

# Český kras — stanovení úrovně znečištění prostředí pomocí lišejníků

David Svoboda

Tento příspěvek úzce tematicky navazuje na sérii článků publikovaných v nedávné době v Živě (2003, 6: 253, 2004, 1: 17) zabývajících se lišejníky jako pozoruhodnými organismy, jako přírodninami s neočekávaným využitím pro člověka. Jsou však významné též jako bioindikátory, tj. organismy schopné rychle a měřitelně reagovat na změny prostředí. Zkusme si proto společně ukázat, jakých výsledků lze dosáhnout při konkrétní aplikaci metod bioindikace lišejníků v konkrétním území.

Český kras je jednou z nejnavštěvovanějších rekreačních oblastí v okolí Prahy. Unikátní území z geologického a paleontologického hlediska, s dosud alespoň mozaikovitě zachovanými původními společenstvy skalních stepí, lesostepí a listnatých lesů s velmi bohatou flórou a faunou však v minulosti hostilo a dodnes hostí kromě vzácných rostlin a živočichů také mnoho lomů a továren využívajících nerostných zdrojů — zásoby vápenců.

Vydatný impuls dala oblasti industrializace s příchodem železnice v 60. letech 19. stol. Rozvoj průmyslových provozů v Berouně, Loděnici a hlavně v Králově Dvoře si vyžádal otevírání lomů téměř ve všech částech Českého krasu. Tento fenomén, kdy v krajině posléze zbylo mnoho pozůstatků těžební činnosti, je jednou z hlavních charakteristik Českého krasu začátku 21. stol.

V r. 1972 byla vyhlášena CHKO Český kras, která alespoň částečně omezila průmyslové provozy v nejcennějších místech. Průmysl byl také hlavní příčinou vysoké úrovně znečištění, zejména v 70. a 80. letech, mnozí si ještě vzpomenu na zaprášené údolí Berounky, kde každou chvíli duněly odstřely v lomech, všude byl jemný

vápencový prach a kouř ze železáren zejména v okolí Berouna byl vidět dodaleka. Od konce 80. let spolu se zlepšováním technologií a útlumem těžkého průmyslu došlo k výraznému snížení emisí, zejména  $\text{SO}_2$  a prachových depozic z lomů a provozů na zpracování vápence. Zaznamenání současného stavu kvality ovzduší a prostředí s využitím lišejníků jako bioindikátorů bude jistě velmi zajímavé i pro další vývoj v budoucnosti.

## Stručná charakteristika území

Jak jsem již naznačil v úvodu, podklad Českého krasu tvoří z velké části vápence, méně se uplatňují ostatní horniny, jako např. diabasy, břidlice či čtvrtohorní štěrkové terasy. Území je mírně zvlněnou pahorkatinou s nadmořskou výškou od 200 m v údolí Berounky do zhruba 450 m na vrcholcích kopců. Klima oblasti je teplé a suché, téměř až blízké se submediteránnímu charakteru.

Vegetační pokryv tvoří kromě polí a luk také přirozené či polopřirozené dubo-habrové lesy a na skalních ostrozích místy i skalní stepi. Na některých místech jsou vysázeny monokultury s borovicí černou či



Dřevěná mřížka po přiložení na borku stromu slouží k získání dat o výskytu epifytických lišejníků metodou LDV (Lichen Diversity Value)

invazivním akátem, smrku je méně. Všechny tyto okolnosti mají vliv na rozvoj lišejníkové vegetace, proto je nutné na ně brát při bioindikaci ohled.

## Atmosférické znečištění

Je většinou definováno přítomností aerosolů či plynných částic v ovzduší, které mohou mít negativní vliv na zdraví člověka a zvířat, ale i na stav rostlin či staveb (zejména historických památek).

Průběh znečištění má čtyři základní fáze: emise — zdroje znečištění vypouštějí znečišťující látky (polutanty); transport — tyto látky jsou po vypuštění ze zdrojů pod přímým vlivem vnějších podmínek, které nejčastěji vedou k jejich přemístování; transformace — různé polutanty obsažené v atmosféře spolu mohou navzájem reagovat působením rozličných faktorů, čímž vznikají sekundární polutanty; imise — tímto termínem se označuje přítomnost látek po proběhnutých chemických reakcích v ovzduší.

