



Úkolem ekotoxikologie je hodnotit dopady chemických látek uvolňovaných do životního prostředí na živé organizmy a navrhnout pravidla pro jejich použití

Definice ekotoxikologie



OBEČNÁ DEFINICE EKOTOXIKOLOGIE

Ekotoxikologie je věda, která se zabývá negativním působením toxikantů na biocenózy.

Biocenóza je živý systém (společenstvo) na libovolném stupni hierarchické biotické organizace, obývající určitý životní prostor.

Toxikant je chemická látka (směs látek), která má schopnost vyvolat negativní účinky na biocenózu (popř. jen na její část).

Pojem ekotoxikologie zavedl v roce 1969 francouzský vědec René Truhaut.

Definice ekotoxikologie



Ekotoxikologie je vědní obor na hranici mezi ekologií a toxikologií.

Toxikologie je věda, která se zabývá studiem nepříznivých účinků chemických, fyzikálních a biologických agens na živé organismy a ekosystémy včetně prevence a léčby těchto nepříznivých účinků.

Ekotoxikologie se zaměřuje na chemické znečištění životního prostředí (vody, potravin, ovzduší atd.) a to ve vztahu k jeho působení nejen na člověka, ale i na zvířata.

Praktickým cílem *ekotoxikologie* je posuzovat rizika, která mohou toxikanty přinášet a navrhopvat ochranná opatření. Tento metodický postup se nazývá hodnocení ekologických rizik.

Význam a cíle ekotoxikologie



Cílem ekotoxikologie je studium a rozšiřování poznatků o působení látek na živé systémy na všech úrovních (od buňky po biosféru).

Hlavními cílovými objekty jsou ekosystémy (přírodní i antropogenní) a člověk.

Rostoucí chemizace životního prostředí zvyšuje praktický dopad ekotoxikologie.

Poznatky ekotoxikologie by měly sloužit k efektivnímu využívání chemických látek při současném zajištění ochrany organismů a funkčnosti ekosystémů.

Ekosystémy poskytují řadu přímých i nepřímých služeb a většina z nich souvisí s využíváním chemických látek.

Zásadní problémy v ochraně životního prostředí souvisí s chemickou kontaminací.

Úvod do ekotoxikologie



Problémy ekotoxikologie lze rozdělit do dvou skupin v závislosti zda se řešení problému týká budoucnosti (prevence) nebo minulosti.

Z tohoto hlediska se ekotoxikologie rozděluje na **prospektivní** a **retrospektivní**.

Prospektivní ekotoxikologie - řeší prevenci znečištění prostředí

- testuje nové chemické látky před jejich uvedením na trh a do životního prostředí
- zhodnocuje míry ekologického rizika při použití nových chemikálií

Zásadní metodikou prospektivní ekotoxikologie jsou **ekotoxikologické testy**.

Úvod do ekotoxikologie



Retrospektivní ekotoxikologie - řeší problematiku dopadů činností a aktivit, které byly realizovány v minulosti

- testuje existující (staré) chemické látky
- zhodnocuje vliv starých ekologických zátěží

Zásadní metodikou retrospektivní ekotoxikologie jsou *terénní studie* a *dlouhodobý monitoring*.

REACH (Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals)

- hodnocení chemických látek dle evropské legislativy
- vstoupil v platnost 1. 6. 2007
- definuje jako „nové“ chemické látky ty, které byly uvedeny na trh po 18. 9. 1981

<http://www.reach-info.cz/>



Čtyři základní metodická východiska u **ekotoxikologie**

- systémový přístup
- vztah expozice a účinku
- pravděpodobnostní charakter hodnocení rizika
- evoluční přístup

Systemový přístup

System – soubor pravidelně na sebe působících a na sobě závislých složek, které tvoří jednotný celek (buňka, mozek, kapr obecný, rybník apod.)

Systemy mají určité společné vlastnosti bez ohledu na typ systému (živý, neživý).

Ekotoxikologie – systémový přístup



Základní obecné vlastnosti systému:

- celek je víc (jiná kvalita) než součet jeho součástí
- systémy jsou stupňovitě (hierarchicky) uspořádány
- systém (celek) a jeho součásti se vzájemně ovlivňují (podmiňují)
- systém se vyznačuje vnitřními a vnějšími vztahy
- systém má vstup a výstup (vyměňuje si energii, hmotu a informace)
- základním principem řízení systému je zpětná vazba

Zpětná vazba je informační spojení mezi výstupem a vstupem téhož prvku, které způsobuje, že vstup je závislý na výstupu a naopak. Tím může docházet k vnitřní regulaci systému.

