

# LIŠEJNÍKY JAKO MODELOVÉ ORGANISMY PRO HODNOCENÍ IMISÍ ZÁTĚŽE

**Petr Anděl**

EVERNIA s.r.o., tř. 1. máje 97, 460 01 Liberec 1  
e-mail: [evernia@iol.cz](mailto:evernia@iol.cz)

## 1. Úvod

Předkládaný příspěvek se zabývá problematikou lišejníků jako bioindikátorů imisní zátěže v krajině. Jeho cílem není úplný výčet používaných postupů, ale rozbor hlavních principů a možných problémů, které tato metodika přináší a rizik při její aplikaci a interpretaci. Po stručné charakteristice modelového organismu jsou řešeny příčiny citlivosti k imisím a přehled hlavních používaných metod. Jako hlavní problémové okruhy metody jsou rozebírány standardizace metody při praktických aplikacích a problém určení délky časového působení.

## 2. Charakteristika modelového organismu

Lišejník patří k nejnámějším organismům, které citlivě reagují na přítomnost kontaminantů v ovzduší a u kterých je možné tuto vlastnost využívat k bioindikačním účelům. Lišejníky jsou podvojně organismy, jejichž stélka je tvořena z vláken houby (mykobiont) a buněk zelených řas nebo sinic (fykobiont). Z taxonomického hlediska lze lišejníky považovat za houby se specifickou biologii, která vyplývá z jejich těsného spojení s řasovou buňkou (lichenizované houby), a proto bývají zařazovány do systému vřeckovýtrusných hub (třída *Ascomycetes*, řády *Lecanorales*, *Caliciales*, *Myrangiiales*, *Pleosporales*, *Hysteriales*). Pouze malá část lišejníků patří mezi houby stopkovýtrusné (*Basidiomycetes*) a houby nedokonalé (*Fungi imperfecti*) [1].

Lišejníky nacházíme na nejrůznějších substrátech (skály, borka stromů, půda, stavební materiály) často v ekologicky extrémních podmínkách. Základními faktory ovlivňujícími metabolickou aktivitu a tím i růst stélky je obsah vody, teplota, světlo a koncentrace toxikantů v ovzduší. Pro bioindikační postupy se nejčastěji požívají epifytické lišejníky a rovněž tato práce se jimi zabývá.

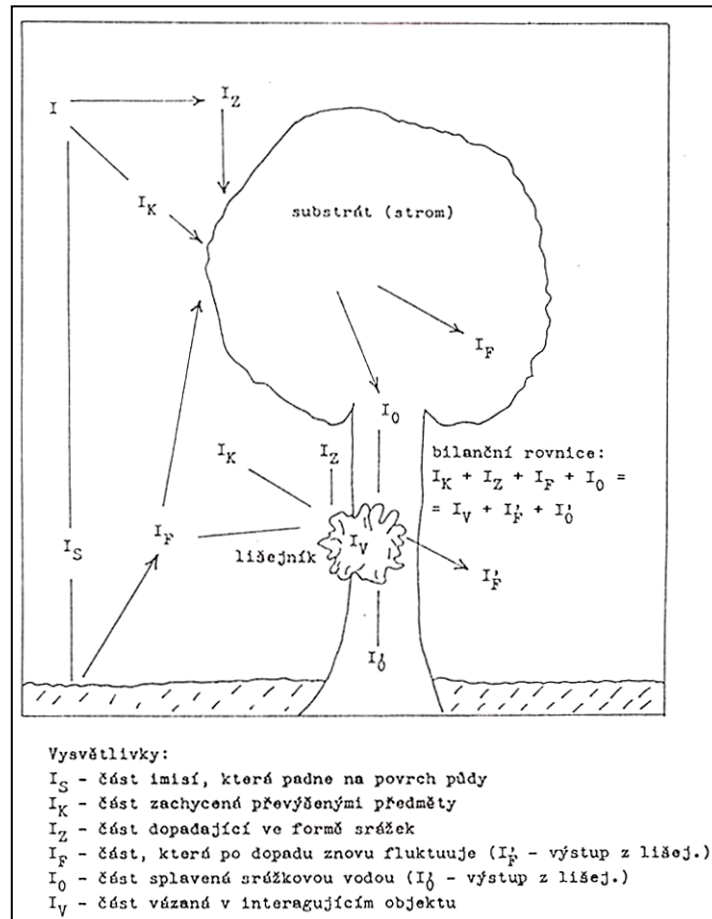
## 3. Příčiny citlivosti k imisím

Imise narušují metabolické pochody, především fotosyntézu a dýchání, dochází ke zpomalení až zastavení růstu postupnému odumírání části i celé stélky. Tento mechanismus je v podstatě obdobný jako u ostatních rostlin, avšak přesto epifytické lišejníky, které jsou nejčastěji využívány k bioindikaci, vykazují k imisím mnohem vyšší citlivost. Podstata tohoto jevu není jednoznačně objasněna, ale lze předpokládat, že se jedná o vzájemnou kombinaci následujících základních příčin [2], [3]:

