



Centrum pro výzkum
toxických látek
v prostředí

Účinky látek na vyšších úrovních populace - společenstva - ekosystémy

Luděk Bláha, PŘF MU

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- **Ekotoxikologické biotesty**
 - **Nástroje** pro hodnocení účinků:
 - nejběžnější, nejpoužívanější, nejvíce propracovaný systém
 - **Standardní nástroje**
 - Jednodruhové → jeden konkrétní kmen → standardní jedinci (uniformní věk, velikost apod.)
 - Zcela optimální podmínky
 - Potrava, teplota, pH, světlo
 - Bez dalšího biotického stresu (predátoři, infekce..)



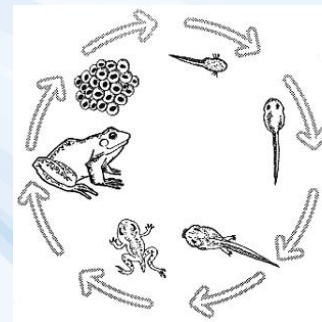
ALE: ... realita & cíl ekotoxikologie je → Chránit populace v ekosystémech

BIOTA

POPULACE

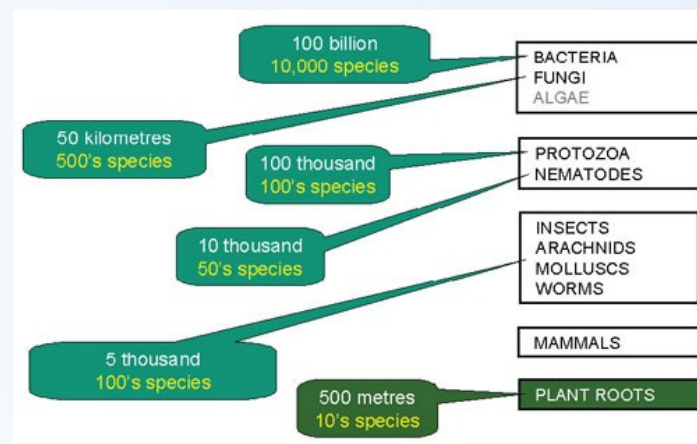
SPOLEČENSTVA
(interakce mezi populacemi)

EKOSYSTÉMY



- Ekosystémy nejsou složitější než si myslíme
- Ekosystémy jsou složitější než si vůbec dovedeme představit

*Ecosystems are NOT more complex than we think.
They are more complex than we CAN think.*



Přednáška by měla objasnit ...

- Co jsou ...
 - Jaké známe účinky (příklady) ...
 - Jak lze „prakticky“ studovat / hodnotit účinky...
-
- POPULACE
 - SPOLEČENSTVA
 - EKOSYSTÉMY



Účinky látek vs. POPULACE



Fundamentální cíl ekotoxikologie

studovat a chránit populace a společenstva

Efekty na biochemické a organismální úrovni

- relativně snadno popsitelné a stanovitelné
- dobrá kvantifikace

Efekty na úrovni populací a společenstev

- **obtížně studovatelné a kvantifikovatelné**
 - komplexnost a variabilita
 - dobře prokazatelné až velké změny
 - pomalé projevy
 - organismální efekty nejsou vždy interpretovatelné
 - obtížně prokazatelná kauzalita "*toxikant* <-> *efekt*"
 - obtížně predikovatelné



Populace - Jedinci téhož druhu, kteří obývají ve stejném čase stejné území (lokalitu)

Základní „měřitelné“ PARAMETRY populací (demografické parametry)

Primární parametry

- **natalita**: počet jedinců za jednotku času (a nejčastěji jedince)
- **mortalita**: počet jedinců kteří zemřou za jednotku času (a nejčastěji jedince)
(JINAK: za jak dlouho zemře příslušný jedinec)
- **měřítka velikosti** (performance) – úspěšnost – specifický parametr pro různé druhy (např. velikost, počet jedinců, počet semen, květů, množství biomasy aj.)

Sekundární parametry - odvozené z primárních

- závislost natality, mortality, performance *na výchozí velikosti*
- frekvence (četnost / jak často?) přechodu z jedné velikostní třídy do druhé

(~ rychlost růstu populace: oba uvedené body vyjadřují totéž, jen v pojetí kvantitativním a kvalitativním)



EKOTOXIKOLOGIE V POPULACÍCH

Vlastnosti na úrovni jedince, které jsou klíčové pro udržení/růst populací:

- **vypělost k rozmnožování**
(*rychlost dosažení / růst / pohlavní dospělost*)
- **rozmnožování**
(*produkce gamet – počty, kvalita...*)

Efekty toxických látek na úrovni jedince

→ projevy na úrovni populací

- změny abundancí / počtů (*snížení růstové kapacity*)
- změny natality / fekundity
- změny demografie (*př. stárnutí populace*)



EKOTOXIKOLOGIE V POPULACÍCH

Příklady:

1) **selektce genů v populacích**

- **antibiotika**-rezistentní bakterie (viz jinde)
- hmyz rezistentní na **pesticidy** (viz jinde)
- **znečištění vzduchu** - **drsnokřídlec v Británii: tmavé vs. Světlé varianty**
- rezistence (snížení citlivosti) k **toxicitě kovů**

2) **změny v rozložení pohlaví v populacích („sex ratio“)**

- pohlaví u člověka
- změny rozložení pohlaví u hmyzu

3) **vliv toxických látek na velikost a rozmnožování**

- Hg vs. ryby



Příklad – adaptace & přírodní selekce (drsnokřídlec březový)

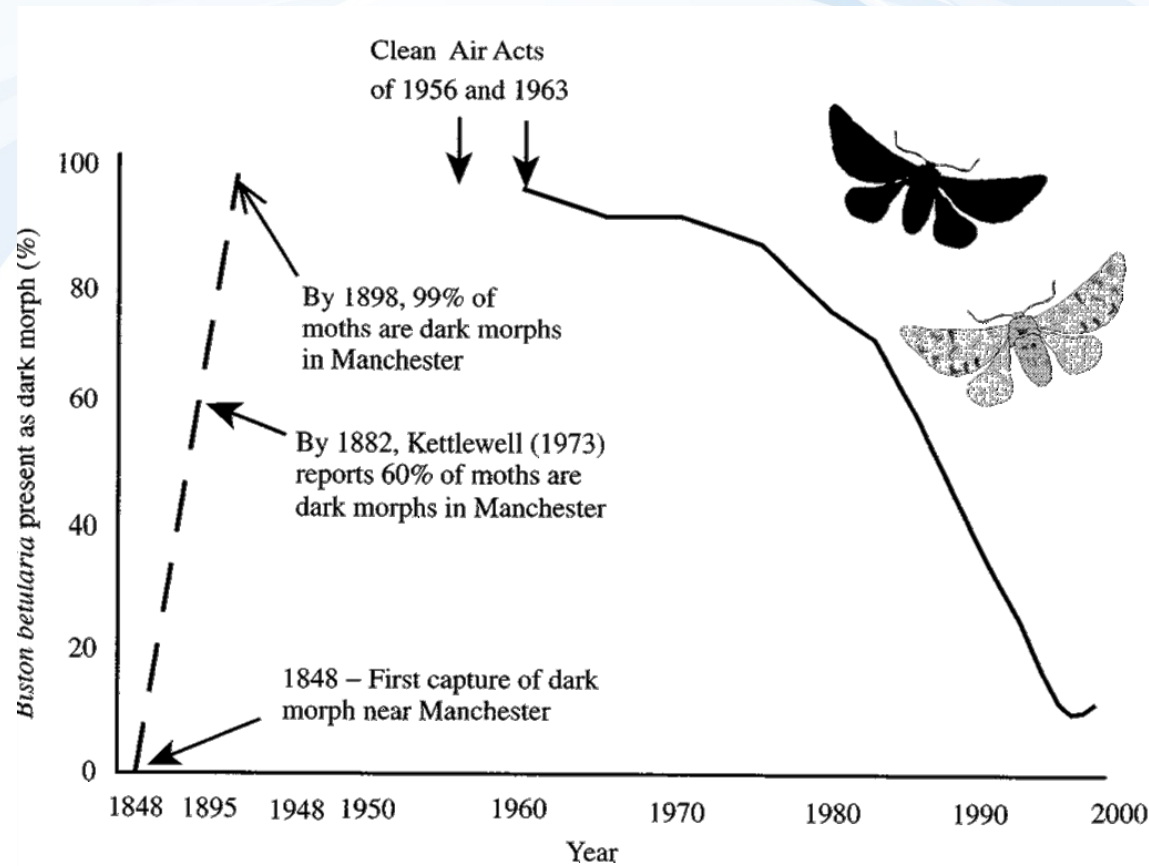


Fig. 2.2. Rise and fall in the proportion of *Biston betularia* of the melanistic morph caught near Liverpool, UK. Information for the decline in the dark morph come from Clarke and Grant (Clarke *et al.* 1994; Grant and Clarke 1999) who monitored a moth population outside of Liverpool from 1959 to the present

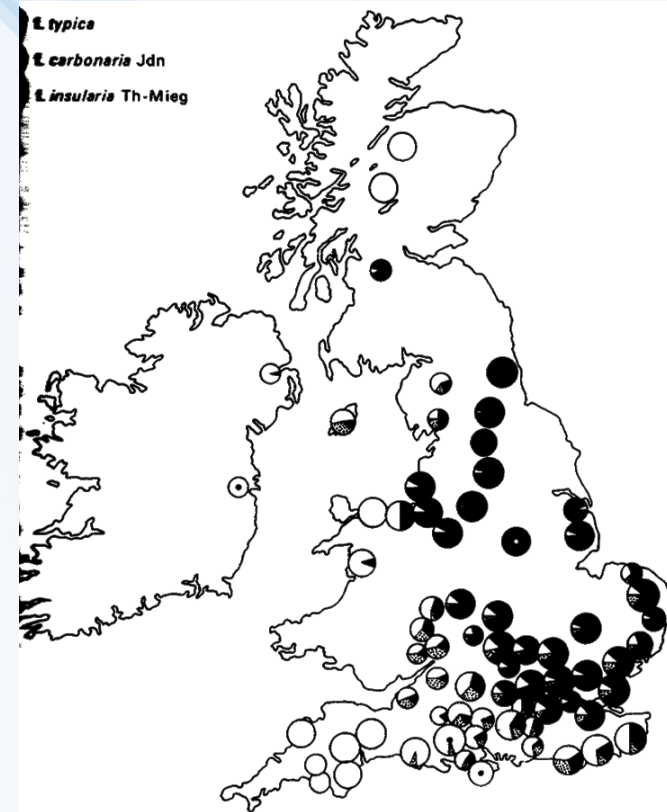


Fig. 4.4 The relative frequencies of the normal and two melanistic forms of the peppered moth, *Biston betularia*, in Britain. The results are based on more than 30 000 records collected from 1952 to 1970 at 83 sites. (From Kettlewell, 1973.)

Selekce rezistentních populací

- Různě staré trávníky (psineček) v blízkosti průmyslu
- Nárůst „indexu rezistence k Cu“

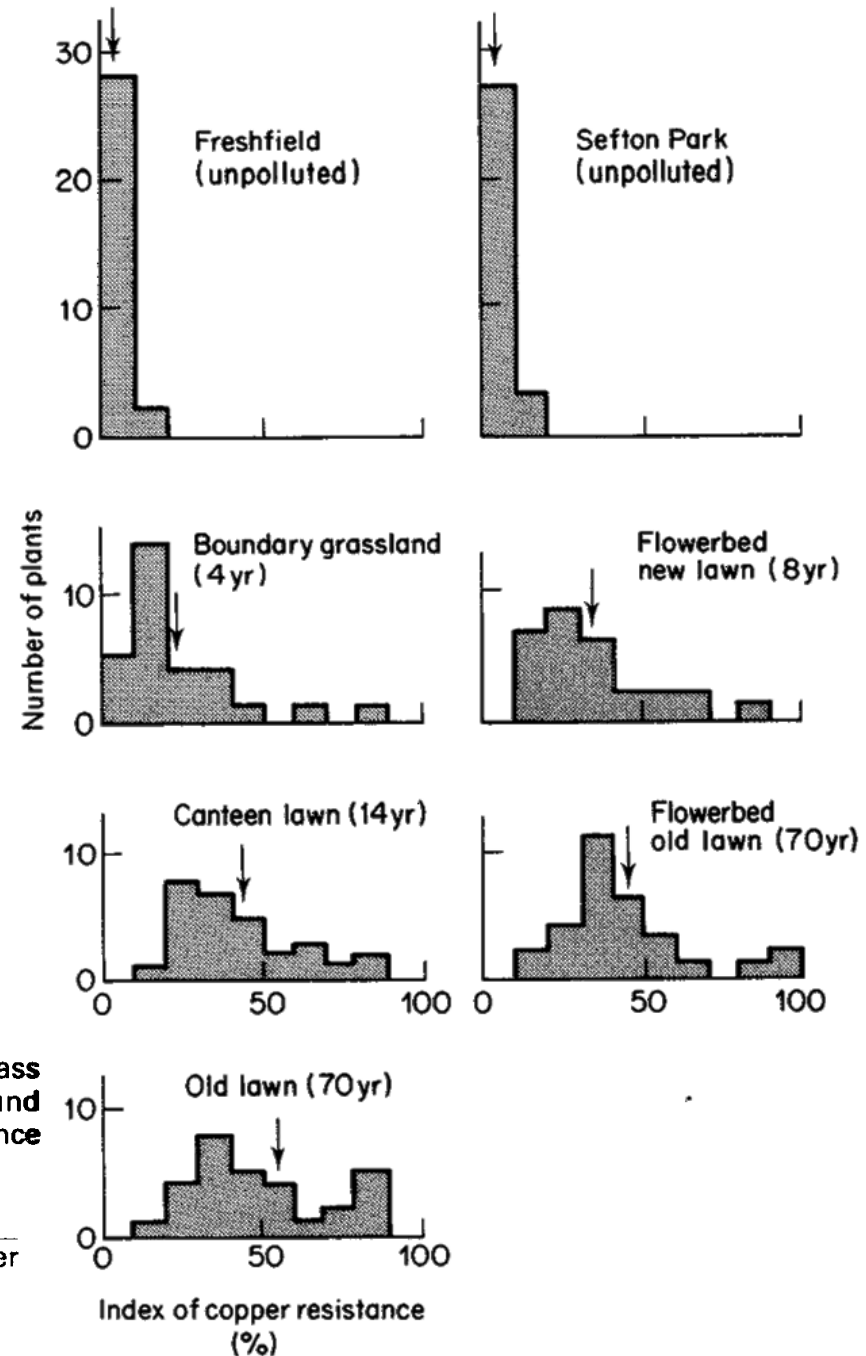


Fig. 4.7 The distribution of copper resistance in samples of the grass *Agrostis stolonifera* taken from seven populations of different ages around a copper refinery at Prescott, Lancashire. The index of copper resistance was given, under standardized conditions, by:

$$\frac{\text{mean length of the longest roots when grown in a solution with copper}}{\text{mean length of the longest roots when grown in a solution without copper}}$$

↓ indicates a mean value. (From Wu *et al.*, 1975.)



Published online: 21 October 2005; | doi:10.1038/news051017-16

Pollution makes for more girls

The stress of dirty air skews sex ratios in Sao Paulo.

Erika Check

Toxic fumes favour the fairer sex, a group of researchers in Brazil has found.

Jorge Hallak and his team at the University of Sao Paulo turned up the surprising result by studying babies born in their city. They divided the metropolis of 17 million people into areas of low, medium and high air pollution, using test results from air-quality monitoring stations. They then studied birth registries of children born from 2001 to 2003.

The team found that 48.3% of babies were female in the least polluted areas, but 49.3% were female in the dirtiest parts of town. After measuring the ratio of boys to girls born in all the areas, they calculated that 1,180 more babies would have been boys in the polluted areas if they had the same sex ratios as the cleaner areas. The team reported their findings on 17 October at the American



Babies born in highly polluted areas are more likely to be girls.

© Alamy



Vliv benzenu a olova na vývojovou stabilitu u octomilky

→ Vyšší koncentrace
→ více F

Biologické příčiny:

Např. vyšší životaschopnost
F- embryí (u člověka XX vs. XY)

[potraty: častější jsou M]

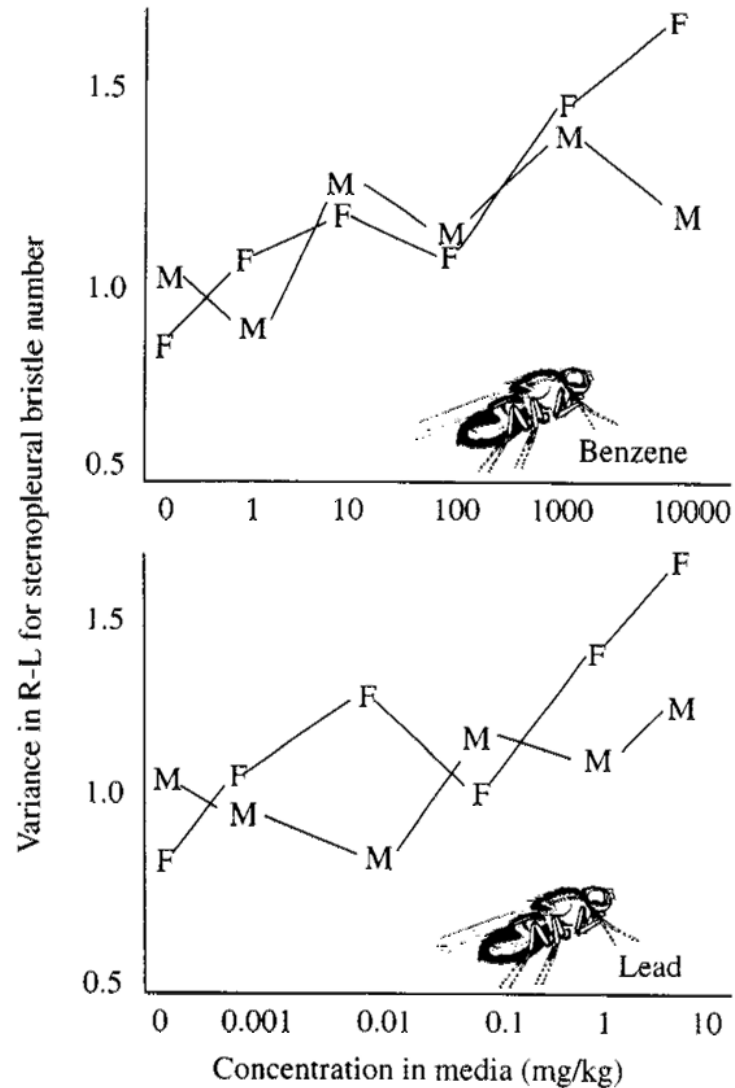


Fig. 6.7. The influence of lead and benzene concentrations in media on the developmental stability of *Drosophila melanogaster* (Data from Table 3 in Graham, Roe and West. 1993b). Sternopleural bristle number was counted on the right and left sides of each individual. M = male and F = female

Živorodka

(3 různé kmeny ryb =
3 různé genotypy)



Vliv rtuti na velikost (horní obrázek)
a fekunditu (spodní obr.)