Ekotoxikologie – zpětná vazba



Zpětná vazba se podle charakteru dělí na *pozitivní* a *negativní*.

Pozitivní zpětná vazba je charakterizována stejným směrem změn řízeného parametru v po sobě následujících cyklech.

(Parametr zvýšený v prvním cyklu řízení se i v dalším zvyšuje, nebo naopak při snížení v prvním cyklu následuje opět snížení v cyklech dalších)

Např. růst buněk nebo pokles vitality oslabeného organismu.

U dějů trvale řízených pouze pozitivní zpětnou vazbou musí po určité době dojít k překročení limitní hranice (kapacity prostředí) a systém se stává nestabilní nebo zaniká.

Ekotoxikologie – zpětná vazba



Negativní zpětná vazba je charakterizována střídáním směrů změn řízeného parametru v po sobě následujících cyklech. (Po zvýšení parametru následuje při překročení horní regulační meze snížení parametru a po překročení dolní regulační meze opět jeho zvýšení.)

Např. udržování homeostáze organismu nebo vztahy mezi velikostí populace kořisti a predátora v ekosystému.

Výsledkem děje řízeného negativní zpětnou vazbou je dynamická rovnováha.

Ekotoxikologie – systémový přístup



Systemový přístup je základem pro komplexní pohled působení toxikantu na ekosystém.

Výsledek ekotoxikologického vztahu je určen vzájemným působením čtyř základních činitelů:

- toxikantu
- ekosystému
- faktorů okolí
- člověka

Působení toxikantu na ekosystémy se odehrává vždy v individuálních podmínkách, které jsou prakticky neopakovatelné a proto je zobecňování výsledků značně problematické.

Ekotoxikologie – expozice a účinek



Při hodnocení vlivu toxikantu na ekosystém je třeba rozlišovat dva děje:

Expozici – stav, kdy se toxikant dostává do přímého kontaktu s ekosystémem. (s tím souvisí i cesta vstupu do organismu a osud toxikantu v prostředí)

Účinek – změna, kterou svým působením toxikant v ekosystému vyvolá.

Pouze pokud vstoupí toxikant do organismu a tam dosáhne místa citlivého na jeho působení (místo účinku) může dojít k škodlivému působení.

Bez přímé expozice nemůže docházet k přímému účinku.

K nepřímým účinkům může docházet i bez přímé expozice.

Ekotoxikologie – expozice a účinek



V hierarchickém uspořádání systémů postupuje expozice a účinek protisměrnými cestami. Expozice od vyšších úrovní k molekulám, účinek od molekul k vyšším úrovním.

V obou cestách existují mechanismy (aktivní nebo pasivní bariéry) které brání toxikantu v postupu a omezují manifestaci jeho účinků (enzymaticko-imunitní aparát, regenerace aj.).

Př. Obaleč modřínový (*Zeiraphera diniana*) – přemnožení 70-80. léta 20. století – organofosfáty (Actellic 50EC a Ambush 25 EC) – letecky 50 tisíc ha – likvidace 90% obaleče – ale vedlejší účinky – mimo jiné degradace fauny bezobratlých vodních toků – téměř kompletní likvidace pošvatek

Ekotoxikologie – pravděpodobnostní charakter



Působením toxikantu může i nemusí dojít k negativnímu vlivu na ekosystém.

Vztah mezi expozicí a účinkem má pravděpodobnostní charakter. Hodnotíme riziko negativního vlivu, tedy pravděpodobnost, že za dané situace dojde ke škodlivému (negativnímu) působení na sledovaný systém.

Míra neurčitosti odpovědi roste s organizační úrovní systému.

Z pravděpodobnostního charakteru rizika vychází i základní metodický přístup ekotoxikologie – stanovení vztahu mezi dávkou a účinkem (dose – response curve).

Základní výstupní parametry testů toxicity se udávají v pravděpodobnostním tvaru (LC_{50}).