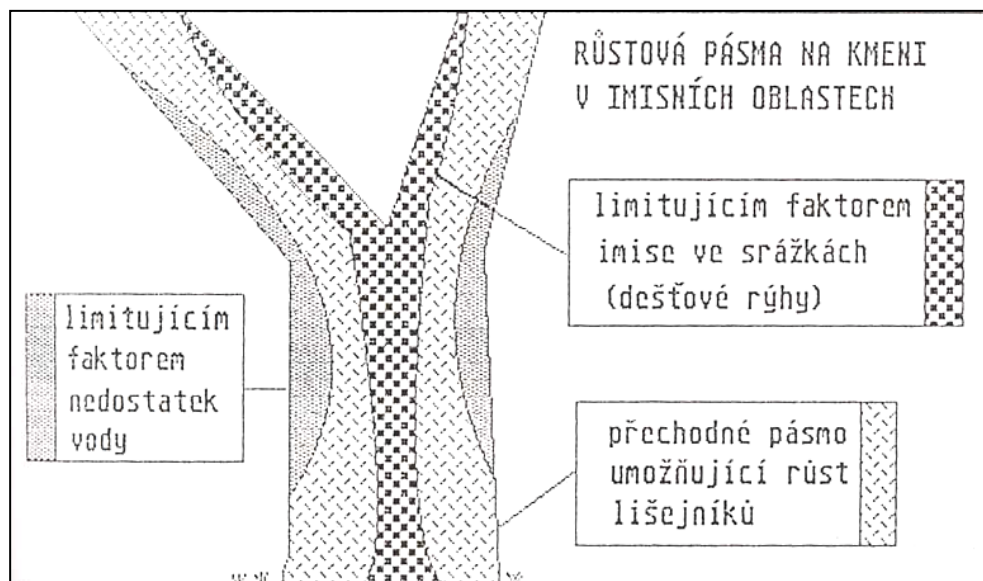
(1) Zvýšený přístup imisí – imise při vstupu do ekosystému jsou zachytávány na povrchu listů a jehličí stromů a při dešťových srážkách je část splavována po kmeni dolů. Epifytické lišejníky rostoucí na kmeni jsou tak vystaveny dávkám kontaminantů zachycených na mnohem větší ploše (koruna stromů – řádově stovky metrů čtverečných), než odpovídá ploše

vlastní stélky (řádově centimetry, maximálně decimetry čtverečný). Tuto skutečnost potvrzují nejen chemické rozbory vod stékajících po kmeni stromů, ale i chování lišejníků. V imisních oblastech je možné na kmeni stromů rozlišit schematicky 3 pásma: (a) pásmo, kde limitujícím faktorem je nedostatek vody – plochy chráněné a převislé, (b) pásmo, kde limitujícím faktorem jsou imise splachované po kmeni v tzv. dešťových rýhách, (c) pásmo přechodné, které umožňuje růst lišejníků [4].

**Obr. 1: Schéma prostorového rozložení jednotlivých složek imisí ve vztahu k epifytickým lišejníkům.**



**Obr. 2: Růstová pásma na kmeni stromů v imisních oblastech**



(2) Anatomická stavby stélky – pro většinu lišejníků používaných k indikaci je charakteristická heteromerická stavby stélky. Horní vrstvu tvoří hustě propletená houbová vlákna, pod ní je řasová (gonidiová) vrstva, dále dřevná vrstva z volněji propletených houbových vláken a velkými mezibuněčnými prostory. Na spodní straně je spodní kůra z houbových vláken. Lišejníky tedy nejsou na povrchu vybaveny nepropustnou kutikulou a i regulačními mechanismy podobnými průduchům vyšších rostlin. Proto imise v plynné, kapalné a částečně i pevné formě mohou snadno pronikat do celé stélky.

(3) Vodní režim – lišejníky jsou poikolohydridní organismy s nestabilní vodní bilancí, která pasivně následuje změny atmosférické vlhkosti. Nemají žádné speciální orgány k absorpci nebo transpiraci vody, a proto jsou odkázány na příjem vodních par a dešťových srážek s imisemi celým povrchem stélky. Na rozdíl od vyšších rostlin přijímají lišejníky srážkovou vodu přímo, bez předchozí filtrace půdní vrstvou, kde dochází k zachycení a imobilizaci řady toxických složek.

(4) Intenzita metabolismu – fotosyntetická aktivita lišejníků je celkově nízká a značně rozkolísaná v závislosti na vnějších ekologických faktorech. Při poklesu obsahu vody ve stélce pod 30 % se prakticky zastavuje. Na druhou stranu vykazuje značnou rezistenci vůči nízkým teplotám a probíhá i při 0 °C, maximum se v intervalu 15 – 20 °C. V našich klimatických podmínkách je fotosyntetická aktivita v létě limitována nedostatkem vody, v zimě nízkými teplotami a dosahuje maxima v jarních a podzimních měsících. Jelikož intenzita dýchání klesá se snižováním teploty mnohem rychleji, bývá dosahováno nejvyšší čisté produkce (tj. fotosyntéza minus dýchání) v zimních měsících, kdy jsou koncentrace látek ze spalovacích procesů v ovzduší nejvyšší. S nízkou úrovní metabolismu souvisí i pomalý růst (korovitě druhy řádově 0,1 mm, lupenitě 1 – 10 mm ročně) a tedy i omezená regenerační schopnost stélky při vnějším poškození.

(5) Symbiotická podstata lišejníků – v neposlední řadě lze příčinu citlivosti lišejníků spatřovat v jejich podvojně podstatě. Fykobiont a mykobiont spolu žijí v určitém rovnovážném stavu,

odpovídajícím daným ekologickým podmínkám. Změna některého faktoru (nejen koncentrace imisí, ale např. i vlhkosti) může vést k porušení rovnováhy a k rozpadu celého organismu.

