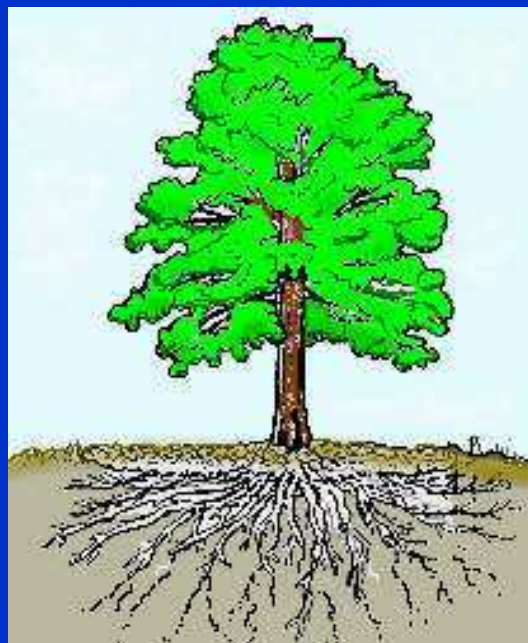




XENOBIOCHEMIE ROSTLIN II.



Petr Soudek





OBSAH



- ➔ **ÚVOD A DEFINICE**
- ➔ **ZDROJE KONTAMINACE**
- ➔ **TYPY FYTOREMEDIACÍ**
- ➔ **VÝHODY FYTOREMEDIACÍ**
- ➔ **NEVÝHODY FYTOREMEDIACÍ**
- ➔ **ZLEPŠENÍ FYTOREMEDIACÍ**



ÚVOD A DEFINICE



PŘÍRODNÍ ATENUACE ?





FYTOREMEDIACE

Fytoremediace byly definovány jako využití zelených rostlin a s nimi asociovaných mikroorganismů, půdních doplňků a agronomických technik pro odstranění či transformaci kontaminantů z životního prostředí.

Phytoremediation

Phytodegradation
plant metabolism of contaminants

Phytostimulation
*microbial metabolism of contaminant
in the rhizosphere*

Phytovolatilization
*removal of contaminants
from the soil and subsequent
release to the atmosphere*

Phytoextraction
extraction of contaminant by the plant

Cluis,
BioTeach
Journal
(2004) 2, 61-
67



TYPY FYTOREMEDIACÍ



Application	Media	Contaminants	Typical plants
Phytotransformation	Soil, groundwater, landfill leachate, land application of wastewater	Herbicides; chlorinated aliphatics (e.g., TCE); aromatics (e.g., BTEX); ammunition wastes (TNT, RDX, HMX, perchlorate); nutrients (nitrate, ammonium, phosphate)	Phreatophytic trees (Salix family, including poplar, willow, cottonwood); grasses (rye, fescue, Bermuda grass, sorghum, switchgrass, Reed canary grass); legumes (clover, alfalfa, cowpeas)
Rhizosphere bioremediation	Soil, sediments, land application, confined disposal facilities	Biodegradable organics (BTEX, TPH, PAHs, PCBs, pesticides)	Grasses with fibrous roots (Bermuda, fescue, rye); phenolics releasers (mulberry, apple, osage orange); phreatophytic trees
Phytostabilization	Soils	Metals (Pb, Cd, Zn, As, Cu, Cr, Se, U); hydrophobic organics that are not biodegradable	Phreatophytic trees for hydraulic control; grasses with fibrous roots for erosion control
Phytoextraction	Soil, sediments, brownfields	Metals (Pb, Cd, Zn, Ni, Cu)	Indian mustard (<i>Brassica juncea</i>); sunflowers (<i>Helianthus</i> spp.); <i>Thlaspi carulescens</i>
Rhizofiltration	Groundwater, wastewater through constructed wetlands	Metals (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn); radionuclides, hydrophobic organics	Aquatic plants: emergents (bullrush, cattail, coontail, pond weed, arrowroot); submergents (algae, stonewort, parrot feather, <i>Hydrilla</i> spp.)
Phytovolatilization	Soils and sediments	Selenium, arsenic, mercury, volatile organic compounds (e.g., MTBE)	<i>Brassica juncea</i> ; wetlands plants; phreatophytic trees for groundwater capture

Abbreviations: BTEX, benzene, toluene, ethylbenzene, and total xylene. HMX, octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine. MTBE, methyl-tert-butyl ether. PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbons. PCBs, polychlorinated biphenyls. RDX, hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine. TCE, trichloroethylene. TNT, 2,4,6-trinitrotoluene. TPH, total petroleum hydrocarbons.

Dietz and Schnoor, Environ. Health Perspect. (2001) 109: 163–168



ZDROJE KONTAMINACE



ZDROJE KONTAMINACE

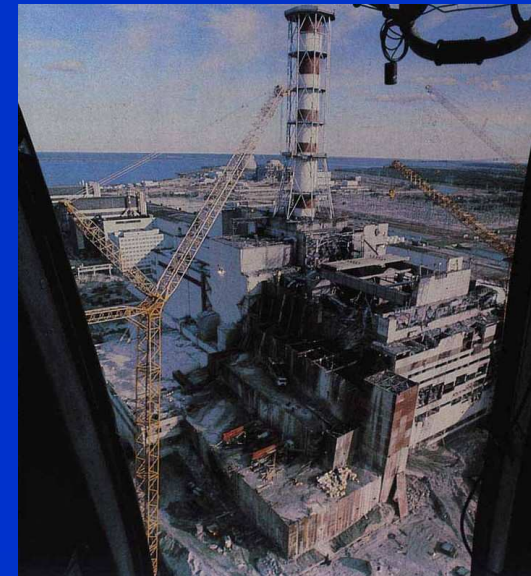
Těžké kovy





ZDROJE KONTAMINACE

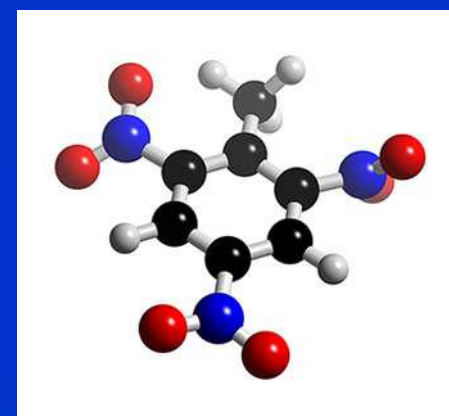
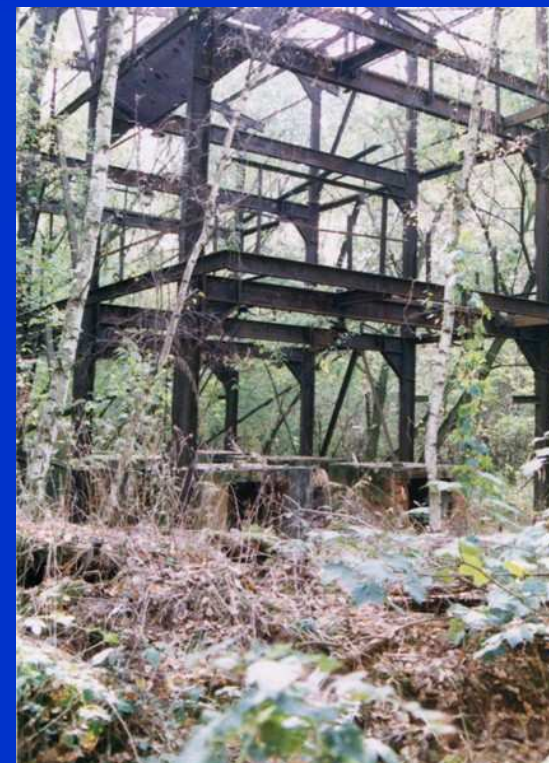
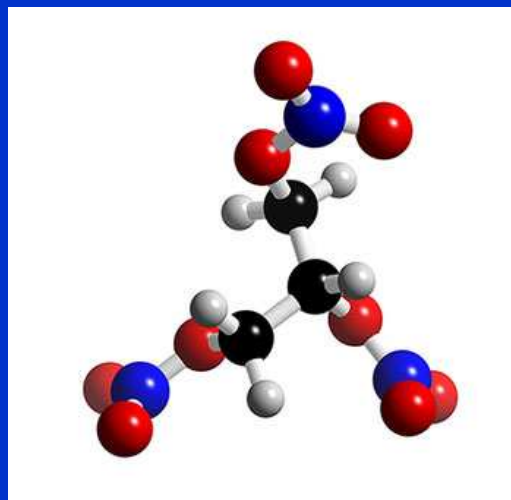
Radionuklidy





ZDROJE KONTAMINACE

Explosiva (TNT, NG aj.)