Ekotoxikologie – pravděpodobnostní charakter



- Při ekotoxikologickém vyhodnocení často vyhodnocujeme pravděpodobnost, že se daný objekt nějak zachová, tedy jeho potenciál k dané akci (souhrn možností a schopností něco udělat)
- potenciál toxikantu k vyvolání účinku (nebezpečnost látky)
 - potenciál látky vyvolat expozici (biodostupnost látky)
 - potenciál systému k přijetí toxikantu (pravděpodobnost, že se v daném prostředí může druh s toxikantem setkat)
 - potenciál daného místa k depozici toxikantu (vzdálenost od zdroje, směr větru aj.)
 - potenciál místa k transformačním procesům (např. fotolýza)

Pravděpodobnostní charakter vztahu toxikantu a systému je zásadní – výstupy jsou zpracovávány metodikou hodnocení ekologického rizika (ERA, EcoRA).

Ekotoxikologie – evoluční přístup



Organizmy se musely na působení chemických toxických látek adaptovat již v průběhu fylogeneze a vytvořit si různé detoxifikační mechanismy.

Do organismu se různými cestami (potravou, dýcháním aj.) dostává neustále velké množství cizorodých látek (*xenobiotik*).

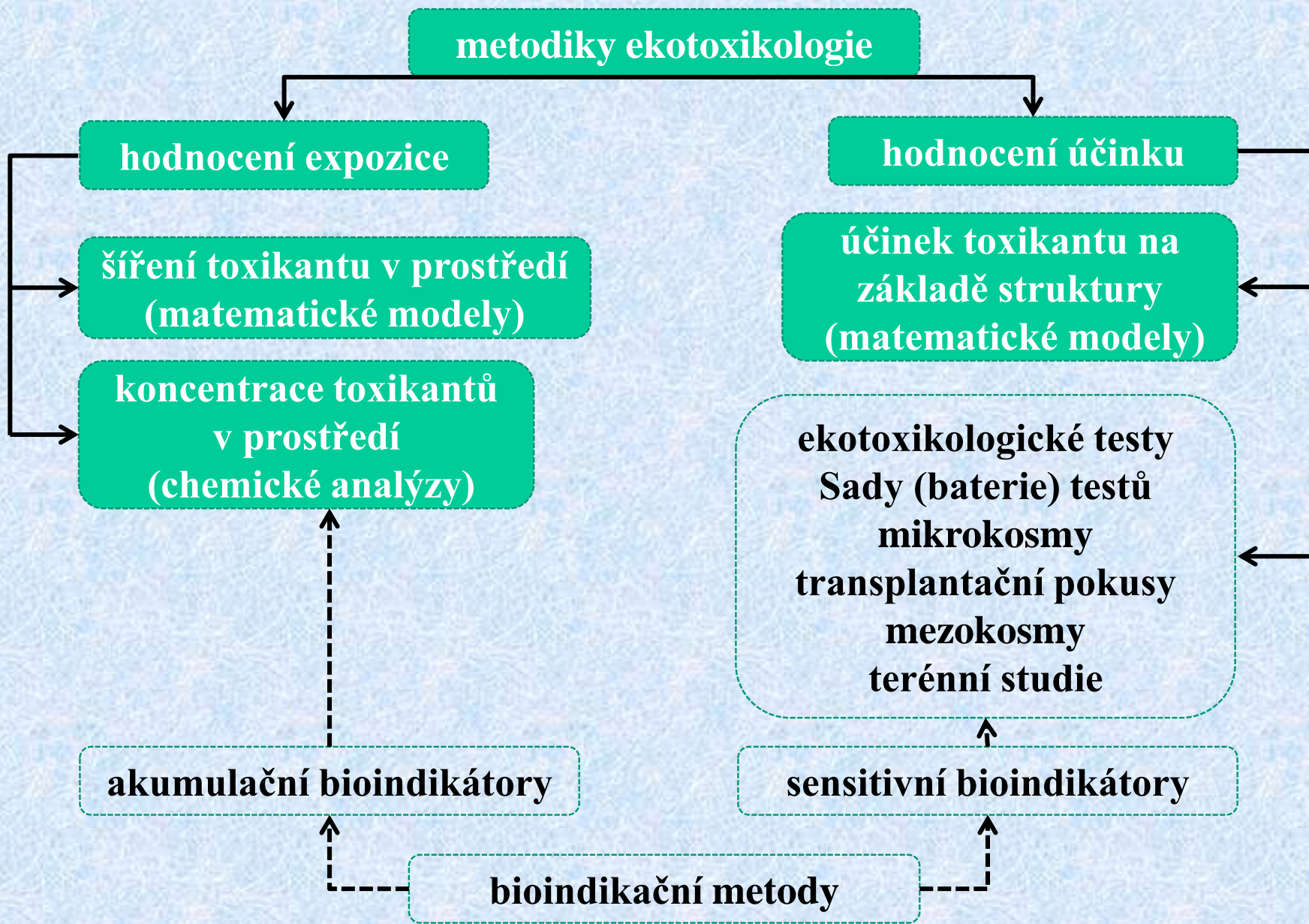
Nedochází k tomu pouze náhodně, protože používání chemických látek je nedílnou součástí konkurenčního boje mezi organismy. Organismy je používají jak k útoku tak k obraně. (toxiny, antibiotika aj.)

