Univerzita Karlova
Pedagogická fakulta
Katedra biologie a environmentálních studií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití rostlinných bioindikátorů při výuce biologie

Use of plant bioindicators in teaching biology

Romana Novotná

Vedoucí práce:	RNDr. Jana Skýbová, Ph.D.
Studijní program:	Specializace v pedagogice
Studijní obor:	Biologie, geologie a environmentalistika se zaměřením na vzdělání – Český jazyk se zaměřením na vzdělání

2022

Odevzdáním této bakalářské práce na téma Využití rostlinných bioindikátorů při výuce biologie potvrzuji, že jsem ji vypracovala pod vedením vedoucího práce samostatně, za použití, v práci uvedených pramenů a literatury. Dále potvrzuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Praha 2. 4. 2022

Velice děkuji vedoucí bakalářské práce RNDr. Janě Skýbové, Ph.D. za cenné rady a metodickou pomoc při zpracování této bakalářské práce.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá možnostmi využití rostlinných bioindikátorů při výuce biologie. Jejím cílem je bližší seznámení s vybranými rostlinnými bioindikátory, bioindikačními metodami, využitím biomonitoringu a navržení aktivit s tematikou bioindikátorů a biomonitoringu, využitelných při výuce biologie na víceletých gymnáziích.

V teoretické části je zadané téma bakalářské práce zpracováno formou literární rešerše, která se zabývá problematikou ekologické valence, adaptací rostlin na vybrané půdně-ekologické podmínky prostředí a příklady vybraných rostlinných druhů s úzkou ekologickou valencí, vyskytujících se v České republice, které lze využít jako bioindikátory.

Součástí bakalářské práce je rovněž seznámení s vybranými metodami biomonitoringu a jejich praktickým využitím, které spočívá v hodnocení ekologických změn v krajině, vyhodnocení výskytu sledovaných druhů rostlin, a to obzvláště vzácných a chráněných druhů, či rozšiřování invazivních druhů, které zásadním způsobem narušují stabilitu stávajících ekosystémů a vytlačují původní druhy.

V závěru přináší tato bakalářská práce vlastní náměty na aktivity spojené s tematikou bioindikátorů a biomonitoringu, které lze využít při výuce biologie žáků víceletých gymnázií. Podstatou těchto aktivit je, aby se žáci naučili vnímat přírodu v jejích širších souvislostech, aby byli schopni při výskytu druhů s úzkou ekologickou valencí odvodit půdně-ekologické podmínky daného prostředí, naučili se pracovat s rostlinným materiálem a v praxi se seznámili s vybranými metodami biomonitoringu.

KLÍČOVÁ SLOVA

rostlina, bioindikátor, biomonitoring, bioindikace

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the possibilities of using of plant bioindicators in teaching biology. Its aim is to get acquainted with selected plant bioindicators, bioindication methods and to design activities related to bioindicators and biomonitoring in biology teaching at multi-year grammar schools.

In the theoretical part, the assigned topic of the bachelor thesis is processed in the form of literary research, which deals with ecological valence, adaptation of plants to selected soil-ecological environmental conditions and a examples of selected plant species with narrow ecological valence, occurring in the Czech Republic, which can be used as bioindicators.

Part of the bachelor thesis is also acquaintance with selected methods of biomonitoring and their practical use, which consists in evaluating ecological changes in the landscape, evaluating the ocurrence of monitored plant species, especially rare and protected species, or the spread of invasive species, which fundamentally undermine the stability of existing ecosystems and displace native species.

In conclusion, this bachelor´s thesis brings own ideas for activities related to bioindicators and biomonitoring, which can be used in teaching biology at multi-year grammar schools. The essence of these activities is that pupils learn to perceive nature in its broader context when moving in the field, so that in the presence of species with a narrow ecological valence they are able to derive soil-ecological conditions of the environment, they learned to work with plant material and in practice got acquainted with selected methods of biomonitoring.

KEYWORDS

plant, bioindicator, biomonitoring, bioindication

Obsah

Úvod……...……...…….7

1 Ekologická valence..... 9

1.1 Adaptace rostlin na vlhkostní podmínky stanoviště ..... …11

1.2 Adaptace rostlin na znečištění atmosféry 13

1.3 Adaptace rostlin na chemickou skladbu půdy……..….16

1.4 Citlivost rostlin na koncentraci vodíkových iontů v půdě (pH)...……..…17

1.5 Biotopy na vápenci…….……..……..……19

1.6 Biotopy na hadci…….……20

1.7 Biotopy na písčitých substrátech.……20

1.8 Zvýšená koncentrace solí (chloridů, síranů, uhličitanu sodného)……21

1.9 Zvýšená koncentrace dusíkatých látek v půdě ……...……24

1.10 Zvýšená koncentrace těžkých kovů……25

2 Bioindikace……..……27

3 Bioindikátory……..……..37

3.1 Řasy a vyšší vodní rostliny jako bioindikátory……...……...……38

3.2 Bioindikátory vlhkých stanovišť……39

3.3 Bioindikátory suchých stanovišť……43

3.4 Bioindikátory bazických substrátů……43

3.5 Bioindikátory nízkého pH půdy……45

3.6 Bioindikátory na živiny chudých půd……46

3.7 Bioindikátory přebytku dusíku v půdě……...46

3.8 Bioindikátory zvýšeného obsahu solí v půdě……48

3.9 Bioindikátory zvýšeného obsahu těžkých kovů……48

4 Biomonitoring a jeho využití……50

5 Vybrané metody biomonitoringu……..……..…55

5.1 Letecké snímkování……...……55

5.2 Mikromapování…….…….55

5.3 Fytoenologické snímkování……...……57

6 Náměty na aktivity s tematikou bioindikátorů a biomonitoringu při výuce biologie…60

Závěr……...……...……..…68

Seznam použitých informačních zdrojů…….……...……69

Úvod

Využití biologických indikátorů bylo v popředí zájmu Mezinárodního svazu biologických věd International Union of Biological Sciences (IUBS), který na svém 21. valném shromáždění v Ottavě v roce 1982 inicioval Program bioindikátorů. Kromě doporučení, aby se IUBS věnoval organizování programů biologického monitorování, dalo toto valné shromáždění popud k využívání biologických indikátorů v monitorování, a to vyzýváním vědeckých a státních institucí, aby vyvíjely a zlepšovaly metody monitorování změn prostředí, rozvíjením interdisciplinární a internacionální spolupráce při standardizování metod, podporováním výměny výsledků výzkumu mezi laboratořemi celého světa a podporováním konferencí, zabývajících se bioindikátory na úrovni buňky, jedince, populace a ekosystému (Spellerberg, 1995).

Prostřední formuje pro organismy životní podmínky. Mluvíme o faktorech abiotických (světlo, teplo, voda, vzduch, půda – její minerální složky) a biotických (organismy, ale i organické produkty činnosti těchto organismů, včetně jejich odpadů a zbytků mrtvých těl). Podmínky vlivu výše uvedených faktorů nejsou stálé, ale mění se. Organismy mají schopnosti se těmto změnám přizpůsobovat – adaptovat. Možnosti adaptace jsou ovšem omezené. Prakticky nenajdeme organismus schopný adaptovat se na celé rozpětí existujících podmínek. Proto se každý druh vyskytuje jen na takovém území, které splňuje jeho ekologické požadavky. Toto území nazýváme areál (Šlégl a kol., 2002).

Anděl (2011) dodává, že každý druh preferuje určitou kombinaci ekologických podmínek a z toho vyplývá i nika, kterou v ekosystému obsazuje. Tyto různé nároky druhů umožňují zpětně využít jejich přítomnost k hodnocení ekologických podmínek. Druhy se mezi sebou liší šířkou ekologické valence, a proto nebudou všechny stejně vhodné pro bioindikaci. Pro tu se hodí především druhy s úzkou valencí, vázané převážně na určité podmínky (obecně stenoeknní druhy). Jako indikační druhy označujeme takové, které svým výskytem nebo reakcemi umožňují hodnotit parametry prostředí.

Absolon (1994) zdůrazňuje, že při bioindikaci změn je třeba věnovat v přírodě a krajině pozornost nejen taxonům ohroženým, ale též expanzivním druhům. V našich podmínkách, kdy jsou v současné době globálně antropicky ovlivněny všechny fytocenózy, je známa celá řada silně expanzivních rostlin. Jako příklad můžeme uvést nitrofilní kopřivu dvoudomou

(*Urtica dioica* L.). Jako důsledek celkové nitrifikace a neobhospodařování xerotermních až semixerotermních trávníků je rozšiřování ovsíku vyvýšeného (*Arrhenatherum elatius* (L.) Presl et C. Presl), sveřepu vzpřímeného (*Bromus erectus* Huds.) a dalších trav.

Dyjáková (1989) zdůrazňuje, že fyziologická, ekologická a cenologická zjištění nalézají uplatnění v biologické indikaci, tj. informaci o působení nebo přítomnosti některého činitele prostřednictvím jeho odrazu na živých organismech. V poslední době se bioindikační metody začínají uplatňovat v ekologickém monitorování.

Zařazení biomonitoringu do výuky biologie považuji za velmi důležité z několika hledisek (monitorování krajiny z hlediska její biodiverzity, posouzení kvality životního prostředí, případné kontaminace prostředí znečišťujícími látkami, těžkými kovy, solemi apod. v rámci ekologického biomonitoringu, posouzení vhodnosti různých antropogenních zásahů do krajiny aj.) Velmi důležité je i vegetační mapování pro posouzení dynamiky vegetace, druhových a početních změn v rostlinných populacích, které tímto reagují na změny prostředí. Na základě těchto skutečností je potřeba naučit žáky vnímat okolní přírodu v širších souvislostech, které povedou k její ochraně a ke správnému využívání jednotlivých ekosystémů, aniž by docházelo k jejich antropogennímu poškození.

Cílem této bakalářské práce je:

- popsat vybrané druhy rostlin jako bioindikátory stavu životního prostředí
- charakterizovat vybrané bioindikační metody a biomonitoring
- přiblížit využití biomonitoringu
- vytvořit vlastní autorské náměty pro aktivity spojené s tematikou bioindikátorů a biomonitoringu při výuce biologie

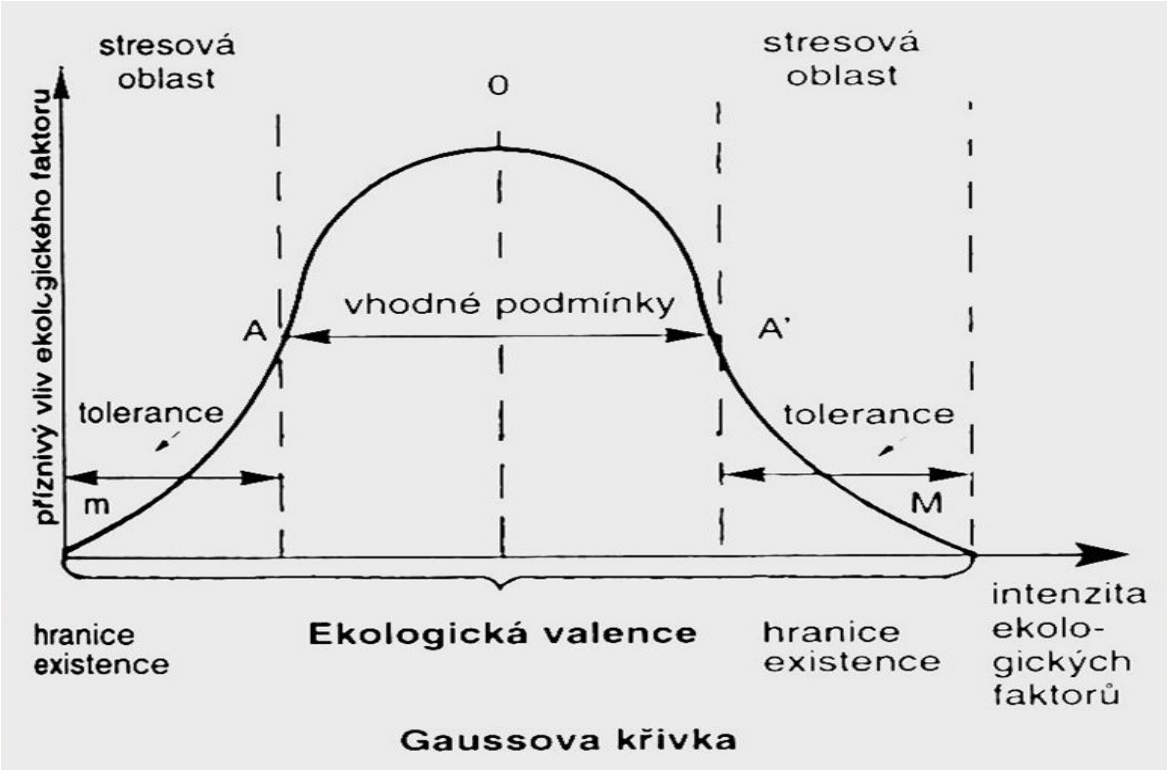
1 Ekologická valence

Každý rostlinný druh má své specifické limitující hranice, kterými je omezena jeho snášenlivost čili tolerance, vůči působení jednotlivých ekologických faktorů stanoviště. Rozsah této tolerance nazýváme ekologickou amplitudou druhu neboli ekologickou valencí. Ekologie rostlin studuje vzájemné vztahy rostlin a prostředí, které může být tvořeno jak abiotickými faktory (energií, vodou, minerálními látkami), tak biotickým vlivem jiných organismů. Ekologie rostlin se zabývá tímto studiem, buď na úrovni rostlinného jedince, nebo druhové populace rostlin, anebo celého rostlinného společenstva (fytocenózy) a to vždy na určitém stanovišti. Ekologická valence je ta variační šíře faktoru, která je pro organismus snesitelná. Tyto hranice jsou určeny na jedné straně minimální a na druhé straně maximální hodnotou (intenzitou, koncentrací) nějakého faktoru. V blízkosti minima a maxima snesitelnosti faktoru dosahují podmínky pro život rostliny své nejnepříznivější hranice. Nazývají se také proto ekologické pesimum. Pod hranící minima a nad hranicí maxima jsou funkce a vývoj rostlinného organismu inhibovány, popř. rostlina hyne. Na druhé straně při středních hodnotách působení faktorů je dosaženo ekologického optima organismu, uvádí Slavíková (1986).

Stenotopní rostliny jsou ve společenstvu přítomny jako vzácné druhy, nebo jsou na speciálních stanovištích. Mají proto také malé rozšíření. Rostliny mohou mít širokou toleranci, či širokou ekologickou amplitudu, vůči určitému faktoru stanoviště. Takové druhy se nazývají euryekní. Rostliny se širokou tolerancí ke všem základním faktorům se nazývají eurytopní. Rostliny mohou mít široký rozsah tolerance k jednomu faktoru a úzký rozsah tolerance k jinému. Takovýto stav bývá v přírodě velmi častý. O výskytu druhu na stanovišti rozhoduje pak ten faktor, který je pod hranicí tolerance. Rozhodující jsou totiž mezní hodnoty faktoru, ne jeho průměrné hodnoty (Slavíková, 1986). Rovněž Polášková (2011) uvádí, že rozhoduje ten faktor, který je na dolní hranici tolerance druhu. Uvedený poznatek formuloval německý chemik Justus von Liebig už v roce 1840 jako tzv. zákon minima. Byl to vlastně první formulovaný ekologický zákon vůbec.

Rajchard a kol. (2002) zmiňuje Gaussovu křivku, která graficky znázorňuje schopnost organismů snášet určité rozpětí libovolného faktoru, označované jako toleranci. V ideálním případě bychom mohli pro daný druh stanovit optimální koncentrace nebo jinou hodnotu

podmínek, při které se mu daří nejlépe, a které představují vrchol Gaussovy křivky. Oba konce Gaussovy křivky jsou pak ohraničeny pesimálními body minimem a maximem. Obě krajní mezní hodnoty představují pro daný druh dolní a horní mezní, nebo letální, hranici existence. Mezi minimem a maximem leží optimum (Graf 1).



Graf 1: Gaussova křivka – ekologická valence druhu (Papáček, 2000)

Limitující působení ekologických faktorů vyjádřil Shelford (1963) „Zákonem tolerance“. Šlégl a kol. (2002) dodává, že stenoekní druhy mohou sloužit i jako ekologické indikátory – bioindikátory.

Známe-li rozsah přizpůsobivosti jednotlivých druhů k určitému faktoru, můžeme toho zpětně použít při zhodnocení stanoviště, na kterém žijí. Takové druhy se nazývají ekologické indikátory (bioindikátory). Například šťavel kyselý (*Oxalis acetosella L.)* nebo brusnice brusinka (*Vaccinium vitis-ideae* L.) svým výskytem indikují vždy kyselou půdu. Některých vhodných druhů se užívá k dlouhodobému sledování (biologickému monitorování) změn životního prostřední (Rosypal, 2003).

Studiem vzájemných vztahů mezi organismem jako jedincem a jeho prostředím se zabývá autekologie. Každý živý organismus potřebuje pro svou existenci určité prostředí, které na

něj působí obecně zvanými ekologickými faktory (též podmínky prostředí), jak uvádí Polášková (2011).

1.1 Adaptace rostlin na vlhkostní podmínky stanoviště

Velká rozdílnost a proměnlivost půdní a vzdušné vlhkosti i celého komplexu stanovištní vlhkosti vyvolala množství ekologických adaptací, které jsou zároveň funkční, morfologické i anatomické. Tyto adaptace se týkají nejenom příjmu a výdeje vody, nýbrž i závislosti fyziologických funkcí na vodním potenciálu a jeho složkách, především na osmotickém potenciálu, tlakovém potenciálu, turgoru a obsahu vody v rostlině. Schopnost rostlin zabraňovat vodnímu deficitu nebo jej kompenzovat, případně se mu životním rytmem vyhnout, je tak rozmanitá, že téměř pro každý typ stanoviště by bylo možno popsat mnoho adaptací na stanovištní vlhkost, především na sucho. Obecně rozdělujeme ekologické typy podle vztahu ke stanovištní vlhkosti na hydrofyty (rostliny vázané na vodní prostředí – vodní rostliny), hygrofyty (rostliny rostoucí na půdách mokrých až zabahněných), mezofyty (rostliny rostoucí na půdách vlhkých, čerstvě a mírně vlhkých), xerofyty (suchobytné rostliny, rostoucí na půdách suchých nebo převážnou část roku suchých), uvádí Slavíková (1986) a Jeník (1972).

Procházka a kol. (1998) uvádí, že suchovzdorné (xerofytní) rostliny obvykle tolerují mnohem větší ztráty vody než běžné mezofyty. Extrémním případem jsou druhy, které snášejí téměř úplné vyschnutí bez vážného poškození. Tutu obdivuhodnou schopnost mají nejen poikilohydrické nižší rostliny (lišejníky, některé mechy), ale i několik stovek druhů rostlin vyšších z čeledi lipnicovité (*Poaceae*), šáchorovité (*Cypeeraceae*), krtičníkovité (*Scrophulariaceae*), podpětovité (*Gessneriaceae*) a dalších, rostoucích hlavně v aridních oblastech Afriky a Austrálie. U některých z nich byla dokázána úspěšná regenerace všech orgánů i po několikaměsíčním uložení v absolutně suchém vzduchu, kdy vodní potenciál pletiv byl snížen až na -400 MPa (u běžných mezofytních druhů rostlin hodnoty vodního potenciálu listů dosahují do -0,5 MPa). Úspěšnost adaptace rostlin na extrémně suché podmínky je tím větší, čím více uhlíku se jim podaří fixovat na jednotku vydané vody. U xerofytů bývá vyvinuta extrémně citlivá zavírací reakce průduchů, vyvolaná působením snížené vlhkosti vzduchu přímo na svěrací buňky. Jsou však známy xerofytní druhy, které zavírají průduchy až při značné ztrátě vody a při hodnotách vodního potenciálu okolo -4 až

-5 MPa. Nejčastěji však u xerofytů dochází k zavírání průduchů při -1 až -2 MPa, zatímco u mezofylů při -0,5 až -1,0 MPa. Sukulentní rostliny vybavené metabolickou cestou CAM, jsou ze všech rostlin nejdokonaleji adaptované k úspornému hospodaření s vodou. Mechanismus CAM umožňuje ponechat průduchy ve světelné periodě dne zcela zavřené. Tyto rostliny mají také možnost dlouhodobě uzavřít průduchy a provádět vnitřní recyklaci uhlíku. Základem úspěšné adaptace mokřadních rostlin je zajištění rychlého transportu kyslíku do kořenů. Adaptované rostliny mají kromě výhodných morfologických znaků i řadu trvalých metabolických zvláštností. Patří k nim např. velmi dokonalé řízení rychlosti glykolýzy, a tudíž u nich nedochází za nedostatku kyslíku k tak prudkému zrychlení rozkladných procesů, které by vedlo k vyčerpání rezerv. Také konečné produkty fermentace (především etanol) bývají velmi účinně vylučovány z kořenů do vnějšího prostředí.

Šlégl a kol. (2002) dodává, že hygrofyty mají slabou kutikulu, bez ochlupení např. blatouch bahenní (*Caltha palustris* L.), většina ostřic (*Carex*). Xerofyty musí vodou šetři, proto omezují ztráty vody transpirací silnější vrstvou kutikuly (jehličnany) nebo silným ochlupením např. divizna velkokvětá (*Verbascum densiflorum* Bertol.). Sukulenty navíc shromažďují zásobu vody ve vodním pletivu a mají často redukované listy i pozměněný metabolismus.

Prach a kol. (2009) uvádějí, že rašeliniště a slatiniště se vytvářejí vždy na trvale zamokřených místech, rašeliniště na živinami chudých, kyselých, slatiniště na živinami bohatších, méně kyselých substrátech. Charakteristické je pro obojí hromadění organického substrátu z odumřelých těl rostlin (rašelina, slatina). Typickými rostlinami pro rašeliniště jsou mechorosty r. rašeliník (*Sphragnum*), brusnicovité (*Vacciniaceae*), vřesovcovité (*Ericaceae*) a šáchorovité (*Cyperaceae*) rostliny, někdy i adaptované druhy dřevin, jako je ve střední Evropě např. borovice blatka (*Pinus rotundata* Link.). Pro slatiniště jsou nejtypičtějšími zástupci šáchorovité rostliny (*Cyperaceae*).