ZDROJE KONTAMINACE

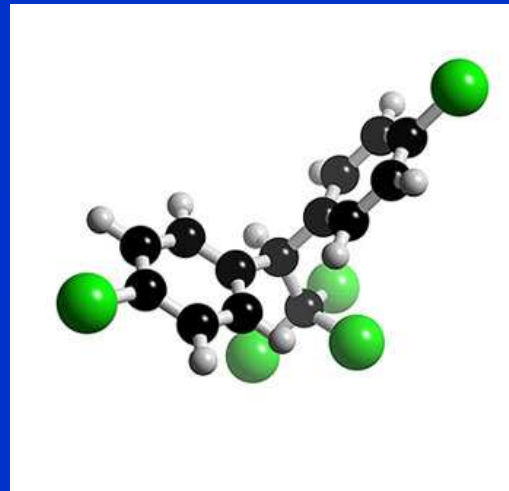
Barviva a jejich prekurzory (antrachinonsulfonové kyseliny, aj.)





ZDROJE KONTAMINACE

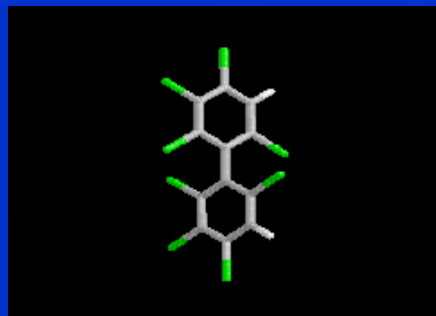
Pesticidy





ZDROJE KONTAMINACE

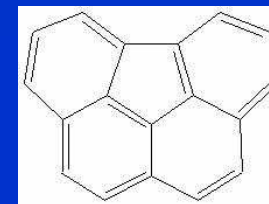
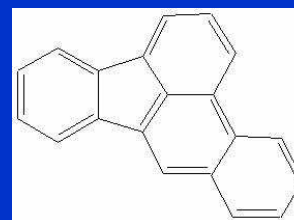
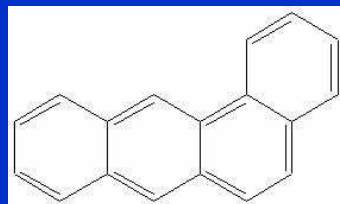
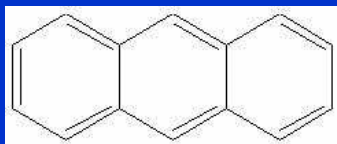
PCB





ZDROJE KONTAMINACE

PAH





ZDROJE KONTAMINACE

„Nové“ kontaminanty (léčiva, parfémy, detergenty, retardanty hoření, aj.)



