



Centrum pro výzkum  
toxických látek  
v prostředí

# Ekotoxikologie - úvod A -

Luděk Bláha, PŘF MU, RECETOX  
[www.recetox.cz](http://www.recetox.cz)

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

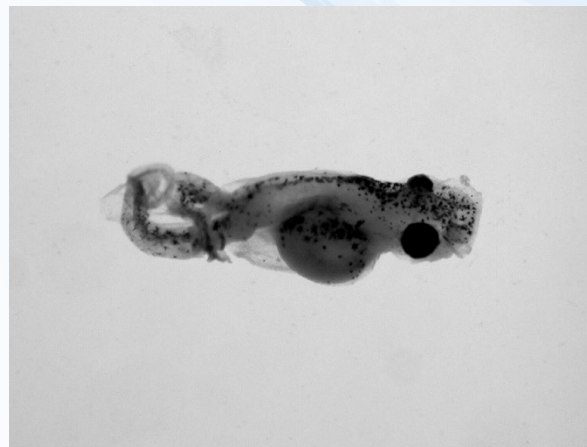
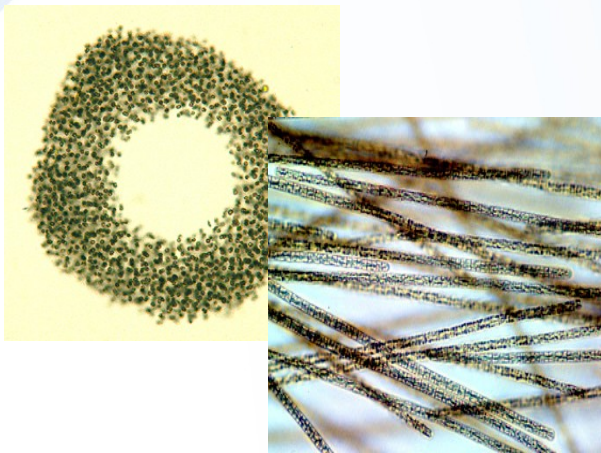


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Chemické znečištění životního prostředí a ekosystémů



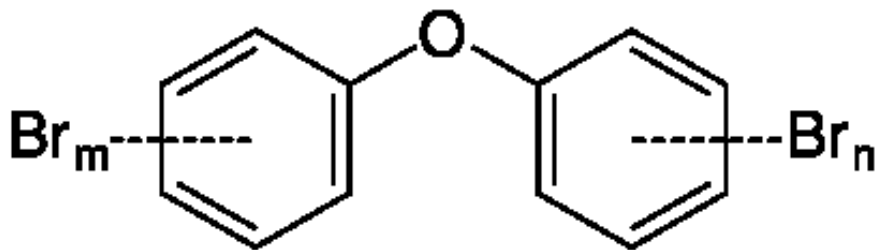
# Současnost: nebezpečné chemické látky ... „toxicita není smrt“



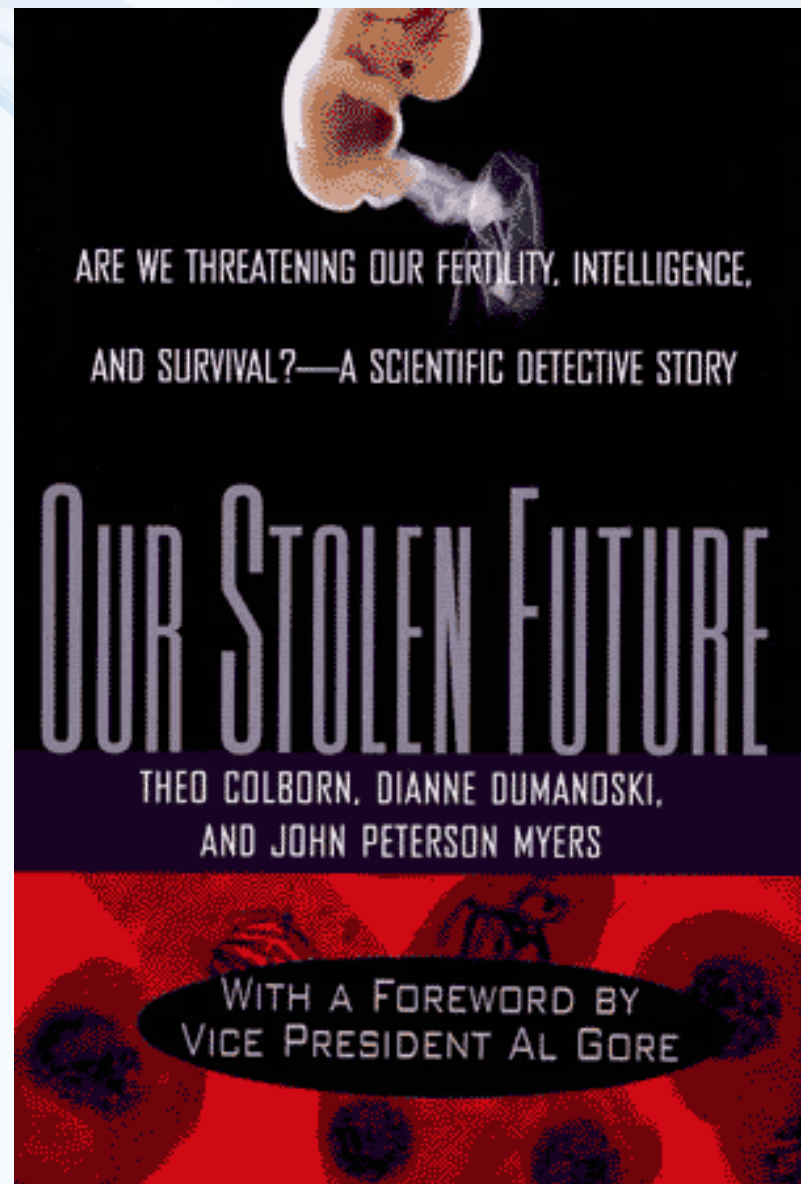
# Hlavní motivace výzkumu toxických látek?

## ! ČLOVĚK !

o *Rats exposed in the womb to a single low dose of a widespread brominated flame retardant become hyperactive and have decreased sperm counts...*



Centrum pro výzkum  
toxických látek  
v prostředí



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

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.



#### World news

## Man-made chemicals blamed as many more girls than boys are born in Arctic

- High levels can change sex of child during pregnancy
- Survey of Greenland and east Russia puts ratio at 2:1

Paul Brown in Nuuk, Greenland

Wednesday 12 September 2007  
03.00 BST



This article is 8 years old

Shares

79

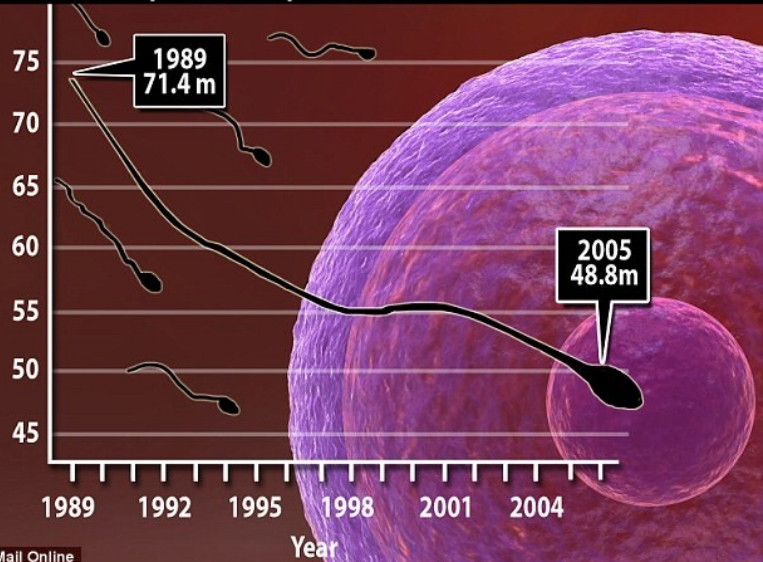
Save for later



An Inuit child in a traditional parka. Photograph: Joel Sartore/Getty/National Geographic

# Sperm concentration

In millions of spermatazoa per millilitre



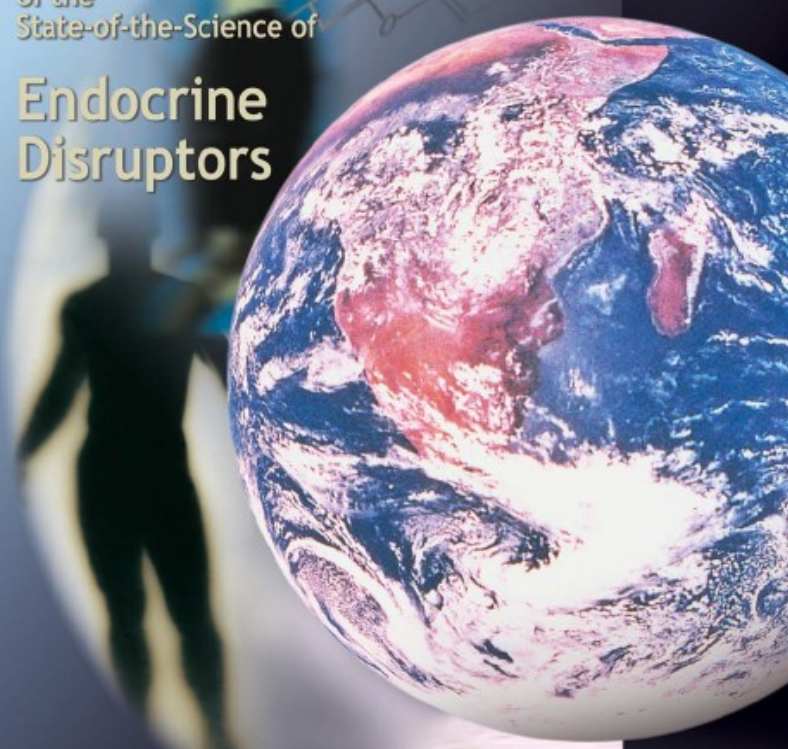
© Mail Online

# Global Assessment

of the  
State-of-the-Science of

# Endocrine Disruptors

WHO/PCS/EDC/02.2



Edited by

Terri Damstra

Sue Barlow

Aake Bergman

Robert Kavlock

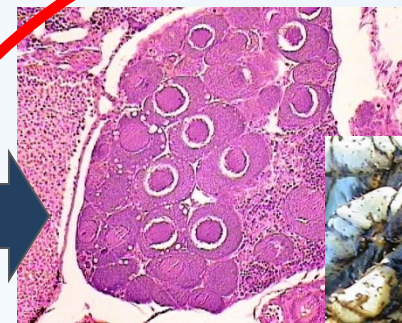
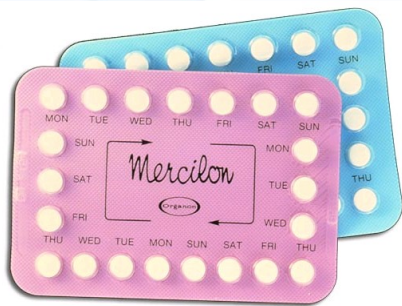
Glen Van Der Kraak