Různé kmeny stejného druhu
→ Podstatné rozdíly
v citlivosti na toxikant

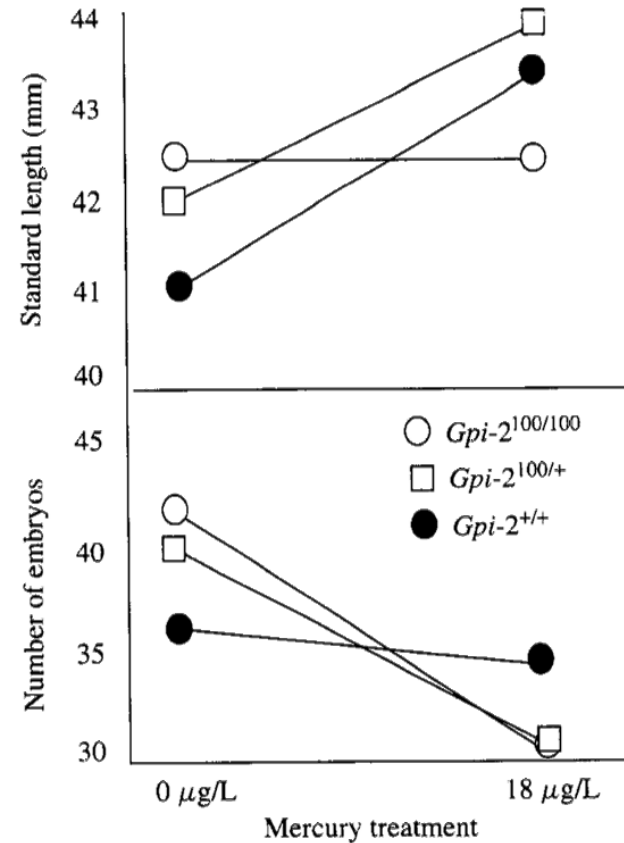


Fig. 6.4. The influence of mercury treatment on size (standard length) and fecundity (number of late stage embryos/gravid female) of female mosquitofish. Modified from Figure 3 in Mulvey *et al.* (1995)

Životní cyklus druhu a populační ekotoxikologie

Citlivost různých vývojových stadií

- zásadní význam pro demografii populace

Mladší stadia (embrya) bývají citlivější k vlivům toxikantů

- *citlivost: rychle dělicí se buňky u embryí a larev*

- *viz embryotoxicita*

Důsledek - snížení fekundity → stárnutí populace

Výjimky - - ***mechanická ochrana (povrchové vrstvy)***

- rezistence vajíček ryb (vs. vysoce citlivá embrya ryb)
- semena rostlin, klidová stadia dalších organismů



Citlivost různých stadií ryb – toxicita CuSO₄

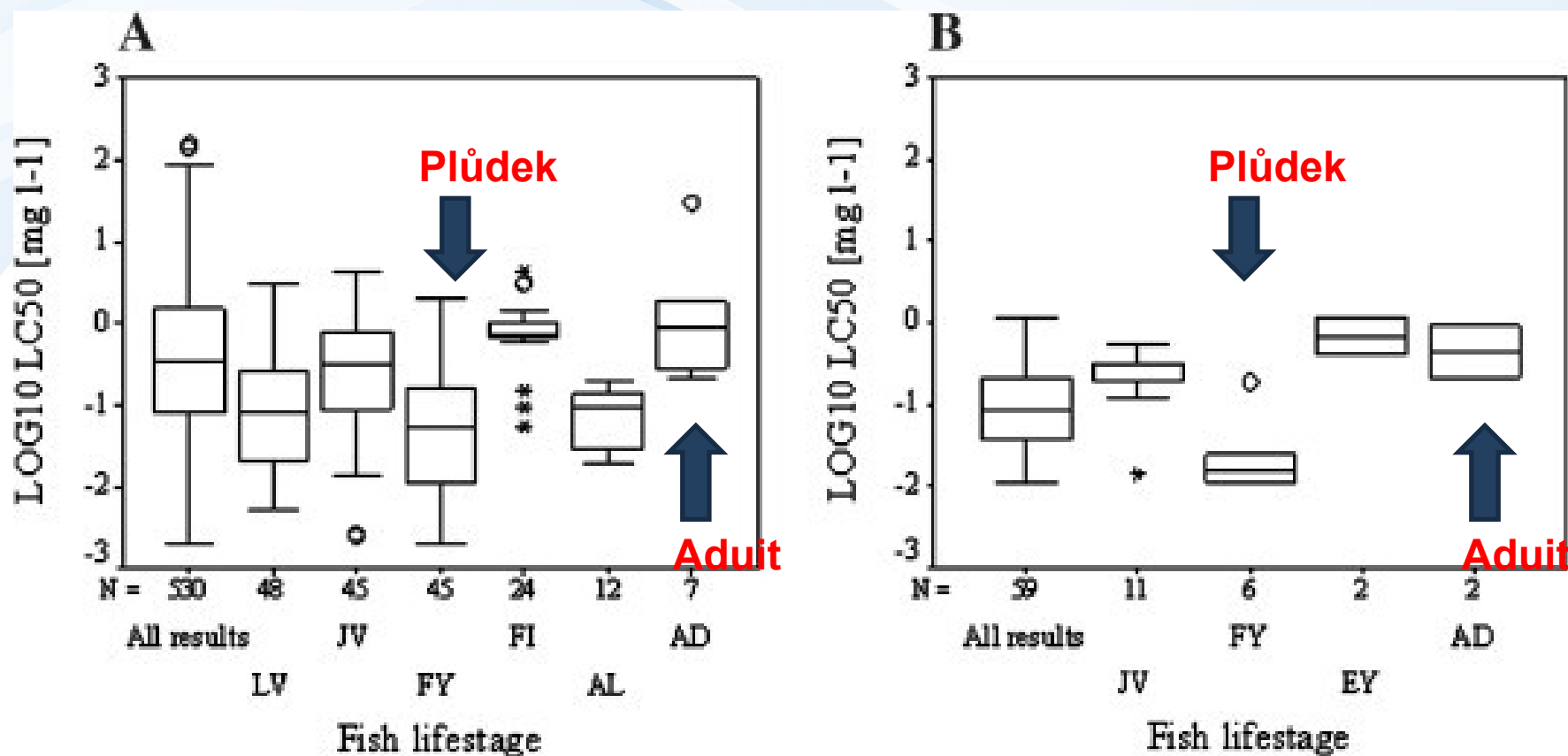


Fig. 2. Log LC₅₀ variability for all available test results and for the five most frequently used fish life stages (larvae (LV), juvenile (JV), fry (FY), fingerling (FI), alevin (AL), eyed egg (EY) and adult (AD) life stage) for sulphuric acid, copper(2+) salt (1:1) (CAS 7758-98-7).

Test results for **all reported fish test species** (A) and for ***Oncorhynchus mykiss*** (B) were compared.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273230009000956>



Chrostíci

Rozdíly v citlivosti s věkem

Vyšší mortalita u starších ...

Mortality (%)

Mortality (%)

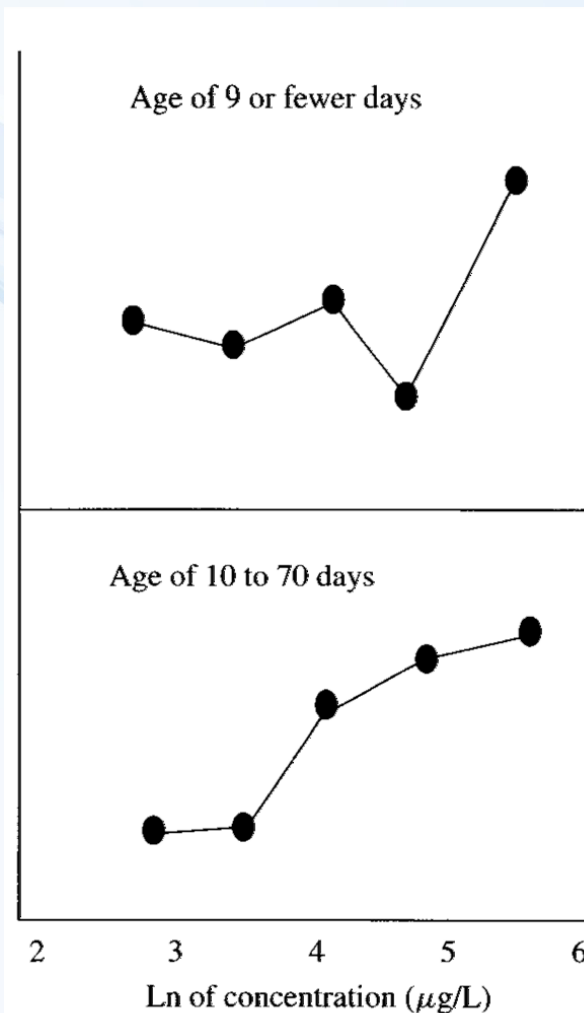


Fig. 6.1. Density-dependent, natural mortality can obscure the concentration–effect relationship for caddisfly larvae exposed to 4,5,6-trichloroguaiacol. There was no discernible relationship for larvae ≤ 9 days old, an age class with high levels of natural, density-dependent death. Note the high mortality in all treatments. (Probit values of 4 and 5 correspond to 16 and 50% mortality, respectively.) There was a clear relationship between mortality and toxicant concentration of older larvae (>9 to 70 days old). (Modified from Figure 4A&B of Petersen and Petersen 1988)



Jak prostudovat účinky s dopady na populace ?

1) Experimentální studie reprodukční toxicity

- *D. magna* – 21 denní reprodukční test
- Žížaly – 4 týdenní reprodukční testy
- *chvostokoci Folsomia candida* - reprodukční testy



2) Testy s rannými vývojovými stadii

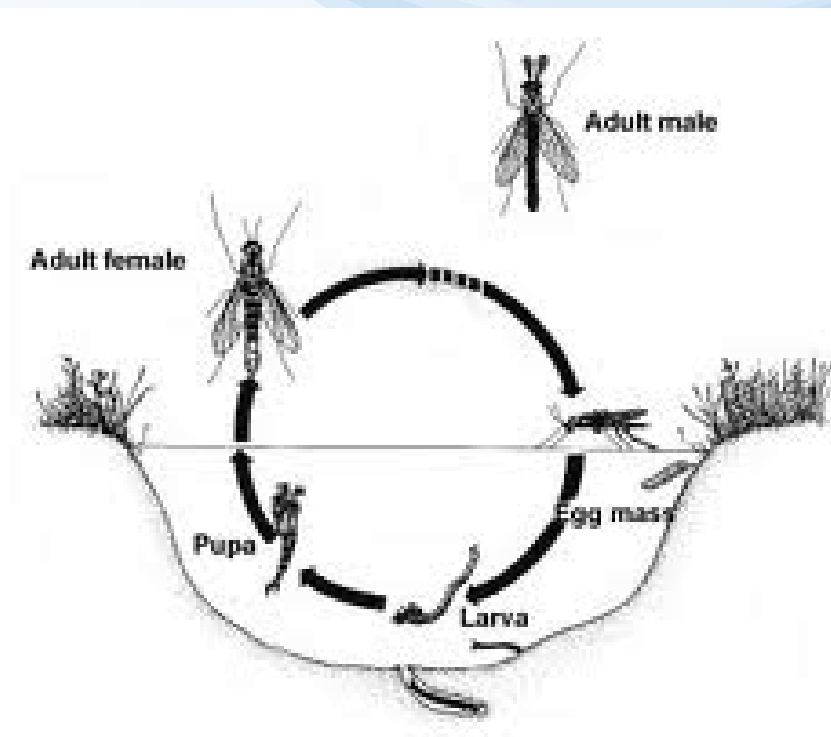
- Embryonální testy (*D. rerio*, *X.*)

3) Testy celoživotního cyklu

- Např. pakomáři *Chironomus* (OECD guideline 233)

4) Modelování

(např. DEB modely / viz dále)



Kontaminace DDT

→ Tenčí a slabší skořápky vajec

Obrázek – tloušťka skořápek

Prázdné symboly

- tloušťka před objevem DDT
(1842 – 1942)

Plné symboly

- tloušťka v období 1970-74

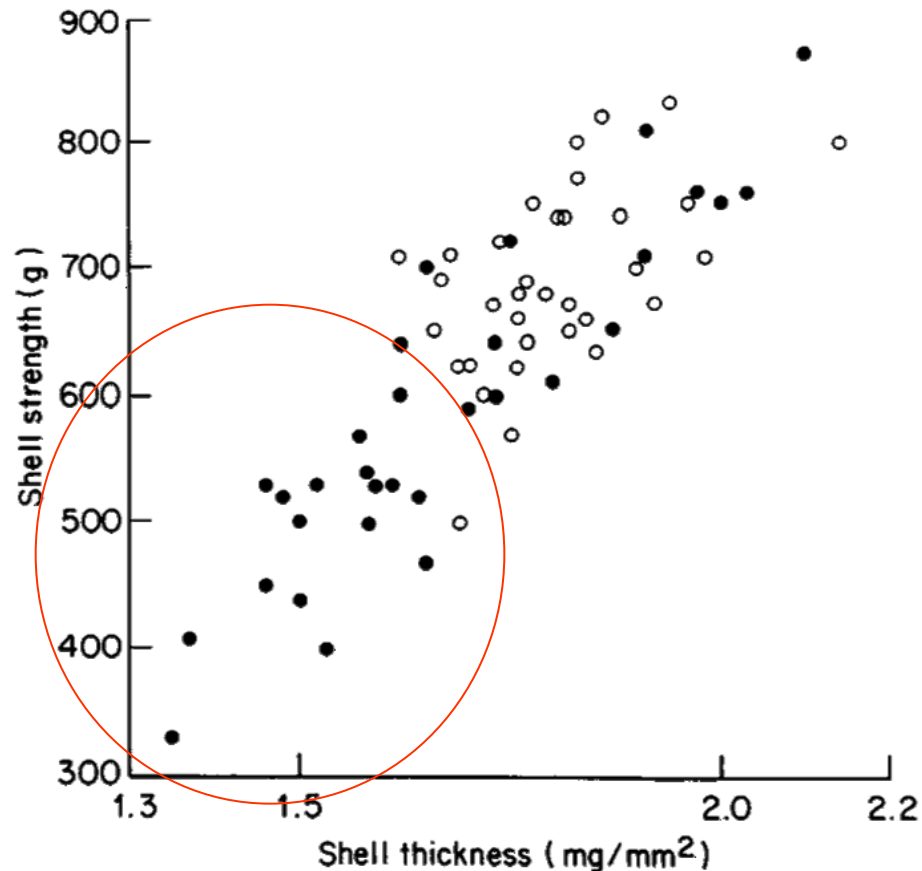


Fig. 8.2 Shell strength and thickness in eggs of the peregrine falcon (*Falco peregrinus*), for two samples of eggs: those laid from 1850 to 1942, before the advent of DDT (○), and those laid from 1970 to 1974 (●). Strength was assessed by the weight needed to pierce the shell under standardized conditions. (From Cooke, 1979a.)



Účinky látek vs. SPOLEČENSTVA



Společenstvo - biocenoza (Community)

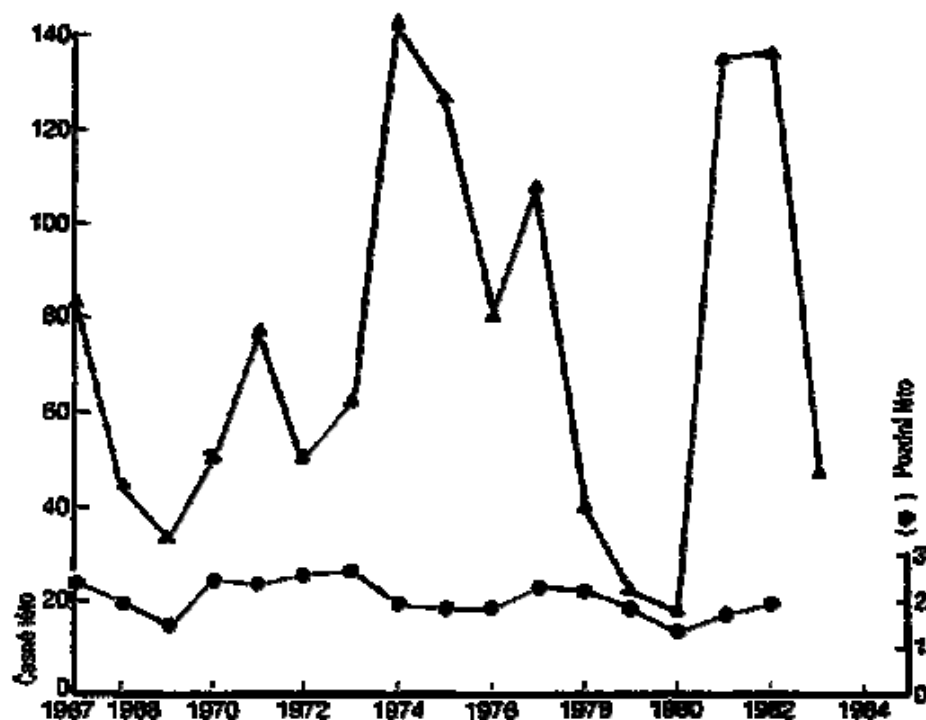
Soubor populací různých druhů, které spolu žijí v určitém prostředí (biotopu) a **vzájemně spolu interagují** (existence vazeb)

Příklady vztahů (interakcí) mezi populacemi druhů

- **Kompetice** (o potravu, o prostor, o světlo ...)
- **Symbioza**
- **Potravní vztahy** / potravní řetězce
- atd. atd.

