

# Organismy jako bioindikátory měnícího se prostředí

*J. Boháč: Organisms as Bioindicators of Environmental Changes. Život. Prostr., Vol. 33, No. 3, 126–129, 1999.*

**Bioindicators are considered those organisms (or their communities) which living functions are closely related to environmental factors. Bioindication is the method that is applied for obtaining quick biological information with minimum time delay.**

**The importance of bioindicators in the monitoring of environmental changes is discussed with some practical examples. In recent years the development and use of Biological Early Warning Systems (BEWS) in aquatic environment has increased. Some examples of these systems are demonstrated.**

Jednou z hlavních otázek při hodnocení jakékoliv lidské činnosti a jejich vlivů na kvalitu životního prostředí je stanovení kritérií tohoto hodnocení. Tato kritéria by měla odrážet stav lidské populace v daném území, stav flory a fauny s důrazem na ochranu genofondu, stupeň ovlivnění neživé přírody (půdy, vody, ovzduší) a kulturních hodnot. Praktickým vyjádřením hodnocení lidských činností v ČR je zákon ČNR č. 244/1992 Sb. o posuzování vlivů činností a jejich důsledků na životní prostředí. Při praktické aplikaci tohoto zákona se často setkáváme s problémy právě při jeho použití na biologické systémy – floru a faunu, populace ohrožených druhů, jednotlivé ekosystémy a krajinu, a také na lidskou populaci. Důvodem je to, že projevy činnosti člověka, které se hlavně měrou podílejí na současných negativních změnách životního prostředí, jsou velmi různorodé. Jedná se o širokou škálu změn, od chemických změn prostředí (imise, odpady, pesticidy) až po odvodňování (meliorace) a zamokřování (výstavba nádrží) pozemků, přímé rozrušování struktury půdy (zemědělské obhospodařování), hluboké narušení struktury krajiny (těžba nerostných surovin, výstavba) atd. Mnohé současné antropické činnosti mají pak několik hlavních účinků na životní prostředí, které se často různě kombinují a sčítávají. Například výstavba reaktorních zařízení, skládek odpadů, nových průmyslových podniků apod. se projevují změnou struktury krajiny a jejím odvodňováním, změnou půdní struktury, produkcí odpadů, znečištěním ovzduší a vody, následným ovlivněním flory, fauny, lidského osídlení a zdraví atd. Takový komplexní vliv je měřicí technikou obtížně

postizitelný. Některé projevy činnosti člověka jsou zcela nové, nebo jsou jejich biologické účinky monitorovány poměrně nedávno (např. produkce nových chemických přípravků a odpadů, globální změny klimatu).

Jednou z možností, jak zjišťovat vliv lidské činnosti na zdraví organismů, funkci ekosystémů i na strukturu a fungování celé krajiny je využití živých organismů jako indikátorů kvality.

## **Bioindikátory a bioindikace, význam a hodnota biologického monitorování**

Jako bioindikátory označujeme organismy nebo jejich společenstva, jejichž životní funkce jsou korelovány s faktory prostředí tak těsně, že mohou sloužit jako jejich ukazatele (Schubert, 1985). Na základě cíle, s jakým je biologické monitorování prováděno, můžeme rozlišit tři hlavní skupiny bioindikátorů:

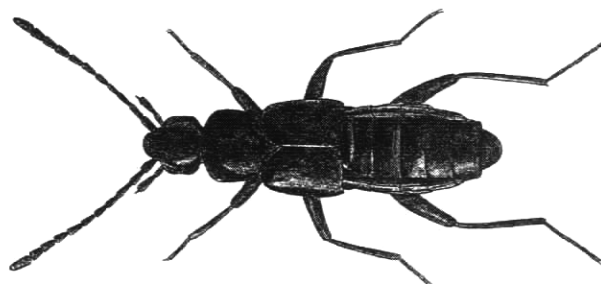
- První skupinu tvoří tzv. *testovací organismy*, které se používají v laboratorních testech pro bezprostřední studium účinku různých vlivů prostředí. Testování v laboratoři je velmi efektivní, protože můžeme v mikro-, mezo- nebo makrokosmech prostředí efektivně kontrolovat a výsledky získáme za poměrně krátkou dobu (hodiny, dny či týdny). Také interpretace výsledků laboratorních pokusů je často snazší než monitorování v přírodních podmínkách. Na druhé straně, výsledky získané z těchto testů většinou neplatí v přírodních podmínkách, kde dochází vlivem dalších faktorů (dalších abiotických a zejména biotických vlivů) ke zcela odlišným reakcím organismů. Velmi rozšířené jsou tzv. testy

