuje i fykobiont. Stélka, v níž dominuje houba, je korovitá, keříčková nebo lupenovitá. Zvláštním druhem je dvojtvará stélka, která kombinuje více druhů stélek. Stélky můžeme rozlišovat podle uložení buněk řas a sinic na homeomerické, kde jsou buňky fykobionta nepravidelně rozptýleny a na heteromerické, kde jsou buňky fykobionta omezeny v určité vrstvě [22].

Lišejníky se rozmnožují vegetativně a pomocí výtrusů (spor). Vegetativní rozmnožování je fragmentací, sorediemi (shluk řas opletených hyfami, vznikají uvnitř stélky, vypadávají ven jako drobný prášek), izidiemi (výrůstky na povrchu stélky, odlamují se). Výtrusy se

rozmnožuje pouze houbová složka, nutný je výskyt vhodné řasy na místě vyklíčení spory. Lišejníková houba není schopna samostatného života [23].

3.3.2 Výskyt lišejníků

Lišejníky jsou rozšířeným druhem po celé Zemi, ve všech zeměpisných výškách, od rovníku až k pólu. Lišejníky se nachází především na místech, kde je snižena konkurence ostatních rostlin, osídlují i substráty v nehostinných a extrémních podmínkách. Jejich růst je značně závislý na substrátu, světle a vlhkosti. Většina druhů lišejníků má vyšší požadavky na světlo, mnohé vyžadují značně vlhké prostředí a jejich růst probíhá nejlépe při středních teplotách asi do 30°C. Dokáží vyrůstat na rozmanitých podkladech, jako jsou skály, kůra stromů, odumřelé dřevo, listy, půda. Růst lišejníků je ve srovnání s jinými rostlinami mimořádně pomalý. Průměrné stáří lišejníků je 30 až 50 let, i když u některých velmi pomalu rostoucích druhů bylo zjištěno i podstatně větší stáří, například u lišejníku zeměpisného 350 až 1300 let. Dosud bylo popsáno na 35 000 druhů lišejníků ve 400 rodech [22].

3.3.3 Klasifikace lišejníků

Klasifikace lišejníků podle morfologie stélky [52]:

Třída *Ascomycetes* (přes 95% druhů) - lišejníky této třídy jsou tvořené vřeckovýtrusovou houbou.

Jednotlivé lišejníky v této třídě rozlišujeme podle typu stélky:

- korovitá - celou plochou přirostlá (nebo vrostlá) na substrát, obvykle chybí spodní kůra - Mapovník zeměpisný (*Rhizocarpon geographicum*)
- lupenitá - plochá, k podkladu přirůstá jen některými místy, tzv. rhiziny, část laločnaté stélky může od podkladu odstávat - Pupkovka puchýřnatá (*Lasalia pustulata*), Důlkatec plicní (*Lobaria pulmonaria*), Terčovka bublinatá (*Parmelia physodes*), Terčovník zední (*Xanthoria parietina*),
- keříčkovitá - se substrátem je v kontaktu jen v bazální části, je vystoupavá nebo převislá (u epifytických druhů, rodu Pro vazovka (*Usnea*), charakteristická radiální stavba - Terčovka otrubičná (*Pseudevernia furfuracea*),
- dimorfická – je přechodným typem stélky, část stélky je lupenitá (*Thallus horizontalis*) a část keříčkovitě vystoupavá (*Thallus verticalis*)

Na stélce se mohou tvořit keříčkovité útvary podecia, které na vrcholu nesou plodnice (r. *Cladonia* Dutohlávka). U některých druhů cefalodia (výběžky stélky), ve kterých je lokalizován další fotobiont.

Třída *Basidiomycetes* (asi 20 druhů) - na stavbě lišejníků této třídy se podílejí houby stopkovýtrusové. Stélky basidiolišejníků jsou klasifikovány do tří typů (podle typů plodnic stopkovýtrusých hub):

- kortikoidní (r. *Dictionema*)
- klavarioidní (r. *Multiclavula*)
- agarikoidní (r. *Omphalina*) *Omphalina umbellifera* - Kalichovka okoličnatá.

3.3.4 Druhy lišejníků

Ve střední Evropě se vyskytuje asi 2000 druhů lišejníků. Mezi lišejníky známé v ČR patří například dutohlávka sobí (*Cladonia rangiferina*), terčovka bublinatá (*Hypogymnia physodes*), mapovník zeměpisný (též lišejník zeměpisný, *Rhizocarpon geographicum*),

hávnatka psí (*Peltigera canina*), puklérka islandská (*Cetraria islandica*), terčovník zední (*Xanthoria parietina*), rod provazovka (*Usnea*) a mnohé další [51].

Druhy lišejníků používané k biomonitoringu těžkých kovů v 70., 80. a 90. letech 20. století:

- *Hypogymnia physodes*
- *Xanthoria parietina*
- *Parmelia sulcata*
- *Ramalia lacera*, *R. menziessi*, *R. stenospora*, *R. maciformis*,
- *Pseudovernia furfurace*,
- *Cladina* spp.,
- *Cladonia* spp.,
- *Usnea* spp.,
- *Lecanora muralis*, *L. conizaeoides*,
- *Caloplaca aurantia*, *C. ehrenber* [20].

3.3.4.1 Lišejníky používané pro biomonitoring

Terčovník zední (*Xanthoria parietina*) (obr. 19) - velká lupenitá stélka, žlutá až oranžově žlutá, ve stinném prostředí může být nažloutle zelené až nazelenale šedé barvy. V osvětleném prostředí jsou však pomerančové. Lišejník je velký až 10 cm v průměru, listnaté lišejníkového tvaru mající po obvodě pyskaté laloky. U starších lišejníků může střed stélek zaniknout. Laloky jsou dlouhé, vrásčité a překrývají se, na okraji jsou až 0,7 cm široké. Spodní strana je bílá, s kořenem pokrytým chloupky. Plodnice sedí na povrchu stélek, skládající se z oranžového disku s bledým okrajem, který navíc bývá vroubkovaný. Roste hojně na kůře stromů, dřevě, kamenech, plotech, upřednostňuje stanoviště s dusíkatými látkami [22, 53].

Terčovka bublinatá (*Hypogymnia physodes*) (obr. 18) – keříčková stélka, jejichž vrchní strana je několik cm velká, růžicovitá, někdy jednostranně rostoucí, svrchu šedavá, šedohnědá až šedo zelená. Stélka spodní strany je černavá nebo hnědavá, bez rhizin, někdy až temně hnědá až černá, na okrajích s bělavějším lemem. Plodničky houbové složky se vytvářejí jen vzácně a výjimečně. Laloky jsou dlouhé, úzké a duté, na okrajích různě dělené, k podkladu víceméně přimknuté nebo častěji okraje výrazně vystoupavé od substrátu a s vyvinutými nápadnými bělavými okrajovými, tzv. rtovitými sorály, která vznikají na okrajích laloků jejich roztržením v místě, kde se setkává svrchní a spodní korová vrstva. Vyskytuje se od ledna až do prosince, hojně od nížin do podhůří. Na příhodných místech, kyselých borkách dřevin, ale i na holém dřevě či vzácněji na kamenech a skalkách či na povrchu mechů, vytváří rozsáhlé povlaky na kmenech i na větvích stromů [22, 54].



Obr. 18 Terčovka bublinatá [55]



Obr. 19 Terčovník zední [56]

Terčovka brázditá (*Parmelia sulcata*) (obr. 20) – na povrchu stélky jsou typické četné praskliny, kolem nichž se vytvářejí sorály. Na spodní straně stélky najdeme asi 1 mm dlouhé rhiziny, pomocí nichž ji (s lupou) snadno odlišíme od terčovky bublinaté (*Hypogymnia physodes*), u níž rhiziny nejsou patrné. Terčovka má šedé až šedozelené lupínky, na okrajích jsou ozdobeny hustou sítkou bílých čar, ve kterých se v pozdějším věku života rostliny vytváří soredie sloužící k vegetativnímu rozmnožování. Jeden z nejhojnějších lišejníků. Nacházíme ji často spolu s terčovkou bublinatou na kůře stromů na slunných místech při okrajích křovin jižních strání, ale vyroste i na holé skále, kde si ji lze při zběžném pohledu snadno splést s terčovkou skalní (*Parmelia saxatilis*) [57].

Terčovka svařštělá (*Flavoparmelia caperata*) (obr. 21) – stélka lupenitá, za sucha světle žluto zelená, za mokra zelenkavá. Laloky se postupně rozšiřují, vytvářejí často kruhovitý tvar. Laloky starších jedinců bývají jemně zvrásněné. Spodní strana bývá černá s drobnými rhiziny, okraj boltců ze spodní strany bývá často hnědý. Na povrchu se často nacházejí hrubozrnné soredie, apotécia jsou vzácné v podobě terčů. Vyskytuje se zejména na kůře listnatých stromů, vzácněji na křemičitých horninách. [58]



Obr. 20 Terčovka brázditá [59]



Obr. 21 Terčovka svařštělá [60]

Provazovka (*Usnea*) – hodně větvená nitovitá stélka, dlouhá a vláknitá, která má pevný střední provazec. Většinou roste na stromech vysokohorského lesního pásma.

Provazovka srstnatá (*Usnea hirta*) (obr. 22) - ve střední Evropě jeden z nejčastějších zástupců tohoto rodu, který tvoří často nápadné visící dlouhé závěsy na lesních stromech,

zejména v horských polohách. Na rozdíl od jiných druhů má poměrně krátkou, keříčkovitou, svazčitou, bohatě rozvětvenou stélku šedozelenavé barvy [61].

Provazovka obecná (bradavkatá) (*Usnea filipendula*) (obr. 23) - mohutná, většinou 5 až 10 cm dlouhá stélka (v oblastech s vlhčím a velmi čistým vzduchem také delší), má žlutozelené zbarvení, roste převisle na větvích stromů, slabé postranní větvičky vodorovně odstávají a jsou posázené tzv. isidiemi – drobnými bradavičnatými výrůstky, které slouží k vegetativnímu rozmnožování. Vyskytuje se nejčastěji jen v oblastech s vyššími srážkami nebo s častým výskytem mlh [21].



