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.

EVROPSKÁ UNIE esf

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

UNIVERSITAS MASARYKIANA BRUNENSIS

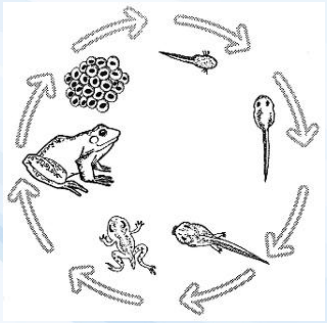
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Připomenutní - hodnocení ekotoxicity - biotesty

- 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..)

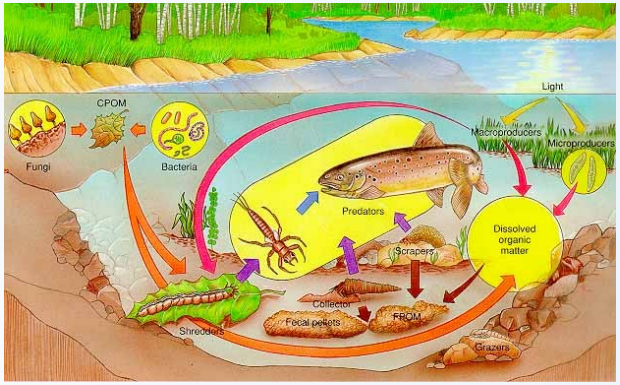
ALE: … realita & cíl ekotoxikologie je
→ Chránit populace v ekosystémech

BIOTA



POPULACE

SPOLEČENSTVA
(interakce mezi populacemi)

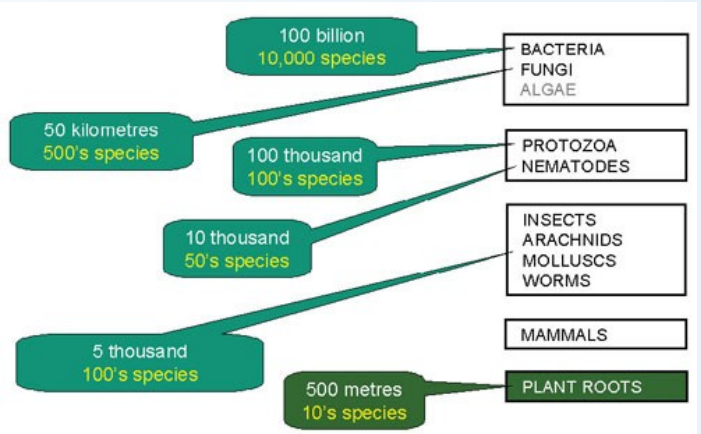


EKOSYSTÉMY

Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

- 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.



Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

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 popsatelné a stanovitelné
- dobrá kvantifikace

Efekty na úrovni populací a společenstev

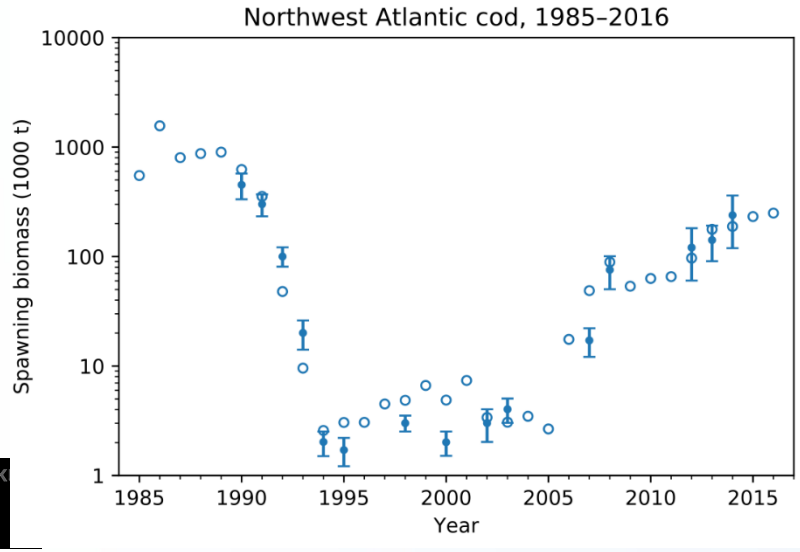
- obtížně studovatelné a kvantifikovatelné
  - komplexnost a variabilita
  - dobře prokazatelné až velké změny
  - pomalé projevy
  - organismální efekty nejsou vždy interpretovatelné
  - obtížně prokazatelná kauzalita "*toxikant <-> efekt*"
  - obtížně predikovatelné

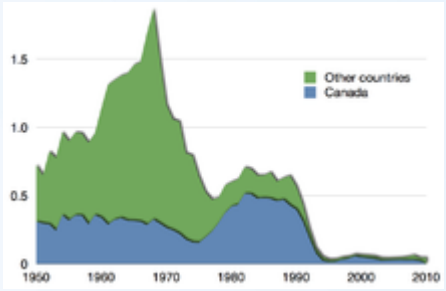
Populace - *Jedinci téhož druhu, kteří obývají ve stejném čase stejné území (lokalitu) a mohou se mezi sebou rozmnožovat*

Primární PARAMETRY populací („měřitelné“)
(demografické parametry)

- **velikost** (size, performance) – úspěšnost – specifický parametr pro různé druhy (např. počet jedinců, počet semen, květů, pokryvnost množství biomasy aj.)
- **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)
- **další demografické parametry – věkové složení, podíl pohlaví atd.**

Temporal variability in population of fish ***(due to overfishing)***



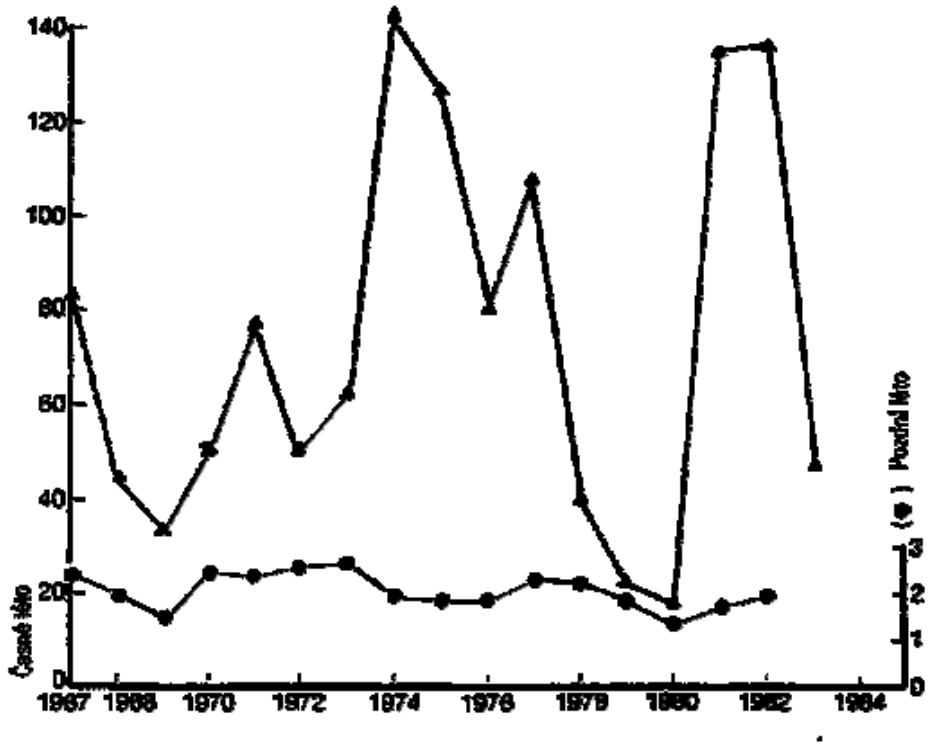


Capture of the Atlantic northwest cod stock in million tonnes, with Canadian capture in blue[8]

Centrum pro výzk
toxických látek
v prostředí

Variabilita v populacích … je přirozená

Obr. 1 Příklady populační dynamiky na základě empirických šetření, publikovaných v anglické učebnici ekologie (Begon, Harper et Townsend 1987)



1a) Petruh 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)

EKOTOXIKOLOGIE V POPULACÍCH

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

- vyspělost 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) ***selekce 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)

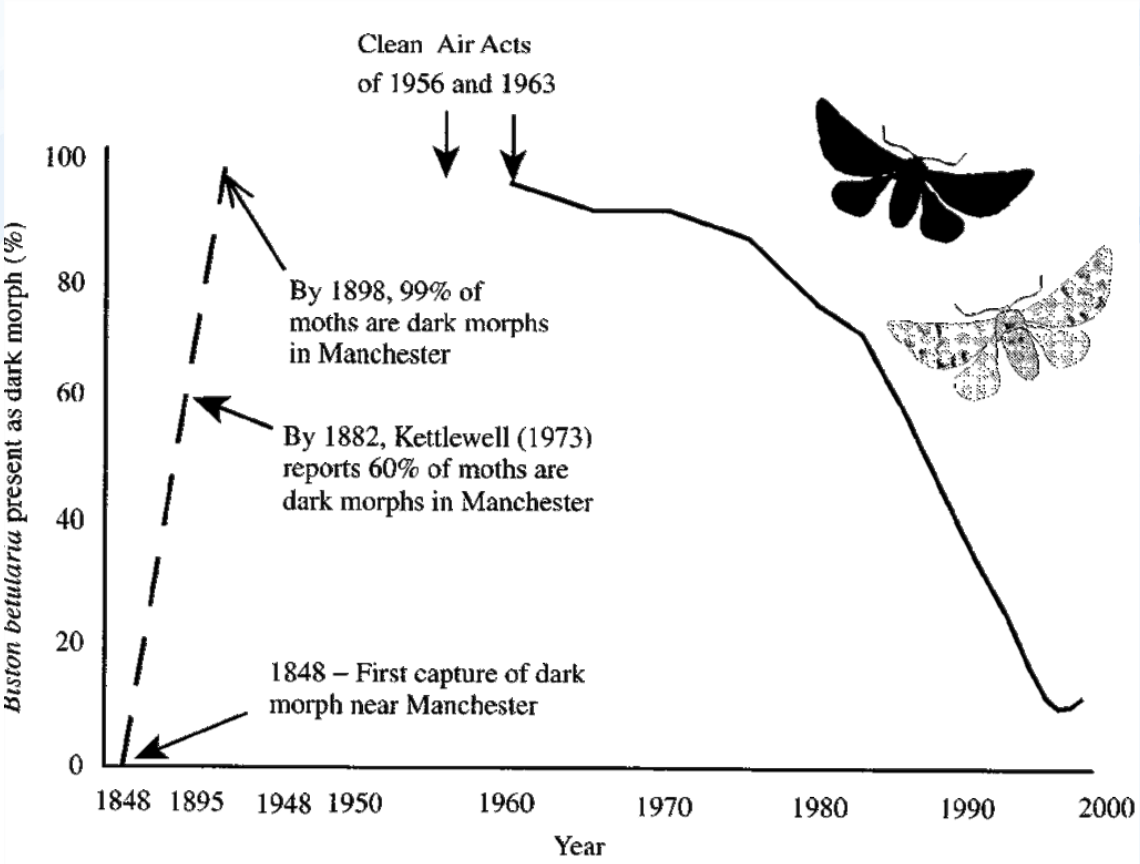
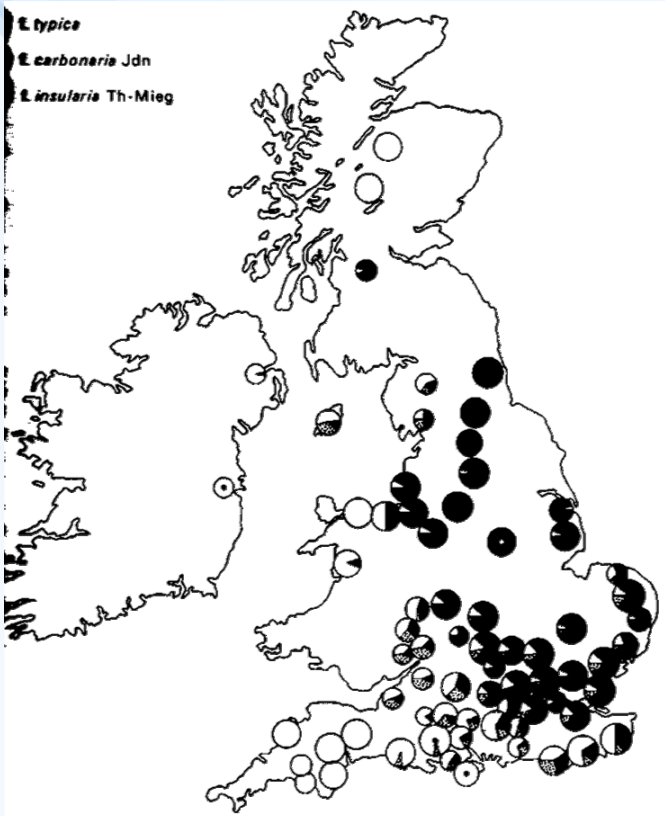


Fig. 2.2. Rise and fall in the proportion of *Biston betularia* of the melanistic morph caught near Liverpool, UK. Information for the decline in the dark morph come from Clarke and Grant (Clarke *et al.* 1994; Grant and Clarke 1999) who monitored a moth population outside of Liverpool from 1959 to the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



4.4 The relative frequencies of the normal and two melanic forms of 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.)

Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

Selekce rezistentních populací

→ Různě staré trávníky (psineček) v blízkosti průmyslu

→Nárůst „indexu rezistence k Cu“

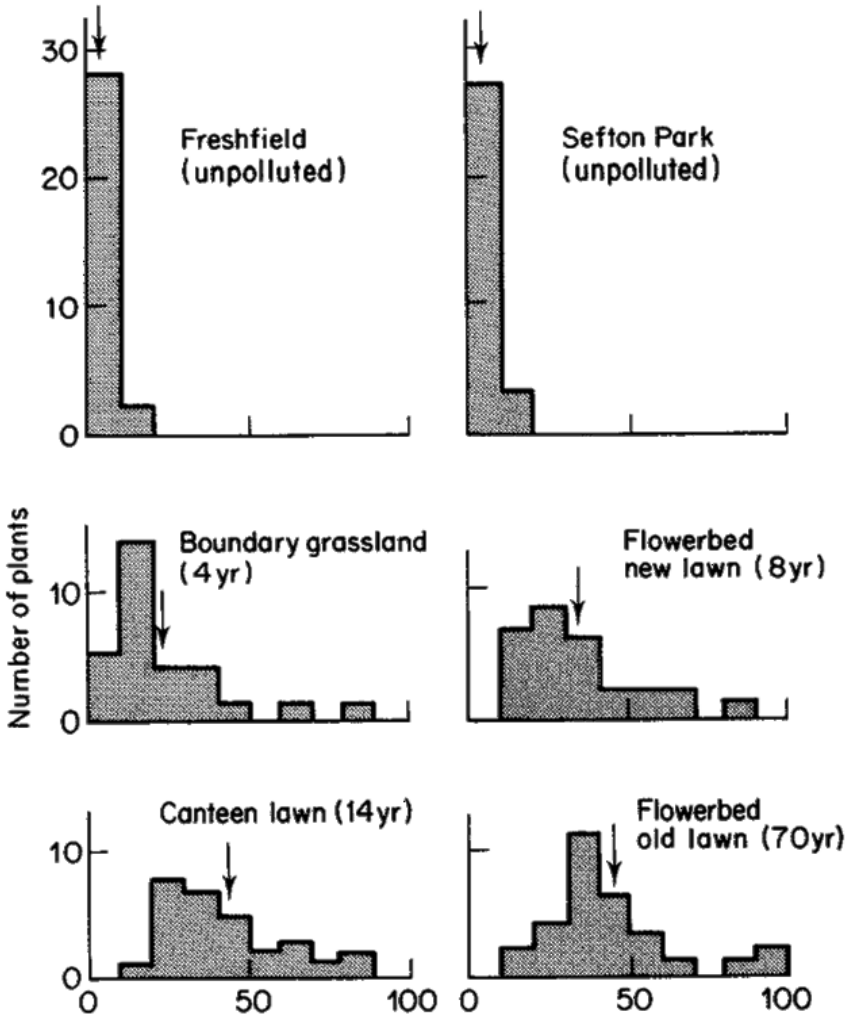


Fig. 4.7 The distribution of copper resistance in samples of the grass *Agrostis stolonifera* taken from seven populations of different ages around a copper refinery at Prescot, Lancashire. The index of copper resistance was given, under standardized conditions, by:

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

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

news@nature.com
The best in science journalism

Close window
Print this page

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.

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

© *Alamy*

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

toxických látek
v prostředí

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]

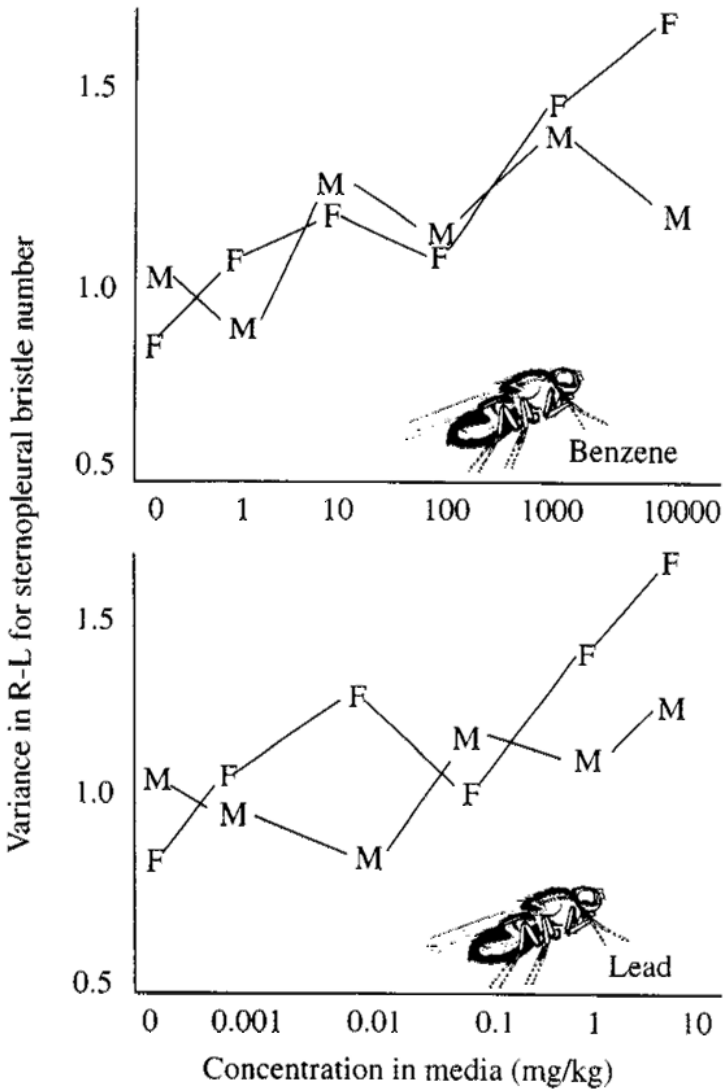


Fig. 6.7. The influence of lead and benzene concentrations in media on the developmental stability of *Drosophila melanogaster* (Data from Table 3 in Graham, Roe and West. 1993b). Sternopleural bristle number was counted on the right and left sides of each individual. M = male and F = female

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

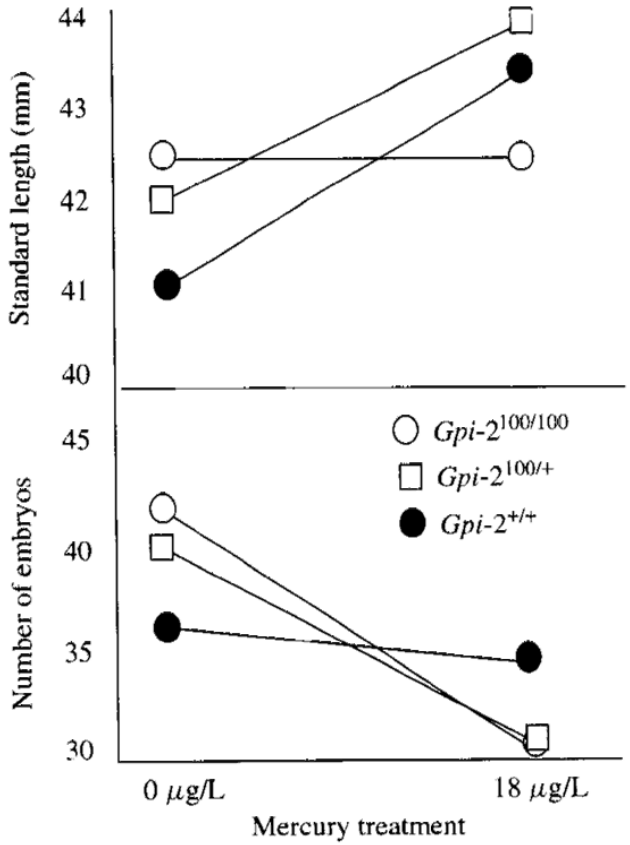


Fig. 6.4. The influence of mercury treatment on size (standard length) and fecundity (number of late stage embryos/gravid female) of female mosquitofish. Modified from Figure 3 in Mulvey *et al.* (1995)

Životní cyklus druhu a populační ekotoxikologie

Citlivost různých vývojových stadií

- zásadní význam pro demografii populace

Mladší stadia (embrya) bývají citlivější k vlivům toxikantů

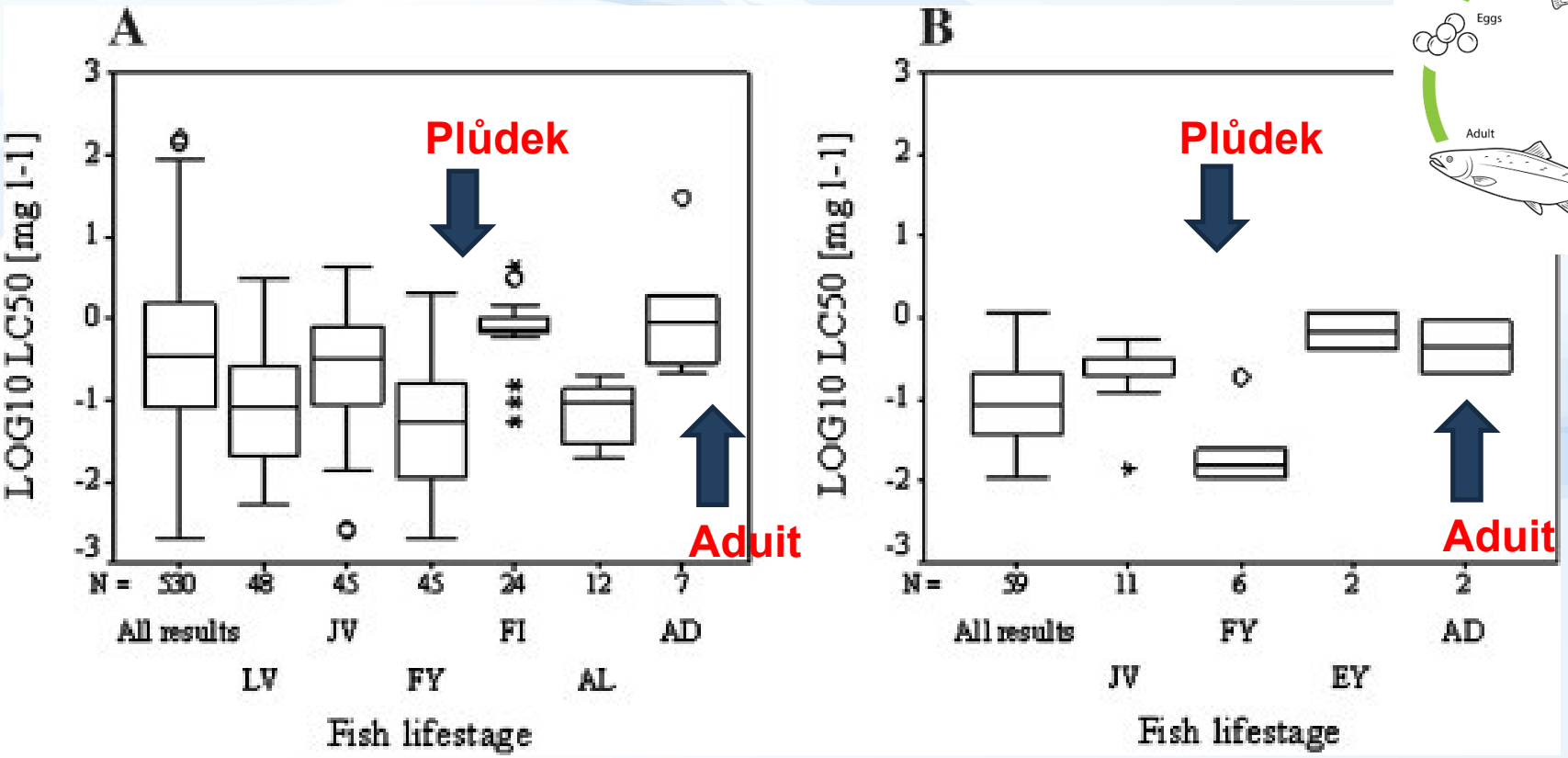
- *citlivost: rychle dělící se buňky u embryí a larev*
- *viz embryotoxicita*

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 $CuSO_4$



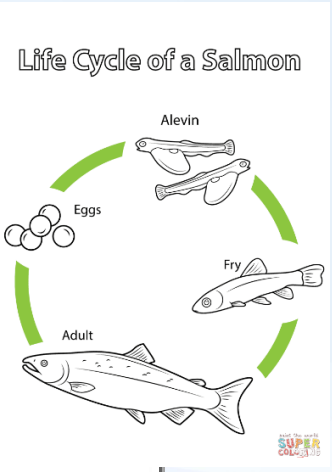


Fig. 2. Log LC50 variability for all available test results and for the five most frequently used fish life stages (larvae (LV), juvenile (JV), fry (FY), fingerling (FI), alevin (AL), eyed egg (EY) and adult (AD) life stage) for sulphuric acid, copper(2+) salt (1:1) (CAS 7758-98-7).
Test results for **all reported fish test species** (A) and for ***Oncorhynchus mykiss*** (B) were compared.
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273230009000956

Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

Chrostíci

Rozdíly v citlivosti s věkem

Vyšší mortalita u starších …

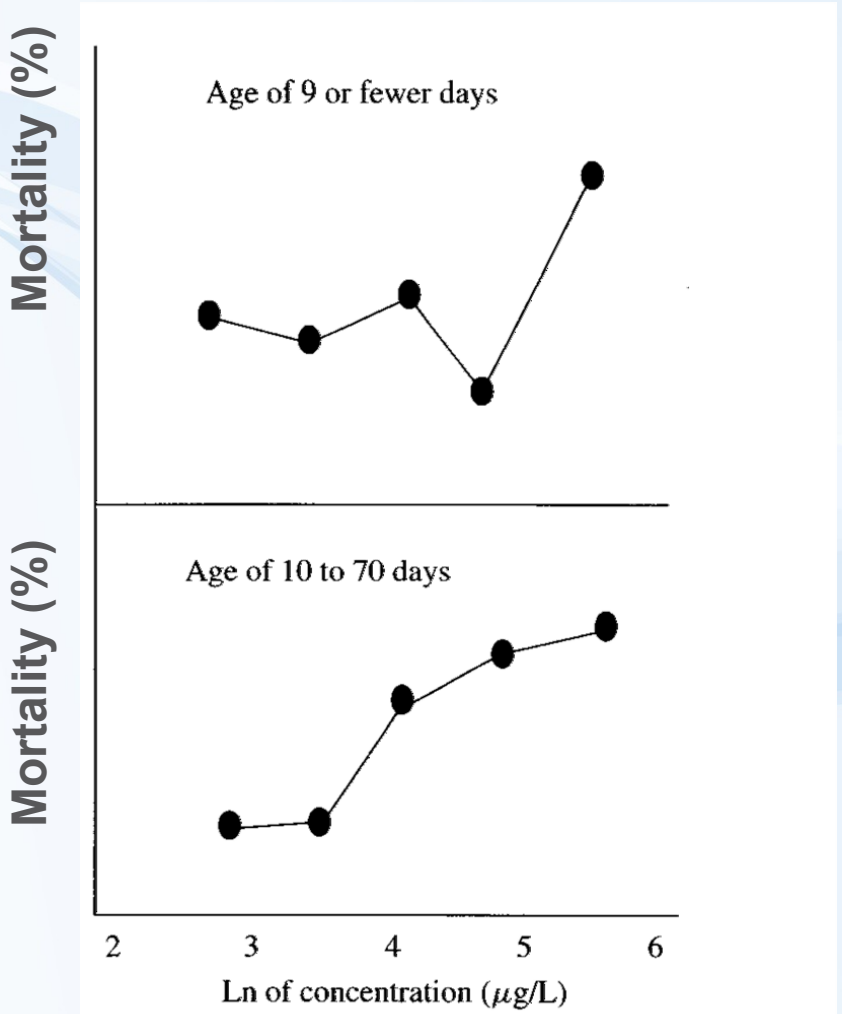


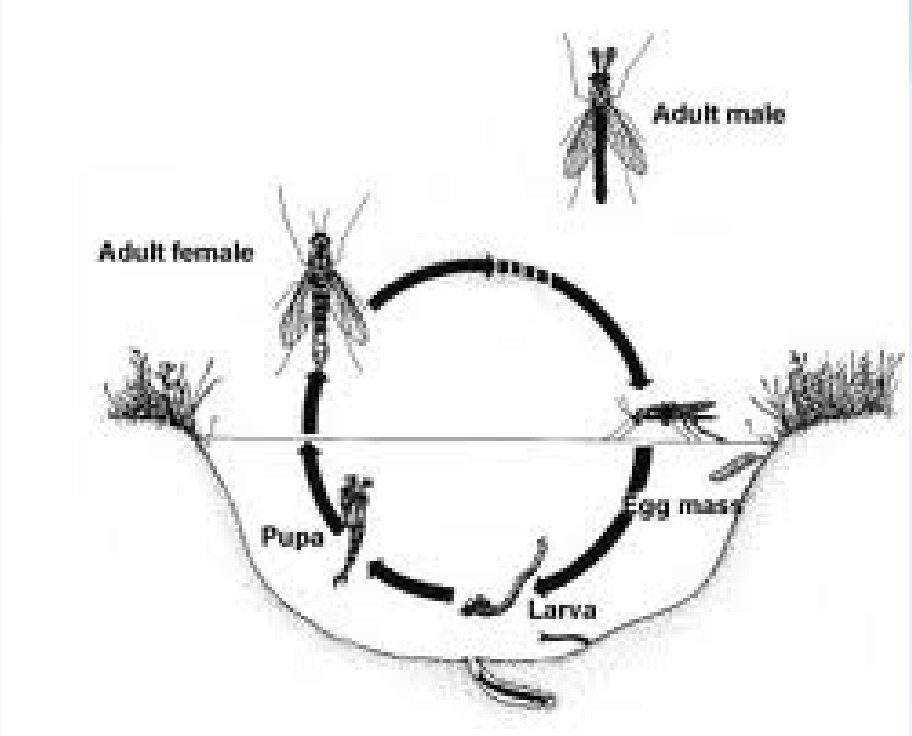
Fig. 6.1. Density-dependent, natural mortality can obscure the concentration–effect relationship for caddisfly larvae exposed to 4,5,6-trichloroguaiacol. There was no discernible relationship for larvae ≤9 days old, an age class with high levels of natural, density-dependent death. Note the high mortality 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
   - *chvostoskoci Folsomia candida* - reprodukční testy

2) **Testy celoživotního cyklu**
   - *Např. pakomáři Chironomus (OECD guideline 233)*

3) **Modelování**
   (např. DEB modely)



Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

Příklad – ilustrační obrázek

DDT → populační důsledky

Obrázek – tloušťka skořápek

Prázdné symboly
- tloušťka před objevem DDT (1842 – 1942)

Plné symboly
- tloušťka v období 1970-74

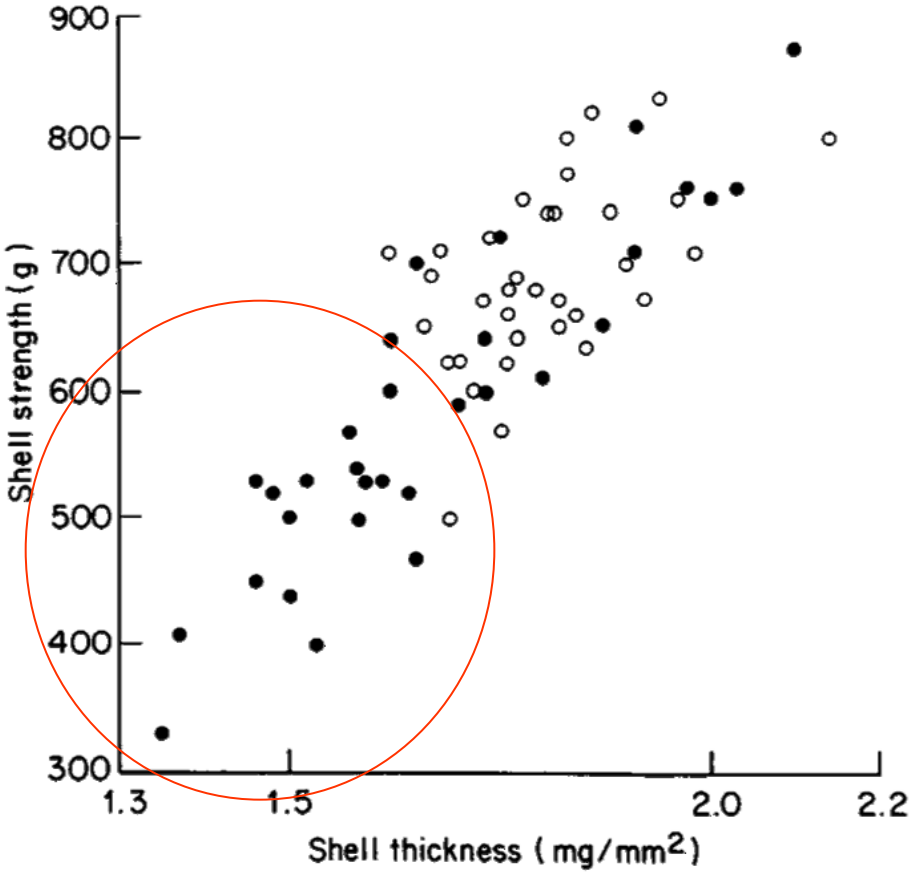


Fig. 8.2 Shell strength and thickness in eggs of the peregrine falcon (*Falco peregrinus*), for two samples of eggs: those laid from 1850 to 1942, before the advent of DDT (○), and those laid from 1970 to 1974 (●). Strength was assessed by the weight needed to pierce the shell under standardized conditions.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

Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

Účinky látek
vs. SPOLEČENSTVA

Centrum pro výzkum
toxických látek
v prostředí

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

Základní principy – ZPĚTNÉ VAZBY

ZPĚTNÉ VAZBY

pozitivní = nárůst „B“ způsobuje nárůst „A“

A+ ⟷ B+

negativní = nárůst „B“ způsobuje pokles „A“

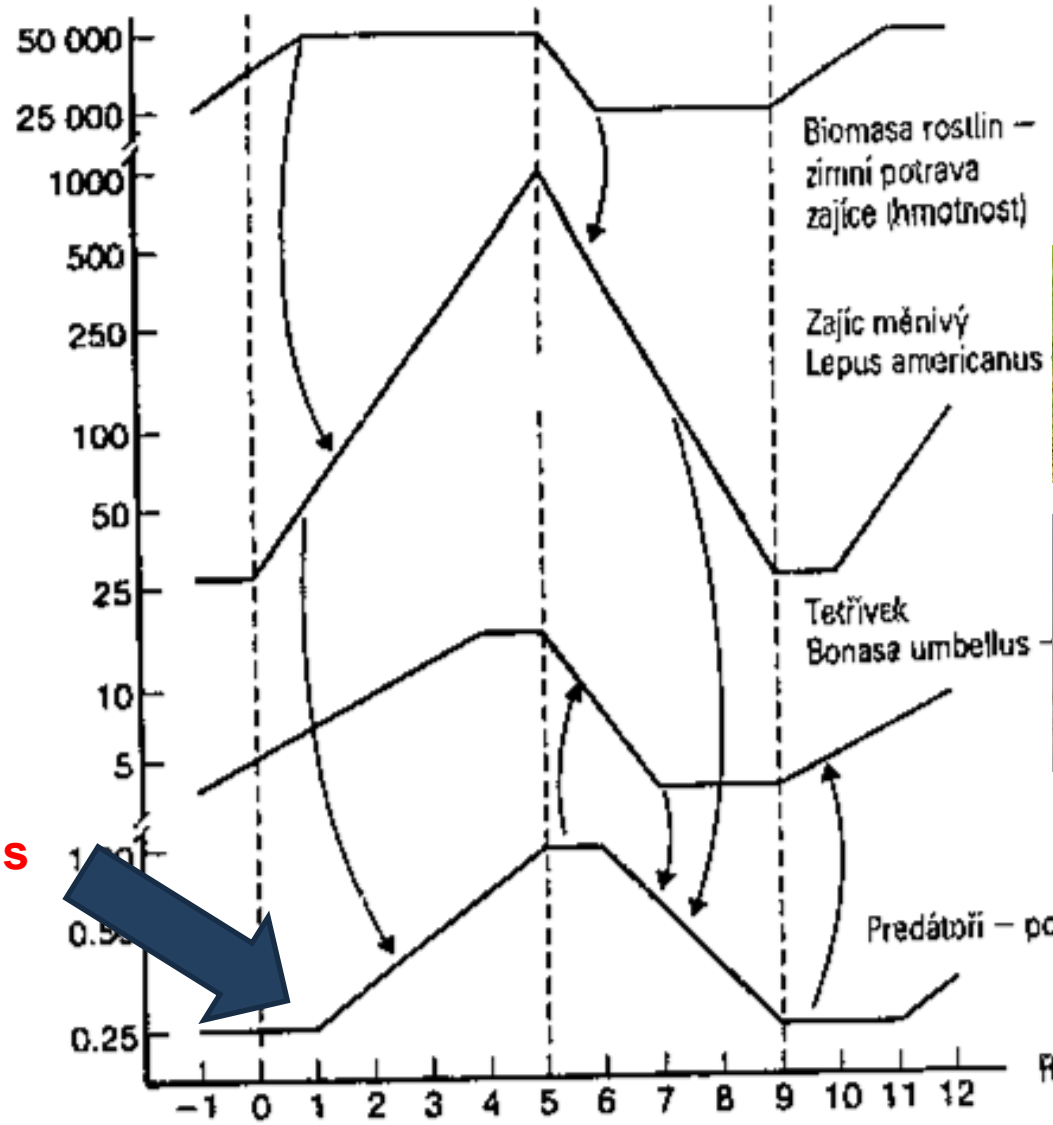
A- ⟷ B+

Příklady:

- propojené populační cykly králíka a rysa (predátor)

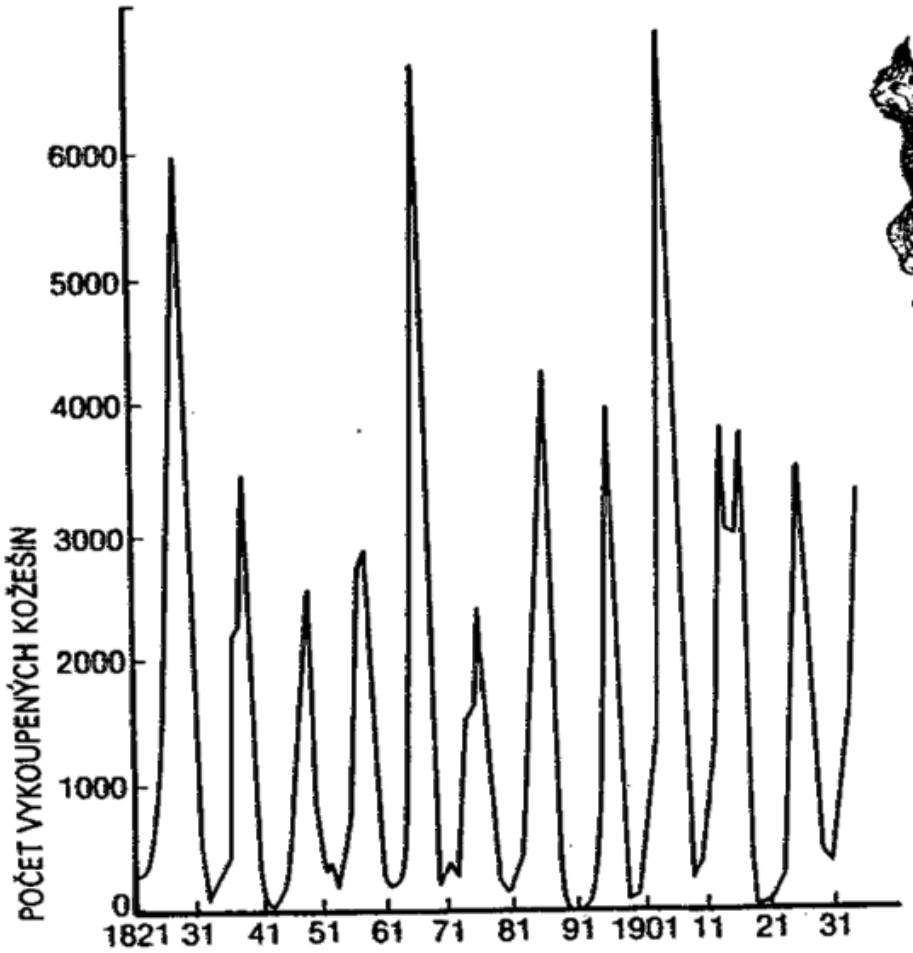
+ další součásti biocenozy → další strana

Obr. 5 Kolísání biomasy hlavních složek 10letého populačního cyklu tajgového 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 rysa

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.