#### 4. Předmět lišejníkové analýzy

Při využívání lišejníků k bioindikaci imisní zátěže je třeba si uvědomit, co je vlastně předmětem indikace. Jako u všech bioindikátorů tohoto typu nelze pomocí lišejníků hodnotit okamžitý stav čistoty ovzduší. Lišejníky jsou modelovým organismem, který reaguje na určitou integrovanou kvalitu ovzduší na dané lokalitě. Tato integrace je:

- látková – na lišejníky jako na všechny organismy působí vždy celá směs chemických látek v ovzduší
- koncentrační – ovzduší představuje velmi dynamický a proměnlivý systém, kde koncentrace jednotlivých složek se mohou měnit v krátkých časových intervalech v závislosti na chodu emisního zdroje a meteorologických podmínkách. Je zde možnost vzniku krátkodobých maxim, která mohou mít pro živé organismy dalekosáhlé a někdy i letální následky.
- časová – doba působení imisí. Na organismy negativně působí i dlouhodobé chronické působení imisí o nižších koncentracích, které mohou ležet i pod úrovní normativů.

Při vědomí výše uvedených skutečností je lépe u těchto typů bioindikátorů mluvit o indikaci imisí zátěže a ne čistoty ovzduší.

#### 5. Hlavní metodické postupy bioindikace

K praktické bioindikaci imisní zátěže pomocí lišejníků se používá celá řada metodických postupů, které je možné klasifikovat podle různých hledisek, např.:

- podle toho, zda je hodnocen přirozený nebo modelový stav i lišejníků a u imisí (viz tab. 1)

**Tab. 1: Rozdělení bioindikačních metod podle uspořádání**

		Lišejníková vegetace	
		Přirozená	Modelovaná
Imisní zatížení	Přirozené	A - terénní mapování - sběr k chemickému testování	B - transplantační pokusy
	Modelované	C - terénní experimenty	D - laboratorní experimenty v fumigač. komorách

- podle organizační biotické úrovně a hodnoceného stupně poškození (viz tab. 2)

**Tab. 2: Rozdělení bioindikačních metod podle organizační biotické úrovně**

		ORGANIZAČNÍ BIOTICKÁ ÚROVEŇ		
		buňka	organismus (jedinec, druh)	společenstvo (skupiny druhů)
STUPEŇ POŠKOZENÍ	změny v metabolických pochodech	- stanovení obsahu polutantů - obsah ATP v buňkách fykobiota	- stanovení obsahu polutantů - stanovení obsahu chlorofylu - měření intenzity fotosyntézy a dýchání	
	změny v morfologii, snížení celkové vitality	- morfologické deformace buněk fykobiota	- barevné změny stélky - soredióznost stélky - snížení plodnosti - snížení celk. vitality	
	odumírání zánik	- stanovení počtu živých a odumřelých buněk	- histor. ústup lišejníků - rozšíření indikačních druhů - frekvence a abundance indikačních druhů	- výpočet fytočen. indexů (IAP) - celková pokryvnost - fytočen. a statist. hodnocení společenstva - druhová diverzita - celkové ochuzování flory

c) podle převládající reakce, která je předmětem hodnocení. Tato klasifikace je z praktického hlediska nejpoužívanější a podle ní se indikační metody rozdělují do 5 následujících skupin: fyziologické, morfologicko-anatomické, floristicko-chorologické, fytoocenologické, chemicko-analytické.

(1) Metody fyziologické – sledují změny životních metabolických pochodů v závislosti na působení imisí: (a) pokles intenzity fotosyntézy, dýchání a čisté produkce, (b) snížení obsahu chlorofylu a přítomnost feofytinu, (c) stanovení pH a vodivosti lišejníkové stélky, (d) redukce fosfatázové aktivity, (e) aktivita nitratoreduktázy, (f) metabolismus aminokyselin. Význam fyziologických metod spočívá především v kombinaci s experimentálními postupy (vyhodnocení transplantačních a laboratorních postupů).

(2) Metody morfologicko – anatomické. Využívají zřetelných viditelných změn, ke kterým dochází v průběhu postupného zakrňování a odumírání stélky. Např. změna barvy stélky, zvyšování soredióznosti stélky, snižování tvorby plodnic, zakrnělý růst. Komplexní odhad vitality daného druhu podle výše uvedených znaků je důležitý při terénním průzkumu. Semikvantitativně hodnocená vitalita indikačního druhu může sloužit sama k mapování imisní zátěže, nebo jako součást podkladů pro výpočet různých syntetických indexů. Příklad odhadové stupnice vitality [3]:

- 1,0 stélky normálně vyvinuté, bez známek poškození a zakrňení
- 0,8 stélky zakrnělé, případně mírně poškozené
- 0,6 stélky s výraznými stopami poškození a odumírání
- 0,4 stélky z velké části odumřelé
- 0,2 stélky zcela odumřelé

(3) Metody floristické – chorologické. V praxi patří k nejrozšířenějším metodám. Jsou založeny na skutečnosti, že různé druhy lišejníků mají různou citlivost k imisím. Lze tedy

vytvořit stupnici vhodných indikačních druhů od značně toxitolerantních až k velmi citlivým a na základě jejich rozšíření na standardizovaných stanovištích vymezit a zmapovat zóny s různým stupněm znečištění. Vzhledem k tomu, že rozšíření lišejníků a jejich citlivost k imisím je podmíněna řadou faktorů a především klimatem, nelze sestavit jednu stupnici platnou v libovolné oblasti, ale pro každou samostatnou klimatickou oblast je třeba provést její upřesnění. Příklad takového stupnice je v tab.3 a 4., ukázky z mapování imisní zátěže v liberecké kotlině jsou na obr. 3.