Obr. 22 Provazovka srstnatá [62]



Obr. 23 Provazovka obecná [63]

Větvičník slívový (*Evernia prunastri*) (obr. 24) - stélka je měkká, keříčkovitě větvená, obvykle převislá, šedozelená až žlutozelená, naspodu světlejší, na okrajích a svrchu bělavě skvrnitá, členěná do mnoha větviček, které poté v chomáčcích volně visí dolů. Na konci hlavních větví se tvoří miskovité, v průměru až 12 mm velké plodničky, rozmnožovací soredie, ze kterých za příznivých podmínek vyrůstají další části větvičníku. Roste od nížin do hor, hojně na kůře listnáčů, starých keřů, na poražených kmenech, vzácně na skalách. Roste roztroušeně na jehličnanech, ale vlivem znečištění ovzduší v našich pohraničních horách je stále vzácnější a místy zcela vymizela ještě dřív, než se vliv znečištění projevil na jehličnanech [64].

Misnička zední (*Lecanora muralis*) (obr. 25) - žluto- až bílo zelený lišejník s kornatou stélkou, na okrajích s lalůčky (přechod k lupenitým lišejníkům), někdy i přes 10 cm v průměru; stélka je uprostřed většinou hustě pokryta apothecií (plodnicemi), které jsou zbarvené olivově až do hněda, s bílým okrajem. Vyskytuje se od nížin až po nejvyšší horské polohy Krušných hor. Tento druh potřebuje dostatek živin, najdeme ho však téměř na všech druzích hornin a velmi často také na betonu. Rod *Lecanora* je velmi početný a rozmanitý, jednotlivé druhy se navzájem liší například barvou stélky nebo apotecií. Ne všechny druhy jsou také na okraji laločnaté. Pro přesné určení je často potřeba odborná literatura a mikroskop [21].



Obr. 24 Větvičnick slívový [64]



Obr. 25 Misnička zední [65]

Lobaria Pulmonaria (obr. 26) – stélka lišejníku je kožovitá a laločnatá, na horní straně se vzorem hřebenů a prohlubněmi. Při dostatečné vlhkosti je stélka jasně zelená, při nedostatku vlhkosti hnědne. Na spodní straně má jemnou vrstvu plstí. Vnější ochranná vrstva na povrchu stélky je srovnatelná s epidermis zelených rostlin. Stélka má 5 až 15 cm v průměru, jednotlivé lalůčky jsou 1 až 3 cm široké a až 7 cm dlouhé. Isida jsou přítomny na povrchu stélky. Roste na vlhkých místech s dostatečným množstvím srážek [66].

Rožd'ovka pomoučená (*Ramalina farinacea*) (obr. 27) - lupenitý lišejník s úzkými laloky, přirostlá o podklad v jednom bodě, čímž zdánlivě působí keříčkovitý dojem. Stélka z obou stran je za sucha světle šedá, za mokra zeleno šedá. Soredie se obvykle vyskytují v podobě bílých pomoučením ostrůvků na okraji laloků. Apotécia jsou vzácné. Vyskytuje se zejména na kůře stromů a větvích, vzácnější na skalách [67].



Obr. 26 Lobaria Pulmonaria [66]



Obr. 27 Rožd'ovka pomoučená [68]

3.3.4.2 Rozšířené a známé druhy lišejníků

Terčovka skalní (*Parmelia saxatilis*) (obr. 28) - velikost stélky může značně kolísat od několika cm² po mnoho dm². Líc stélky má především uprostřed drobné bradavičnaté výrůstky (isidie, které slouží k vegetativnímu rozmnožování). Laloky jsou vespod černé, na okrajích zahnědlé. Vyskytuje se převážně na silikátových skalách, ale také na stromech s kyselou kůrou, často ji najdeme v horských polohách [21].

Puklérka islandská (*Cetraria islandica*) (obr. 29) - je lišejník s dužnatou keříčkovitou stélkou. Mívá šedo zelenou až bledě kaštanovou barvu, někdy ale přechází přes šedivou až k bílé. Dorůstá výšky 7,5 až 10 cm. Větve bývají rýhované nebo stočené do trubiček, končí zploštělými laloky. Puklérka roste běžně v horských regionech severských zemí a mimo jiné je jedním z mála druhů, které se vyskytují na lávových svazích na Islandu v severských oblastech, ale nachází se také v našich horách [69, 70].



Obr. 28 Terčovka skalní [71]



Obr. 29 Puklérka islandská [70]

Mapovník zeměpisný (*Rhizocarpon geographicum*) (obr. 30) – lišejník zelenožluté barvy s korovitou stélkou, která je ohraničená černým pásem výtrusů. Tyto stélky k sobě přiléhají a vytváří dojem mapy se zelenými a černými částmi. Nápadný lišejník, s hladkými oddělenými políčky, která jsou ohraničena černými linkami, četné plodnice jsou černé, kotoučovitě, s mírně vyčnívajícím okrajem. Nejčastější druh v našich horách, rostoucí na nevápenných skalních podkladech, vytváří kresbu připomínající mapu. Roste v horských oblastech s nízkým znečištěním ovzduší, často se vyskytuje v oblastech se silikátovými skalami [21, 72].

Hávnatka psí (*Peltigera canina*) (obr. 31) – stélka je široce lupenitá, na rubu síťnatě žilnatá, plstnatá. K substrátu je přirostlá rhizinami. Šedo zelená ve vlhkém prostředí, hnědě šedá za sucha. Hojně roste v příkopech, na lesních cestách a mezi mechem. Druh lišejníku hojný v Evropě, s lupenitou, na okraji laločnatou stélkou šedé a hnědé barvy, její okraje jsou obvykle vespod zahrnuté. Svrchní strana je jemně plstnatá, nelesklá, na spodní straně jsou četné hnědavé rhiziny. Bývá často plodný; plodničky jsou nápadné, kaštanově hnědé. Je rozšířen od nížin po vysokohorský stupeň. Častý a hojný na výslunných travnatých svazích, v lesích, na trouchnivých pařezech a mechovitých skalách [61].



Obr. 30 Mapovník zeměpisný [72]



Obr. 31 Hávnatka psí [74]

Dutohlávka třásnitá (*Cladonia fimbriata*) (obr. 32) – charakteristickým rysem je přibližně 2 cm dlouhý, vzpřímený pohár ve tvaru trubky. Celý lišejník, včetně poháru, je pokryt moučným povrchem. Šedozelené listy jsou malé a často špatně zachovány. Duté, přibližně 2 cm dlouhé, světle šedé až světle zelené stonky končí pohárkem tvaru trychtýře. Dutohlávka třásnitá se vyskytuje hojně na písčítých a písčito-jílovitých půdách. Vzácně roste i na odumřelém dřevě nebo při patě stromů upřednostňuje suchá stanoviště [75].

Dutohlávka sobí (*Cladonia rangiferina*) (obr. 33) - jeden z nejznámějších evropských lišejníků s charakteristicky keříčkovitou, hustě trsovitou stélkou šedé barvy. Koncové plodné větvičky jsou zahnuté jednostranně dolů. Tvoří často souvislé koberce, zejména na kyselých půdách, v suchých a světlých lesích, ale i na vřesovištích, kamenitých stráních, od nížin až po vysokohorský stupeň. V lesnické praxi může sloužit jako indikátor degračního procesu půdy. V polárních krajích je potravou sobů [76].



Obr. 32 Dutohlávka třásnitá [75]



Obr. 33 Dutohlávka sobí [76]

3.4 Vliv půdních parametrů na anorganické kontaminanty v půdě

Mezi základní fyzikální, chemické a biologické procesy kontrolující distribuci těžkých kovů v terestriálním prostředí patří adsorpce, iontově výměnné reakce, tvorba komplexů, precipitace (srážení) / rozpouštění a oxidačně-redukční procesy. Ionty těžkých kovů mohou být vázané na povrchy minerálů nebo organické hmoty pomocí výměnných nebo komplexních reakcí. Při adsorpci a kationtové výměně konkurují těžkým kovům alkalické kovy, kovy alkalických zemin a jejich iontové formy (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{II} a Mn^{II}) spolu

s amoniakem, které se hlavně při redukčních podmínkách nachází v půdě v poměrně vysokých koncentracích. Tento proces se popisuje jako kationtová inhibice, tj. kationtová výměnná reakce mezi těžkými kovy a konkurenčními ionty. Kationtová inhibice je velmi důležitá, protože těžké kovy nejsou v půdě samotné a nachází se vždy v kombinaci s ostatními prvky. Celkový obsah kovů v půdě zahrnuje všechny formy, ve kterých se tento prvek v půdě vyskytuje [1]. Voda velmi často zprostředkovává transport látek a determinuje chemické procesy ve sférách prostředí [3].

3.4.1 Mikrobiální sorpce a akumulace kovů

Mikroorganismy významně ovlivňují osud toxických kovů ve vodních i půdních ekosystémech. Podílí se na změně jejich rozpustnosti, biodostupnosti a mobility. Buňky mikroorganismů dokáží využívat širokou paletu mechanismů pro sorpci a akumulaci kovů. Patří sem aktivní transport, extracelulární tvorba komplexů, precipitace, oxidačně-redukční reakce, konverze sloučenin na těkavé nebo méně toxické formy těžkých kovů [1].

Mezi hlavní mechanismy, kterými jsou kumulovány ionty kovů, patří:

- iontová výměna - ionty kovů se vyskytují především jako kationty. Extracelulární vychytávání kationtů zpočátku probíhá pasivně a velmi rychle. Již během několika minut dochází k úplnému nasycení. Poté je kationt nějakou dobu ponechán v buněčné stěně lišejníku. Tato doba závisí na druhu lišejníku. Kationty jsou pak ukládány mimo cytoplazmu mykobionta i fotobionta na tzv. místech kationtové výměny, nebo k jejich přemístění z buněčné stěny vůbec dojít nemusí. Některé kovy se vyskytují jako anionty, např. uran. Jejich vychytávání je mnohem pomalejší než u kationtů a jejich hladina v lišejnících je mnohem nižší,
- intracelulární příjem - ve srovnání s iontovou výměnou je intracelulární příjem iontů mnohem pomalejší. Při 2,5 hodinové expozici lišejníku v roztoku kadmia bylo přijato intracelulárně méně než 10% z celkového příjmu. Intracelulární příjem se zvyšuje s časem, závisí také na vnější koncentraci kovů a probíhá pomocí přenašečů za spotřeby energie,
- zachytávání částic - lišejníky mají uvnitř stélek velmi rozsáhlé mezibuněčné prostory, ve kterých se mohou shromažďovat částice kovů. Bylo také dokázáno, že lišejníky jsou schopny takto zachytávat a kumulovat částice nejen z ovzduší, ale také z půdního prachu [20].