IPCS  
INTERNATIONAL PROGRAMME  
ON CHEMICAL SAFETY



Centrum pro výzkumu  
toxických látek  
v prostředí

# Lidské hormony: estrogeny v antikoncepčních přípravcích



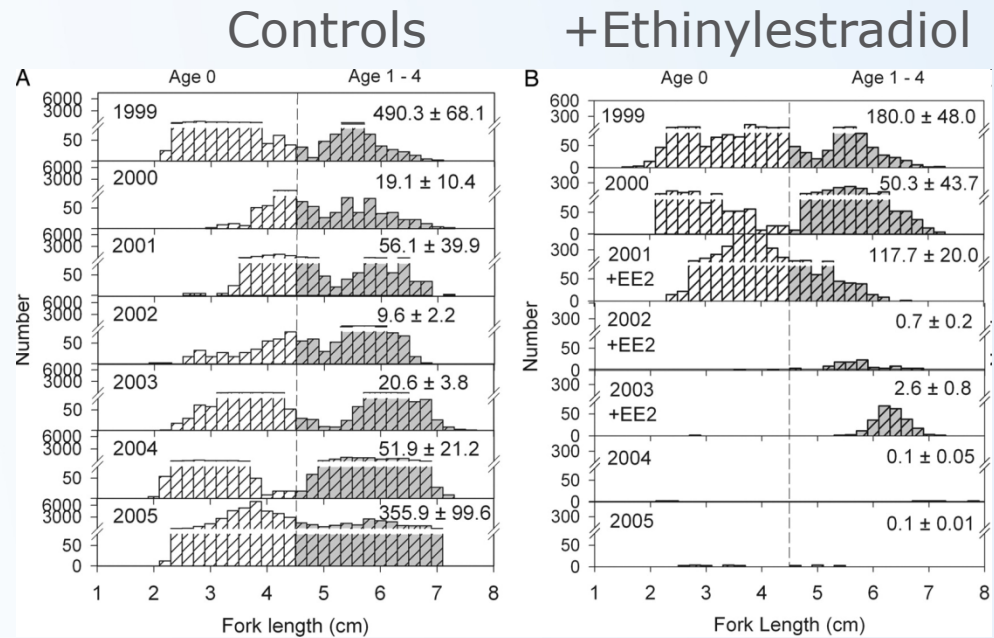
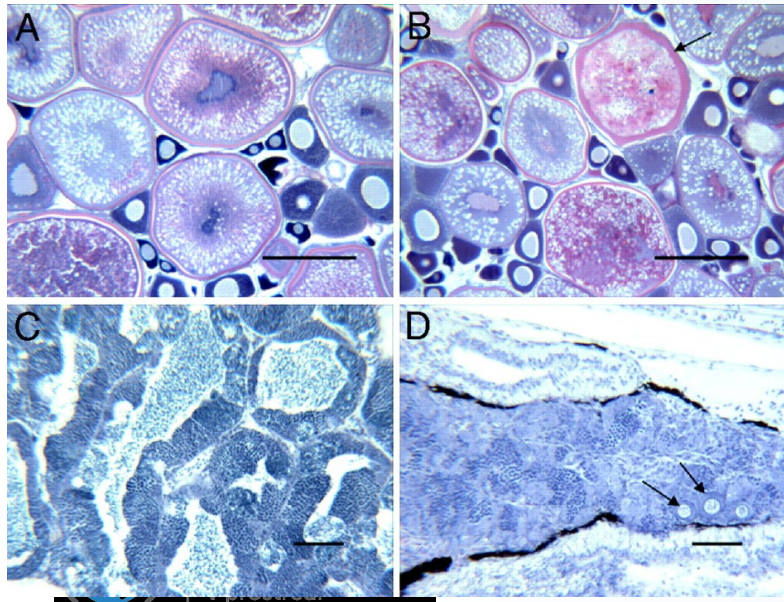
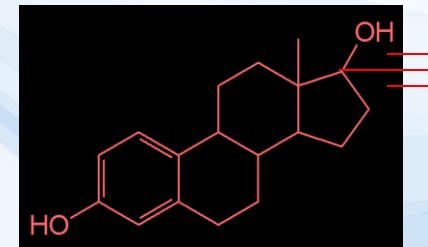


Kidd, K.A. et al. 2007. Collapse of a fish population following exposure to a synthetic estrogen.

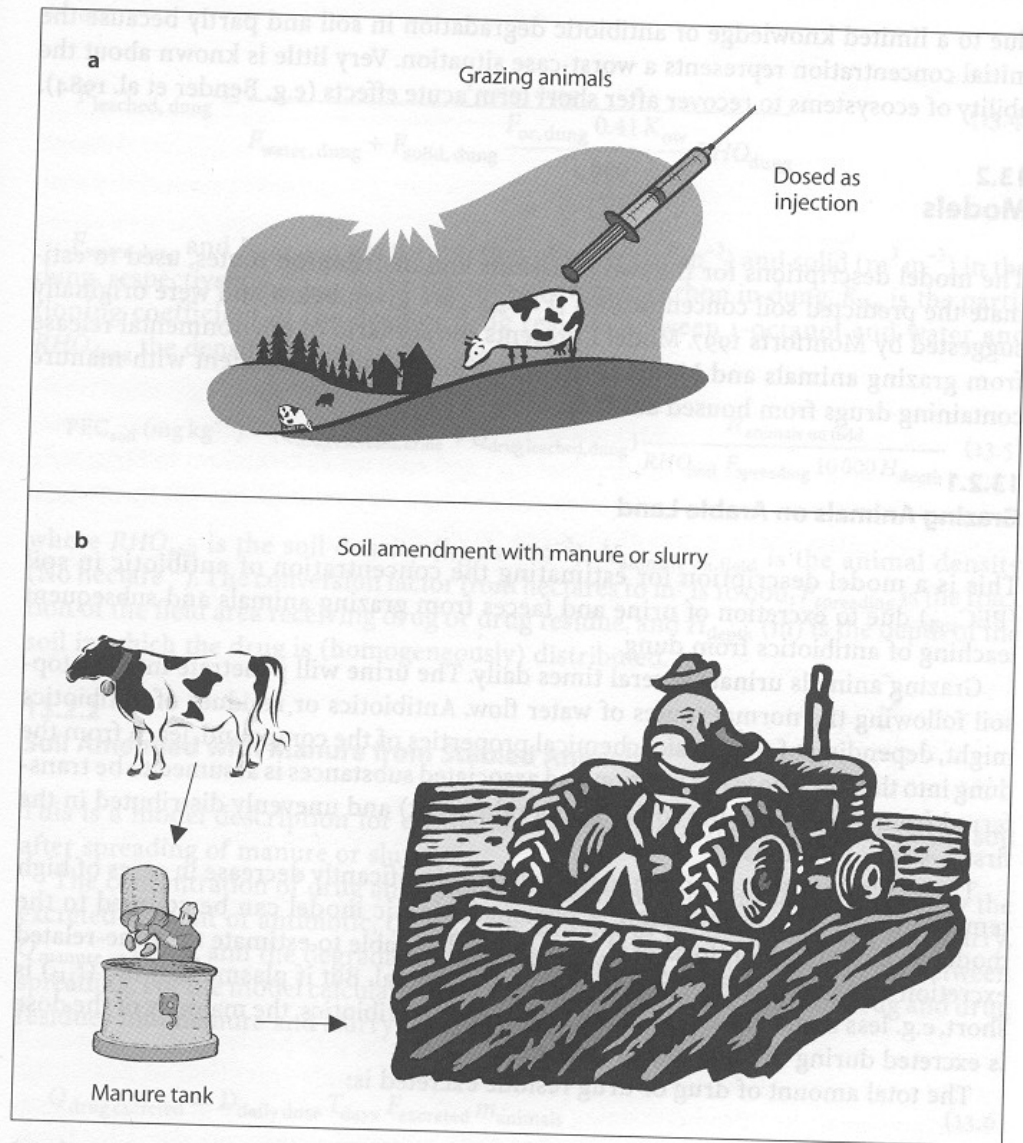
*Proceedings of the National Academy of Sciences* 104(21):8897-8901



5 ng/L (!)  
7 years



# Dopady léčiv a produktů osobní hygieny (PPCPs) na životní prostředí



**Fig. 13.1.** Exposure routes to the terrestrial environment; **a** grazing animals; **b** soil amendment with manure or slurry