**Tab. 3: Stupnice citlivosti lišejníků pro okolí Tábora [5]**

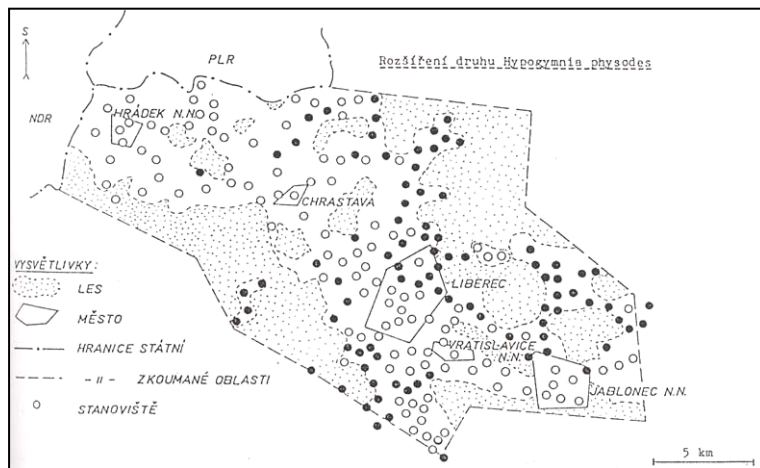
Zóna	Neeutrofizovaná borka	Eutrofizovaná borka
I.	Lecanora conizaeoides ? Lepraria sp. Lecidea chlorococca Bacidia argena Phlyctis argena	Buellia punctata
	Hypogymnia physodes  Parmelia sulcata	Physcia orbicularis Physcia dubia Candelariella xanthostigma Physcia adscendens
II	Lecanora varia  Pseudoevernia furfuracea	Biatorella moriformis ? Physconia grisea Xanthoria candelaris Physcia caesia Xanthoria parietina Candelaria concolor Parmelia exasperulata Lecanora carpinea Lecanora chlorotera Physconia enteroxantha ? Lecanora hagenii Caloplaca holocarpa
	Pertusaria albescens Lecanora chlorona Pertusaria amara  Evernia prunastri ? Parmelia tiliacea Platismatin glauca Cetraria chlorophylla Usnea hirta	Physcia stellaris Lecidella elaeochroma Parmelia acetabulum
III	Alectoria fuscescens  Parmelia subrudecta  ? Pertusaria coccodes Ramalina farinacea Parmelia caperata  Ramalina fraxinea Ramalina fastigiata	Ramalina pollinaria ? Rinodina exigua ? Rinodina pyrina Xanthoria polycarpa  Physconia pulverulenta Parmelia subargentifera ? Physcia aipolia Anoptychia ciliaris

**Tab. 4: Stupnice citlivosti lišejníků pro okolí Liberce [6]**

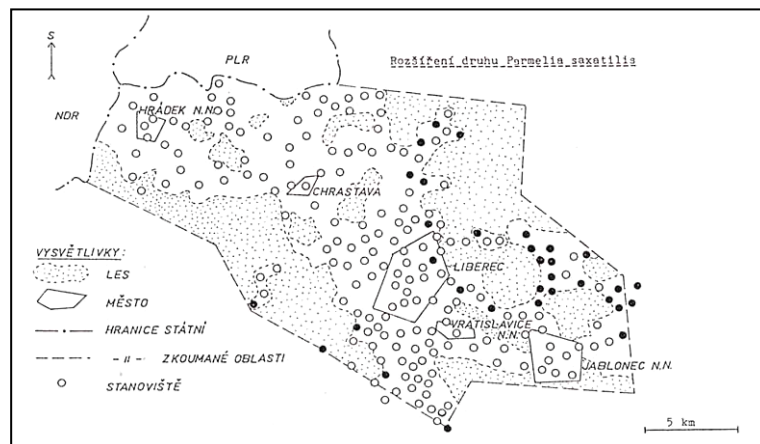
Skupina	Citlivost k imisím	Druh
I	silně toxitolerní	Lecanora conizaeoides Lepraria sp.
II	málo citlivé	Bacidia chlorococca Lecidea scalaris Hypogymnia physodes
III	středně citlivé	Lecanora subfusca sp. agg. Parmelia sulcata Parmelia saxatilis Parmeliopsis ambigua Parmelia exasperatula Platismatia glauca
IV	velmi citlivé	Parmeliopsis hyperopta Cetraria chlorophylla Lecanora varia Pseudovernia furfuracea Evernia prunastri Ramalina farinacea

**Obr. 3: Rozšíření indikačních druhů v Liberecké kotlině [7]**

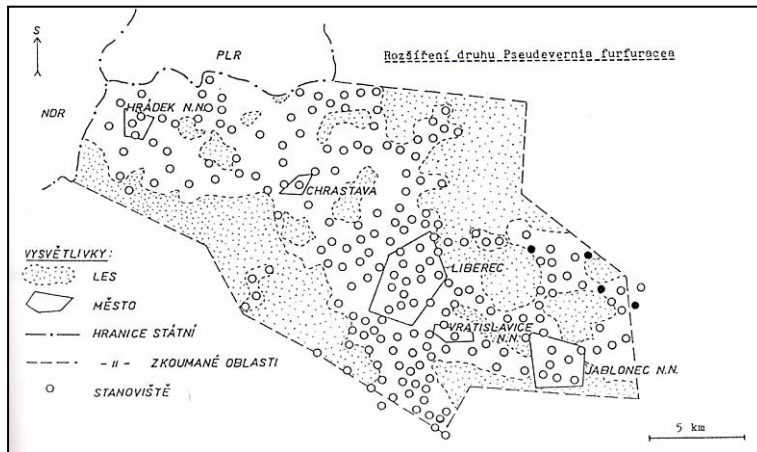
*Hypogymnia physodes* - značně toxitolerní druh