3.4.2 Vliv pH na mobilitu anorganických kontaminantů

V literatuře více autorů uvádí hodnotu výměnné půdní reakce jako jeden z nejdůležitějších půdních parametrů, který ovlivňuje především obsah kovů v bio dostupné formě, jako i sorpční parametry sorbentů, jejichž selektivita vůči sorpci kovu je v různých oblastech pH různá. Vysvětlení tohoto jevu spočívá v závislosti nábojů půdních sorbentů na hodnotě půdní reakce. Při nízkých hodnotách pH je i sorpce těžkých kovů relativně nízká, vzhledem k soutěžení sorpčních míst s protonem (H^+) [1].

3.4.3 Vliv půdní organické hmoty na mobilitu anorganických kontaminantů

Významnou úlohu při interakci organické hmoty s kovy hraje nejen množství, ale i kvalita půdy (chemická struktura). Kovy mají tendenci vytvářet rozdílné komplexy s organickou hmotou v půdách v závislosti na charakteru kovu [1].

4 VYUŽITÍ MECHŮ A LIŠEJNÍKŮ PRO BIOMONITORING KOVŮ V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ

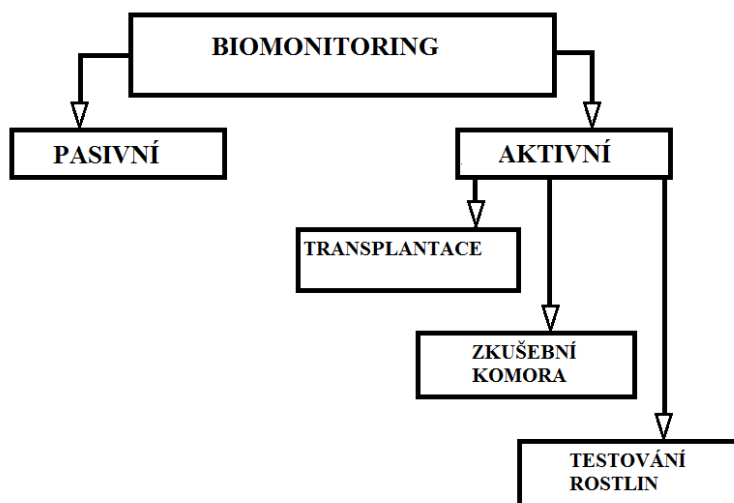
Existuje mnoho studií kontaminace atmosféry, ale většina z nich byla omezená kvůli problémům s vysokými náklady a těžkostmi při práci s rozsáhlým vzorkováním, jak z hlediska času, tak prostoru. K dispozici je stále rostoucí zájem o využití nepřímých monitorovacích metod, jako je analýza organismů, které fungují jako bioakumulátory [2]. Monitorování se provádí podle dohodnutého programu za využití srovnatelných metod sběru a analýzy údajů v daném systému [6]. Při biologickém monitorování čelíme mnoha obtížím. Například, při použití lišejníků, kde může docházet k rozdílným hodnotám složení z důvodu způsobených místem výskytu, kterým je strom, na kterém se lišejníky rostou. Také, u pozemního mechu může docházet ke změně složení což je způsobeno složením podloží, na kterém rostou [2].

Výhody:

- ze všech biologických druhů použitých v biomonitoringu se lišejníky a mechy vyskytují nejčastěji,
- jejich morfologie se nemění s ročním obdobím, tedy k akumulaci dochází během celého roku,
- lišejníky a mechy jsou obvykle dlouhověké, což vede k jejich použití jako dlouhodobých integrátorů atmosférické depozice [2].

4.1 Metody biomonitoringu

Metody monitorování bioakumulace lze rozdělit do dvou skupin: aktivní a pasivní. Aktivní monitoring zahrnuje expozice přesně definovaných druhů za kontrolovaných podmínek, zatímco pasivní monitoring se vztahuje ke sledování nebo chemické analýze původních rostlin. Aktivní biomonitoring může být rozdělen na transplantaci, testování rostlin, a metody ve zkušební komoře (obr. 35) [2].

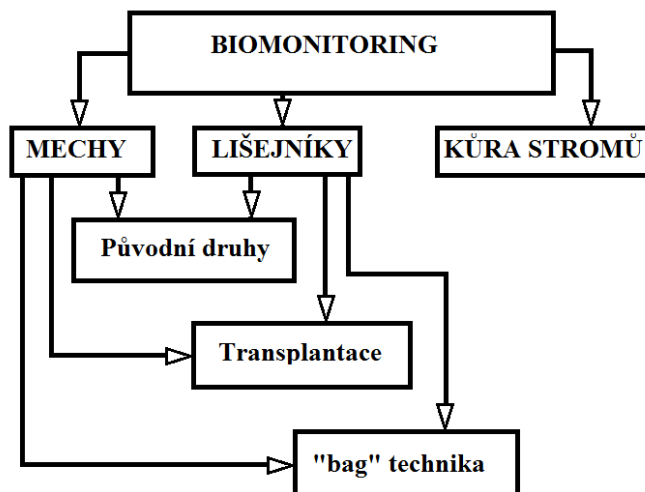


Obr. 34 Obecné schéma členění technik biomonitoringu těžkých kovů [2]

Obecně platí, že pasivní biomonitoring má jednu hlavní nevýhodu, že všechny procesy zdrojů znečištění působí stejnou dobu a není možné je oddělit a hledat jeden konkrétní [2].

Obecné rozdělení metod biomonitoringu těžkých kovů, podle použití různých druhů bioindikátorů jako jsou mechy, lišejníky a kůra stromů a na základě způsobu výběru vzorků (obr. 35):

- původní druhy,
- transplantace,
- "bag" technika [2].



Obr. 35 Obecné schéma rozdělení biomonitoringu těžkých kovů pomocí různých materiálů a způsobu výběru vzorků [2]

4.2 Techniky biomonitoringu

4.2.1 "Bag" technika

Tato technika se stala velmi populární. „Tašky“ mechu (obr. 36) při „bag“ technice mají tendenci vysychat, rychlost depozice částic na mokřích taškách mechu je výrazně větší, než na suchých taškách mechu [77]. S cílem pokusit se odstranit tento nedostatek byla navržena taška, která umožnila, aby mech zůstal vlhký. Je to polyethylenový box nahoře se sítí, která kryje vzorek mechu (obr. 37) [2].

Vzorkovače nevyžadují speciální údržbu, nebo přístup k jakémukoli přístroji (elektřina, čerpadla, atd.). Instalace vzorkovače je možná uvnitř nějakého objektu i kdekoli venku. Studie byly provedené v různých prostředích, jako jsou tunely, regiony nebo celé průmyslové oblasti [78].

Tato metoda byla využita pro zachycení aerosolů a prachu ve vzduchu, a tudíž k lokalizaci zdroje emisí kovů a určení místní zátěže prvky kovů po dobu několika týdnů nebo měsíců. Jako vzorek mechu byl použit Rokyt cypřišovitý (*Hypnum cupressiforme*). Později došli k závěru, že boxy obsahující mech mají mnoho výhod při sledování atmosférické depozice kovů, ačkoli neumožnily definovat celkové atmosférické zatížení [77].

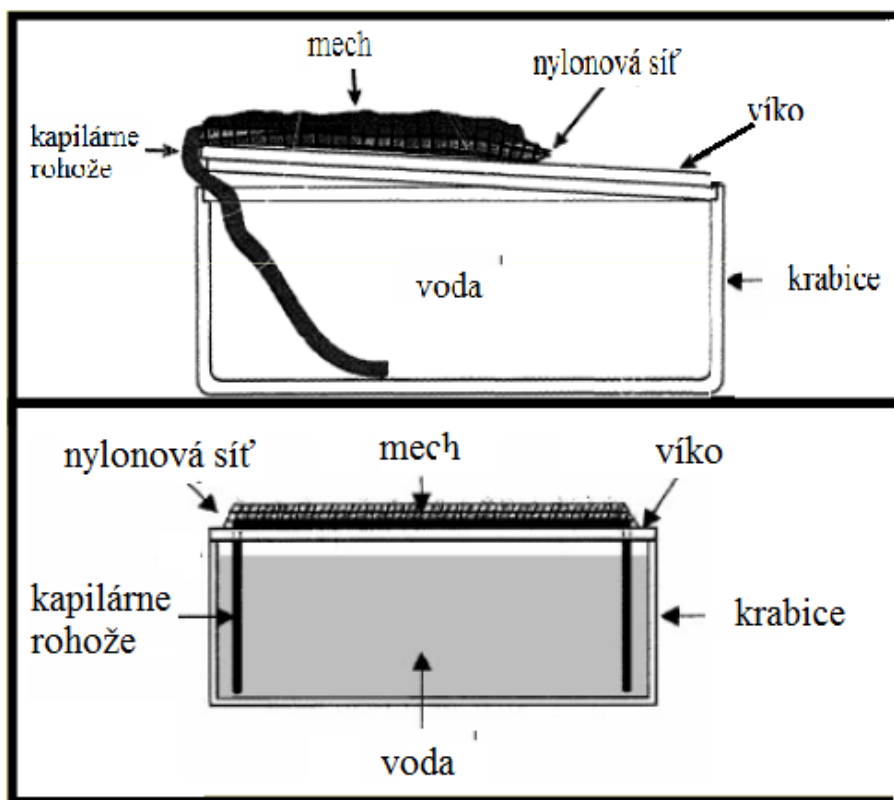
Tento box umožňuje srovnání vzorků odebraných z mechu se vzorky srážek. "Bag" technika, dává možnost srovnávání mokřé a suché depozice a nejsou tam žádné rozdíly

v obsahu na začátku monitorování. Konstrukce při “bag“ metodě, by měla být provedena tak, aby byla vlhkost vzorku stabilní a zabránilo se vysychání mechu [2].