Howell a kol. (2016) zdůrazňují, že bažiny jsou otevřená prostranství, která leží část roku nebo celoročně pod vodou (na rozdíl od močálů, což jsou zamokřené lesy). Půda v bažinách však často bývá tak podmáčená, že v ní nezbývá dost vzduchu pro kořeny rostlin. Mnohé bahenní rostliny proto mívají ve svých listech a stoncích malé zásobníčky na vzduch, který mohou v případě potřeby doručit dolů ke kořenům, aby se v té záplavě vody „neutopily“.

Celá řada bahenních rostlin, má široké listy, aby mohly co nejsnáze vylučovat přebytečnou vodu. K bahenním rostlinám patří např. kuklík potoční (*Geum rivale* L.), blatouch bahenní (*Caltha palustris* L.), violka bahenní (*Viola palustris* L.). V močálech a rašeliništích se daří i běžným druhům jako např. tužebníku jilmovému (*Filipendla ulmaria* (L.) Maxim.), vrbovce chlupaté (*Epilobium hirsutum* L.), žluťuše žluté (*Thalictrum flavum* L.), kohoutku lučnímu (*Lychnis flos-cuculi* (L.) Greuter et Burdet).

1.2 Adaptace rostlin na znečištění atmosféry

Jak udává Tölgyessy (1989), citlivost různých druhů rostlin na škodlivý vliv oxidu siřičitého se velmi mění. Rozdíly pravděpodobně podmiňuje různá rychlost pohlcování tohoto plynu listy rostlin. Toxicita oxidu siřičitého je podmíněna tím, že rostlina ho přijímá hlavně průduchy v procesu fotosyntézy. I v noci a v zimě je však rostlina schopná ho přijímat v postřehnutelném množství, protože ne všechny průduchy jsou uzavřené. Mimo toho se oxid siřičitý přijímá kůrou jehličnatých a listnatých dřevin. Pokud je poškozeno jen malé množství rostlinných buněk, na listech rostlin se objeví nekrotické změny žilnatiny nebo skořicovo-červené barvy, což svědčí o chronickém poškození. Při odumření větší části listové plochy dodává mrtvá a vyschlá tkáň rostlinám charakteristický vzhled akutního poškození, které se nachází po okraji a podél žilnatiny listů. U konifer hnědne jehličí na povrchu, při akutním nebo dlouhotrvajícím působení škodlivých exhalátů opadává jehličí starších ročníků. Rostliny se šťavnatými listy např. čeleď lipnicovité (*Poaceae*), rod bavlník (*Gossypium* L.), hlávkový salát (*Lastuca sativa* L.), špenát setý (*Spinacia oleracea* L.), rod fazol (*Phaseolus* L.), květák (*Brassica oleracea convar. botrytis* (L.) MARKGR.), mrkev obecná (*Daucus carota* L.), které mají vysokou fyziologickou aktivitu, jsou většinou citlivé. Výjimkou je kukuřice (*Zea mays* L.), která má listy delší čas zavřené. Rostliny s masitými listy jsou obyčejně odolné, s výjimkou období, kdy se listy tvoří, do období, než jsou překryty pevnou blánou např. citronovník pravý (*Citrus limon* (L.) Burm.), rod borovice (*Pinus* L.). Mezi odolné rostliny patří křen selský (*Armoracia rusticana* P. Gaertn., B. Mey. et Scherb.), lilek brambor (*Solanum tuberosum* L.), rod cibule (*Allium* L.) a rod kukuřice (*Zea* L.). Mnohé výzkumy dokázaly, že při účinku oxidu siřičitého je snížení výnosu většiny hospodářských kultur úměrné podílu poškození povrchu listů.

Šlégl a kol. (2002) dodává, že vlivem kyselých dešťů dochází u rostlin k rozkladu chlorofylu. Oxid siřičitý se tak značnou měrou podílí na odumírání u jehličnatých lesů, protože na jejich jehlice působí SO_2 více let. Rovněž oxidy dusíku spolupůsobí při vzniku kyselých dešťů a fotochemického smogu, ale mají vliv i na ubývání ozónosféry. Jeden atom chlóru je schopen zničit okolo 10 000 molekul ozónu. Přitom freony jsou látky značně stálé, v ovzduší vydrží desítky let. Jestliže v ozónosféře je role ozónu pozitivní, neboť zachycuje UV záření, v přízemní vrstvě ovzduší působí velmi nepříznivě na rostliny. Způsobuje totiž rozklad chlorofylu. Ozón vzniká fotochemickými reakcemi oxidů dusíku a kyslíku.

Jak uvádí Tölgyessy (1989), znaky poškození oxidem dusíku jsou podobné jako u poškození oxidem siřičitým. Poškození se projevuje hnědnutím listů na okrajích a vnitřních částech mezi nervaturou. Při nárazovém působení vyšších koncentrací se listy scvrkávají, odumírají a klesá obsah karotenů v listech rostlin. Jako citlivé plodiny uvádí např. rody hrách (*Pisum)*, lupinu (*Lupinus)*, oves (*Avena*), ječmen (*Hordeum*), tabák (*Nicotiana*), hořčici (*Sinapis*). Bylo zjištěno, že již miligramové koncentrace chlóru v m^3 vzduchu mohou velmi výrazně poškodit některé druhy rostlin. Chlór je pro rostliny přibližně třikrát toxičtější než oxid siřičitý. Vnějším znakem poškození jsou okrajové nekrózy.

Kontaminující látky se nejčastěji rozlišují podle skupenství:

1. Tuhé emise – tvoří je prach, popílek, popř. saze. Z celkového množství znečišťujících látek v atmosféře tvoří tuhé emise asi 10 %. Vznikají nejčastěji jako produkt spalování tuhých paliv a při různých průmyslových technologiích, zvláště v hutním průmyslu, ve vápenkách a cementárnách. Některé mohou obsahovat vysoké koncentrace např. olova, arzénu, mědi, fluoridů, rtuti.
2. Plynné a kapalné emise představují především SO_2 a další sloučeniny síry (sirovodík, sirouhlík), dále sloučeniny uhlíku (CO, CO_2), oxidy dusíku, amoniak, sloučeniny chlóru, místně fluórové sloučeniny, aldehydy, ketony, parafíny, olefíny, alkiny, fenol, benzen, těžké kovy v podobě aerosolu (Pb, Cd, Mo), sulfáty, nitráty, ozón aj. Plynné emise tvoří asi 90 % znečišťujících látek v atmosféře. Koncentrace se v atmosféře mění podle teploty vzduchu, maxima jsou v zimních a jarních měsících. Některé plynné emise (především SO_2) a aerosoly mohou po rozpuštění v dešťových srážkách vytvářet kyseliny, které snižují pH srážkové vody. Na druhé straně některé jiné emise (např. CaO, MgO) tvoří se srážkovou

vodou hydroxid a v půdě pH zvyšují. Výraznější zvýšení pH nastává v půdách kolem vápenek.

Procházka a kol. (1998) uvádí, že chemické působení tuhých emisí působí většinou výrazně toxicky, tím snižují fotosyntézu rostlin, rozrušují chlorofyl v listech apod. Působí i v půdním prostředí tím, že inhibují dekompoziční a mineralizační pochody. Toxické látky (těžké kovy) se mohu v rostlinných pletivech i koncentrovat (především v cytoplazmě a vakuole, ale i ve stěnách buňky a buněčných organelách). Veliká schopnost akumulovat ionty těžkých kovů byla zjištěna např. u tokozelky nadmuté (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms). Ve výjimečných případech může být vliv tuhých emisí na rostliny i příznivý, toto bylo pozorována např. u kalcikolních rostlin, které rostly v dosahu prachu vápenek. Co se týká plynných emisí, např. obsah jedovatých látek (např. olova v rostlinách, které lemují frekventované vozovky) je velmi nebezpečný v druhotném následky, kdy např. olovo a karcinogenní látky se s rostlinami dostávají potravními řetězci přes konzumenty všech řádků až k člověku.

Stále vyšší obsah toxických látek v prostředí je spojen hlavně s průmyslovou a zemědělskou činností člověka (spalování fosilních paliv, používání umělých hnojiv, pesticidů, detergentů atd.). Nejvíce ohroženy působením SO_2 bývají druhy s dlouhověkými listy, zejména jehličnaté stromy, a také některé stélkaté rostliny s růstovou aktivitou v zimním období. V zimě bývá zpravidla koncentrace SO_2 vyšší. Bylo zjištěno, že druhy s fixační cestou C4 jsou mnohem odolnější vůči toxickému působení SO_2 než rostliny typu C3. Je to dáno hlavně menší citlivostí PEPkarboxylázy k SO_2 a lokalizací Calvinova cyklu do velmi dobře chráněných buněk pochev cévních svazků se zvýšenou koncentrací CO_2. Ozon je neméně toxický plyn než SO_2 a jeho koncentrace v přízemních vrstvách atmosféry bývá velmi podobná (průměrná hodnota maxim v rozmezí 300 až 500 $\mu g.m^{-3}$). Naprostá většina ozonu vzniká fotolýzou oxidů dusíku (NO, NO_2) a také některých plynných organických sloučenin (uhlovodíků). K rozkladu těchto látek dochází účinkem ultrafialového záření. Maxima dosahují koncentrace ozonu v odpoledních hodinách (Procházka a kol., 1998).

Doušová a Bůzek (2016) uvádějí, že podle současných výzkumů toxicita anorganických kontaminantů převyšuje toxicitu organických a radioaktivních kontaminantů dohromady. Jejich značný podíl končí právě v půdách. Mezi nejnebezpečnější patří rtuť, kadmium,

olovo, arsen, nikl, měď, zinek, chrom, molybden, mangan, selen, fluór, bor. Půda je znečišťována atmosférickou depozicí obsahující kontaminující produkty spalování fosilních paliv, automobilové dopravy, zpracování kovů, lesních požárů aj., dále zemědělské aktivity vnášející do půd především herbicidy, insekticidy, fungicidy, akaricidy a toxické prvky obsažené v hnojivech (U, Cd), dále kontaminanty ve vodách zahrnující kaly z čistíren odpadních vod (např. dioxiny, furany, PCB, PAH aj.), důlní vody (těžké kovy, sírany), průmyslové a komunální odpadní vody.

1.3 Adaptace rostlin na chemickou skladbu půdy

Každá rostlina má svou optimální oblast, ve které je obzvláště konkurenceschopná a může se prosadit vůči jiným druhům. Tato optimální oblast je pro mnoho druhů známá a lze ji použít k určení půdních podmínek (Wohlleben, 2020).

Některé chemické prvky rozhodují výrazněji o výskytu určitých druhů rostlin a eliminují některé jiné druhy. Proto se někdy rostliny používají jako indikátory (fytoindikátory) chemické skladby matečné horniny v geologickém průzkumu, nebo při inventarizaci půd, anebo pro zhodnocení půd pro potřeby hnojení atd. Jen ty minerální látky, které jsou v půdě v rozpustné formě, jsou pro rostlinu využitelné. Z kořenového roztoku se ionty solí dostávají s vodou difuzí do parenchymu kořenové kůry savých kořenů a odtud do celé rostliny. Tento příjem iontů je většinou pasivní a je určován koncentračním spádem každého jednotlivého iontu. Rostlinná buňka má však někdy schopnost ionty vázat proti koncentračnímu spádu, a tak je hromadit (především ve vakuole). Některé rostliny rostoucí na půdách s vyšší koncentrací těžkých kovů mohou tyto ionty hromadit v koncentracích stokrát až tisíckrát větších, než je koncentrace u rostlin rostoucích v normální půdě. V rostlinách se tak hromadí i ty prvky, které jsou v prostředí v malých koncentracích. Např. při vysoké koncentraci solí ve slaných půdách se z buněk kořenů rostlin dostávají ionty Na^+ a Cl^- v takovém množství, které není pro rostlinu potřebné a je balastní. Zvyšuje se tím osmotický tlak a snižuje vodní potenciál buněk. Balastní je i vysoká koncentrace vápníku v buňkách rostlin, které rostou na vápenci. Některé druhy rostlin vyžadují pro svůj růst a vývoj velkou zásobu živin v půdním substrátu, rostou proto na eutrofních biotopech. Na rozdíl od nich oligotrofní biotopy jsou chudé živinami. Některé půdní substráty určují specifické složení vegetace. Jsou to ty, na nichž se vytvářejí mezní stanovištní podmínky, které jsou limitující pro některé druhy

rostlin, a naopak je preferují jiné, na ně adaptované rostliny. Jsou to především substráty s výrazně zvýšenou nebo sníženou koncentrací vodíkových iontů, dále vápenec a dolomit, hadec a substráty s vyšší koncentrací solí a dusíku nebo těžkých kovů, anebo naopak oligotrofní substráty s extrémně nízkým obsahem živin (Slavíková, 1986).

Jeník (1972) dodává, že jako eko-elementy podle celkové zásoby živin v půdě rozlišujeme oligotrofofyty (druhy oligotrofní) rostou na půdách s nedostatečnou zásobou živin, mezotrofofyty (druhy mezotrofní) rostou na půdách se střední zásobou živin, eutrofyty (druhy eutrofní) rostou na půdách dobře zásobených živinami, megatrofofyty (druhy megatrofní) rostou na půdách s mimořádně dobrou zásobou živin a optimálním vodním režimem. Bezprostřední vazbu na geologický substrát mají rostliny, které rostou na skalách. Nazývají se petrofyty. Petrofyty rostoucí na povrchu skal nebo balvanů jsou litofyty. Jsou to nejčastěji nižší rostliny, např. řasy, mechorosty, lišejníky. Takové petrofyty, které zakořeňují ve skalních štěrbinách, se nazývají chasmofyty. Na vápencích se vytvářejí druhově specifická chasmofilní společenstva, která se druhově liší od chasmofilních společenstev na silikátové hornině. Jsou tvořena nižšími rostlinami, ale i rostlinami cévnatými. Na vápencovém podkladě to bývají např. lomikámen latnatý (*Saxifraga paniculata* Mill.), chudina vždyzelená (*Draba aizoides* L.), prvosenka lysá (*Primula auricula* L.). Na silikátovém podkladě tvoří společenstvo skalních štěrbin např. druhy zvonek okrouhlolistý (*Campanula rotundifolia* L.), vrbovka chlumní (*Epilobium collinum* C. C. Gmel.), sleziník severní (*Asplenium septentrionale* (L.) Hoffm.).

1.4 Citlivost rostlin na koncentraci vodíkových iontů v půdě (pH)

Většina rostlin je citlivá na koncentraci vodíkových iontů v půdě, tj. na půdní reakci. Půdní reakce je v podstatě určována matečnou horninou a je výsledkem mnoha fyzikálních, chemických a mikrobiologických procesů v půdě a zároveň souhrnným ukazatelem těchto procesů. Např. kyselá reakce v půdě se může vytvořit vyplavením kationtů srážkovou vodou z povrchových vrstev půdy do spodních vrstev, dále působením organických kyselin, které jsou vylučovány kořeny rostlin a mikroorganismy a také disociací kyseliny uhličité, která se v půdě hromadí jako produkt dýchání a mikrobiálních procesů. Závisí pak na výchozím chemickém složení matečné horniny a na kvalitě humusu, jaká bude výsledná reakce půdy.

Některé rostliny zvyšují svým detritem (např. opadem listů) kyselost povrchu půdy (např. rod smrk (*Picea*), borovice (*Pinus*), vřes (*Calluna*). Z těchto listů se tvoří surový humus, který obsahuje fulvokyseliny, jež velmi účinně rozkládají a vyluhují minerální látky v půdě, a tak přispívají ke snižování pH půdy (Slavíková, 1986).

Naproti tomu jiné rostliny (např. rod lípa (*Tilia)*, buk (*Fagus*), javor (*Acer*) vytvářejí svým opadem humus s převahou huminových kyselin, které nezpůsobují vyluhování minerálních látek (především kationtů) do spodní vrstvy půdy a tím se půdní reakce udržuje neutrální až alkalická. V posledních letech se na změnách pH půdy uplatňuje velmi významně také SO_2, který vzniká spalováním fosilních paliv a s dešťovými srážkami se dostává z ovzduší do půdy, kde působí jako kyselina. Kyselé srážky navíc ještě vyvolávají vyluhování živin z půdy, především hořčíku a vápníku, a pravděpodobně i draslíku. Těmito pochody dochází pak k velmi hlubokým poklesům pH postižených půd. Další nepříznivé změny pH půdy se objevují v současné době také na okrajích vozovek, které jsou posypávány v zimě solí. Roztoky soli NaCl vytěsňují vápník ze sorpčního komplexu sodíkem, a tak odvápňují půdu a mění její pH. Spadem popílku se většinou na povrchu půdy minerální soli koncentrují tak, že pH půdy se výrazně zvyšuje. Určité skupiny rostlin jsou schopny růst jen v určitém rozmezí pH, kde mají optimum svého růstu a jsou také konkurenčně nejsilnější. Půdní reakce se totiž uplatňuje přímo i nepřímo na příjem živin, a tím i na další funkce rostlin. Půdní reakce se mění v čase i prostoru. Během roku se mění v závislosti na změnách teploty a rozložení dešťových srážek. Mění se také v jednotlivých půdních horizontech od povrchu půdy až do její spodiny. V humidních oblastech bývá vlivem vymývání kationtů dešťovými srážkami na povrchu půdy hodnota pH relativně nejnižší; směrem do hloubky půdy pH vzrůstá. V aridních oblastech následkem vzlínání a sedimentace minerálních roztoků směrem k povrchu půdy tomu bývá opačně. Na povrchu půdy pak je pH relativně nejvyšší. Stejně tak na svazích acidita směrem k vrcholu stoupá, úpatí mají nejvyšší hodnotu pH vlivem přísunu splavovaného (alochtonního) materiálu. Půdní reakce určuje rychlost dekompozičních pochodů a působí i na výběr skupin dekompozičních mikroorganismů. Na kyselých půdách je rozklad detritu pomalý, mikrobiální složka edafonu je inhibována. Hlavní skupinou rozkladačů jsou plísně a další houby a žížaly, které se normálně uplatňují při dekompozici, v kyselých půdách většinou také nežijí. Určité skupiny rostlin jsou schopny růst jen v určitém rozmezí pH, kde mají optimum svého růstu a jsou také konkurenčně

nejsilnější. Bylo zjištěno, že nepřímý vliv nízkého pH půdy působí snížení absorpce kalcia, magnézia a fosforu a dále zvyšuje rozpustnost některých látek, např. hliníku, manganu, železa a těžkých kovů, až ke koncentracím s toxickým účinkem. V kyselém prostředí je také snížená rychlost koloběhu dusíku a jeho fixace. Půdní reakce pH nižší než 3 a vyšší než 9 způsobuje již u většiny rostlin poškození protoplazmy kořenových buněk. Větší acidita bývá v přirozených podmínkách vzácná. Nejnižší pH je na rašelinných substrátech a na podzolech. Nejnižší pH vůbec bylo u nás naměřeno v kyselých minerálních slatinách s H_2SO_4. Nejvyšší hodnoty pH jsou na slaných a sodných půdách (až pH 12) a kolem alkalických minerálních pramenů (Slavíková, 1986).

Procházka a kol. (1998) uvádí, že vysoká koncentrace vodíkových iontů v půdě vytěsňuje kationty (zejména Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}) ze sorpčních vazeb na koloidech a snadno dojde k jejich vyplavení z půdy. Rostliny pak trpí nedostatkem těchto kationtů. Dále je snížena dostupnost fosforu i nitrátového dusíku, protože nitrifikační bakterie jsou citlivé na pokles pH. Rostliny, které úspěšně rostou na kyselých půdách, jsou adaptovány především k tolerování nepřímých vlivů nízkého pH. V prvé řadě to bývá tolerance k vysoké koncentraci hliníku, manganu a železa.

1.5 Biotopy na vápenci

Od dávných dob je známa skutečnost, že některé rostliny rostou výhradně jen na těch stanovištích, kde je matečnou horninou vápenec. Nazývají se kalcitofyty nebo kalcikolní rostliny vápnobytné (nebo také kalcitrofní) rostliny. Půdy na vápenci mají převážně takovou strukturu, že voda jimi rychle prosakuje, tím jsou sušší a teplejší než půdy na silikátové matečné hornině. Mají samozřejmě vyšší koncentraci Ca^{2+} a HCO_3^{-} iontů, na to navazuje i vyšší hodnota pH, mají většinou reakci neutrální až alkalickou. Další rozdíl je v tom, že dusíkaté látky jsou na těchto půdách rychleji mineralizovány a fosfor, železo, mangan a těžké kovy jsou hůře přístupné než na kyselých půdách. Bylo zjištěno, že existují rozdíly v abiotických půdních faktorech, ale že i samy kalcitofyty se odlišují svým metabolismem od rostlin kalcifobních. Především se ukazuje rozdíl v celkovém metabolismu vápníku. Bylo zjištěno, že zatímco kalcitofyty mají v buněčné šťávě velké množství rozpuštěného vápníku a malé množství draslíku, kalcifobní rostliny srážejí ve vakuole Ca^{2+} pomocí kyseliny oxalové na ve vodě nerozpustný oxalát vápenatý a obsahují velké množství rozpuštěného

draslíku. Tyto kalcifobní rostliny mohou růst na vápenci jen tehdy, jestliže mají dostatek kyseliny oxalové, a tím i možnost přijímaný vápník vylučovat jako oxalát. Čím více jsou nuceny přijmout Ca^{2+}, tím více oxalátu vápenatého se akumuluje. Kalcitofyty vytvářejí na vápencovém podkladě celá kalcikolní společenstva, která se druhově liší od společenstev kalcifobních na silikátovém podkladu (Slavíková, 1986).

1.6 Biotopy na hadci

Hadec (serpentin) je převážně křemičitan železnatohořečnatý. Půdy na tomto substrátu obvykle rychle propouštějí vodu, jsou tedy většinou suché a poměrně teplé. Mají většinou mírně alkalickou reakci. Po chemické stránce obsahují malé množství vápenatých, draselných a sodných iontů a také málo dusičnanů a fosforečnanů. Zvětráváním horniny se tvoří uhličitan hořečnatý, který není vybalancován vápenatými ionty a působí na vegetaci toxicky, zvláště v alkalickém prostředí. Některé rostlinné druhy jsou svým výskytem vázány na hadcový podklad a jsou svým metabolismem adaptovány na chemické a fyzikální vlastnosti tohoto substrátu tak, že tyto podmínky pro svou existenci nutně potřebují. Nazývají se obligátní serpentinofyty. V naší květeně je jich velmi omezený počet. Např. sleziník hadcový (*Asplenium cuneifolium* Viv.) nebo sleziník nepravý (*Asplenium adulterinum* Milde), jak udává Slavíková (1986).