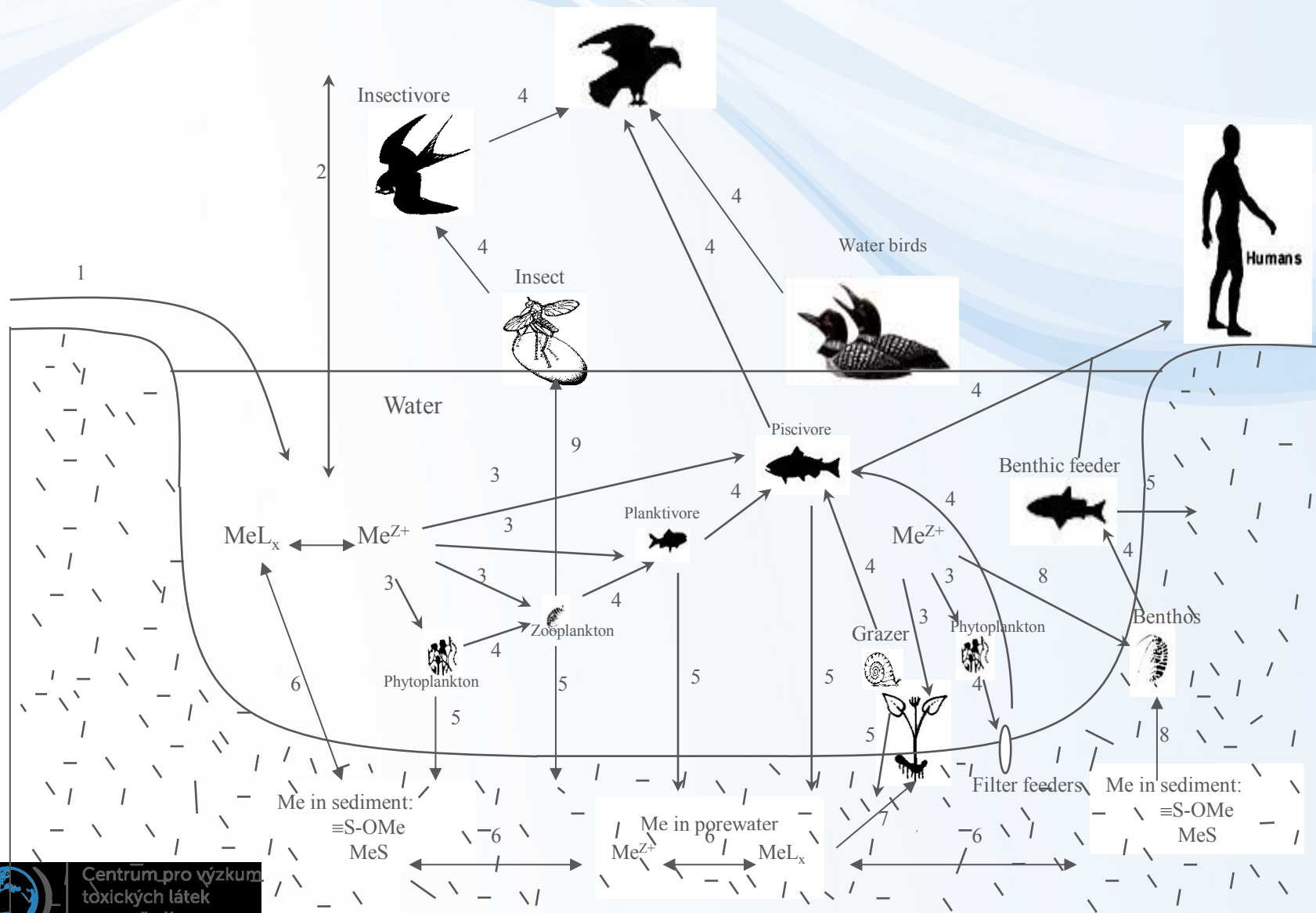


**Složitost (eko)systemu  
= složité problémy a komplikace ...**

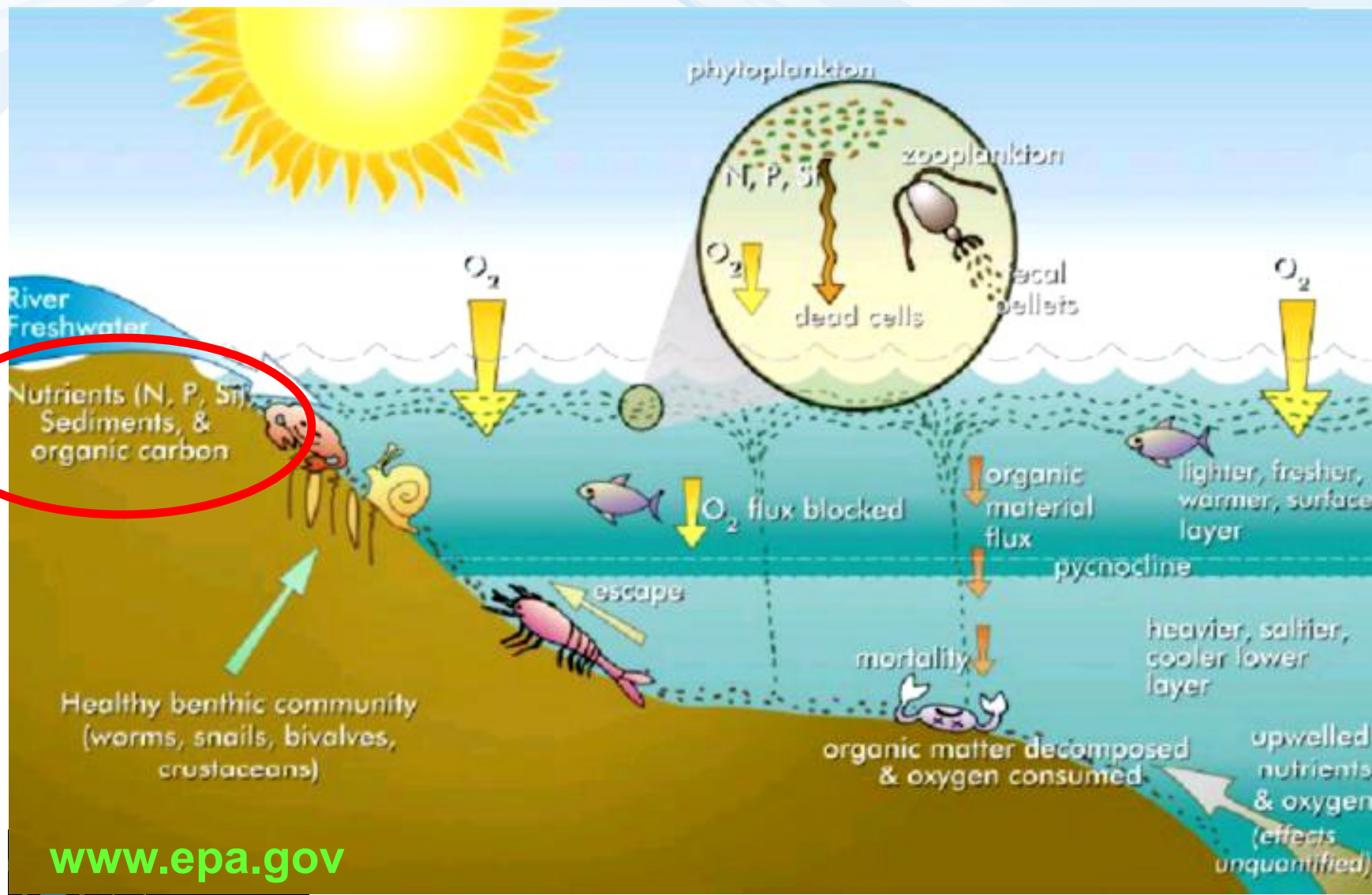


# Skutečnost ...

Air



# Nepřímé efekty „netoxického“ znečištění (živiny → toxické vodní květy)



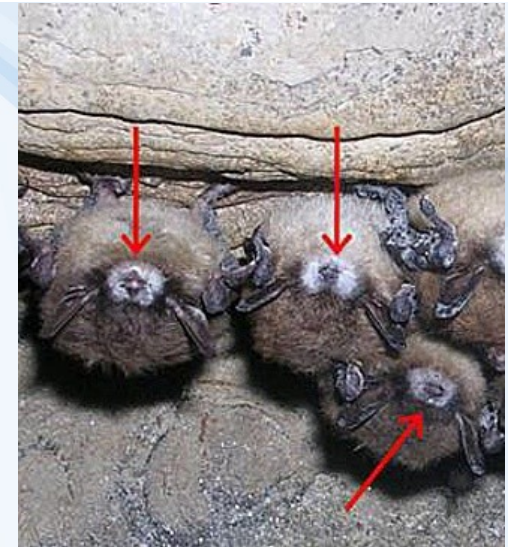
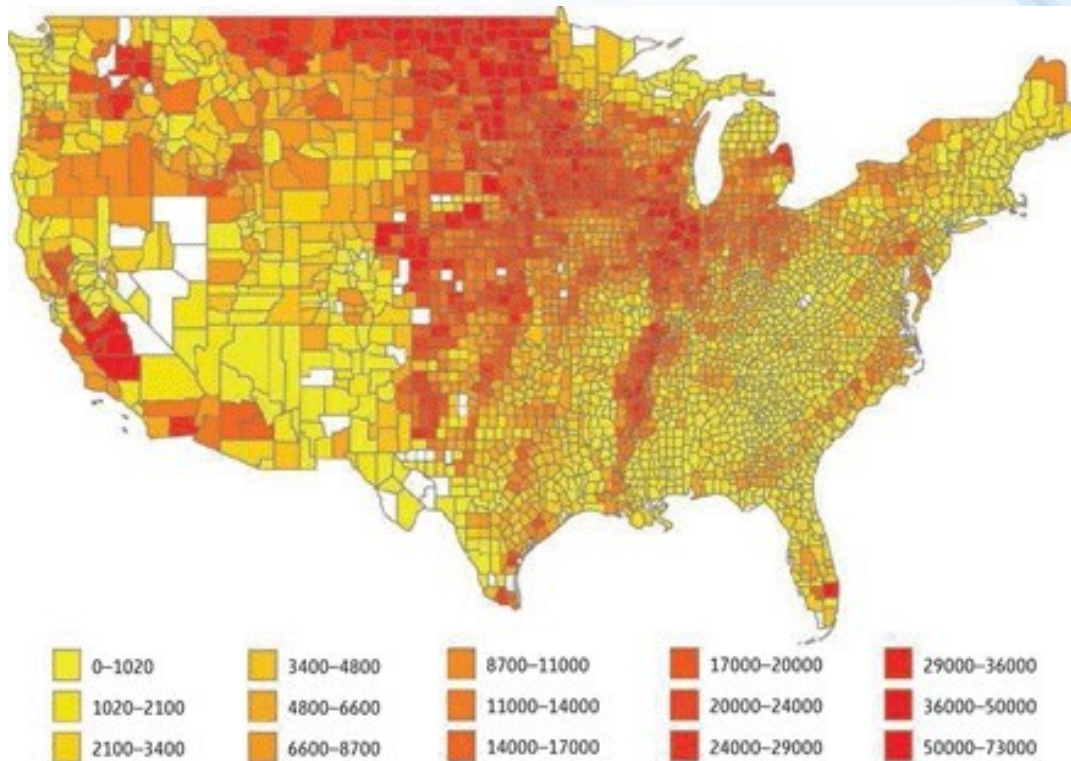


## CONSERVATION

# Economic Importance of Bats in Agriculture

Justin G. Boyles,<sup>1\*</sup> Paul M. Cryan,<sup>2</sup> Gary F. McCracken,<sup>3</sup> Thomas H. Kunz<sup>4</sup>

Insectivorous bat populations, adversely impacted by white-nose syndrome and wind turbines, may be worth billions of dollars to North American agriculture.