Akumulační schopnost mechu v “tašce“, v závislosti na době expozice, a to jak v suchém tak v mokřém provedení “tašky“, ukázaly lineární trend akumulace v průběhu 1 až 5 měsíců po expozici, pro většinu studovaných prvků: Al, Si, Ca, Ti, V, Cr, Fe, Co, Zn, Ga, As, Se, Sr, Cd, Te, Ba, Hg, Pb, a několik vzácných zemin. Vyšší kumulace ve vlhkém provedení “tašky“ mechu byla patrná u následujících prvků: Sr, As, Zn, Ca, Mg, Te, Al, Cr, Sm, Si, Be, Ce, Co, Mo, Dy, La, Hf, Nb, Ti a W. Velmi podobný trend akumulace prvků pro suché i mokřé “tašky“ mechu naznačuje, že obě metody expozice mohou být použity jako vhodné nástroje pro biomonitoring stopových prvků v ovzduší. V případech relativně nízkého zatížení se ukazuje jako lepší volba mokřé “tašky“, z důvodu vyšší akumulací schopnosti, pravděpodobně v důsledku dlouhodobé vitality mechu. V tomto případě vystavení “tašky“ na období až 5 měsíců může být vhodnější, z důvodu zvýšení citlivosti metody [79].



Obr. 36 “Bag“ technika - taška mechu – suché provedení [18]



Obr. 37 Schematické uspořádání "bag" technika tašky mechu - mokré provedení [18]



Obr. 38 "Bag" technika - taška mechu - mokré provedení [18]

Ve studii [80] byly souběžně použity "tašky" mechu a lišejníku pro porovnání bioakumulační kapacity. Druhy použité ve studii, mech *Scorpiurum circinatum* a lišejník *Pseudevernia furfuracea*, byly vystaveny po dobu 3 měsíců v městské oblasti Acerra v Itálii. Výsledky ukázaly, že oba druhy nahromadily všechny analyzované těžké kovy. Mech měl vyšší bioakumulační kapacitu pro všechny kovy a ukázal více konstantní a lineární akumulaci než lišejník [80].



Obr. 39 Experimentální uspořádání "bag" technika (A) suché provedení (B) mokré provedení [79]

4.2.2 Transplantační technika

Tato technika je technikou aktivního biomonitoringu. Technika je vhodná zejména tam, kde je koncentrace znečišťujících látek na poměrně vysoké úrovni. Jednou výraznou výhodou, ve srovnání s použitím původních druhů, je to, že je dobře definována doba expozice. Reprodukovatelnost této techniky se nezdá být dost uspokojivá pro parametry, jako je koncentrace v ovzduší a rychlost depozice. V postupu transplantace se mechy a lišejníky přesazují z neznečištěné oblasti na místo posuzovaného znečištění. Doba expozice tak je přesně definována, ale změna příjmu a efektivity v důsledku klimatických změn je obvykle stanovena testováním [2]. Tato technika s využitím lišejníku *Evernia prunastri* byla využita k monitoringu znečištění těžkými kovy v oblasti Jaderského moře [81]. Studie, která využívá techniku transplantace lišejníku *Hypogymnia physodes* a popisuje elementární distribuci těžkých kovů v tomto druhu lišejníku a monitoruje znečištěné lokality, byla použita v Jižním Polsku [89]. V další studii zjišťovali obsah některých těžkých kovů v transplantované stélce lišejníku rodu *Usnea* a vyhodnocovali relativní kvalitu ovzduší v okolí města Cordoba v Argentině [4].

4.2.3 Původní druhy

Použití původních druhů mechů jako bioindikátorů je pohodlný způsob stanovení množství stopových prvků z atmosférické depozice [79]. Studie ze střední Itálie se zabývala porovnáním koncentrace stopových kovů v mechu *Hypnum cupressiforme* a epifytickém lišejníku *Parmelia caperata*. Byly to původní druhy ve zkoumané oblasti, ve které byly rozšířené přírodní a antropogenní zdroje kovů. Tato studie měla za cíl posoudit, zda mechy a lišejníky mohou být použity zaměnitelně jako bioakumulátory kovů, nebo zda poskytují různé informace o depozici kovů. Výsledek studie ukazuje, že v oblastech s rozšířenými přírodními a antropogenními zdroji kovů nemohou být použity jako vzájemně zaměnitelné bioindikátory. V těchto prostředích epifytické lišejníky se zdají být spolehlivější bioindikátory atmosférické depozice stopových kovů, i když jsou více citlivé na znečištění ovzduší sloučeninami síry [83].

Evropský průzkum měl za cíl identifikovat znečištěné oblasti a vytvářet evropské mapy znečištění ovzduší těžkými kovy, pomocí přirozeně rostoucího mechu v Evropě. Cílem bylo také shrnout změny koncentrací těžkých kovů v mechu v Evropě mezi roky 1990 a 2005 [3].

Mechy mají dvě hlavní výhody oproti konvenčním metodám vzorkování srážek pro studie atmosférické depozice:

- koncentrace kovů soustředěná v mechu je podstatně vyšší ve srovnání se srážkami, kde analytické detekční limity jsou často nedostatečné, může dojít ke kontaminaci při odběru a manipulaci, což často způsobuje potíže,
- jednoduchý a levný postup odběru jednotlivých vzorků mechů nám umožňuje zahrnout do průzkumu velký počet míst a tím nám umožní získat podrobné a přesné údaje o depozici v dané oblasti [2].

Lišejníky mohou být použity jako bioindikátory dvěma různými způsoby:

- tím, že mapujeme všechny druhy přítomné v určité oblasti,
- osobním odběrem lišejníků a měřením znečišťujících látek, které se hromadí na stélce, nebo pomocí transplantace lišejníků z nekontaminované oblasti do kontaminované, a pak se měří morfologické změny ve stélce lišejníku, nebo se vyhodnocují fyziologické parametry anebo se hodnotí bioakumulace znečišťujících látek [2].

Index atmosférické čistoty - je založen na citlivosti lišejníků ke znečištění ovzduší, každý druh se hodnotí podle stupně své pokryvnosti a podle počtu druhů, které s ním rostou ve vzorkovací síti zahrnující 10 oblastí,

$$IPA = \sum F_i ,$$

kde IAP je index atmosférické čistoty (tabulka 2) a F_i je frekvence (max. 10) z každého i-tého druhu (počítáno jako počet obdélníků v mřížce ve které se stejné druhy objeví) [2].

Tabulka 2 Kvalita úrovně indexu atmosférické čistoty (IAP)

Stupeň A	$0 < IAP < 12,5$	Velmi vysoký stupeň znečištění
Stupeň B	$12,5 < IAP < 25$	Vysoký stupeň znečištění
Stupeň C	$25 < IAP < 37,5$	Mírný stupeň znečištění
Stupeň D	$37,5 < IAP < 50$	Nízký stupeň znečištění
Stupeň E	$IAP > 50$	Velmi nízký stupeň znečištění

Mechy a lišejníky hromadí kovy pasivním způsobem. Interpretované údaje z biomonitoringu z polních pokusů jsou často vztahovány spíše k zachycení relativně nerozpustných částic bohatých na kovy, než k retenční efektivnosti daného druhu. Části starších lišejníků a mechů vykazují vyšší koncentrace kovů, vyplývající ze vstřebávání dlouhodobého zatížení kovy a jejich sloučeninami. Starší části lišejníků mají těla bohatá na sloučeniny kovů. Mechy vytváří koberce po dobu 3 až 5 let, a obsah kovů proto odpovídá stupni atmosférické depozice v průběhu tohoto období [2].

Výběr lišejníků je velmi složitý, zatímco pro mechy, je mnohem jednodušší. Meziroční přírůstek je snadnější rozlišit na mechu než na lišejníku, pokud je potřeba časově rozlišit stanovení, jsou mechy považovány za nadřazené lišejníkům. Bioindikace s využitím mechu je obzvláště výhodná pro odhad dalekonosných časových a prostorových změn v akumulaci kovů. Současně, dosud není jasné, jak mechy reprezentují krátkodobé časové depozice kovů. Srovnání výsledků biomonitoringu mechu (*Hypnum cupressiforme* a *Scleropodium touretii*) a lišejníku (*Parmelia sulcata*) ve stejné oblasti v Portugalsku ukázalo, že výsledky byly srovnatelné pouze pro Cr, Ni, Pb [2].

Rozdíly v koncentracích mezi lišejníky a mechy byly statisticky významné pro Al, B, Fe, Hg, Pb, Sb, Zn a mechy zadržely vyšší hodnoty než lišejníky, s výjimkou Hg a Zn. Prvky, které se nachází v mechu ve vyšších koncentracích, byly spojeny s pevnými částicemi. Mech se zdá být vynikajícím bioindikátorem pro monitorování prvků, jako jsou Pb, Cd, Cu, V a částečně Zn. [2]

Je důležité mít na paměti, že mechanismy, jiné než atmosférická depozice znečišťujících látek, mohou významně ovlivnit obsahu kovu v mechu. Mohou to být tyto mechanismy:

- transport rozpustných sloučenin z půdy do tkáně mechu v období rozsáhlého kontaktu půda / voda, zejména při tání sněhu,
- iontová výměna kationtů kovů s mořskou solí a H^+ z kyselých srážek,
- interní přerozdělení prvků v rostlinách mechu.

Při ekologických studiích úrovně kvality ovzduší s využitím těchto metod se můžeme setkat s následujícími problémy:

- časoprostorové kolísání by mohlo vést k výběrové chybě,
- nízké koncentrace některých mikrokontaminantů (což by se mohlo časem změnit), by mohly vést k potížím v metodice,
- přerušované nebo sporadické emise nečistot je obtížné zjistit,
- biologické toleranční meze daných druhů nemusí být vzaty v úvahu,
- mezi dávkou a účinkem odezvy není lineární vztah, a to může způsobit problém v interpretaci hodnocení poškození organismů a ekosystémů [2]

Důležitou roli v případě mapování lokalit hraje variabilita. Dále je nezbytné mezidruhové porovnání, když se používají různé druhy v jedné studii. Nejlepším řešením by bylo použití stejného druhu na všech zkoumaných místech, ale dostupnost materiálu v těchto místech je často omezená. V případě nedostatku požadovaného materiálu na zkoumaném místě je nejlepší použít metodu transplantace [2].

Správné shromažďování a manipulace se vzorky je nezbytná pro úspěšnost všech experimentů, kde se využívají mechy a lišejníky k bioindikaci znečištění životního prostředí. Dodržování základních pravidel pro vzorkování je důležité pro následné laboratorní analýzy, kterými se zjišťuje přítomnost kontaminantů v mechu a ve stélkách lišejníků [20].