toxicity, zejména ve vodním prostředí (Máchová, Vykušová, Svobodová, 1993).

• Druhou skupinou jsou **indikátory pro impaktní monitorování** (často označované jako *organismy sentinely*) používané pro sledování změn v terénu na modelových druzích s registrací fyziologických ukazatelů, patologických úchylek od normálu, sledování vývojových tendencí, genetických změn atd. Do této skupiny mohou být přiřazeny také bioindikátory používané pro sledování kumulace látek v jejich těle indikující rozsah znečištění. Tyto bioindikátory můžeme rozdělit na *pasivní* a *aktivní* v závislosti na tom, zda pouze pasivně registrujeme změny organismů sentinelů v přírodě (např. sledování kumulace těžkých kovů ve vybraných vodních rostlinách v řece), či je aktivně vystavujeme v antropogenně zatíženém prostředí (např. vystavování k ozonu citlivých odrůd rostlin v různě ozonem zatíženém městském prostředí). Jako příklad můžeme uvést srovnání hodnoty koncentrace hemoglobinu u populací hraboše polního z Mostecka a Třeboňska (Sedláček, Šťastný, Bejček, 1987). Hodnoty koncentrace hemoglobinu jsou v oblasti Mostecká téměř po celý rok nižší než na Třeboňsku. Průkazné snížení koncentrace hemoglobinu, určitá forma chudokrevnosti odrážející špatný zdravotní stav, je jistě ve spojitosti s průmyslovým znečištěním krajiny.

Mezi organismy sentinely patří i **kumulativní bioindikátory**. Například půdní bezobratlí patří mezi významné kumulativní bioindikátory těžkých kovů a radionuklidů (Straalen, Krivolutsky, 1996). Velmi podrobné údaje o reakci jednotlivých druhů, populací a společenstev máme u půdních živočichů jako bioindikátorů znečištěného prostředí radionuklidy (Boháč, 1994).

• Třetí skupinou jsou **bioindikátory ekologické homeostáze** – tzv. *druhy ukazatelé*. Tyto druhy a jejich populace či společenstva mohou sloužit jako indikátory kvality krajiny a jejích částí, dokonce jsou použitelné pro prognózy jejího dalšího vývoje. Tato skupina bioindikátorů se používá v praktickém biomonitorování v chráněných částech přírody (Absolon, 1994). Jako příklad můžeme uvést využití společenstev na povrchu žijících brouků střevlíků a drabčků (Boháč, 1999). Ekologickou analýzou jejich společenstev, která zahrnuje sledování frekvence různě k lidské činnosti citlivých skupin (velmi citlivé druhy, druhy méně citlivé a tolerantní) v jejich společenstvech, sledování poměru pohlaví, frekvence druhů s různými migračními schopnostmi a dalších charakteristik, lze odhalit faktory, které se podílejí na změnách ve studovaných ekosystémech. Takovýto biologický výzkum může být levnější než výzkum přístrojový. Není například reálné měřit na určitém území po léta denně půdní vlhkost a ojedinelé měření nám nedá



1. Brouci žijící na povrchu půdy (např. střevlíci a drabčíci) se používají jako bioindikátory ekologické homeostáze krajiny. Absence některých skupin drabčků (na obrázku rod *Tachyusa*) indikuje celkové vysychání krajiny.