# Toxické látky - globální problém ?

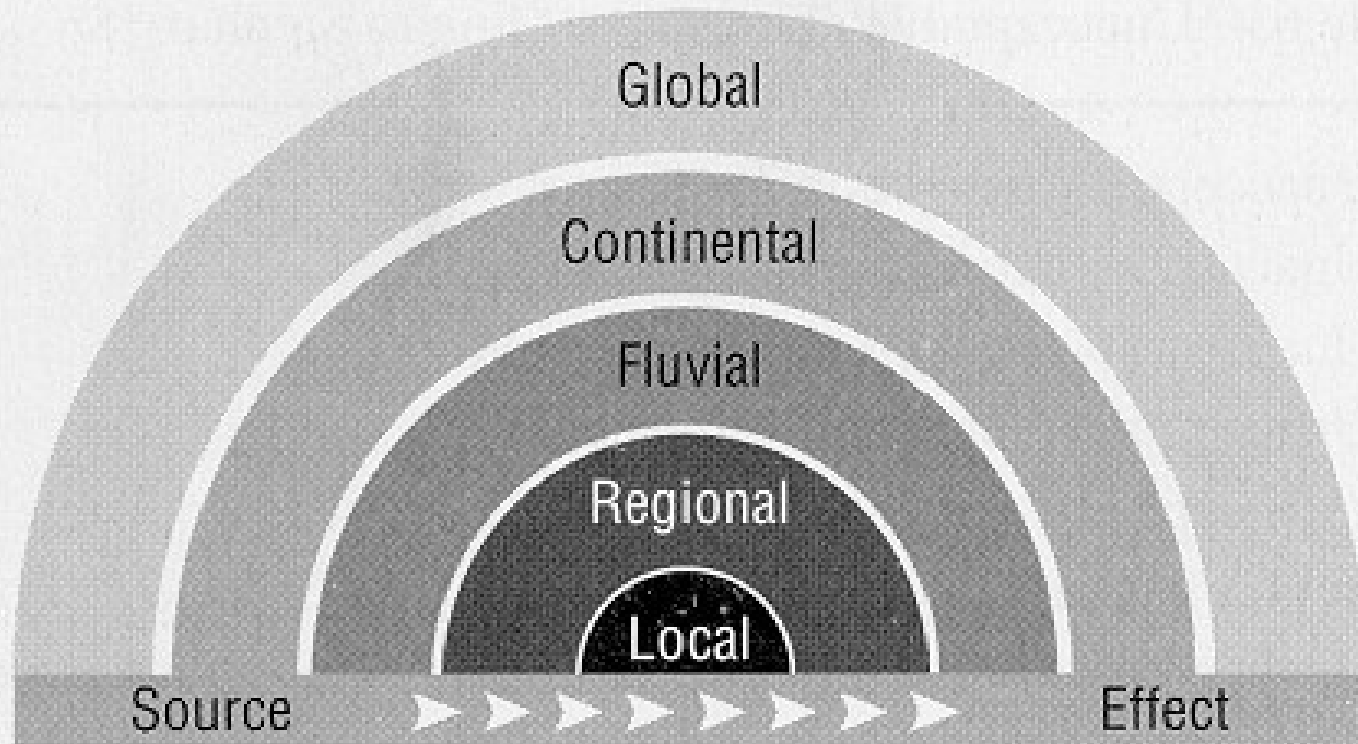


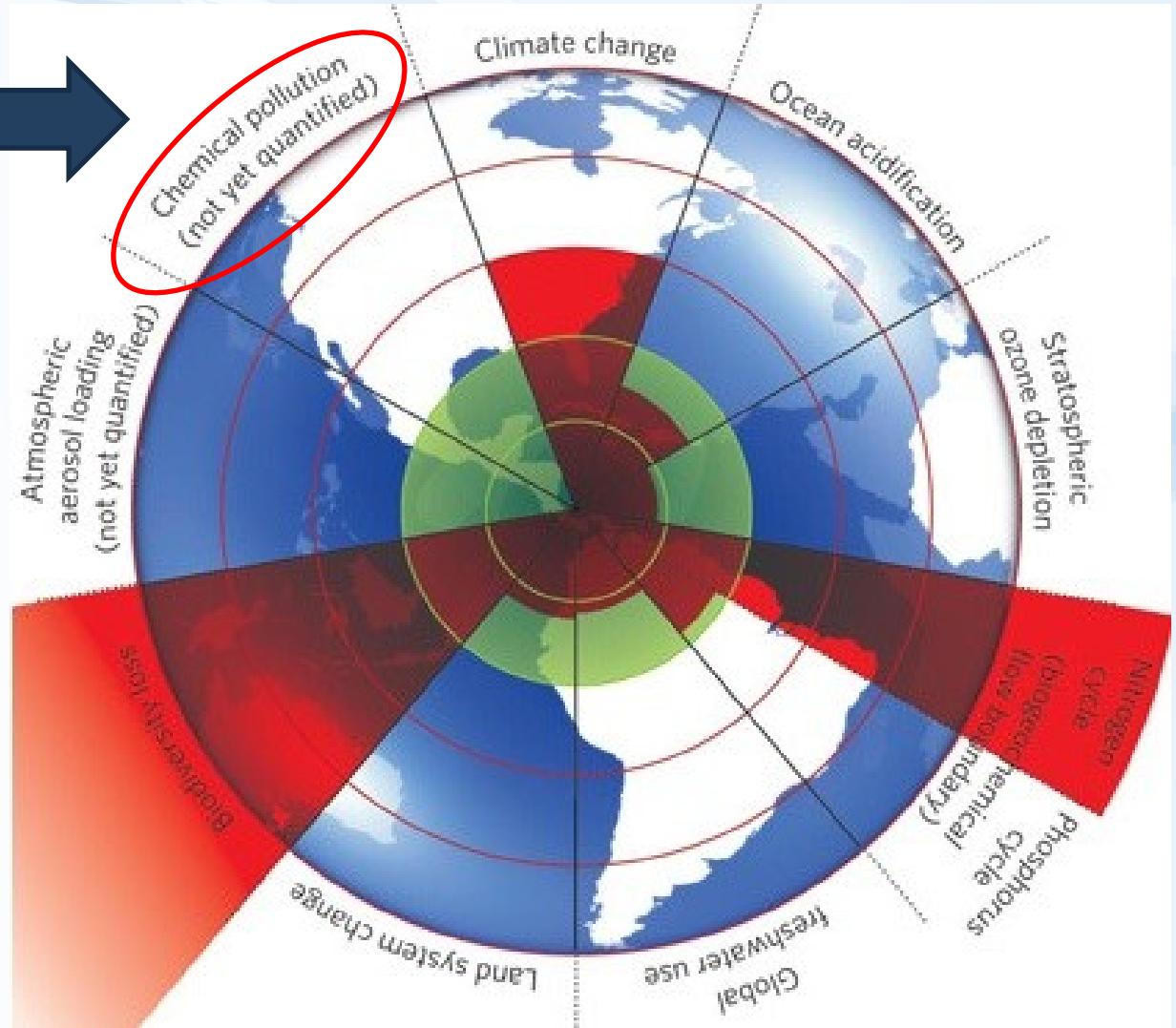
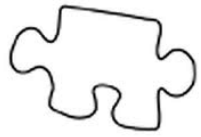
Figure 6.2. Five levels of scale at which environmental problems occur [9].





# Globální problémy - planetární limity

Rockstrom et al. 2009 (*Ecology and Society* 14(2): 32; *Nature* 461, 472-475)



# Propojenost globálních problémů

Promíchávání oceánů  
-> fungování zeměkoule  
[Nature 447, p.522, May 31, 2007]



Mořský život přispívá cca 50% k  
mechanické energii nutné k  
promíchávání oceánů !