Mezi hlavní znečišťující látky v ovzduší patří na území ČR oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ), oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), těkavé organické látky (TOL), troposférický (přízemní) ozon ( $\text{O}_3$ ) a prachové částice (prašný aerosol). V minulosti byly i v Českém krasu pravidelně měřeny vysoké koncentrace oxidu siřičitého a prachových částic, které v posledním desetiletí významně poklesly, oproti tomu koncentrace oxidů dusíku zůstávají stabilní a mnohdy se i zvyšují. Jinak je z dat Českého hydrometeorologického ústavu patrné postupné zlepšování stavu atmosféry v Českém krasu.

Vývoj znečištění podle hlavních znečišťujících látek nám dovoluje alespoň částečně charakterizovat Český kras, i když síť měřících stanic není ideálně rozložena (v Berouně, Králově Dvoře a Řevnicích). Stejně tak je dost složité vyjádřit přesný vztah mezi koncentracemi znečišťujících látek a výsledky získanými bioindikacními metodami. Rámcová korelace obou výsledků je ale žádoucí a shody bývá dosaženo.

Vzácnější lišejník roždovka *Ramalina pollinaria* roste v Českém krasu na několika místech na dubech v centrální části oblasti kolem Karlštejna, např. na Velké hoře či na Doutnáči. Snímky D. Svobody



Obr. 1 Mapový výstup studie rozložení znečištění v CHKO Český kras: kartografie území podle výsledků metody Hawkswortha a Rose; podrobnější vysvětlení viz text pod obrázkem

## Vliv znečištění na lišejníky

Jelikož lišejníky nemají ochranné vrstvy (kutikulu, pokožku) jako cévnaté rostliny, je pronikání škodlivých látek do nitra jejich těl mnohem snadnější a rychlejší. Lišejníky tak mohou volně přijímat většinu látek rozpuštěných ve vodě. Zejména epifytické druhy, tj. rostoucí na stromech či jiných rostlinách, jsou na znečištění často velmi citlivé.

Oxid siřičitý narušuje u lišejníků vnitřní stabilitu buněk, negativně ovlivňuje fotosyntézu u fotobionty, má vliv na produkci spor i nepohlavních rozmnožovacích částic (soredií, isidií). Při větších koncentracích lišejníky spontánně hynou (až na výjimky). Přítomnost oxidu dusíku v atmosféře upřednostňuje výskyt nitrofilních druhů a naopak snižuje četnost kyselomilných druhů. Konkrétní působení ostatních látek nebylo zatím příliš detailně zkoumáno, polutanty mají na lišejníky synergický efekt a je velmi složité posuzovat vliv pouze jedné určité látky. Mnohé studie také prokázaly, že lišejníky velmi dobře akumulují rozličné látky včetně radioaktivních prvků.

## Použité metody

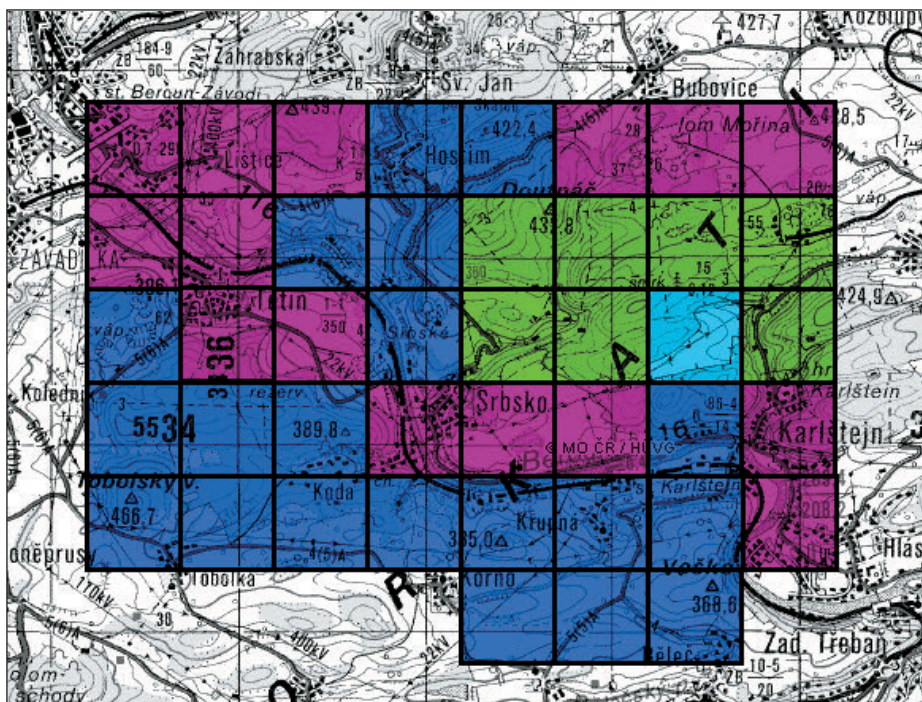
### 1. Metoda Hawkswortha a Rose (1970)