1.7 Biotopy na písčitých substrátech

Písčité nezpevněné substráty (bez obsahu $CaCO_3$) mají specifické fyzikální a chemické vlastnosti, které jsou pro řadu druhů nevhodné, a tedy pro jejich výskyt limitující. Patří mezi ně váté písky (v Polabí, oblast severně od Hodonína, Bzenec), dále aluviální (náplavové) písky, náplavy křemenného písku, zvětralé pískovce nebo žuly (Petrovice na Sedlčansku). Rostliny adaptované na růst na písečných substrátech se nazývají psamofyty (psamofilní rostliny). Převaha nekapilárních pórů způsobuje velmi malou vzlínavost vody vzhůru z hladiny podzemní vody, povrch těchto substrátů je tudíž odkázán pouze na přísun srážkové vody. Rovněž dochází k rychlému přehřívání povrchové vrstvy písků. Psamofyty, které u nás rostou na nezpevněných oligotrofních písčitých substrátech jsou např. paličkovec šedý (*Corynephorus canescens* (L.) P. Beauv.), kostřava písečná (*Festuca psammaphila* Hack. ex Čelak. Fritsch), jitrocel písečný (*Plantago arenaria* (W. et K.) Mirbel), hvozdík písečný (*Dianthus arenarius* L.), smil písečný (*Helichrysum arenarium* (L.) Hoench), mateřídouška

úzkolistá (*Thymus serpyllum* L.). Mořské duny osidlují především vegetativně se rozšiřující trávy, které jsou schopny růst na pohyblivých písčitých substrátech např. kamýš obecný (*Ammophila arenaria* (L.) Link), ječmenice písečná (*Elymus arenarius* (L.) Hochst.), pýrovník dunový (*Agropyron junceum* (L.) P. Beauv.), popř. druhy cibulnaté - lír mořský (*Pancratium maritimum* L.), Urginea přímořská (*Urginea maritima* (L.) Stearm), jak uvádí Slavíková (1986).

1.8 Zvýšená koncentrace solí (chloridů, síranů, uhličitanu sodného)

Zasolené půdy se vyskytují nejen v blízkosti moře, ale i ve vnitrozemských oblastech, kde potenciální výpar (tj. množství vody, které by se za daných klimatických podmínek odpařilo, pokud by byla voda v půdě stále v dostatečném množství) převažuje nad srážkami. Jde především o rozsáhlé pouště a polopouště na všech kontinentech. K zasolení může také dojít při dlouhodobých závlahách a také v okolí komunikací posypávaných solí v zimním období. Halofytní rostliny snášejí bez poškození i značné zasolení půdy. U části druhů je příjem solí dokonale kontrolován vysokou selektivitou plazmatické membrány pro transport iontů do buněk kořenů, takže i v podmínkách silného zasolení (např. u mangrovů na mořských pobřežích) proudí v xylému téměř čistá voda. Tyto druhy mají též schopnost dobrého rozlišení iontů Na^+ a K^+ (s preferencí příjmu K^+). U většiny halofytů však není příjem solí tak dokonale řízen, což vede k jejich hromadění v listech. Avšak i u těchto druhů jsou organely a enzymy v cytozolu citlivé na vyšší obsah solí, a proto jsou soli ukládány do vakuoly a apoplastu. Vysoký osmotický tlak vakuolární šťávy musí být vyrovnáván zvýšenou koncentrací kompatibilních osmoticky aktivních látek v cytozolu (sacharidů, prolinu aj.). Část solí bývá vylučována na povrch listu. Kyselé půdy představují v současné době závažný problém nejen ve střední Evropě, ale i na jiných kontinentech. Nadměrná kyselost půdy může mít velmi rozmanité příčiny i důsledky pro růst rostlin. Na poklesu pH půdy se podílí nejen vstup vodíkových iontů z kyselých srážek, ale i nevhodný způsob obhospodařování (nadměrné hnojení dusíkatými hnojivy, dlouhodobé pěstování monokultur, sklizeň i odvoz veškeré biomasy), jak uvádí Procházka a kol. (1998).

Prach a kol. (2009) uvádějí, že vnitrozemská slaniska najdeme maloplošně na vývěrech minerálně bohatých vod (vzácně i u nás) nebo na solemi bohatých horninách, velkoplošně pak v aridním klimatu (v subtropickém pásmu tlakových výší nebo v centrálních částech

kontinentů), kde převládá výrazně výpar nad srážkami a soli se hromadí na povrchu půdy. Pokud jsou tyto halofilní (slanomilné) ekosystémy po většinu roku pod vlivem hladiny vody, můžeme je řadit k mokřadům.

V terestrických ekosystémech se slaniska (stanoviště s půdami se zvýšenou koncentrací solí) vytvářejí jen za speciálních klimatických a půdních podmínek. V humidních oblastech, kde suma srážek přesahuje sumu výparu vody z půdy, se vytvářejí slané půdy jen tam, kde je stálý přísun solí např. mořským přílivem, nebo se často tvoří u vývěrů minerálních pramenů, které obsahují soli, jako je tomu u nás např. v západních Čechách. V aridních oblastech, kde výpar vody z půdy převyšuje srážky, dochází ke vzlínání rozpuštěných roztoků solí ze spodních půdních horizontů k povrchu a pak k vysrážení a koncentraci těchto solí na povrchu půdy. Děje se tak především v bezodtokových půdních depresích, kde jsou půdy obohacovány přísunem solí záplavovými vodami. U nás jsou největší plochy slanisek v teplé a relativně suché panonské oblasti na jižní Moravě. Kromě vhodných klimatických podmínek je v této oblasti hlavním původcem slanisek minerálně bohatý půdní substrát (zvláště neogenní sedimenty, jako slíny, vápnité písky, jíly, spraš) se snadno rozpustnými solemi, které jsou vodou do kotlin zanášeny a zde se hromadí, nebo vzlínají jako půdní roztoky z minerálně bohatého a rozpustného podloží na povrch půdy. Koncentrace solí v půdě kolísá během roku podle toho, v jakých intervalech a v jakém množství dopadají dešťové srážky, které vyluhují soli z povrchu do půdy a jaké jsou teploty, jež umožňují při evaporaci posun vyluhovaných solí zpět k povrchu půdy. Slané půdy mohou mít různé chemické složení a různou koncentraci solí. Slané půdy s mírně kyselou až neutrální reakcí mohou obsahovat pouze chloridy, častěji však, především v aridních oblastech polopouští a stepí, jsou alkalické slané půdy s obsahem síranů a uhličitanů (Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}). Kromě přirozeného vzniku slaných půd se v současné době vytvářejí slané půdy také uměle podél vozovek v důsledku posypu solemi v zimním období. Všeobecně se ukazuje, že při zasolování půd lemujících komunikace dochází k velmi nepříznivé bilanci živin v půdním roztoku. V normálních půdách bez kontaminace solemi je podíl draslíku všeobecně vyšší než podíl sodíku. To souvisí hlavně s tím, že sorpce sodíku na půdní koloidy je slabá, a sodík je tak lehce vymývatelný. V zasolených půdách je bilance obrácená. V půdě se kumulují vysoké koncentrace sodíku a chloridových iontů za velmi nízké koncentrace draslíku. To se projevuje především v jarním období, kdy je příjem živin rostlinami nejintenzivnější.

V zasolených půdách bylo také zjištěno extrémně nízké množství fosforu a vápníku. Předpokládá se, že vápník je vytěsňován ze sorpčního komplexu sodíkem. Půda je tak nadměrným množstvím sodných solí postupně odvápňována. Vápník je vyplavován do spodních vrstev půdy a sorpční komplex je jednostranně přesycen sodnými ionty. To také způsobuje, že v posledních letech pozorujeme v zasolených půdách trvale vysoký obsah sodíku, který neklesá ani do zimy a zůstává po celý rok. Zvyšující se koncentrace solí v půdě je spojena se zvyšujícím se pH. Většina rostlin nesnáší vyšší koncentraci solí v půdě. Nazývají se halofobní rostliny (slanostřežné rostliny). Tyto rostliny nejsou schopny adaptace na zvýšený osmotický tlak půdního roztoku. Bylo zjištěno, že jejich protoplast je porušen již při koncentraci roztoku 1 až 1,5% NaCl. Příkladem halofobních druhů mohou být rostliny z čeledi bobovité (*Fabaceae*), vřesovcovité (*Ericaceae*) nebo také naše zeleniny např. mrkev (*Daucus)*, květák (*Brassica oleracea var. botrytis* (L.) MARKGR.) a většina našich listnatých dřevin (Slavíková, 1986).

Rostliny, které nejen vyšší koncentraci solí snášejí, ale pro svůj růst a vývoj ji potřebují, se nazývají obligátní halofyty (či halofyty v užším slova smyslu) – obligátní (závazné) slanobytné rostliny. Obligátní halofyty mají vytvořeny některé funkční a morfologické adaptace, které jsou reakcí na zvýšenou koncentraci solí v půdě. Jejich specifickou fyziologickou vlastností je schopnost regulovat příjem solí z půdního roztoku a vytvoření zvláštních mechanismů, regulujících osmotický tlak buněčného obsahu. Mohou ve svých buňkách akumulovat ionty Na^+ a Cl^-. Nejčastější adaptace a regulace přísunu solí do rostliny jsou tyto:

1. Některé halofyty mohou regulovat přísun solí do buňky jejich vylučováním (exsudací) na povrchu listů. Tímto způsobem udržují hromadění solí v buňce v určitých mezích. Tyto regulace byly zjištěny např. u sivěnky přímořské (*Glaux maritima* L.), bařičky přímořské (*Triglochin maritima* L.) a u některých dřevin tvořících mangrovové porosty např. rod kolíkovník (*Avicennia*).
2. U některých halofytů např. sítiny Gerardovy (*Juncus gerardii* Loisel.) je koncentrace solí regulována tak, že staré listy, jejichž buňky jsou přesyceny solí, usychají a opadávají. Mezitím vyrostou nové listy, které jsou schopny sůl přijímat. Podobný způsob regulace je znám u halofytů z čeledi hvozdíkotvaré (*Chenopodiaceae*), u který jsou soli vylučovány do

buněčné šťávy puchýřkovitých chlupů na povrchu listů. Tyto chlupy brzy odumírají a jsou nahrazovány novými, do nichž je sůl znovu koncentrována.

Jiný způsob regulování koncentrace iontů solí v buňce je sukulence rostlin. Buňky rostlin přijímají se vzrůstající koncentrací solí také vzrůstající množství vody (Slavíková, 1986).

Howell a kol. (2016) uvádí další příklady slanomilných rostlin, vyskytujících se v solných bažinách (slaniskách). Limonky (*Limonium*) například skladují přebytečnou sůl ve zvláštních hrbolcích na povrchu listů, z nichž se sůl posléze uvolňuje do vzduchu. Solničky (*Suaeda*) zase ve svých dužnatých listech uchovávají sladkou dešťovou vodu. Z dalších slanomilných rostlin lze jmenovat hvězdnici slanistou (*Tripolium pannonicum* (Jasq.) Dobrocz.), jitrocel přímořský (*Plantago maritima* L.), tlustobýl (*Sesuvium portulacastrum* (L.) L.), bařičku přímořskou (*Trglochin maritima* L.)

1.9 Zvýšená koncentrace dusíkatých látek v půdě

Dusík je rostlinami přijímán pouze v anorganické formě jako nitrát NO_3^-, nebo jako amonný ion NH_4^+. Proto o zásobení rostlin dusíkem na stanovišti nerozhoduje celkové množství dusíku v půdě, ale to množství, které je vázáno v přípustné formě pro rostliny. V matečné hornině se dusík zpravidla nevyskytuje. Ačkoliv matečná hornina není zdrojem dusíkatých sloučenin, přijímají rostliny dusík z půdy, kam se dostává z plynných sloučenin dusíku, obsažených v atmosféře, dále činností mikroorganismů, které mají schopnost vázat za účasti enzymu nitrogenázy atmosferický dusík. Dalším způsobem, kterým se dusík dostává do půdy je mineralizace odumřelé organické hmoty, anebo se dusík dostává do půdy dusíkatými hnojivy (např. nitráty, amonnými solemi, močovinou). Na stanovištích, kde probíhá nitrifikace optimálně a kde jsou v půdě stálé zásoby sloučenin dusíku přístupných pro rostliny, rostou rostliny náročné na dusík. Nazývají se nitrofyty (nitrofilní rostliny). Tvoří někdy i celá nitrofilní společenstva. Půdy s nedostatkem přístupného dusíku jsou často půdy s kyselou reakcí, která brzdí nitrifikační činnost mikroorganismů. Na takových stanovištích rostou nitrofobní rostliny. Na substrátech s nedostatkem dusíku, jako je tomu na rašeliništích, se vytvářejí u nitrofobních rostlin xeromorfní adaptace ve stavbě nadzemních části i při dostatečné zásobě vody v půdě, jako jsou drobné tuhé listy s podvinutými okraji, často erikoidní listy, např. u rojovníku bahenního (*Ledum palustre* L.*)*, klikvy žoroviny (*Oxycoccus palustris* L.), šichy (*Empetrum* sp.). Na těchto rašelinných substrátech rostou

také tzv. masožravé rostliny, které nedostatek dusíku v půdě doplňují dusíkatými sloučeninami, které uvolňují rozkladem těl živočichů, zachycených na povrchu listů. Jsou to např. druhy rodu rosnatka (*Drosera*), tučnice (*Pinguicula*), jak uvádí Slavíková (1986).

Jak uvádí Howell a kol. (2016), květiny rostoucí v bukových lesích dávají přednost chudé půdě, která špatně drží vodu. Například bukům na podzim opadává listí, které se však rozkládá tak pomalu, že na zemi vzniká silná vrstva listového opadu. Na jaře se v bukových lesích vyskytují například violka Rivinova (*Viola riviniana* Rchb.), svízel vonný (*Galium odoratum* M. L. Scop.). V létě se pod větvemi buků pro změnu objevují zvonek kopřivolistý (*Campanula trachelium* L.), zlatobýl obecný (*Solidago virgaurea* L.), okrotice červená (*Cephalanthera rubra* (L.) L. C. Rich., nebo kuklík městský (*Geum urbanum* L.).

1.10 Zvýšená koncentrace těžkých kovů

Půdy obsahující vyšší koncentraci iontů těžkých kovů, zvláště Zn, Pb, Ni, Co, Cr a Cu a dále Mn, Mg, Cd, mohou vzniknout buď přirozeným způsobem na matečných horninách, které tyto prvky ve vyšší koncentraci obsahují, nebo v průmyslových oblastech spadem tuhých nebo plynných emisí (Hg, Cu, Pb, Cd, Zn, Mn), anebo vlivem výfukových plynů (Pb) kolem vozovek. Většina rostlin je citlivá na obsah těžkých kovů v půdě. Přítomnost těchto kovů způsobuje u rostlin především poruchy otevírání průduchů, porušení dýchání, snížení fotosyntézy, růstu a inaktivaci enzymů. Proto lokální nahromadění toxických sloučenin těžkých kovů v půdě omezuje výběr rostlin na velmi úzce selektovanou skupinu specialistů, kteří takové půdy tolerují a mnohdy i tyto prvky akumulují. Některé druhy s velkou genetickou variabilitou mohou vytvářet specializované ekotypy a ty pak mohou být rezistentní k různým těžkým kovům a prvkům v půdě (Slavíková, 1986).

Procházka a kol. (1998) uvádí, že toxické kovy, zejména zinek, olovo a kadmium, se dostávají do půdy ve větších množstvích usazováním prachu z průmyslových procesů, z výfukových plynů, z kontaminovaných odpadních vod a hnojiv. K jejich největšímu hromadění dochází v kořenech, část je pak translokována do nadzemních částí, kde nejvíce ovlivňuje fyziologické procesy v listech, v prvé řadě fotosyntézu. Odolné rostliny (např. některé trávy) mohou především značně znesnadňovat vstup toxických iontů do cytosolu, a to vylučováním organických kyselin do rizosféry, sorpcí na pektinové látky v buněčných stěnách a konečně i větší selektivitou transportních proteinů v plazmatické membráně.

K vnitrobuněčným detoxikačním mechanismům patří zejména tvorba stresových proteinů zahrnující odolnější izoenzymy, ale také proteázy a ubikvitin pro urychlení rozkladu poškozených proteinů. Další velmi účinnou reakcí je tvorba specifických sloučenin (fytochelatinů) schopných inaktivovat těžké kovy vazbou do chelátových komplexů. Komplexně vázané toxické ionty jsou transportovány do vakuoly, kde i po uvolnění z fytochelatinu jsou inaktivovány vysokou koncentrací organických kyselin.

Některé tyto rostliny mohou být používány jako fytoindikátory těchto půd. Někdy se tyto rostliny nazývají metalofyty (rostliny těžkých kovů). Je vhodné je používat při ozeleňování míst kolem dolů nebo v průmyslových oblastech, kde je zvýšená koncentrace těžkých kovů v půdě (Slavíková, 1986).

2 Bioindikace

Obecně lze říci, že přítomnost každé rostliny a živočicha (a jejich stav) je mírou podmínek, za nichž existují nebo existovali. Například výskyt kopřivy dvoudomé (*Urtica dioica* L.) signalizuje možné vysoké hladiny dusíku v půdě, výskyt vrbky úzkolisté (*Chamerion angustifolium* L.) indikuje narušené půdní poměry nebo nějaký jiný typ narušení. Po celou historii lidstva bylo v různých kulturách známo, že přítomnost určitých druhů, zejména rostlinných, ukazuje na určité podmínky prostředí. Například domorodci v západní Africe dovedli odedávna rozpoznat dobrou půdu dle přítomnosti trnovníku (*Acacia albida* L.), nebo trávy (*Andropogon gaynus* Kunth). Například přítomnost jednoho druhu bazalky (*Ocinum homblei* De Wild.) rostoucí v Zimbabwe je ukazatelem vysokého obsahu mědi v půdě. Rostlinných bioindikátorů se také běžně užívalo při hledání zlata. Protože populace živočichů i rostlin jsou součástí společenstev, můžeme pojem indikátorového druhu rozšířit na indikátorová společenstva. Různým půdám (např. na hadci, vápencovým nebo kyselým půdám) odpovídají různá rostlinná společenstva, která zde rostou. Dobrým příkladem rostlinného indikátorového společenstva je charakteristická květena hadcových půd, které mají nízký obsah vápníku a vysoký obsah hořčíku. Na severoamerických hadcových půdách je vegetace obvykle řídká a zakrslá, tvořená endemickými druhy (např. *Quercus durata* Jeps.*, Coeonothus jepsoni* Greene*, Garrya congdoni* Eastw. *a Cupressus sargentii* Jeps.) a nápadně se odlišuje od vegetace rostoucí na okolních půdách. Jiným příkladem jsou vřesoviště, společenstva nízkým zakrslých keříků, která rostou na oligotrofních, kyselých půdách. Rostlinných společenstev jako indikátorů chemického složení půdy, a dokonce i hloubky spodní vody se využívalo v SSSR, kde byla objevena „voda nejlepší jakosti“ pod asociacemi, v nichž převládaly psárka luční (*Alopecurus pratensis* L.)*,* pýr hřebenitý (*Agropyron pectiniforme* Roem. et Schult) a kavyl vláskovitý (*Stipa capillata* L.), uvádí (Spellerberg, 1995).

Bioindikace se může uplatňovat na nejrůznějších organizačních úrovních – od molekulární až po krajinnou úroveň detektory – organismy, které se vyskytují přirozeně a reagují na změny prostředí, exploatátory – organismy, jejichž přítomnost signalizuje narušení a znečištění prostředí. Bioindikace by neměla nahrazovat přímá fyzikální, fyzikálně-chemická, chemická měření stanovištních faktorů v v terénu. Vhodnější je využití celých

společenstev jako bioindikátorů (než jednotlivých druhů rostlin). V poslední době se bioindikační metody stále více uplatňují v tzv. ekologickém monitorování (tj. cílevědomém sledování stavu životního prostředí, jeho kvality, stupně znečištění atp.). Jako bioindikátory se používají např. bez černý (*Sambucus nigra* L.) pro těžké kovy, některé jedlé houby (těžké kovy, PCB, PAH), jak uvádí Dykyjová (1989).

Biologické metody se uplatňují při stanovení chemických škodlivin ve vodě, v ovzduší i v půdě. V diagnostice složek životního prostředí biologickými metodami se často používá nepřímá indikační metoda. Poznání zákonitosti a vazeb mezi kolísáním výskytu, chováním, morfologickými znaky, fyziologickými procesy, populační dynamikou rostlin a živočichů, velikostí a strukturou jejich společenstev s podmínkami složek prostředí umožňuje využít této odchylky od normálu jako nepřímé indikátory stavu a vývoje složek prostředí (Tölgyessy, 1989).

Dykyjová (1989) uvádí, že bioindikace může sloužit k rychlé orientaci tam, kde nejsou k dispozici speciální poznatky a údaje, anebo kde jde o první přístup k průzkumu. Stačí vzpomenout jen na význam indikačních rostlin v geobotanice či lesnické typologii, v klimatologii oblastí, kde nejsou meteorologické stanice, nebo při určování místních klimatických zvláštností, jako jsou lokální inverze, převládající směr větrů (zde se mimo indikačních druhů používá i změn v habitu rostlin), anebo v geologické prospekci rudných nalezišť. Druhy úzce vázané na extrémní stanovištní podmínky např. rostliny vázané na zasolené půdy, můžeme použít jako bioindikátory. Jakmile se některé spontánně objeví ve větším množství, lze z jejich výskytu odvodit jak nastalou změnu, tak i její původ. Podél silnic se např. dosti spolehlivě vymezují pásma půdy poškozené zimním solením vozovky na základě invaze halofilních rostlin, zvláště zblochance oddáleného (*Puccinella distans* (Jacq.) Parl.). Pro některé významné exhaláty, např. ozón, PAN, SO_2, byly již sestaveny jakési srovnávací škály rostlinných indikátorů, které umožňují průběžně zjišťovat nejen přítomnost škodlivin, ale i přibližnou intenzitu jejich působení. Změna prostředí je obecně signalizována buď expanzí nebo recesí rostlinných populací a společenstev. Dlouhodobé a rozsáhlé změny podmínek prostředí lze rozpoznat podle krátkodobé a dlouhodobé reakce jako změny v růstových a distribučních vzorcích rostlin (zánik, recese, expanze); krátkodobé a dlouhodobé změny druhové kombinace v rostlinných společenstvech (pokles diverzity,

příchod nových a/nebo invazních neofytů) a změny jejich rozšíření; dlouhodobá evoluční odezva v morfologii, genové frekvenci a adaptabilitě rostlinných populací kontrolujících konkurenci a distribuci. Přestože se mapování jednotlivých rostlinných a živočišných druhů jeví jako časově náročnější a nákladnější než rychlé opakované mapování vegetace dálkovým průzkumem Země, oba postupy jsou nezbytné pro získání přesných dat a komplexních informací o probíhající změně přírody. Vačkář (2005) uvádí, že sestavení indikátorů biodiverzity je odvislé od měření biodiverzity. Pro vývoj indikátoru lze využít celou řadu přístupů. Nejčastěji používané míry biodiverzity jsou založeny na indexech diverzity (např. Shannonův nebo Simpsonův index), indexech početnosti jedinců dané populace nebo relativních změnách hustoty populací. Indexy druhové početnosti nemají vždy požadovanou výpovědní hodnotu, a proto je lze odpovídajícím způsobem vážit, například početností či biomasou, taxonomickou a funkční příslušností nebo stupněm ohrožení. Náročnost inventarizací je také důvodem rozvoje tzv. zástupných měr, kdy výskyt určitých taxonů předpovídá místa s vysokou koncentrací biodiverzity či místa s určitými podmínkami životního prostředí.