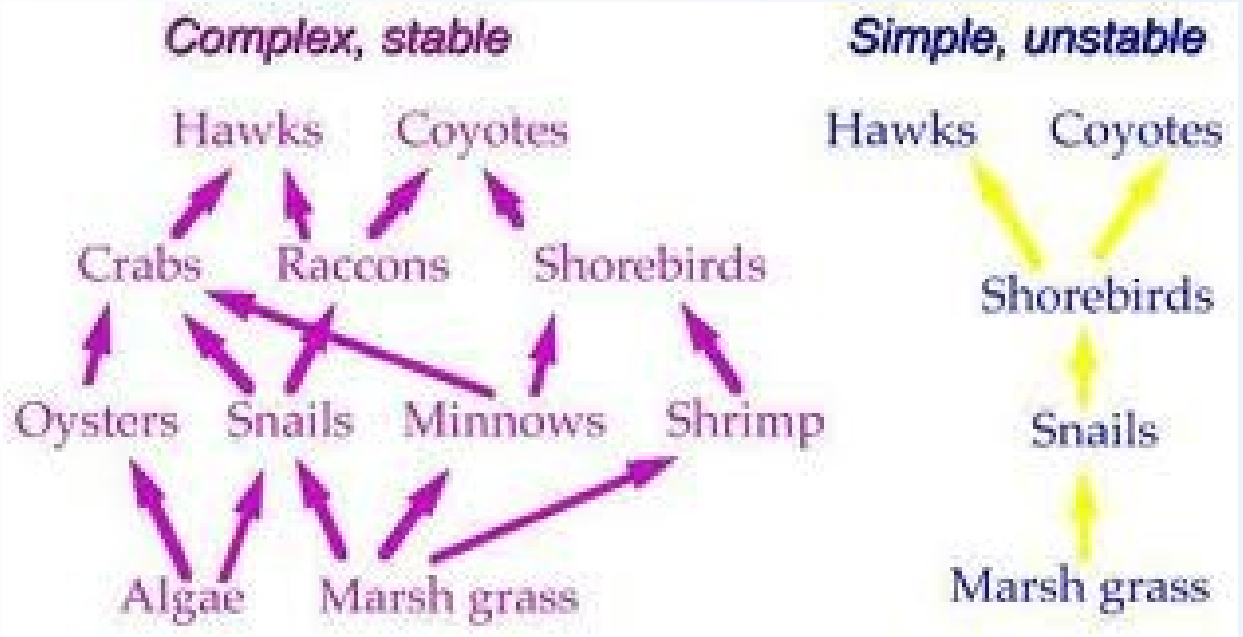
Centrum pro výzkum
toxických látek
v prostředí

Jak lze společenstva popsat / parametrizovat ?

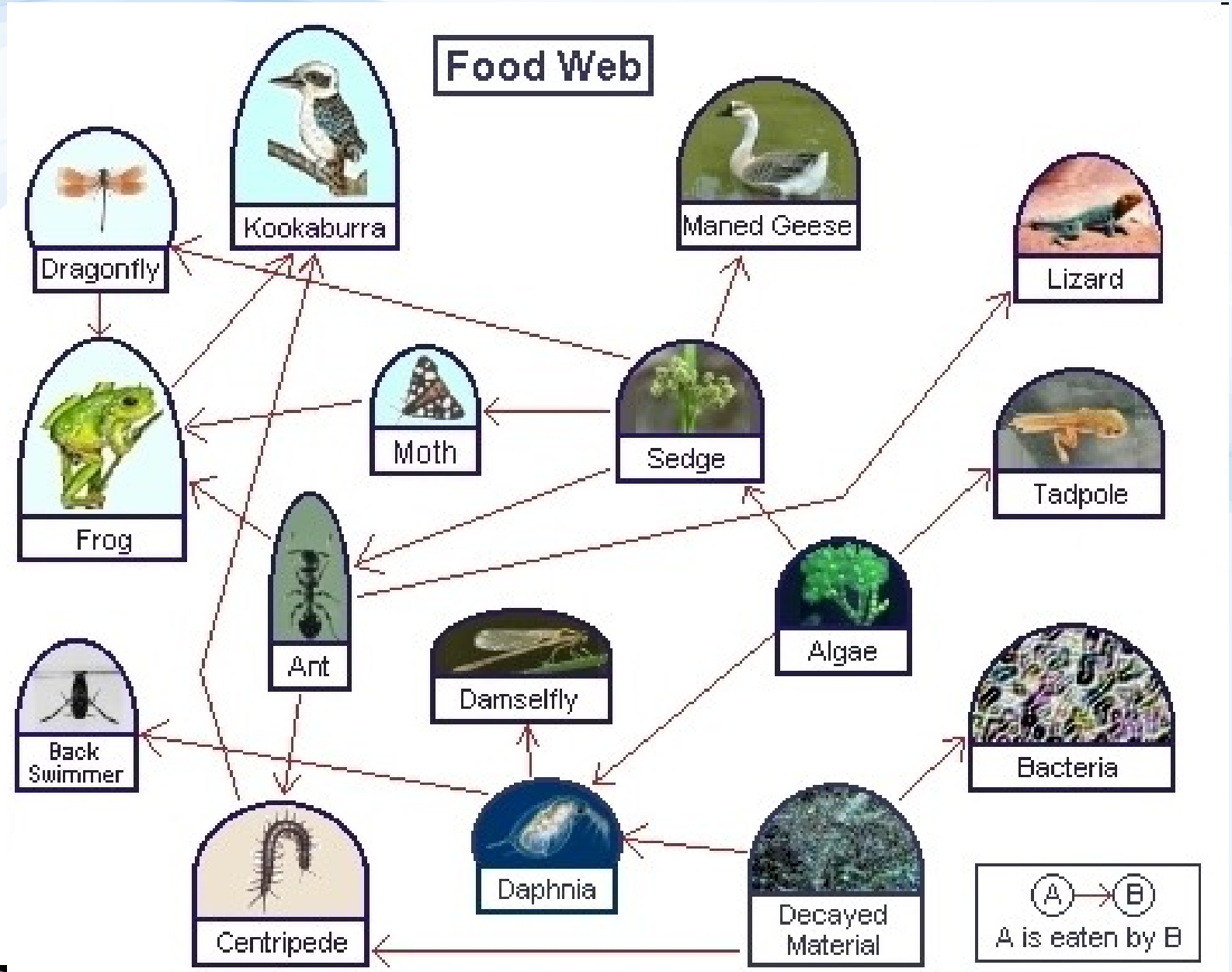
- **PARAMETRIZACE (měřitelné veličiny)**
- *Působení stresorů → změny v měřitelných parametrech*
  - Základní popis - parametry **strukturní**
  - *(Parametry **funkční** – viz dále: ekosystémová úroveň)*

- Bohatá struktura (bohatost vztahů / bio**diverzita**)

  → *podmínka stability biocenozy i ekosystému*

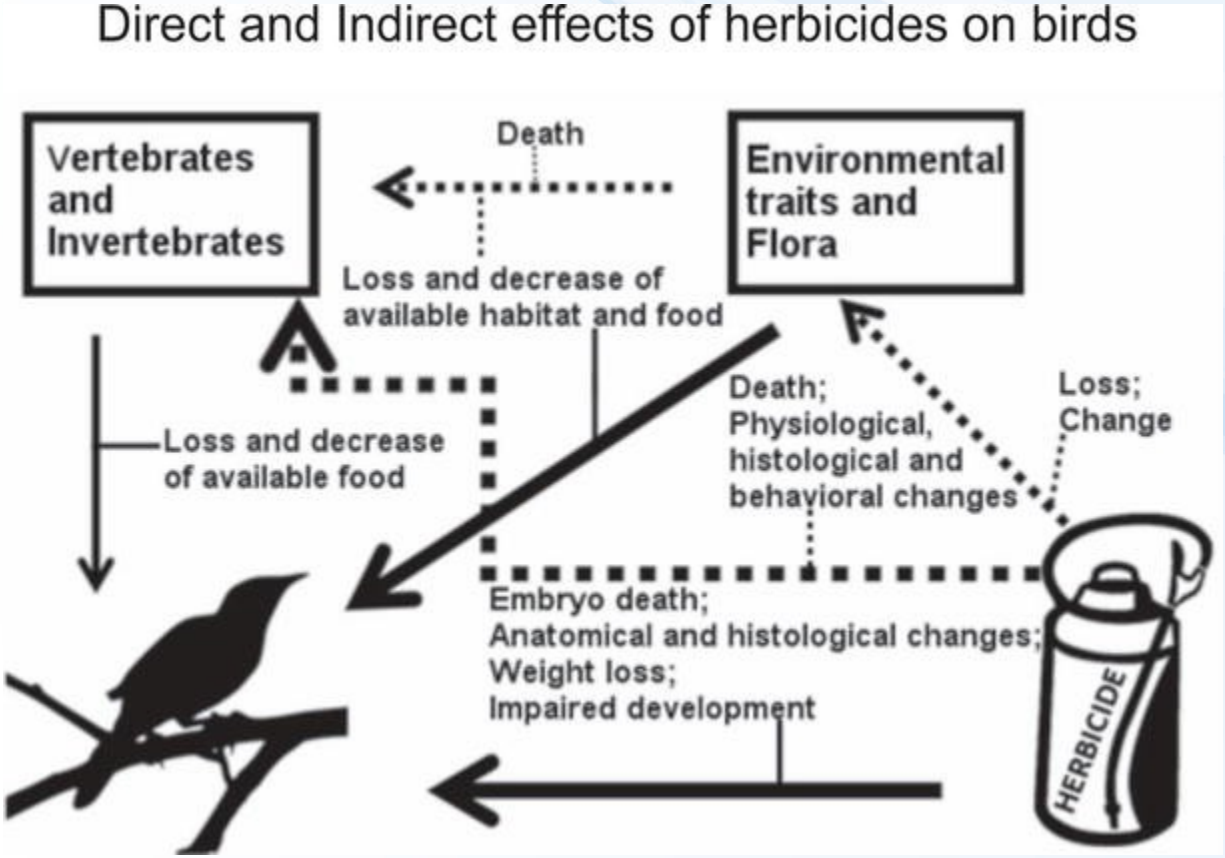


Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí



toxických látek
v prostředí

Figure 4.
Ecotoxicity of glyphosate-based herbicide (GBH) to aquatic birds. Direct (continuous arrows) and indirect (dashed arrows) effects of GBH on birds.



https://www.intechopen.com/books/biochemical-toxicology-heavy-metals-and-nanomaterials/ecotoxicology-of-glyphosate-based-herbicides-on-aquatic-environment

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.*)

Příklad 1

Floristický zápis:

složení biocenózy stromů (5 společenstev … A-E)

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

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

			Fir forests				Pine-bilberry forests							
							Moist				Dry			
Group	Species	Sample no....	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	*Abies alba*		4	2	2	2	+	+	+	+	+	+		+
	Pinus sylvestris		+	+	+	+	4	3	2	4	4	1	2	3
	Picea excelsa		+	+	2	+		2	+	+	+	+		+
	Vaccinium myrtillus		+	2	+	+	5	4	2	+	1	+	+	2
	Vaccinium vitis-idaea		+		+	+	+	+		+	1	3	3	2
B	*Lycopodium selago*		+		+	+								
	Circaea alpina		+	+		+								
	Pyrola secunda			1	+	+								
	Pyrola minor			+	+	+	+							
C	*Lycopodium annotinum*		+		+	+	+		+	+	+			
	Ptilium crista-castrensis		2		4	+	2	+	3	3				
	Dicranum undulatum		4	+	2	2	+	+	+	+				+
	Entodon schreberi				+		5	1	5	2		+		
D	*Pyrola chlorantha*						+			+	+	+		
	Melampyrum vulgatum						1	+	1	2		+		
	Calluna vulgaris							+	+		2	+	+	
	Cladonia sylvatica						2	+			3	+	3	+
	Cladonia rangiferina						1			1	2	+	4	+
E	*Quercus sessilis*			+						+	+	+	+	+
	Betula verrucosa										+	+	+	+
	Thymus ovatus								+		+	2	+	+
	Lycopodium clavatum										+	+	+	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.