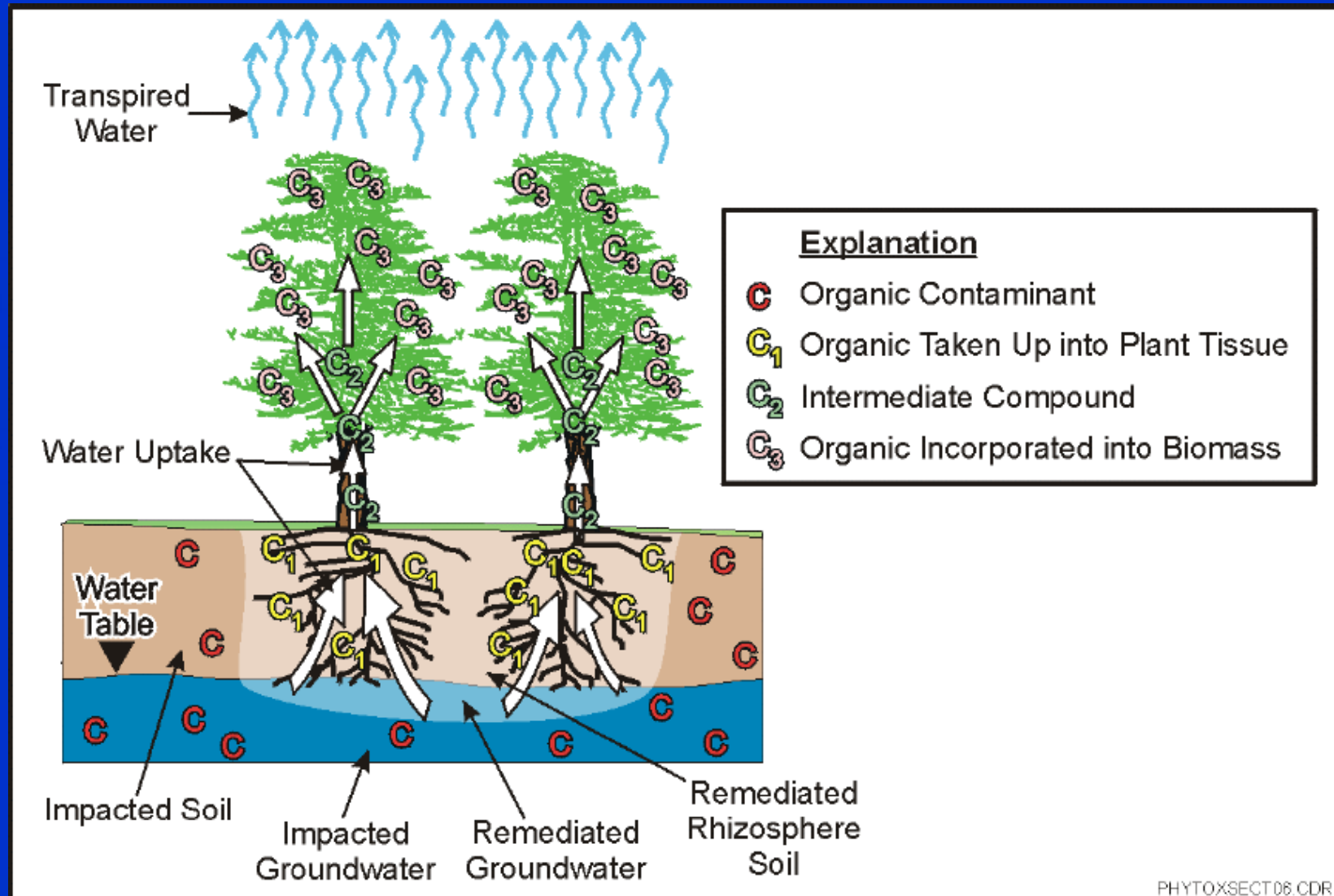


TYPY FYTOREMEDIACE



TYPY FYTOREMEDIACE

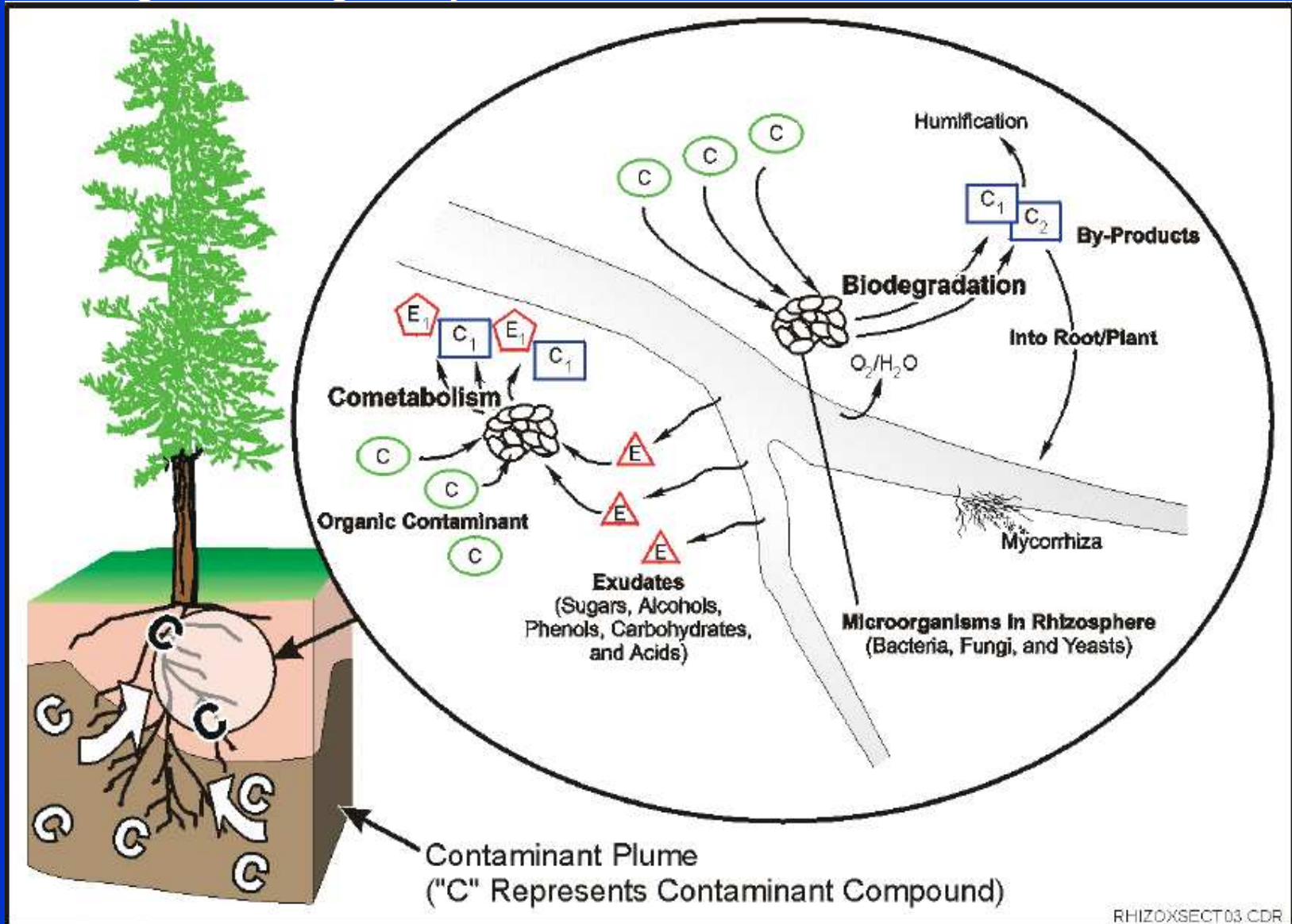
Fytodegradace organických látek





TYPY FYTOREMEDIACE

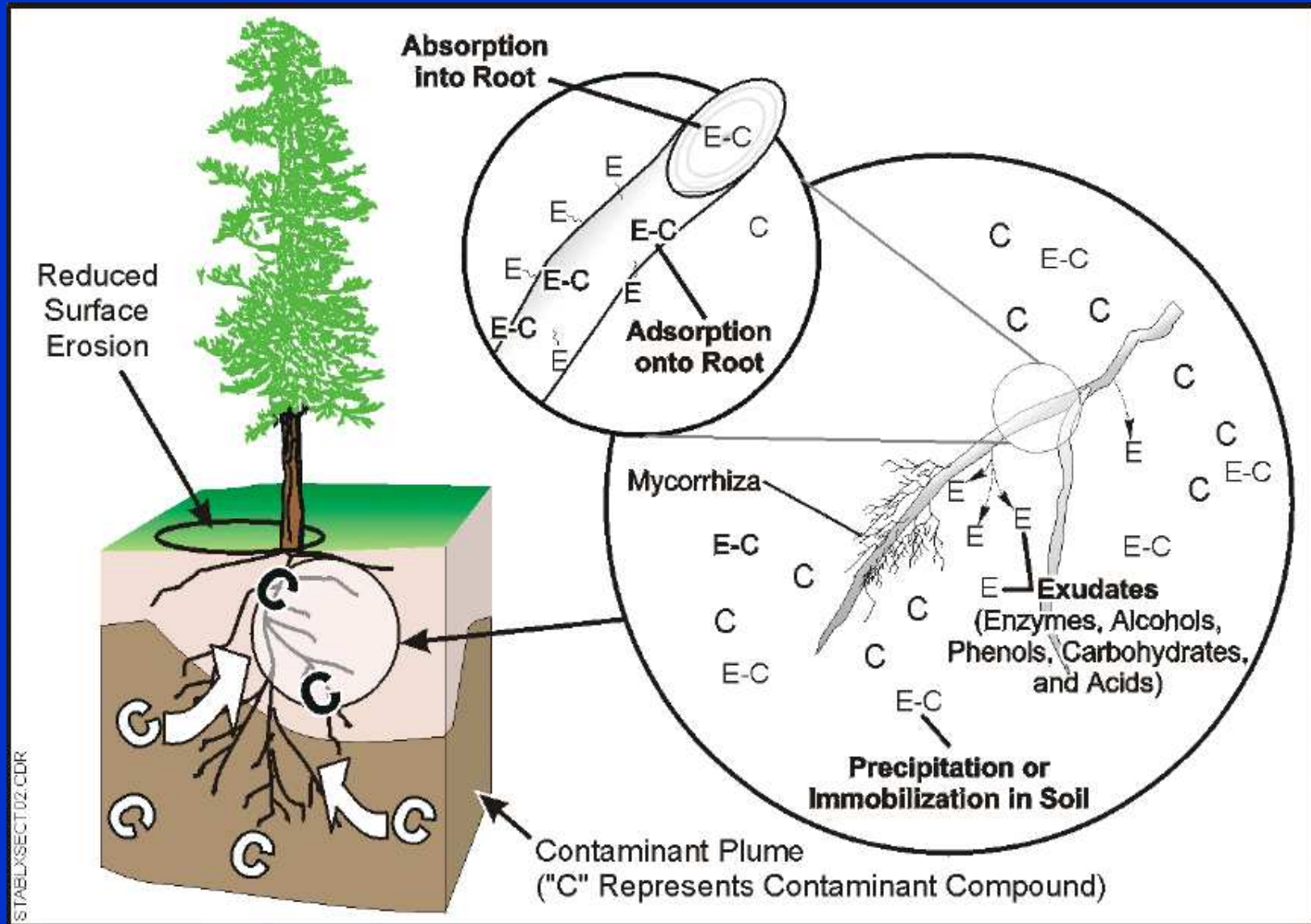
Rhizodegradace organických látek





TYPY FYTOREMEDIACE

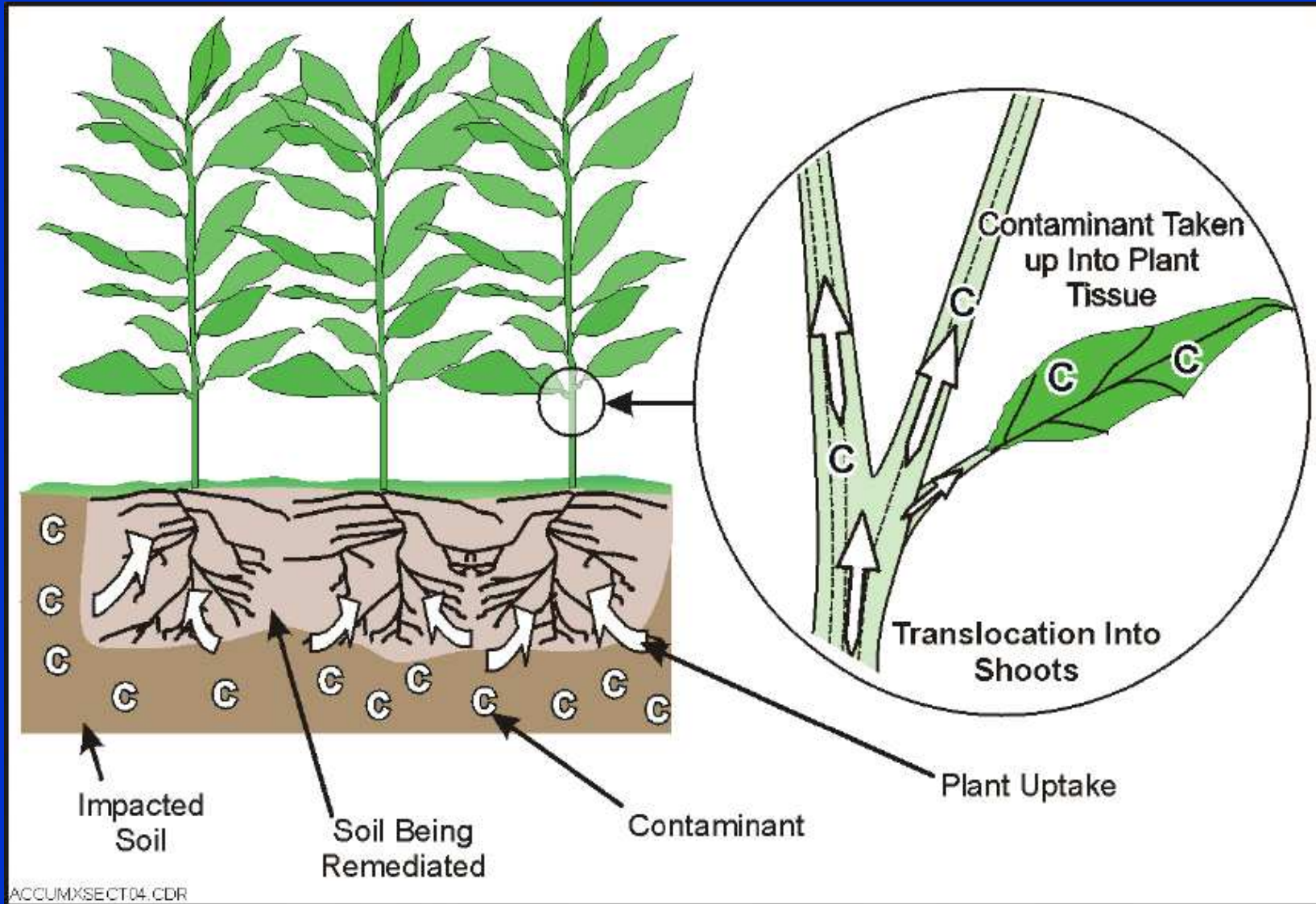
Fytostabilizace anorganických (nebo organických) látek