→ důsledek: variabilita / přirozené kolísání počtů

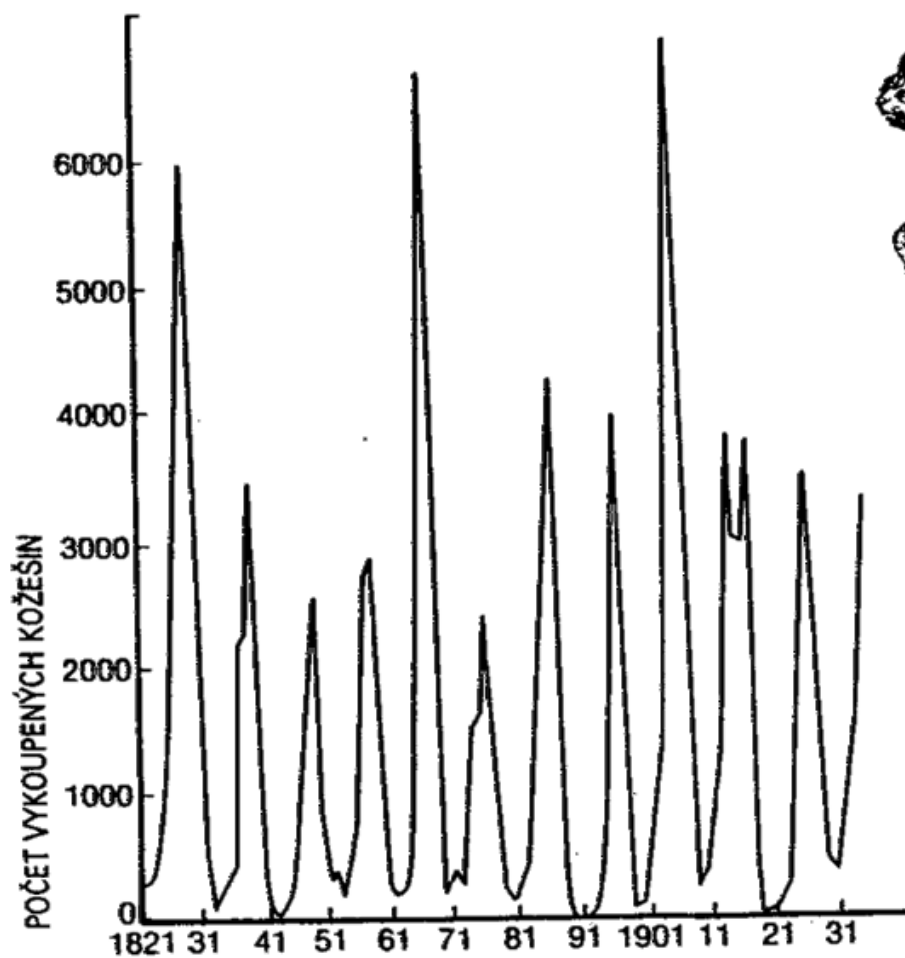
Obr. 1 Příklady populační dynamiky na základě empirických šetření, publikovaných v anglické učebnici ekologie (Begon, Harper et Townsend 1967)



1a) Pstruh potoční (*Salmo trutta*) v jednom z toků anglické jezerní oblasti Trojúhelníky – počty v časném létě včetně jedinců čerstvě vykulených z jiker; plná kolečka – počty v pozdním létě (rozdílné měřítko vertikální osy)



1d) Rys kanadský (*Lynx canadensis*) – počty vykoupených kožešin za více než 100 let na obrovském prostoru působení Společnosti Hudsonského zálivu v Kanadě; výjimečně výrazné pravidelné desetileté cykly početnosti, jejichž příčinami se zabývá text na str. 30–32. Dlouhodobé průměry početnosti byly v celém více než stoletém období konstantní.



Základní principy – ZPĚTNÉ VAZBY

ZPĚTNÉ VAZBY

pozitivní = nárůst „B“ způsobuje nárůst „A“



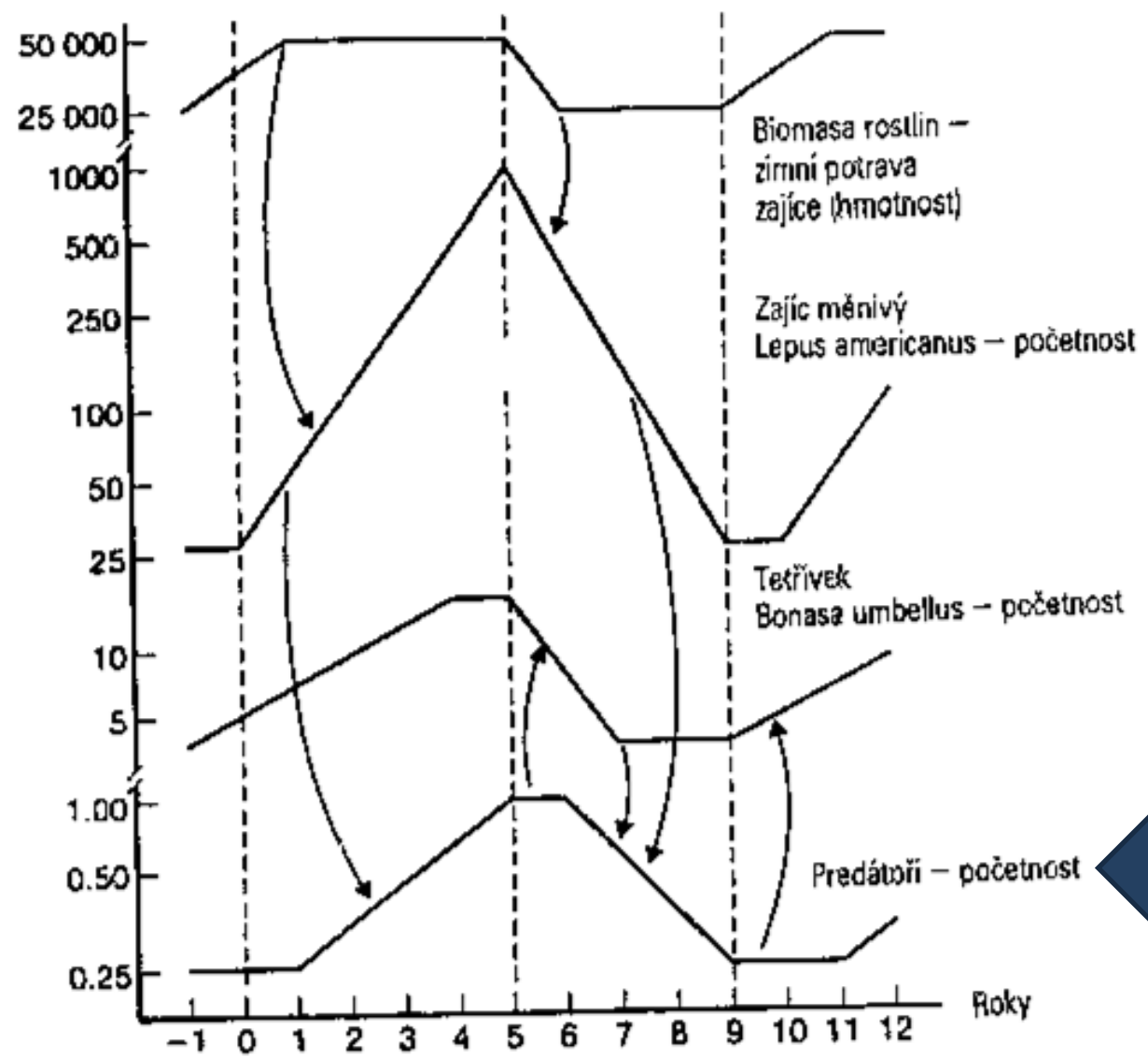
negativní = nárůst „B“ způsobuje pokles „A“



Příklady:

- *propojené populační cykly králíka a rysa (predátor)*
- + *další součásti biocenozy → další strana*

Obr. 5 Kolísání biomasy hlavních složek 10letého populačního cyklu tajového biomu v Albertě (Kanada). Šipky ukazují hlavní příčinné vazby (Keith 1983, citováno v učebnici ekologie Begon, Harper et Townsend 1987). Podrobnosti v předcházejícím textu.



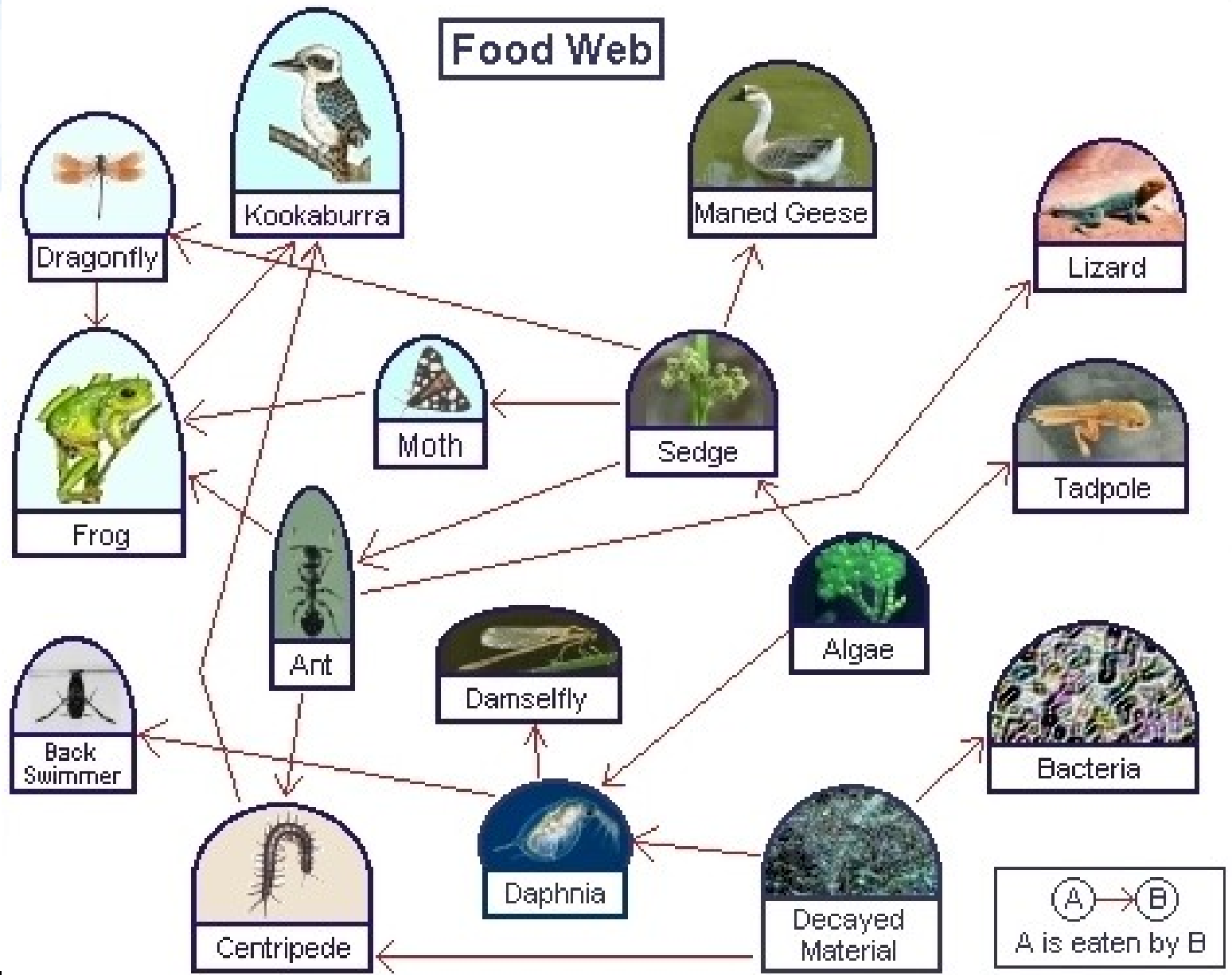
Viz cyklus rýsa

Jak lze společenstva popsat / parametrizovat ?

- **PARAMETRIZACE** (měřitelné veličiny)
- *Působení stresorů* → změny v měřitelných parametrech
 - Základní popis - parametry **strukturní**
 - (Parametry **funkční** – viz dále: ekosystémová úroveň)
- Bohatá struktura (bohatost vztahů / bio**diverzita**)
→ *podmínka stability biocenózy i ekosystému*



Food Web



EKOTOXIKOLOGIE SPOLEČENSTEV

- struktura -

Strukturní parametry

- parametry faunistické/floristické (druhové složení a zastoupení)
 - prostorové a časové cykly
 - vztahy ve společenstvu / společenstvo - prostředí
- **Množství a abundance**
 - počty jedinců
 - biomasa
 - chlorofyl-a
 - pokryvnost
 - parametry vztažené na plochu (*terestr.*) a objem (*akvat.*)



Table 3.4 The relative abundance of plant species in 12 samples in Polish forests^a

Group	Species	Sample no....	Fir forests					Pine-bilberry forests						
			1	2	3	4	5	Moist		Dry				
A	<i>Abies alba</i>		4	2	2	2	+	+	+	+	+	+	+	
	<i>Pinus sylvestris</i>		+	+	+	+	4	3	2	4	4	1	2	3
	<i>Picea excelsa</i>		+	+	2	+		2	+	+	+	+		+
	<i>Vaccinium myrtillus</i>		+	2	+	+	5	4	2	+	1	+	+	2
	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>		+		+	+	+	+		+	1	3	3	2
B	<i>Lycopodium selago</i>		+			+	+							
	<i>Circaea alpina</i>		+			+	+							
	<i>Pyrola secunda</i>		1			+	+							
	<i>Pyrola minor</i>		+			+	+		+					
C	<i>Lycopodium annotinum</i>		+			+	+	+	+	+	+	+		
	<i>Ptilium crista-castrensis</i>		2				4	+	2	+	3	3		
	<i>Dicranum undulatum</i>		4			+	2	2	+	+	+	+		+
	<i>Entodon schreberi</i>		+						5	1	5	2		+
D	<i>Pyrola chlorantha</i>		+								+	+	+	+
	<i>Melampyrum vulgatum</i>		1			+		1	2			+		
	<i>Calluna vulgaris</i>		+			+					2	+	+	
	<i>Cladonia sylvatica</i>		2			+					3	+	3	+
	<i>Cladonia rangiferina</i>		1							1	2	+	4	+
E	<i>Quercus sessilis</i>			+							+	+	+	+
	<i>Betula verrucosa</i>											+	+	+
	<i>Thymus ovatus</i>									+		2	+	+
	<i>Lycopodium clavatum</i>											+	+	1
Total number of species			35	37	38	37	20	17	24	25	39	41	32	34

From Whittaker (1975): original data from Frydman (1968).

^a +, Rare; 1–5, increasing degrees of abundance. The species of groups B–E are diagnostic.

Příklad 1

Floristický zápis:

složení biocenózy stromů
(5 společenstev ... A-E)

za různých podmínek
prostředí (zde **vlhkost**)



EKOTOXIKOLOGIE SPOLEČENSTEV

- struktura -

Charakterizace DIVERZITY

N_i – počet jedinců druhu
 N – celkový počet jedinců
 S – počet druhů

• INDEXY

– **Shannon-Wiener** ($H = - \sum N_i/N \ln (N_i/N))$

– Vyšší $H \rightarrow$ vyšší diverzita

– **Shannonův index vyrovnanosti** (evenness)
($E = H / \ln S$)

– Vyšší $E \rightarrow$ vyšší vyrovnanost společenstva

– Margalefův index ($D = (S-1) / \ln N$)

– ... a celá řada dalších indexů

• *Poznámka: indexy jsou necitlivé na změny ve vzácných druhích ... málo jedinců \rightarrow malý vliv na celkový index*



Příklad – domácí úkol

? Kde je největší diverzita
? Které společenstvo je nejvyrovnanější



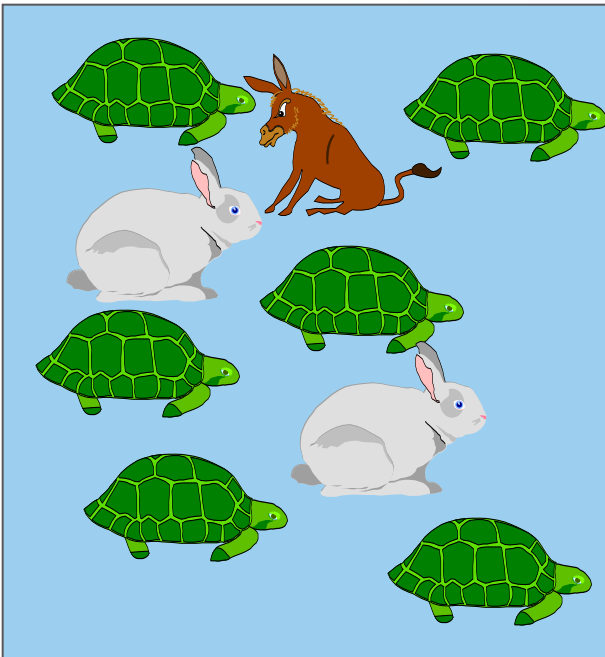
DU09
– viz IS.MUNI.CZ

Příklad výpočtu H pro lokalitu A

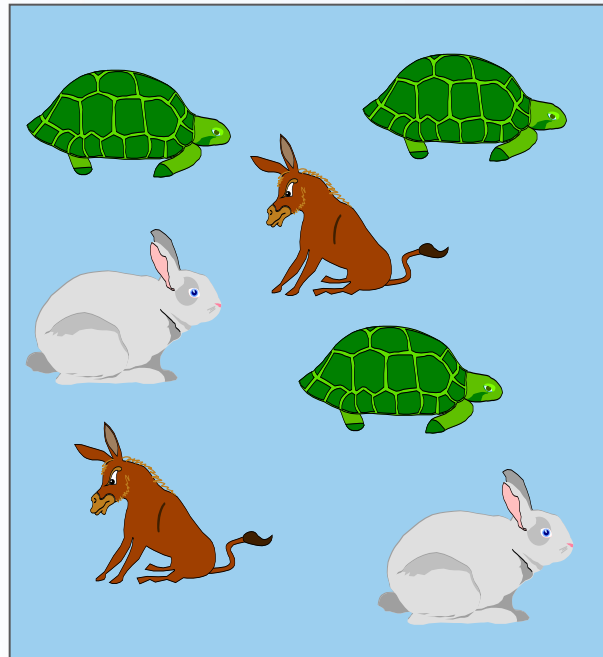
$$\begin{aligned} H' &= 6/9 \cdot \ln(6/9) \text{ želvy} \\ &+ 1/9 \cdot \ln(1/9) \text{ oslové} \\ &+ 2/9 \cdot \ln(2/9) \text{ králíci} \quad = \dots\dots \end{aligned}$$

E = ?

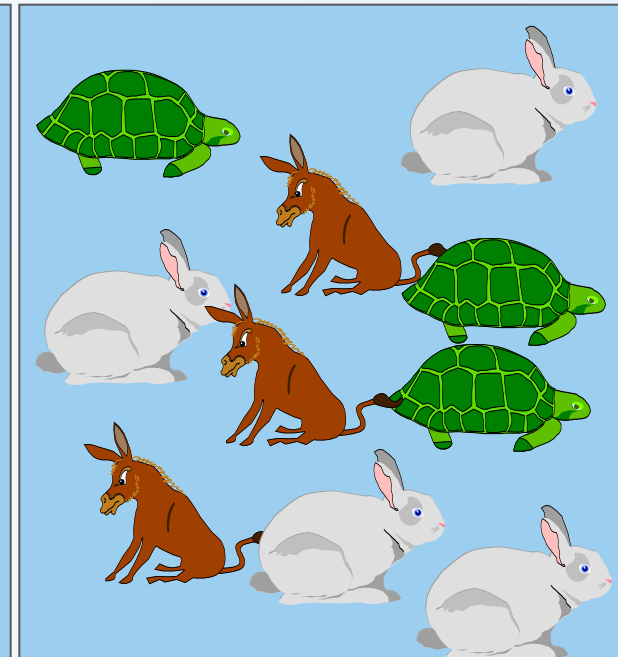
A



B



C



Posouzení podobnosti biocenóz

*C – počet společných druhů
A – počet druhů na lok. A
B – počet druhů na lok. B*

- **INDEXY (vybrané příklady)**

- **Jaccardův index podobnosti = $[C / (A + B - C)] \times 100\%$**
 - Srovnává podobnost dvou společenstev
 - Čím vyšší J-index – tím jsou si srovnávaná společenstva podobnější

- **Sorenson's = $2C / (A+B+2C) \times 100\%$**

- *Poznámka 1: nejběžnější indexy jsou citlivé jen na kvalitativní změny v zastoupení (ANO / NE ... nezohledňují početnost), ale existují i pokročilejší způsoby hodnocení*

- **Další možnosti zobrazení - grafické vícerozměrné metody**

- PCA (*Principle Component Analysis*)
- korespondenční analýza



Příklad – domácí úkol:

? Které dvě lokality jsou si nejpodobnější



DU09
– viz IS.MUNI.CZ

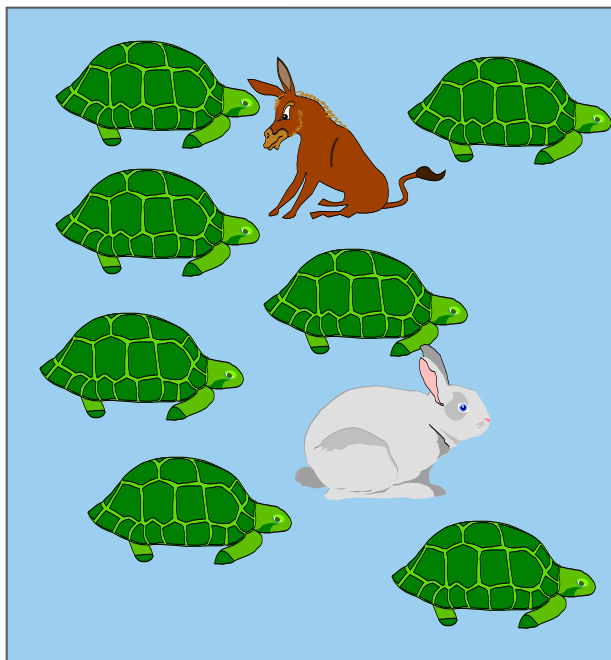
Jaccardův index podobnosti ?