*Parmelia saxatilis* - středně citlivý druh



*Pseudevernia furfuracea* - velmi citlivý druh



(4) Metody fytoocenologické. Tyto metody bezprostředně navazují na práce floristické-chorologické, ale vnášejí do terénního výzkumu nové kvantitativní hledisko. Při jejich využívání se nepracuje většinou s lišejníkovými společenstvy v čistě botanickém smyslu, ale spíše se skupinou druhů s podobnými ekologickými nároky. Cílem těchto metod je vytvoření jednoho číselného ukazatele, který by vyjadřoval celkovou imisní zátěž dané lokality. v praxi byla navržena celá řada syntetických indexů, jako příklad uvádím (a) index IAP , (b) index L. Tyto indexy jsou počítány pro každý hodnocený standardizovaný strom, výsledek pro celou lokalitu vychází ze statistického zpracování souboru hodnocených stromů. Vyšší hodnoty u obou indexů představují nižší imisní zátěž.

(a) index IAP (Index of Atmospheric Purity) [8]

$$IAP = \frac{\sum_1^n (Q \cdot f)}{10}$$

- n celkový počet nalezených druhů lišejníků na daném stromě
- Q ekologický index každého druhu lišejníku, udávající průměrný počet doprovodných druhů na všech stanovištích, kde se nacházel
- f hodnota abundance nebo frekvence druhu podle odhadové stupnice

(b) index L [9]

$$L = \sum_1^m q \cdot f \cdot v$$

- m počet indikačních druhů nalezených na daném stromě
- q ekologický index citlivosti druhu k imisím (vyšší q = vyšší citlivost)
- f kvantitativní zastoupení druhu podle odhadové stupnice
- v vitalita druhu podle odhadové stupnice

Jako příklad aplikace je na obr. 4 uvedeno vymezení zón s různou imisní zátěží v Liberecké kotlině pomocí indexu IAP a v tab. 5 rozsah indexu L v horských smrčínách v našich pohraničních pohořích v 80. letech 20. století. [10].



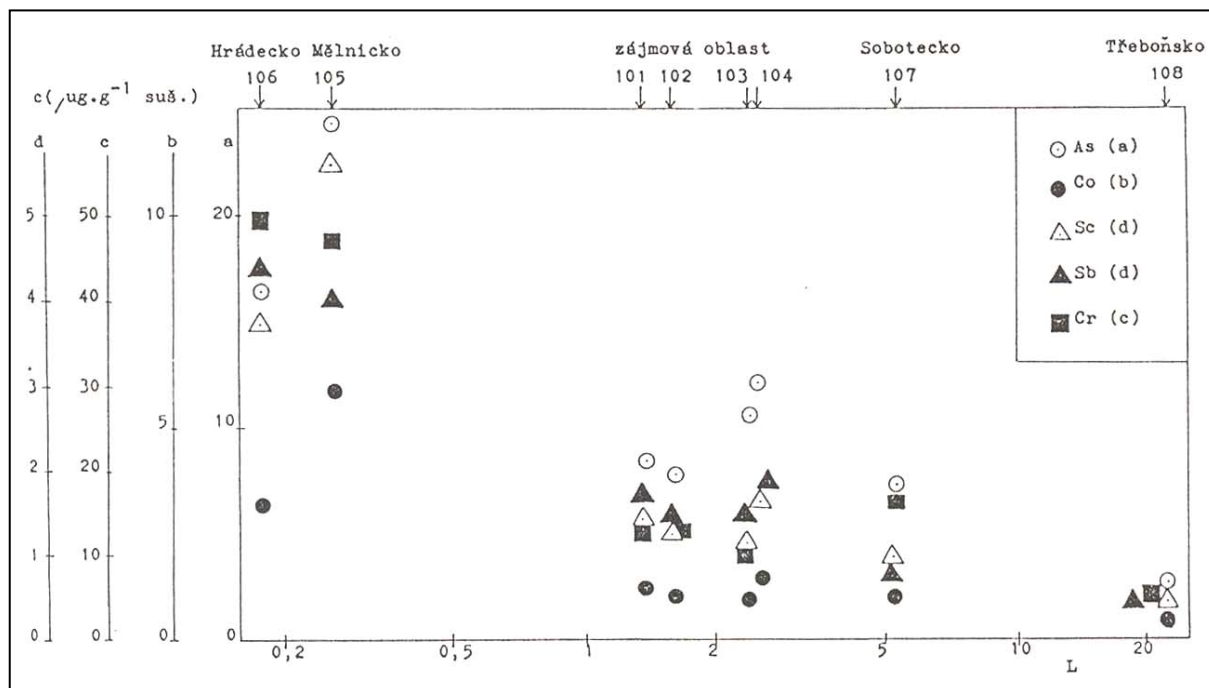
**Tab. 5: Srovnání imisní zátěže v různých pohořích na základě převažujících hodnot indexu L (vyšší hodnoty představují nižší imisní zátěž) [10]**

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Jizerské hory										
Krkonoše										
Orlické hory										
Kralický Sněžník										
Novohradské hory										

K metodám fytoocenologickým lze počítat i postupy, které se snaží o objektivizaci kvantitativního zastoupení lišejníků na stromě. Jednou z nich je i metodika severského monitoringu [11], kdy na každém hodnoceném stromě je stanovena pokryvnost všech indikačních druhů ve výškách 60, 90, 120, a 150 cm (pomocí krejčovského metru). S využitím průhledných materiálů (celofánu) nebo fotografií lze zaznamenat konkrétní fytoocenologický snímek určité části kmene.