[Dewar, Marine Res 64:541 (2006)]

[Katija a Dabiri, Nature 460:624 (2009)]

# Co je ekotoxikologie ?



# EKOTOXIKOLOGIE

- Věda studující toxické efekty v přírodě, u přírodních organismů, zejména efekty v populacích a společenstvech  
(**nehumánní toxikologie**) [Truhaut 1979]

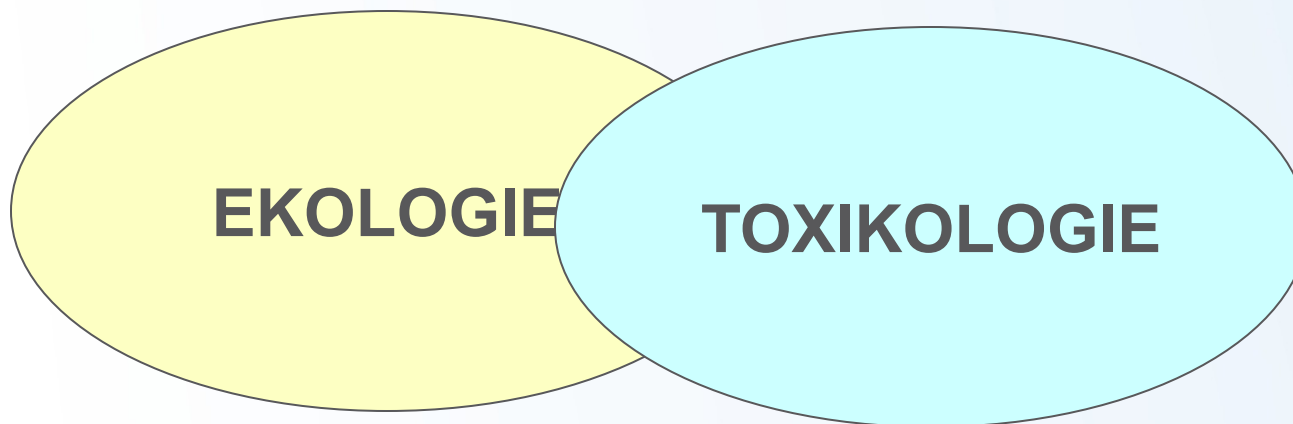
Věda studující efekty chemického (i ostatního stresu) v ekosystémech, **včetně efektů na člověka**

## Hlavní cíle ekotoxikologie

- **poznání** interakcí mezi živými organismy a chemickými/toxickými látkami v prostředí na všech úrovních
- **využití poznatků pro racionální ochranu** živých organismů, jejich populací, společenstev a ekosystémů před chemickým znečištěním

# Ekotoxikologie

Interdisciplinární vědní obor kombinující poznatky věd studujících ekosystémy (ekologie) a vědy studující interakce chemických látek s organismy (toxikologie)  
**= ekotoxikologie**



# Životní prostředí vs. ekosystémy

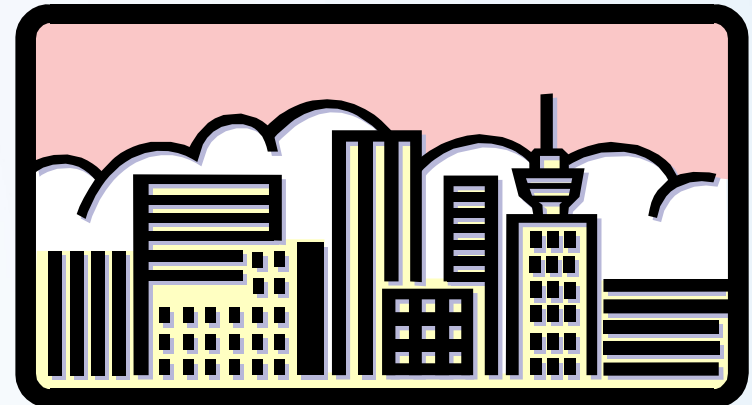
Mezi oběma pojmy neexistují jasné hranice

## Životní prostředí

Rozumí se zpravidla životní prostředí člověka  
(tj. vše co ho obklopuje - pracovní prostředí, životní styl  
a potrava, příroda = ekosystémy)

## Ekosystémy

Heterogenní systém tvořený abiotickou a biotickou složkou



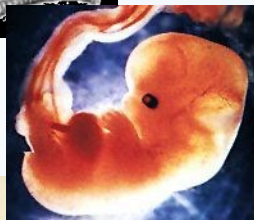
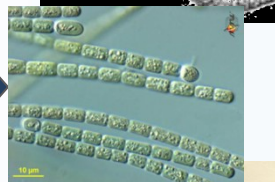
Chemikálie v prostředí



Hladiny, osud, procesy



Biodostupnost



Chemikálie v organismu  
*biomonitoring*



Toxikokinetika

*Biotransformace, bioaktivace, metabolismus, vylučování ...*

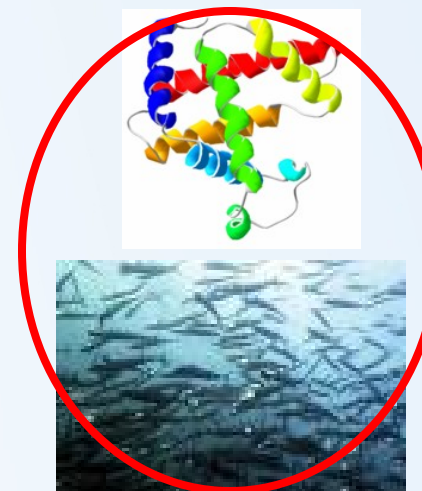
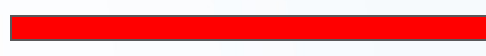
Cílové místo

**“Efekt”**

**“Expozice”**

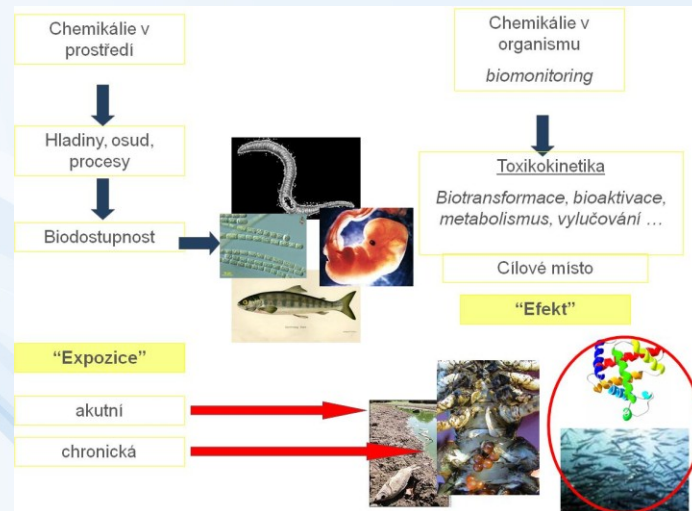
akutní

chronická



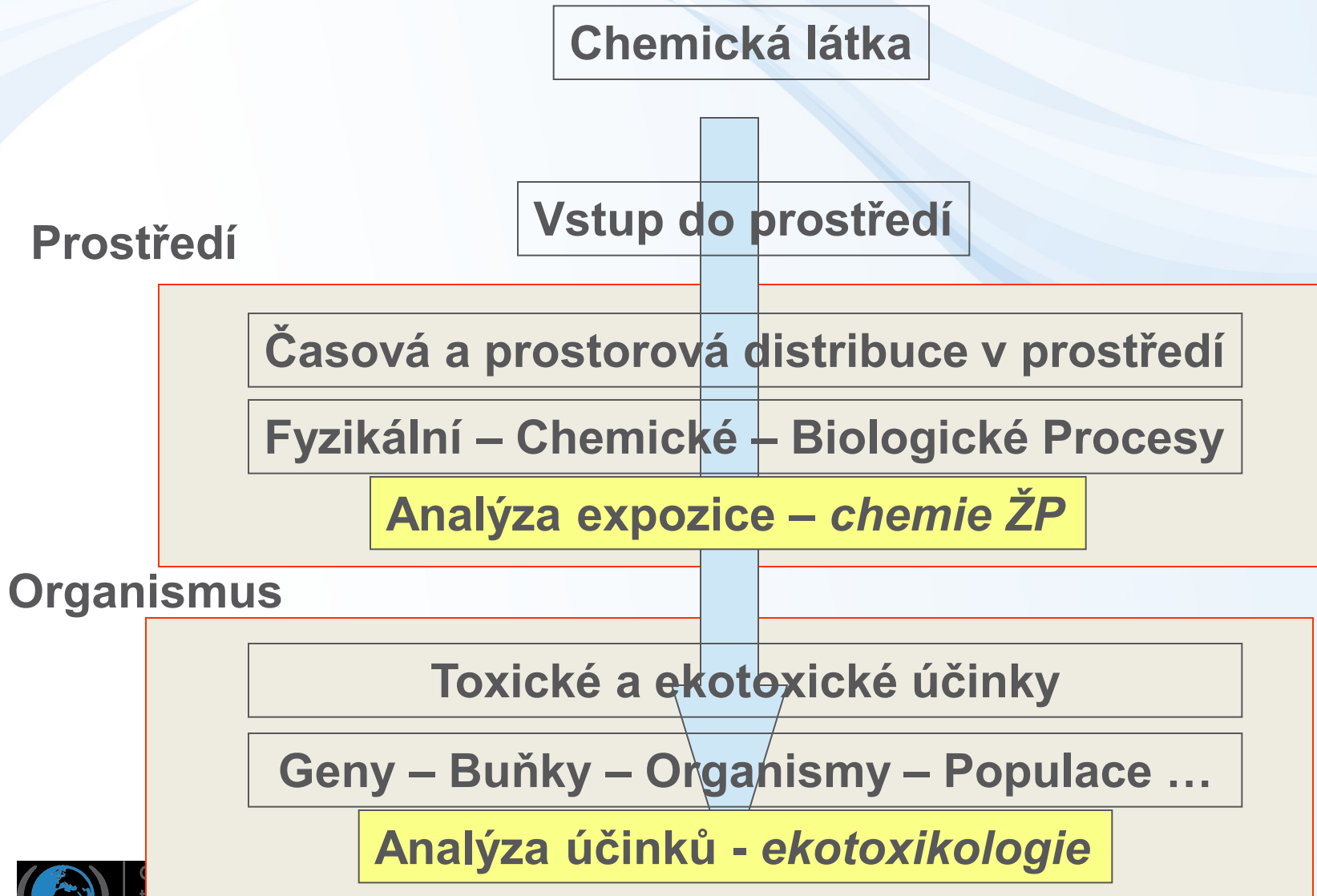
## Schéma přednášky

1. Chemické látky v prostředí - vlastnosti, osud, skupiny a typy
2. Vstup látek a osud v organismu - ADME, toxikokinetika
3. Interakce chemických látek s životem na různých úrovních:
  - Molekulární → Organismus → Společenstvo
4. Metody v ekotoxikologii (biotesty)
5. Ekotoxikologie v "praxi" – hodnocení rizik a příklady využití
6. Shrnutí a novinky
  - přehled chemických látek
  - Nanomateriály, výpočetní (eko)toxikologie





# KONCEPT EKOTOXIKOLOGIE



# ČLENĚNÍ EKOTOXIKOLOGIE dle ekosystémů

## Akvatická ekotoxikologie

- “klasická” ekotoxikologie - voda = dobré médium, první experimenty v ekotoxikologii - akvatické prostředí
- autotrofové (*řasy, vyšší rostliny*), živočichové (*korýši, larvy hmyzu, ryby*), bakterie ...