Takové druhy se označují jako bioindikátory, tj. specifické organizmy detekující znečištění a zátěž prostředí. Zahrnují například sentinely, detektory či exploatory (Spellerberg, 1995).

Jak udává Anděl (2011), pro bioindikaci na úrovni společenstva jsou typické tyto charakteristiky:

- Integrující vliv všech biotických a abiotických faktorů, který zásadně komplikuje hledání přímých příčinných závislostí mezi toxikantem a společenstvem.
- V řadě případů je předmětem hodnocení sumární „antropogenní vliv“ všech faktorů vyvolaných člověkem na společenstvo.
- Zásadní je také význam sekundárních vlivů toxikantů, což vyžaduje komplexní přístup k hodnocení všech ekologických faktorů.

Vliv na struktura společenstva může být popisován z několika hledisek: taxonomického (druhové složení), funkčního (podle vzájemných vazeb mezi druhy, např. v potravním řetězci vazby mezi producenty, konzumenty a destruenty), prostorového (vytváření prostorových struktur, ať již v horizontálním, či vertikálním směru - vegetační patra, pravidelné rozložení či agregace jedinců aj.). Dostupnost biogenních prvků a živin je pro

každý organismus zásadním faktorem, který ovlivňuje jeho rozšíření. Tolerance vůči různým prvkům je různá, proto existují druhy s širokou valencí, nebo naopak druhy přísně vázané na určité složení substrátu, které se jinde nevyskytují. Příkladem mohou být vápnomilné druhy rostlin, vytvářející typická rostlinná společenstva na vápencích, ale na lokalitách s jiným substrátem se nevyskytují (i když leží třeba v těsném sousedství). Na druhou stranu ale existují druhy, které se danému typy prostředí zcela vyhýbají. Lze říci, že všechny kvantitativní parametry, které se používají pro popis společenstva (počet druhů, jejich abundance, pokryvnost, prostorová distribuce aj.) mohou být využity i pro popis účinků toxikantu na společenstvo a ekosystém a zpětně i pro bioindikaci.

Základní bioindikační přístupy zaměřené na kvantitativní parametry biodiverzity lze rozdělit do 3 základních skupin:

a) hodnocení počtu druhů určité taxonomické skupiny
b) hodnocení pomocí indexů biodiverzity
c) hodnocení pomocí syntetizujících indexů kvality prostředí

Při hodnocení počtu druhů určité taxonomické skupiny, by skupina vhodná pro bioindikaci měla splňovat následující kritéria: prověřenou citlivost skupiny ke sledovanému toxikantu, možné rozdělení jednotlivých druhů do skupin podle citlivosti (stupnice citlivosti indikačních druhů), dostatečné znalosti o rozšíření a ekologii vybraných společenstev, snadné a jednotné určování jednotlivých druhů (taxonomická determinace). Při stanovení počtu druhů jako diagnostického kritéria je sjednocení taxonomického přístupu zásadní, možným řešením je výběr definované skupiny indikačních druhů a z ní pak stanovovat počet přítomných druhů. Hlavní skupiny používané při indikaci antropogenních zásahů do krajiny jsou z rostlinné říše vyšší rostliny a lišejníky. Při hodnocení pomocí syntetizujících indexů kvality prostředí se jedná o indexy, které strukturu společenstva přepočítávají na základě různé citlivosti jednotlivých druhů na modelovou hodnotu celkové zátěže prostředí. Tyto indexy vychází ze skutečnosti, že citlivost jednotlivých druhů k toxikantu se liší, tyto druhy se označují jako indikační. Citlivost indikačních druhů lze kvantifikovat většinou za použití semikvantitativních stupnic, kde na jedné straně jsou druhy vysoce odolné a na druhé straně druhy vysoce citlivé. Každému druhu je tedy přiřazena určitá váha z hlediska toxitolerance. U každého indikačního druhu lze stanovit parametr, který modeluje míru výskytu daného

druhu na hodnoceném místě (frekvence výskytu, abundance, celková biomasa aj.). Je stanoven algoritmus, kterým se ze tří základních proměnných (počet indikačních druhů, jejich citlivost, hojnost jejich výskytu) vypočítává celková hodnota indexu. Indexy mohou být konstruovány tak, že jsou buď přímo, nebo nepřímo úměrné kontaminaci prostředí (např. Index saprobity). Při hodnocení energetické bilance se setkáváme se základními parametry, které se využívají jako diagnostický znak při bioindikaci:

- Primární produkce (P) – množství organické hmoty vyprodukované autotrofními organismy (tedy převážně rostlinami) za určitý časový interval. Může být vyjádřena ve váhových jednotkách nebo přepočtena na energetické jednotky. Počítá se, že 1 g fytomasy odpovídá cca 18,5 KJ energie v ní chemicky vázané.
- Respirace (R) – dýchání – proces, při kterém dochází k uvolňování energie vázané v chemických vazbách a k jejímu dalšímu využití. V energetické bilanci představuje spotřebu chemické energie systémem za určitý časový interval. Je využívána v některých testech jako diagnostický znak. Závislost mezi dávkou toxikantu a intenzitou dýchání není obecně jednoznačná. Většinou v počátečních fázích působení toxikantu dochází ke stimulaci dýchání (organismus se brání a spotřebovává větší množství energie) a v dalších fázích s vyčerpáním organismu následuje pokles.
- Čistá primární produkce – množství organické hmoty vyprodukované autotrofními organismy po odečtení spotřeby (respirace).
- Biomasa (B) – množství organické hmoty jedinců nebo společenstva ve vymezeném prostoru v daném čase. Vyjadřuje se ve váhových nebo energetických jednotkách vztažených většinou na plochu území (např. g/m^2) nebo na objem média (např. g/m^3). Množství biomasy a její změny v čase jsou základním endopointem růstových testů.

V energetické bilanci společenstva se pod vlivem toxikantu projevují obdobné základní tendence jako při působení jiných stresorů. Jedná se především o tyto jevy, kdy:

a) Roste respirace společenstva. Působením toxikantu dochází ke škodám, na které reaguje společenstvo tím, že zavádí obranné a opravné prostředky. To ale vyžaduje spotřebu energie, která se projeví zvýšenou hodnotou respirace. Energie jinak

využívaná pro růst se spotřebovává na zvýšenou údržbu systému. Nárůst respirace společenstva je často prvním varovným signálem působení stresoru.

b) Nevyrovnaný poměr mezi produkcí a respirací. Teoreticky ideální hodnota pro systém v rovnovážném stavu je P/R = 1. Ten ale není často dosahován ani v podmínkách bez působení stresoru a značně kolísá. Při tvorbě energetických zásob je P/R > 1, při jejich spotřebovávání je P/R < 1. Vlivem stresoru dochází k rozkolísání běžného poměru P/R.
c) Poměr produkce k biomase (P/B) a respirace k biomase (R/B) má tendenci růst. To odpovídá snaze společenstva nahradit energii spotřebovanou na reparační procesy další produkcí. Toto navýšení má ale jen omezenou kapacitu, při dlouhodobém vlivu dochází k vyčerpání.

Tyto testy patří k velmi rozšířeným, např. řasy jsou základním modelem primárního producenta ve vodním ekosystému. Provedení testů je velmi rozmanité a kombinují se zde jednotlivé druhy organismu, statická či průtočná provedení, jednodruhové nebo vícedruhové testy. Ze sladkovodních řas se používají např. *Raphidocelis subcapitata, Desmodesmus sp., Chlorella sp.,* z mořských řas *Skeletonema costatum.* Analogické jsou testy se sladkovodními sinicemi (*Microcystis aeruginosa*, *Anabena flosaquae*) standardizováno je složení kultivačního média, teplota roztoku a světelný režim, jak dále dodává Anděl (2011).

Tölgyessy (1989) zmiňuje, že jehlice borovice (*Pinus*) jsou výbornými indikátory síry v ovzduší, protálium kapradin reaguje změnou růstu už na velmi malé množství chlóru v ovzduší. Na indikaci ozónu ve smogu je možné použít karafiát zahradní (*Dianthus caryophylus* L.), petúnie (*Petunia*), z dřevin jabloň bobulovitou (*Malus baccata* (L.) Borkh.), tavolník (*Spiraea)*, pámelník bílý (*Symphoricarpos albus* (L.) S. F. Blake). Na zvýšený obsah fluóru reagují druhy rodů mečík (*Gladiolus*), tulipán (*Tulipa*) a mahónie (*Mahonia*).

Tölgyessy (1989) dále uvádí, že velmi dobrými indikátory škodlivin ovzduší jsou jehličnaté dřeviny. Jedním z citlivých ukazatelů je délka života jehlice, která je v málo zamořených oblastech přibližně 4 roky. S intenzivním zamořením se snižuje věk jehlic postupně až na 1 rok. Spolu s anatomickými příznaky se objevují i morfologické změny. Většinou se, hlavně okolo průduchů, vytvářejí na jehlicích rozličné velké zóny odumřelých buněk, což se

projevuje tvorbou nekrotických oblastí a různým stupněm hnědého zbarvení. Kromě celkového počtu druhů a jejich složení se vyhodnocují i změny z hlediska převažujících (dominantních) a ustupujících (recentní) druhů rostlin.

Slavíková (1986) dodává, že také dřeviny lemující cesty jsou různě citlivé k zimnímu solení vozovek. Dřeviny citlivé na zvýšenou koncentraci solí v půdě jsou buk lesní (*Fagus sylvatica* L.), lípa americká (*Tilia americana* L.), topol černý (*Populus italica* (Duroi) Moench.), smrk sivý (*Picea glauca* (Moench.) Voss), borovice vejmutovka (*Pinus strobus* L.), vrba nachová (*Salix purpurea* L.), růže šípková (*Rosa canina* L.). Dřeviny relativně snášející sůl v půdě jsou bříza bělokorá (*Betula pendula* Roth.), javor mléč (*Acer platanoides* L.), jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior* L.), borovice černá (*Pinus nigra* J. F. Arnold*)*, jalovec čínský (*Juniperus chinensis* L.), kustovnice čínská *(Lycium halimifolium* Mill.), mochnovec křovitý (*Potentilla fruticosa* (L.) Rydb.). Příklady našich obligátních halofytů jsou slanorožec bylinný (*Salicornia herbacea* (L.) Dumort.), solnička přímořská (*Suaeda maritima* L.), sivěnka přímořská (*Glaux maritima* L.), slanobýl draselný (*Solsola kali* L.), zblochanec oddálený (*Puccinellia distans* Jacq. Parl.), kafranka roční (*Camphorosma annua* Pall.), hvězdnice slanistá (*Aster tripolium* L.) a další. Z mechů je obligátní halofyt např. *Pottia heimii* (Hedw.) Furnr. V naší květeně nejsou halofyty mezi dřevinami. Dřevinné halofyty však vytvářejí např. mangrovové porosty na pobřeží tropických moří a brakických vod v deltách řek např. dřeviny rodu kolíkovník (*Avicennia*), kořenovník (*Rhizophora*), kuželovník (*Sonneratia*), nebo rostou na slaných půdách polopouští, např. saxaul (*Haloxylon*). V poslední době se na některých místech v Praze a i v jiných městech, začíná šířit ve vegetaci kolem vozovek i obligátní halofyt tráva zblochanec oddálený (*Puccinellia distans* Jacq. Parl.). Indikuje zvyšující se koncentraci solí v půdě, která se ani během letního období nestačí z povrchu půdy zcela vyplavit.

Rovněž Tölgyessy (1989) uvádí, že v poslední době se užívá rostlin jako fytoindikátorů, jimiž se testuje stupeň kontaminace prostředí. Používají se jak vyšší, tak nižší rostliny (např. mechy). Mezi vyššími rostlinami se ukázala jako vhodná rostlina pro indikaci emisí HF a SO_2 třezalka tečkovaná (*Hypericum perforatum* L.). Třezalka byla vybrána proto, že je sice k emisím citlivá, ale na druhé straně nehyne ihned ani při vyšších koncentracích. Dále je druhem eurytopním, takže se vyskytuje s dostatečnou frekvencí. Jako kritérium pro testování

bylo sledování stupně (tj. počtu a velikosti) nekrotických změn na listech. Na mapách pak byly vymezeny zóny v okolí sledovaných průmyslových center, různého stupně kontaminace i hranice vlivu znečištění. Mezi našimi dřevinami jsou jehličnany citlivější k emisím než opadavé listnáče. Kromě toho, že mají jiné vlastnosti, je to také tím, že každým rokem nově vytvořené listy u listnáčů nejsou zatíženy toxickým a mechanickým vlivem imisí (jsou čisté) oproti jehličí u jehličnanů, přetrvávajícím několik let (v průměru asi 4 roky). Mezi jehličnany jsou nejcitlivější jedle bělokorá (*Abies alba* L.), smrk obecný (*Picea abies* (L.) H. Karst.), borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.). Z našich listnáčů je citlivý především buk lesní (*Fagus sylvatica L.*), dále lípa srdčitá (*Tilia cordata* Mill.) i lípa velkolistá (*Tilia platyphyllos* Scop.), habr obecný (*Carpinus betulus* L.), jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior* L.). Jeník (1972) doplňuje, že podle pH půdního prostředí rozlišujeme acidofyty, rostoucí na půdách s reakcí nižší než pH 6,7 např. metlice křivolaká (*Avenella flexuosa* L.), kostřava ovčí (*Festuca ovina* L.), bika hajní (*Luzula luzuloides* (Lam.) Dandy et Wilmott), bělomech sivý (*Leucobryum glaucum* (Hedw.) Angst.), brusnice brusinka (*Vaccinium vits-idaea* L.), smilka tuhá (*Nardus stricta* L.), neutrofyty rostoucí na půdě s pH 6,8 – 7,2 (mezi ně patří rostliny kalcifilní) a alkalofyty vyžadující pH půdy vyšší než 7,2 (většina druhů halofilních). Slavíková (1986) udává, že podle amplitudy pH půdního prostředí dělíme rostliny do tří skupin:

1. Acidofyty (acidofilní rostliny) a amplitudou pH do 6 např. kostřava ovčí (*Festuca ovina* L.), bika hajní (*Luzula luzuloides* (Lam.) Dandy et Willmott, rosnatka okrouhlolistá (*Drosera rotundifolia* L.).
2. Neutrofyty (neutrofilní rostliny) s amplitudou kolem pH 7. Většina našich rostlin jsou neutrofyty.
3. Alkalofyty – bazifyty (alkalofilní, bazifilní rostliny) s amplitudou pH více než 7,2. např. ostřice nízká (*Carex humilis* Leyss.), bělozářka liliovitá (*Anthericum liliago* L.), střemdava bílá (*Dictamnus albus* L.).

Kincl a kol. (2008) uvádí, že kyselé doubravy mají rozšíření v pahorkatinném stupni na kyselých horninách (žuly, ruly apod.), jejichž zvětráváním se vyvinuly živinami chudé hnědozemní půdy. Dominantou stromového patra je dub zimní (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), v druhově málo bohatém bylinném patře se hlavně uplatňují nenáročné druhy

kyselých půd – bika hajní (*Luzula luzuloides* (Lam.) Dandy et Willmott), kostřava ovčí (*Festuca ovina* L.), kručinka barvířská (*Genista tinctoria* L.) a některé další.

Speciální metody bioindikace znečištění atmosféry půdy a vody uvádí Dykyjová (1989). Znečištění průmyslovými a sídlištními exhalacemi a výfukovými plyny dopravních vozidel se projevuje jak na terestrických ekosystémech, tak ve vodách. Plynné složky i pevné částice (polétavý popílek) rozpuštěné nebo dispergované ve srážkové vodě se dostávají při spadu srážek na půdní povrch a vegetační pokrývku i na větší vodní plochy, nebo smyvem s terénu znečistí povrchové vody. Účinek kyselých srážek způsobených únikem oxidu siřičitého z tepelných elektráren a topenišť do atmosféry na vegetační pokrývku, zejména jehličnaté lesy, je dostatečně známý.

Jak uvádí Tölgyessy (1989), bioindikace se může použít pro rychlou orientaci tam, kde nejsou k dispozici speciální poznatky a údaje, anebo kde jde o prvotní průzkum. Bioindikace má být podle možností rychlá, musí poskytovat dostatečně přesné a reprodukovatelné výsledky, objekty musí být v co největším množství a jednotné kvalitě. Bioindikace se se uskutečňuje na rozličných organizačních úrovních životních dějů a projevů. Dá se sledovat na úrovni makromolekul, buněk, orgánů, organismů, populací, společenstev a ekosystémů. Se zvyšující se organizační úrovní se zvyšuje komplexnost živé hmoty a jejích vzájemných vztahů s prostředím. S přihlédnutím na uvedenou organizaci živých systémů rozeznáváme tyto stupně bioindikace, resp. biodiagnostiky: biochemické a fyziologické reakce; anatomické, morfologické a biorytmické odchylky; floristické a chorologické změny; změny společenstev; změny ekosystémů; změny krajiny. Rostliny jsou velmi vhodným materiálem, který může s úspěchem posloužit při kontrole znečištění ovzduší. Některé rostliny indikují přítomnost některých škodlivin v ovzduší. Závisí to na rozdílných faktorech, ze který jsou nejdůležitější: fyzikální a chemické vlastnosti škodlivin, druh, vegetační období a věk rostliny, klimatické podmínky, síla a směr větru, vzdálenost od zdroje znečištění, vlastnosti půdy aj. Rostliny mohou citlivě reagovat na znečištění prostředí (senzitivní bioindikátory) anebo akumulují škodliviny bez nápadnějšího poškození (akumulativní bioindikátory). Na dobrý vývin rostlin je potřebný soulad mezi průběhem fotosyntézy, dýcháním a transpirací. Zhoršený průběh fotosyntézy je dobře sledovatelný hlavně měřením spotřeby oxidu uhličitého. Měřením asimilační deprese umožňují tyto metody upřesnit ztráty a případně i

předpovědět snížení výnosu. Měření intenzity dýchání je vhodné na detekci účinků jen některých škodlivin, např. fluóru, nebo prašných úletů. V případě flóru je snížení intenzity dýchání důsledkem enzymových poruch, při prašných imisích je ten samý jev zapříčiněný vyšší absorpcí tepla povrchem listů. Na důkaz působení škodlivin se často používá analýza rostlinných orgánů (kůra, listy, dřevo apod.). Ověřuje se metoda založená na měření změn obsahu volných kyselin, zapříčiněných účinkem oxidu siřičitého. Velmi citlivým ukazatelem i nízkých koncentrací oxidu siřičitého jsou změny metabolismu glutaminu. Rostlina si zřejmě vyrovná zvýšenou tvorbu kyseliny glutamové její rychlou přeměnou na glutamin a glutation. Množství sulfohydrilových skupin je signifikantní v exponovaných a neexponovaných rostlinách. V létě je množství sulfohydrilových skupin v přítomnosti škodlivin dvojnásobně a v zimě až čtyřnásobně vyšší než v neexponovaných kontrolních rostlinách. Na detekování široké škály škodlivin ovzduší v průmyslových oblastech se často používají mechy, které mají schopnost akumulovat ve svých stélkách velké množství těžkých kovů.

Kolář (2012) zdůrazňuje, že ve středoevropské botanice máme k dispozici poměrně účinnou pomůcku – tzv. Ellenbergovy indikační hodnoty. Tato čísla stanovil v 70. letech 20. stol. německý botanik Heinz Ellenberg, kdy konkrétní číslo vždy vyjadřuje vztah daného druhu k určitému faktoru prostředí. Máme tedy například Ellenbergovo indikační číslo pro dusík, nebo půdní reakci, vlhkost stanoviště, osvětlení stanoviště a pro oceánitu nebo kontinentalitu areálu. Například stupnice Ellenberových čísel pro dusík: od čísla 1 (druhy indikující nejchudší stanoviště), přes 3 (druhy vyskytující se spíše na živinami chudých stanovištích), až po 8 (druhy indikující dusíkem bohatá stanoviště) a 9 (druhy soustřeďující se na stanovištích s nadbytkem živin, až ukazatelé znečištění).

3 Bioindikátory

Bioindikátor je organismus, který zřetelně odráží vliv některého činitele prostředí. Bioindikátory využíval člověk bez toho, že by si to uvědomoval. Vlhkomilné rostliny mu i v období sucha prozrazovaly, že určité místo je jindy zamokřené. Koruny stromů nakloněné na jednu stranu i při bezvětří indikovaly, že je to lokalita vystavená často silným větrům. Zakrněné borovice naznačují málo úrodnou půdy, štíhlé, vysoké stromy svědčí o vysoké úrodnosti (Tölgyessy, 1989). Phillips a Rainbow (1993) uvádějí, že biologické indikátory jsou považovány za organismy, které svou vlastní přítomností nebo nepřítomností naznačují existenci nebo početnost konkrétního kritického faktoru. Všechny organismy tedy vykazují definovanou toleranci k environmentálnímu stimulu (ať už je přirozený nebo antropogenní v přírodě a mohou existovat na konkrétních místech pouze v rámci své zóny tolerance). Prostřednictvím své nepřítomnosti v konkrétním prostředí působí biologický indikátor jako signál o existenci stimulu na nebo nad danou prahovou hodnotou, nebo kritickou úrovní.