TYPY FYTOREMEDIACE

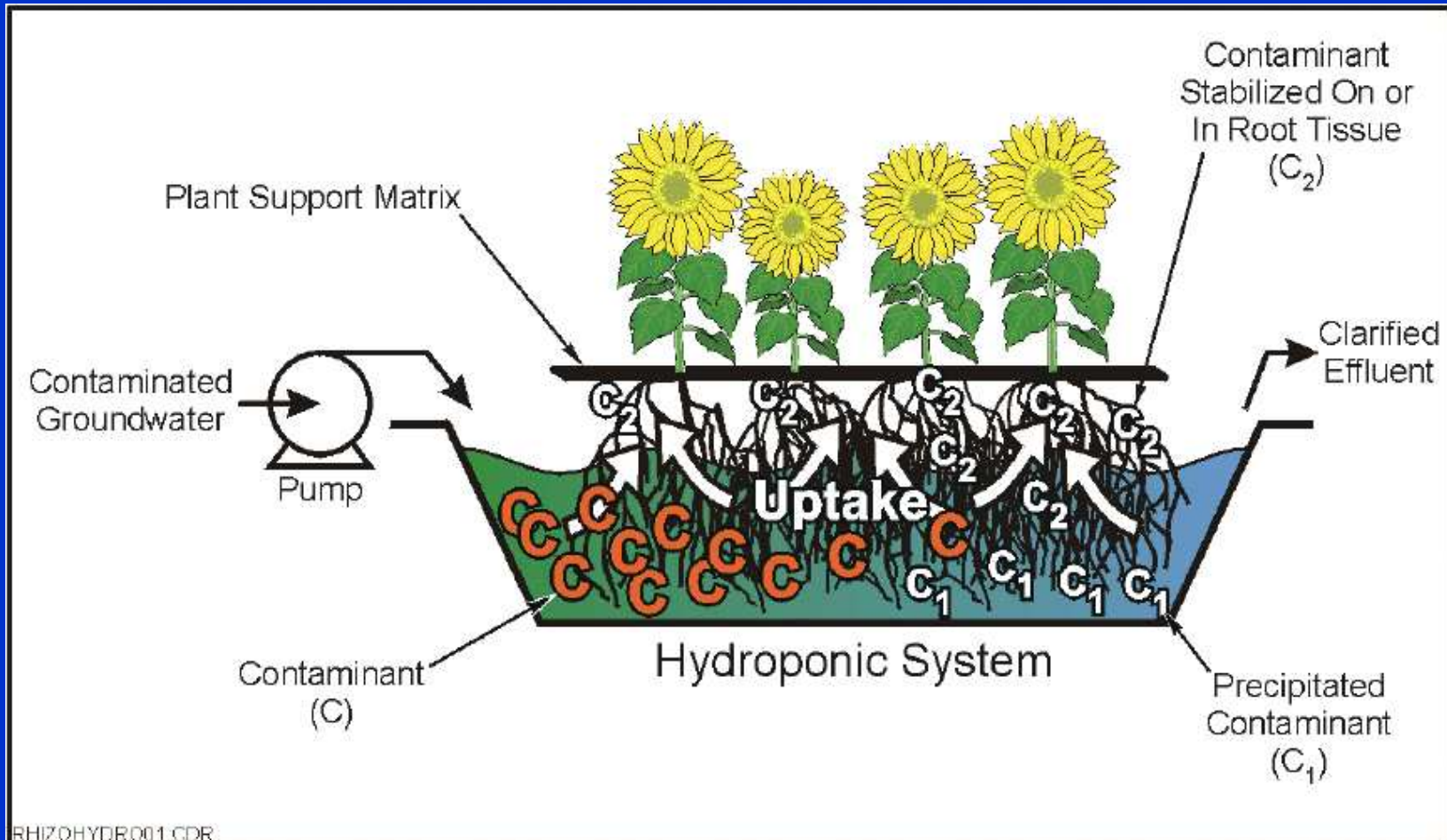
Fytoakumulace anorganických látek





TYPY FYTOREMEDIACE

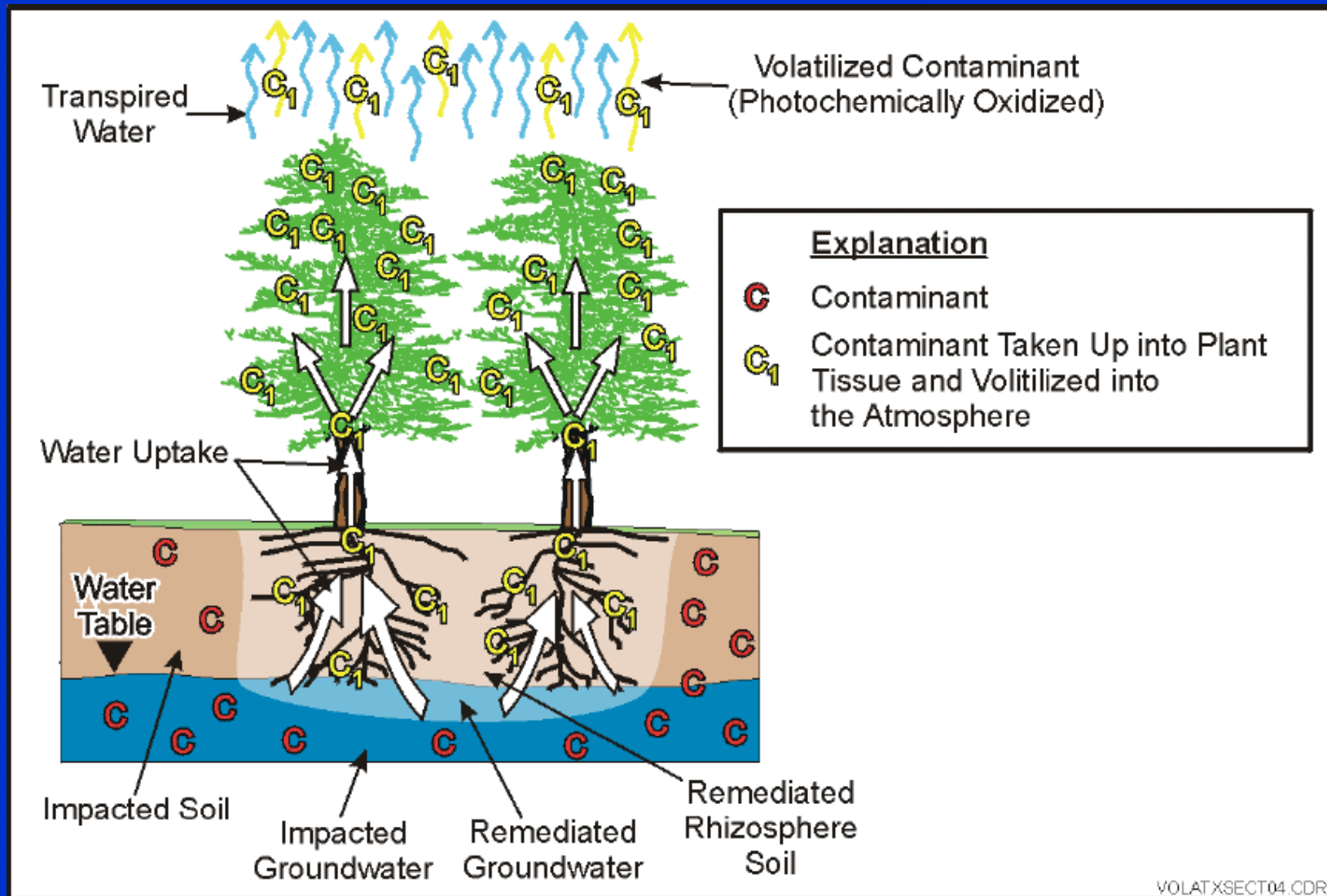
Fizofiltrace anorganických látek





TYPY FYTOREMEDIACE

Fytovolatilizace organických (nebo anorganických) látek

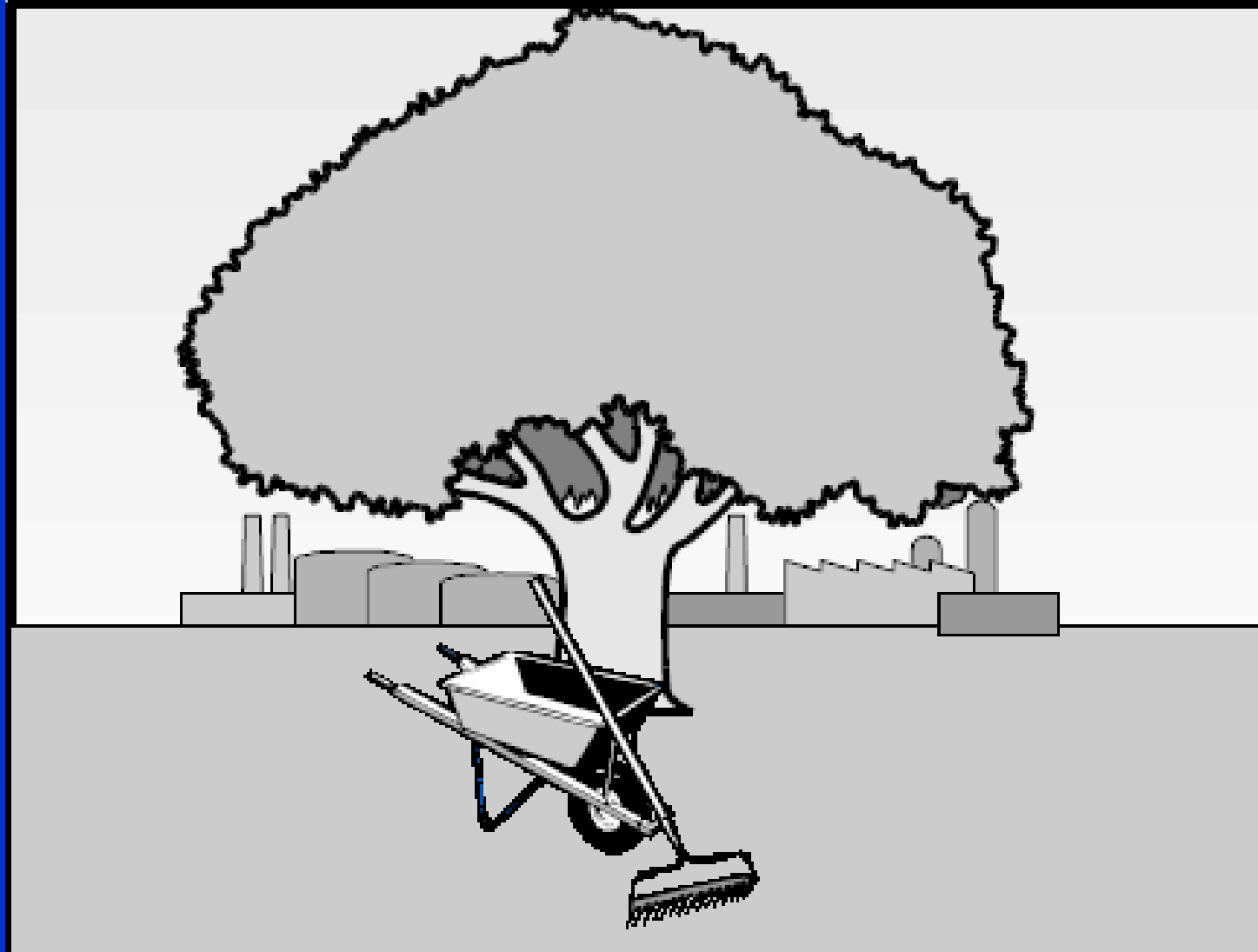