## Terestrická ekotoxikologie

- efekty toxikantů v suchozemském prostředí, les / pole / louka ...
- půda a její funkce / bakterie a další dekompozitoři (*žížaly, larvy hmyzu ...*)
- terestrické rostliny a vyšší živočichové (*včely, ptáci, hlodavci = rodents, zvěř obecně = wildlife*)

## Environmentální humánní toxikologie



## **Ekotoxikologie je interdisciplinární obor**

= ekotoxikolog se musí orientovat v řadě oblastí

- vědní obory vztahující se k **ekotoxikologii**
- charakteristiky **obecné vědecké práce**
- **právní aspekty** problematiky životního prostředí

# Vědy studující životního prostředí (ekosystémy) a jednotlivé složky:

## Vědy studující biotické složky ŽP:

ekologie  
biologie (hydrobiologie, taxonomie ...)  
pedologie atd...



## Vědy o abiotických složkách:

meteorologie  
geologie  
hydrologie  
geografie atd...



## Vliv člověka, antropogenní zásahy:

environmentální chemie (CHŽP)  
ekotoxikologie  
technologie, remediace atd...



# Ekotoxikologie vs. Toxikologie

Toxikologie	Ekotoxikologie
Cílem chránit člověka před toxickými látkami	Cílem chránit populace <b>mnoha druhů</b>
Vždy vychází ze zvířecích modelů (testování na člověku ?)	Může využít přímého testování citlivosti druhů
Člověk je dobře charakterizován – menší chyby při extrapolacích	Jednotlivé druhy jsou velmi rozdílné – míra nejistoty při extrapolacích velká
Testovací organismy i člověk jsou teplokrevní – dobrá predikce účinků	Mnoho chladnokrevných živočichů, mnoho rostlin !, bakterií !
Jednoduché dávkování a měření toxicity (výsledek LD50)	Nejednotné dávkování (vnější, vnitřní), koncentrace ve vnější vodě není stejná s dávkou v těle ...
Dobře charakterizované mechanismy působení	Méně informací o biochemických mechanismech
Dobře standardizované testovací metody	Mnoho metod, málo standardních, ? predikce efektů v ekosystémech ?



# Ekotoxikologie vs. Ekologie

Ekologie	Ekotoxikologie
Velmi široký záběr (vztahy mezi organismy navzájem a organismy a prostředím)	Zúžený zájem – organismy vs. prostředí, resp. <b>negativní vlivy změn prostředí</b> (vyvolané člověkem)
Studuje spíše "fyziologické" (přirozené) stavy - vlivy běžných faktorů prostředí – teplota, vlhkost, světlo	Studuje <b>nefyziologické stavy</b> – nepřirozené látky v prostředí, nadměrné působení fyzikálních stresorů (hluk, záření, stavby ...)
Ekologie vychází z polních (ekologických) studií	Více informací o jednotlivých druzích, polní studie v omezeném množství, často nejednoznačné výsledky

# Ekotoxikologie vs. Environmentální chemie

## Environmentální chemie

- studuje **OSUD** chemických látek v prostředí (odkud se berou, v jakých množstvích, kam "migrují", jaké jsou koncentrace v jednotlivých složkách prostředí – voda, půda, vzduch ...)  
+ *navazující obory, zejm. env. analytická chemie*

## Ekotoxikologie

- studuje **EFEKTY** chemických látek (různé látky a jejich koncentrace, různé organismy, různé úrovně organismů (molekuly, jedinci, populace ... )



# Jak uvažují obyčejní ekotoxikologové?





# KONCEPT EKOTOXIKOLOGIE

Život se odehrává na různých úrovních organizace  
= molekuly/buňky - populace/ekosystémy

Na každé úrovni se realizují základní biologické funkce  
= růst / rozmnožování / interakce / metabolismus

## Cíle ekotoxikologie:

- 1) poznání interakcí mezi životem a chemikáliemi  
... účinky na všech úrovních (mol-biol → populace → ....)
- 2) využití poznatků pro racionální ochranu ekosystémů

## Hlavní teze ochrany před toxickými látkami:

- Rozlišíme bezpečné a nebezpečné chemické látky a bezpečné budeme používat
- Nebezpečné budou zakázány

## Problémy (řeší ekotoxikologové a navazující=politika)

? Odlišení bezpečných látek od nebezpečných  
(EKOTOXIKOLOGIE)

? Zákaz nebezpečných chemických látek – ekonomické a společenské dopady



# Definice bezpečnosti ?

Paracelsus (1493 - 1541)



*'What is there which is not a poison?*

○ *All things are poison and nothing without poison.*

○ *Solely the dose determines that a thing is not a poison.*

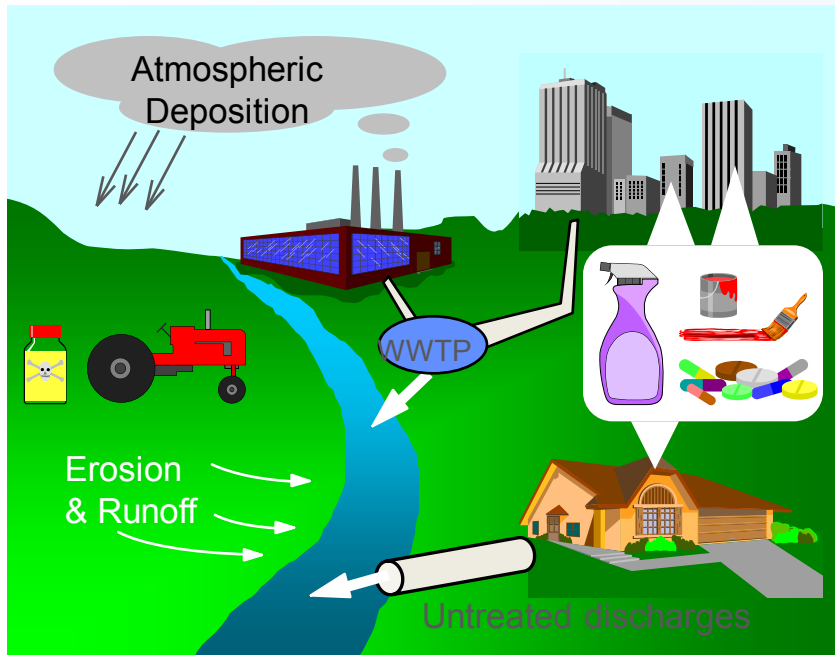


# Příčina -> Důsledek Dávka -> Účinek -> Risk assessment = **Hodnocení rizik**

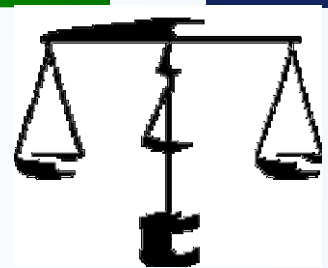
Expozice  
(dávka)

Efekt

(Jaká expozice vyvolá efekt ?)

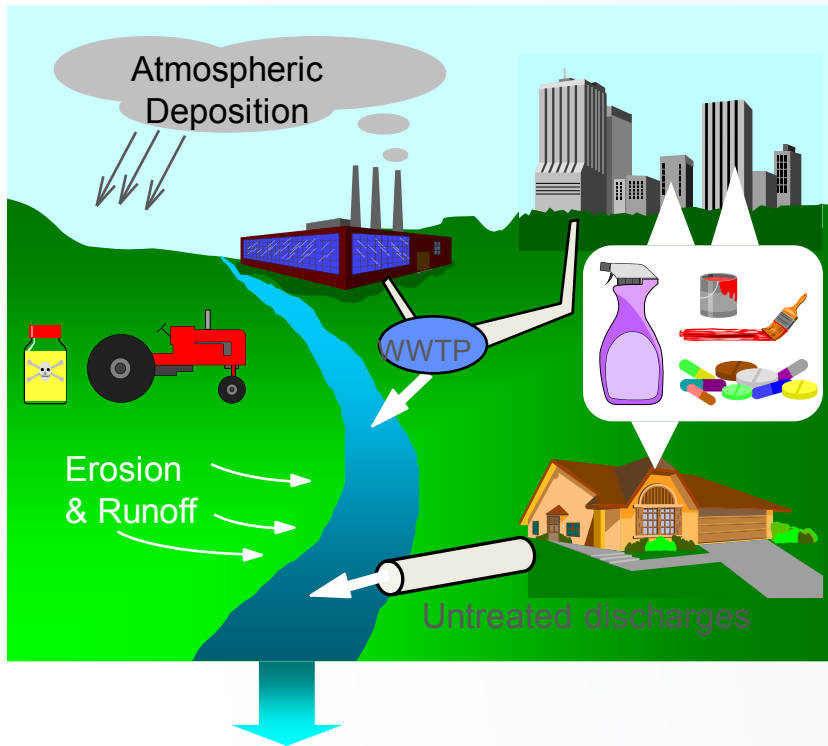


Laboratorní a polní studie  
Ekotoxikologické testy



# Jak poznat dávku (expozici) ?

Expozice  
(dávka)



- **Analytika kontaminantů**  
životního prostředí
- **Modelování hladin**  
kontaminantů

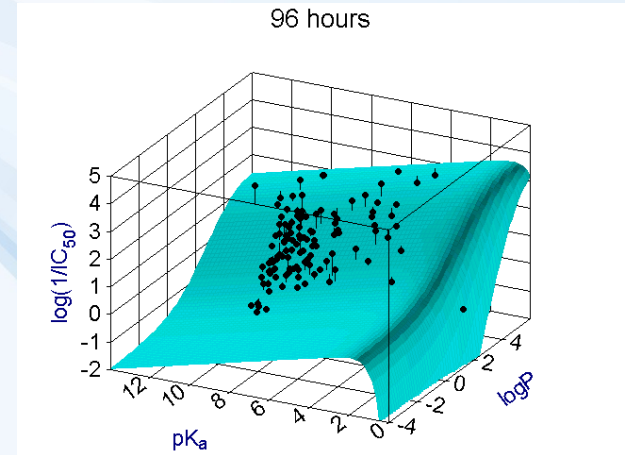
# Jak poznat, zda je látka „bezpečná“?