Současně se organismy musí vyrovnávat s přírodními kontaminanty (např. dioxiny vznikající při přírodních požárech). Základní detoxifikační mechanismy jsou u většiny organismů stejné i v případě antropogenních xenobiotik.

Př. funkce ledvin

Klasifikace ekotoxikologických metodik

(Anděl a kol. 2011, upraveno)





První testy toxicity – starověký Egypt

Popis a kvantifikace všech jevů od výstupu toxikantu ze zdroje po přímý kontakt s organizmem

- výstup toxikantu ze zdroje (*emise*)
- transport v prostředí včetně změn a transformací toxikantu v průběhu transportu (*transmise*)
- kontakt toxikantu s cílovým organizmem (*imise*)

Z praktického hlediska se metodiky hodnocení expozice dělí:

- hodnotící pohyb a přeměny toxikantu v prostředí (*dynamická složka*)
- hodnotící hladiny a rozšíření toxikantu v prostředí (*statická složka*)

Ekotoxikologie – hodnocení expozice



Hodnocení pohybu a přeměny toxikantu v prostředí

- nutná spolupráce ekotoxikologie s dalšími obory
- využívány především matematické modely
- rozptylové studie šíření toxikantů z různých zdrojů
- modely šíření látek ve vodním prostředí

např. <http://www.youtube.com/watch?v=j7UQXfN-J4E>

Hodnocení hladiny a rozšíření toxikantu v prostředí

- principem je odběr vzorků, chemická analýza a vyhodnocení
- výstupem je koncentrace toxikantu na daném místě a čase

např. monitoring kvality povrchových vod

- využití akumulčních bioindikátorů, pasivních vzorkovačů
- velký důraz na výběr vzorkovacích lokalit a techniku odběru vzorků



Procesy při pohybu a přeměnách toxikantů v prostředí

Při hodnocení pohybu a přeměny toxikantu v prostředí je stěžejní záležitostí rychlost degradace a transformace toxikantu tedy změny koncentrace v závislosti na čase.

Využívána konstanta **poločas rozpadu**, což je časový úsek, za který se přemění polovina výchozí koncentrace toxikantu.

V praxi se látka považuje za vymizelou po uplynutí doby 10 poločasů (zbývá cca jedna tisícina původního množství).

POZOR! Kinetika přeměny *radionuklidů* je vlastností pouze jádra radionuklidu (konstanta nezávislá na parametrech okolí). Kinetika přeměny *organických látek* je ovlivněna řadou faktorů prostředí a proto daný poločas rozpadu platí jen pro dané specifické podmínky.



Příklad poločasu rozpadu PAHs (polycyklické aromatické uhlovodíky) v různých matricích (Holoubek 1996, upraveno)

| PAHs | Kategorie poločasu rozpadu | | | |
|---------------|----------------------------|----------|----------|-----------|
| | ovzduší | voda | půda | sedimenty |
| naftalen | den | týden | 2 měsíce | 8 měsíců |
| antracen | 2 dny | 3 týdny | 8 měsíců | 2 roky |
| benzo(a)pyren | týden | 2 měsíce | 2 roky | 6 let |

Z tabulky je patrná vyšší perzistence PAHs s vyšším počtem benzenových jader především v půdě a sedimentech.



Difúze je proces, při kterém dochází k samovolnému mísení látek, které jsou v bezprostředním kontaktu.

Dvě stejné tekutiny s různou koncentrací dané látky mají v konečném důsledku po dosažení rovnováhy stejnou koncentraci dané látky.

Difúzní tok je úměrný gradientu koncentrace.