Radí vybrané druhy lišejníků do kategorií (zón znečištění) 0 až 10. Každá kategorie je charakterizována výskytem určitých lišejníkových druhů, jejich četností, životností — vitalitou a schopností produkovat plodnice. Těmto kategoriím jsou s opačným gradientem přiřazeny hodnoty koncentrace  $SO_2$  (zimní průměry) tak, že zóna 0 odpovídá maximálnímu znečištění a zóna 10 optimálně čistému ovzduší. Aby bylo možno k měření použít stromy s chudou (acidní) borkou i stromy s borkou obohacenou (neutrální, bazickou), vypracovali autoři dva žebříčky.

Mnohé práce používající tuto metodu odhalily jistý posun v experimentálně zjištěném znečištění a jeho přímém měření, někteří autoři proto adaptovali žebříčky pro určité regiony a oblasti. V Českém krasu jsem použil také adaptované žebříčky autorky Belandria a Asta z r. 1986 a přihlížel i k práci J. Lišky z 90. let.

### 2. Evropská metoda LDV

Byla vyvinuta společnou prací lichenologů a prezentována na pracovní konferenci v r. 2002. Představuje poněkud složitější práci v terénu, ale je přesnější, a umožňuje globální srovnání v evropském měřítku. Studie v Českém krasu je první, která metodu používá na území ČR. Využívá snímků získaných ze všech čtyř světových stran kmene stromu pomocí speciálně upravené mřížky o pěti polích  $10 \times 10$  cm (viz obr.). U každého lišejníkového druhu je zaznamenán počet čtverců, kde se daný lišejník vyskytuje. Index LDV (Lichen Diversity Value) je pro daný čtverec území získán jako součet průměrných četností druhů lišejníků na jednotlivých světových stranách měřených stromů. Hodnota indexu LDV byla vypočítána pro každý čtverec, kde bylo možné snímkovat alespoň tři vhodné



Zóna 4 (fialová) vyplňuje celkem 15 čtverců, hlavně na území sídel a v jejich okolí. Je charakterizována nízkým počtem epifytů, kde převládají hojně druhy. Společenstva jsou však často silně deformována obohacením borky, zejména zemědělskou činností a dopravou.

Zóna 5 (tmavě modrá) byla zjištěna na převážné části území, celkem na 20 čtvercích. Tvoří přechod velmi zatíženými ekosystémy sídel a relativně čistšími oblastmi.

Zóna 6 (světle modrá) je pouze na jednom čtverci. V této zóně roste řada epifytů, nejsou ale tak rozvinuté a četné jako v zóně následující.

Zóna 7 (zelená) vyplňuje 7 čtverců, hlavně v centrální lesnaté části. Až na výjimky se vyskytují takto rozvinuté epifyty na kopcích nad úrovní nadmořské výšky 350 m.

stromy. V kartografickém výstupu jsem skupiny čtverců s podobnými hodnotami indexu označil shodnou barvou.

## Práce v terénu

Vzhledem k rozsahu území, výskytu vhodných stromů a celkové charakteristice území bylo zvoleno 43 čtverců o velikosti  $1 \times 1$  km pokrývajících většinu centrálního území CHKO Český kras (viz mapky rozložení znečištění). Aby bylo možné porovnávat údaje z jednotlivých čtverců, bylo zapotřebí měřit na dřevinách se stejným typem borky. Dřeviny byly pro bioindikaci práci vybírány v souladu s používanými metodami. Na území každého čtverce, pokud to bylo možné, byly snímkovány čtyři stromy s průměrem kmene od 0,2 do 1 m ve výšce 1,5 m nad zemí. Tento počet vhodných stromů byl k dispozici na většině čtverců a je tudíž dostatečný pro bioindikaci. Vybraný byly stromy izolované, s vertikálně vyrůstajícím kmenem, pokud možno vždy dva s borkou obohacenou a dva s borkou chudou. Stromy ohnuté byly z výběru vyloučeny; naklonění stromu má totiž za následek zvýšenou vlhkost na jedné straně kmene a tím vyšší kolonizační možnost pro lišejníky. V případě výběru takového stromu by byly negativně ovlivněny celkové výsledky.