## PŘEDPOVĚDI / modely

As, Hg ...

akutní toxicita pro ryby

$$\log(1/LC50) = 0.907 \cdot \log Kow - 4.94$$



## TESTOVÁNÍ

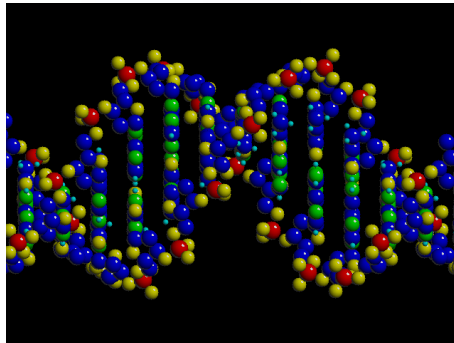
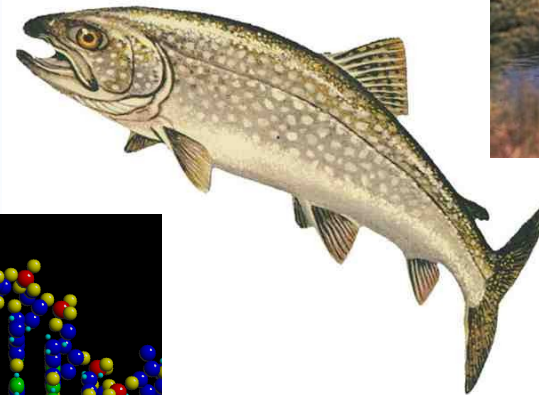
- toxicita
- ekotoxicita



# Ekotoxikologické výsledky vs. realita (ekosystémy?)

1/přesnost (Nepřesnost)

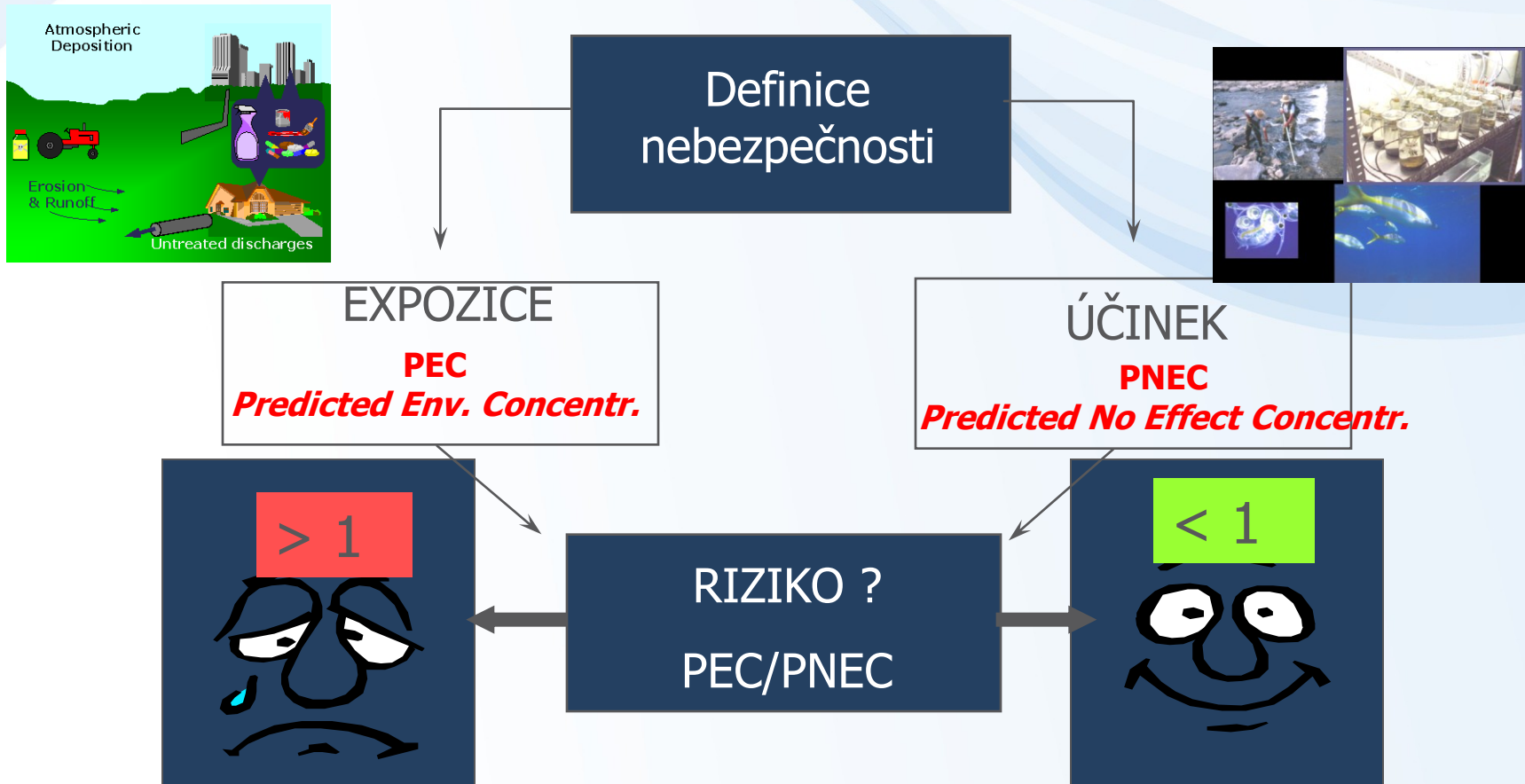
**! NUTNÉ JSOU  
MODELY / EXTRAPOLACE**



Ekologická relevance



# Charakterizace rizika





# Řízení rizika

- Riziko prokázáno? ANO
- Řízení - jak mu lze předejít, resp. omezit jeho dopady (úplně eliminovat)?
  - Preventivní kroky (omezení úniků chemických látek do prostředí)
    - Uzavřené nakládání (průmyslové chemikálie)
    - Zákaz používání (olovo v benzínu)
    - Legislativní postihy - pokuty
  - Nápravy škod
    - Remediacce apod.

# REALITA = LIMITY

Tabulka 1. pokračování

Kritéria znečištění vody (v µg/l, pokud není uvedeno jinak)						
Metodický pokyn - podzemní voda				pitná voda	povrchová voda	
Ukazatele	A	B	C	ČSN 757111	vodár.	ostatní
<b>VII. Chlorované alifatické uhlovodíky</b>						
jednotlivé mimo násl.	0,1	50	100			
1,2-dichlorethan	0,1	25	50	10		
1,1-dichlorethen	0,1	10	20	0,3		
1,2-dichlorethenv	0,1	25	50			
dichlornmethan	0,1	15	30			
tetrachlorethen	0,1	10	20	10		
tetrachlormethan	0,1	5	10	3		
trichlorethen	0,1	25	50	30		
trichlornmethan	0,1	25	50	30		
chlourethen (vinylchlorid)	0,1	10	20	20		
<b>VIII. Ostatní uhlovodíky (směsné, nhalogenované)</b>						
NEL	50	200	1000	50	50	200
<b>IX. Ostatní aromatické uhlovodíky (halogenované)</b>						
PCB (suma 28, 52, 101, 118, 138, 153 a 180)	0,01	0,25	1	0,05	(d)	0,025
PCDD/PCDF (dibenzodioxiny a dibenzodifurany) v ng/l	0,01	0,025	0,05			
<b>X. Ostatní</b>						
<b>Anorganické látky</b>						
B	100	500	5000		300	500
Cl <sup>-</sup>	25000	100000	150000	100000	150000	350000
F (F <sup>-</sup> pro vodu)	250	2000	4000	1500	1000	1500
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	120	1200	2400	500	1000	3000
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	25	200	400	100	100	200
S (sulfidická)	10	150	300		(d)	20
volné kyanidy/thiokyanáty	5	40	75			
komplex. kyanidy (pH<5)	10	250	500			
komplex. kyanidy (pH>5)	10	100	200			
<b>Organické látky</b>						
cyklohexanon	0,1	250	500			
řaláty (suma)	1	5	10			
hydrochinon	0,1	400	800			
pyrokatechin (katechol)	0,1	600	1200			
kresoly	0,1	100	200			
pyridin	0,1	3	6			
resorcin (resorcinol)	0,1	300	600			
tetrahydrofuran	0,1	5	50			
tetrahydrothiofén	0,1	15	30			
trinitrotoluen (TNT)	0,1	0,5	1			
tenzidy aniontové (PAL-A)	20	250	500	200	200	1000



# Náplň studia ekotoxikologie souvisí s požadovaným cílem (co chceme poznat ?)

Ekotoxikologie studuje efekty na živé složky v ekosystémech

## RETROSPEKTIVNÍ přístup

- studie reálných ekosystémů
- studie poškození v minulosti, odhady pro budoucnost
- srovnání poškozený/zdravý

## PROSPEKTIVNÍ přístup

- laboratorní studie efektů „nových“ chemikálií a směsí
- studie v simulovaných *mikro/mezo* ekosystémech
- předpovědi efektů v ekosystémech

# Krátká historie chemického věku



# Krátká historie chemického věku

## Chemický věk - odhady pro současnost:

- užívá se ~ 70 000 různých umělých chemikálií
- každý rok 200-1000 nových chemikálií uvedeno na trh

## Od pradávna - člověk produkuje ODPAD:

- pravěk/starověk/středověk - vypouštění/ukládání přímo do vodních toků/jezer/moří, nebo do jám a na skládky, spalování přímo v sídlech
- větší komunity - problém: př. Atheny 500 př.Kr. - zákon o možnosti ukládání odpadu pouze mimo zdi města
- ! složení odpadu - přírodní / přirozená degradace ...