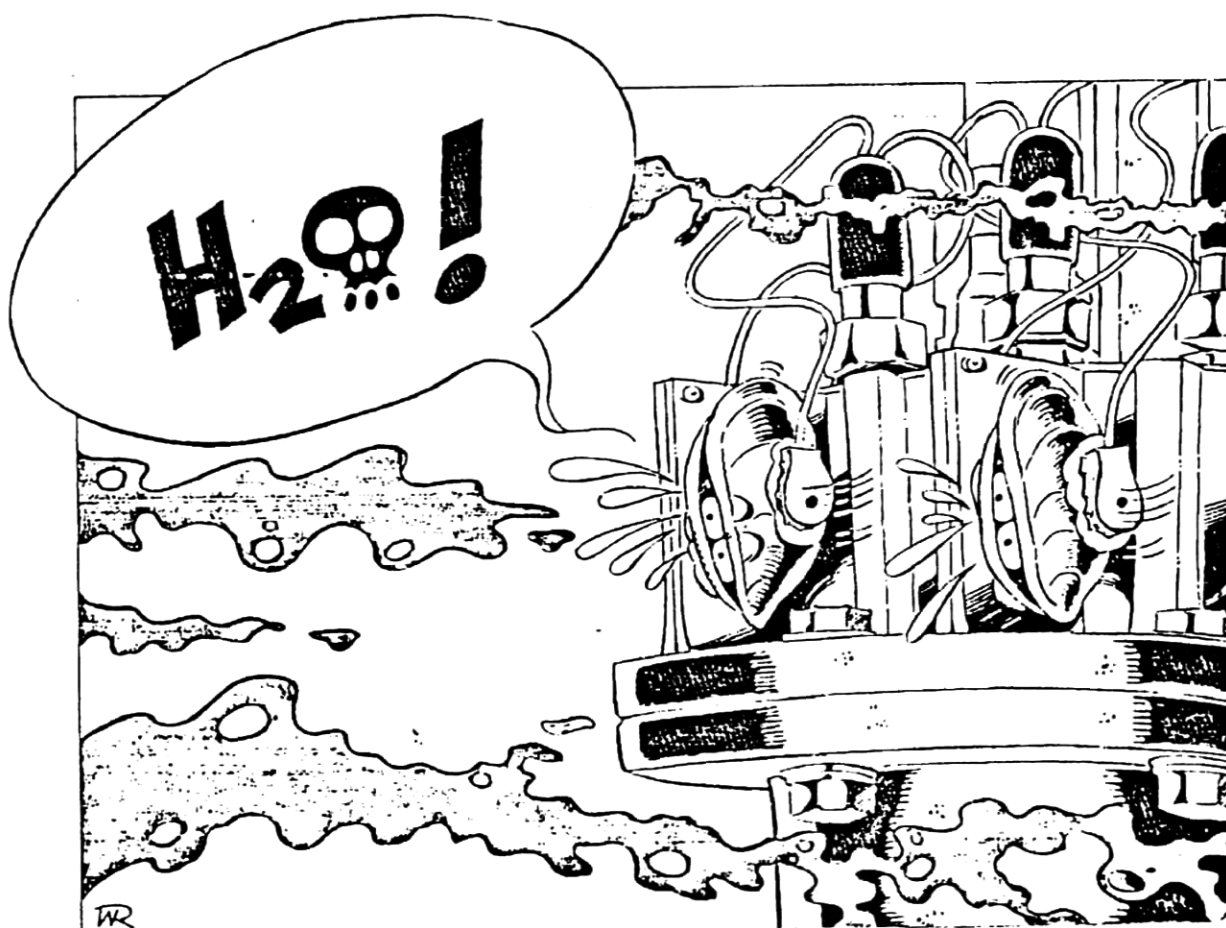
přesný obraz poměrů. Rostliny a živočichové žijící dlouhodobě na daném území jsou kumulativním odrazem přírodních poměrů. V tomto případě může např. i malá změna zastoupení vlhkomilných druhů ve společenstvu znamenat první kvantitativně doložené varování před nebezpečím postupného vysoušení krajiny.