Příklady difúze v přírodě:

- difúze toxikantů z polárního prostředí do nepolárního (do tuků)
- zředování látek vypouštěných odpadními vodami do recipientu

Ekotoxikologie – hodnocení expozice



Sorpce je proces popisující děj na rozhraní dvou fází (plynnou a kapalnou, plynnou a pevnou, kapalnou a pevnou).

Hodnotí se dva aspekty – rovnovážná koncentrace mezi fázemi a doba (kinetika) k její dosažení.

Využívají se různé matematické modely (např. Freundlichova izoterma, Langmuirova izoterma).

Proces přestupu látek ovlivňuje řada faktorů mezi zásadní patří teplota.

Doba do ustavení rovnováhy se pohybuje v širokém intervalu (řádově od minut po roky).

V přírodě je ustanovení dlouhodobé rovnováhy výjimečnou záležitostí (kolísání teploty, konkurence jiných látek a procesů apod.).



Přírodní sorpční materiály (stěžejní):

Organická hmota – váže především organické lipofilní toxikanty a těžké kovy. Není konstantní materiál, nutná standardizace vzorkování (přepočet na 1 g organického uhlíku).

Jílovité materiály – váží široké spektrum látek, některé mají i průmyslové využití (např. bentonit).

Hydroxidy železa a hliníku – stěžejní ve vodním ekosystému, vážou organické látky a těžké kovy. Využití v technologiích čištění vod.

Vosková vrstva asimilačních aparátů rostlin – listy a jehličí výborným sorbentem lipofilních organických látek.

Ekotoxikologie – hodnocení expozice



Volatilizace je proces, při kterém je látka uvolňována z kapalné nebo pevné fáze do fáze plynné.

Na procesu se podílí odpařování a sublimace, pro popis procesu je stěžejní *Henryho zákon* (množství rozpuštěného plynu v kapalině je při stálé teplotě úměrné jeho parciálnímu tlaku nad kapalinou).

Volatilizace je značně závislá na teplotě a v přírodě je nutno počítat s denními a sezónními cykly.

Z globálního pohledu je trend rychlé volatilizace látek v klimaticky teplých oblastech a jejich opětovný záchyt v oblastech chladných.

Proto můžeme v Arktidě a Antarktidě nalézt látky, které zde nebyly nikdy aplikovány (dálkový transport).

Ekotoxikologie – hodnocení expozice



Fotolýza je abiotický degradační proces založený na absorpci elektromagnetického slunečního záření.

Významné především pro řadu organických látek.

Fotolýza je v reálu omezena pouze na ty ekosystémy, které jsou přístupné slunečnímu záření.

Ve vodním ekosystému jde o povrchovou vrstvu vody a povrch rostlin.

Hydrolýza je proces rozkladu chemické látky působením vody.

Významným faktorem je pH roztoku, které ovlivňuje rovnováhu i kinetiku procesu.

Oxidace je proces reakce látek s kyslíkem. Většinou reakce silně exotermní. Z ekotoxikologického hlediska jsou významné reakce vedoucí ke vzniku kyslíkových radikálů. Při oxidaci mohou vznikat toxičtější látky, než je původní toxikant.

Ekotoxikologie – hodnocení expozice



Po vstupu toxikantu do organismu může docházet k zániku toxikantu, jeho vyloučení z organismu, uložení do neaktivních zásob nebo k postupnému nárůstu jeho koncentrace.

Biokoncentrace je proces, při kterém se v živém organismu hromadí toxikant ve vyšší koncentraci, než jaká je v okolním prostředí.

Týká se především látek v přírodním prostředí se špatně rozkládajících (s nízkou biodegradabilitou) s tendencí kumulace v rámci potravního řetězce (perzistentní organické látky, těžké kovy).

Měřítkem biokoncentrace je biokoncentrační faktor (**BCF**).

$BCF = c \text{ v organismu} / c \text{ v prostředí}$

(poměr mezi koncentrací látky v organismu a koncentrací látky v prostředí)



Ve vodním prostředí rozlišujeme tyto typy hromadění toxikantu:

Biokoncentrace – zahrnuje nárůst toxikantu v organismů přímým působením životního prostředí, bez vlivu příjmu látky z potravy. BCF je poměr toxikantu v organismu k poměru ve vodě

Bioakumulace – zahrnuje nárůst toxikantu v organismu vlivem prostředí a příjmem v potravě. BAF lze vyjádřit jako příjem potravou + příjem z prostředí - vylučování

Biomagnifikace (bioobohacování) – kumulace toxikantu v organismu v rámci trofických úrovní. BMF se vyjadřuje jako poměr koncentrace toxikantu v organismu ke koncentraci v potravě.