## Výsledky

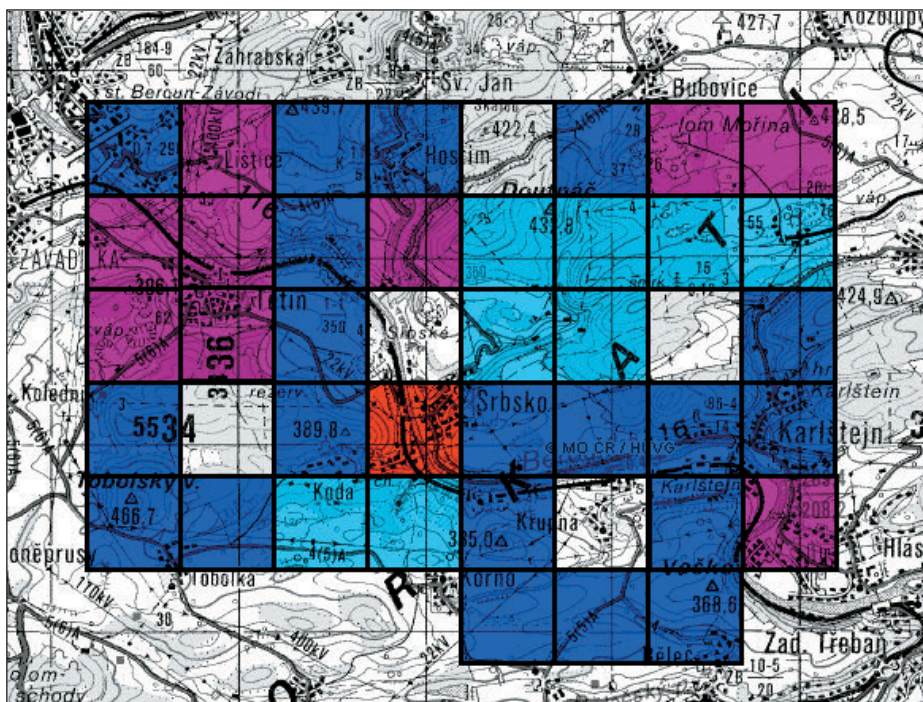
Při bioindikační práci v terénu jsem zaznamenal údaje o výskytu celkem 55 druhů epifytických lišejníků. Vyskytují se mezi nimi druhy běžné — řada zástupců misničků, terčníků či terčovek (např. *Lecanora conizaeoides*, *Parmelia sulcata*,

*Physcia adscendens*) i druhy svým způsobem překvapivé či vzácné — roždovky, vzácnější terčovky (např. *Parmelia subarгентifera*, *P. acetabulum*, *Ramalina pollinaria*, *Physconia perisidiosa*). Celkově je možné konstatovat, že epifytická lišejníková flóra Českého krasu je vcelku poměrně chudá, a to zejména kvůli minulé i současné úrovni znečištění atmosféry. Přebírají zde druhy běžné, hojně rozšířené na celém území ČR. Hodnotnější druhy rostou v centrální části Českého krasu na vrcholcích kopců, hlavně na Velké hoře, Doutnáči, Kněžích hoře či v okolí Králový studně.

V oblasti je však znatelná rekolonizace některých náchylnějších druhů, např. na větvích šípky, dřmů či jasanů rostou na mnoha místech mladé stélky terčovníku mnohoplodého (*Xanthoria polycarpa*).