Ve studii [84] zaměřené na kontaminaci vybraných stopových prvků z termálních pramenů pomocí lišejníků a mechů jako bioakumulátorů, byl použitý druh lišejníku *Xanthoparmelia chlorochroa* a druh mechu *Hypnum cupressiforme*. Výsledky naznačují, že

lišejníky a mechy mohou být použity jako bioakumulátory depozice As, Cd, Cu, Mo a S. Statisticky významné rozdíly v koncentracích prvků v lišejníku a mechu byly pro Al, B, Fe, Hg, Pb, Sb, a Zn. Pro Hg a Zn byla vyšší koncentrace zjištěná v lišejníku a pro ostatní prvky byla vyšší koncentrace v mechu [84].

4.3 Mechy jako bioindikátory atmosférické depozice těžkých kovů

Od konce roku 1960 byly mechy použity jako bioindikátory atmosférické depozice těžkých kovů v severských krajinách. Od roku 1990 v Evropě probíhá průzkum obsahu těžkých kovů v mechu jednou za pět let [85]. V roce 2000 byl evropský biomonitoring využívající mech jako bioindikátor úrovně atmosférického spadu prvků zařazen do mezinárodního programu spolupráce sledující - Vlivy znečištění ovzduší na přirozenou vegetaci a plodiny, podprogram „Těžké kovy v mechu“ [86].

Když chceme měřit spad těžkých kovů z atmosféry tak máme přístup k alternativě, která je jednoduchá a levná, v porovnání s poměrně složitou metodou analýzy srážek vzhledem ke koncentraci kovů. Husté koberce, které vytváří mech *Hylocomium splendens*, *Pleurozium Schreber* a další druhy mechů, se ukazují být velmi účinné jako místa, kde se zachytávají kovy, které jsou obsaženy v srážkách a prachu šířícím se vzduchem. Jednou z hlavních výhod, které má studium analýzy spadu těžkých kovů v mechu, je to, že kovy se hromadí v mechu, což vede k mnohem vyšším koncentracím, než jaké jsou obsaženy ve vzduchu, dešťových srážkách a sněhu. Doporučuje se rovnoměrné a objektivní rozdělení vzorků. V oblastech, kde můžeme předpokládat strmý přechod koncentrace v depozici těžkých kovů, zvýšit hustotu odběru vzorků. Ve složeném vzorku má být zastoupen pouze jeden druh mechu. Mechy se odebírají postupem podle standardizovaného protokolu [85].

Pokud vzorky nemohou být vyčištěny ihned po odběru, měly by být odebrány do papírových pytlů, vysušeny a skladovány při pokojové teplotě (20 až 25°C) až do dalšího zpracování. Vzorky by měly být pečlivě vyčištěny od všech cizích materiálů, připojené podestýlky tak, že zůstanou jen zelené a zeleno-hnědé výhonky z posledních tří let růstu. Hnědé díly by neměly být zahrnuty do vzorku, i když zelené části představují pouze poslední dva roky růstu. Pro analýzu se doporučují výhonky odpovídající třem rokům růstu [85].

Pro rozklad organického materiálu vzorku se doporučuje rozklad na mokré cestě. Rozklad na suché cestě není přijatelný. Preferovaný způsob rozkladu je mikrovlnná mineralizace. Mokrý rozklad, pomocí kyseliny dusičné, byl využíván v minulosti ve většině studií [85].

4.4 Využití lišejníků k posouzení čistoty životního prostředí

Lišejníky byly popsány jako jeden z nejlepších bioindikátorů v posuzování znečištění prostředí těžkými kovy, protože mohou akumulovat a tolerovat koncentraci kovů vysoko nad jejich očekávanými fyziologickými potřebami, vzhledem k jejich relativně velké ploše a pomalému tempu růstu. [4]

Rozmanitost epifytických lišejníků a akumulace vybraných stopových prvků v lišejníku *Flavoparmelia caperata* byly využívány jako indikátory znečištění kolem skládky ve střední Itálii po dobu 14 let nakládání s těmito odpady. Lišejníky odhalily zvýšenou depozici pro některé prvky (jako Cd, Cr, Fe a Ni) a snížení rozmanitosti druhů lišejníků na místech kolem rozšiřující se skládky [87].

4.4.1 Vzorkování lišejníků pro bioakumulaci prvků

Pro experimenty týkající se monitoringu určité oblasti by měly být vybírány lišejníky, které se v dané oblasti hojně vyskytují. Takto bude zajištěn dostatek rostlinného materiálu. Neměly by být vybírány chráněné druhy. Experimenty, které zjišťují obsah těžkých kovů ve stélkách, by měly být prováděny na stejném druhu lišejníku. Hlavním důvodem jsou rozdíly v morfologické stavbě stélek jednotlivých druhů, které mají velký vliv na kumulaci těchto látek uvnitř stélky. Celkový vzorek by měl obsahovat 10 - 30 podvzorků o přibližné hmotnosti 10g [20].

Pro odběr epifytických lišejníků se jako nejvhodnější alternativa ukázaly kmeny některých druhů listnatých stromů, které jsou nepoškozené, dobře osvětlené, s obvodem > 60 cm, s rovným kmenem a bez podílu mechorostů (< 25%). Ve studii Dlouhodobého biologického monitoringu [87], byly shromážděny stélky lišejníku *Flavoparmelia Caperata*, pro analýzy prvků vybraných vzorkovacích jednotek, z určité oblasti od skládky. Druh *F. Caperata* byl vybrán, protože je široce rozšířen na tomto území, a protože byl už použit ve studiích bioakumulace v sousedních oblastech. Při vzorkování bylo odebráno 10 až 30 stélek rostoucích na kmenech stromů, z výšky mezi 100 a 200 cm od země. Vzorky byly pečlivě vyčištěné pod binokulárním mikroskopem od cizího materiálu. Pouze okrajová část stélek (až do 5 mm od špiček laloku) byla vybrána pro analýzu. U druhu *F. Capeatar* tato část odpovídá zhruba do 1 roku věku. Je jí možné snadno oddělit z kůry, a také je odlišitelná světlejší barvou a nejsou zde přítomné rhiziny [87].

Vzorky lišejníku se nemyjí, protože se může při promývání nepředvídatelně měnit jejich chemické složení. Lišejníkové vzorky se suší na vzduchu až do konstantní hmotnosti, pak se homogenizují rozdrčením na prášek a ponoří do kapalného dusíku. Asi 200 mg práškového materiálu lišejníku se mineralizuje směsí 6 ml 70% HNO₃, přidá se 0,2 ml 60% HF a 1 ml 30% H₂O₂, v systému mikrovlnného rozkladu při 280°C a tlaku 5,5 MPa. Koncentrace vybraných prvků z toxikologického hlediska (As, Cd, Cr, Ni, Pb, V, Zn) byly stanoveny metodou ICP-MS a vyjádřeny na sušinu (mg/g sušiny) [87, 88].

Stanovením koncentrace znečišťujících látek ve vzorcích odebraných z lišejníků na mnoha místech, které se nacházejí v různých vzdálenostech a směrech z bodového zdroje znečištění, můžeme získat cenné informace o prostorovém rozložení znečišťujících látek [88].

Koncentrace některých prvků (kovů a síry), uvolněných z elektráren, která byla zjištěná v lišejníku, negativně souvisí se vzdáleností a pozitivně souvisí s výškou umístění stojanu se vzorkem lišejníku. Tyto dva faktory vysvětlují část zjištěných rozdílů v datech, což naznačuje, že rozptylové podmínky uvnitř lesního porostu jsou složitější než na volném prostranství. Výsledky v této studii jasně ukazují, že při sledování stupně a druhu znečištění, který sledujeme, je třeba vzít v úvahu výběr jednotlivých druhů lišejníků, které budou použity jako bioindikátor. Druh lišejníku *A. ciliaris*, odolný vůči znečištění, byl použit jako bioindikátor síry a těžkých kovů v mírně znečištěných oblastech [88].

4.5 Biomonitoring skupiny platinových kovů

Podle studie analýzy platinových kovů z emisí silniční dopravy v Rakousku s využitím mechů, máme přesné údaje ze stanovení PGE v mechu [86].

4.5.1 Odběr vzorků

Třicet dva vzorků bylo odebráno ze čtyř typů míst: (1) čtyři místa podél cesty, (2) sedm párových míst, (3) jedno experimentální místo a (4) referenční místo ve vzdálené oblasti. Tato místa byla rozložena po celém Rakousku. Výběr lokalit byl založen na různých ovlivňujících faktorech, jako je hustota provozu, sklon silnice a krajina, ve které je silnice postavená (ploché údolí, strmé údolí, sklon svahů, atd.). Místa ovlivněna znečištěním jinými faktory, než místní doprava (továrny, místní spalování), byla vyloučena. Každý vzorek se skládal z pěti až sedmi dílčích vzorků, které byly vzaty podél linie paralelně k silnici v přesně definované vzdálenosti.

(1) Místa podél cesty - čtyři až šest vzorků bylo shromážděno v rámci jednoho místa v různých vzdálenostech od silnice. Výběr lokalit v rámci pásu byl závislý na růstu dostatečného množství mechu.

(2) Párová místa - na těchto místech různé vzdálenosti (většinou 5 až 15 m) od silnice byly analyzovány dva vzorky. Vzorkovací vzdálenosti na těchto místech byly vybrány po analýze dat míst podél cesty.

(3) Experimentální místo - na jednom místě byl proveden experimentální postup. Zelené části mechu *Hylocomium splendens* získané na vzdáleném místě (cca 10 g.sušiny⁻¹, každý reprezentuje růst v posledních 2 letech) byly dány do dřevěného rámu (o velikosti 10 cm x 10 cm), který byl pokrytý tenkou plastovou sítí s oky o velikosti 1 cm x 1 cm. Jemnost sítě a velikost ok byla zvolena tak, aby se minimalizoval vliv sítě na výsledky. Vrstva mechu byla udržována v tenké vrstvě tak, aby byl získán vysoký poměr povrch / objem mechu. Rámy byly umístěny v tunelu po dobu 28 dnů. Rámy byly namontovány na zdi tunelu s odstupem 60 a 120 m od vstupu do tunelu, v průměrné výšce 2 m a vzdálenost 2 m od levého pruhu.