(5) Metody chemicko-analytické. Využívají stélky lišejníků jako materiál pro chemickou analýzu jednotlivých složek imisí. Jsou tedy založeny ne na citlivosti lišejníků k imisím a na následně vyvolaných reakcích, ale naopak na jejich jisté rezistenci k nahromaděným polutantům a na schopnosti je intenzivně kumulovat. Impulsem pro rozvoj těchto metod byla zjištění, že některé lišejníky rostoucí na bohatých rudných substrátech kumulovaly těžké kovy v množstvím které bylo obecně považováno za toxické a že obsahy těžkých kovů v lišejnících byly převážně vyšší než v ostatních rostlinách rostoucích v okolí. Příklad koncentrací vybraných kovů ve stélkách druhu *Hypogymnia physodes* v různě imisně zasažených částech Čech je na obr. 4.

**Obr. 4: Závislost koncentrace stopových prvků ve stélce *Hypogymnia physodes* na imisní zátěži [3]**



Ve vazbě na chemické-analytické metody je důležitou otázkou mechanismus záchytu těchto látek ve stélkách lišejníků. Z hlediska ekotoxikologického jej můžeme definovat jako složitý fyzikální, chemický a biologický proces, na kterém se uplatňují tyto základní faktory:

- a) zvýšený přísun imisí ke stélce, vyplývající z prostorové bilance imisí
- b) snadné pronikání plynů a roztoků do stélky v důsledku pasivního vodního režimu a absence ochranné vrstvy (jako je např. kutikula u rostlin)
- c) záchyt pevných částic na povrchu stélky i v mezibuněčných prostorách. Chemické složení částic integrovaných ve stélce bývá srovnatelné s prašným spadem zachyceným na povrchu stélky. Důležitá je forma, v jaké se prvek dostává do kontaktu se stélkou.
- d) sorpce z roztoků modifikovaným procesem iontové výměny – srážková voda s rozpuštěnými kovy proniká do stélky a je zadržována převážně extracelulárně v mezibuněčných prostorách. Zde jsou kovy zachytávány iontovou výměnou na vazebných místech organických molekul, které tvoří buněčné stěny. Afinita kovových iontů k určitým vazebným místům je dána jejich chemickými vlastnostmi. Lišejníky jako podvojně organismy obsahují buněčné stěny dvojího typu: stěny fykobionta (řasy nebo sinice) jsou celulózní, stěny mykobionta (houby) jsou chitinózní. Mají proto pestřejší skladbu vazebných míst než samotné řasy nebo houby, což může být i jednou z příčin účinného záchytu tak širokého spektra prvků.
- e) komplexotvorné působení lišejníkových kyselin – řada lišejníků vytváří ve svém metabolismu specifické látky různé chemické povahy, označované jako lišejníkové kyseliny. Vzhledem ke schopnosti vytvářet komplexy s kationty řady kovů je jim připisován význam při chemickém zvětrávání hornin. Lze předpokládat, že podobným způsobem jsou schopny vázat do komplexu i kovy z imisí.
- f) vliv metabolických pochodů – u některých prvků, především biogenních, lze předpokládat vliv metabolických pochodů při kumulaci ve stélce.
- g) krystalizace při odpařování – s dešťovými srážkami přijímají lišejníky do své stélky i anorganické soli v nich rozpuštěné. Při postupném odpařování v suchém období mohou rozpuštěné soli postupně krystalizovat v mezibuněčných prostorech

## 6. Standardizace podmínek

Základní podmínkou pro správné bioindikační využití lišejníků je standardizace podmínek. Musí být realizována tak, aby eliminovala pokud možno všechny ostatní ekologické vlivy působící na lišejníky kromě hodnocené imisní zátěže. V praxi se jedná o klíčový problém a zajištění správné standardizace je mnohem obtížnější než aplikace vlastní metody. Standardizace musí být prováděna ze dvou základních hledisek: životních podmínek pro lišejníky a možností přístupu imisí.

### (1). Životní podmínky pro lišejníky

Při výběru lokalit pro vzájemné srovnání imisní zátěže je třeba zajistit, aby základní životní podmínky pro indikační druhy lišejníků byly srovnatelné. Standardizovat je třeba především:

- a) substrát - Substrát, na kterém lišejníky rostou významně ovlivňuje druhové složení. Z hlediska standardizace je nejvhodnějším substrátem borka stromů. Stromy lze snadno určit do druhů a variabilita v chemismu borky u stromů téhož druhu je mnohem menší než u hornin. Horniny nebo půda se dále v praxi mnohem hůře určují a bez chemické analýzy je nelze dostatečně dobře popsat. To je také jeden z důvodů, že při bioindikaci převažuje využívání epifytických druhů lišejníků, tj. druhů rostoucích na borce stromů. Optimální je využívat stromů jednoho druhu, v našich podmínkách je vhodný např. jasan ztepilý (*Fraxinus*