$J(\text{lokality A vs B}) = [3 / (3 + 4 - 5)] \times 100 = \dots\%$

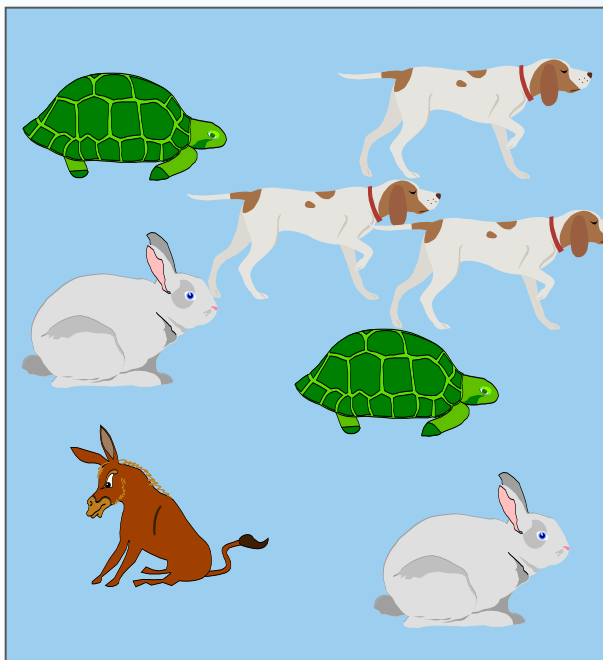
$J(\text{A vs C}) = \dots$

$J(\text{B vs C}) = \dots$

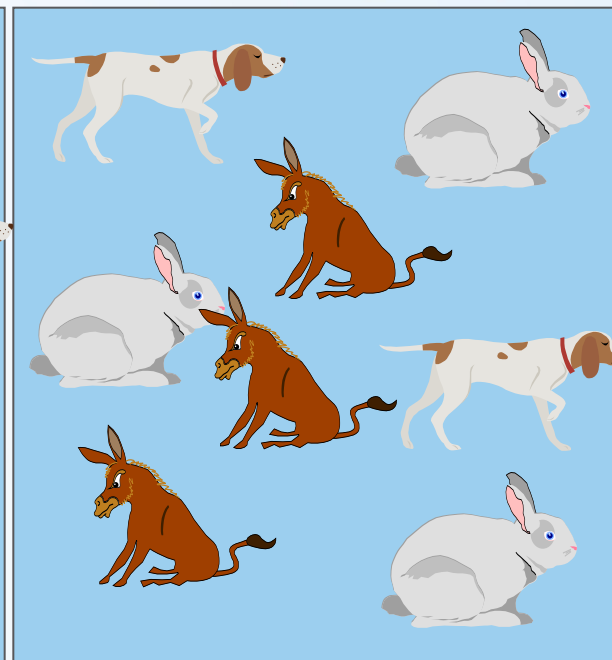
A



B

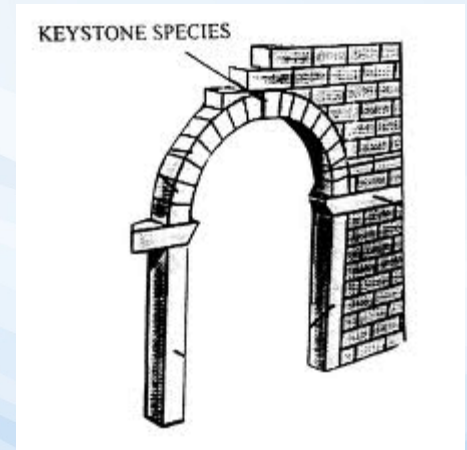


C

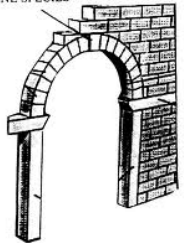


KLÍČOVÉ DRUHY (Key / Keystone species)

- efekty na těchto druzích
→ dramatické změny celé biocenózy
- **Klíčové druhy**
 - zpravidla „predátoři“ (kontrola spodních pater)
- Př. **Mořské hvězdice** na skalách a kamenech
→ pohyb a spásání biomasy / predátor
 - *Likvidace hvězdic*
 - přerůstání makrořas
 - přemnožení mlžů (slávky)
- Př. **Sladkovodní ryby** ovlivňují fertilitu rostlin v terestrickém ekosystému



KEYSTONE SPECIES



Top predator

Temperate food web



Pisaster

Middle level predators



Thais

Prey



Chitons



Limpets



Bivalves



Acorn barnacles



Gooseneck barnacle

Robert Paine observed that a relatively simple temperate food web contained a lower proportion of predatory species...

Top predator

Subtropical food web



Heliaster

Middle level predators



Muricanthus

Prey



Hexaplex



Morula



Cantharus

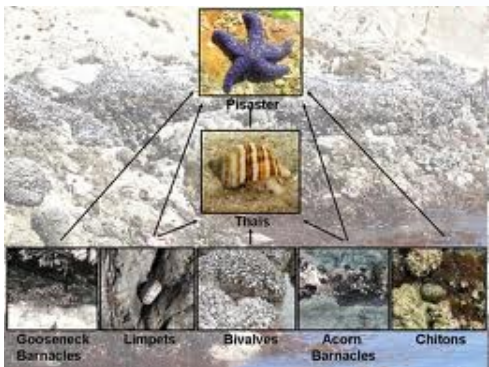


A. angetica

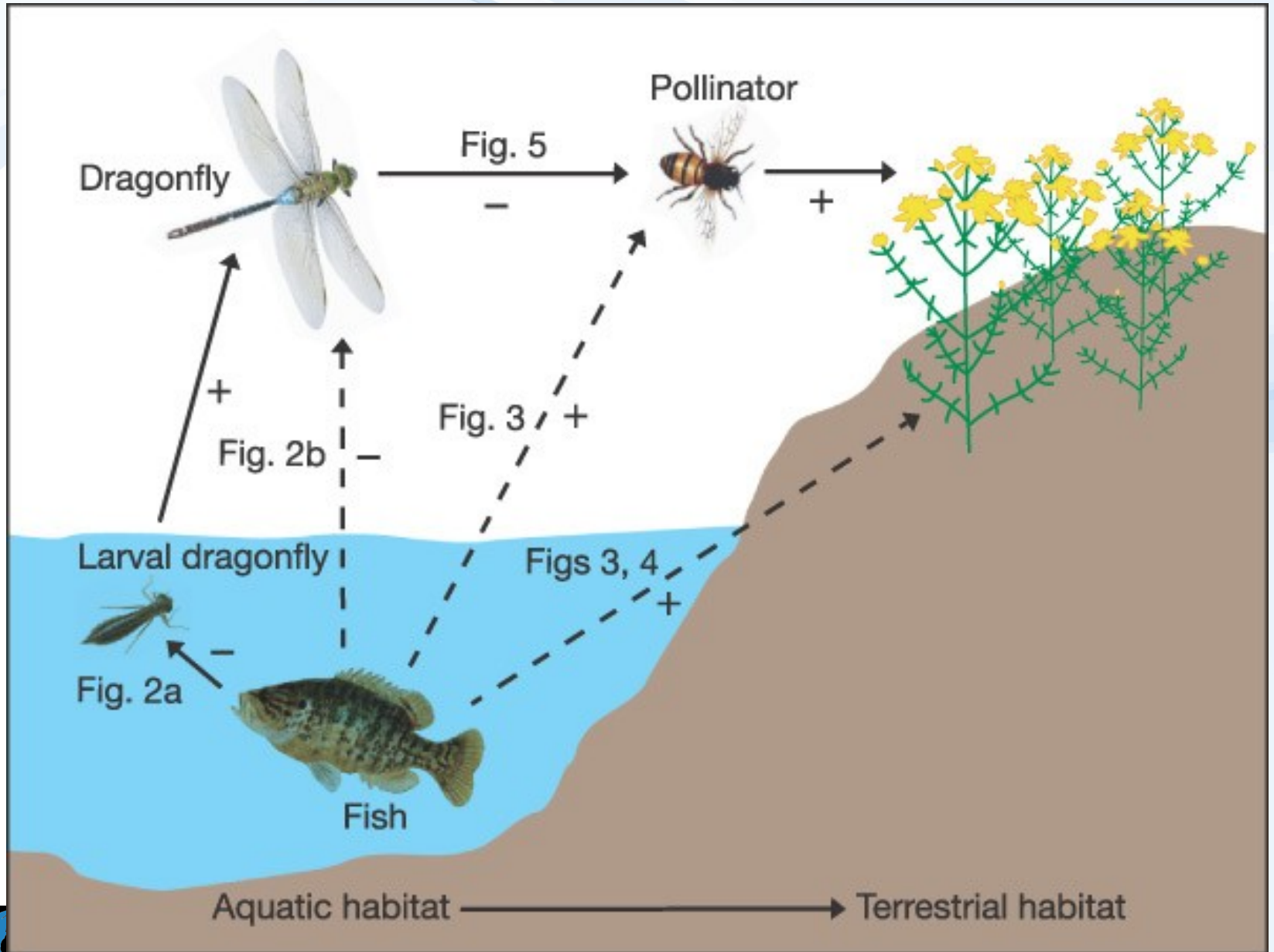


A. tuberculata

...compared to a diverse subtropical food web.



Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí



• **INDIKÁTOROVÉ DRUHY**

- Druhy, jejichž (ne)přítomnost indikuje určitou vlastnost ekosystému
 - **citlivé druhy** (např. pošvatky, horské ploštěnky, lišejníky)
 - **oportunní druhy** (např. pakomáři, pijavky ...)

• **Různé organismy indikují různé typy stresu**

- Př. kontaminace živinami (dusičnany apod.)
 - *Makrozoobentos – saprobity / řasy, rozsivky – trofie (viz dále)*
- Kontaminace toxickými látkami
 - *Lišejníky – čistota vzduchu*



Působení toxických látek → změny ekologických vztahů

Příklady účinků a jejich vlivu na vztahy ve společenstvu
(nejč. *predátor - kořist*)

- působení **insekticidů ve vodním prostředí**

- eradikace populací hmyzu (komáři)
- likvidace zdroje potravy pro dravé ryby
 - hmyz - rychlé rozmnožování - návrat
 - ryby - pomalé rozmnožení ... dlouhodobý efekt

- likvidace **terminálních predátorů (bioakumulace tox. látek)**

- vyhubení vlků v severní Americe
 - přemnožení jelenů
 - neřízené spásání vegetace luk a lesů
- **vyhubení dravců (DDT)**
 - přemnožení hlodavců
 - neřízené spásání vegetace luk a lesů





Centrum pro výzkum
toxických látek
v prostředí

Účinky toxických látek v ekosystémech

Ekosystém:

Heterogenní systém složený z **biotické složky** (biocenozy, biologický subsystém) a **abiotické složky** (ekotopu, subsystém prostředí)

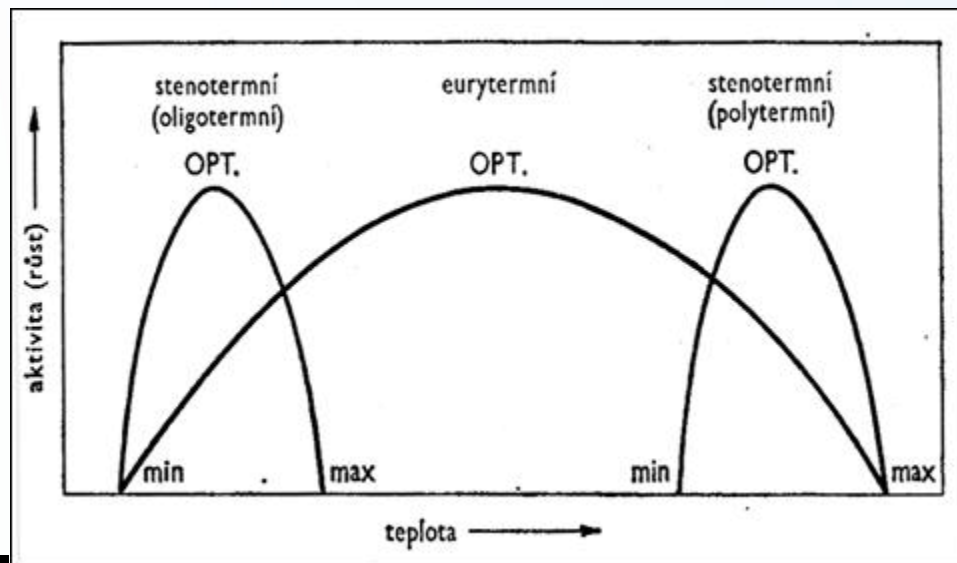
- Biota vs. prostředí – vztahy / zákonitosti
 - Klíčová zákonitost v ekosystémech z pohledu studia ekotoxikologie:
„**Zákonitost určujících abiotických faktorů (ekologická valence)**“

Klíčové zákonitosti v ekosystémech

1) Zákonitost určujících abiotických faktorů (*autekologický přístup*)

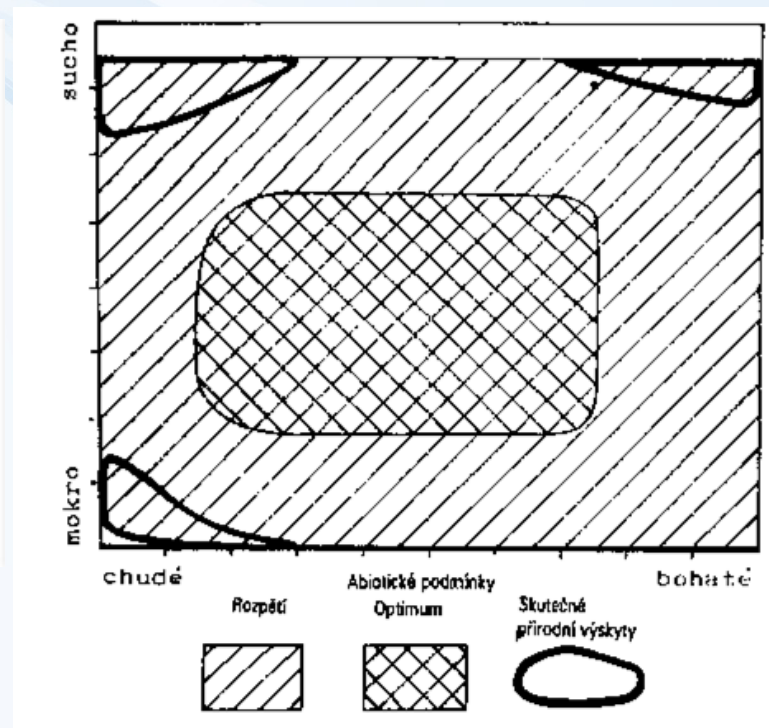
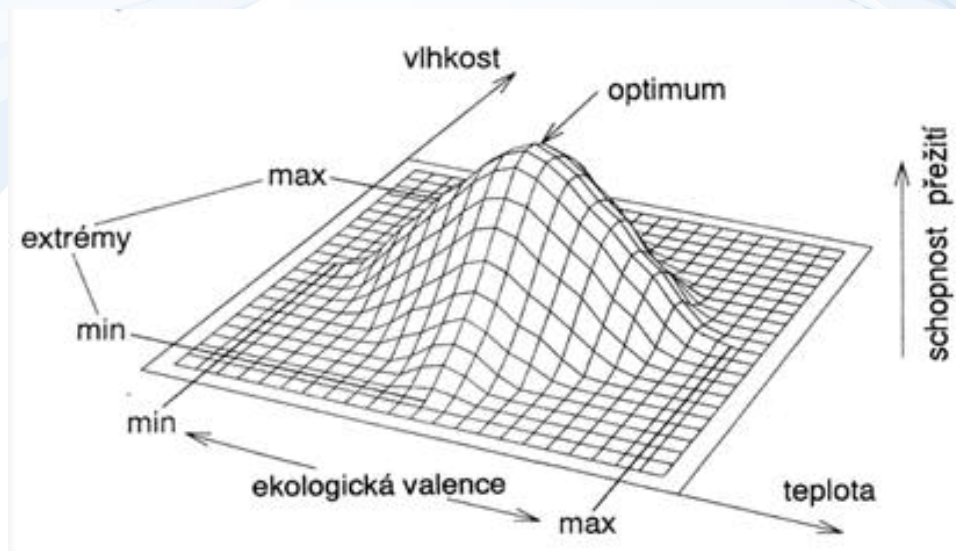
Ekologická valence

rozsah hodnot faktoru, za kterých je schopen druh (populace) existovat určující faktory – např. teplota, vlhkost, pH ... koncentrace toxické látky₁, 2...n



Ekologická valence

Příklad – dva faktory



Valence nutno chápat „více-rozměrně“:

Jedním z rozměrů - vliv toxické látky (resp. směsí chem. látek)

→ látky budou mít výraznější dopady (vyšší toxicitu) v podmínkách, které nejsou pro organismus optimální

(např. nedostatek potravy, vyšší teplota – globální změny, změna optimální salinity, obsah O_2 ...)

Klíčové zákonitosti v ekosystémech

2) Zákonitosti vzájemného ovlivnění organismů

(*synekologický přístup - kompetice/inhibice/symbioza/parazitismus*)

- druh se vyskytuje nejen díky optimu environmentálních podmínek, ale i proto, že obstál v konkurenci

→ **Ekologická nika** druhu / populace

- mnohorozměrný podprostor definovaný jednotlivými ekologickými abiotickými faktory (teplota, vlhkost, sluneční záření...) a biotickými faktory (přítomnost potravy, přítomnost predátorů ...).