## Průmyslová revoluce:

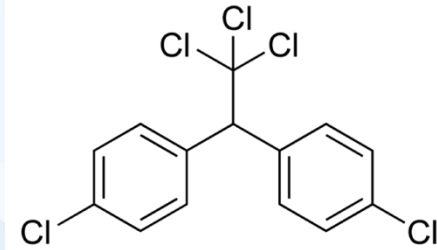
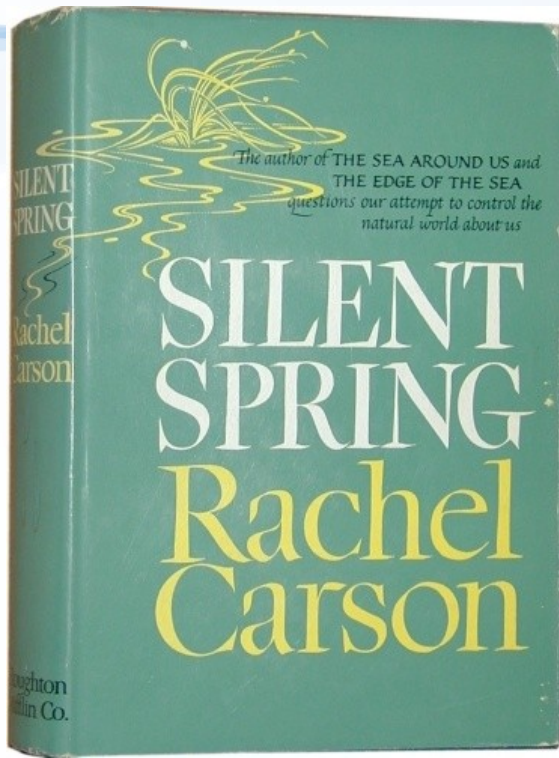
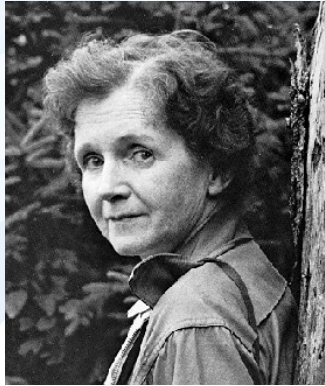
- stěhování lidí do měst - velká centra/problém s odpady i znečištěním prostředí

# Krátká historie chemického věku

## Průmyslová revoluce

- první informace o znečištění - používání uhlí, př. Londýnský doktor Percival Pott již v polovině 18. století poznal souvislost mezi vzrůstem rakoviny a znečištěním ovzduší
- na počátku 20. stol. - uvedení nafty a její rafinace -> nové látky pro průmysl (PCBs, CFCs ...)
- v 20. letech - zavedení olova jako antidetonátoru do motorů
- 1913 - první velkovýroba umělých dusíkatých hnojiv
- velkou skupinou biocidy - zejm. pesticidy a herbicidy - př. DDT, problémy s nespecifitou (zabíjení „necílových“ organismů) a nepředvídatelnými efekty
- další rozvoj průmyslu od konce II. světové války - podstatné zvýšení produkce těžkých kovů (Hg, Cd ...), př. Hg - Minamata

1962



**"DDT is good for me-e-e!"**

The great expectations held for DDT have been realized. During 1946, exhaustive scientific tests have shown that, when properly used, DDT kills a host of destructive insect pests, and is a benefactor of all humanity.

Pennsalt produces DDT and its products in all standard forms and is now one of the country's largest producers of this amazing insecticide. Today, everyone can enjoy added comfort, health and safety through the insect-killing powers of Pennsalt DDT products . . . and DDT is only one of Pennsalt's many chemical products which benefit industry, farm and home.

**GOOD FOR STEERS**—Beef grows meatier nowadays . . . for it's a scientific fact that—compared to untreated cattle—beef-steers gain up to 50 pounds extra when protected from horn flies and many other pests with DDT insecticides.

**GOOD FOR THE HOME**—helps you to make healthier, more comfortable homes . . . protect your family from dangerous insect pests. Use Knox-Out DDT Powders and Sprays as directed . . . then watch the bugs "bite the dust"!

**GOOD FOR DAIRIES**—Up to 20% more milk . . . more butter . . . more cheese . . . tests prove greater milk production when dairy cows are protected from the annoying pests of many insects with DDT insecticides like Knox-Out Stock and Barn Sprays.

**GOOD FOR FRUITS**—Bigger apples, juicier fruits that are free from unsightly worms . . . all benefits resulting from DDT dusts and sprays.

**GOOD FOR ROW CROPS**—25 more barrels of potatoes per acre . . . actual DDT tests have shown crop increases like that! DDT dusts and sprays help truck farmers pass these gains along to you.

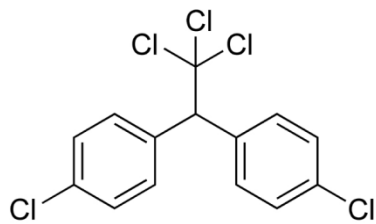
**GOOD FOR INDUSTRY**—Food processing plants, laundries, dry cleaning plants, hotels . . . dozens of industries gain effective bug control, more pleasant work conditions with Pennsalt DDT products.

**PENN SALT**  
CHEMICALS  
67 Years' Service to Industry • Farm • Home  
PENNSYLVANIA SALT MANUFACTURING COMPANY  
WIDENER BUILDING, PHILADELPHIA 7, PA.

Bitman et al. *Science* 1970, 168(3931): 594

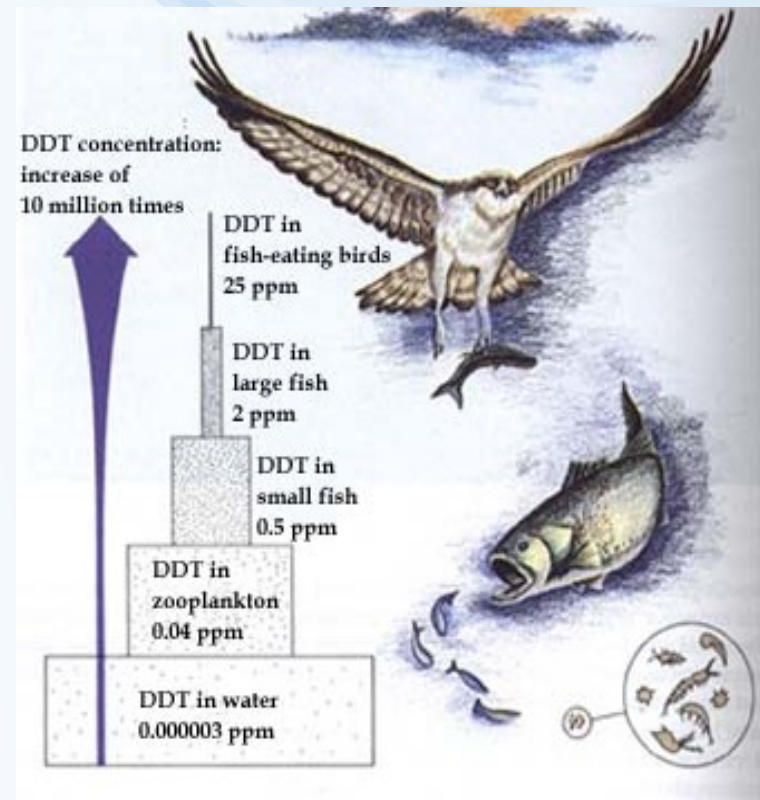


Biochemie:  
ptačí karbonátdehydratáza



In situ: bioakumulace  
-> úbytek populací ptáků

In vivo: měknutí vajíček





## Krátká historie chemického věku

### 1962 - Rachel Carson: The Silent Spring

- kniha upozorňující na škodlivé efekty pesticidů na ptačí populace a další environmentální problémy (odpady, jejich špatný management ...)
- od 60. let zlepšení nakládání s odpady - skládkování (*landfilling*) / monitorování toxického odpadu
- nové technologie - vysokotepeelné spalování (*high-temperature incineration*)

### **Od 70-80. let 20. století do současnosti**

- problém chem. látek reflektován ve společnosti
- různé legislativy – bezpečnost chemických látek
- růst odpovědnosti za ŽP ve vyspělých společnostech
- REALITA – zákaz několika málo chemikálií  
(*POPs, freony, Pb v benzínu, některé ftaláty ...*)

# SHRNUTÍ - otázky

- Mohou chemické látky vyvolávat problémy na globální úrovni? Jaké například?  
Jaké další nejvýznamnější globální problémy lidé identifikovali?  
Co je ekosystém? Uveďte alespoň 3 příklady.  
Co je ekotoxikologie? Co je toxikologie?  
Jaké jsou hlavní směry (velké oblasti) v rámci ekotoxikologie?  
Kdo je ekotoxikolog? Co by měl znát? Co by měl dělat?  
Jak se pozná nebezpečná látka od bezpečné? Uveďte příklad.  
Jaké bude mít důsledky, pokud bude zakázáno používání ftalátů, které se používají jako měkčící příměs do plastů? Uveďte nejružnější důsledky jak pro prostředí, tak i pro lidskou společnost.  
Co je to hodnocení rizik? Uveďte příklad.  
Co se rozumí pod pojmem hodnocení expozice v rámci hodnocení rizik?  
Jakým způsobem lze vyhodnotit expozici toxickým kovem (např. Hg)?  
Jakým způsobem lze vyhodnotit expozici PCB, které jsou v rybím mase?  
Co se rozumí pod pojmem charakterizace rizika? Uveďte příklady.  
Co je to řízení rizik? Uveďte příklady.  
Odkdy a proč jsou chemické látky v prostředí problémem pro lidskou společnost a prostředí? Uveďte příklady „historických“ problémů.  
U kterých chemikálií byly poprvé prokázány účinky na organismy v prostředí? Jaké účinky to byly?