Spellerberg (1995) uvádí, že pojem indikátorového druhu, zahrnuje různé typy bioindikátorů:

1. Sentinels: citlivé organismy, které úmyslně zavádíme do prostředí například proto, aby indikovaly jeho okamžité změny.
2. Detectors (detektory): druhy, které se v zájmové oblasti vyskytují přirozeně a měřitelným způsobem reagují na změny prostředí např. chováním, změnou mortality, věkového složení atd.
3. Exploiters (exploátory): druhy, jejichž přítomnost signalizuje narušení nebo znečištění prostředí. Bývají velmi hojné, protože s vymizením druhů, které znečištění nesnášejí, se minimalizuje konkurence.
4. Accumulators (akumulátory): organismy, které přijímají a hromadí chemické látky v měřitelných množstvích.
5. Bioassay organisms (organismy pro biologické kvantitativní zkoušky): vybrané organismy, jichž se používá v laboratoři ke zjištění přítomnosti a/nebo koncentrace znečišťujících látek, nebo k určení pořadí znečišťujících látek co do jejich toxicity.

Spellerberg (1995) dále uvádí kritéria, která by bioindikátory typu detektorů a exploatátorů, v souvislosti s monitorováním znečištění prostředí měly splňovat:

1. Úzká ekologická valence. Druhy euryvalentní jsou k bioindikaci nevhodné.
2. Mělo by se jednat o druhy přisedlé, nebo s omezenou schopností šíření.
3. Odběr vzorků nesmí být příliš náročný; bioindikátory by měly být spíše hojné.
4. Akumulace znečišťujících látek v tělech bioindikátorů by neměla vést k jejich úhynu (pokud ovšem nesledujeme právě mortalitu jako rozhodující proměnnou).
5. Indikátorový druh by měl být, pokud možno dlouhověký, aby bylo možno odebírat vzorky v jeho různých věkových skupinách.

Jeník (1972) uvádí, že podle šířky ekologické amplitudy, v níž rostlinné druhy žijí, rozeznáváme rostliny stenotopní, tj. druhy úzce specializované na určité zvláštní prostředí např. sleziník hadcový (*Asplenium cuneifolium* Viv.) vázaný jen na hadcové půdy a rostliny eurytopní, tj. druhy rozšířené na rozmanitých půdách a v nejrůznějším klimatu např. lipnice luční – (*Poa pratensis* L.), dub letní (*Quercus robur* L.). Druh stenovalentní toleruje malé kolísání daného faktoru v prostředí, zatímco euryvalentní je značně přizpůsobivý. Druhy s nízkou ekologickou valencí k teplotě označujeme jako stenotermní, k salinitě stenohalinní, ke kyslíku stenoxybiontní, k potravě stenofátní. Druhy vázané na jediné prostředí se nazývají stenoekní, naopak druhy vyskytující se v různých typech prostřední jsou euryektní. Podle stanoviště jsou druhy stenotopní a eurytopní.

3.1 Řasy a vyšší vodní rostliny jako bioindikátory

Dykyjová (1989) uvádí, že k těžkým kovům velmi citlivé jsou kořenící rostliny a řasy. Vyšší vodní rostliny a jejich společenstva reagují na znečištění vod méně specificky než řasy, i když jsou k toxickým vlivům velmi citlivé. Z čeledi rdestů se rdest hřebenitý (*Potamogeton pectinatus* L.) považuje za druh nejodolnější vůči vysoké koncentraci dusíku a fosforu ve vodě. Roste ovšem i ve vodách čistších. Experimentálně vhodným objektem jsou též okřehky (*Lemma*), které se velmi dobře pěstují ve vodních kulturách, snášejí vysoké koncentrace živin, ale jsou velmi citlivé k těžkým kovům. K bioindikaci znečištění vod těžkými kovy byly např. použity druhu okřehek menší (*Lemna minor* L.) a závitka mnohokořenná (*Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid.). V aplikované hydrobiologii se zastoupení indikačních druhů využívá k hodnocení celkového chemismu povrchových vod, především z hlediska obsahu železa, manganu, vápníku, sirovodíku, celkové mineralizace (slanosti) a kyselosti. Jako příklad je dále uvedena indikace vápníku. Mezi druhy, které

indikují zvýšené obsahy vápníku, patří z vyšších řas posypanka (*Vaucheira debaryana*), rod chaluha *(Chara*), z vyšších rostlin vodní rdesna (*Potamogeton* sp.), stolístky (*Myriophylum* sp.) a často i vodní mor kanadský (*Elodea canadensis* Michx.).

3.2 Bioindikátory vlhkých stanovišť

Spitzer a Bufková (2008) uvádějí, že mezi bažinnými rostlinami, které se dobře přizpůsobily dlouhodobému zamokření, vynikají zejména rašeliníky – mechy z rodu rašeliník (*Sphagnum*). Celý rod rašeliníků je tvořen bažinnými a vodními druhy. Některé druhy rostou přednostně přímo ve vodě, např. rašeliník Lindbergův (*Sphagnum lidbergii* Schimp. ex Lindb.), rašeliník pobřežní (*Sphagnum riparium* Angström), rašeliník bodlavý (*Sphagnum cuspidatum* Ehrh. ex Hoffm.) aj. Dolní část rostlinek je běžně ponořena do vody také u rašeliníku tupolistého (*Sphagnum obtusum* Warnst.), rašeliníku baltského (*Sphagnum balticum* (Russow) Russow ex. C.E.O. Jensen) aj. Dále jsou druhy, které nesnášejí trvalé ponoření do vody a rostou jen na silně vlhké podložce např. rašeliník červený (*Sphagnum rubellum* Wilson), rašeliník měkký (*Sphagnum molle* Sull.), rašeliník nejměkčí (*Sphagnum tenellum* (Brid.) Bory) aj. Množství vody, kterou rašeliníky mohou přijmout, představuje 20 až 30krát větší hmotnost, než jakou má sušina odpovídajících rostlinek. Význačnou vlastností rašeliníků je jejich vazba na kyselé prostředí. V silně kyselé půdě roste zejména rašeliník hnědý (*Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr.), rašeliník červený (*Sphagnum rubellum* Wilson) a rašeliník nejměkčí (*Sphagnum tenellum* (Brid.) Bory). Kalina a Váňa (2010) uvádějí, že z druhů vyskytujících se na našem území je nápadný např. rašeliník kostrbatý (*S. squarrosum* Crome), rostoucí v lesních močálech, v lesích je nejběžnějším druhem rašeliník Girgensohnův (*Sphagnum girgensohnii* Russow). Druh rašeliník obecný (*Sphagnum. palustre* L.) roste spíše na lučních rašeliništích, pro vrchoviště jsou typické např. druhy rašeliník hnědý (*Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr.), rašeliník červený (*Sphagnum rubellum* Wilson) aj., vytvářející rašelinné kopečky (bulty).

Spitzer a Bufková (2008) dále uvádějí, že na rašeliništích jsou velmi vitální i jiné druhy mechorostů např. ploníky. Ploník tuhý (*Polytrichum strictum* Menz. ex Brid.) tvoří v bažinách často vysoké kopečky, které vystupují nad průměrnou úroveň zamokřeného terénu a vytvářejí poměrně suché ostrovy. Kalina a Váňa (2010) dodávají, že ploník obecný (*Polytrichum commune* Hedw.), rostoucí na rašeliništích, je náš největší vzpřímeně rostoucí

mech (dosahuje často délky přes 50 cm). Rod měřík (*Plagiomnium*) je nápadný poměrně širokými lístky s relativně velkými buňkami. Na vlhkých místech roste měřík tečkovaný (*Rhizomnium punctatum* (Hedw.) T. J. Kop.), na vlhkých travnatých místech roste měřík vlnatý (*Plagiomnium undulatum* (Hedw.) T. J. Kop). Na vlhkých místech v lesích roste i pérovec hřebenitý (*Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not.), rokytník skvělý (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp). Na vlhkých travnatých místech roste např. drabík stromkovitý (*Climacium dendroides* (Hedw.) F. Weber et Mohr), kostrbatec tříkoutý (*Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst.).

Na vlhkých polích roste hlevík tečkovaný (*Anthoceros punctatus* L.), z oddělení játrovkovitých (*Marchantiophyta*), který roste i ve vlhkých smrčinách. Na rašelinných půdách roste rohozec trojlaločný (*Bazzania trilobita* (L.) Gray), na vlhkých místech pak porostnice mnohotvará (*Marchantia polymorpha* L.), uvádí Rosypal (2003).

Spitzer a Bufková (2008) udávají, že v prohlubních zalitých vodou najdeme mech srpnatku splývavou (*Warnstorfia fluitans* (Hedw.) Loeske) nebo játrovky vršatku odchylnou (*Mylia anomala* (Hook.) Gray) a svojnici nadmutou (*Gymnocolea inflata* (Huds.) Dumort.).

Kalina a Váňa (2010) uvádějí, že játrovky (*Marchanthiophyta*) se nejčastěji vyskytují na stinných a vlhkých místech v lesích na půdě, na skalách, tlejícím dřevě apod. Některé druhy jsou však xerofytní např. řada druhů rodů trhutka (*Riccia*), mozolka (*Mannia*) a další, zvláště lupenité játrovky. Játrovky mají význam i jako rezervoáry vody, indikátory stanoviště i jeho znečištění. Mechy jsou také poměrně citlivými indikátory znečištění ovzduší i vod.

Jóža a Vonička (2004) dodávají, že z játrovek roste na rašeliništích Jizerských hor subarkticko-alpínský druh kýlnatka mokřadní (*Scapania uliginosa* (Lindenb.) Dumort.), boreální trsenka okrouhlá (*Jungermannia sphaerocarpa* Hook.), vršatka odchylná (*Mylia anomala* (hoko.) Gray), křižítka břichatá (*Lophorzia ventricosa* (Dicks.) Dumort.) a brvitec chlupatý (*Ptilidium ciliare* (L.) Hampe). Na obnažené vlhké rašelině roste játrovka svojnice nadmutá (*Gymnocolea inflata* (Huds.) Dumort.).

Spitzer a Bufková (2008) uvádějí, že na slatiništích bývá dominantním mechem klamonožka bahenní (*Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwagr.), která je nápadná svými přímo odstálými listy se zubatou ostrou špičkou. Na rašeliništích trpí rostliny nedostatkem dusíku.

Tento problém však nemají rostliny hmyzožravé z čeledi rosnatkovitých (*Droseraceae*), bublinatkovitých (*Lentibulariaceae*) a špirlicovitých (*Sarraceniaceae*). Velmi rozšířeným druhem je rosnatka okrouhlolistá (*Drosera rotundifolia* L.). Věrnými obyvateli rašelinišť jsou i jiné druhy rosnatek např. rosnatka anglická (*Drosera anglica* Huds.) a rosnatka prostřední (*Drosera intermedia* Hayne) – obě jsou hmyzožravé.

Chytrý a kol. (2010) uvádí druhy indikující střídavé zamokření půd, k nimž patří např. bukvice lékařská (*Betonica officinalis* L.), svízel severní (*Galium boreale* L.), oman vrbolistý (*Inula salicina* L.), hladýš pruský (*Laserpitium prutenicum* L.), srpice barvířská (*Serratula tinctoria* L.) a koromáč olešíkový (*Silaum silaus* (L.) Sch. et Thell.). Na vlhkých a mokrých loukách jsou dominantními travinami psineček psí (*Agrostis canina* L.), ostřice štíhlá (*Carex aruta* L.), ostřice ostrá (*Carex acutiformis* Ehrh.), ostřice trnitá (*Carex cespitosa* L.), kostřava luční (*Festuca pratensis* L.), kostřava červená (*Festuca rubra* L.), sítina rozkladitá (*Juncus effusus* L.), lipnice bahenní (*Poa palustris* L.), lipnice luční (*Poa pratensis* L.) aj. Na aluviálních psárkových loukách jsou dominantními travami psárka luční (*Alopecurus pratensis* L.), metlice rákosovitá (*Deschampsia caespitosa* (L.)P. Beauv., medyněk vlnatý (*Holcus lanatus* L.), lipnice obecná (*Poa trivialis* L.) aj., dominantními bylinami pryskyřník plazivý (*Ranunculus repens* L.), šťovík tupolistý (*Rumex obtusifolius* L.), kostival lékařský (*Symphytum officinale* L.) aj. Jedná se o čerstvě vlhké louky v zaplavovaných částech říčních a potočních niv, na hlubokých, živinami dobře zásobených fluvizemních, glejových nebo pseudoglejových půdách od nížin do podhorských oblastí.

Kolbek a Větvička (2000) uvádějí jako bioindikátory vlhkých stanovišť např. ostřici ostrou (*Carex acutiformis* Ehrh.), sasanku hajní (*Anemone nemorosa* L.), rákos obecný (*Phragmites communis* Trin.), Hrouda (2013) uvádí psárku luční (*Alopecurus pratensis* L.), Della Beffa zmiňuje (2001) pryskyřník plazivý (*Ranunculus repens* L.), Štursa a Dvořák (2009) uvádějí bršlici kozí nohu (*Aegopodium podagraria* L.) a Lippert a Podlech (2005) zmiňují např. řeřišnici luční (*Cardamine pratensis* L.), sněženku podsněžník (*Galanthus nivalis* L.), nebo česnek medvědí (*Allium ursinum* L).

Mnoho autorů se zabývá bioindikací silně zamokřených, až bažinných lokalit. Della Beffa (2001) uvádí, že v pobřežním pásmu rybníků a jezer, a také v bažinách a na dočasně zaplavovaných územích, se nacházejí zejména různé druhy bažinných rostlin, hlavně

sítinovitých (J*uncaceae*) a šáchorovitých (*Cyperaceae*), ale i orobinec širokolistý (*Typha latifolia* L.) a orobinec úzkolistý (*Typha angustifolia* L.). Sítiny (*Juncus*) na mořském pobřeží tolerují určitý stupeň obsahu soli, jako např. často se vyskytující sítina žabí (*Juncus bufonius* L.). Biky (*Luzula*) upřednostňují vlhké prostředí listnatých i jehličnatých lesů s kyselými půdami. Výjimku tvoří bika ladní (*Luzula campestris* (L.) DC.), která se vyskytuje na chudých, písčitých loukách a vřesovištích. Z čeledi šáchorovitých (*Cyperaceae*) je významným zástupcem rozšířeným v celé Evropě skřípina lesní (*Scirpus sylvaticus* L.), rostoucí trsnatě podél břehů a na vápenitých slatinách. U nás roste vzácně. Z kapradin se na vlhkých a stinných stanovištích můžeme v ČR setkat s hasivkou orličí (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), která může být až 2 m vysoká a tvoří časté husté porosty především v dubových a borových lesích. Velkého vzrůstu dosahuje i podezřeň královská (*Osmunda regalis* L.), se kterou se setkáváme rovněž na vlhkých lesních půdách.

Spitzer a Bufková (2008) uvádějí, že běžné rostliny rašelinišť jsou dále brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus* L.), brusnice vlochyně (*Vaccinium uliginosum* L.), brusnice brusinka (*Vaccinium vitis-idaea* L.), vřes obecný (*Calluna vulgaris* (L.) Hull.), kyhanka bažinná (*Andromeda polifolia* L.), klikva bahenní (*Vaccinium oxycoccus* L.) a další. Z dřevin se na rašeliništích vyskytuje bříza trpasličí (*Betula nana* L.), na slatiništích pak vrba popelavá (*Salix cinerea* L.) a vrba pětimužná (*Salix pentandra* L.), dále borovice blatka (*Pinus uncinata* subsp. *uliginosa* (Neumann) Businsky). Také planě rostoucí orchidej prstnatec Fuchsův (*Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Hyl.) patří mezi typické průvodce lučních rašelinišť a mechových slatinišť. Mnohé z nich rostlou také na nerašelinných, výživnějších mokrých loukách. Patří mezi ně starček potoční (*Tephroseris crispa* (Jacq.) Schur) a planě rostoucí orchidej prstnatec májový (*Dactylorhiza majalis* (Rchb.) PF Hunt et Summerh.) s tmavě červenofialovými květy.

Na vlhkých loukách převládá v trávách bojínek luční (*Phleum pratense* L.), tomka vonná (*Anthoxanthum odoratum* L.), srha říznačka (*Dactylis glomerata* L.), lipnice luční (*Poa pratensis* L.) a kostřava luční (*Festuca pratensis* L.), psárka luční (*Alopecurus pratensis* L.), psineček psí (*Agrostis canina* L.) a medyněk vlnatý (*Holcus lanatus* L.). Kvetou na nich zjara prvosenky (*Primula*), později pryskyřník prudký (*Ranunculus acris* L.), kostival lékařský (*Symphytum officinale* L.), bolševník obecný (*Heracleum sphondylium* L.), rdesno

hadí kořen (*Polygonum bistorta* L.), ocún (*Colchicum autumnale* (L.) Lapeyr.) aj., udává Řehák (1971).

Kincl a kol. (2008) uvádí, že pcháčové louky zahrnují společenstva vlhkých luk na výživných půdách, v jejichž druhové skladbě se výrazně uplatňují různé pcháče (*Cirsium*), podmiňující charakteristický vzhled těchto luk a další vlhkomilné druhy rostlin – blatouch bahenní (*Caltha palustris* L.), přeslička bahenní (*Equisetum palustre* L.), tužebník jilmový (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim) aj.

3.3 Bioindikátory suchých stanovišť

Řehák (1971) uvádí, že na suchých loukách převládá v travách poháňka hřebenitá (*Cynosurus cristatus* L.), velmi ozdobná třeslice prostřední (*Briza media* L.), sveřep měkký (*Bromus mollis* L.), kvete na nich rožec polní (*Cerastium arvense* L.), šalvěj luční (*Salvia pratensis* L.), mateřídouška obecná (*Thymus serphyllum* L.) a chrastavec rolní (*Knautia arvensis* (L.) J. M. Coulter).

Della Beffa (2001) uvádí jako zástupce xerotermních, tzn. suchomilných druhů, kavyl péřitý (*Stipa pennata* L.) s typicky péřovitě chlupatými latami, hlaváč fialový (*Scabiosa columbaria* L.) s růžovými až lila květy, jehlici trnitou (*Onosis spinosa* L.) nebo úročník bolhoj (*Anthyllis vulneraria* L.). Suché louky vznikají většinou na kyselém substrátu, často ve vyšších polohách, kde se provozuje intenzivní chov dobytka. Na těchto spíše druhově chudších loukách nacházíme především trávy rodů kostřava (*Festuca*) a psineček (*Agrostis*), jakož i biku hajní (*Luzula campestris* (L.) DC.) a mochnu nátržník (*Potentilla erecta* (L.) Rauschel), která je často doprovázena křovitými nebo polokřovitými druhy, např. kručinkou německou (*Genista germanica* L.) a vřesem obecným (*Calluna vulgaris* (L.) Hull).

3.4 Bioindikátory bazických substrátů

Jeník (1972) uvádí příklady kalcitofytů, jsou to např. pěchava vápnomilná (*Sesleria caervulea* L.), kostřava waleská (*Festuca walesiaca* Gaudin), ostřice nízká (*Carex humilis* Leysser), dub pýřitý (*Quarcus pubescens* Wild.), lomikámen vždyživý (*Saxifraga paniculata* Mill.), sleziník zelený (*Asplenium viride* Huds.) aj. Mezi kalcifobní rostliny řadíme rašeliníky (*Sphagnum*), rosnatku okrouhlolistou (*Drosela rotundifolia* L.), vřes

obyčejný (*Caluna vulgaris* (L.) Hull), brusnici borůvku (*Vaccinum myrtillus* L.), metlici křivolakou (*Avenella flexuosa* (L.) Trin.), pavinec horský (*Jasione montana* L.) aj.

Slavíková (1986) uvádí rostliny, které rostou výhradně jen na stanovištích, kde je matečnou horninou vápenec. Je to např. pěchava pestrá (*Sesleria varia* L.), lomikámen vždyzelený (*Saxifraga paniculata* Mill.). Rostliny striktně vázané svým výskytem na nevápenné podklady se označují jako kalcifobní rostliny – vápnostřezné např. rosnatka okrouhlolistá (*Drosera rotundifolia* L.), vřes obecný (*Calluna vulgaris* (L.) Hull.).

Della Beffa (2001) uvádí jako příklad bioindikátoru vápenitých půd devaterník penízkový (*Helianthemum nummularium* (L.) Mill.) a podkovku chocholatou (*Hippocrepis comosa* L.).

Schauer (2013) a Spohn (2016) uvádějí jako bioindikátor bazických substrátů např. suchopýr širokolistý (*Eriophorum latifolium* Hoppe), Lippert a Podlech (2005) jitrocel kopinatý (*Plantago lanceolata* L.), střevíčník pantoflíček (*Cypripedium calceolus* L.), Münker (2005) a Della Beffa (2001) zmiňují hvozdík kartouzek (*Dianthus carthusianorum* L.), Della Beffa (2001) pak ještě uvádí např. rozchodník skalní (*Sedum repestre* L.) a kosatec sibiřský (*Iris sibirica* L.).

Vápnitá stanoviště jsou minerotrofní rašeliniště s ostřico-mechovou vegetací a převládajícími šáchorovitými rostlinami. Nápadná je zejména drobně trsnatá ostřice Davallova (*Carex davalliana* Sm.) a suchopýr úzkolistý (*Eriophorum angustifolium* Honck.) a suchopýr štíhlý (*Eriophorum gracile* Koch), mechové patro tvořeno hlavně mechy čeledi rokýtkovité *Amblystegiaceae*, zatímco rašeliníky (*Sphagnum*) zcela chybějí (Chytrý a kol., 2010).