Zajímavé bylo náhodné pozorování dubu a jasanu pravidelně rosených na golfovém hřišti u Karlštejna, kde se vyskytovaly dobře vyvinuté stélky druhů jako vousec *Bryoria fuscescens*, provazovka *Usnea hirta* či roždovka *Ramalina farinacea* či plodné stélky terčovníku mnohoplodého a terčovníku *Physcia stellaris*. Z toho je zřejmé (v souladu s pozorováním mnoha autorů, např. významného českého lichenologa Alfréda Hilitzera), že jedním z důležitých limitujících faktorů pro rozvoj epifytů v Českém krasu je nižší hladina srážek a suché podnebí. Relativně silné obohacování prostředí o živiny (eutrofizace) upřednostňuje rozvoj neutrofilních a nitrofilních druhů, které tvoří často rozvinutá společenstva.

Pomocí metody Hawkswortha a Rose a adaptovaných žebříčků jsem stanovil v Českém krasu čtyři zóny znečištění podle  $SO_2$ : zóny 4–7, tj. průměrné zimní koncentraci



Zóna 1 (červená) je obsažena pouze na čtverci D 4 (LDV = 18), který zahrnuje centrum obce Srbsko. Jelikož v Srbsku v době měření (2002–2003) nebyl zaveden plyn, většina stálých obyvatel používá k vytápění obydlí tuhá paliva, což se projevuje silnými lokálními koncentracemi škodlivin a celkovým zatížením.

Zóna 2 (fialová) se vyskytuje na 9 čtvercích. Zaznamenal jsem ji v blízkosti sídel (Beroun, Srbsko, Tetín) a na některých polních ekosystémech.

Zóna 3 (modrá) je na 20 čtvercích. Zahrnuje téměř všechny polní ekosystémy, údolí Berounky, oblasti pod Berounem. Je charakterizována výskytem běžných druhů lišejníků, nedosahují ale tak velkých pokryvností a četností jako v další zóně. Vzácnější lišejníky zde rostou řídko, většinou jsem zaznamenal jejich počáteční stadia.

Zóna 4 (světle modrá) pokrývá pouze 8 čtverců; je až na výjimky omezena na vrcholky kopců v centrální části Krasu. Vyskytují se zde vzácnější terčovky, dále odolnější druhy stužkovic.

Zóna 5 se na území Českého krasu nevyskytuje.

trance  $\text{SO}_2$  70–40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Často jsem musel používat oba žebříčky současně, pro obohacenou i neeutrofizovanou borku, neboť společenstva se v současnosti z důvodu silného obohacování prostředí dusíkem překrývají.

Běžně se odhaduje, že po snížení úrovně znečištění trvá epifytickým lišejníkům zhruba 10 let, než se patřičně rozvinou a narostou. Proto je nutné srovnávat současný stav lichenoflory se stavem znečištění první poloviny 90. let, a to za předpokladu, že koncentrace škodlivin jsou stabilní či klesají. Srovnají-li se hodnoty koncentrací  $\text{SO}_2$  získané biindikací s hodnotami naměřenými stanicemi ČHMÚ, je nutné konstatovat, že použitá metoda nadhodnocuje reálné koncentrace  $\text{SO}_2$ . Znečištění v dnešní době je více komplexní, než v době vzniku metody, kdy aktuálním problémem byl londýnský smog, tj. smog tvořený zejména oxidy síry a jinými zplodinami z uhlí. Rozložení znečištění v krajině je velmi zajímavé a má mnohem vyšší vypovídací hodnotu.

Jak je patrné z mapky na obr. 1, centrální část Českého krasu charakterizují hlavně zóny 4 a 5, je tedy středně zatížena znečištěním ovzduší. Plošně je znečištění rozloženo zhruba rovnoměrně, bez větších odchylek. Jak již bylo řečeno výše, nejčistší zóny jsou v zalesněných oblastech na kopcích, pravděpodobně proto, že jsou stranou od hlavních směrů větrů odnášejících znečištění z berounské kotliny. Inverzní údolí Berounky je naopak poměrně znečištěné. Nermalou úlohu hraje jistě filtrační schop-

nost lesních ekosystémů, neboť čisté zóny jsou až na výjimky v centru zapojených porostů.