VÝHODY FYTOREMEDIACE

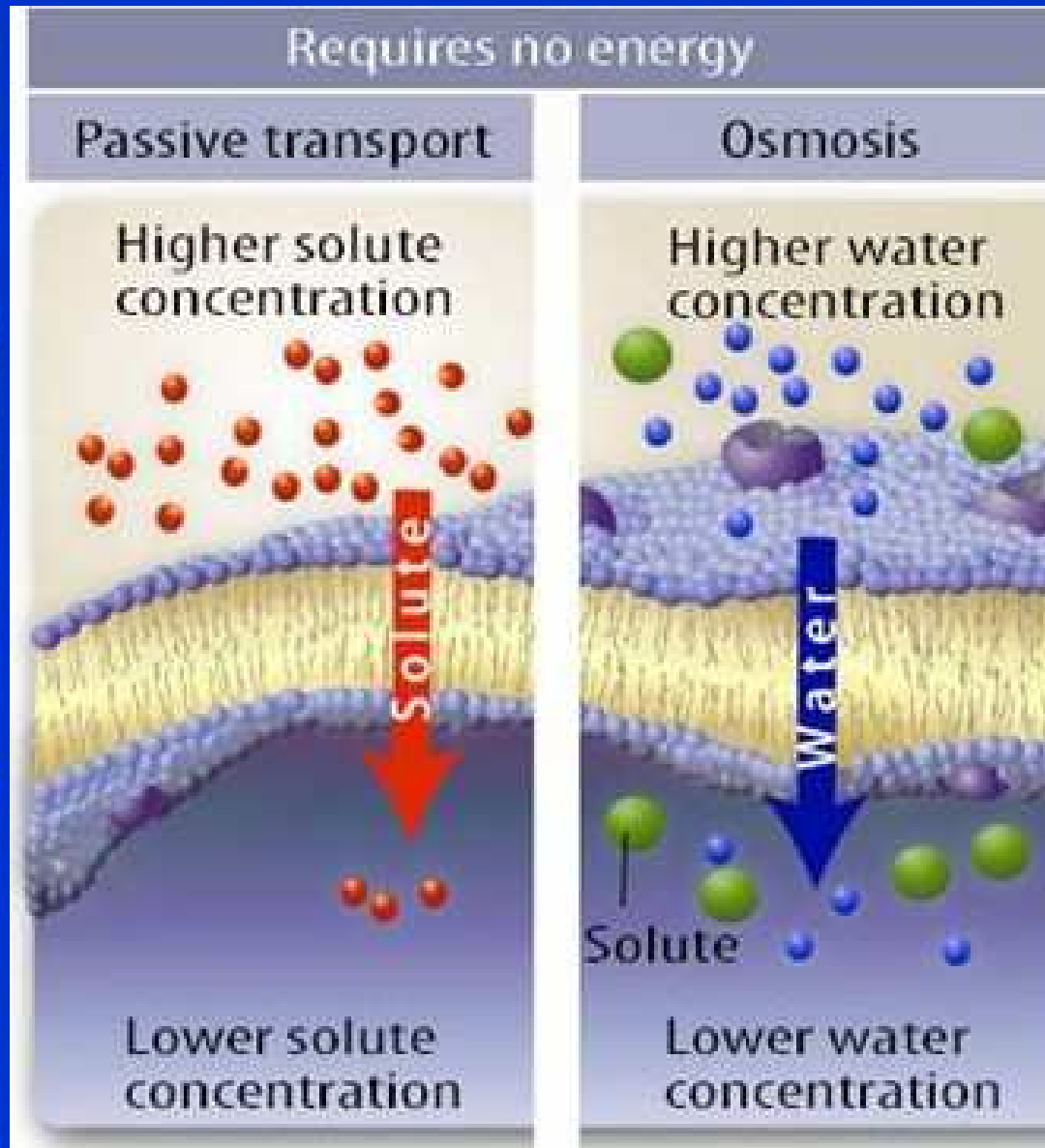


IN SITU





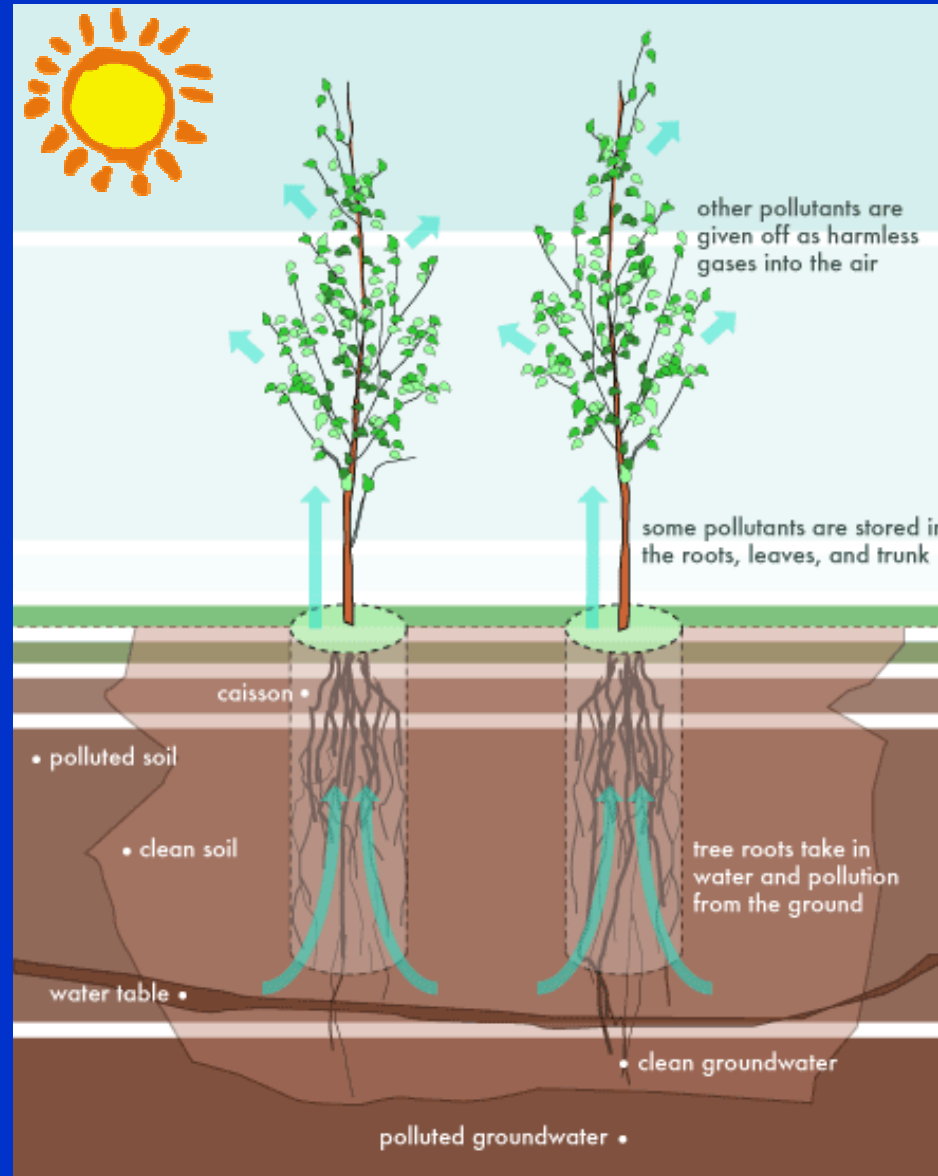
PASIVNÍ



Fytoremediace je pasivní remediační technika na bázi přirozené schopnosti vegetace využívat živiny, které jsou transportovány vzlínáním z půdy a povrchové vody rostlinným kořenovým systémem.