- „**Fundamentální nika**“ – prostor bez omezování ostatními druhy
- „**Realizovaná nika**“ – skutečně obývaná nika
- „**Prázdňá nika**“ – druh vymře:

Příklad vyhubení vlka → přemnožení jelenů, srnčí

→ nové obsazení niky rysem → regulace v ekosystému



Klíčové zákonitosti v ekosystémech

3) Zákonitosti zpětných vazeb

4) Zákonitosti časové posloupnosti

- po určitých ekosystémech/společenstvech se vyskytují jen určitá další jiná společenstva (sukcese)

5) Zákonitosti prostorové

- určité ekosystémy jsou obklopeny jen určitými dalšími ekotopy; mezi nimi existují charakteristické přechody (ekotony)

6) Zákonitosti biogeografie ostrovů

ostrov = relativně izolované místo; *např. paseka uprostřed lesa*



EKOSYSTÉMY a účinky toxických látek

V ekosystémech lze sledovat (*na rozdíl od manipulovaných biotestů*) pouze **retrospektivní efekty**

Posouzení vlivu na úrovni ekosystému

- zpravidla nelze hodnotit vztahy dávka – odpověď: *efekty mají kategoriální charakter (STRES +/-, EFEKT +/-)*
- Při charakterizaci poškození je nutné vždy zajistit **srovnání s "normálními" hodnotami.**
? *existuje normální stav nebo vývoj ekosystému ?*



Definice „Normálního stavu ekosystému“ není jednoduchá

- **STACIONÁRNÍ STAV**

- klidový stav, dlouhodobě ustálené hodnoty,
- není běžný: ekosystémy jsou přirozeně „variabilní“ (hodnoty se dynamicky mění)

- **STABILNÍ STAV**

- stav, kdy okolní podmínky nemění podstatu věci (uvnitř může docházet ke změnám/kolísání hodnot)

- **DYNAMICKÁ stabilita / rovnováha: HOMEOSTÁZA**

- stav, kdy se prostřednictvím AKCE/REAKCE udržuje dlouhodobě stabilní stav

- **! SUKCESE**

- ekosystémy nejsou nikdy „stacionární“ – prochází v čase vývojem:
- Cílem by měla být ochrana „plynutí“ – udržování HOMEORHÉZY

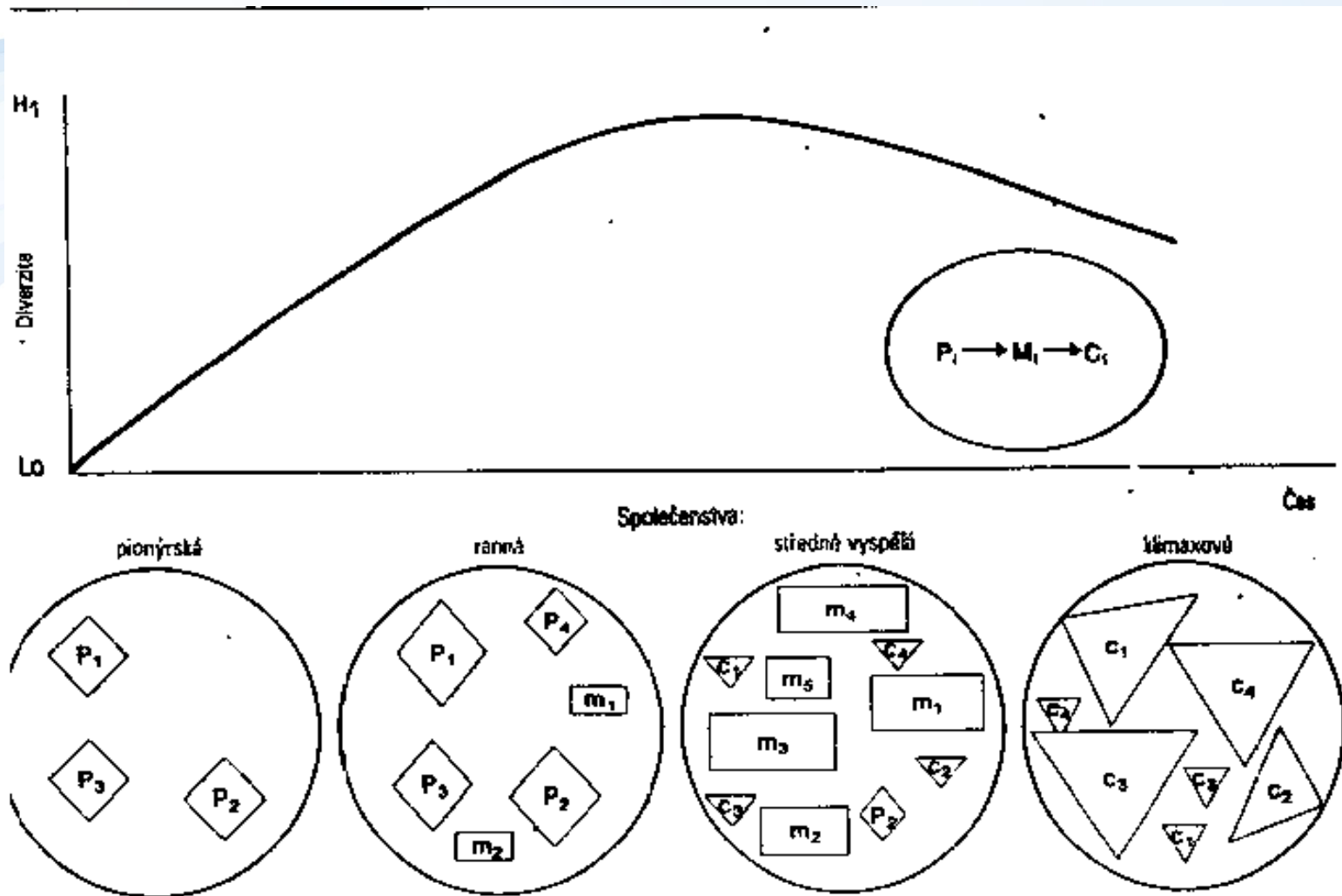


SUKCESE EKOSYSTÉMU

Sukcese je zákonitý sled změn druhového složení, který vyústí v náhradu jednoho ekosystému druhým

- změna prostředí ekotopu rozhoduje zda, kdy a jak rychle sukcese probíhá, ALE samotný průběh je ovládán biocenozou
- sukcese končí ustáleným ekosystémem (klimax), v němž je na jednotku dosažitelného toku energie produkováno nejvíce biomasy a nejvíce symbiotických vztahů mezi organismy
(v klimaxu diverzita opět klesá)





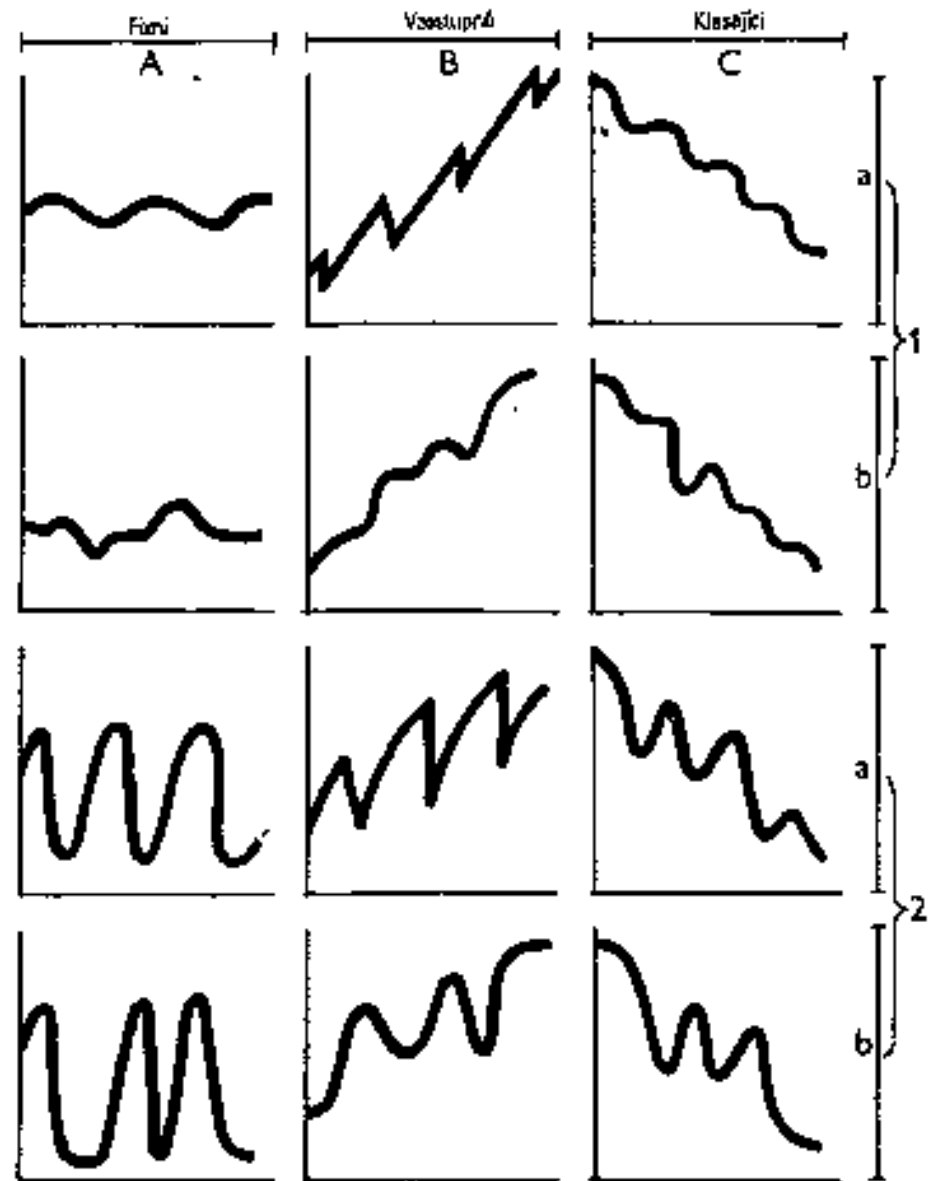
obr. 31 Hypotetický průběh sukcese (Bogon, Harper et Townsend 1987): Začíná několika pionýrskými druhy „p“ a malou diverzitou společenstva. Ta kulminuje ve středních fázích sukcese, kdy se vyskytují společně druhy pionýrské „p“, střední sukcesní fáze „m“ i klímaxové druhy „c“. Pak diverzita opět klesá, jak klímaxové druhy vylučují ostatní a stávají se výlučnými dominantami.



Změny v ekosystémech

Teorie dopadů na ekosystémy vychází z předpokladu, že po ukončení působení podnětu se ekosystém vrací do původního stavu (*odpovídá principům homeostázy*)

Současné ekosystémy jsou však spíše v nerovnovážných stavech, studovat jejich návrat do původního stavu (*který v řadě případů neznáme*) je tak značně obtížné



osa x – čas

osa y – podstatná vlastnost ekologického systému

Praktické hodnocení účinků na úrovni společenstev

VÍCEDRUHOVÉ EXPERIMENTY
MIKROKOSMY
MEZOKOSMY



Vícedruhové hodnocení ekotoxicity

Vypracovány a standardizovány komplexní postupy testování

- simulace přírodních podmínek
- model ekologických vztahů mezi organismy (*potravní řetězce*)
- hodnocení nepřímých efektů
(*likvidace producentů → další efekty v ekosystému*)

Experimentální uspořádání

- podle velikosti (*řada překryvů / nejednoznačné hranice*)

: mikrokosmy

voda - do 1 m³ stojaté, nebo 1 m tekoucí
půda – experimenty s půdním jádrem

: mezokosmy

„větší než“ mikrokosmy

- rozdělení podle uspořádání

- laboratorní kontrolované podmínky
- přírodní podmínky

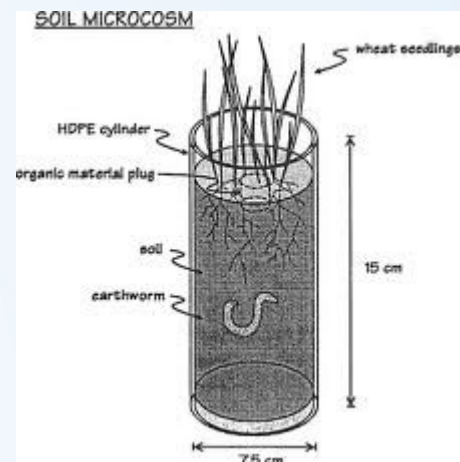


Table 4.12 Listing of Current Multispecies Toxicity Tests

Aquatic microcosms

Benthic-pelagic microcosm

Compartmentalized lake

Mixed flask culture microcosm

Pond microcosm

Sediment core microcosm

Ecocore microcosm

Ecocore II microcosm

Standard aquatic microcosm

Stream microcosm

Waste treatment microcosm

Terrestrial microcosms

Root microcosm system

Soil core microcosm

Soil in a jar

Terrestrial microcosm chamber

Terrestrial microcosm system

Versacore



Standardizace mikro- a mezokosmových studií

Existují i **standardizovaná doporučení:**

- *mikrokosmy i mezokosmy*
- *využívána nejčastěji při hodnocení rizik pesticidů (prostředky na ochranu rostlin)*
 - *US EPA Test Guidelines OPPTS 850.1900 Generic Freshwater Microcosm Test, Laboratory*
 - *OECD – draft dokumenty*

Postupy však obsahují spíše obecné požadavky

- *aklimatizace a příprava systému*
- *obecné podmínky pro velikost*
- *složení a počty organismů*

Každý výsledek z podobných studií je cenný

- *doposud relativně málo dostupných dat (ve srovnání s "klasickými biotesty")*
- *ekonomicky i časově náročnější experimenty*
- *realizace a interpretace vyžaduje kvalitní ekologické vzdělání*
- *výsledky často nejsou veřejně dostupné (vlastnictví firem, které registrují pesticidy)*

Stále jen „model“ – řada nedostatků

- *Izolace od okolí (zamezení případné „rekolonizací“)*
- *Vnější stěny (mikrokosmy) – rychlé střídání teplot (vs. Přírodní nádrže: stabilní) atd.*

Table 1: Description and Comparisons of Experimental Systems: Simulated Freshwater Lentic Field Tests (Outdoor Microcosms and Mesocosms)

Characteristic/Parameter (Dependent on Study Objectives)	Outdoor Lentic Field Microcosm	Outdoor Lentic Field Mesocosm	Larger (Whole System) Lentic Field Mesocosm
Size (Volume)	10 ⁻³ to 10 m ³ ; 200-20,000 l	1 to 10 ⁴ m ³ ; 100-100,000 l	10 ³ to 10 ⁸ m ³ ; 300,000 l or more
Time (Temporal Scale)	Hours to several weeks or months	Days to many months	Weeks to several years
Container Examples	Glass, plastic, stainless steel, epoxy-resin, soil-lined vats, tubs, tanks, pools, concrete ponds	Small pond, enclosed portion of a larger pond or small lake (e.g., Lund rubber tubes, bags, cylinders, or liners), limnocorrals	Large earthen pond, small lake, larger enclosures
Relevance/Similarity to Natural Ecosystems (Low to High)	Low to moderate	Moderate to high	High
Predicting/Extrapolating Results to Natural Ecosystems	Low (due to enclosure artifacts) to moderate	Moderate to high	High
Organisms Included	Primary producers (algae, periphyton), and invertebrate herbivores and consumers, usually no fish. May include macrophytes.	All types, may include macrophytes and fish.	All types, including macrophytes and fish.

<http://www.oecd.org/fr/securitechimique/essaisdesproduitschimiques/32612239.pdf>

Vícedruhové hodnocení ekotoxicity

Praktická realizace (principy stejné s biotesty)

(1) Biologický systém

- Příprava, osazení, aklimatizace
- Kontrolní varianta
- Jedna nebo více (více koncentrací) exponovaných variant
- Definovaný počet opakování (*replicates*)
 - nutné – složitější systémy – větší variabilita (! i u kontrol)

(2) Expozice

- Dávkování
 - přímo do vodní fáze (*vodní mikrokosmy*), postřikem na povrch (*simulace přirozené aplikace pesticidů*), řada dalších možností, jednorázové opakované ...)
- Doba expozice
 - : podle typu mikro/mezokosmu – týdny až roky

(3) Hodnocení parametrů / srovnání kontroly vs. expozice

Příklad – laboratorní akvatický mikrokosmos

Table 5.2 Some organisms used in the standardized aquatic microcosms.

Algae

Anabaena cylindrica
Ankistrodesmus sp.
Chlamydomonas reinhardi 90
Chlorella vulgaris
Lyngbya sp.
Nitzschia kutzigiana (Diatom 216)
Scenedesmus obliquus

Animals

Daphnia magna
Hyadella azteca (amphipod)
Cypridopsis sp. or *Cyprinotus* sp. (ostracod)
Hypotrichs (protozoa)



Fig. 5.2 Components of a standardized aquatic microcosm.



Příklad

- požadavky
na laboratorní
mikrokosmos

- model stojatého
(lotického) ekosystému

Table 4.13 Summary of Test Conditions for Standardized Aquatic Microcosms:
Freshwater

Test type	Multispecies
Organisms Type and number of test organisms per chamber	Algae (added on day 0 at initial concentration of 10^3 cells for each algae species): <i>Anabaena cylindrica</i> , <i>Ankistrodesmus</i> sp., <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> 90, <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Lyngbya</i> sp., <i>Mitschia kutzigiana</i> (Diatom 216), <i>Scenedesmus obliquus</i> , <i>Selenastrum capricornutum</i> , <i>Stigeoclonium</i> sp., and <i>Ulothrix</i> sp. Animals (added on day 4 at the initial numbers indicated in parentheses): <i>Daphnia magna</i> (16/microcosm), <i>Hyalella azteca</i> (12/microcosm), <i>Cypridopsis</i> sp. or <i>Cyprinotus</i> sp. (ostracod) (6/microcosm), Hypotrichs [protozoa] (0.1/ml) (optional), and <i>Philodina</i> sp. (rotifer) (0.03/ml)
Experimental design Test vessel type and size	1-gal (3.8-l) glass jars are recommended; soft glass is satisfactory if new containers are used; measurements should be 16.0 cm wide at the shoulder, 25 cm tall with 10.6-cm openings



Příklad

- požadavky
na laboratorní
mikrokosmos

- model stojatého
(lotického) ekosystému

Medium volume	500 ml added to each container
Number of replicates	6
Number of concentrations	4
Reinoculation	Once per week add one drop (ca 0.05 ml) to each microcosm from a mix of the ten species; 5×10^8 cells of each alga added per microcosm
Addition of test materials	Add material on day 7; test material may be added biweekly or weekly after sampling
Sampling frequency	2 times each week until end of test
Test duration	63 days
Physical and chemical parameters	
Temperature	Incubator or temperature controlled room is required providing an environment 20 to 25°C with minimal dimensions of 2.6 × 0.85 × 0.8 m high.
Work surface	Table at least 2.6 × 0.85 m and having a white or light colored top or covering
Light quality	Warm white light
Light intensity	80 $\mu\text{E m}^{-2}$ photosynthetically active radiation s^{-1} (850–1000 fc)
Photoperiod	12 h light/12 h dark
Microcosm medium	Medium T82MV
Sediment	Composed of silica sand (200 g), ground, crude chitin (0.5g), and cellulose powder (0.5 g) added to each container.
pH level	Adjust to pH 7
Endpoint	Population dynamics, chemistry, etc.