*excelsior*), borovice lesní (*Pinus silvestris*), smrk ztepilý (*Picea abies*), dub (*Quercus* sp.). K indikaci se využívá stromů převážně středního a staršího věku, zcela vyloučeny jsou stromy odumřelé, kde vlivem rozkladu borky dochází ke změnám chemismu.

b) světelné poměry - Většina epifytických lišejníků je velmi citlivá na světelné podmínky a vyžaduje převážně plné osvětlení. Proto se pro indikaci vybírají nejčastěji stromy rostoucí osaměle, v drobných skupinách, alejích, na okraji lesa nebo v prořídých rozvolněných porostech. Uzavřené a neprosvětlené lesní porosty nejsou vhodné. Změna světelných podmínek při rozpadu imisemi postižených smrkových porostů (zvýšení přístupu světla při opadu jehličí a prosvětlování korun stromů) je vážným standardizačním problémem při dlouhodobém sledování těchto porostů.

c) dostupnost vody - Příjem a výdej vody je u lišejníků děj pasivní, a je proto mnohem výrazněji ovlivňován vnějšími klimatickými faktory. Kromě makroklimatických faktorů (celkové množství srážek, počet dnů se srážkami) jsou významné mikroklimatické poměry stanoviště.

## (2) Přístup imisí k lišejníkům

Při bioindikaci se snažíme o zhodnocení imisních poměrů širšího zájmového území, nikoliv jen jednoho určitého stromu. Proto je třeba mezi sebou porovnávat stanoviště s podobnými podmínkami pro přístup imisí. Jedná se především o expozici stanoviště a strukturu terénu v okolí.

## 7. Vliv doby působení imisí

Významným problémem při vzájemném porovnávání imisní zátěže v různých oblastech je různá doba, pod kterou jsou lišejníky vystaveny imisní zátěži. V řadě průmyslových oblastí je to již více než 150 let, čemuž odpovídá celkové značné ochuzení lišejníkové flóry. Přitom pro využití bioindikace je třeba odlišit, zda stav, který nalézáme na daném místě je důsledkem dlouhodobého ústupu, nebo rychlé akutní intoxikace. Jednou z možných cest je aplikace modelu lišejníkových indikačních kapacit [10].

Model vychází ze základního poznatku, že v případě působení imisí na lišejníky dochází k ústupu lišejníkové vegetace ve třech základních na sebe navazujících etapách:

- (1) snižování vitality: nejdříve dochází k postupnému zhoršování zdravotního stavu, tedy vitality stélek nejcitlivějších druhů. Při popisu lišejníkové vegetace je tento jev postižen hodnotou  $\underline{v}$ . Tyto změny tedy reprezentují krátkodobé děje.
- (2) snižování abundance: při dosažení určitého stupně zátěže některé stélky odumírají a snižuje se tedy abundance daného druhu na sledovaném stromě. Tento jev je popsán hodnotou  $\underline{f}$ . Změny hodnoty  $f$  jsou reprezentantem střednědobých dějů.
- (3) vymizení druhu: při odumření všech stélek, daný druh ze stromu mizí a snižuje se tedy hodnota  $\underline{m}$  (počet nalezených indikačních druhů). To reprezentuje dlouhodobé děje.

Protože při terénním průzkumu lze všechny výše uvedené veličiny zaznamenávat, je možné modelově od sebe tyto 3 hlavní etapy ústupu lišejníkové vegetace oddělit. Definujeme indikační kapacitu  $C$  na každém sledovaném stromě (analogicky indexu  $L$ ) následovně:

$$C = \sum_1^m q \cdot f \cdot v$$

- m počet indikačních druhů na daném stromě  
 q ekologický index citlivosti každého indikačního druhu k imisím  
 f hodnota určující kvantitativní zastoupení druhu  
 v hodnota určující vitalitu druhu

Jestliže nyní v posloupnosti tří výše uvedených základních etap ústupu lišejníků nahradíme ve vzorci indikační kapacity postupně reálné současné hodnoty idealizovanými modelovými hodnotami, které jsou maximálně dosažitelné při absenci imisí, můžeme definovat čtyři modelové indikační kapacity (viz tabulka č.6).

**Tab. 6: Definice jednotlivých lišejníkových indikačních kapacit**

Indikační kapacita	zastoupení druhů (m,q)	abundance (f)	vitalita (v)	charakteristika
CI	modelové	modelové	modelové	„původní stav bez imisí“, stav bez dlouhodobých vlivů
CJ	reálné	modelové	modelové	stav bez krátko- a střednědobých vlivů
CK	reálné	reálné	modelové	stav bez krátkodobých vlivů
CL	reálné	reálné	reálné	současný stav, CL je totožná s indexem L

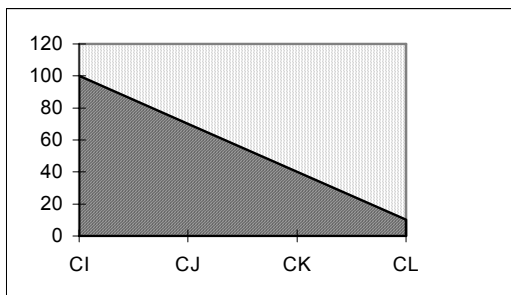
Celkově tedy od idealizovaného stavu bez působení imisí (CI) indikační kapacita neustále klesá až ke zjištěnému současnému stavu (CL). Odhad významu krátkodobých, střednědobých a dlouhodobých vlivů lze na základě výše definovaných kapacit odhadnout následovně:

- krátkodobý vliv  $k = CK - CL$
- střednědobý vliv  $s = CJ - CK$
- dlouhodobý vliv  $d = CI - CJ$

Ukázky modelových situací jsou na obr. 5.