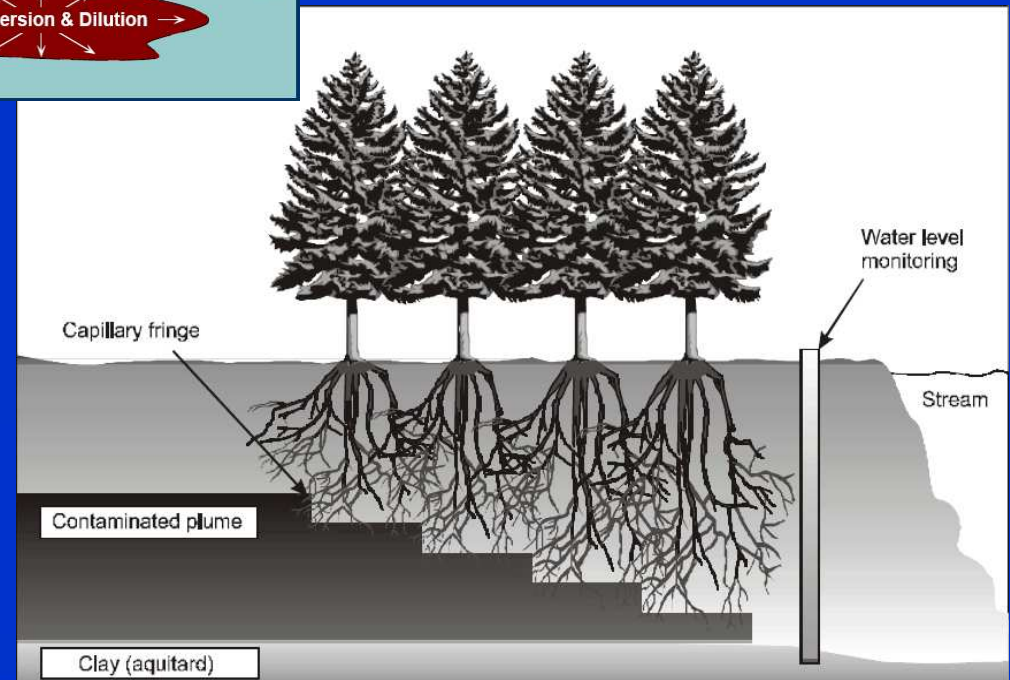
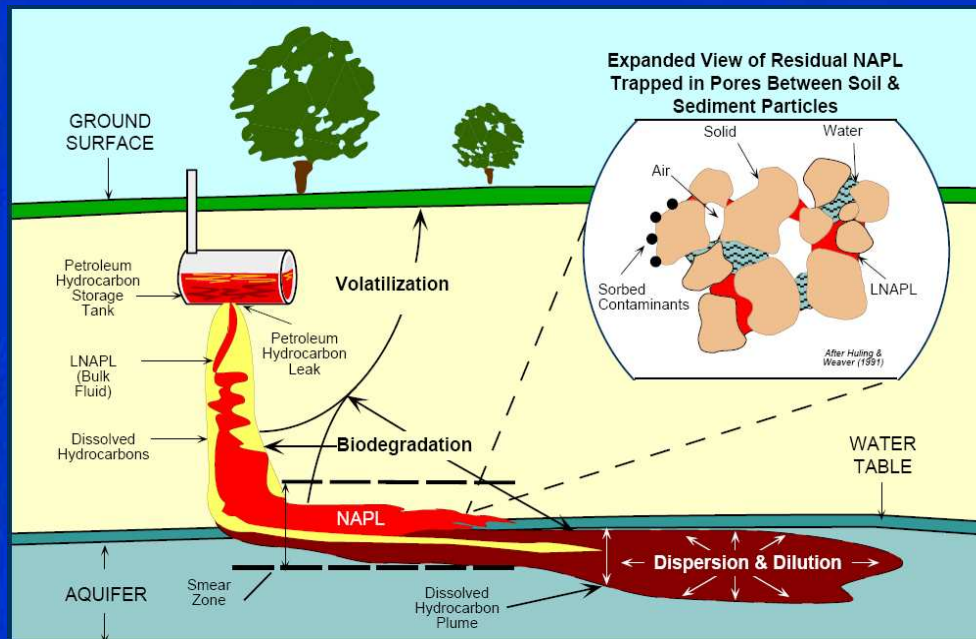


POHÁNĚNA SOLÁRNÍ ENERGIÍ





ODSTRANĚNÍ JE RYCHLEJŠÍ NEŽ PŘÍRODNÍ ATENUACE



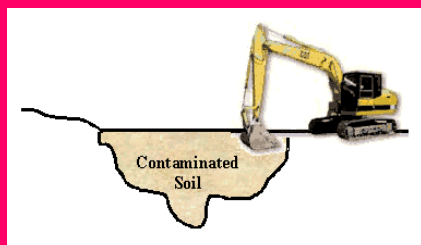


SNÍŽENÍ VZDUŠNÝCH A VODNÍCH EMISÍ

Porovnání množství
odpadu (404.7 m²)