EKOTOXIKOLOGIE SPOLEČENSTEV
- struktura -

Charakterizace DIVERZITY

Ni – počet jedinců jednoho druhu
N – celkový počet jedinců společenstva
S – počet druhů

- **INDEXY**
  - **Shannon-Wiener** ($H = -\sum Ni/N \ln (Ni/N)$)
    - Vyšší H → vyšší diverzita
  - **Shannonův index vyrovnanosti** (evenness) ($E = H / \ln S$)
    - Vyšší E → vyšší vyrovnanost společenstva
  - Margalefův index ($D = (S-1) / \ln N$)
  - ... a celá řada dalších indexů

    - *Poznámka: indexy jsou necitlivé na změny ve vzácných druzích … málo jedinců → malý vliv na celkový index*

Příklad – domácí úkol

? Kde je největší diverzita
? Které společenstvo je nejvyrovnanější

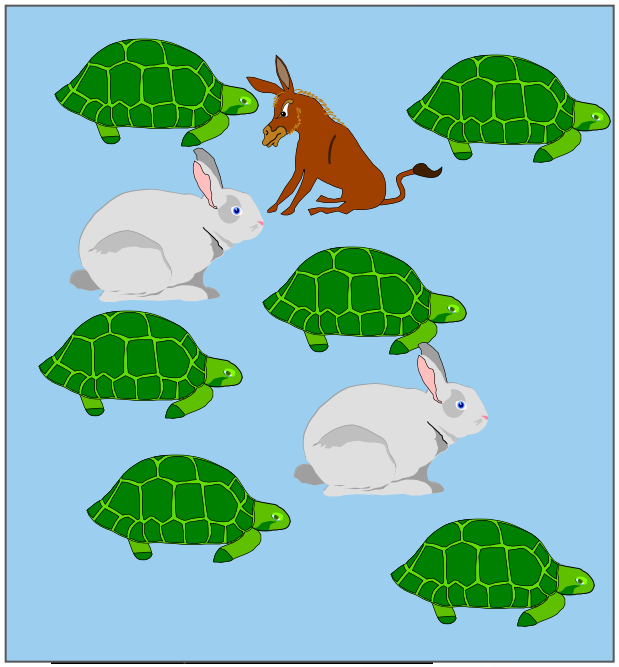
DU09
– viz IS.MUNI.CZ

Příklad výpočtu H pro lokalitu A

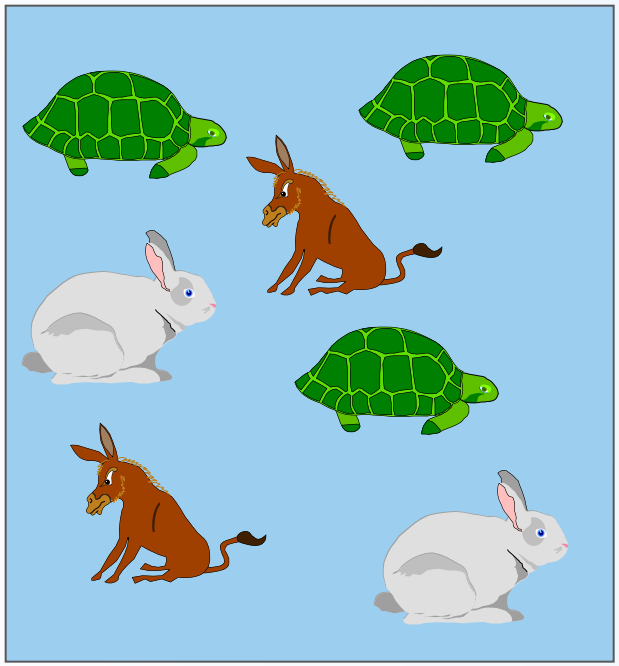
H' = - (6/9 . ln (6/9) želvy
+ 1/9 . ln (1/9) oslové
+ 2/9 . ln (2/9) králíci) = ……

E = …. ?

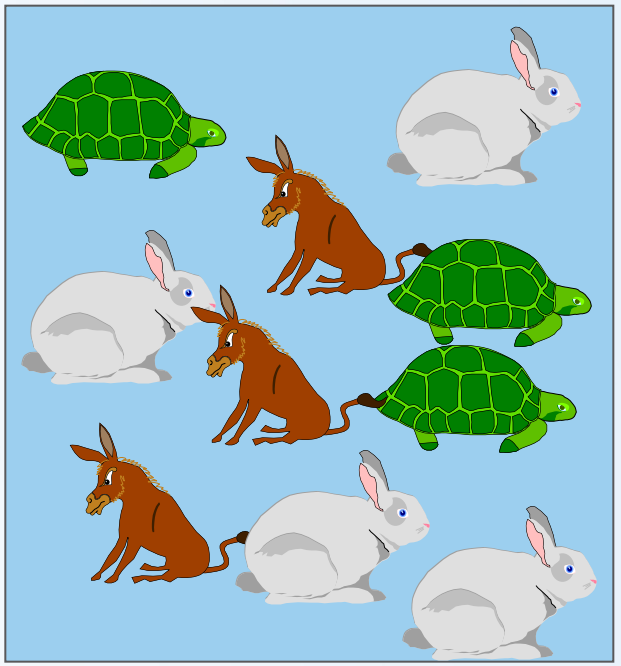
A



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)] x 100%
    - Srovnává podobnost dvou společenstev
    - Čím vyšší J-index – tím jsou si srovnávaná společenstva podobnější
  - Sorenson's = 2c / (A+B+2c) x 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:

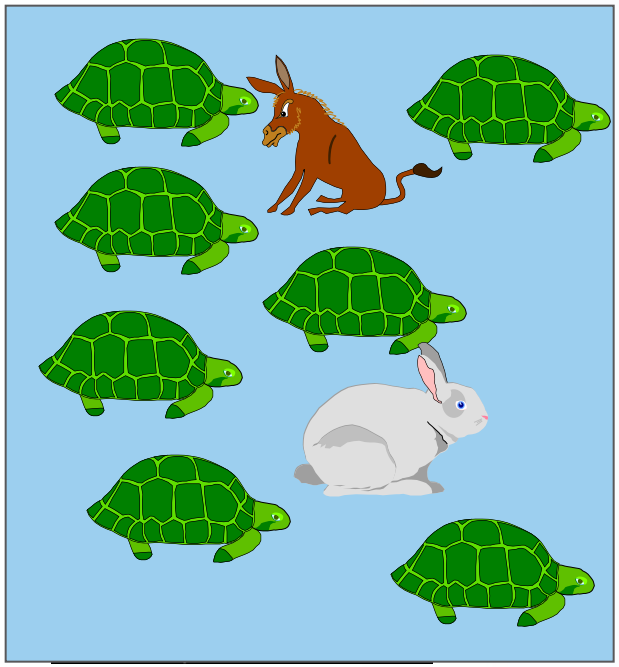
? Které dvě lokality jsou si nejpodobnější

DU09
– viz IS.MUNI.CZ

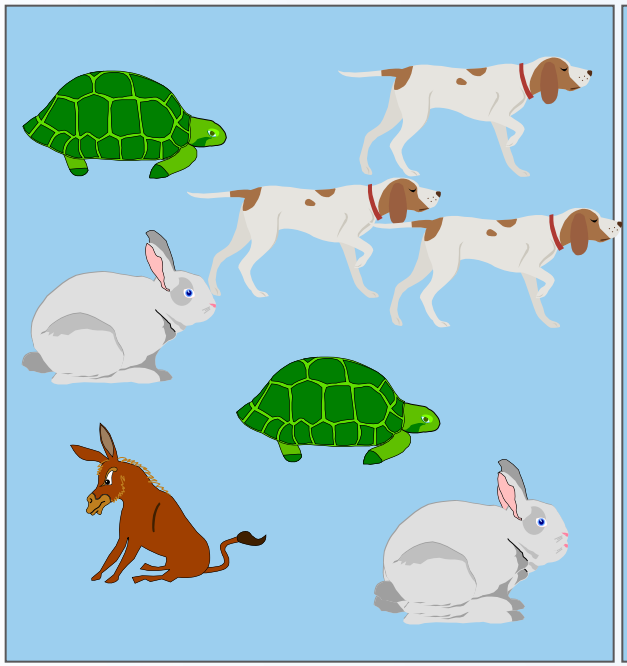
Jaccardův index podobnosti ?

J (lokalita A vs B) = [3 / (3 + 4 - 3)] x 100 = ….. %
J (A vs C) = …..
J (B vs C) = …..

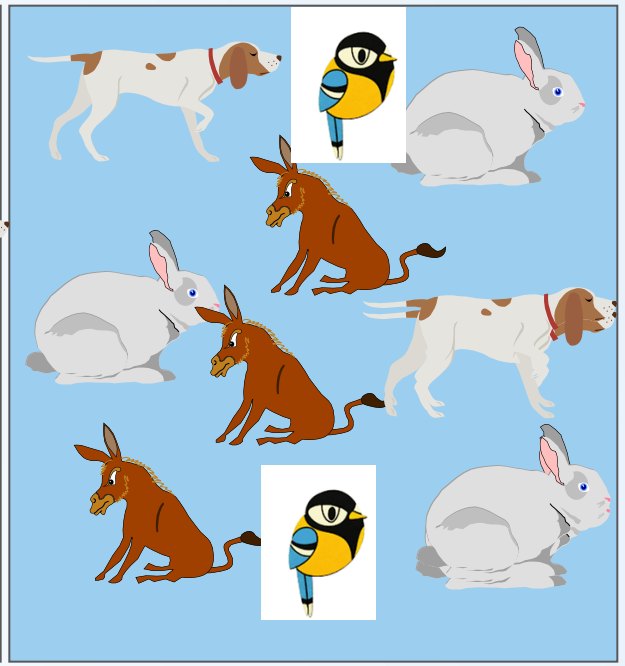
A



B



C



nature communications

https://www.nature.com/articles/s41467-020-20192-2

Article | Open Access | Published: 10 December 2020

Consistent effects of pesticides on community structure and ecosystem function in freshwater systems

Samantha L. Rumschlag ✉, Michael B. Mahon, Jason T. Hoverman, Thomas R. Raffel, Hunter J. Carrick, Peter J. Hudson & Jason R. Rohr

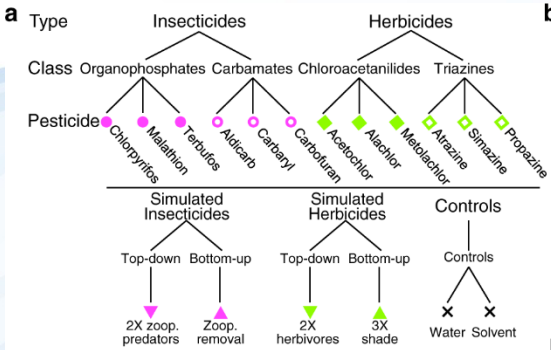
Nature Communications **11**, Article number: 6333 (2020) | Cite this article

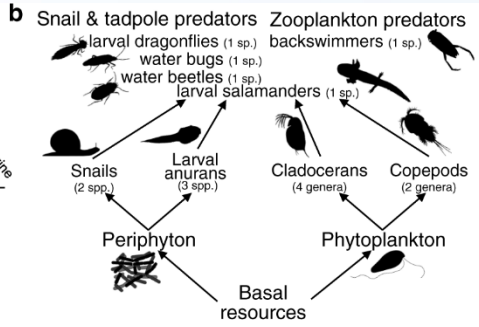
2034 Accesses | **1** Citations | **19** Altmetric | Metrics

Abstract

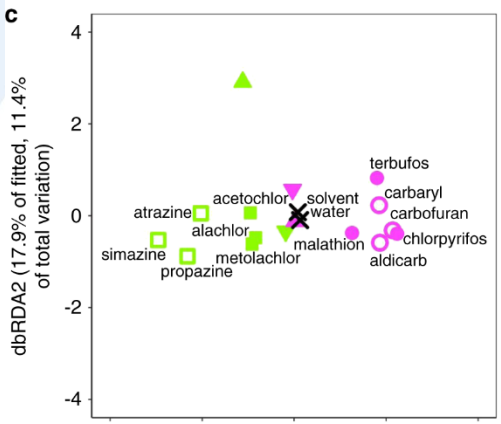
Predicting ecological effects of contaminants remains challenging because of the sheer number of chemicals and their ambiguous role in biodiversity-ecosystem function relationships. We evaluate **responses of experimental pond ecosystems** to standardized concentrations of **12 pesticides**, nested in **four pesticide classes and two pesticide types**. We show consistent effects of herbicides and insecticides on ecosystem function, and slightly less consistent effects on community composition. Effects of pesticides on ecosystem function are mediated by alterations in the abundance and community composition of functional groups. Through **bottom-up effects, herbicides reduce respiration and primary productivity** by decreasing the abundance of phytoplankton. The **effects of insecticides on respiration and primary productivity of phytoplankton are driven by top-down effects on zooplankton composition and abundance**, but not richness. By demonstrating consistent effects of pesticides on communities and ecosystem functions and linking pesticide-induced changes in functional groups of organisms to ecosystem functions, the study suggests that ecological risk assessment of registered chemicals could be simplified to synthetic chemical

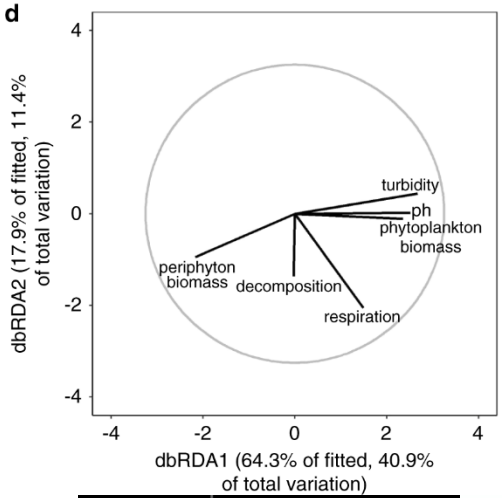
Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