(4) Jedna lokalita byla vybrána jako referenční místo - les více než 500 m od silnice. Byl identifikován jako referenční místo pro celkovou depozici kovů, toto místo bylo také zdrojem materiálu pro experimentální postup [89]

V této studii použili jako k biomonitoringu tyto druhy mechu: *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Scleropodium Purum*, *Hypnum cupressiforme* a *Abietinella abietina*. V laboratoři byly stonky mechu zkráceny na přírůstek za poslední 2 roky, z toho byla zobrazena depozice, která odpovídala tomuto období. Použitá standardní metoda pro odběr a přípravu a analýzu vzorků zajišťuje srovnatelnost údajů s těmi z mezinárodních programů a předchozích celostátních studií. Z pochopitelných důvodů byl mezinárodní protokol změněn, kvůli minimální vzdálenosti od silnice. Podél pásu vyměřeného v terénu a na místě experimentálního postupu byly vzorky odebrány na konci srpna a září roku 2003, na párových místech v září 2004. Přehled zkoumaných lokalit s některými parametry, charakterizujícími místa podél cest je shrnut v tabulce (tab. 3).

Důležitým údajem je informace o počtu vozidel na dané trase, která se získala z referenční statistiky Ministerstva dopravy. Jde o průměrný počet těžkých vozidel s maximální povolenou hmotností do 43,5 t a lehkých užitkových vozidel do 3,5 t, za den, který po dané cestě projede. Nejsou-li k dispozici údaje pro místo, kde se studie provádí, vezmou se údaje ze statistiky pro cestu se srovnatelnou hustotou provozu [89].

Tabulka 3 Umístění zkoumaných lokalit v Rakousku a parametry charakterizující testovaná místa podél cest [89]

Číslo	Název cesty	N	E	LDV	HDV	Převýšení	Druh mechu	Vzdálenost místa odběru (m)
1	A2/Wechsel	47° 29' 58"	16° 06' 37"	32,901	6587	+1	H.s.	6, 8, 10, 12,
2	B179/Tarrenz	47° 16' 20"	10° 46' 53"	9790	1780	0	A.a.	2, 6, 9, 14, 30, 60
3	A10/Zederhaus	47° 06' 49"	13° 35' 09"	39,455	9986	+1	H.s.	10, 35, 50, 200, 600
4	A13/Steinach a.Br.	47° 05' 00"	11° 27' 49"	22,760	9467	+1	A.a.	6, 100, 200, 250,
5	A 22/Laabertunnel-Vienna	48° 10' 00"	16° 23' 19"	84,600	8950	0	H.s.	2
6	Reference site	14° 43' 30"	47° 01' 40"	0	0	0	H.s.	> 1000 m
7	A10/Tenneck	47° 13' 44"	13° 10' 10"	37,300	10000	0	S.p.	5, 15
8	A12/Innsbruck	47° 15' 44"	11° 27' 02"	50,000	14000	0	S.p.	5, 15
9	A2/Aspang-Markt	47° 32' 37"	16° 07' 54"	35,700	7000	-1	P.s.	5, 15
10	A4/Fischamend	48° 07' 36"	16° 35' 16"	62,000	7300	0	H.c.	8, 12
11	A7/Treffling	48° 20' 08"	14° 22' 56"	n.a.	n.a.	+1	S.p.	5, 15
12	S6/Gloggnitz	47° 10' 44"	16° 01' 27"	22,000	2700	+1	S.p.	6,12

E, N - přesná poloha místa, LDV - průměrná hustota dopravy vozidel s nízkou užitkovou hmotností za den, HDV - průměrná hustota dopravy těžkých vozidel za den, převýšení 0 – bez vrcholu, 1 - až 10% sklon, – cesta klesá dolů, + cesta stoupá nahoru, H.s. - *Hylocomium splendens*, A.a. - *Abietinella abietina*, S.p. - *Scleropodium purum*, H.c. - *Hypnum cupressiforme*.

4.5.2 Příprava vzorků a rozklad

Vzorky mechu se suší při 40°C, uchovávají se v kapalném dusíku v porcelánové nádobce. Pro alikvotní rozklad se použije 1 g (\pm 0,002 g) mletého vzorku mechu. Přenese se do křemenné rozkladné nádoby, přidá 5 ml kyseliny dusičné (s.p. 65%) a 1 ml kyseliny chloristé (s.p. 70%). Aby nedošlo ke ztrátě těkavých prvků, absorpční nádoba se naplní 10 ml kyseliny dusičné. Po jednodenní reakční době při teplotě v místnosti se vzorky vaří pod zpětným chladičem, podle teplotního programu: 30 min při 60 °C, 40 min při 200 °C, chladí se po dobu 20 min. Po ochlazení se vzorky promyjí dalšími 10 ml kyseliny dusičné [89].

4.5.3 Metody analýzy

Stanovení kovů lze provádět pomocí různých analytických technik. Studie ukázaly, že jak AAS (atomová absorpční spektrometrie) a ICP-OES/MS (atomová emisní spektrometrie) jsou vhodnými metodami pro stanovení kovů. Při stanovení NAA (neutronová aktivační analýza) dostáváme vyšší koncentrace kovů, protože určujeme celkovou koncentraci těžkých kovů. Proto se doporučuje, aby se výsledky stanovení, získané z NAA, porovnávaly s výsledky získanými jinými technikami, jako je ICP-MS, při stejném vzorku mechu [85].

Vzhledem k očekávaným nízkým koncentracím PGE ve vzorcích mechu v ($\mu\text{g}/\text{kg}$), je potřeba pro stanovení vysoce citlivá, přesná a rychlá analytická metoda. Při pohledu na analytické metody stanovení PGE v environmentálních vzorcích, bylo v minulosti použito několik metod stanovení. Platina byla úspěšně stanovena s použitím voltametrické metody. Dále byla použita AAS (atomová absorpční spektrometrie) pro stanovení platiny v biologických vzorcích. V posledních letech se vysoce citlivou metodou stanovení PGE se stala ICP-MS (hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem). Avšak, u této metody mohou silně ovlivnit přesnost PGE stanovení spektrální interference. Nejproblematictější spektrální interference pro Rh, Pd, Pt a vznikají s některými oxidy a víceatomovými sloučeninami [89].

4.5.4 Mechy a lišejníky použitelné pro biomonitoring skupiny platinových kovů

Biomonitoring skupiny platinových kovů pomocí mechu a lišejníků je málo rozšířenou metodou a jenom velmi málo studií se zabývá využitím mechu jako bioindikátoru PGE. Protože platinové kovy patří mezi těžké kovy, a mechy i lišejníky se často využívají pro monitoring těžkých kovů, z toho můžeme vyvozovat, že by se některé druhy daly použít pro biomonitoring PGE. Jedná se o druhy mechu a lišejníků běžně používané a hojně rozšířené, v kombinaci s některou uvedenou metodou biomonitoringu.

Pro biomonitoring PGE můžeme doporučit druhy mechu, které byly popsány ve studii z Rakouska [89], kde byla použita "bag" metoda s těmito druhy mechu:

- Travník schreberův (*Pleurozium schreberi*),
- Roktník skvělý (*Hylocomium splendens*),
- Dutolistec čistý (*Scleropodium purum*),
- Rokyt cypřišový (*Hypnum cupressiforme*),
- *Abietinella abietina*.

Pro doporučení konkrétních druhů lišejníků, které by se daly použít pro biomonitoring PGE, se zaměříme na rozšířené druhy lišejníků, a běžně využívané pro biomonitoring těžkých kovů:

- Terčovka svraštělá (*Flavoparmelia caperata*),
- Terčovka brázditá (*Parmelia sulcata*)
- Terčovka bublinatá (*Hypogymnia physodes*).

5 ZÁVĚR

Záměrem této práce bylo objasnit využití mechu a lišejníků jako bioindikátorů pro monitoring rizikových kovů v životním prostředí. Mechy a lišejníky jsou jako bioindikátory vhodné zejména pro svoji vysokou kumulativní schopnost. Techniky monitoringu využívající mechy a lišejníky poskytují náhradní způsob určení depozice těžkých kovů z ovzduší do terestrických systémů. Jsou jednodušší a levnější než konvenční analýzy srážek, a proto umožňují dosažení vysoké hustoty vzorkování [3].

Transplantační metoda má obrovskou výhodu v tom, že může být použita v oblastech, kde je koncentrace znečišťujících látek tak vysoká, že se zde již žádné přirozeně rostoucí mechy a lišejníky nevyskytují, nebo není dostatek přirozeného substrátu pro růst mechu a lišejníků.

Mechy jsou v biomonitoringu častěji používané, protože způsobují méně technických a analytických problémů než lišejníky. Travník schreberův (*Pleurozium schreber*) a Roktník skvělý (*Hylocomium splendens*) jsou druhy mechu nejčastěji preferované ve světovém biomonitoringu [2]. Nicméně, v některých zemích se používají i jiné druhy mechu, jako jsou Rokyt cypřišový (*Hypnum cupressiforme*), (*Pseudoscleropodium Purum*). Použití mechu, jiných než *Hylocomium* nebo *Pleurozium*, musí předcházet porovnání zjišťovaných kovů a kalibrace jejich akumulace ve srovnání s hlavními preferovanými druhy mechu [85].

Z lišejníků bývají pro biomonitoring těžkých kovů nejčastěji používány druhy *Parmelia sulcata*, *Flavoparmelia Caper*, *Xanthoparmelia chlorochroa* a *Evernia prunastri*.

Bylo prokázáno, že mechy a lišejníky, i přes všechny nevýhody, jsou velmi dobrým nástrojem pro monitorování znečištění ovzduší. Objektívni výsledky lze ale dosáhnout při použití obou druhů dohromady, protože je třeba brát v úvahu rozdíly v příjmu a zadržení kovů [2].

Problémové stanovení skupiny platinových kovů v různých složkách životního prostředí je v obsahu, který se pohybuje řádově v $\text{pg} - \text{ng.g}^{-1}$, proto je vhodné použít metody využívající mechy a lišejníky, které díky své akumulační schopnosti tento obsah po určitém čase zvýší. Vhodný odběr a následné zpracování těchto vzorků je rozhodujícím krokem správného výsledku stanovení, také je nezbytné zvážit použití finální analytické metody [90].