Koncentrace vybraných POPs (perzistentní organické polutanty)
v potravním řetězci Dunajské delty (Covaci et al. 2006).

| | Σ DDT | Σ PCB |
|--|--------------|--------------|
| sediment | 0,9 - 17 | pod 2,0 |
| zoobentos (<i>Chironomus plumosus</i>) | 26 - 39 | 8,9 – 10,0 |
| zooplankton | 26 - 99 | 13 - 63 |
| ryby – perlín ostrobřichý | 178 - 180 | 46 - 48 |
| ryby – lín obecný | 603 - 654 | 165 - 168 |
| ryby – karas stříbřitý | 215 - 999 | 74 - 248 |
| ryby – sumec obecný | 568 - 1629 | 306 - 439 |
| ryby – kapr obecný | 2847 | 1248 |
| ryby – candát obecný | 4829 | 1416 |
| kormorán (<i>Phalacrocorax carbo</i>) | 1633 - 4977 | 695 - 3527 |

DDT – chlorovaný insekticid, PCB – polychlorované bifenyly



Biologická degradace

Z hlediska celkového toku toxikantů v prostředí je nejdůležitější *mikrobiální rozklad*.

Mikroorganismy je rozkládána většina organických toxikantů ve vodě. Molekuly toxikantu jsou většinou využívány jako zdroj energie a hmoty (uhlíku).

Degradace probíhá v aerobním nebo anaerobním prostředí. Někdy je potřeba obou fází (např. při degradaci PCB dochází nejdříve v anaerobních podmínkách k odštěpení atomů chloru a pak v aerobních podmínkách ke štěpení benzenového jádra).

Průběh a intenzitu biodegradace ovlivňuje řada faktorů: koncentrace toxikantu, množství organického substrátu, abiotické a biotické faktory prostředí.

Zvýšení teploty a přísunu živin vede k urychlení procesu.



Osud toxikantu ve vodním ekosystému.

Vstup do systému různými cestami, základním kritériem je úmyslnost šíření látky.

Záměrný vstup (*aplikace*) nebo neúmyslný vstup (*únik*).

Pro popis pohybu toxikantu v prostředí se používají matematické modely, které sledují prostorovou distribuci a časový vývoj koncentrací látek.

Základní faktory ovlivňující pohyb toxikantu jsou:

- koncentrace toxikantu ve vodě
- proudění vody a její fyzikálně-chemické faktory
- kontakt se suchozemskými ekosystémy (zavlažování, povodně)



Bilanční směšovací rovnice – základní model pro odhad kvality vody v toku po smíšení s vodami odpadními.

$$C = (C_1 \times Q_1 + C_2 \times Q_2) / (Q_1 + Q_2)$$

C – koncentrace toxikantu v recipientu po smíšení vod ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)

C_1 – koncentrace toxikantu v recipientu nad vyústěním odpadních vod ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)

C_2 – koncentrace toxikantu v odpadních vodách ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)

Q_1 – průtok v recipientu nad vyústěním odpadních vod ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Q_2 – průtok odpadních vod ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Ekotoxikologie – hodnocení expozice



Ve vodách je možné očekávat výskyt nárazových koncentrací toxikantů, které mohou být pro organizmy letální (havárie).

Hlavní příčiny otravy ryb jsou:

- zemědělské a komunální znečištění
- odpadní vody potravinářského průmyslu
- ropné produkty
- pesticidy
- odpadní vody ostatních průmyslových závodů

Ve vodách z ČOV se do recipientu mimo klasické kontaminanty dostávají i rezidua léčiv, antikoncepce, detergentů a desinfekčních prostředků, které mohou mít na vodní ekosystém negativní vliv. Znalosti o jejich ekotoxicitě jsou neúplné.



Vliv proudění vody

Rychlost proudění určuje čas kontaktu toxikantu na daném úseku toku.

Ovlivňuje samočistící pochody ve vodách, kdy je čistota vody závislá na vzdálenosti místa od zdroje odpadních vod.

Regulace a napřimování vodních toků se zrychluje odtok a zkracuje doba využitelná pro samočistící postupy.