Vacek (2014) uvádí, že díky fyzikálním a zejména chemickým vlastnostem vápenců, vznikají při jejich zvětrávání velmi členité reliéfy terénu, takzvané krasy, které jsou charakteristické výskytem četných skalních výchozů, strmých svahů a skalních stěn, na kterých se velmi obtížně udrží alespoň tenká vrstva půdy, která neumožňuje zakořenění dřevin. Dřeviny jsou zde limitovány nedostatkem vody. Na tato stanoviště, která označujeme jako xerotermní (teplá a suchá), pronikají jen ojediněle pouze ty nejodolnější dřeviny, jako jsou jalovec obecný (*Juniperus communis* L.), skalník celokrajný (*Cotoneaster integerrimus* MED.), jeřáb řecký (*Sorbus graeca* (Spach) Schauer), jeřáb dunajský (*Sorbus danubialis* (Jáv.) Prodan) nebo jeřáb krasový (*Sorbus eximia* Kovanda). Stromy se zde vyskytují

solitérně, v malých skupinách, nebo řídkých lesích umožňujících vývoj bylinného patra, které zde zastupuje např. kavyl Ivanův (*Stipa pennata* L.), ostřice nízká (*Carex humilis* Leyss.), která je zařazena v Červeném seznamu cévnatých rostlin České republiky do kategorie taxonů vyžadujících pozornost, dále např. válečka prapořitá (*Brachypodium pinnatum* (L.) P. Beauv.), nebo pěchava vápnomilná (*Sesleria caerulea* (L.) Ard.). Z dvouděložných jsou typickými zástupci těchto půd netřesk výběžkatý (*Jovibarba globifera* (L.) J. Parn.), koniklec luční (*Pulsatilla pratensis subsp. bohemica* Skalický), pryšec chvojka (*Euphorbia cyparissias* L.), devaterník šetý (*Helianthemum canum* (L.).

3.5 Bioindikátory nízkého pH půdy

Chytrý a kol. (2010) uvádějí, že acidofilní suché trávníky jsou s dominancí trav ovsíře lučního (*Avenula pratensis* (L.) Dumort.), kostřavy ovčí (*Festuca ovina* L.), kostřavy žlábkové (*Festuca rupicola* Heuff.) nebo bojínku tuhého (*Phleum phleoides* (L.) H. Karst.). Středně vlhké bezkolencové louky vykazují výskyt bioindikátorů chrastice rákosovité (*Deschampsia caespitosa* (L.) P. Beauv.), kostřavy luční (*Festuca pratensis* L.), kostřavy červené (*Festuca rubra* L.), medyňku vlnatého (*Holcus lanatus* L.), sítiny rozkladité (*Juncus effusus* L.), lipnice luční (*Poa pratensis* L.), které posléze přerůstá dominantní bezkolenec rákosovitý (*Molinia arundinacea* Schrank), nebo bezkolenec modrý (*Molinia caerulea* (L.) Moench).

Slavíková (1986) udává, že pokud známe rozsah tolerance druhu k určitému faktoru, můžeme toho využít zpětně pro zhodnocení stanoviště, na kterém roste. Rostlina na základě svých známých ekologických tolerancí indikuje vlastnosti stanoviště, stává se ekologickým indikátorem stanoviště (fytoindikátoerem). Ekologickými indikátory se mohou stát i celá rostlinná společenstva. Výskyt vřesu obecného (*Colluna vulgaris* (L.) HULL.) na stanovišti vždy indikuje kyselou půdu (nízké pH půdy), také celé společenstvo, jako je bučina v bylinném patře s bikou bělavou (*Luzula albida* (Hoffm.) DC.) je indikátorem kyselé půdní reakce stanoviště. Toto stanoviště dle Kolbeka a Větvičky (2000) a Pracha a kol. (2009) osidluje i brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus* L.) a brusnice brusinka (*Vaccinium vitis – ideea* L.). Schauer (2013) uvádí, že bioindikátorem kyselých půd je i kostřava ovčí (*Festuca ovina* L.).

3.6 Bioindikátory na živiny chudých půd

Slavíková (1986) uvádí, že na sušších a chudých půdách se setkáváme s tomkou vonnou (*Anthoxanthum odoratum* L.), poháňkou hřebenitou (*Cynocurus cristatus* L.), kostřavou červenou (*Festuca rubra* L.), dále tu často rostou druhy rodu mateřídouška (*Thymus*), zvonek (*Campanula*), jestřábník (*Hieracium*), pryšec (*Euphorbia*) a jiné kvetoucí rostliny.

Klimeš (2004) uvádí, že na půdách velmi chudých na živiny (oligotrofní) roste bezkolenec modrý (*Molinia coerulea* (L.) Moench), kostřava ovčí (*Festuca ovina* L.), medyněk měkký (*Holcus mollis* L.), metlička křivolaká (*Deschampsia flexuosa* (L.) Drejer), psineček psí (*Agrostis canina* L.), smilka tuhá (*Nardus stricta* L.), tomka vonná (*Anthoxantum odoratum* L.), třeslice prostřední (*Briza media* L.). Jako bioindikátory půd s nedostatkem živin dále uvádí úročník lékařský (*Anthyllis vulneraria* L.), kopretinu bílou (*Lucanthemum vulgare* L.), jehlici trnitou (*Ononis spinosa* L.), mateřídoušku obecnou (*Thymus serpyllum* L.), světlík (*Euphrasia* ssp.), vstavač (*Orchis* ssp.), rozchodník (*Sedum* ssp.), pupavu bezlodyžnou (*Carlina acaulis* L.), hvozdík kropenatý (*Dianthus deltoides* L.), poháňku hřebenitou (*Cynosurus cristatus* L.) a další. Spohn (2016) uvádí jako bioindikátor živinami chudých půd suchopýr pochvatý (*Eriophorum vaginatum* L.), netákavku žláznatou (*Impatiens glandulifera* Royle), nebo rosnatku okrouhlolistou (*Drosera rotundifolia* L.). Hejný (2003) a Schauer (2013) uvádějí shodně jako bioindikátor chudých půd klikvu bahenní (*Vaccinium oxycoccos* L.), Hermann (2007) uvádí přesličku rolní (*Equisetum arvense* L.) a Della Beffa (2001) svízel syřišťový (*Galium verum* L.)

3.7 Bioindikátory přebytku dusíku v půdě

Šlégl a kol. (2002) uvádí, že na vlhkých a dusíkem bohatých půdách rostou například druhy rodu jílek (*Lolium*), srha (*Dactylis*), bojínek (*Phleum*), kostřava luční (*Festuca pratensis* L.), dále pampeliška (*Taraxacum*), pryskyřník (*Ranunculus*) a řada jiných kvetoucích rostlin.

Fenger a Tjell (2009) uvádí, že podzemní voda může přijímat zvýšené množství zejména dusičnanů, když se voda prosakující půdním profilem obohacuje nad redukční kapacitu půdy. Na eutrofizovaných půdách jsou dominantními nitrofilními bioindikátory vrbovka chlupatá (*Epilobium hirsutum* L.), kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica* L.) a rákos obecný (*Phragmites australis* (Cav.) Stend.). Lippert a Podlech (2005) uvádějí jako bioindikátor přebytku dusíku v půdě mochnu husí (*Potentilla anserina* L.), rdesno hadí kořen

(*Polygonum bistorta* L.), podběl obecný (*Tussilago farfara* L.), devětsil lékařský (*Petasites hybridus* (L.) Gaertn., Meyer et Scherb.), vlaštovičník větší (*Celidonium majus* L.), Hermann (2007) a Kvasničková (2015) uvádějí bez černý (*Sambucus nigra* L.).

Anděl (2011) dodává, že v terestrických ekosystémech je nejdůležitějším typem této bioindikace hodnocení výskytu nitrofilních druhů. Mezi ně patří např. kopřiva dvoudomá (*Urtica diotica* L.), pelyněk černobýl (*Artemisia vulgaris* L.), lebeda lesklá (*Atriplex sagittata* Borkh.), merlík sivý (*Chenopodium glaucum* L.), šťovík alpský (*Rumex alpinus* L.). Nitrofilní společenstva se vyskytují v místech zvýšené antropogenní dotace dusíku (okraje polí, místa splavování vod a půdy z polí, skládky, ruderální společenstva). Tato indikace je důležitá vzhledem k významnému současnému trendu, kterým je eutrofizace prostředí.

Jeník (1972) dále uvádí, že nitrifyty jsou např. kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica* L.), merlík všedobr (*Chenopodium bonus-henricus* (L.) Rchb.), měrnice černá (*Ballota nigra* L.), hluchavka bílá (*Lamium album* L.), vlaštovičník větší (*Chelidonium maius* L.), lopuchy (*Arctium* sp.), pelyňky (*Artemisia* sp.) aj. V lesích jsou ukazatelem zvýšeného podílu nitrátů česnáček lékařský (*Alliaria petiolata* (M. Bieb) Cavara & Gronde), kerblík lesní (*Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.), bažanka vytrvalá (*Mercuralis perennis* L.) aj. Na pastvinách ukazují zvýšenou přítomnost dusíku vrbka úzkolistá (*Epilobium angustifolium* L.), starček Fuchsův (*Senecio fuchsii* (G. Gaertn., B. Mey & Scherb.) Hope), ostružiník maliník (*Rubus idaeus* L.), bez černý (*Sambucus nigra* L.) aj. Některé rostliny jeví větší náročnost na obsah draslíku v půdě např. buk lesní (*Fagus silvatica* L.).

Klimeš (2004) přináší informace o uplatnění trav při bioindikaci trofického režimu v půdě. Na půdách s dostatkem přístupných živin (eutrofní) rostou jako bioindikátory chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.), jílek vytrvalý (*Lolium perenne* L.), kostřava luční (*Festuca pratensis* L.), lipnice luční širokolistá (*Poa pratensis* ssp. *Eu-pratensis* L.), lipnice obecná (*Poa trivialis* L.), ovsík vyvýšený (*Arrhenatherum elatius* (L.) J. Presl et C. Presl), psárka luční (*Alopecurus pratensis* L.), pýr plazivý (*Agropyron repens* (L.) Nevski), srha říznačka (*Dactylis glomerata* L.).

Klimeš (2004) zdůrazňuje, že mezi živinami, ovlivňujícími největší měrou celkový výživný režim půd u travinných cenóz, hraje klíčovou roli zejména dusík. Iont NO_3^- v půdě u

živinami dobře zásobených lokalit je indikován zejména psárkou luční (*Alopecurus pratensis* L.) a kostřavou luční (*Festuca pratensis* L.). Větší zastoupení iontu NH_4^+ v půdě indikují bolševník bršť (*Heracleum sphondylium* L.), kerblík lesní (*Anthriscus silvestris* (L.) Hoffm.), bršlice kozí noha (*Aegopodium podagraria* L.), pastinák setý (*Pastinaca sativa* L.) a kakost luční (*Geranium pratense* L.).

Na těchto závěrech se shoduje i Slavíková (1986), která uvádí, že často to jsou rumištní rostliny, např. kopřiva (*Urtica* sp.), lebeda (*Atriplex* sp.), merlík (*Chenopodium* sp.), pýr plazivý (*Agropyron repens* (L.) Nevski), laskavec (*Amaranthus* sp.). Také v suťových lesích, kde v půdách probíhá nitrifikace většinou velmi dobře, jsou nitrofyty např. kakost smrdutý (*Geranium robertianum* L.), česnáček lékařský (*Alliaria officinalis* (M. Bieb.) Cavara & Grande), bršlice kozí noha (*Aegopodium podagraria* L.). Na pastvinách se často vyskytují společenstva s dominantním šťovíkem (*Rumex* sp.) a kodominantou kontryhelem (*Alchemilla* sp).

3.8 Bioindikátory zvýšeného obsahu solí v půdě

Slavíková (1986) udává, že výskyt zblochance oddáleného (*Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.) na okraji vozovek indikuje zimní solení.

Jeník (1972) uvádí, že typickými halofyty jsou na solných půdách v ČR z bylin slanobýl draselný (*Salaola kali* L.), solnička podmořská (*Suaeda maritima* (L.) Dumort.), slanorožec bylinný (*Salicornia herbacea* L.), sítina Gerardova (*Juncus gerardi* Loisel.), zblochanec oddálený (*Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.) aj. Obligátní halofyty rostou vždy jen na solných půdách.

Slavík a kol. (2004) uvádí další příklad obligátního halofyta – hvězdnici slanistou (*Aster tripolium* L.). Slavík a kol. (1997) dodávají, že na bazických substrátech se vyskytuje rovněž třemda bílá (*Dictamnus albus* L.).

3.9 Bioindikátory zvýšeného obsahu těžkých kovů

Slavíková (1986) uvádí, že při sledování vlivu imisí na zemědělskou výrobu se využívá jílek mnohokvětý (*Lolium multiflorum* Lamk.) - SO_2, těžké kovy, špenát setý (*Spinacia oleracea* L.) - ozon, těžké kovy.

Slavíková (1986) dodává, že ve střední Evropě se uvádějí jako fytoindikátory zinku v půdě např. viola žlutá (*Viola calaminaria* (DC. Ex Ging.) Neuenb.), penízek modravý (*Thlaspi alpestre* var. *Calaminaria* Jacq.), trávnička přímořská (*Armeria maritima* ssp. *Halleri (Waler.) Rothm)*. V Africe se vyskytují fytoindikátory půd s vyšší koncentrací mědi, jako je např. *Guttenbergia cupricola* z čeledi hvězdnicovité (*Asteraceae*), *Justica cupricola* z čeledi paznehtníkovité (*Acanthaceae*) nebo *Acrocephalus robertii* z čeledi hluchavkovité (*Lamiaceae*). Stanoviště se selenem v Severní Americe indikují druhy rodu kozinec (*Astrogalus*) např. *Astragalus pattersonii* A. Gray a *Astragalus racemosus* Pursh..

Dykyjová (1989) zdůrazňuje, že mezi běžnými ubiquisty se osvědčil např. bez černý (*Sambucus nigra* L.) pro krátkodobý i dlouhodobý nepřímý monitoring znečištění prostředí těžkými kovy, z lesních dřevin např. druhy rodu habr (*Carpinus*), dub (*Quercus*), druhy rodu ostružiník (*Rubus*) pro současné sledování kontaminace okolí komunikace olovem z výfukových plynů. Jehlic jehličnanů lze účelně využít pro kontrolu kumulace S, Cl, F apod., a tím k monitorování tohoto typu znečištění prostředí.

Kontrolní kultury pro monitorování znečištěného prostředí jsou trojího typu: testovací výsadby okrasných druhů se značnou kumulační schopností, např. druhy rodu truskavec (*Polygonum*), reveň (*Rheum*), nebo lupina úzkolistá (*Lupinus angustifolius* L.), vhodné zejména pro soustavnou kontrolu při zdroji emisí, dále testovací výsadby okrasných druhů se značnou kumulační schopností, vyzkoušené a využívané pro sledování kvality ovzduší v sídelním prostředí, např. růže stolistá (*Rosa centifolia* L.), mečík (*Gladiollus gandavensis* Van Houtte) pro znečištění fluorem a testovací výsadby pícninových rostlin, zejména pro monitorování S, Fe, Pb pomocí jetele plazivého (*Trifolium repens* L.), jílku mnohokvětého (*Lolium multiflorum* var. *Italicum* Lam.) , popř. dalších druhů nebo směsí. Podobně lze využívat pro monitorování vstupu kontaminujících látek do potravních řetězců i plodin, např. brukvovitých – brukev zelná (*Brassica oleracea* L.) aj. v kontrolních kulturách, nikoliv však v běžných porostech.

4 Biomonitoring a jeho využití

Mezníkem v rozvoji světových iniciativ v monitorování životního prostředí se stala konference OSN o životním prostředí člověka (Stokholmská konference). Koncepce globálního systému monitorování životního prostředí byla podepsána na této konferenci v roce 1972. GEMS (Global Environmental Monitoring System, Globální systém monitorování životního prostředí) je organizace založená k získávání údajů pro management životního prostředí a podporovaná UNEP (United Nations Environmental Programme, Program OSN pro životní prostředí). MARC, nezávislý mezinárodní výzkumný ústav životního prostředí, byl založen v roce 1975, aby pomáhal mezinárodním organizacím, které se zabývají environmentálními projekty. MARC má na seznamu zajímavé spektrum takových materiálů, k nimž patří herbářové položky mechů aj. Využití mechů jako indikátorových druhů při detekci znečišťujících látek v ovzduší je zvláště významné a pomocí herbářových sbírek by bylo možno provést taková šetření zpětně. Biologické monitorování je jednou z aktivit IUCN a Monitorovacího centra světové ochrany přírody (WCMC). Stejně jako IUCN a WCMC jsou do sledování živé přírody a přírodních zdrojů zapojeny mnohé další organizace. Patří k nim Světový fond na ochranu přírody (Wordl Wide Fund for Nature) založený v r. 1961, Přátelé Země (Friends of the Earth) existující od roku 1969, organizace Greenpeace, která vznikla v roce 1971. Tyto tři organizace sponzorují výzkum, objednávají zprávy o biologickém monitorování a aktivně se podílejí na mezinárodním sledování živé přírody a přírodních zdrojů. Hodnotu biologického a ekologické monitorování a sledování lze shrnout do těchto bodů:

1. Monitorování jako základ pro využívání biologických zdrojů v duchu trvale udržitelného rozvoje pro vyhledávání zdrojů.
2. Monitorování napomáhající účinné ochraně a využívání ekosystémů a populací.
3. Monitorování krajiny jako základ jejího lepšího využití, tj. spojení jejího využívání s její ochranou.
4. Monitorování stavu prostředí – využití organismů při monitorování znečištění a jako ukazatelů kvality prostředí.
5. Monitorování jako způsob rozšiřování znalostí o dynamice ekosystémů.

6. Monitorování hmyzích škůdců, umožňující zavést proti nim v zemědělství a lesnictví účinné způsoby boje (Spellerberg, 1995).

Strategie ochrany biologické rozmanitosti České republiky byla schválena usnesením vlády ČR v roce 2005. Je zpracována podle vzoru a v souladu se strategií Evropské unie pro jednotlivé sektory a složky (zemědělství, lesní ekosystémy, vodní a mokřadní ekosystémy apod.). Strategie obsahuje 12 hlavních témat. Jedním z nic je identifikace a monitorování biodiverzity, přičemž indikátory jsou vnímány jako nástroje shrnující komplexní informaci o všeobecném stavu a trendech biodiverzity a poskytují rámec pro monitorování cílů Úmluvy a vývoje složek biodiverzity (Polášková, 2011).

Fenger a Tjell (2009) udávají, že termín biologický monitoring (někdy také označovaný biologická indikace) se týká použití organismů k odhadu kvality životního prostředí, tj. obsahu znečišťujících látek v životním prostředí, pozorováním a analýzou účinků na tyto organismy.

Jak dodává Novotná (2001), komplexně jde o několikastupňový a víceúčelový informační systém počínající standardními měřícími metodami (analýzami), přes sběr dat a jejich složité statistické a počítačové zpracování. Výsledky monitorování po dalším zpracování vstupují jako důležitý podklad do procesu rozhodování ve sféře ochrany životního prostředí, monitorování kvality ovzduší, kvality vod, radioaktivního pozadí atd. Užívá se též termínů ekologický nebo environmentální monitoring.

Absolon (1994) zmiňuje, že pro sledování spadu těžkých kovů byly vybrány druhy travník Schreberův (*Pleurotium schreberi* (Brid.) Mitt.) a rokytník skvělý (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp.). Tam, kde se nevyskytují, je možné nahradit druhy lazovec čistý (*Pseudoscleropodium purum* (Hedw.) Fleisch.) nebo rokyt cypřišový (*Hypnum cupressioforme* Hedw.). Ve vzorcích lze stanovit obsah As, Cd, Cu, Fe, Mn, Cr, Al, Ni, Pb, Se, V, Zn, Mo. Na plochách BMP (bazální monitoring půd) lze sledovat současně také atmosferický spad pomocí Bergenhoffových nádob.

Stanová a Viceníková (2003) uvádějí, že opakované vegetační mapování je zřejmý nástroj studia prostorové dynamiky vegetace. Vegetační mapa může být velmi užitečná i jako dodatečná informace o hydrologických podmínkách lokality, když se bere v úvahu, že při

mapování mohou být vegetační typy indikátorem hydrologických podmínek. Příkladem je hodnocení vegetační sukcese slatin v lokalitě „De Bollemaart“ v Holandsku, kde se v minulosti těžila rašelina. Na vegetační mapě z roku 1956 dominovala mezotrofní a vápnomilná slatinná vegetace (*Scorpidio-Caricetum diandrae* a slatinné louky *Cirsio-Molinietum*). Porovnáním s mapou z r. 1989 zjistili, že z původní vegetace se zachovaly jen zbytky a v této době zde dominují kyselomilná společenstva (*Sphagnetum palustri-papillosi a Pallavicinio-Sphagnetum*). Tyto změny zapříčinila změna hydrologických podmínek. Dominantní vliv má nyní povrchová voda, která je chudá na živiny a která vytvořila podmínky pro vznik eutrofního rašeliniště.

Dykyjová (1989) uvádí, že ekologický monitoring je zaměřen také na soustavné sledování vybraných antropických nebo antropogenních zásahů do krajiny, na tzv. impaktní monitoring. Hlavní místo zde zaujímá bioindikace a ekologický monitoring ekotoxikologických změn zejména ve vztahu ke znečištění (kontaminaci) prostředí průmyslovými imisemi a agrochemikáliemi. Monitoring je zaměřený na soustavné sledování vývojových tendencí a změn ekologické homeostáze krajinných systémů a jejich jednotlivých složek nejen v současnosti, ale i v minulosti. Změny druhové, početní a strukturální skladby planě rostoucích rostlinných a volně žijících živočišných společenstev totiž vypovídají komplexně o stavu krajinného systému a jsou nezastupitelnými ukazateli zejména tam, kde převažují kulturní, intenzivně obhospodařované porosty. Analýzy se zpravidla opírají také o znaky stanoviště, které charakterizují některé činitele, jež mohou ovlivňovat studované změny a pochody např. nadmořská výška, tvar reliéfu, orientace svahů a oslunění, geologický podklad, půdní charakteristiky (půdní typ a půdní druh), klimatické charakteristiky (klimatická oblast, teplota, srážky, sněhová pokrývka), geobiocenologické charakteristiky, lesnatost, antropologická zátěž (např. provoz na silnících, dálnicích aj.), chemizace zemědělství (druh, rozsah a intenzita používání agrochemikálií). Pokusné plochy a zkoumané lokality se volí tak, aby reprezentativně zachycovaly sledovaného činitele prostředí, popř. jeho různé kvalitativní a kvantitativní úrovně – např. typy znečištění, intenzity znečištění, druh a rozsah lidské činnosti apod. Velikost pokusné plochy se řídí podle bioindikačního druhu nebo bioindikačního společenstva.