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BARANČÍKOVÁ, Gabriela. *Chémia životného prostredia*. Prešov: Prešovská univerzita, 2009. str. 132-143. [cit. 2013-02-13]. ISBN 978-80-555-0082-9. Dostupné z: <http://www.pulib.sk/elpub2/FHPV/Fazekasova1/>
- [2] SZCZEPANIAK, K a M. BIZIUK. Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution. *Environmental Research*. 2003, roč. 93, č. 3, s. 221-230. [cit. 2013-02-13]. ISSN 00139351. Dostupné z: <www.sciencedirect.com>.
- [3] HARMENS Harry, Norris David and the participants of the moss survey. *Spatial and temporal trends in heavy metal accumulation in mosses in Europe (1990-2005)*. Bangor: Centre for Ecology and Hydrology, 2008. ISBN 978-185-5312-395.
- [4] CARRERAS, H. A. a PIGNATA, M. L. Biomonitoring of heavy metals and air quality in Cordoba City, Argentina, using transplanted lichens. *Environmental Pollution*. 2002, 117 s. 77–87. [cit. 2013-02-13] Dostupné z: <www.sciencedirect.com>.
- [5] JURŠÍK, František. *Anorganická chemie kovů*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2002, 152 s. [cit. 2013-12-13]. ISBN 80-708-0504-8. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-504-8/pages-img/01.html
- [6] VÁVROVÁ, Milada. *Využití bioindikátorů při hodnocení starých zátěží terestrického ekosystému*. (Studie zpracovaná pro Vědecký výbor fyto-sanitární a životního prostředí). Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2004. 102 s.
- [7] FARFAŠOVÁ, A. *Distribúcia kovov v životnom prostredí*, Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra ekosoziológie a fyziotaktiky, 2009. [cit. 2012-12-13] Dostupné z http://www.enviro-edu.sk/database/environmentalne_problemy/distribucia_kovov_v_zivotnom_prostredi/Enviro-edu_4012_Globalne_znecistenie_kovmi.pdf
- [8] KULVEITOVÁ, Hana. CHEMIE II (Chemie prvků) [online]. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2004. Dostupné z WWW: <studopory.vsb.cz/studijnimaterialy/ChemieII/ChemieII.pdf> [cit. 2012-12-19]
- [9] Rudy nejvýznamnějších kovů. In: *Technická univerzita v Liberci* [online]. 2010 [cit. 2012-12-15]. Dostupné z: <http://www.fp.tul.cz/kch/fp/min/Rudy.pdf>
- [10] Anorganické polutanty a ich toxické vlastnosti [online]. 2005. Dostupné z: <http://www.fns.uniba.sk/fileadmin/knihy/jesenak/2005envi/pdf/ENV.09.pdf> [cit. 2013-02-25]
- [11] ZIMOVÁ, M., WITTLINGEROVÁ, Z., CIDLINOVÁ, A., PETRUŽELKOVÁ, A., MATĚJŮ, L., WRANOVÁ, K., ŠPLÍCHALOVÁ, J., PETRUŽELKA, L. Rezidua cytostatik platinové řady v pracovním a životním prostředí. In: *Symposiu odpadové fórum*. Praha: Odpadové fórum, 2012, s. 8.
- [12] HONZÍK, R. Využití rostlinných bioindikátorů pro hodnocení vlivů cizorodých látek na zemědělskou produkci [online]. 1997 [cit. 2013-02-14]. Dostupný z WWW: http://stary.biom.cz/sborniky/sb97PrVana/sb97PrVana_honzik.html
- [13] HOLOUBEK, I.. *RECETOX: Materiály ke stažení: Chemie životního prostředí I. - IV.* [online]. 2006 [cit. 2013-02-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.recetox.muni.cz/index.php?s=studium&f=download>>
- [14] KRAMAROVÁ, Zuzana. Ťažké kovy v životnom prostredí človeka. In: *Enviro-edu: Enviromentálne problémy* [online]. 2010 [cit. 2012-12-19]. Dostupné z:

- http://www.enviro-edu.sk/?page=environmentalne_problemy/tazke_kovy_v_zivotnom_prostredi_clovek
- [15] Platinum Group Elements from Automobile Catalysts in the Environment. *Chemické listy* [online]. Praha: Česká společnost chemická, 2011, roč. 105, č. 5 [cit. 2013-01-11]. ISSN 0009-2770. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_05_361-366.pdf
- [16] Vliv platinových kovů na systém půda-rostlina. *Listy cukrovarnické a řepářské: odborný časopis pro obor cukrovka-cukr* [online]. Praha: VUC Praha, a. s. ve spolupráci s ČMCS a SPC, 2010, č. 126 [cit. 2013-02-11]. ISSN 1210-3306. Dostupné z: www.cukr-listy.cz/on_line/2010/PDF/415.PDF
- [17] PEŠTOVÁ, Jana. *Bioakumulace polutantů bezobratlými v půdě ve vztahu k jejich biodostupnosti*. Brno, 2007. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/78147/prif_m/FINAL.pdf. Diplomová práce. Masarykova Univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Jakub Hofman, Ph.D.
- [18] MOTYKA, Oldřich. *Jak to vidí mechy: biomonitring znečištění ovzduší* [online]. 2010 [cit. 2013-16-02]. Dostupné z: http://old.chmi.cz/OS/metspol/prednasky/Motyka_mechy.pdf
- [19] BÖHM, S., et al. *Hodnocení stavu životního prostředí : Monitoring cizorodých látek v potravních řetězcích v letech 1995-2000*. 2002. 310 s.
- [20] FOJCIKOVÁ, Markéta. *Analýzy fyziologických procesů v lišejnících a jejich aplikace pro monitoring životního prostředí*. Brno, 2011. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/324135/prif_b/BP2.txt. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Mgr. Peter Váczi Ph.D.
- [21] WEBER Jens. *Příroda Východního Krušnohoří*. 1. vyd. Dresden: Grüne Liga Osterzgebirge e.V., 2007. ISBN 978-394-0319-197.
- [22] ROSYPAL, Stanislav. *Fylogeneze, systém a biologie organismů*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1992, 744 s. ISBN 80-042-2815-1
- [23] Cvičení: botanika, skripta. In: *Fakulta životního prostředí* [online]. [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: http://botanika.unas.cz/dok/cvic_skripta.pdf
- [24] ULBRICHOVÁ, I. Bioindikátory, skripta. In: *Fakulta životního prostředí* [online]. [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_HIO/kapitoly/Metody/bioindikatory.htm
- [25] Mechy. In: *Wikipedie* [online]. 2006 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Mechy>
- [26] Rokytník skvělý. In: *Wikipedie* [online]. 2011 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Rokytn%C3%ADk_skv%C4%9B1%C3%BD
- [27] *Hypnum splendens*. In: *Botany.cz* [online]. 2009 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://botany.cz/cs/hylocomium-splendens/>
- [28] *Hypnum cupressiforme*. In: *Wikipedie* [online]. 2008 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Moos_Baumstamm_Ilz.jpg
- [29] *Pleurozium schreberi*. In: *Botany.cz* [online]. 2009 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://botany.cz/cs/pleurozium-schreberi/>
- [30] *Dicranum scoparium*. In: *Botany.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://botany.cz/cs/dicranum-scoparium/>
- [31] Dvouhrotec chvosnatý. In: *Mirda2.atlasweb* [online]. [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://mirda2.atlasweb.cz/Dvouhrotec%20chvosnaty.htm>

- [32] Pleurozium schreberi. In: *Botany.cz* [online]. 2009 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://botany.cz/cs/pleurozium-schreberi/>
- [33] Dvouhrotec chvostnatý. In: *Garten.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://www.garten.cz/foto/cz/32255/>
- [34] Pseudoscleropodium purum. In: *Botany.cz* [online]. 2010 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://botany.cz/cs/pseudoscleropodium-purum/>
- [35] Abietinella abietina. In: *Wikipedie* [online]. 2010 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://de.wikipedia.org/wiki/Abietinella_abietina
- [36] Abietinella abietina. In: *Wikipedie* [online]. 2010 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Abietinella_abietina_0293.JPG
- [37] Polytrichastrum formosum. In: *Botany.cz* [online]. 2009 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://botany.cz/cs/polytrichastrum-formosum/>
- [38] Brachythecium rutabulum. In: *Wikipedie* [online]. 2005 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Brachythecium_rutabulum.jpeg
- [39] Eurhynchium angustirete. In: *Botany.cz* [online]. 2010 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://botany.cz/cs/eurhynchium-angustirete/>
- [40] Bezvláska vlnkatá. In: *Hlubočky.eu: zpravodaj obce*. 2008 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: http://www.hlubočky.eu/bryo-con-brio-cili-o-mechu-bez-dechu/01_atrichum_undulatum_img_1701/
- [41] Rhytidiadelphus squarrosus. In: *Botany.cz* [online]. 2009 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://botany.cz/cs/rhytidiadelphus-squarrosus/>
- [42] Rohozub nachový In: *Mechorosty České republiky, přehled systémů* [online]. 2004 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://botanika.prf.jcu.cz/bryoweb/klic/genera/ceratodon.html>
- [43] Bryum argenteum. In: *Wikipedie* [online]. 2005 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Bryum_argenteum_2005.07.26_13.29.24.jpg
- [44] Ceratodon purpureus In: *Wikipedie* [online]. 2006 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Ceratodon_purpureus.jpeg
- [45] Plagiomnium cuspidatum. In *Ohio University: Bryophyte*. 2010 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.ohio.edu/plantbio/vislab/moss/Davespage.html>
- [46] Kroucenec zední. In: *Mechorosty České republiky, přehled systémů* [online]. 2011 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://botanika.prf.jcu.cz/bryoweb/klic/genera/tortula.html>
- [47] Plagiomnium cuspidatum. In: *Nature Photography by Dragisa Savic*. 2007 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <http://www.naturefg.com/pages/a-plants/plagiomnium%20cuspidatum.htm>
- [48] Kroucenec zední. In: *Biological Library* [online]. 2007 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <http://www.biolib.cz/en/image/id31344/>
- [49] Dvouhrotec nepravý. In: *Mechorosty České republiky, přehled systémů* [online]. 2009 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <http://botanika.bf.jcu.cz/bryoweb/klic/genera/dicranum.html>
- [50] Dicranum spurium. In: *Luopioistenkasvisto* [online]. 2011 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <http://www.luopioistenkasvisto.fi/Sivut/sammalet/toppokynsisammal.html>
- [51] Lišejník. In: *Wikipedie* [online]. 2005 [cit. 2013-03-27]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Li%C5%A1ejn%C3%ADk>