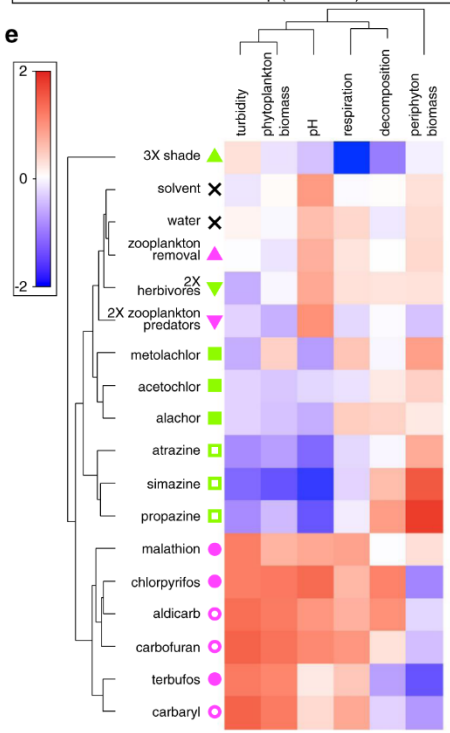


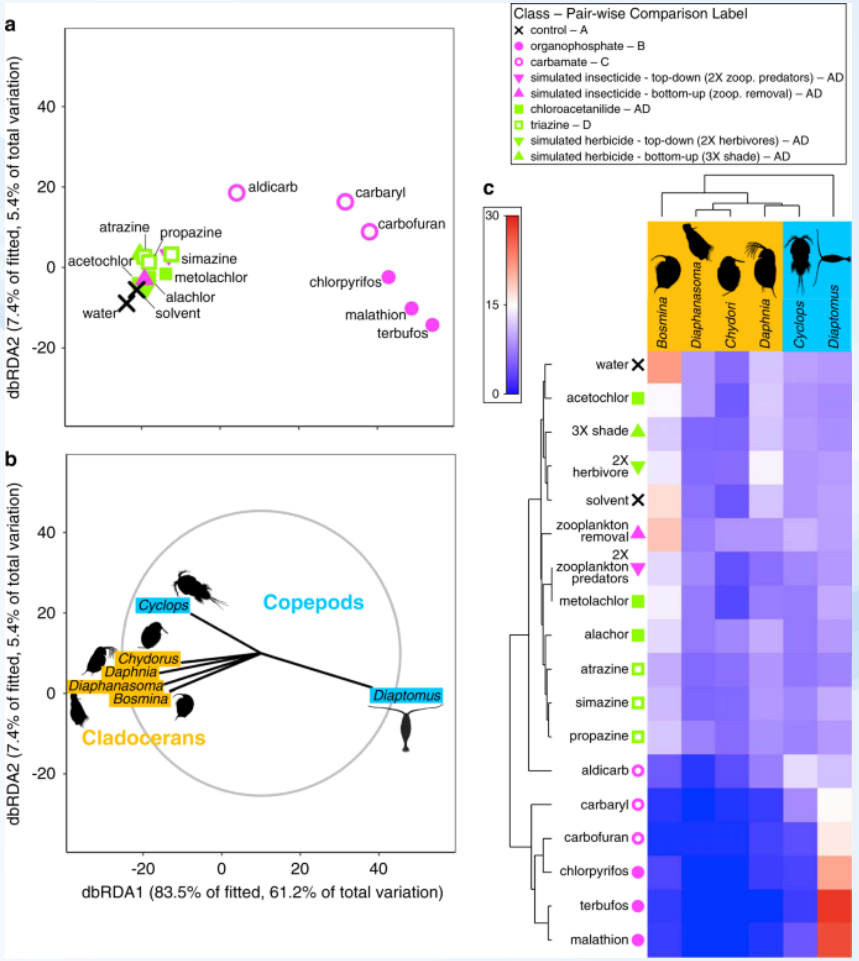


Class – Pair-wise Comparison Label
- control – A
- organophosphate – B
- carbamate – B
- simulated insecticide - top-down (2X zoop. predators) – AC
- simulated insecticide - bottom-up (zoop. removal) – AD
- chloroacetanilide – D
- triazine – E
- simulated herbicide - top-down (2X herbivores) – AD
- simulated herbicide - bottom-up (3X shade) – C









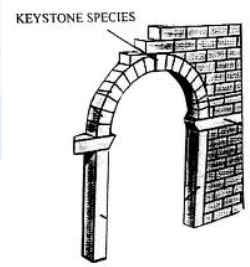
Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

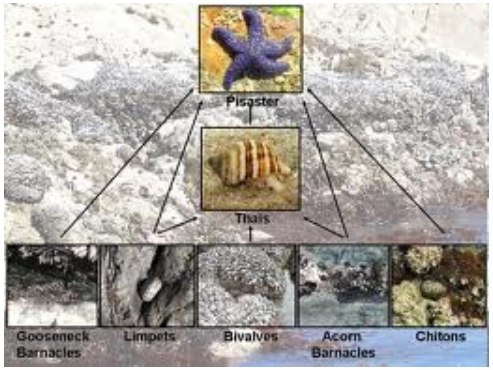
KLÍČOVÉ DRUHY (Key / Keystone species)

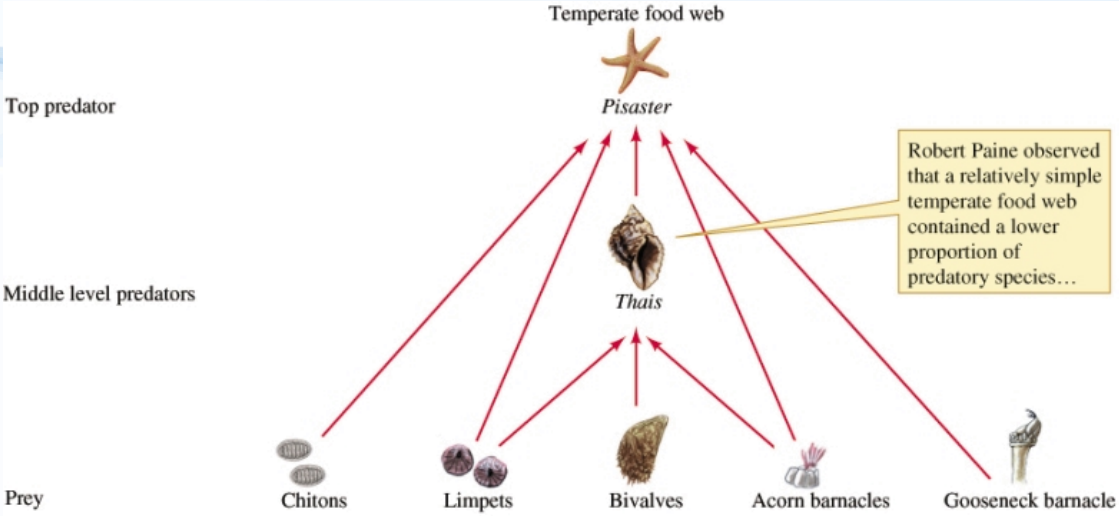
- efekty na těchto druzích
  → dramatické změny celé biocenózy
- **Klíčové druhy**
  - zpravidla „predátoři“ (kontrola spodních pater)

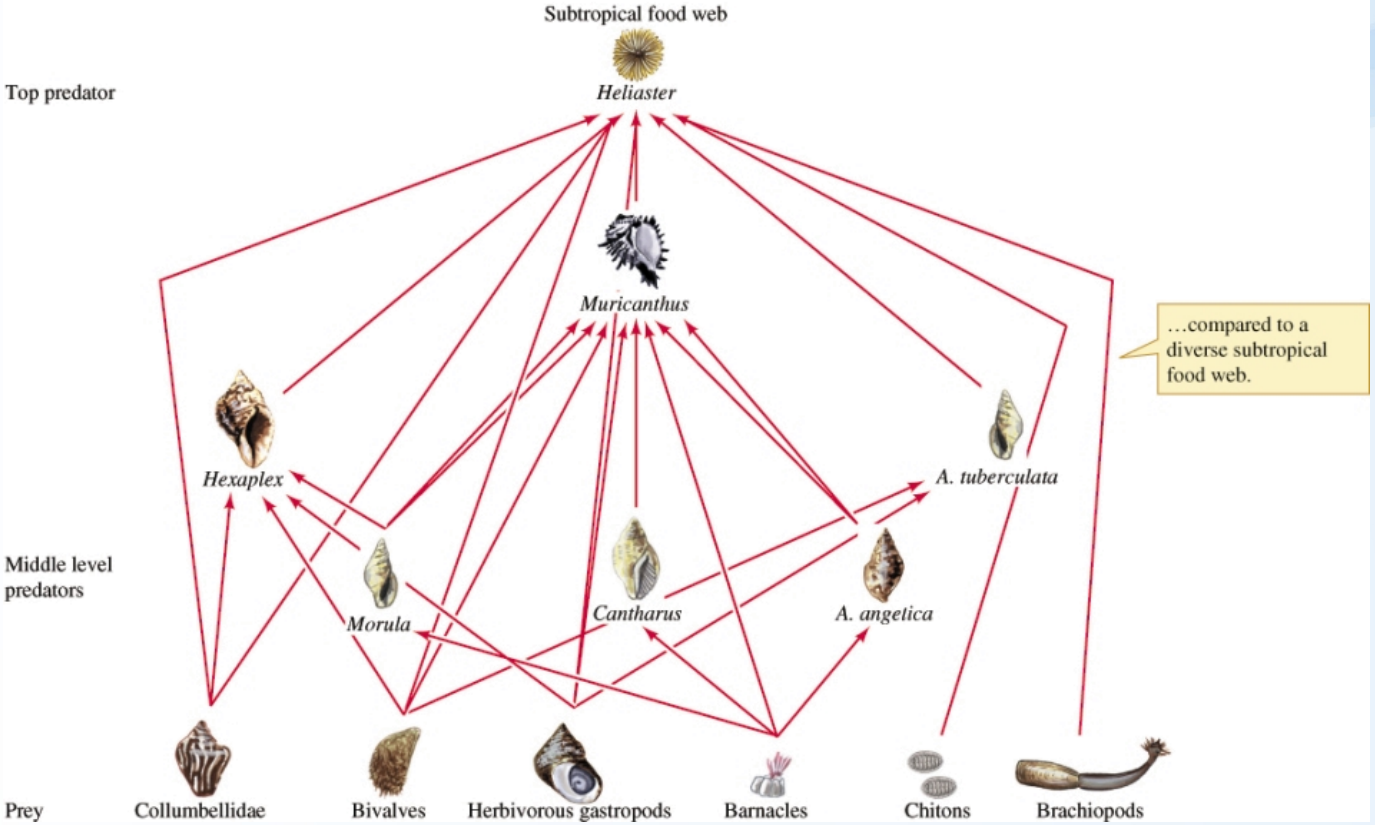
- *Př. **Mořské hvězdice** na skalách a kamenech*
  → pohyb a spásání biomasy / predátor
  - *Likvidace hvězdic*
    → přerůstání makrořas
    → přemnožení mlžů (slávky)

- *Př. **Sladkovodní ryby** ovlivňují fertilitu rostlin v terestrickém ekosystému*



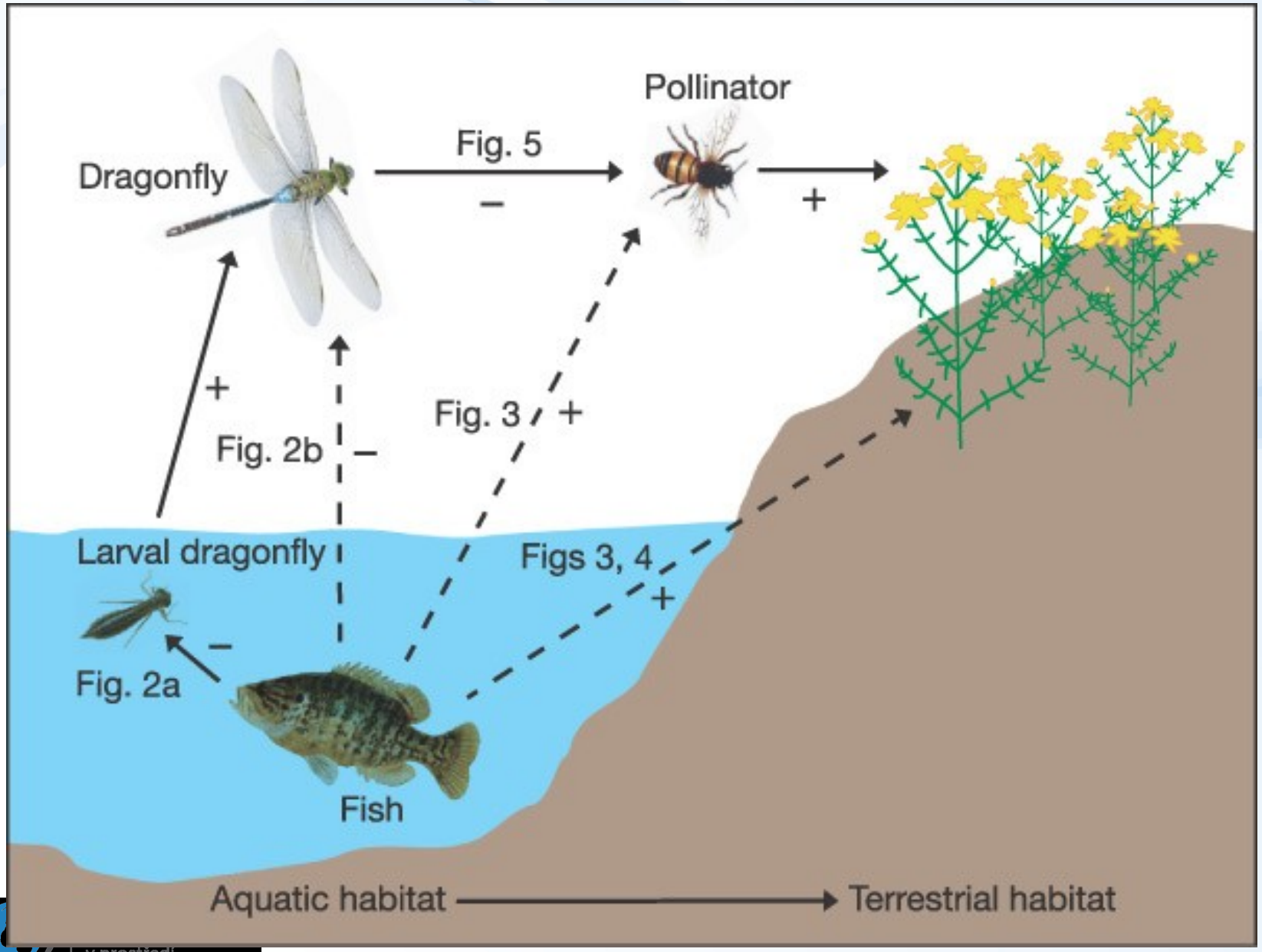






Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

Knight et al., NATURE (2005) 437: 880



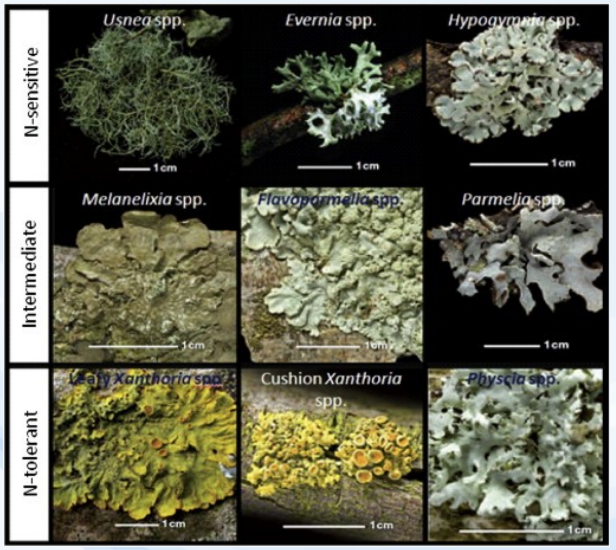
- **INDIKÁTOROVÉ DRUHY**
  - Druhy, jejichž (ne)přítomnost indikuje určitou vlastnost ekosystému
    - citlivé druhy (např. *pošvatky, horské ploštěnky, lišejníky*)
    - oportunní druhy (např. *pakomáři, pijavky ...)*