Jeffrey a Madden (1991) udávají, že biomonitorování životního prostředí lze dosáhnout zaznamenáním změn v regionálním a místním rozšíření indikátorových rostlin, jako jednotlivců, populací a komunit. Distribuční vzorce citlivých indikátorových rostlin se používají k ilustraci rozsahu a intenzity dopadu na člověka (znečištění ovzduší, půdy a vody), což vedlo ke změně životního prostředí v zemích střední Evropy. Bioindikátory různé úrovně biologické organizace jsou důležité pro monitorování těchto změn životní úrovně zvážením biochemických a fyziologických reakcí, odchylky od normálu v anatomii, morfologii, biorytmech a chování, změny rostlinných a živočišných populací (složení a distribuce), změny v biocenózách zahrnující jejich distribuci, změny ve struktuře a funkci ekosystémů zahrnující jejich rozdělení (možná rozmístění), změny krajinného rázu. Kromě aktivního monitorování, které se zabývá testovanými organismy exponovanými za standardizovaných a polních podmínek, poskytuje pasivní biomonitorování fytoindikátory analýzu buď viditelného nebo neviditelného poškození nebo odchylky od normálního stavu. Extrémní změny podmínek prostředí jsou z dlouhodobého hlediska indikovány změnami populační dynamiky a částečnou, nebo úplnou, změnou distribučního vzorce. Fytoindikátory rostlinných druhů, které se biologicky monitorují, se zdají být charakterizovány fluktuací jednotlivců nebo druhové rozmanitosti v rostlinných společenstvech. Často zmizí citlivější divoké rostliny, které mají být nahrazeny agresivními nováčky, kteří dobývají změněné stanoviště. To lze snadno zjistit mapováním druhů, populace nebo rostlinného společenství. Extrémní eutrofizace způsobená kejdami a aplikace mimořádně vysokého množství hnojiv drasticky změnily půdní podmínky a podpořily šíření a růst např. nitrofilního náprstníku (*Digitalis*) v lesním prostředí. Další změna životního prostředí, ke které v současné době dochází v zimním období, je spojena s aplikací posypových solí a solných roztoků, které obsahují chlorid sodný a hořečnatý, na silnice. Mapování zblochanec oddálený (*Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.), původního halofytu na slaných stanovištích podél pobřeží Baltského moře a kolem vnitrozemských slaných pramenů, umožňuje sledování dlouhodobého zasolování náspů a okrajů dálnic a ulic. Kromě mapování jednotlivých druhů rostlin nebo jejich kombinací, lze současnou změnu životního prostředí ilustrovat mapováním měnících se distribučních vzorců rostlinných společenstev. Nejvíce zasolené půdy jsou bez vegetace. Gradient od vyšší salinity je zodpovědný za zonaci rostlinných společenstev od *Salicornieta* po *Astero-Puccinellietum* a další společenstva odolná vůči solím.

Jak uvádí Spellerberg (1995), rostlinných indikátorových druhů bylo úspěšně použito při vyhledávání původních lesních porostů a při jejich klasifikaci. Bioindikace původních lesních porostů je založena na rozdílné rychlosti, s jakou kvetoucí rostliny a kapraďorosty kolonizují nové lesní porosty. Původní lesy je možné identifikovat pomocí řady druhů cévnatých rostlin, které jsou s nimi úzce svázány. Existuje seznam typických indikátorových druhů těchto lesů. Obdobně se postupuje při identifikaci sekundárních lesních porostů, jejichž výzkum později umožní získat výchozí informace pro monitorovací programy. Základem indikace znečištění pomocí celého společenstva jsou změny relativní abundance jednotlivých druhů. Dominance druhů se v souvislosti s kolísáním např. organického znečištění značně mění.

5 Vybrané metody biomonitoringu

5.1 Letecké snímkování

Dálkový výzkum Země slouží k zachycení krajinného pokryvu na značně širokém rozpětí časoprostorové škály. Povrch Země se snímá z výšky v různých spektrálních pásmech elektromagnetického záření, protože různé povrchy odrážejí/pohlcují záření o různých vlnových délkách. Dva hlavní typy dat představují letecké a satelitní snímky. Letecké fotografie poskytují značně přesné zachycení mozaiky krajinného pokryvu. Zasahují zhruba sto let do minulosti. Pravidelné letecké snímkování se prování ve většině evropských zemí, jsou výborným zdrojem informací o dlouhodobých změnách vegetačního pokryvu krajiny. Aby je bylo možno využít pro analýzu časových změn, jsou standardním postupem upravovány. Fotografie se skenují a rektifikují, aby odpovídaly skutečným zeměpisným souřadnicím, dále jsou klasifikovány a analyzovány. Satelitní snímky mají většinou menší rozlišení než letecké snímky, zato ale mohou zachytit rozsáhlá území a s větší frekvencí. Srovnání historického stavu krajiny a vegetace se současnou podobou se nazývá retrospektivní monitoring. Při mapování je důležité zvolit správnou velikost plochy, prostorové uspořádání ploch (preferenční, systematické, náhodné či stratifikované). V České republice existuje celoplošný systém dlouhodobého monitoringu rostlinstva, který je však zaměřen pouze na zvláště chráněná území. Takzvané inventarizační průzkumy byly iniciovány v sedmdesátých letech 20. stol., jak uvádí Rybka a kol. (2004).

5.2 Mikromapování

Vegetační mapy – představují většinou subjektivně vytvořenou mozaiku vegetačních jednotek definovaných pomocí druhového složení, fyziognomie a/nebo podmínek prostředí. Značně subjektivní jsou mapy potenciální vegetace. Pomocí časové série map aktuální vegetace můžeme popsat dlouhodobé změny vegetace v krajinném měřítku. Jako matrici lze použít mapy potenciální přirozené vegetace. Nepřesnost ve vymezení hranic segmentů je možné do značné míry korigovat mapováním na podkladě leteckých nebo satelitních snímků, avšak opakování map je zatíženo jen stěží odhadnutelnou mírou nepřesnosti (Doušová a Bůzek, 2016).

Nejsnazší skupinou jsou vytrvalé druhy se snadno identifikovatelnými jedinci. Zde jsou používány metody počítání jedinců, a to buď na celých lokalitách, nebo jejich částech, s cílem pokrýt spektrum stanovištních podmínek na lokalitě. Dále se metodika liší dle početnosti druhů na lokalitě. U druhů s nízkými početními stavy jsou jednotlivé rostliny v terénu nezaměnitelně označeny nejlépe kovovými nerezovými štítky s čísly, zapuštěnými do země. Dohledávání je pak možné například pomocí detektoru kovů. Tato metoda se velmi často uplatňuje především u orchidejí a dalších geofytů. Sledují se tak například všichni známí jedinci vstavače trojzubého (*Orchis tridentata* (Scop.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase) v České republice. Na speciálních biotopech lze provést označení jiným vhodným způsobem (např. na skalách barvou, ve vodě bójkami). Označování není nutné v případech, kdy vzdálenost mezi jedinci je dostatečná a lokalita natolik přehledná, že postačuje zákres jednotlivých rostlin s uvedením jejich vzdálenosti od definovaných terénních objektů či je možno je jednoznačně zaměřit pomocí GPS. U větších a nápadných druhů lze použít i letecké snímkování z nižších výšek. V případě shloučených populací je možné nahradit individuální značení rostlin mikromapováním v trvale značených čtvercích s rastrem. Velikost čtverce bývá nejčastěji 0,25 až 1 m^2 s rastrem 5 x 5 až 10 x 10 cm. Pozice každé rostliny je v tomto případě vynesena do mikromapy. U druhů s vyššími početními stavy jsou buď sčítáni všichni jedinci, avšak bez detailního označování, nebo je sčítána pouze vybraná část jedinců. V takovém případě je zásadní rozhodnutí, jak tuto část jedinců vybrat. Obvykle se výběr dělá v plochách či podél transektů. Některé odlišnosti se vyskytují při monitorování monokarpních druhů se snadno identifikovatelnými jedinci. Vzhledem k tomu, že kvetoucí jedinci u takovýchto druhů nepřežívají, je součástí monitoringu u víceletých monokarpů důsledné dohledávání juvenilních rostlin. Další specifickou skupinou jsou klonální druhy s obtížně identifikovatelnými jedinci. Ty lze rozdělit na dvě podskupiny. První z nich jsou druhy vytvářející listové růžice. Zde nepracujeme s jedinci, ale listovými růžicemi. Druhou skupinou jsou druhy vytvářející souvislé porosty, odhadujeme pouze pokryvnost. Poslední velkou speciální skupinou jsou efemerní druhy pulsující na lokalitě. Např. druhy obnažených den, u kterých probíhá monitoring nepravidelně. Všeobecně je důležitá frekvence monitoringu – ideálně každoroční monitoring u druhů s nápadně oddělenými fenofázemi i monitoring vícekrát za sezónu. Pro každý monitoring bezvýhradně platí nutnost zajistit opakovatelnost sledování (Rybka a kol., 2004).

Doušová a Bůzek (2016) uvádějí, že mikromapování je grafickou metodou, dávající poměrně přesné a snadno čitelné výsledky. Na začátku práce je potřeba vymezit mapovanou plochu alespoň natažením provazu po jejím obvodu. Zanesení polohy rostlin do mapy lze usnadnit rozčleněním mapované plochy na menší čtverce (např. natažením sítě z provazu). Velmi často jsou používány také dřevěné nebo kovové rámy s pevně zabudovanou sítí pro odečet (např. rám 1x1 m se sítí 10x10 cm apod.). Zvláště u menších ploch je výhodné plochu také fotograficky zdokumentovat. Vlastní mikromapu zhotovujeme v přiměřeném měřítku v závislosti na velikosti mapované plochy a mapovaném druhu. Do mapy zakreslujeme polohu jednotlivých rostlin (polykormonů), nebo jejich populací buď zvolenými značkami, nebo obrysově – kvetoucí rostlin červeně, nekvetoucí černě. Vedle sledovaných taxonů je nezbytné zakreslit i ostatní druhy (jedince, polykormony), které se na mapované ploše vyskytují. Zvláštní důraz klademe na druhy bioindikačně významné (invazivní, nitrofilní, náletové dřeviny aj.). Je nezbytné zakreslení testovací plochy do mapy 1:10 000 a 1:50 000 a slovní popis její lokalizace, reliéfu, expozice, sklonu, nadmořské výšky, velikosti plochy, geologických, pedologických a hydrologických poměrů a dalších charakteristik. Je nutné pořídit orientační plánek.

5.3 Fytocenologické snímkování

Jednou ze speciálních technik používaných v nauce o rostlinných společenstvech – fytocenologii – je fytocenologický snímek. Za rozvoj metody fytocenologického snímkování, které se běžně používá nejen v České republice, vděčíme především Švýcaru Josiasu Braun-Blanquetovi. V praxi se fytocenologický snímek získá tak, že se nejprve ve vybrané vegetaci vymezí určitá plocha, zpravidla čtverec nebo obdélník, jehož rozměry mohou být od jednoho až po několik set m^2. V něm se rostliny podle výšky rozdělí do několika pater – v nejspodnějším jsou mechorosty a lišejníky, o něco výše byliny, případně semenáčky dřevin a nakonec keře a stromy s případnými liánami a epifyty. V každém z těchto pater se zaznamenají všechny druhy včetně odhadu plochy, kterou pokrývají – tato plocha se odhaduje buď v procentech, nebo pomocí speciálních stupnic, jako je např. sedmičlenná Braun-Blanquetova nebo jedenáctičlenná Dominova. Dále se zaznamenává datum zápisu, sklon svahu a jeho orientace ke světovým stranám, nadmořská výška, pokryvnost jednotlivých vegetačních pater nebo přesná poloha snímku. Pomocí

fytocenologických snímků lze studovat rostliny na úrovni rostlinných společenstev, což je úroveň nadřazená úrovni rostlinných populací. Fytocenologické snímky slouží k dosažení klasifikace vegetace, která spočívá v tom, že se v přírodě hledají určité skupiny rostlin (rostlinná společenstva), která mají typickou kombinaci druhů, fyziognomii (např. les nebo trávník) a ekologii. Pomocí fytocenologických snímků lze odpovědět i na řadu zajímavých ekologických otázek, týkajících se konkrétních přírodních podmínek, druhové diverzity, využívají se ke studiu chování a šíření invazivních druhů aj. Snímky se často používají i v ochraně přírody, např. jako součást inventarizačních průzkumů, pro hodnocení biotopů aj. Díky tomu, že fytocenologie, jako vědní obor, má v České republice dávné kořeny, bylo na našem území zapsáno již více než 100 000 snímků, jejichž největším zdrojem je Česká národní fytocenologická databáze, uvádí Michalcová (2010).

Novotná (2001) dodává, že fytocenologický snímek je soupis všech druhů rostlin přítomných na vymezené vzorkovací ploše; jejich početnost i pokryvnost se vyjadřuje semikvantitativně. Stanoví se topografie, půda, patrovitost, význačná druhová kombinace pomocí druhů charakteristických a konstantních. Minimální velikost plochy snímku je empiricky doporučena pro les 200 – 500 m^2, louky 10 – 25 m^2 a pastviny 5 – 10 m^2.

Fytocenologické snímky v Česká národní fytocenologické databázi zachycují období od 20. let minulého století. Snímky zachycují ale jen subjektivně vybranou část vegetace, z hlediska biodiverzity naštěstí právě tu nejzajímavější. Velkou nevýhodou je jen přibližná přesnost lokalizace. Fytocenologické snímkování je nutné provádět ve 2 - 5letých intervalech, ve stejném stádiu sezónního vývoje vegetace. Ve většině případů, v rámci jedné trvalé plochy, je nutné pořídit dva (tři) fytocenologické snímky, k zachycení jarního a letního aspektu. Přibližné termíny zápisů fytocenologických snímků: lesy (konec června až červenec), louky (před prvním kosením, zpravidla v první polovině června; mezofilní louky koncem května až počátkem června, mokré louky v červenci až srpnu), stepi (červen), horská bylinná vegetace (červenec až srpen), efemerní společenstva (první polovina května). Pomocí fytocenologického snímkování lze zjistit floristické složení porostu, jeho strukturu a podíl jednotlivých taxonů. Po syntéze fytocenologických snímků lze zařadit snímkované porosty k příslušným fytocenologickým jednotkám. Při fytocenologickém snímkování je sledována floristická skladba, patrovitost, početnost a pokryvnost. Floristická skladba zachycuje

kvalitativní složení vegetace na vytyčené ploše. Jedná se tedy o soupis taxonů daného společenstva. Na této skladbě se podílejí všechny dřeviny (stromy, keře, dřevnaté liány), byliny, mechorosty a lišejníky. Protože počet zaznamenaných druhů je závislý na velikosti plochy, jsou stanoveny tyto velikosti fytocenologického snímku: bučiny a smrčiny 400 m^2, ostatní typy lesa 200 m^2, křovinná společenstva 40 m^2, společenstva luční, pastvinná a stepní společenstva alpinského primárního bezlesí a rašeliniště 25 m^2, efemerní vegetace 1 m^2. Obvykle se používají plochy ve tvaru čtverce, nebo obdélníku. Floristická skladba se zjišťuje podle jednotlivých pater. Popis těchto pater tak vytvoří popis celého společenstva. Přítomné druhy ve společenstvu zapisujeme vědeckými názvy. Je nutné zapsat všechny přítomné taxon ve všech vývojových stádiích. Druhy, které neurčíme na místě, označíme číslem fytocenologického snímku a pořadovým číslem a určíme je dodatečně, nebo je herbářujeme a určení zadáme. Soupis dodatků k evidenční kartě monitorovací plochy představuje geografická, geologická, pedologická, hydrologická, botanická a zoologická charakteristika, mezoklimatická a meteorologická charakteristika (včetně chemismu ovzduší), management a antropogenní vlivy, přehled monitorovacích a výzkumných programů, závěrečné zprávy za jednotlivé etapy monitorování, mapy 1: 50 000 a 1: 10 000. Monitorování (monitoring) je v přírodních vědách i v ochraně přírody často užívaným metodickým postupem. Monitorování (resp. biomonitoring) je v ochraně přírody již řadu let využíváno při studiu kvantitativních i kvalitativních změn v populacích ohrožených a vzácných druhů rostlin a živočichů na řadě lokalit. Výsledky monitorování jsou pak používány pro management těchto lokalit. Důraz je kladen zejména na vytvoření projektu systematického a dlouhodobého získávání souborů dat o vybraných skupinách organismů ve zvláště chráněných částech přírody. Účelem je monitorování dlouhodobých změn v populacích a společenstvech modelových organismů na vybraných monitorovacích plochách (Doušová a Bůzek, 2016).

Primack a kol. (2001) uvádějí, že monitorování populací může být také zaměřeno na zvláště citlivé druhy, které lze využít jako biologické indikátory dlouhodobé stability ekologických společenstev. Inventarizací rozumíme zjišťování počtu jedinců v populaci. Opakováním soupisu v časových intervalech jdoucích po sobě můžeme stanovit, zda je populace stabilní, početně roste, nebo klesá. Inventarizace je nenákladná a přímá metoda.

6 Náměty na aktivity s tematikou bioindikátorů a biomonitoringu při výuce biologie

Jedním z cílů této bakalářské práce je vytvoření vlastních autorských námětů na aktivity spojené s tematikou bioindikátorů a biomonitoringu při výuce biologie, které lze použít i v rámci přírodovědného semináře. Navržené aktivity jsou určeny pro žáky čtyřletých gymnázií, kteří již dosahují potřebných znalostí v oblasti botaniky, morfologie a fyziologie rostlin, geologie, ekologie a jsou schopni tyto znalosti dále rozvíjet.

Aktivita č. 1 Sledování výskytu mechorostů

Anotace aktivity: V rámci terénního cvičení pracují žáci ve skupinách v lesním prostředí. Žáci si v praxi osvědčí své teoretické znalosti, naučí se bezpečně rozlišovat lupenitou (frondózní) a lístkatou (foliózní) stélku, rozlišenou na rhizoidy, kauloid a fyloidy. V praxi se seznámí s gametofytní a sporofytní generací mechorostů.

Cílová skupina: žáci 1. ročníku gymnázia

Pomůcky: lupa, klíč k určování mechorostů, sešit, psací potřeby

Lokace: lesní porost

Termín realizace: duben až září

Cíl aktivity: zopakování a ukotvení učiva biologie, praktické pozorování, kooperace žáků na plnění úkolů, rozvoj smyslového vnímání (zrakové, hmatové), rozvoj kognitivního myšlení

Popis aktivity: Úvodem budou žáci seznámeni s jednotlivými aktivitami, metodami a postupem bádání. Následně budou rozděleni po pěti až šesti žácích do skupin, ve kterých budou plnit zadané úkoly. Na závěr bude každá skupina prezentovat své výsledky, s následnou závěrečnou diskusí.

Prvním úkolem je nalézt ve vytyčeném prostoru alespoň 7 druhů mechorostů, u kterých žáci na základě morfologických znaků, za pomoci lupy a klíče k určování mechorostů, určí rodové a druhové názvy. Následně si vytvoří do sešitu nákres jednotlivých rostlinek, zaznamenají rodový a druhový název a na jakém podkladu byly mechorosty nalezeny.

Závěr: Na závěr žáci vyhodnotí, které druhy se nejčastěji v dané lokalitě vyskytují, zamyslí se nad jejich využitím jako bioindikátorů daného prostředí, uvažují o jejich významu z hydrologického hlediska, celkovém významu pro životní prostředí, diskutují o možných příčinách jejich úbytku a důležitosti jejich ochrany.

Aktivita č. 2 Vytváření herbářových položek

Anotace aktivity: Žáci si vytváří na základě sběru vybraných rostlinných bioindikátorů herbářové položky, seznamují se s odlišnými morfologickými znaky jednotlivých rostlinných druhů a současně si uvědomují i společné morfologické znaky, příznačné pro rostliny se stejnými nároky na podmínky stanoviště.

Cílová skupina: žáci 1. – 4. roč. gymnázia

Pomůcky: papírové sáčky, psací potřeby, sešit, lopatka, novinový nebo jiný savý papír, lepenkové desky, bílé čtvrtky, lepící páska

Lokace: různé biotopy (např. les, suchá louka, vlhká louka, pastvina, mokřad aj.) v okolí školy, učebna

Termín realizace: duben - červen

Cíl aktivity: zopakování a ukotvení učiva botaniky, především z oblasti morfologie a ekologie, praktické pozorování, uvědomění si souvislostí s výskytem vybraných druhů rostlin na daném stanovišti, kooperace žáků na plnění úkolů, práce s rostlinným materiálem, osvojení metod zpracování vzorků

Popis aktivity: Žáci postupně navštíví rozmanité biotopy, kde se nejdříve sami zaměří na pozorování dominujících rostlinných druhů. Tyto druhy si zapíší do sešitu. S pomocí učitele se seznámí s bioindikátory daného stanoviště, vyhodnotí ty, které nejsou chráněnými nebo ohroženými druhy a odeberou za pomocí lopatky celé rostliny, které očistí od zeminy a uloží do papírových sáčků, označených názvem rostliny, místem a datem odběru.

Po příchodu z terénního cvičení provedou žáci v učebně ihned vyjmutí vzorků rostlin ze sáčků, připraví si papírové štítky s uvedením druhu rostliny, jména, kdo odběr provedl, datem a místem odběru, jménem nálezce. Následně rostlinu i se štítkem rozloží mezi savý novinový papír. Takto připravené vzorky navrší na sebe, vloží do lepenkových desek a zatíží

např. knihami. Každé dva dny se pak následně rostliny překládají do nových suchých novin až do úplného vysušení. Po vysušení nalepí rostliny na bílé čtvrtky za pomoci lepící pásky, v pravém dolním rohu nalepí štítek. Jednotlivé herbářové položky vloží do tvrdých desek pro vytvoření uceleného herbáře.

Závěr: Žáci se seznamují s vytvořenými herbářovými položkami, porovnávají z morfologického hlediska získané exempláře v rámci jednoho druhu. Zamýšlí se, proč je důležité vytvářet herbářové položky, k čemu mohou přispět a proč jsou např. důležitými muzejními položkami v přírodovědném muzeu.

Aktivita č. 3 Charakteristika vybrané lokality na základě výskytu rostlinných bioindikátorů

Anotace aktivity: Při přírodovědné exkurzi navštíví žáci v optimálním období (květen až první polovina června) vybranou lokalitu, na které vytvoří fytocenologický snímek. Na základě získaných dat charakterizují biodiverzitu, porovnají četnost jednotlivých rostlinných populací a na základě výskytu rostlinných bioindikátorů se pokusí charakterizovat půdně-ekologické podmínky dané lokality.