Získané hodnoty indexu LDV se na tomto území pohybují v rozmezí 18–65. Na pěti čtvercích nebylo možné měření uskutečnit pro malý počet vhodných stromů. Podle výsledků získaných v Českém krasu i jinde (Čechy, Slovensko, Francie) jsem sestavil předběžný návrh na rozsah kategorií (viz tab.) pro území Čech pro listnaté stromy se středně obohacenou borkou (vyjma horských oblastí):

Tab. Kategorie pro území ČR podle metody LDV (předběžný návrh)

Zóna	Hodnota LDV	Kvalita prostředí
1.	< 20	špatná
2.	20–40	narušená
3.	40–60	střední
4.	60–80	relativně dobrá
5.	> 80	velmi dobrá

Podle metody LDV a nastavení žebříčku je území z velké části se střední kvalitou prostředí (zóna 3), s přesahy na obě strany škály. Na území sídel a v jejich okolí je kvalita prostředí horší, zaveděpodobně z důvodu intenzivnější zemědělské činnosti a používání tuhých paliv. Dále jsou nižší hodnoty indexu LDV zaznamenány na místech v okolí rušných komunikací a průmyslových podniků (lomy, dálnice). Naopak hodnotné ekosystémy se udržují v centrální zalesněné části a pak na čtvercích C5

Obr. 2 Mapový výstup studie rozložení znečištění v CHKO Český kras: kartografie území podle výsledků metody LDV; podrobnější vysvětlení viz text pod obrázkem. Orig. D. Svobody

a C6, které jsou patrně ve „stínu“ vlivů obce Srbsko.

### Srovnání výsledků získaných oběma metodami

Pomocí statistického testu srovnávajícího zóny podle první metody se zónami stanovenými podle metody druhé jsem dospěl k potvrzení původního předpokladu poměrně úzkého vztahu mezi výsledky obou metod. Je tedy možné říci, že vyšší hodnoty výsledků jedné metody předpokládají i vyšší hodnoty výsledků metody druhé. Porovnají-li se obě mapky, je na první pohled tato korelace zřejmá: na čtvercích v údolí Berounky v blízkosti Berouna bylo zjištěno vyšší znečištění podle obou metod, nejčistší oblasti na kopcích nad Karlštejnem se také shodují. Obě metody prokázaly velkou roli geomorfologie terénu a převládajících větrů při šíření znečištění. Znečištěné oblasti jsou hlavně v údolí Berounky, naopak čistší zóny se nacházejí mezi hlavními kanalizačními (odvádějících zplodiny) tahy větrů na kopcích nad Karlštejnem.

Data získaná při studiu biondikace pomocí lišejníků také umožnila vyvrátit převládající názor široké veřejnosti uváděný např. v mnoha tábornických příručkách, že lišejníky rostou ponejvíce na severní straně stromů. Není to vždy pravdivé tvrzení; statistické testy neprokázaly průkaznou odlišnost četností lišejníků na severu od četností na ostatních světových stranách. Určování severu si proto raději zkontrolujte te spolehlivějším způsobem!

### Závěr

Český kras patří k oblastem, které byly v minulosti poměrně hodně zatíženy znečištěním prostředí. Především prachové depozice z lomů a škodliviny z rozličných provozů způsobily citelné změny zejména u epifytických lišejníků. Srovnáme-li údaje A. Hilitera z počátku 20. let 20. stol., je tento úbytek více než patrný. V poslední době dochází k citelnému poklesu úrovně znečištění, zejména ke snížení emisí  $\text{SO}_2$ , některé zdroje znečištění ale zůstávají na stabilní hladině ( $\text{NO}_x$ ). Podle množství mladých a rostoucích stélek lišejníků je možné usuzovat, že se epifytická flóra dynamicky rozvíjí, což dokazuje zvyšující se kvalitu životního prostředí. Použití nové metodiky LDV v ČR přineslo několik poznatků: zatímco při práci v terénu nebyly s metodou Hawkswortha a Rose žádné problémy, u metody LDV s přísnějšími požadavky na výběr stromů je často těžké najít jejich dostatečný počet na čtvercích. Index LDV je také velmi ovlivněn množstvím faktorů (umístění hlavních větví, blízké stromy, blízkost komunikace) na každém snímku. Je proto žádoucí provádět měření na co největším možném počtu stromů; doporučuji minimálně čtyři stromy na čtverci.

Studii v Českém krasu bylo prokázáno, že lišejníky jsou velmi vhodné organismy, pomocí nichž je možné sledovat vztahy a vazby v prostředí a celkové vlivy různých faktorů v ekosystémech. Lišejníky tak stále nabízejí mnoho možností studia na všech možných úrovních a směrech.