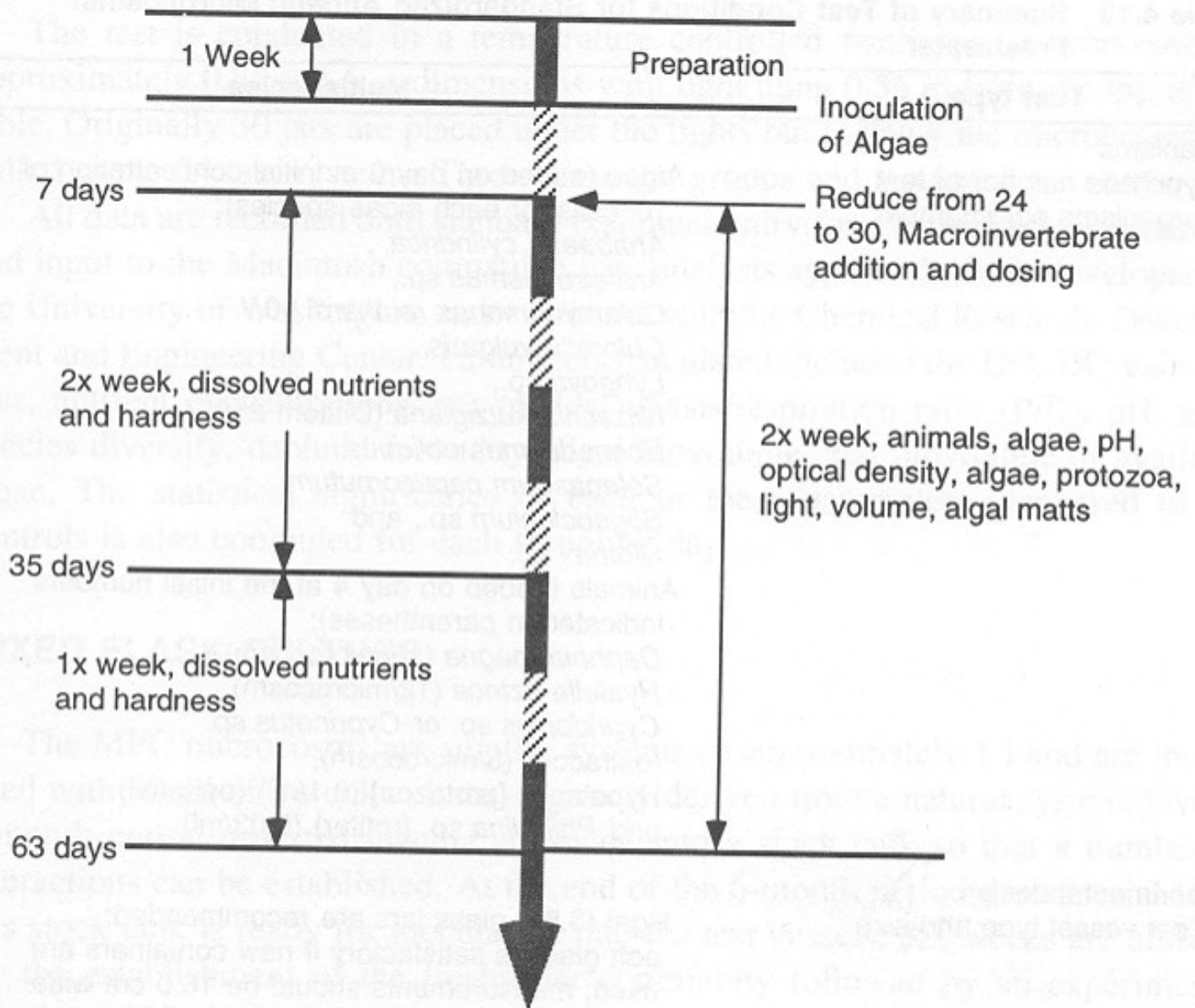


Figure 4.1 Timeline for the standardized aquatic microcosm. The 63-day toxicity test is specific in its sampling requirements, acclimation times, and dosing.



Příklad 2

- jednoduchý
laboratorní
akvatický mikrokosmos

- **simulace tekoucích vod**

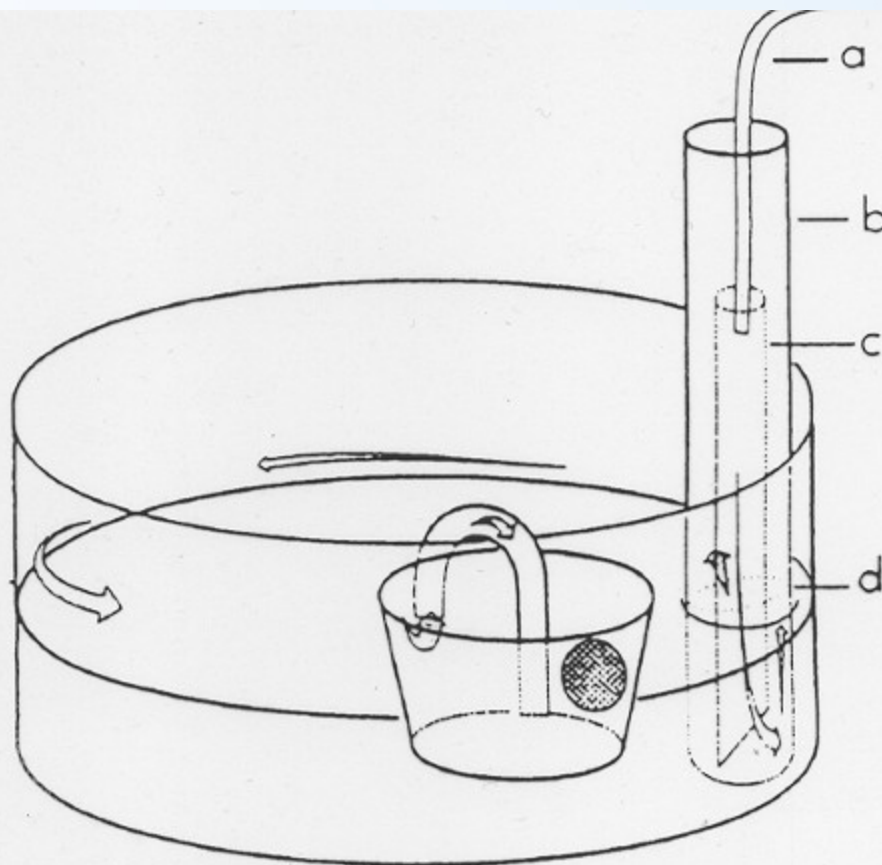
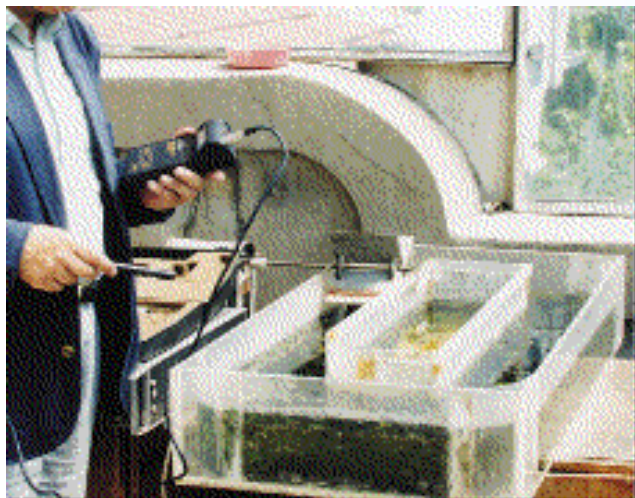


Figure 7. Flow-through exposure chamber for flow-through tests with polychaetes. The exposure chamber is a glass crystallizing dish with an inflow of water over the sediment surface. Arrows show flow of water into the test tube (b) through silicone tubing (a), which has a piece of glass tubing (c) attached at the bottom, then through an elliptical opening (d) cut in the side of the test tube and into the dish just above the sediment surface. Water circulates around the dish and leaves through a siphon and catch cup. (Reprinted with permission from Pesch, C. E., Munns, W. R. Jr., Gutjahr-Gobell, R.: Effects of a contaminated sediment on life history traits and population growth rate of *Neanthes arenaceodentata* (Polychaeta: Nereidae) in the laboratory. *Environmental Toxicology and Chemistry* 10(6):805–815. Copyright 1991, SETAC.)



Simulované potoky (experimental stream)

U of Michigan



Příklad – laboratorní terestrický mikrokosmos



Příklad

- požadavky na terestrický mikrokosmos v půdním jádře

Table 4.16 Summary of Test Conditions for Conducting A Terrestrial Soil-Core Microcosm Test

Test type	Multispecies toxicity test
Organisms	Varies; dependent on site being tested
Experimental design	
Microcosm size and type	60-cm-deep by 17-cm-diameter plastic pipe made of ultra-high molecular weight, high-density, and nonplasticized polyethylene and contains an intact soil core covered by homogenized topsoil; tube sits on a Buchner funnel covered by a thin layer of glass wool
Soil volume	40 cm intact soil core; 20 cm homogenized topsoil
Number of replicates	Each cart holds 6–8 microcosms; place microcosms paired for analyses in different carts to ensure that all microcosms are housed under similar conditions.
Number of concentrations	3
Leaching	At least once before dosing and once every 2 or 3 weeks after dosing
Test duration	12 or more weeks
Physical and chemical parameters	
Temperature	Based on season of region being tested; insulated cart is used to prevent drastic temperature changes
Lighting	Based on season of region being tested
Watering	Determined on the basis of site history; use either purified laboratory water or rainwater that has been collected, filtered, and stored in a cooler at 4°C
Endpoint	Many



Venkovní (outdoor) akvatický mikrokosmos s makrofyty

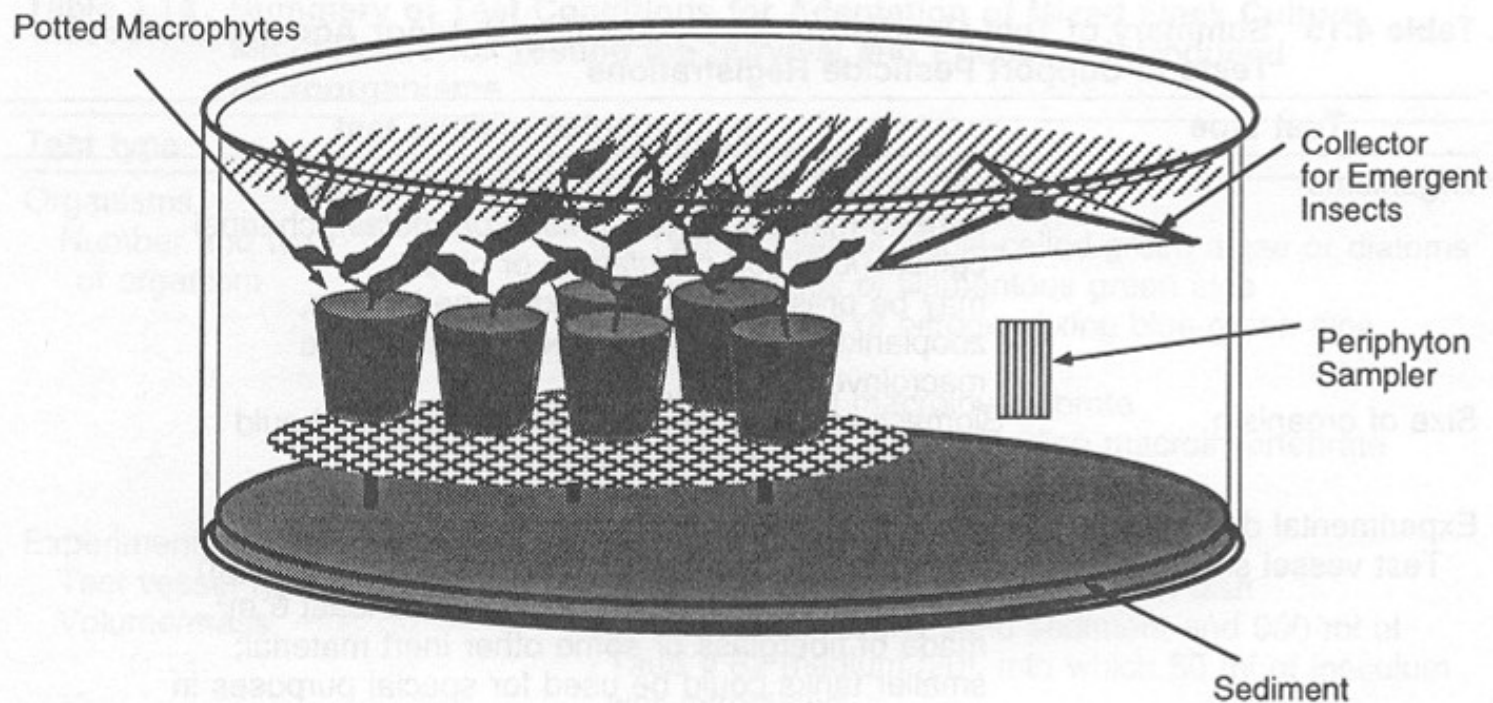


Figure 4.2 FIFRA microcosm experimental unit. An example of a microcosm experimental unit designed to test the effects of a herbicide on an aquatic environment. This particular setup does not include fish since the predatory effects would tend to hide lower trophic level effects upon the invertebrate populations. Typically, a FIFRA microcosm experiment includes fish species, particularly when acetylcholinesterase inhibitors or other toxicants particularly effective against animal species are tested.



Příklad

- požadavky
na venkovní
mikrokosmos
pro registraci
pesticidů

Table 4.15 Summary of Test Conditions for Conducting Outdoor Aquatic Microcosm Tests to Support Pesticide Registrations

Test type	Multispecies toxicity test
Organisms	Add: bluegill sunfish (<i>Lepomis macrochirus</i>), fathead minnow (<i>Pimephales promelas</i>), channel catfish (<i>Ictalurus punctatus</i>), or others may be present (Phytoplankton, periphyton, zooplankton, emergent insects, and benthic macroinvertebrates)
Size of organism	Biomass of fish added to the microcosms should not exceed 2 g/m ³ of water.
Experimental design ^a	
Test vessel size and type	Tanks with a surface area of at least 5 m ² , a depth of at least 1.25 m, and a volume of at least 6 m ³ made of fiberglass or some other inert material; smaller tanks could be used for special purposes in studies without fish.
Addition of test material	Allow microcosms to age for approximately 6–8 weeks before adding test material. Apply by spraying across water surface, apply the test material in a soil/water slurry, or apply test material in a water based stock solution
Sampling	Begins approximately 2 weeks after the microcosms are constructed and continues for 2 or 3 months after the last treatment with test material; frequency depends upon the characteristics of test substance and on treatment regime



Příklad (pokračování): požadavky na venkovní mikrokosmos pro registraci pesticidů

Table 4.15 Summary of Test Conditions for Conducting Outdoor Aquatic Microcosm Tests to Support Pesticide Registrations

Test type	Multispecies toxicity test
Physical and chemical parameters	
Temperature	Maintained by partially burying tanks in the ground or immersing in a flat-bottomed pond
Sediment	Obtained from existing pond containing a natural benthic community; added to each microcosm directly on the bottom, in trays, or other containers; sediment should be 5 cm thick
Water	Obtained from healthy, ecologically active pond; water level should be set in the beginning and not allowed to vary more than $\pm 10\%$ throughout study; if water level falls more than 10%, add pond water, fresh well water, or rain water; if water level rises more than 10%, surplus should be released and retained.
Weather	Should be recorded at the study site or records obtained from a nearby weather station; data should include air temperature, solar radiation, precipitation, wind speed and direction, and relative humidity or evaporation

^a Dosage levels, frequency of test material addition, and number of replicates per dosage level are determined based on the objectives of the study.



Příklad – akvatický mikrokosmos s makrofyty



Příklady – venkovní mikrokosmy

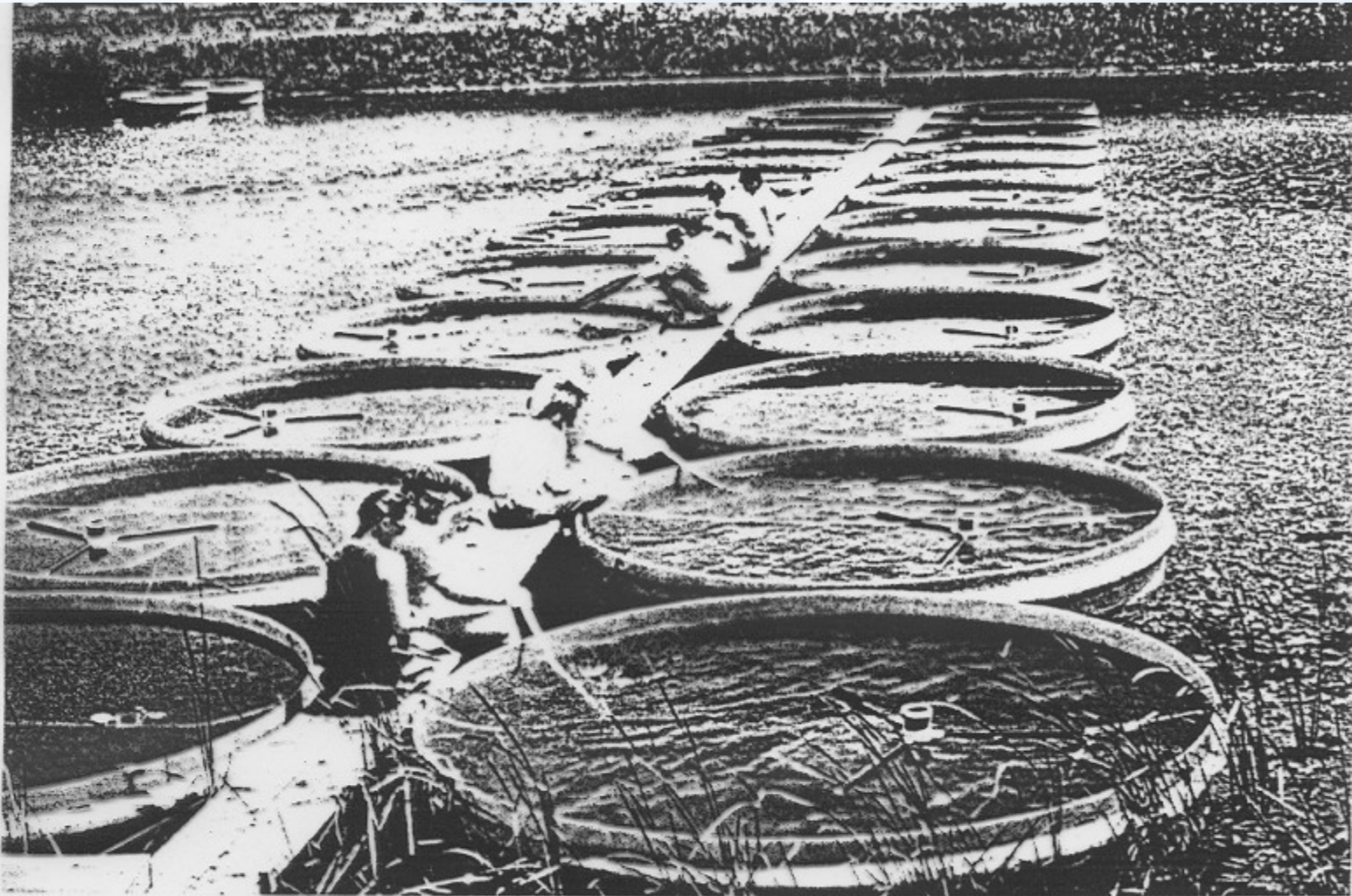
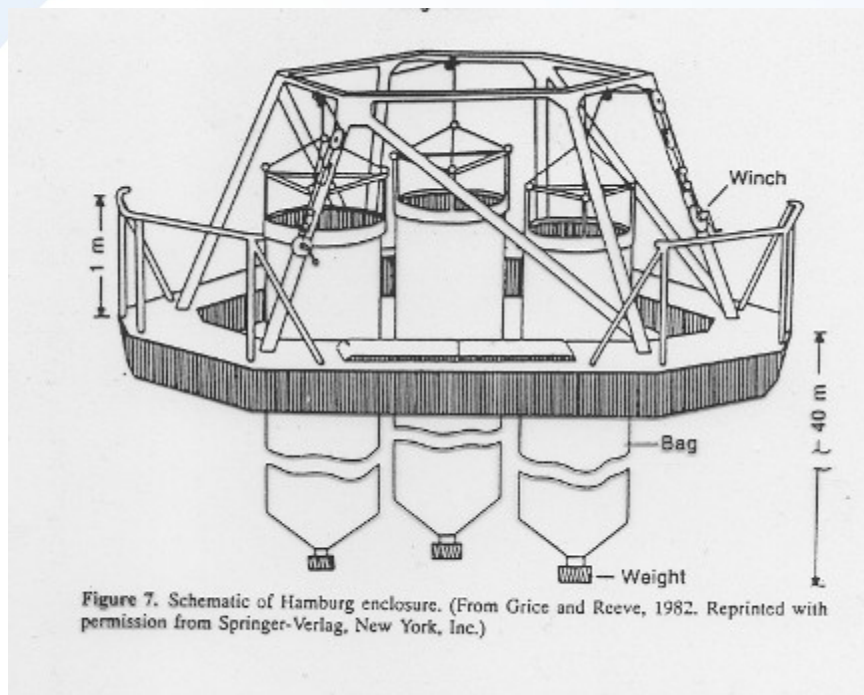