Bioindikace je metoda používaná k získání rychlé biologické informace s minimální časovou prodlevou. Biologické monitorování je dlouhodobé v pravidelných intervalech se opakující sledování vybraných organismů, jejich životních projevů, populací či společenstev, ekosystémů nebo krajinných segmentů k určení kvality prostředí. Můžeme rozlišit tři hlavní kategorie monitorování:

- *monitorování shody* sledující soulad mezi zásahy do prostředí a zákonnými ustanoveními,
- *testování hypotéz* nebo verifikace modelů ověřujících platnost předpokladů a předpovědí,
- *monitorování trendů* sledující změny velkého rozsahu, které jsou očekávány jako následky různých lidských činností (Spellerberg, 1995).

2. Hraboš polní patří k typickým druhům živočichů používaných jako indikátory pro impaktní monitorování





3. Biologický výstražný systém *Mussel Monitor* prezentovaný na reklamní pohlednici s textem "Mušle kontrolují kvalitu vaší vody"

Dlouhodobé monitorování biologických systémů je významné např. pro poznání dlouhodobého účinku agrochemikálií (klasickým příkladem je ztenčování vaječných skořápek dravých ptáků), znečištění sladkých vod, insularizace krajiny (ostrovní efekt) atd. (Spellerberg, 1995).

Ne každý organismus je vhodný jako bioindikátor. Vhodný bioindikátor by se měl hojně vyskytovat na stanovištích, která jsou předmětem našeho zájmu, měl by trvale žít na nevelkém teritoriu, živit se potravou z tohoto teritoria a měl by být citlivý ke sledovanému faktoru. Jako indikátory se používají organismy různého taxonomického postavení, které se vybírají s ohledem na cíl biomonitorování. Nelze ovšem nalézt univerzální bioindikátory. Různé organismy jsou citlivé k různým faktorům. Některé indikátory jsou obecně známy a používány, například lišejníky jako indikátory čistoty ovzduší. Indikátory jiných vlivů se dosud intenzivně

hledají. Systémy bioindikátorů jsou vytvářeny pro celá prostředí, např. půdu (Straalen, Krivolutsky, 1996). Hledání nových metod biomonitorování je cílem programu "*Bioindikátory*" Mezinárodního svazu biologických věd (IUBS). Tento program má také za úkol standardizování metod, rozvíjení mezinárodní spolupráce při výzkumu bioindikátorů a podporování konferencí, zabývajících se bioindikátory (poslední setkání se konalo v Malajsii; Guan a kol., 1997).

#### **Komerční využití bioindikátorů – biologické výstražné systémy**

V současnosti jsme svědky komerčního využití bioindikátorů při tvorbě tzv. *biologických výstražných systémů* (Biological Early Warning Systems; Kramer, Botterweg, 1991). Tyto systémy jsou konstruovány většinou ve vodním prostředí a slouží k monitorování stavu vod. Biolo-

gické výstražné systémy jsou kombinací bioindikátorů a technických prostředků, které registrují reakci bioindikátoru na znečištění prostředí. Příkladem může být tzv. Mussel Monitor, který je používán pro monitorování znečištění vody (obr. 3). Jako bioindikátory jsou používány měkkýši druhů *Dreissena polymorpha*, *Anodonta cygnea*, *Unio pictorum* (pro sladkovodní prostředí) a *Mytilus edulis* (pro mořské prostředí). Tito měkkýši jsou velmi citliví na znečištění a na přítomnost toxických látek reagují pohybem (uzavřením) svých lastur. Tento pohyb se snímá pomocí elektrody s následným vyhlášením poplachu. Výhodou tohoto biologického výstražného systému je jeho kontinuální dlouhodobá přítomnost v prostředí a značná citlivost ke znečištění. Jeho spolehlivost jako indikátoru znečištění je podle výrobce i uživatelů větší než použití čistě technických systémů kontroly kvality vody.