Cílová skupina: žáci 3. a 4. roč. gymnázia

Pomůcky: dřevěné kolíky, provázek, pásmo, lupa, seznam rostlinných bioindikátorů s obrázky a popisem druhů, sešit, psací potřeby

Lokace: luční porost

Termín aktivity: květen až první polovina června

Cíl aktivity: uplatnění teoretických znalostí botaniky a ekologie v praxi, orientace v terénu, kooperativní učení, rozvoj kognitivního učení

Popis aktivity: Žáci provedou v čtyřčlenných skupinách fytocenologické pozorování lučního porostu. Vymezená plocha bude pouze pro demonstraci a z časových důvodů stanovena pro každou skupinu na 2 m^2. Na každém stanovišti bude připraven seznam rostlinných druhů, včetně jejich obrázků a popisů, pomocí nichž se žáci snaží ve vytyčeném prostoru dané rostliny najít. K dispozici mají i lupy pro lepší rozlišení morfologických

znaků. Do terénního zápisníku si žáci zapíší určený rostlinný druh a četnost jeho výskytu na stanovišti.

Závěr: Na základě zjištěných údajů ze všech stanovišť se pokusí všichni žáci společně odvodit, jaké půdně-ekologické podmínky v dané lokalitě působí. Dále se žáci pokusí, na základě získaných údajů, odpověď na otázku: „Proč se některé druhy vyskytují ve vyšší, nebo naopak nižší četnosti, jen v určité části daného prostoru?“

Aktivita č. 4 Charakteristika vodního režimu vybrané lokality pomocí rostlinných bioindikátorů

Anotace aktivity: Žáci pracují ve skupinách s výukovými kartičkami, na kterých jsou uvedeny fotografie a krátké popisy, včetně nároků na stanoviště jednotlivých rostlinných druhů. Dále obdrží každá skupina nákres krajiny. Na základě dosažených informací o jednotlivých rostlinách na fotografiích se snaží tyto fotografie umístit do prostoru nákresu krajiny, který nejlépe vyhovuje jejich nárokům na stanoviště.

Cílová skupina: 3. - 4. roč. gymnázia

Pomůcky: výukové kartičky, nákresy krajiny

Lokace: učebna

Termín realizace: listopad - červen

Cíl aktivity: Žáci si upevní znalosti botaniky, morfologie rostlin, ekologie a geologie, kooperativního učení, argumentace

Popis aktivity: Žáci pracují po čtyřech ve skupinách. Každá skupina obdrží totožný nákres krajiny. V nákresu je zachyceno luční společenstvo s nakreslenými xerofytními druhy, v další části s hydrofilními druhy podél vodního toku, v další části nákresu jsou typické druhy nitrofilní v blízkosti vyobrazené zemědělské půdy s hnojištěm, v další části druhy vyskytující se na bazických substrátech v prostoru vyobrazených vápencových skal, v pozadí pak smíšený lesní porost a skalní vyvýšenina.

Každá skupina obdrží sadu 12 kartiček s fotografiemi vybraných bioindikačních druhů rostlin s různými nároky na půdně-ekologické podmínky prostředí. Každý člen skupiny si postupně vylosuje 3 kartičky. Dříve než dojde k umístění kartičky do nákresu krajiny, ukáže

žák fotografii ostatním členům skupiny, určí český název rostliny, pokusí se ji popsat z morfologického hlediska, nároků na stanoviště a případně uvést i jemu známé zajímavosti, vážící se k tomuto druhu rostlin. Po vzájemné debatě a případném doplnění informací o daném druhu ostatními členy skupiny, umístí kartičku s daným druhem rostliny do nákresu krajiny tak, aby co nejlépe vystihovalo prostředí jeho nároky na půdně-ekologické podmínky.

Závěr: Zvolený zástupce z každé skupiny obhájí v závěrečném komentáři před ostatními členy dalších skupin volbu v zařazení daného druhu k určitému stanovišti na obrázku krajiny a v závěrečné diskusi vyhodnotí společně všichni účastníci nejlepší řešení.

Aktivita č. 5 Stanovení zvýšeného obsahu N v půdě na základě rostlinných bioindikátorů

Anotace aktivity: Žáci pracují ve skupinách. Každá skupina provede na jednom stanovišti, v přesně vymezeném prostoru botanické sledování, vyhodnotí druhy, které lze využít jako bioindikátory zvýšené půdní zásoby N a odvodí na základě pozorování okolního prostředí, co může být možnou příčinou zvýšeného obsahu N v půdě.

Cílová skupina: žáci 3. – 4. roč. gymnázia

Pomůcky: sešit, psací potřeby

Lokace: pastevní porost

Termín realizace: květen až září

Cíl aktivity: kooperativní učení, rozvoj kognitivního myšlení, zopakování a ukotvení získaných teoretických poznatků z oblasti biologie v praxi

Popis aktivity: Žáci si úvodem zopakují s pomocí učitele teoretické znalosti o bioindikátorech zvýšeného N v půdě, včetně uvedení příkladů rostlinných druhů a praktických ukázek rostlin. Následně se rozdělí do čtyřčlenných skupin, které provedou biomonitoring daného pastevního porostu. Do sešitu si zakreslí plánek sledovaného porostu s výskytem vybraných bioindikátorů a zaznamenáním výskytu jejich četnosti. Na základě celkového pozorování sledovaného porostu a okolního prostředí se pokusí vyvodit, z jaké možné příčiny se zde mohou vyskytovat lokality s vysokým obsahem dusíku.

Závěr: Vyhodnocení výsledků jednotlivých skupin a vzájemná diskuse. Studenti se zamyslí nad důležitosti volby managementu zemědělské krajiny a jeho vlivu na biodiverzitu a celkově životní prostředí.

Aktivita č. 6 Stanovení znečištění atmosféry na základě poškození listů vybraných druhů dřevin

Anotace aktivity: V rámci laboratorního cvičení provedou žáci analýzu vzorků listů vybraných druhů dřevin z různých oblastí s různou intenzitou poškození vlivem zvýšené obsahu CO_2 a SO_2 v ovzduší. Na základě výsledků vyhodnotí, u jakých druhů a v jakých lokalitách bylo poškození nejintenzivnější. Žáci se rovněž zamyslí nad příčinami tohoto znečištění v dané oblasti a možnostmi jeho eliminace.

Cílová skupina: žáci 3. – 4. roč. gymnázia

Pomůcky: milimetrový papír, bílý papír, pastelka, obyčejná tužka, psací potřeby, špendlík, lupa, rostlinný materiál (vzorky listů s různou intenzitou poškození)

Lokace: učebna

Termín realizace: září

Cíl aktivity: Práce s rostlinným materiálem, propojení teoretických znalostí z biologie a ekologie s praktickým pozorováním, rozvoj kognitivního myšlení a smyslového vnímání.

Popis aktivity: Žáci pracují v rámci laboratorního cvičení individuálně. Každý žák obdrží vzorky listů vybraných druhů dřevin s různou mírou poškození vlivem CO_2, SO_2. Úkolem žáků bude zakreslit vzorky jednotlivých druhů v reálné velikosti a úrovni poškození na milimetrový papír a stanovit procentické poškození listu. Celkovou plochu listu vytvoří tak, že list překryjí papírem a zlehka přetřou naplocho pastelkou nebo obyčejnou tužkou. Získaný otisk vystřihnou a nakreslí na milimetrový papír. Na překreslený obrys listu na milimetrovém papíře položí skutečný list a pomocí propíchávání špendlíkem obvodu poškozené plochy obrazně přenesou tuto plochu listu na milimetrový papír. Takto vyznačené plochy pak obtáhnou tužkou. Následně vypočítají podíl poškozené plochy na jednotlivých listech, porovnají úroveň poškození listů různých druhů dřevin z jednotlivých lokalit.

Závěr: V závěrečné diskusi žáci porovnají své výsledky a zamyslí se nad možnými příčinami znečištění ovzduší, možnostmi zabránění dalšímu znečišťování a jaké jsou přístupy ke znečištění ovzduší v ČR a ve světě.

Aktivita č. 7 Mapování vybraného území s výskytem křídlatky japonské (*Reynoutria japonica* Houtt.) a její využití jako bioindikátoru

Anotace aktivity: Žáci opakovaně během časového období 6 měsíců navštíví lokalitu s výskytem křídlatky japonské. V dané lokalitě zjišťují četnost výskytu a její fenologické stádium, které zaznamenávají do mapových listů a terénních zápisníků. Po 6 měsících získané výsledky vyhodnotí, zhodnotí intenzitu rozšiřování a možná rizika s tím spojená.

Cílová skupina: 3. – 4. roč. gymnázia

Pomůcky: terénní zápisník, psací potřeby, lupa, pásmo, mapový list sledované lokality

Lokace: lokalita s výskytem křídlatky japonské

Termín realizace: ve třech časových intervalech – duben, květen, červen

Cíl aktivity: práce s rostlinným materiálem, mapování, propojení teoretických znalostí z biologie, environmentální výchovy a ekologie s praxí, kooperativní učení

Popis aktivity: V rámci terénního cvičení se žáci seznámí s invazivním druhem křídlatkou japonskou. V úvodu jsou učitelem seznámeni s jejími morfologickými znaky, nároky na půdně-ekologické podmínky, zemí původu, obdobím jejího objevení v Evropě a ČR, příčinách jejího zavlečení do naší oblasti a významu z hlediska škodlivosti i přínosu jako obnovitelného zdroje energie nebo v léčitelství.

V rámci terénního cvičení žáci mapují vybranou lokalitu s výskytem invazivní křídlatky japonské. Zjišťují četnost jejího výskytu na daném území ve třech časových intervalech (duben až červen). Výskyt tohoto druhy zaznamenávají do mapových listů dané lokality v jednotlivých časových úsecích.

Závěr: Na základě svých zjištění vyvodí závěry o intenzitě a rychlosti šíření této invazivní rostliny a dopadů na domácí flóru. V závěrečné diskusi se zamyslí nad jejím možným využitím jako bioindikátoru prostředí a současně nad možnostmi regulace jejího šíření v ČR.

Aktivita č. 8 Mechorosty jako bioindikátory

Anotace aktivity: Žáci pozorují individuálně vybrané druhy pěti mechorostů, které lze označit jako bioindikátory. Následně zhotoví mikroskopický preparát tobolky ploníku (*Polytrichum*).

Cílová skupina: žáci 1. – 4. roč. gymnázia

Pomůcky: rostlinný materiál, lupa, binokulární lupa, mikroskop, podložní sklíčka, krycí sklíčka, žiletka, střička, destilovaná voda, psací pomůcky, sešit

Lokace: učebna

Termín realizace: listopad - červen

Cíl aktivity: uplatnění teoretických znalostí v praxi při práci s rostlinným materiálem, práce s mikroskopem, vytvoření mikroskopického preparátu, zdokonalení se v samostatné badatelské činnosti

Popis aktivity: Žáci pozorují za pomoci binokulární lupy morfologické znaky vybraných druhy mechorostů. Do sešitu si zakreslují morfologickou stavbu rostlin, kterou doplní o popis jednotlivých částí rostlinného těla. Následně provedou zhotovení mikroskopického preparátu – příčného řezu nezralé tobolky ploníku (*Polytrichum*), ve kterém sledují uspořádání tobolky a tvar výtrusů, které zakreslí do sešitu. Dále vytvoří a porovnají mikroskopické preparáty – příčné řezy fyloidů ploníku a rašeliníku.

Závěr: Na závěr vyhodnotí žáci svá pozorování, zamyslí se nad úlohou mechorostů v ekosystému, využitím rašeliníku v současnosti (balneologie, zahradnictví aj.) a v naší historii (topivo, stelivo aj.).

Závěr

V bakalářské práci jsem se formou literární rešerše zabývala tématikou rostlinných bioindikátorů z několika hledisek. Rostlinné bioindikátory jsou významnou součástí životního prostředí. Na jejich základě můžeme odvodit půdní podmínky prostředí z hlediska mateční horniny, koncentrace vodíkových iontů, zvýšené koncentrace solí, úrovně dusíkatých látek obsažených v půdě nebo ve vodě, či zvýšenou koncentraci těžkých kovů. Díky rostlinným bioindikátorům můžeme posuzovat i kvalitu ovzduší, odvodit i případný výskyt nežádoucích emisí.

Biomonitoring, včetně mapování a fytocenologického snímkování a dalších bioindikačních metod, nám umožňuje i retrospektivně nahlédnout do vývoje životního prostředí sledovaných lokalit. Bioindikace nám umožňuje věnovat zvýšenou pozornost i taxonům ohroženým, nebo druhům expanzivním, jejichž zvýšený výskyt odráží změny životního prostředí.

Jako bioindikátory lze využít mnohé u nás rostoucí druhy rostlin, které mají úzkou ekologickou valenci a svým výskytem signalizují charakteristické vlastnosti stanoviště. Rostlinných bioindikátorů je velká řada. V této bakalářské práci jsem se věnovala především rostlinným druhům vyskytujících se v České republice tak, abych postihla všechny úrovně bioindikací, v práci zmiňovaných.

V závěru práce jsem vytvořila několik námětů na aktivity s tematikou bioindikátorů a biomonitoringu při výuce biologie, aby je bylo možné použít v rámci vícehodinových terénních cvičení, nebo v rámci laboratorního cvičení v běžné vyučovací hodině.

Téma bioindikátorů spatřuji jako velmi důležitý prvek a součást výuky biologie z hlediska praktického vnímání okolní přírody a uvědomování si mnohých signálů, které nám příroda prostřednictvím bioindikátorů dává.

Seznam použitých informačních zdrojů

ABSOLON, Karel. *Metodika sběru dat pro biomonitoring v chráněných územích.* Praha: Český ústav ochrany přírody, 1994.

ANDĚL, Petr. *Ekotoxikologie, bioindikace a biomonitoring.* Liberec: Evernia, 2011. ISBN 978-80-903787-9-7.

BEDNÁŘOVÁ, Jaroslava. *Herbář, aneb od anděliky k žindavě.* Praha: Fortuna Libri, 2015. ISBN 978-80-7321-943-7.

DELLA BEFFA, Maria Teresa. *Luční květiny: přirozená krása květů na okraji cesty.* Přeložil Ludvík HELEBRANT. Praha: Euromedia Group, 2001. Velký průvodce přírodou. ISBN 80-242-0625-0.

DOUŠOVÁ, Barbora a František BŮZEK. *Chemie životního prostředí: úvod do chemie atmosféry, hydrosféry a geosféry.* Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-979-2.

DYKYJOVÁ, Dagmar. *Metody studia ekosystémů.* Praha: Academia, 1989.

FENGER, Jes a Jens Chr TJELL. *Air pollution: from a local to a global perespective.* Cambridge: RSC Publishing, 2009. ISBN 978-1-84755-865-7.

HEJNÝ, Slavomil, Bohumil SLAVÍK, Lubomír HROUDA a Vladimír SKALICKÝ. *Květena České republiky.* 2. vyd. Praha: Academia, 2003. ISBN 80-200-1089-0.

HERMANN, František. *100 českých léčivých rostlin.* Praha: Plot, 2007. ISBN 978-80-86523-81-1.

HROUDA, Lubomír. *Rostliny luk a pastvin.* Praha: Academia, 2013. Atlas. ISBN 978-80-200-2259-2.

HOWELL, Laura, Laura HAMMONDS, Reuben BARRANCE, Michael HILL a Kate RIMMER. *Putování přírodou. Stromy, květiny, ptáci.*1. vyd. Praha: Svojtka & Co., 2016. ISBN 978-80-7352-775-4.

CHYTRÝ, Milan, Tomáš KUČERA, Martin KOČÍ, Vít GRULICH a Pavel LUSTYK. *Katalog biotopů České republiky.* 2. vyd. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2010. ISBN 978-80-87457-02-3.

JEFFREY, D.W. a B.MADDEN. *Bioindicatos and environmental management.* London: Academic Press, 1991. ISBN 0-12-382590-3.

JENÍK, Jan. *Obecná geobotanika: úvod do nauky o rostlinstvu.* Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1972.

JÓŽA, Pavel a Pavel VONIČKA. *Jizerskohorská rašeliniště.* Liberec: Jizersko-ještědský horský spolek, 2004. ISBN 80-903252-3-8.

KALINA, Tomáš a Jiří VÁŇA. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii.* Praha: Univerzita Karlova, 2010. ISBN 978-80-246-1036-8.

KINCL, Lubomír, Miroslav KINCL a Jana JAKRLOVÁ. *Biologie rostlin: pro 1. ročník gymnázií.* 4. vyd., Praha: Fortuna, 2008. ISBN 80-7168-947-5.

KLIMEŠ, František. *Lukařství a pastvinářství: biodiagnostika a speciální pratotechnika.* Č. Budějovice: ZF JU, 2004. ISBN 80-7040-738-7.

KOLÁŘ, Filip. *Ochrana přírody z pohledu biologa: proč a jak chránit českou přírodu*. Praha: Dokořán, 2012. ISBN 978-80-7363-414-8.

KOLBEK, Jiří a Václav VĚTVIČKA. *Rostliny na každém kroku.* Praha: Granit, 2000. ISBN 80-85805-95-2.

KVASNIČKOVÁ, Danuše. *Rostliny naší přírody: atlas rostlin.* Benešov: Blug, 2015. ISBN 978-80-7274-034-5.

LIPPERT, Wolfgang a Dieter PODLECH. *Kapesní atlas - květiny: poznávání a určování důležitých kvetoucích rostlin střední Evropy.* 2. vyd. Praha: Slovart, 2005. ISBN 80-7209-686-9.

MICHALCOVÁ, Dana. *Co je fytocenologický snímek.* Živa. Praha: Academia, 2010, 58 (6), 265 – 266, ISSN 0044-4812.

MÜNKER, Bertram. *Plané rostliny střední Evropy.* 2. vyd. Praha: Knižní klub, 2005. Průvodce přírodou. ISBN 80-242-1365-6.

NOVOTNÁ, Dagmar, ed. *Úvod do pojmosloví v ekologii krajiny.* Praha: Enigma, 2001. ISBN 80-7212-192-8.

PAPÁČEK, Miroslav. *Zoologie.* 3. vyd. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-7183-203-0.

PHILLIPS, David J.H. a Philip S. RAINBOW. *Biomonitoring of trace aquatic contaminants.* London: Elsevier Applied Science, 1993. Environmental management series. ISBN 1-85166-884-5.

POLÁŠKOVÁ, Anna. *Úvod do ekologie a ochrany životního prostřední.* Praha: Karolinum, 2011. ISBN 978-80-246-1927-9.

PRACH, Karel, Milan ŠTĚCH a Pavel ŘÍHA. *Ekologie a rozšíření biomů na Zemi.* Praha: Scientia, 2009. Biologie dnes. ISBN 978-80-86960-46-3.

PRIMACK, Richard B., Pavel KINDLMANN a Jana JERSÁKOVÁ. *Biologické principy ochrany přírody.* Praha: Portál, 2001. ISBN 80-7178-552-0.

PROCHÁZKA, Stanislav, Ivana MACHÁČKOVÁ, Jan KREKULE a Jiří ŠEBÁNEK. *Fyziologie rostlin.* Praha: Academia, 1998. ISBN 80-200-0586-2.

RAJCHARD, Josef, Zuzana BALOUNOVÁ a Dušan VYSLOUŽIL. *Ekologie.* České Budějovice: Kopp, 2002. ISBN 80-7232-189-7.

ROSYPAL, Stanislav. *Nový přehled biologie.* Praha: Scientia, 2003. ISBN 978-80-86960-23-4.

RYBKA, Vlastimil, Romana RYBKOVÁ a Zbyněk HRADÍLEK. *Rostliny ve stivu evropských hvězd: rostliny soustavy NATURA 2000 V České republice.* Olomouc: Sagittaria, 2004. ISBN 80-239-4177-1.

ŘEHÁK, Bohuslav. *Vycházky do přírody.* Praha: SPN, 1971.

SHELFORD, Victor E. *The ekology of North America.* Urbana: University of Illinois Press, 1963.

SCHAUER, Thomas. *Svět rostlin: 1150 květin, trav, travin, stromů a keřů střední Evropy.* 4. vydání. Čestlice: REBO Productions, 2013. Velký průvodce přírodou. ISBN 978-80-255-0715-5.

SLAVÍK, Bohumil, Jindřich CHRTEK a Pavel TOMŠOVIC. *Květena České republiky.* Praha: Academia, 1997. ISBN 80-200-0590-0.

SLAVÍK, Bohumil, Jitra ŠTĚPÁNKOVÁ a Radmila BĚLOHLÁVKOVÁ. *Květena České republiky.* Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1161-7.

SLAVÍKOVÁ, Jiřina. *Ekologie rostlin.* Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1986.

SPELLERBERG, Ian F. *Monitorování ekologických změn.* Přeložil Radoslav OBRTEL, přeložil Barbora CHRUDINOVÁ. Brno: Český ústav ochrany přírody, 1995. ISBN 80-901855-2-5.

SPITZER, Karel a Ivana BUFKOVÁ. *Šumavská rašeliniště.* Vimperk: Správa Národní parku a Chráněné krajinné oblasti Šumava, 2008. ISBN 978-80-254-2149-9.

SPOHN, Margot. *Co tu kvete?: originální průvodce přírodou.* Praha: Knižní klub, 2016. ISBN 978-80-242-5066-3.

STANOVÁ, Viera a Andrea VICENÍKOVÁ. *Biodiverzita Abrodu: stav, zmeny a obnova*. Bratislava: DAPHNE – Centrum pre aplikovanú ekológiu, 2003. ISBN 80-89133-01-0.

ŠLÉGL, Jiří, František KISLINGER a Jana LANÍKOVÁ. *Ekologie a ochrana životního prostředí: pro gymnázia.* Praha: Fortuna, 2002. ISBN 80-7168-828-2.

ŠTURSA, Jan a Jiří DVOŘÁK. *Atlas krkonošských rostlin.* České Budějovice: Karmášek, 2009. ISBN 978-80-87101-06-3.

TÖLGYESSY, Juraj. *Otázky a odpovede z biológie životného prostredia.* Bratislava: Alfa, 1989. ISBN 80-05-00096-0.

VACEK, Oldřich. *Přirozená bezlesí vápencových oblastí.* NIKA. Praha: Občanské sdružení centrum environmentálních studií, 2014, 35 (10), 14 – 16. ISSN 0862-514X.

VAČKÁŘ, David. *Ukazatele změn biodiverzity.* Praha: Academia, 2005. ISBN 80-200-1386-5.

WOHLLEBEN, Peter. *Přírodě na stopě: jak pozorovat, chápat a využívat přírodní jevy nejen na zahradě*. Přeložil Dagmar HEEG. Brno: Kazda, 2020. ISBN 978-80-7670-000-0.