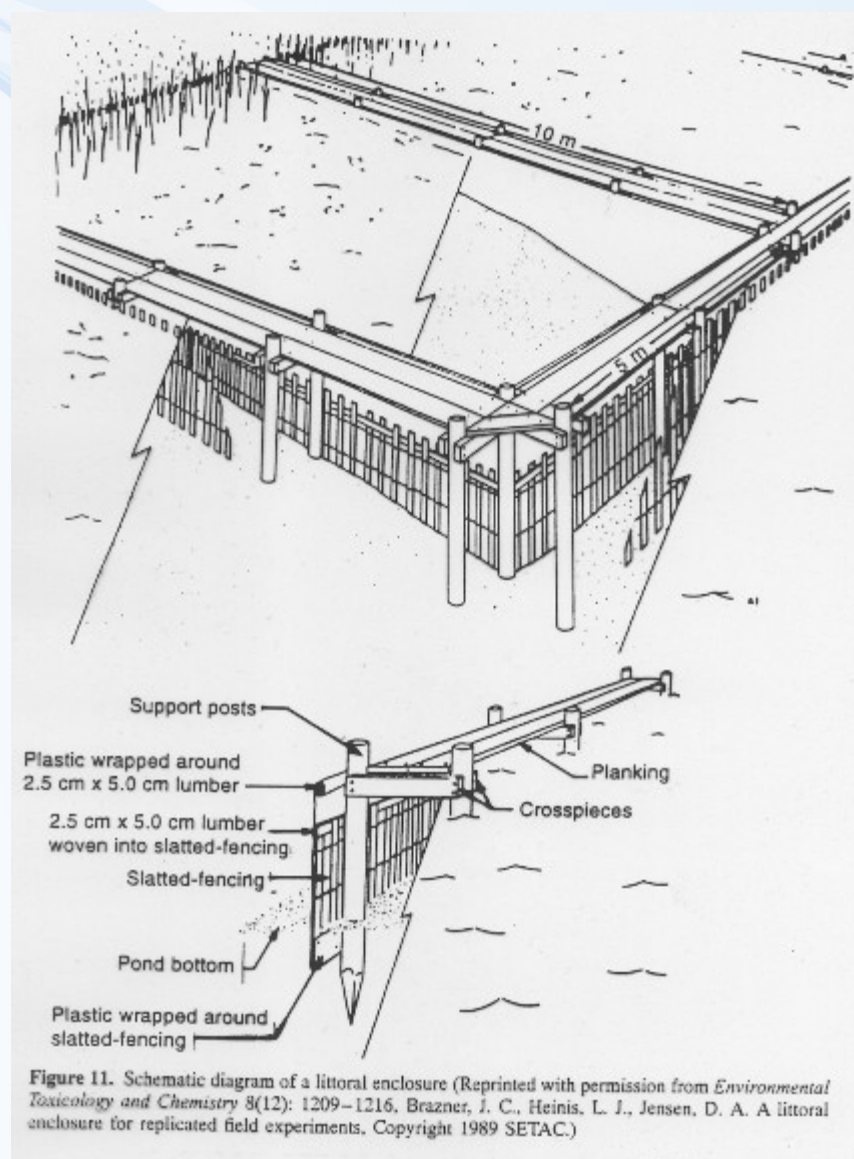
Figure 6. Photograph of outdoor microcosm test systems (10,000-L tanks) located at the University of Kansas. These fiberglass tanks have been used by Springborn Laboratories, Wareham, MA. to evaluate the impact of pesticides on aquatic communities.



Příklady – venkovní plovoucí mikrokosmy



Příklady – litorální (příbřežní) mikrokosmos



Venkovní experimentální mikrokosmy UFZ Leipzig



Příklady – venkovní mikro(mezo) kosmy – tekoucí voda UBA Německo

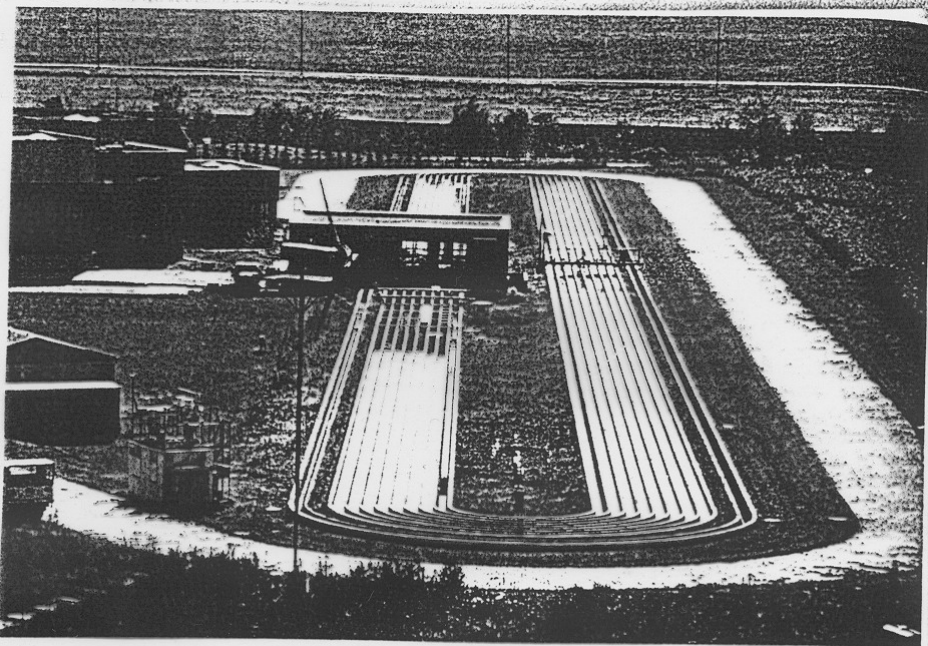


Figure 13. Artificial stream system of the Water, Soil and Air Hygiene Office, Marienfelde, Germany. Facility has been used to study the effects of sewage, nutrients, and detergents on stream ecosystem. Large building in the center is a pilot sewage treatment plant which contains automated sampling equipment. (Photo by P. D. Hansen.)



Příklady – venkovní mikro(mezo) kosmy – tekoucí voda

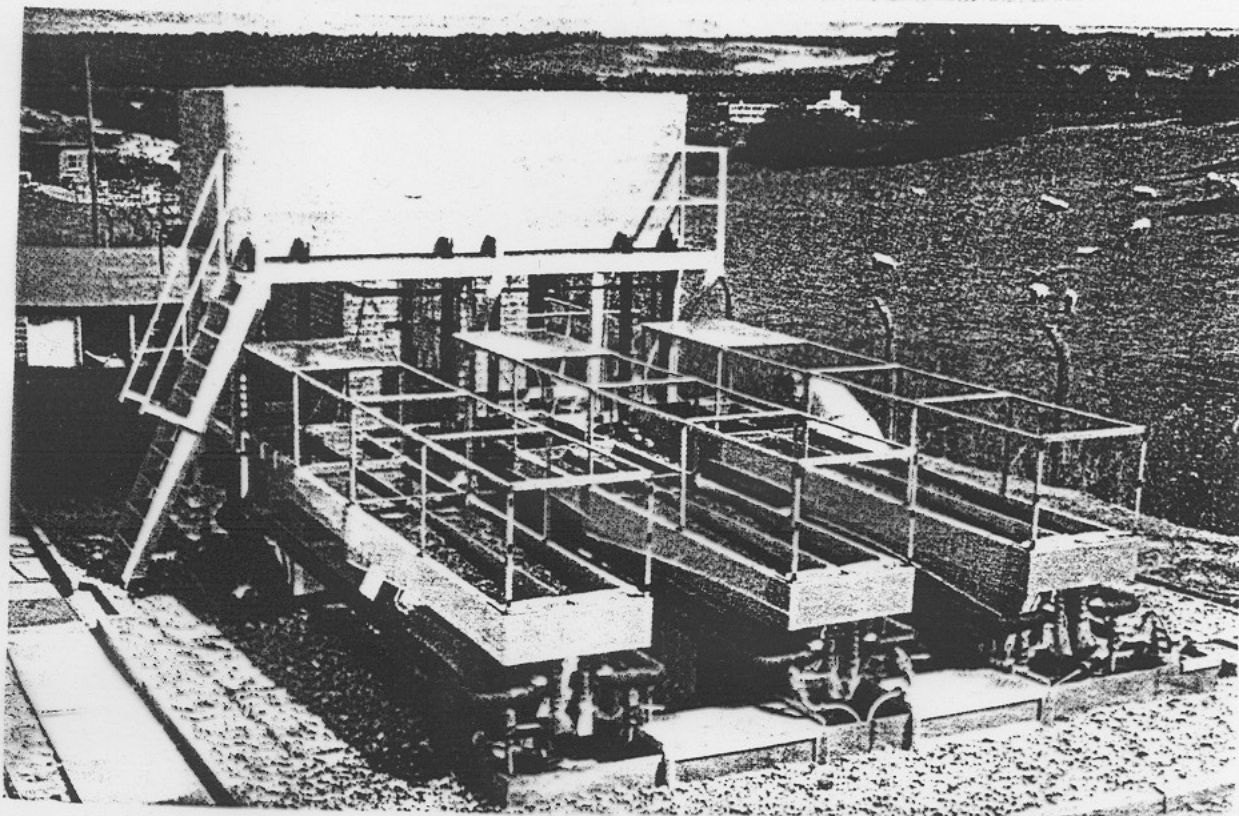


Figure 14. Photograph of recirculating artificial stream system developed by Shell Research (England).



Příklady – venkovní mezokosmy: U of North Texas

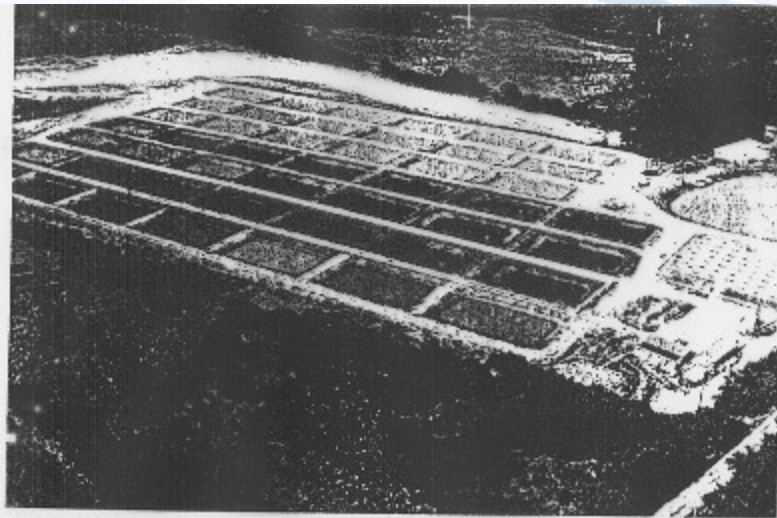


Figure 1. Aerial photograph of lentic mesocosm ponds at the Water Research Field Station of the University of North Texas, DeLooze.

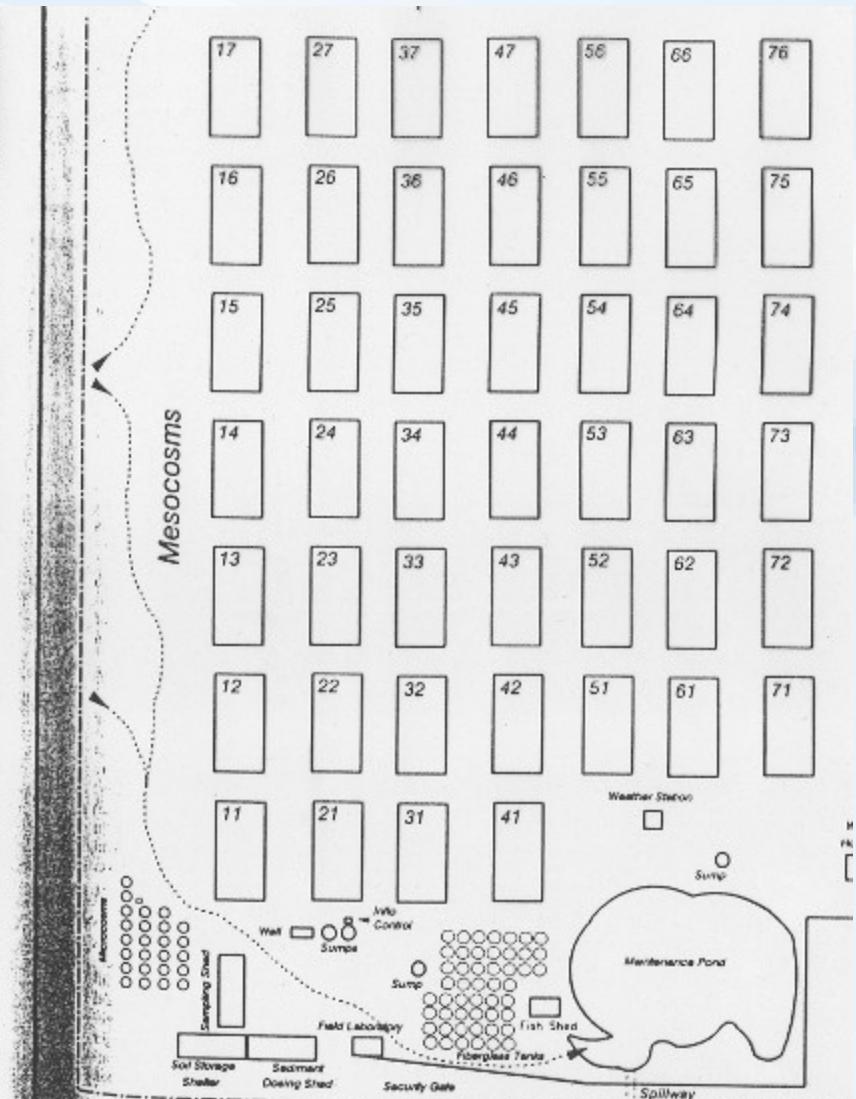


Figure 3. Schematic diagram of the lentic mesocosm ponds at the Water Research Field Station of the University of North Texas. Smaller circles represent the location of fiberless mesocosm test systems.

Vyhodnocení výsledků mikro / mesokosmů

HODNOCENÉ PARAMETRY

- hodnocení v rámci jednotlivých druhů

- mortalita, růst
- reprodukce
- populační charakteristiky

- hodnocení společenstva – ekologické efekty

- strukturní parametry: *taxonomie, indexy atd.*
(v praxi jsou hodnoceny častěji než funkční p.)

- funkční parametry
zásoby – živiny, energie
procesy – produkce, respirace ...



Příklad

Sledování změn
ve společenstvu
ovlivněném 3 dávkami
pesticidu

(L-low, M-medium,
H-high, VH = vehicle /
kontrola rozpouštědla)

Dvě různá uspořádání:

Mikro vs. mezokosmos
(malá nádrž vs. Jezero)

Organism	2 m ² microcosm				480 m ² mesocosm			
	L ^b	M	H	VH	L	M	H	VH
Zooplankton								
Rotifera	□	■	■	■	□	□	□	□
Copepoda	□	□	□	↓	■	■	■	■
Macroinvertebrates								
Oligochaeta	□	□	□	□	□	□	□	□
Ephemeroptera - Baetidae	■	■	■	■	↓	↓	↓	↓
- Caenidae	■	■	■	↓	■	■	■	■
Odonata	□	□	□	□	□	□	□	□
Diptera - Chaoboridae	■	■	■	■	■	■	■	■
- Chironominae	□	□	■	□	□	□	□	□
- Tanypodinae	□	□	□	□	□	■	■	■
Fish - survival ^c	□	□	□	□	□	□	□	□
- growth ^d	□	□	□	□	□	□	□	□
- reproduction	□	■	■	□	□	□	□	□

□ = no effect (quantitative or qualitative)

quantitative decrease □ = <50%, ■ = 50–95%, ■ = >95%

quantitative increase □ = <50%, ■ = 50–95%, ■ = >95%

qualitative data ↓ = decrease, ↑ = increase.

Treated with 10 drift (D) and 5 run-off (R) applications; each application as % of USA maximum label cotton rate:

	microcosm		mesocosm	
Low	D 0.7% + R 4.2%		D 0.8% + R 5.1%	
Mid	D 1.8% + R 4.2%		D 2.1% + R 5.1%	
High	D 3.5% + R 4.2%		D 4.2% + R 5.1%	
Very High	D 3.5% + R 21%		D 4.2% + R 25%	

Survival of juveniles (microcosms) and adults (mesocosms) added prior to pyrethroid treatments.

Biomass of juveniles (microcosms) and adults/young-of-year juveniles (mesocosms)



FUNKČNÍ PARAMETRY EKOSYSTÉMŮ

1) Zdroje a pohyb živin / energie

(autochtonní – vnitřní / allochtonní – externí)

- **přenos energie = potravní sítě**
 - *pastevně kořistnický / parazitický / dekompoziční*
 - *producenti → konzumenti → destruenti/dekompozitoři*

2) Procesy v ekosystémech

- **Produkce**
Primární: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow (\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2$
Sekundární produkce (v potravním řetězci)
- **Respirace / dekompozice**

Metriky sledování procesů:

balance / výměny koncentrací plynů - O₂, CO₂, NO_y atd.