- [52] SEDLÁŘOVÁ, Michaela a Martina VAŠUTOVÁ. Lišejníky: Atlas houbových organizmů. In: *Katedra botaniky, Olomouc* [online]. 2007 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <http://botany.upol.cz/atlas/system/lichenes.php>
- [53] Terčovník zední. In: *Biological Library* [online]. 2004 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <http://www.biolib.cz/cz/taxon/id125112/>
- [54] Terčovka bublinatá. In: *Biological Library* [online]. 2006 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <http://www.biolib.cz/cz/taxon/id125104/>
- [55] Terčovka bublinatá. In: *Biological Library* [online]. 2006 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <http://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id16429/?taxonid=125104>
- [56] Terčovník zední. In: *Biological Library* [online]. 2005 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <http://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id9074/?taxonid=125112>
- [57] Terčovka brázditá. In: *Naše houby* [online]. 2009 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: http://www.nasehouby.cz/houby/species_view.php?pageid=157
- [58] Flavoparmelia caperata. In: *FotoNet: Atlas lišajníkův* [online]. 2010 [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://www.fotonet.sk/?idi=109619>
- [59] Parmelia sulcata. In: *FotoNet: Atlas lišajníkův* [online]. 2010 [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://www.fotonet.sk/?idp=36154&page=1&loc=2>
- [60] Terčovka svařštělá. In: *Biological Library* [online]. 2010 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <http://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id110394/?taxonid=125125>
- [61] Provozovka. In: *Wikipedie* [online]. 2005 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Provozovka>
- [62] Provozovka srstnatá. In: *Naturfoto* [online]. 2007 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://www.naturfoto.cz/provozovka-srstnata-fotografie-7155.html>
- [63] Provozovka obecná. In: *Biological Library* [online]. 2005 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id9477/?taxonid=125215>
- [64] Větvičník slivový. In: *Burrzo: Sběrka léčivých rostlin a bylin* [online]. 2008 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <http://www.burrzo.cz/bylinky-a-leceni-vetvicnik-slivovy.html>
- [65] SKALKA, Michal. Lišejníky jako bioindikátory. In: *Živa* [online]. 2004 [cit. 2013-02-16]. Dostupné z: <http://ziva.avcr.cz/2004-3/lisejniky-jako-bioindikatory.html>
- [66] Lobaria pulmonaria. In: *Wikipedia* [online]. 2008 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Lobaria_pulmonaria
- [67] Ramalina farinacea. In: *FotoNet: Atlas lišajníkův* [online]. [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://www.fotonet.sk/?idi=109814>
- [68] Stužkovec pomůčený: Ramalina farinacea. In: *Nahuby.sk* [online]. 2009 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: http://www.nahuby.sk/obrazok_detail.php?obrazok_id=146059&poradie=1&form_hash=fc33fe2fa2fbc8e0496342e6b7b3f09b
- [69] Puklérka islandská. In: *Wikipedie* [online]. 2005 [cit. 2013-03-27]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Pukl%C3%A9rka_islandsk%C3%A1
- [70] Puklérka islandská. In: *Nature.unas.cz* [online]. 2005 [cit. 2013-02-16]. Dostupné z: <http://www.nature.unas.cz/houbyCR/puklerka.htm>
- [71] Terčovka skalní. In: *Biological Library* [online]. 2007 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id32008/?taxonid=125176>
- [72] Mapovník zeměpisný. In: *Wikipedie* [online]. 2005 [cit. 2013-03-27]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Rhizocarpon_geographicum

- [73] Mapovník zeměpisný. In: *Wikipedie* [online]. 2005 [cit. 2013-03-27]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Rhizocarpon_geographicum_on_quartz.jpg
- [74] Hávnatka psí. In: *Hvlfoto* [online]. [cit. 2013-04-09]. Dostupné z: http://www.hvlfoto.cz/main.php?g2_itemId=1842ň
- [75] Dutohlávka třásnitá. In: *Fotozahrada* [online]. 2013 [cit. 2013-04-09]. Dostupné z: <http://fotozahrada.cz/modules/?r=photos/view/Dutohlavka-trasnitá-Cladonia-fimbriata-2013-03-21>
- [76] Dutohlávka sobí. In: *Biological Library* [online]. 2008 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <http://www.biolib.cz/cz/taxonomie/id191245/?taxonid=125083>
- [77] AL-RADADY, A.S., B.E. DAVIES a M.J. FRENCH. A new design of moss bag to monitor metal deposition both indoors and outdoors. *Science of The Total Environment*. roč. 133, č. 3, s. 275-283. ISSN 00489697. [cit. 2013-02-16]. Dostupné z: <www.sciencedirect.com>
- [78] RIVERA, Marcela, a kol. Monitoring of heavy metal concentrations in home outdoor air using moss bags: Relationship with the lichen diversity. *Environmental Pollution*. roč. 159, č. 4, s. 954-962. ISSN 02697491. [cit. 2013-02-16] Dostupné z: <www.sciencedirect.com>
- [79] ANIČIČ M. a kol. Monitoring of trace element atmospheric deposition using dry and wet moss bags: Accumulation capacity versus exposure time. *Journal of Hazardous Materials*. 2009, 171, str 182–188. [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: <www.sciencedirect.com>
- [80] BASILE, A., S. SORBO, G. APRILE, B. CONTE, R. CASTALDO COBIANCHI, L.B. REES, P.G. GRANT a G.S. BENCH. Comparison of the heavy metal bioaccumulation apacity of an epiphytic moss and an epiphytic lichen: Relationship with the lichen diversity. *Environmental Pollution*. roč. 151, č. 2, s. 401-407. ISSN 02697491. [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: <www.sciencedirect.com>
- [81] PAOLI, Luca, Tommaso PISANI, Anna GUTTOVÁĭ, Giovanni SARDELLA a Stefano LOPPI. Physiological and chemical response of lichens transplanted in and around an industrial area of south Italy: Relationship with the lichen diversity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. roč. 74, č. 4, s. 650-657. ISSN 01476513. [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: <www.sciencedirect.com>
- [82] BUDKA, D. a spol. Elemental distribution in lichens transplanted to polluted forest sites near Krakow (Poland). *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. 2002, 189, str. 499–505. [cit. 2013-03-04]. Dostupné z: <www.sciencedirect.com>.
- [83] BARGAGLI, R, F MONACI, F BORGHINI, F BRAVI a C AGNORELLI. Mosses and lichens as biomonitors of trace metals. A comparison study on Hypnum cupressiforme and Parmelia caperata in a former mining district in Italy: Relationship with the lichen diversity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. roč. 74, č. 4, s. 650-657. ISSN 01476513. [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: <www.sciencedirect.com>
- [84] CLARK, B.M, N.F MANGELSON, L.L.St CLAIR, J.S GARDNER, L.S COOPER, L.B REES, P.G GRANT a G.S BENCH. Analysis of lichen thin sections by PIXE and STIM using a proton microprobe: Relationship with the lichen diversity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. roč. 74, č. 4, s. 650-657. ISSN 01476513. [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: <www.sciencedirect.com>
- [85] Heavy metals in European mosses: 2010 survey: Monitoring manual. *ICP Vegetation* [online]. 2010 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z:

- http://icpvegetation.ceh.ac.uk/manuals/documents/UNECEHEAVYMETALSMOSSMANUAL2010POPSadaptedfinal_220510_.pdf
- [86] SUCHARA, Ivan a Julie SUCHAROVÁ. Výzkumný Ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví. *Biomonitoring: Mezinárodní monitoring* [online]. 2009 [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: http://www.biomonitoring-cz.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=77&Itemid=123&lang=cs
- [87] PAOLI, L., A. CORSINI, V. BIGAGLI, J. VANNINI, C. BRUSCOLI a S. LOPPI. Long-term biological monitoring of environmental quality around a solid waste landfill assessed with lichens. *Environmental Pollution*. roč. 161, s. 70-75. [cit. 2013-03-22]. ISSN 02697491. Dostupné na: <www.sciencedirect.com>.
- [88] Riga-Karandinos, A. N., Karandinos M. G.. Assessment of air pollution from a lignite power plant in the plain of Megalopolis (Greece) using as biomonitors three species of lichens; impacts on some biochemical parameters of lichens. *The Science of the Total Environment*. 1998, 215 s. 167 – 183. [cit. 2013-03-22]. Dostupné na: <www.sciencedirect.com>.
- [89] ZECHMEISTER, Harald G., Harald HAGENDORFER, Daniela HOHENWALLNER, Andrea HANUS-ILLNAR a Alarich RISS. Analyses of platinum group elements in mosses as indicators of road traffic emissions in Austria. *Atmospheric Environment*. roč. 40, č. 40, s. 7720-7732. [cit. 2013-03-12]. ISSN 13522310. Dostupné z: <www.sciencedirect.com>
- [90] ŠUCMANOVÁ, M., M. ZISCHKA a V. ADAMEC. K metodám stanovení některých rizikových mikroelementů z dopravy v prachových částicích: Životní prostředí - Znečištění ovzduší. In: *Centrum dopravního výzkumu* [online]. 2004 [cit. 2013-02-02]. Dostupné z: <http://www.cdv.cz/text/szp/ovzdusi/platina.pdf>

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BAF	Bioakumulační faktor
$C_{organismus}$	Koncentrace látky v organismu
$C_{prostředí}$	Koncentrace látky v prostředí
PGE	Platinum group elements (skupina platinových kovů)
ČR	Česká republika
UN/ECE ICP	United Nations Economic Commission for Europe International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops (Mezinárodní program OSN pro Evropu monitorování účinku znečištění ovzduší na přirozenou vegetaci a plodiny)
ICP-OES	Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem)
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem)
AAS	Atomic absorption spectrometry (Atomová absorpční spektrometrie)
AAS-AMA-256	Atomový absorpční spektrometr AMA-256
NAA	Neutron activation analysis (Neutronová aktivační analýza)
IPA	Index atmosférické čistoty
F_i	Frekvence i-teho druhu
LDV	Průměrná hustota dopravy vozidel s nízkou užitkovou hmotností za den
HDV	Průměrná hustota dopravy těžkých vozidel za den
<i>H.s.</i>	<i>Hylocomium splendens</i>
<i>A.a.</i>	<i>Abietinella abietin</i>
<i>S.p.</i>	<i>Scleropodium purum</i>
<i>H.c.</i>	<i>Hypnum cupressiforme</i>