Bagrování

Fytoextrakce



Biomasa

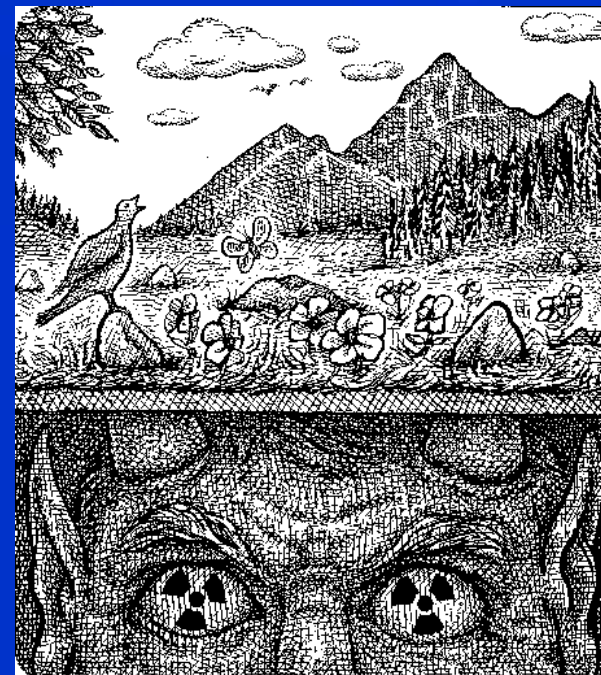
Popel



30 000 tun

1 200 tun

120 tun





PŮDA ZŮSTÁVÁ NA MÍSTĚ



Len (Česká Republika)	EUR / ha
EU bonus na zpracování	364
Dotace na pěstování	243
Semena	117
Stonky na vlákno	749
Obdělávání půdy a sklizeň	-625
Senena pro výsev	-125
Zisk	723

European leaders agreed in March 2007 to have 20% of their overall energy needs covered by renewables such as biomass, hydro, wind and solar by 2020.



BIOMASS



KOMPATIBILNÍ S KLASICKÝMI REMEDIAČNÍMI TECHNOLOGIEMI

Kompatibilní technologie

Vymývání půdy/mechanická separace

Vybagrování - ex situ zpracování

Elektrokinetika

Stabilizace





FINANČNÍ VÝHODNOST

Finanční výhodnost fytořemediace (rhizosférové bioremediace) půdy s využitím hustě kořenících travin v porovnání jinými technikami (E. Drake, Exxon, Anandale, NJ)



Typ ošetření	Rozpětí ceny \$/tunu
Fytořemediace	10-35
In situ bioremediace	50-150
Půdní venting	20-220
Nepřímé termické	120-300
Promývání půdy	80-200
Solidifikace/stabilizace	240-340
Extrakce rozpouštědly	360-440
Spalování	200-1500



VYSOCE AKCEPTOVATELNÉ VEŘEJNOSTÍ





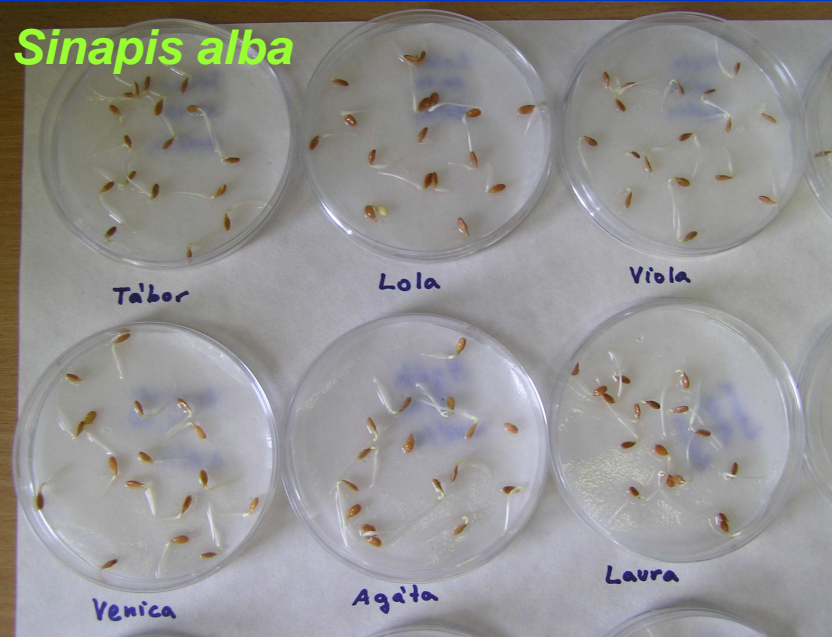
NEVÝHODY FYTOREMEDIACE



NÍZKÁ TOLERANCE ROSTLIN



Sinapis alba



Folsomia candida

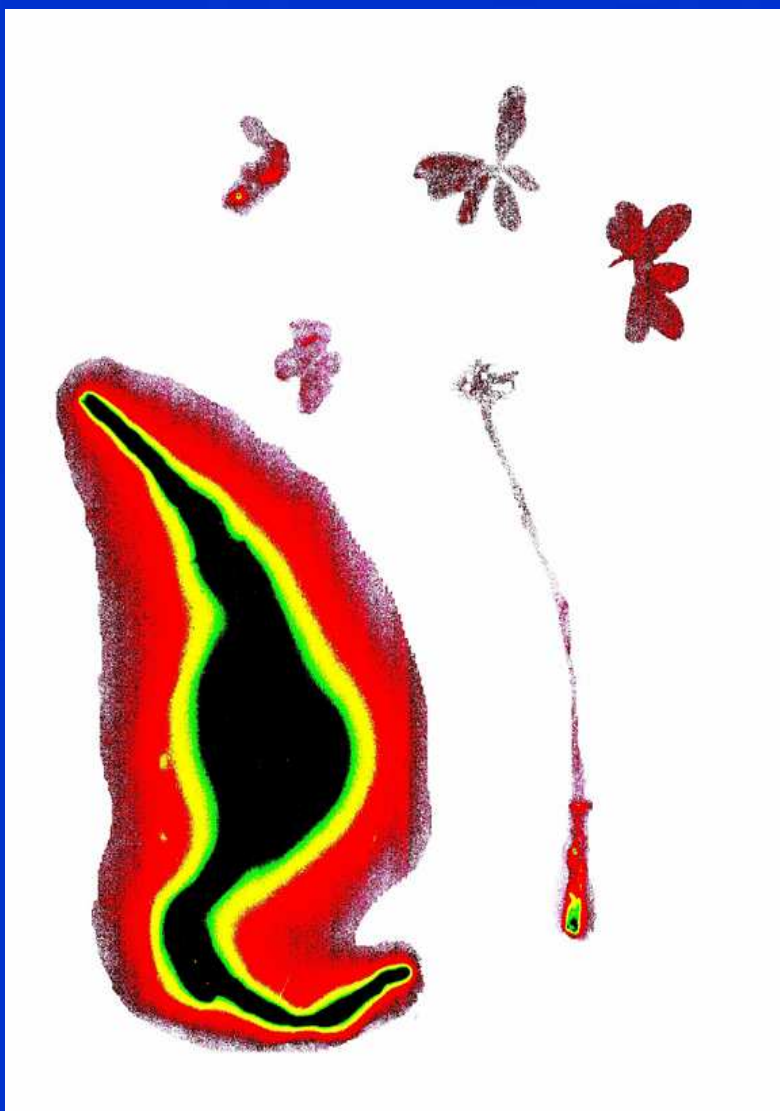
Ekotoxikologické testy



Enchytraeus crypticus



NÍZKÝ TRANSPORT KONTAMINANTŮ Z KOŘENŮ DO NADZEMNÍ ČÁSTI



Lupinus albus - akumulace nuklidů ^{210}Pb a ^{109}Cd



MALÉ ROZMĚRY ROSTLIN VHODNÝCH K REMEDIACI



Thlaspi rotundifolium
8 200 $\mu\text{g Pb/g DW}$



Thlaspi alpinum
31000 $\mu\text{g Ni/g DW}$



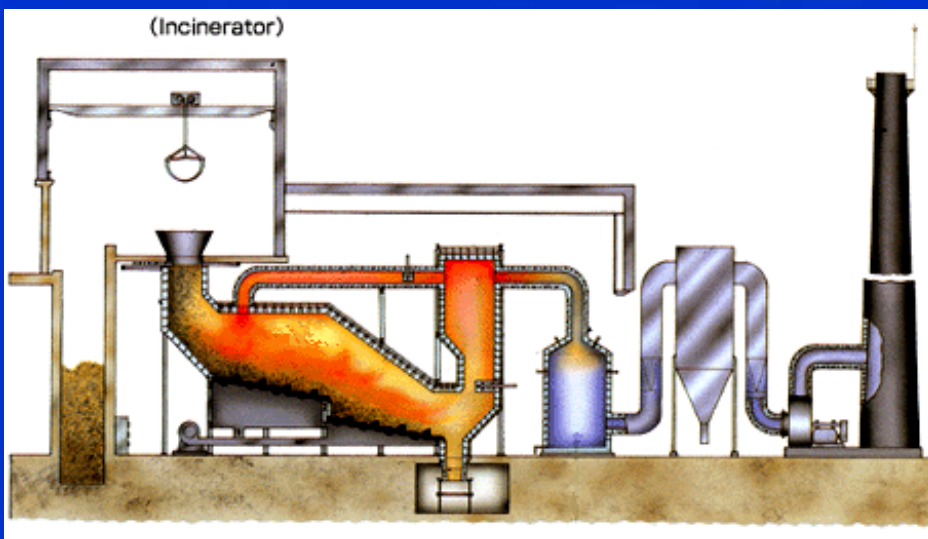
Thlaspi calaminare
39600 $\mu\text{g Zn/g DW}$