3) Resilience / Elasticita

- jednotka [1/ time unit]
- kapacita překonat stres & **čas nutný k překonání stresu**
 - vyšší: rychle rostoucí a rozmnožující se druhy (*phytoplankton*)
 - nižší: delší generační doba (*bentické organismy, ryby*)



Další příklady: Vícedruhové „testy“ s mikroorganismy



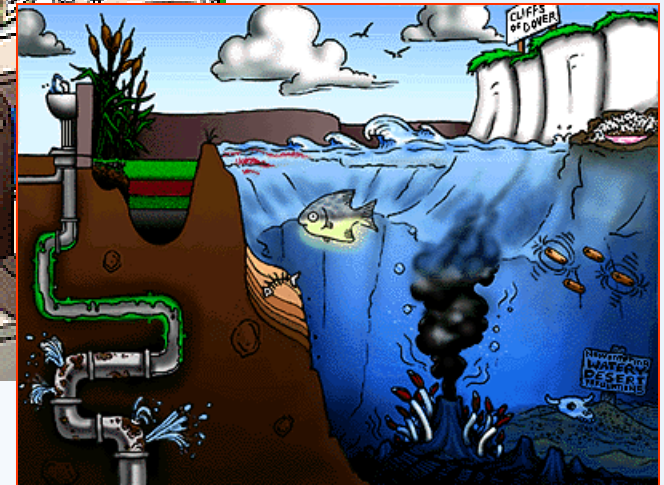
DIRTLAND



WATERWORLD



MICROBIAL ZOO

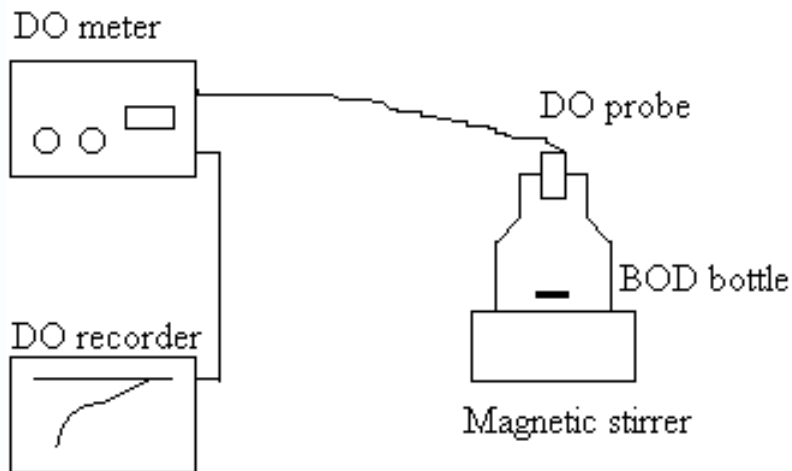


Mikrobiální ekotoxikologické biotesty

B) testy s komplexními společenstvy bakterií

(1) Inhibice respirace aktivovaného kalu

- stanovení efektu toxické látky na respirační bakterie
- komplexní (nedefinované) společenstvo
 - zdroj – laboratorní kultivace, **čistírny odpadních vod** (*biologické čištění*)
- expozice - Erlenmayerovy nádoby
- vyhodnocení – stanovení spotřeby kyslíku (*oxymetr, DO – dissolved oxygen*)
- modifikace – stanovení dalších parametrů – nitrifikace



Mikrobiální ekotoxikologické biotesty

B) testy s komplexními společenstvy bakterií

(2) testy kvality půdních mikrobiálních společenstev

- uspořádání:

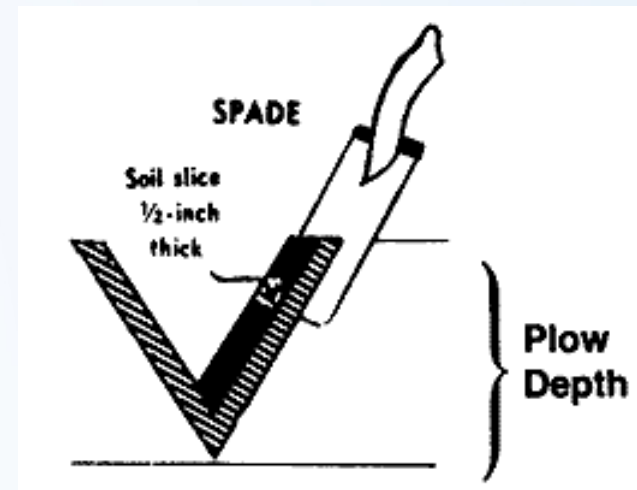
A) srovnání kvality půd z různých lokalit

B) umělá půda s externě přidávanými bakteriemi + testované vzorky

- komplexní (nedefinované) společenstvo

- stanovení 1) biomasa – celkové množství bakterií

2) respirace a další metabolické parametry





Centrum pro výzkum
toxických látek
v prostředí

Možnosti studia účinků látek v ekosystémech

- * Retrospektivní *in situ* pozorování
- * Modelování

Možnosti studia účinků v ekosystémech

- polní studie, biomonitoring -

Hodnocení ekosystému

- **charakterizace** abiotických a biotických složek
- specifika akvatických a terestrických ekosystémů

Charakteristiky (parametry)

strukturní parametry

funkční parametry

- druhové složení, počty, abundance

- toky energií a látek

Akvatické ekosystémy



Holland America



Centrum pro výzkum
toxických látek
v prostředí

Terestrické ekosystémy



Holland America

Polní studie, biomonitoring

Možnosti hodnocení působení stresu

! Pro posouzení stresu je *nutné srovnání s "kontrolou"*

(1) srovnání "před a po" působení stresu

kontrola = stav ekosystému před působením

- předpokládá monitoring před působením stresu (*sledování stavu abiotické a biotické složky ekosystému*)
- známe pozadřové hodnoty a "přirozený" stav

(2) srovnání exponovaného ekosystému s jiným nezasaženým ("kontrolním") ekosystémem

klíčový je výběr kontrolního ekosystému:

- *oba ekosystémy mají srovnatelné vlastnosti abiotické (terén, geologie, nadmořská výška ...)*
- *za normálního stavu se předpokládají podobné biologické vlastnosti (tj. shodná společenstva, potravní vztahy ...)*
- *Odvození závěrů je v tomto případě vždy **složitě** (neexistují dva stejné / stejně se vyvíjející ekosystémy)*



Polní studie, biomonitoring

Praktický postup při polní studii / biomonitoringu

- (1) **charakterizace lokality**, průzkum přímo v terénu
- (2) **definice hodnocených parametrů** příslušného ekosystému ve vztahu k působení stresu
 - abiotické složky
 - biotické složky – strukturní a funkční parametry
- (3) **definice odběrů** (*vzorkování, četnost, počty*)
 - abiotických složek (*voda, sedimenty, půda, vzduch*)
 - biotických složek (*producenti – konzumenti – destruenti*)
- (4) **realizace odběrů / analýzy / hodnocení**
- (5) **srovnání EXPOZICE vs. KONTROLA**, závěry



Polní studie, biomonitoring

(1) charakterizace lokality, rekognoskace terénu

- rozdílná charakterizace v závislosti na typu

- terestrický ekosystém

terénní vlivy - svažitost, vegetace ...

- akvatický ekosystém

tekoucí – stojatý, hloubka - plocha, rychlost toku, členitost (makrofyta ...)

- další charakteristiky, které je třeba zaznamenat:

- převládající počasí, směry větru, intenzita světla ...

- specifické parametry (*přítomnost antropogenních aktivit, zdroje znečištění ...*)

- mapový záznam



Příklad 1:
Terestrické prostředí:
vliv skládky



Příklad 2:
Vodní prostředí → řeka



Polní studie, biomonitoring

(2) definice parametrů ve vztahu k působení stresu

- abiotické složky

- ve kterých složkách (*voda, sediment, půda, vzduch*) působí/il stresor ?
- kde lze předpokládat rezidua toxických látek ?

- biotické složky

definice organismů, které budou sledovány pro posouzení působení stresu:

- vztah k působení stresu (př. planktonní organismy – látky s tendencí zůstávat ve vodním sloupci, tj. hydrofilní vs. sedimenty-hydrofobní)
- hodnocené skupiny (př. producenti – řasy; konzumenti – zooplankton, ryby; destruenti – planktonní bakterie)
- klíčové druhy, bioindikátory ...
- parametry hodnocení
 - **strukturní** (taxonomické parametry, biomasa, abundance ...)
 - **funkční** (produkce/respirace, potravní řetězce ...)



Parametrizace ekosystémů

- **Strukturní parametry**
 - Složení a charakterizace abiotických částí
 - Složení a abundance biocenoz
 - *Floristické a faunistické záznamy (viz jinde)*
- **Funkční parametry**
 - Obecně **významnější** (*komplexněji reflektují strukturu*), ale
 - **Komplikovanější** stanovení
 - Méně prostudované
 - Základní funkční charakteristiky
 - velikost zásob látek a E (pool sizes)
 - procesy (pool processes)
 - elasticita / resilience



Polní studie, biomonitoring

(3, 4) definice a realizace odběrů (vzorkování), analýzy definovaných parametrů

- odběry a analýzy abiotické složky

- návrh a rozložení vzorkovacích míst
 - plošné, vertikální – hloubka, odběry vzduchu*
- spojování a vytváření směsných vzorků ("*průměrný*" vzorek z lokality)
- hodnocení základních chemických parametrů (obsah uhlíku, pH ...)
- charakterizace a stanovení kontaminace
 - *techniky analytické chemie a chemie životního prostředí*

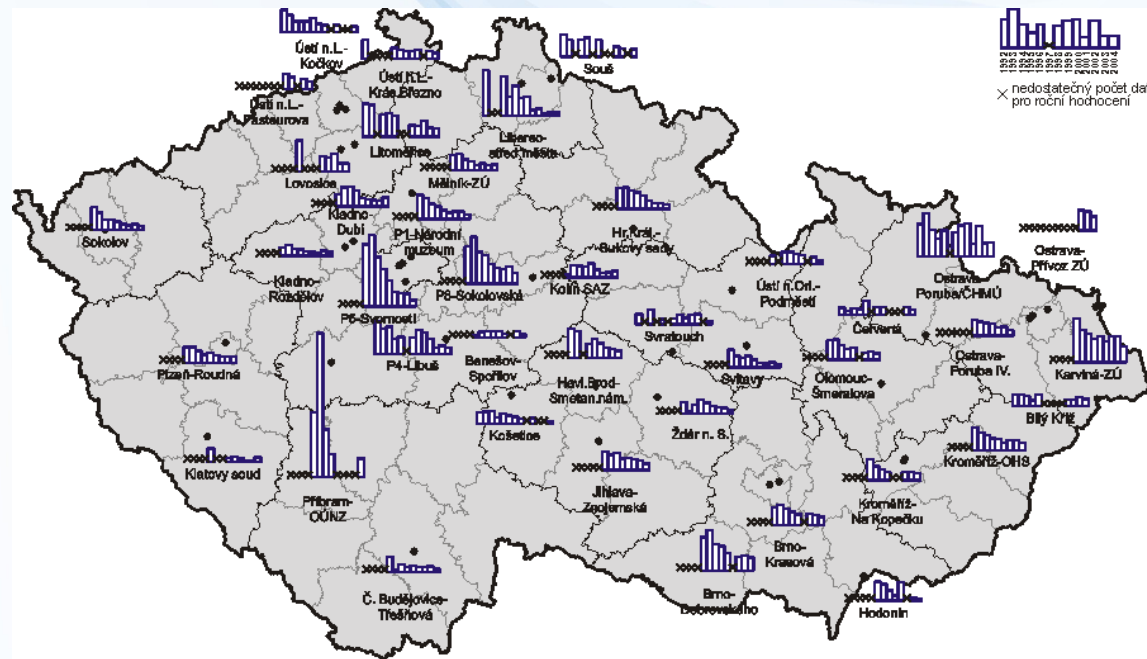
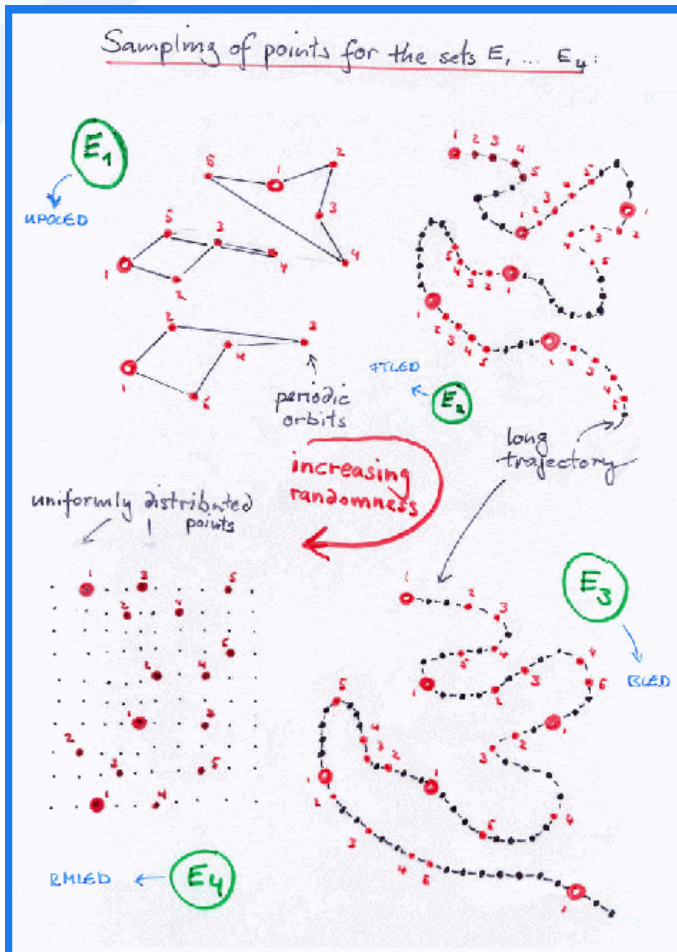
- odběry a analýzy bioty

- návrh a rozložení vzorkovacích míst
- vzorkování – podle typů organismů
- charakterizace a stanovení definovaných biotických parametrů
 - *techniky botanických, zoologických, mikrobiologických a ekologických disciplin*
- charakterizace a stanovení kontaminace bioty
 - *techniky analytické chemie a chemie životního prostředí*



Polní studie, biomonitoring

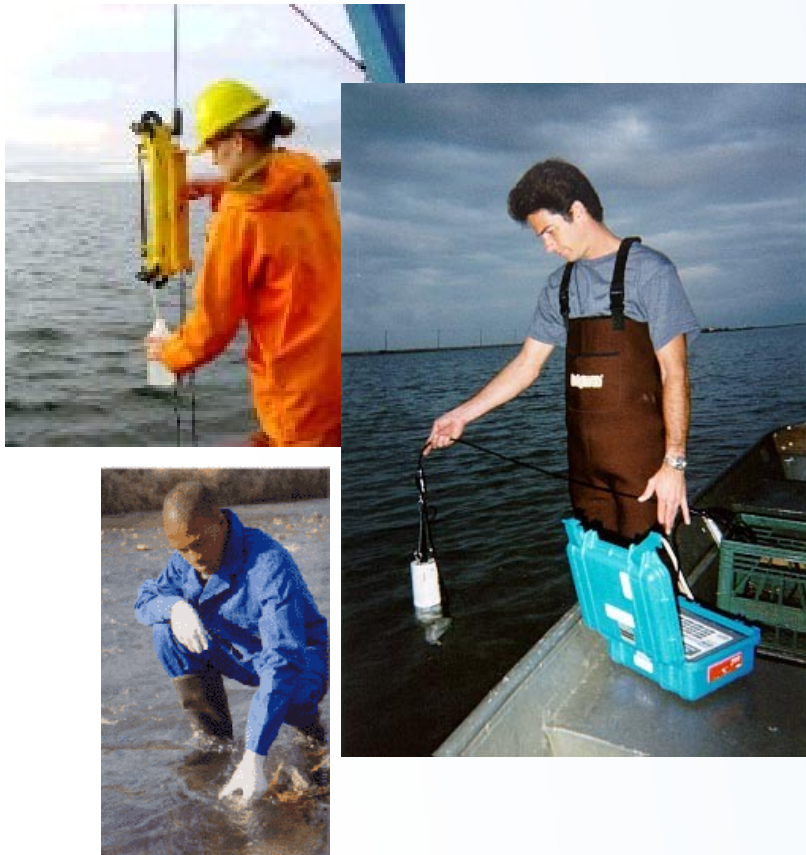
Př: vzorkování – návrh rozložení vzorkovacích míst



Polní studie, biomonitoring

Př. vzorkování – odběry abiotických vzorků

Voda



Sediment



*Eckmanův
drapák*

Polní studie, biomonitoring

Př. vzorkování – odběry abiotických vzorků

Vzduch



Půda



*Půdní sonda
- půdní jádro*



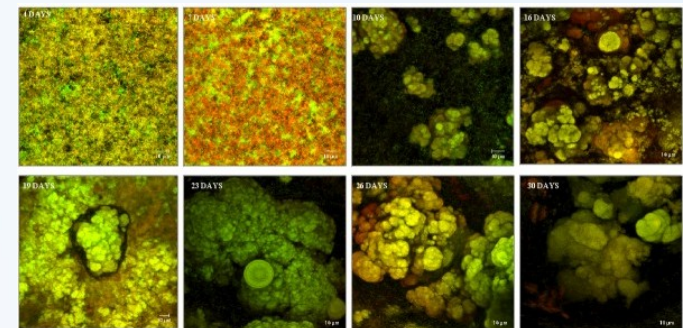
Polní studie, biomonitoring

AKVATICKÉ PROSTŘEDÍ – odběry biotických vzorků -

Planktonní síťky



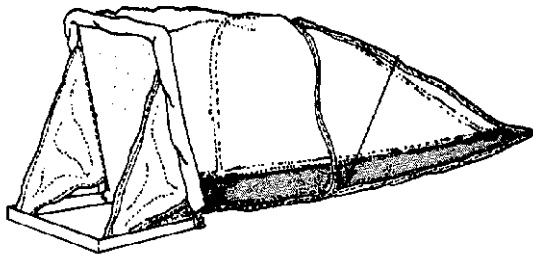
Periphyton – nárosty, biofilmy



Polní studie, biomonitoring

AKVATICKÉ PROSTŘEDÍ – odběry biotických vzorků -

Bentičtí bezobratlí



Ryby



Polní studie, biomonitoring

TERESTRICKÉ PROSTŘEDÍ – odběry biotických vzorků -

ROSTLINY



Bezobratlí



Polní studie, biomonitoring

TERESTRICKÉ PROSTŘEDÍ – odběry biotických vzorků -

malí obratlovci



Polní studie, biomonitoring

(5) srovnání exponovaného a kontrolního ekosystému, vyhodnocení výsledků

- a) **základní parametry srovnávaných systémů by měly být blízké**
(např. hodnoty pH, tvrdost vody, shodné geochemické parametry – podloží ...)

- b) **chemická kontaminace PROSTŘEDÍ / BIOTY v obou systémech**
? existují rozdíly v koncentracích toxických látek
? existuje vztah mezi koncentrací v prostředí a v biotě (? bioakumulace)

- c) **srovnání biotických parametrů v obou ekosystémech**
? existují rozdíly v taxonomickém složení společenstev
? existují rozdíly v pokryvnosti-abundanci-biomase
? srovnání potravních vztahů
? posouzení rezistence a resilince (jak dlouho stres působil a jak dlouho již nepůsobí)