**Obr. 5: Modelové situace vyjádřené pomocí lišejníkových indikačních kapacit**

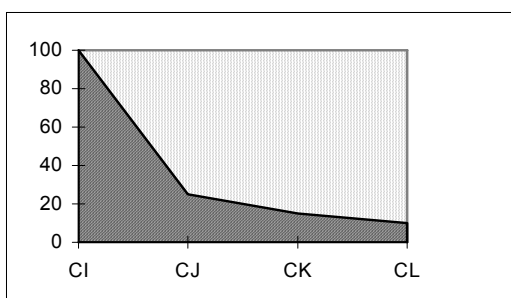
I.



rovnoměrný ústup

\*současný ústup na úrovni druhů, abundance i vitality

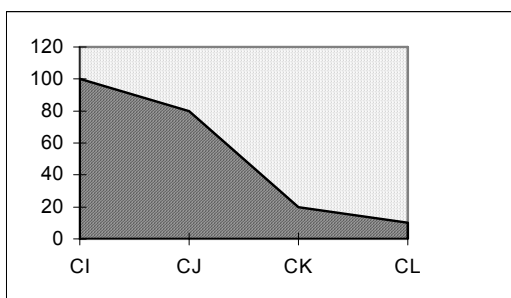
II.



dlouhodobý ústup

\*převažuje ústup na úrovni druhů  
\*předpoklad dlouhodobého působení imisí

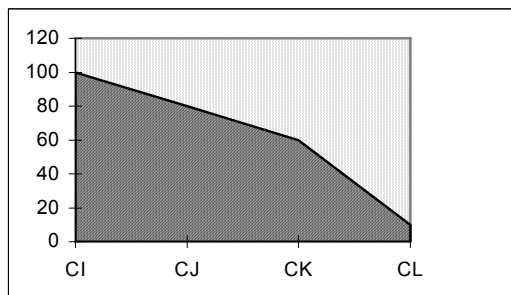
III.



střednědobý ústup


\*převažuje ústup na úrovni abundance


IV.



krátkodobý ústup

\*převažuje ústup na úrovni vitality  
\*předpoklad náhlého zvýšení imisní zátěže v nedávné době

 ztracené indikační kapacity

 zbyvajcí indikační kapacity

## 8. Závěr

Lišejníky jsou významnou modelovou skupinou organismů pro ekotoxikologický výzkum i praktické bioindikační použití. Jejich výhodou je skutečnost, že jejich citlivost k imisím je sledována již více než 150 let a za tu dobu byla rozpracována celá řada metodických postupů. Tato dlouhá doba působení imisí ale vedla současně k postupnému a značnému ochuzení lišejníkové flóry, což je z hlediska indikační metody nevýhodné. Hlavními problémy klasických terénních aplikací jsou v současné době:

- a) nedostatek vhodných substrátů v krajině a z toho vyplývající obtížné dodržování dostatečné standardizace podmínek
- b) chudá lišejníková vegetace v důsledku předchozího dlouhodobého ústupu
- c) pomalé reakce lišejníků na měnící se podmínky

Z tohoto hlediska se do budoucna otevírá prostor spíše pro experimentální modelové postupy.

## Použitá literatura

- [1] AHMADJIAN, V., HALE, M. E. (1973): *The Lichens*. – New York.
- [2] FERRY, B. W. et al. /red./ (1973): *Air pollution and lichens*. – London.
- [3] ANDĚL, P. (1985): Bioindikace čistoty ovzduší v severočeské oblasti působení uranového průmyslu. – Ms. (Kand. disert. pr., depon. in: Knih. Kat. Bot. Přír. Fak. UK Praha)
- [4] HAJDÚK, J., LISICKÁ, E., PIŠŮT, I. (1975): Häufigkeit epiphytischen Flechten einiger Parkanlagen im Gebiet von Bratislava. – Zborn. Slov. Nár. Muz., Přír. Vedy, Bratislava, 21: 75 – 117.
- [5] LIŠKA, J. (1975): Lišejníky a znečištění ovzduší na Táborsku. – Ms. (Dipl. pr., depon. in: Knih. Kat. Bot. Přír. Fak. UK Praha)
- [6] ANDĚL, P. (1978): Die Flechtenvegetation als Luftverunreinigungsindikator in Nordböhmen. – In: Hindák F. /red./: *Proceedings of the Cryptogamological Symposium of Slovak Academy of Sciences*, p. 211 – 219, Smolenice
- [7] ANDĚL, P., ČERNOHORSKÝ, Z. (1978): Lišejníky a znečištění ovzduší na Liberecku. – *Preslia*, Praha 50: 341 – 359.
- [8] LE BLANC, F., DE SLOOVER, J. (1970): Relation between industrialization and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. – *Canad. J. Bot.*, Ottawa 48, 1485 – 1496.
- [9] ANDĚL, P. (1981): Využití lišejníků při kvantitativním hodnocení imisní zátěže krajiny. – In: Šebek, S. /red./: *Bioindikační význam lišejníků a jejich ochrana*, p. 11 – 15, Praha.
- [10] ANDĚL, P. (2000): Hodnocení vývoje imisní zátěže ekosystémů na základě modelu lišejníkových indikačních kapacit. – *Vědecká pojednání – Wissenschaftliche Abhandlungen – Prace naukowe*, VI-1, 18 – 25, Liberec.
- [11] *Guidelines for integrated monitoring in nordic countries*. – Helsinky 1987.