Rychlost proudění ovlivňuje i míru sedimentace látek unášených vodou.

Zavlažování zemědělských půd

Zavlažováním vodou s povrchových toků může být potenciálním zdrojem vstupu toxikantů do potravin člověka.

Př. Otrava kadmíem itai-itai



Povodně

Obecně posunuje voda kontaminaci směrem od horního k dolnímu toku.

Povodně způsobují redistribuci toxikantů v prostředí jednak transportem směrem po proudu, jednak rozptýlením do okolních ekosystémů kontaminací zaplavených půd a uvolněním volatilních látek do ovzduší.

Př. Koncentrace PCB v ovzduší má klesající trend, povodně z let 1997-1998 a 2001-2002 tento trend přerušily.

Splachy toxikantů dešťovými srážkami z kontaminovaných lokalit na souši se zvyšuje znečištění povrchových vod.

Př. Vydra – vrchol potravního řetězce – výskyt závislý na obsahu perzistentních organických látek (především PCB) v rybím mase.



Akumulační indikátory

Jedna z běžných metod hodnocení expozice.

Využívány druhy organismů se schopností kumulovat zvýšená množství toxikantů.

Výsledky analýz pak ukáží zátěž lokality daným toxikantem.

U sledovaného organismu se často sledují i účinky toxikantu na biochemické a fyziologické úrovni (parametry růstu, krevní obraz, biochemické parametry krevní plazmy, ukazatele oxidativního stresu aj.).

Při vyhodnocování výsledku je nutno mít na zřeteli variabilitu živého systému, imunitní systém atd.

Zjištěné koncentrace v akumulčních bioindikátorech jsou modelem biodostupné složky toxikantu, nikoliv jeho celkového obsahu v prostředí.



Testovací organismus vhodný pro akumulární bioindikaci

- musí být znám po ekologické i biologické stránce
- známy jeho reakce na působení toxikantu
- široké rozšíření organismu v hojném počtu
- omezená migrace a rychlý rozmnožovací cyklus
- schopnost kumulace toxické látky ve velkém rozsahu
- snadný odběr vzorků

Akumulační bioindikátory ve vodní ekotoxikologii



řasa (*Ulva lactuca*)



pramenička obecná
(*Fontinalis antipyretica*)



beruška vodní
(*Asellus aquaticus*)



chrostíci
(*Hydropsyche* sp.)



bahnivka rmutná

(*Bithynia tentaculata*)



hltanovka bahenní
(*Erpobdella octoculata*)



slávička mnohotvárná
(*Dreissena polymorpha*)



okružanka rohovitá
(*Shaerium corneum*)



slávka jedlá
(*Mytilus edulis*)



cejn velký
(*Abramis brama*)



jelec tloušť
(*Leuciscus cephalus*)



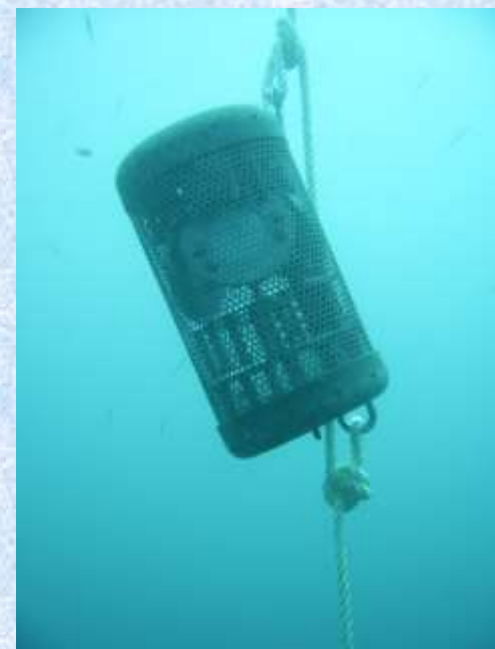


Pasivní vzorkovače

Jedna z moderních metod hodnocení expozice.

Standardizované zařízení se sorpčním materiálem k zachycení toxikantů.

Např. pasivní vzorkovač POCIS (Polar Organic Compounds Integrative Sampler) ke sledování organických sloučenin ve vodě.



Základní klasifikace

třída

- I. a II. neznečištěná a mírně znečištěná voda
- III. znečištěná voda
- IV. silně znečištěná voda
- V. velmi silně znečištěná voda