Kromě měkkýšů se v biologických výstražných systémech používají nejčastěji různé druhy ryb (např. *Carrasius auratus*, *Leuciscus idus*, *Salmo gairdneri*), bezobratlých (*Daphnia magna* a *Daphnia pulex*) a bakterií (*Photobacterium phosphoreum*, *Synechococcus spp.* atd.). Přehled některých komerčně dodávaných biologických výstražných systémů je uveden v tab. 1.

#### Perspektivy využití bioindikátorů v měnícím se prostředí

Bez biologického monitorování a využití bioindikátorů nebudeme nikdy znát odezvu přírody na různorodou činnost člověka, která ji často negativně ovlivňuje. Bioindikátory jsou významné také pro posouzení odezvy přírody na opatření, která podnikáme k zachování biologické rozmanitosti, znovuoobnovení stability krajiny a zlepšení stavu životního prostředí. Perspektivy biologického monitorování jsou zejména v stanovení ekologických limitů v krajině z hlediska studovaných bioindikátorů. V komerční oblasti je pak perspektivní použití bioindikátorů jako biologických výstražných systémů.

#### Literatura

- Absolon, K., 1994: Metodika sběru dat pro biomonitoring v chráněných územích. Český ústav ochrany přírody a krajiny, Praha, 70 pp.
- Boháč, J., 1994: Bioindikátory radionuklidů v půdě. Život. Prostr., 28, 1, p. 11–14.
- Boháč, J., 1999: Staphylinid Beetles as Bioindicators. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1445, p. 1–16.
- Guan, T. S., Haji, A. J., Othman, S., Jambari, L., 1997: Abstracts of 9th International Symposium on Bioindicators. University Putra Malaysia, Serdang, 69 pp.

Tab. 1. Komerčně dostupné biologické výstražné systémy sledující kvalitu vody

Komerční název BVS	Dodavatel	Bioindikátor	Sledovaná reakce
WRc MkIII Monitor	pHOX	ryba	dýchání
BMI series 6000	BMI	ryba	dýchání
Aqua-Tox Control	Kerren	ryba	rheotaxe
Aquatest	Quantum Sci. Ltd	ryba	rheotaxe
Aztec FM 1000	Aztec	ryba	elektrické pulsy
Mussel Monitor	Delta Consult	měkkýši	pohyb lastur
Dynamische Daphnia Test	Elektron	Daphnia	aktivita
Microtox	Microbics Corps.	bakterie	světélkování
Lumistox	Lange	bakterie	světélkování
Stiptox	Stip	bakterie	dýchání
Toxiguard	EurControl	bakterie	dýchání

- Kramer, K. J., Botterweg J., 1991: Aquatic Biological Early Warning Systems. An Overview. In Jeffrey, D. W., Madden, B. (eds): Bioindicators of Environmental Management. Academic Press, London, San Diego, N. York, etc., p. 95–126.
- Máchová, J., Vykusová, B., Svobodová, Z., 1993: Toxicita a biodegradabilita odpadů a látek významných ve vodním prostředí. Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický, Vodňany, 257 pp.
- Schubert, 1985: Bioindikation in Terrestrischen Ökosystemen. Gustav Fischer Verl., Stuttgart, 327 pp.
- Sedláček, F., Šťastný, K., Bejček, V., 1987: Koncentrace hemoglobinu hraboše polního (*Microtus arvalis*) z průmyslově exponované a kontrolní oblasti. Sborník Ústavu aplikované ekologie a ekotechniky Vysoké školy zemědělské v Praze, 6, p. 61–72.
- Straalen, N. M., Krivolutsky D. A., 1996: Bioindicator Systems for Soil Pollution. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht etc., 261 pp.
- Spellerberg, I. F., 1995: Monitorování ekologických změn. Český ústav ochrany přírody, Brno, 187 pp.

RNDr. Jaroslav Boháč, DrSc. (1952), vědecký pracovník Ústavu ekologie krajiny AV ČR, Na sádkách 7, 370 05 České Budějovice, e-mail: jardabo@uek.cas.cz