- **Různé organismy indikují různé typy stresu**
  - Př. kontaminace živinami (dusičnany apod.)
    - *Makrozoobentos – saprobita / řasy, rozsivky – trofie* *(viz dále)*

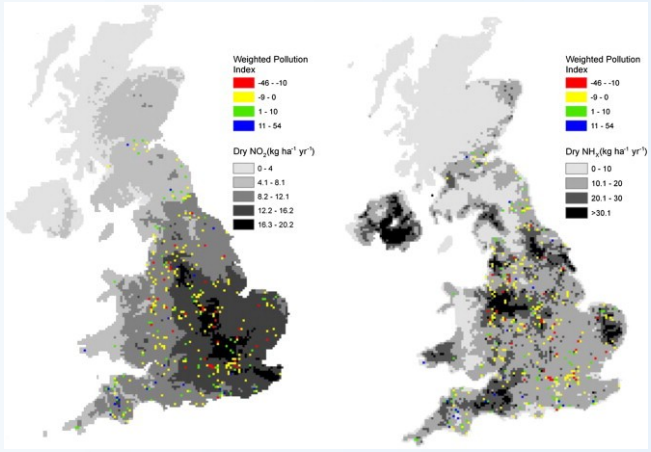
  - Kontaminace toxickými látkami
    - *Lišejníky – čistota vzduchu*

INDICATOR SPECIES (bioindicators)

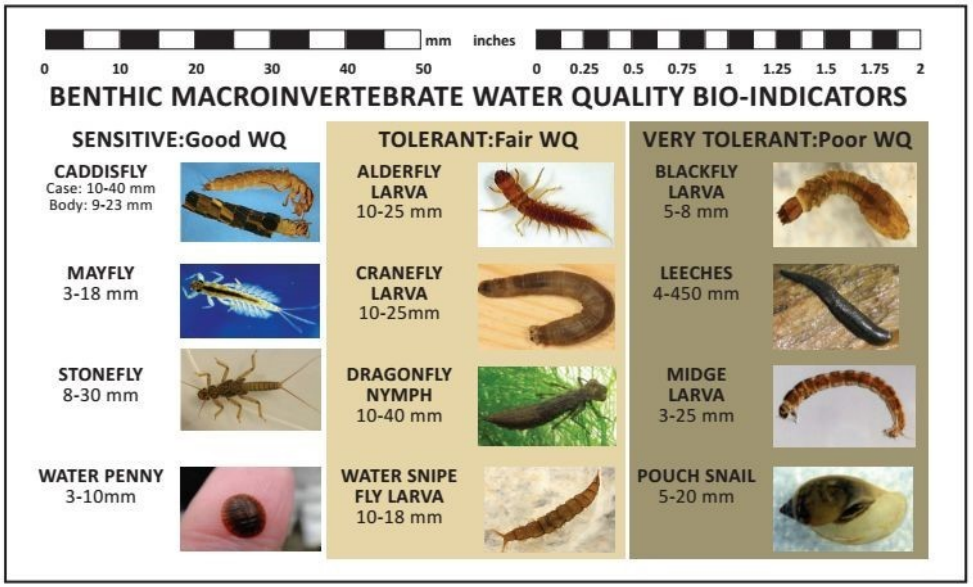
- Species for which (not)presence indicate certain parameter of the environment
  - Sensitive or tolerant species
  - Ocurrence **in community → INDICES**



LICHENS – air quality
Dry deposition of nitrogenous pollutants across the UK overlaid with dots showing the value of the lichen-based Weighted Pollution Index



https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.045



Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

Působení toxických látek → změny ekologických vztahů

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

- působení insekticidů ve vodním prostředí

→ eradikace populací hmyzu (komáři)

→ likvidace zdroje potravy pro dravé ryby

→ hmyz - rychlé rozmnožování - návrat

→ ryby - pomalé množení = 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 úrody na polích

Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

Účinky toxických látek v ekosystémech

Ekosystém:

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

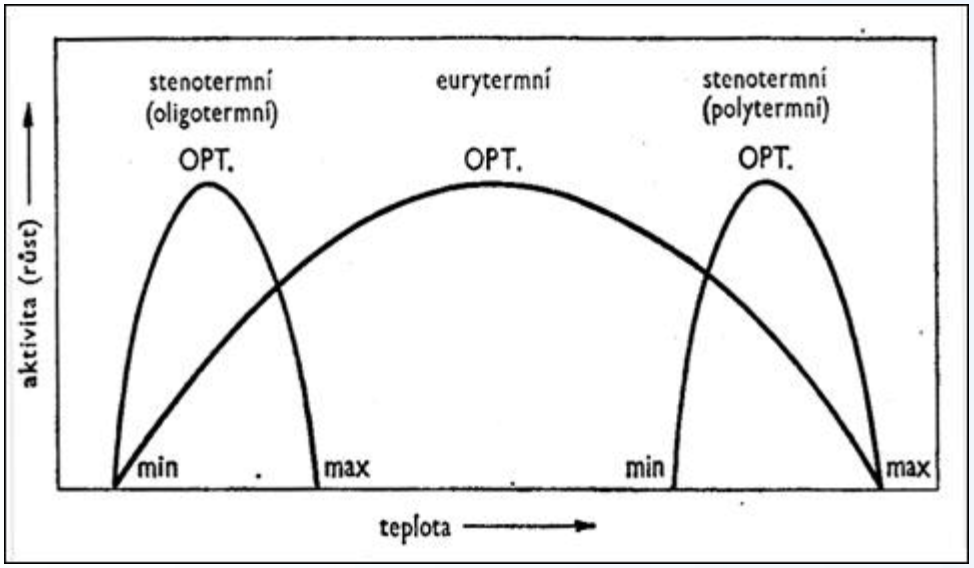
- Biota vs. prostředí – vztahy / zákonitosti
  - Klíčová zákonitost v ekosystémech z pohledu studia ekotoxikologie: „**Zákonitost určujících abiotických faktorů (ekologická valence)**“

Klíčové zákonitosti v ekosystémech

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

Ekologická valence

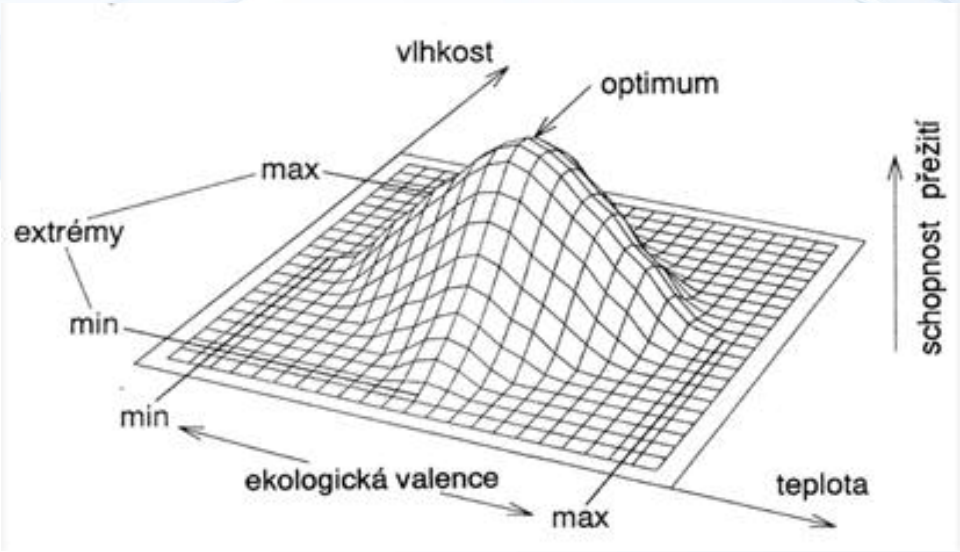
rozsah hodnot faktoru, za kterých je schopen druh (populace) existovat
určující faktory – např. teplota, vlhkost, pH … koncentrace toxické látky1, 2…n

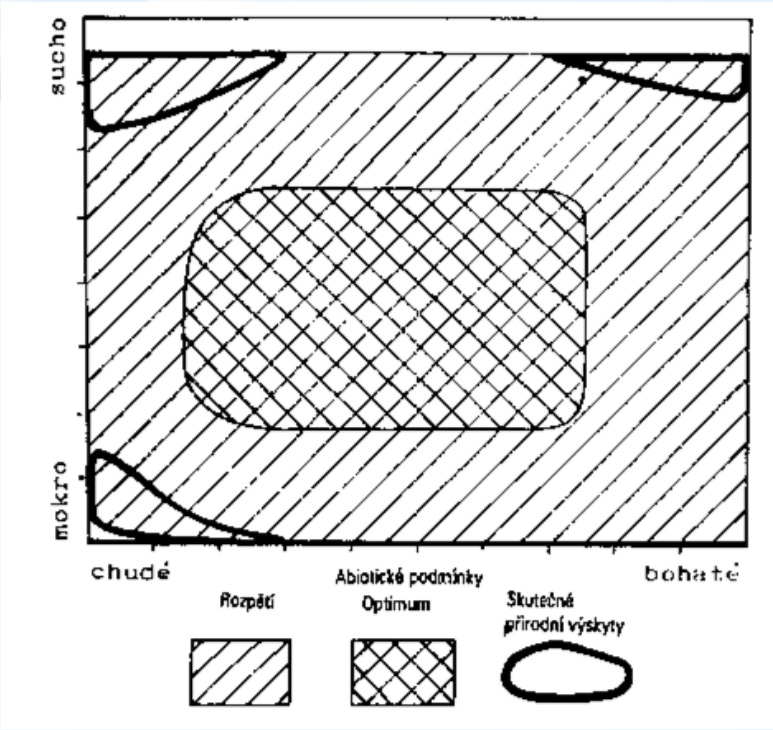


Centrum pro výzkum
toxických látek
v prostředí

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 ...)

Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

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 ?*

Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

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

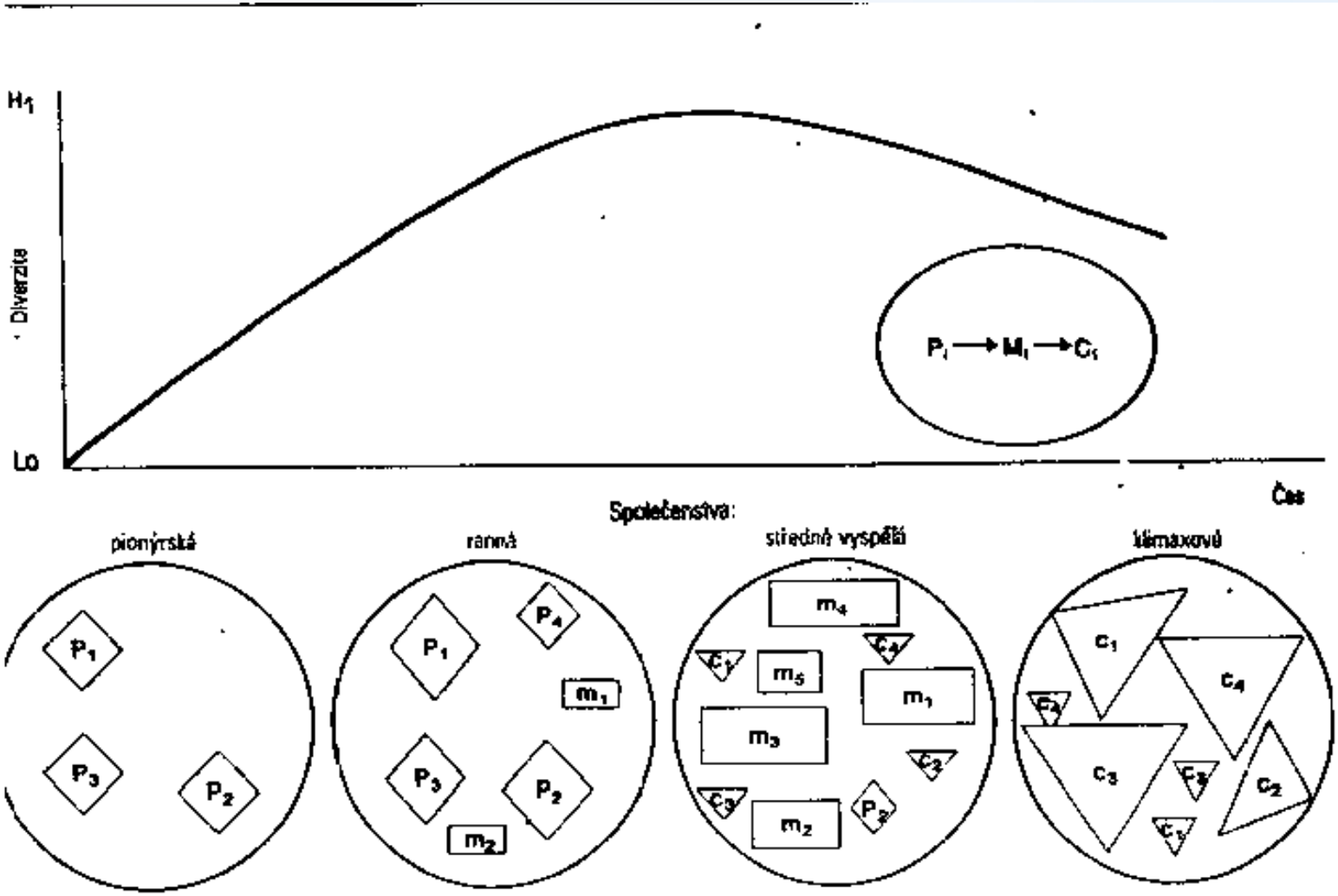
SUKCESE EKOSYSTÉMU

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

- změna prostředí ekotopu rozhoduje zda, kdy a jak rychle sukcese probíhá, ALE samotný průběh je ovládán biocenozou

- sukcese konční 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)

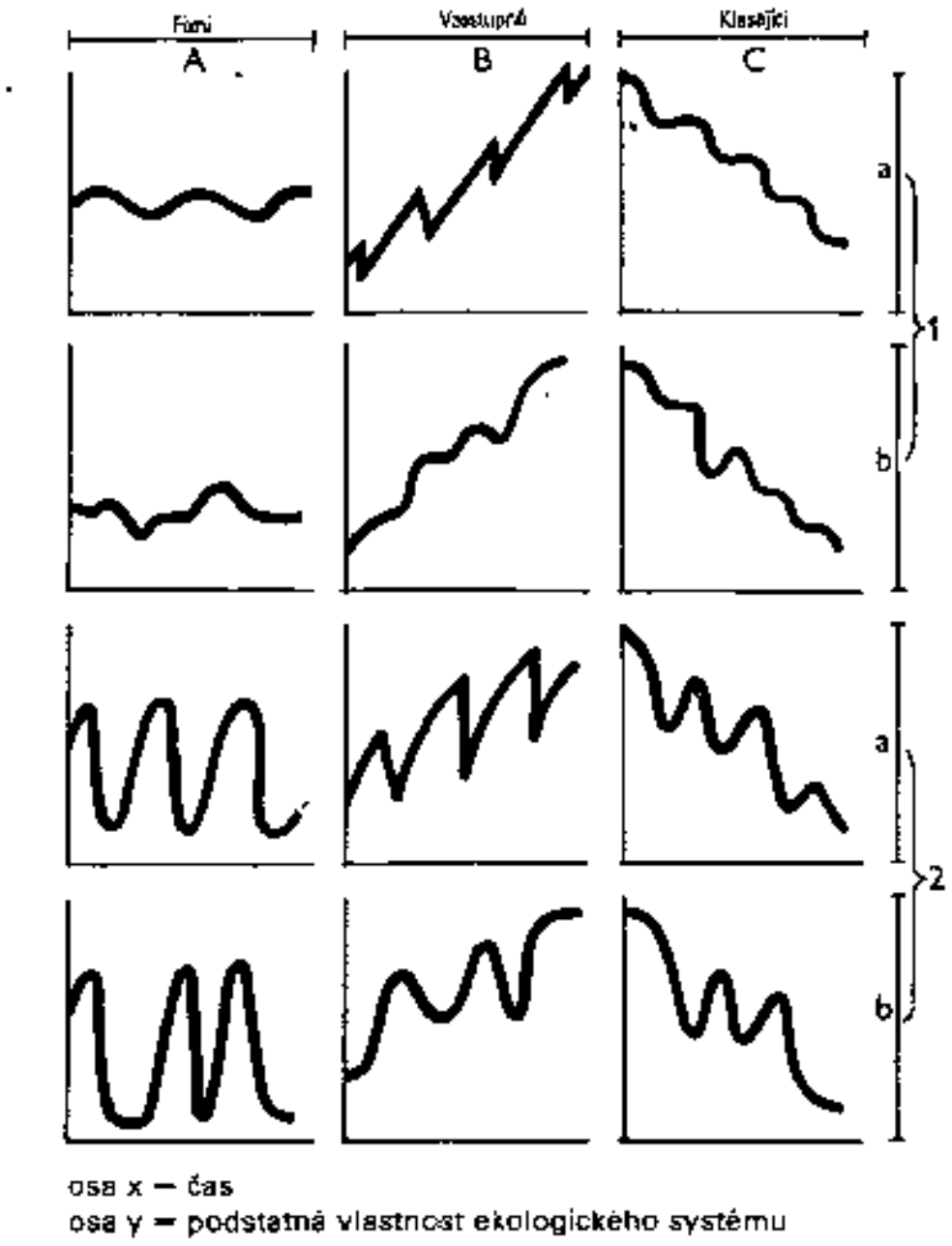


Obr. 31 Hypotetický průběh sukcese (Begon, Harper et Townsend 1987): Začíná několika pionýrskými druhy „p" a malou diverzitou společenstva. Ta kulminuje ve středních fázích sukcese, kdy se vyskytují společně druhy pionýrské „p", střední sukcesní fáze „m" i klimaxové druhy „c". Pak diverzita opět klesá, jak klimaxové 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



Praktické hodnocení účinků na úrovni společenstev

VÍCEDRUHOVÉ EXPERIMENTY
MIKROKOSMY
MEZOKOSMY

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)

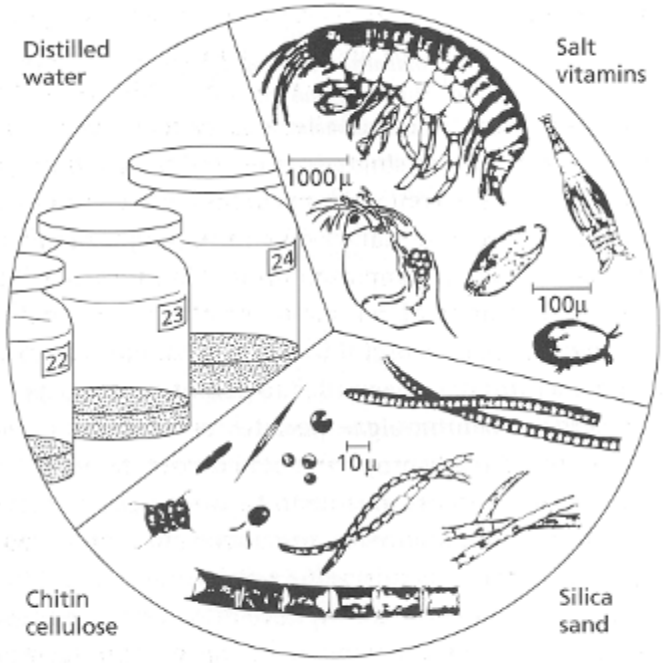


Fig. 5.2 Components of a standardized aquatic microcosm.

Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

Simulované potoky (experimental stream)

U of Michigan

Příklad – akvatické mikrokosmy

Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

Možnosti studia účinků látek v ekosystémech

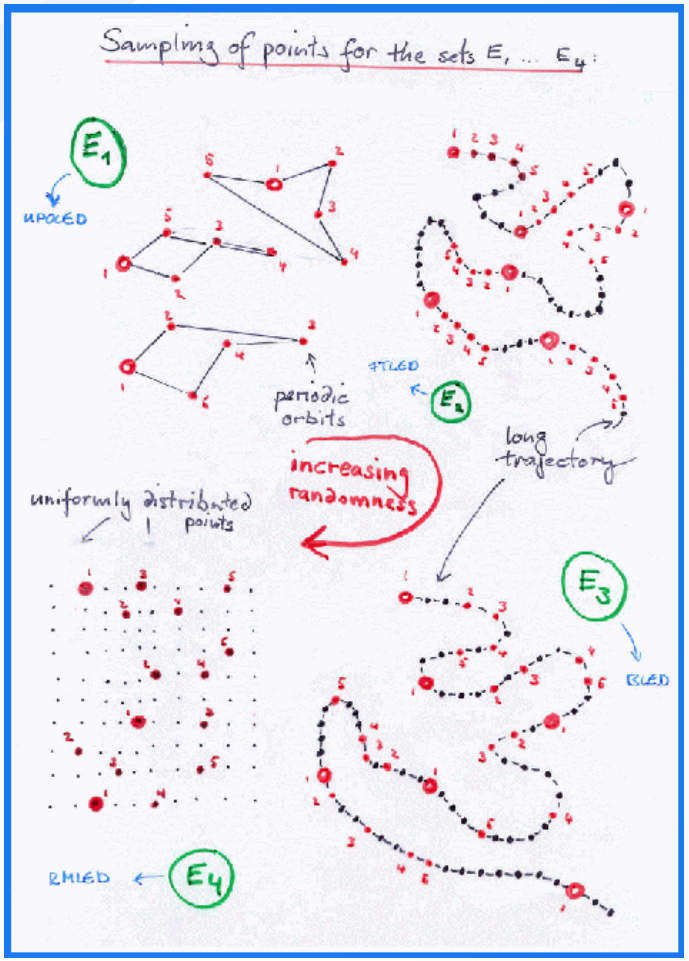
* Retrospektivní *in situ* pozorování
* Modelování

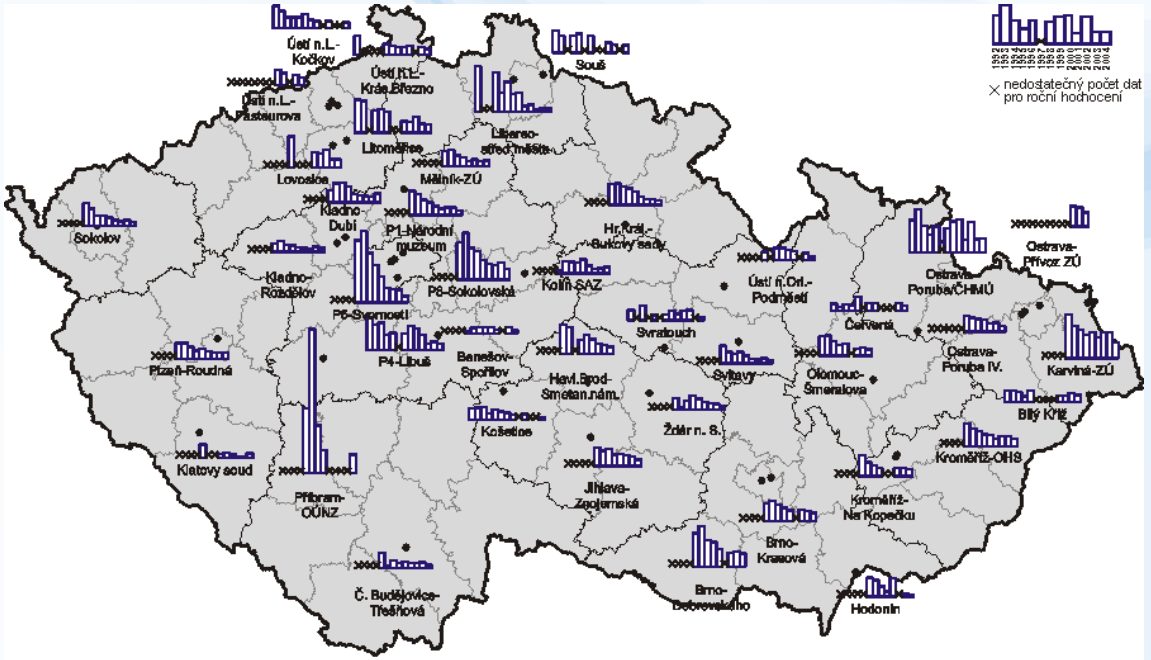
Příklad 1:
Terestrické prostředí:
vliv skládky

Příklad 2:
Vodní prostředí → řeka

Polní studie, biomonitoring

Př: vzorkování – návrh rozložení vzorkovacích míst





Roční průměrné koncentrace olova v ovzduší v letech 1992-2004 na vybraných stanicích

Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

Polní studie, biomonitoring

Př. vzorkování – odběry abiotických vzorků

Voda

Sediment

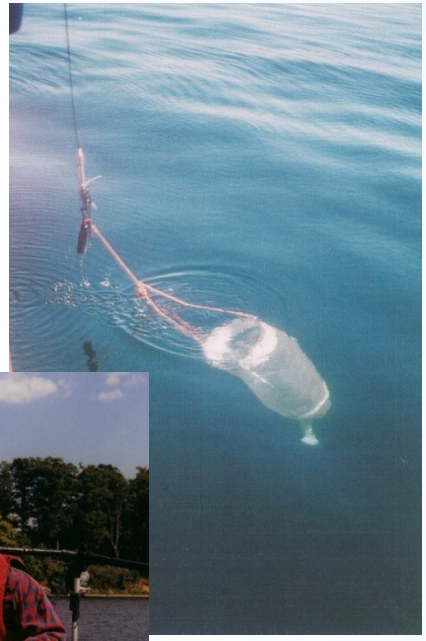
Eckmanův drapák

Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

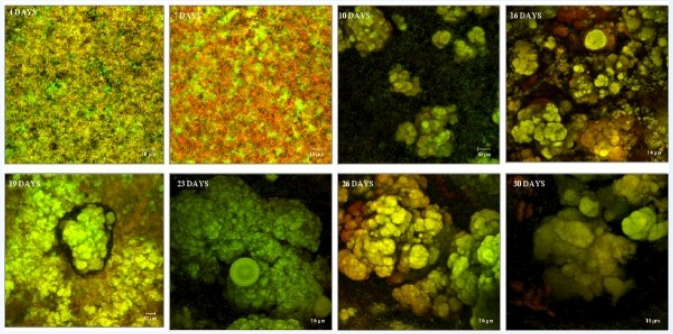
Polní studie, biomonitoring

AKVATICKÉ PROSTŘEDÍ
– odběry biotických vzorků -

Planktonní síťky



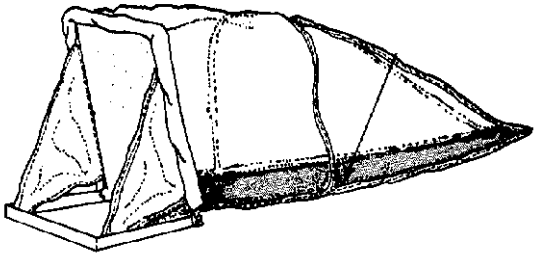
Periphyton – nárosty, biofilmy



Polní studie, biomonitoring

AKVATICKÉ PROSTŘEDÍ
– odběry biotických vzorků -

Bentičtí bezobratlí



Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí

Ryby

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)