Thlaspi caerulescens
1800 $\mu\text{g Cd/g DW}$



NAKLÁDÁNÍ S KONTAMINOVANÝM ROSTLINNÝM ODPADEM



Spalování



Kompostování



NEOBEZNÁMENOST ÚŘEDNÍKŮ S TECHNOLOGIÍ



- Je možno vyčistit kontaminovanou plochu na požadovaný limit ?
- Za jakou dobu ?
- Nevznikají nějaké toxické meziprodukty nebo produkty ?
- Je to finančně výhodnější než alternativní metody ?
- Je metoda přijatelná pro veřejnost ?



NEBEZPEČÍ KONTAMINACE POTRAVNÍHO ŘETĚZCE

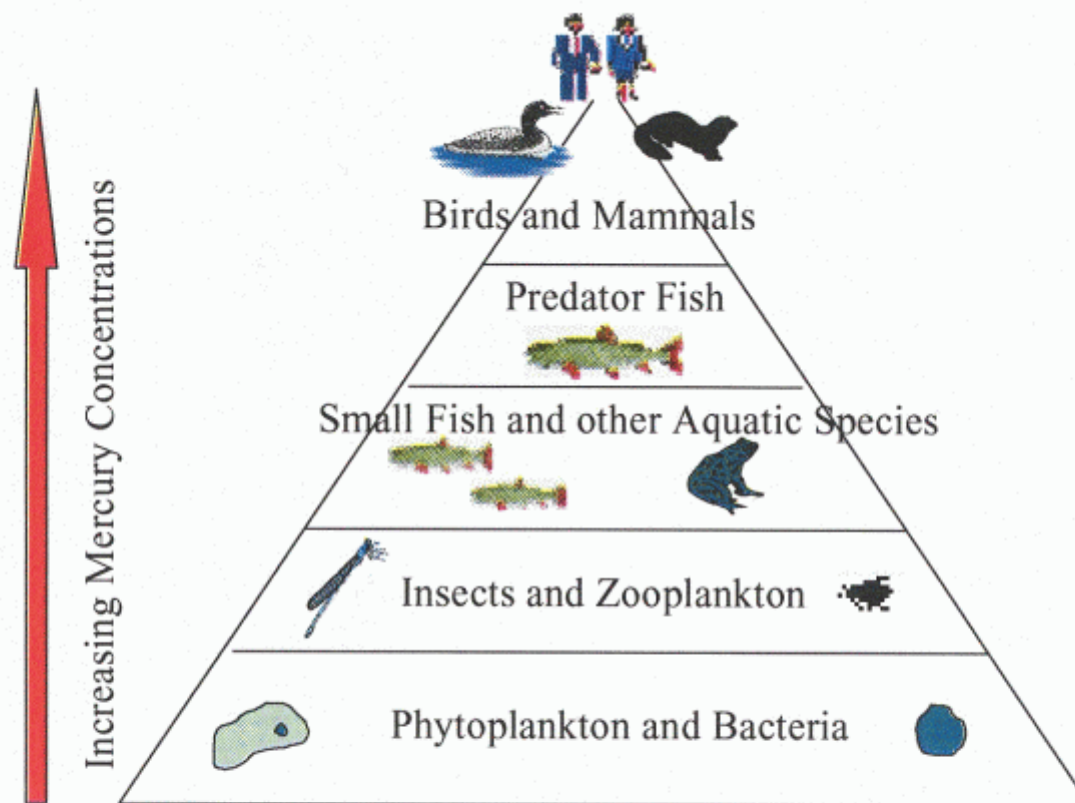
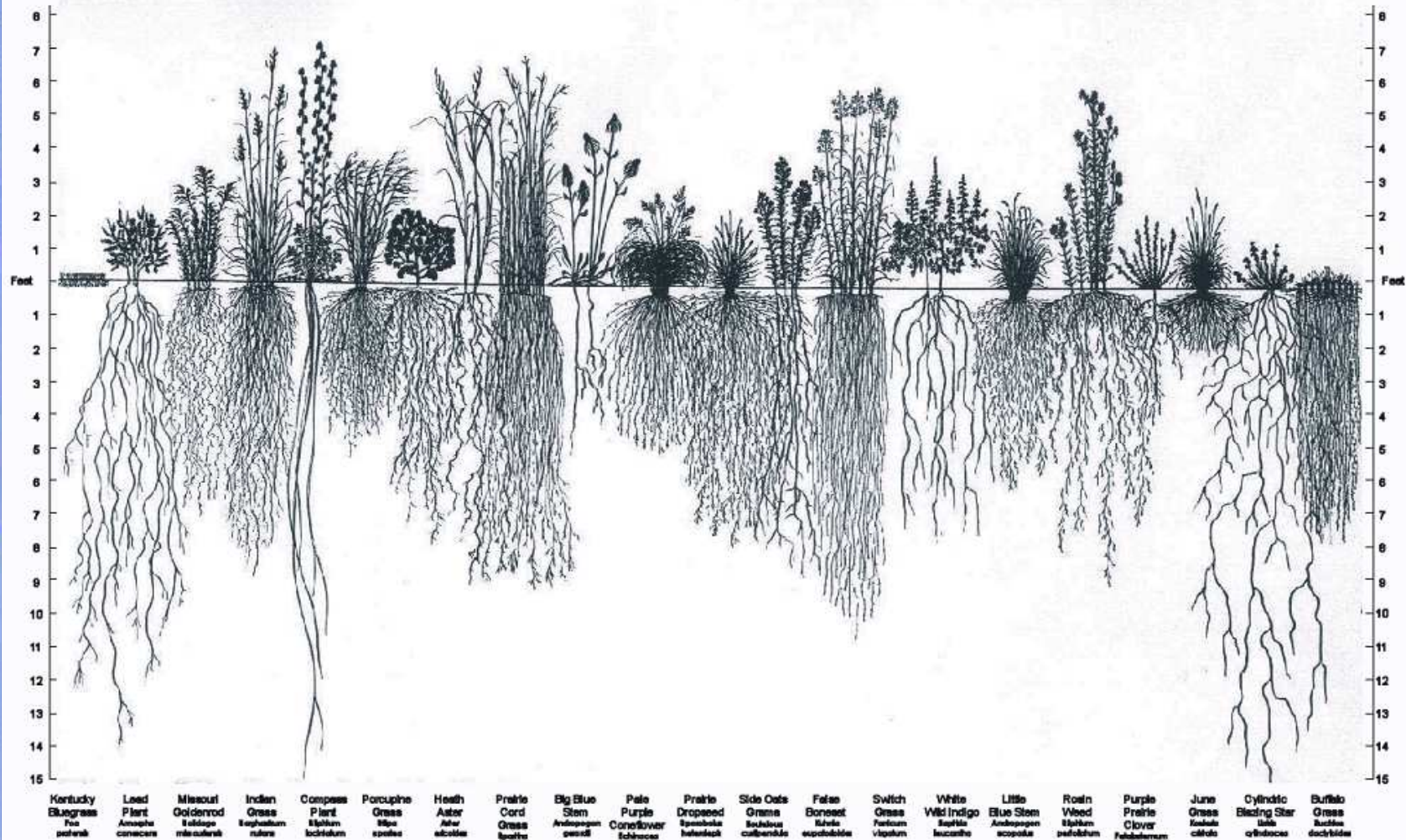


Figure 1. Accumulation of mercury in the food chain.

(Reprinted from Clean the Rain, Clean the Lakes: National Wildlife Federation, 2000)



KONTAMINANTY POD DOSAHEM KOŘENOVÉ ZÓNY





DLOUHODOBÝ PROCES

Modelové podmínky:

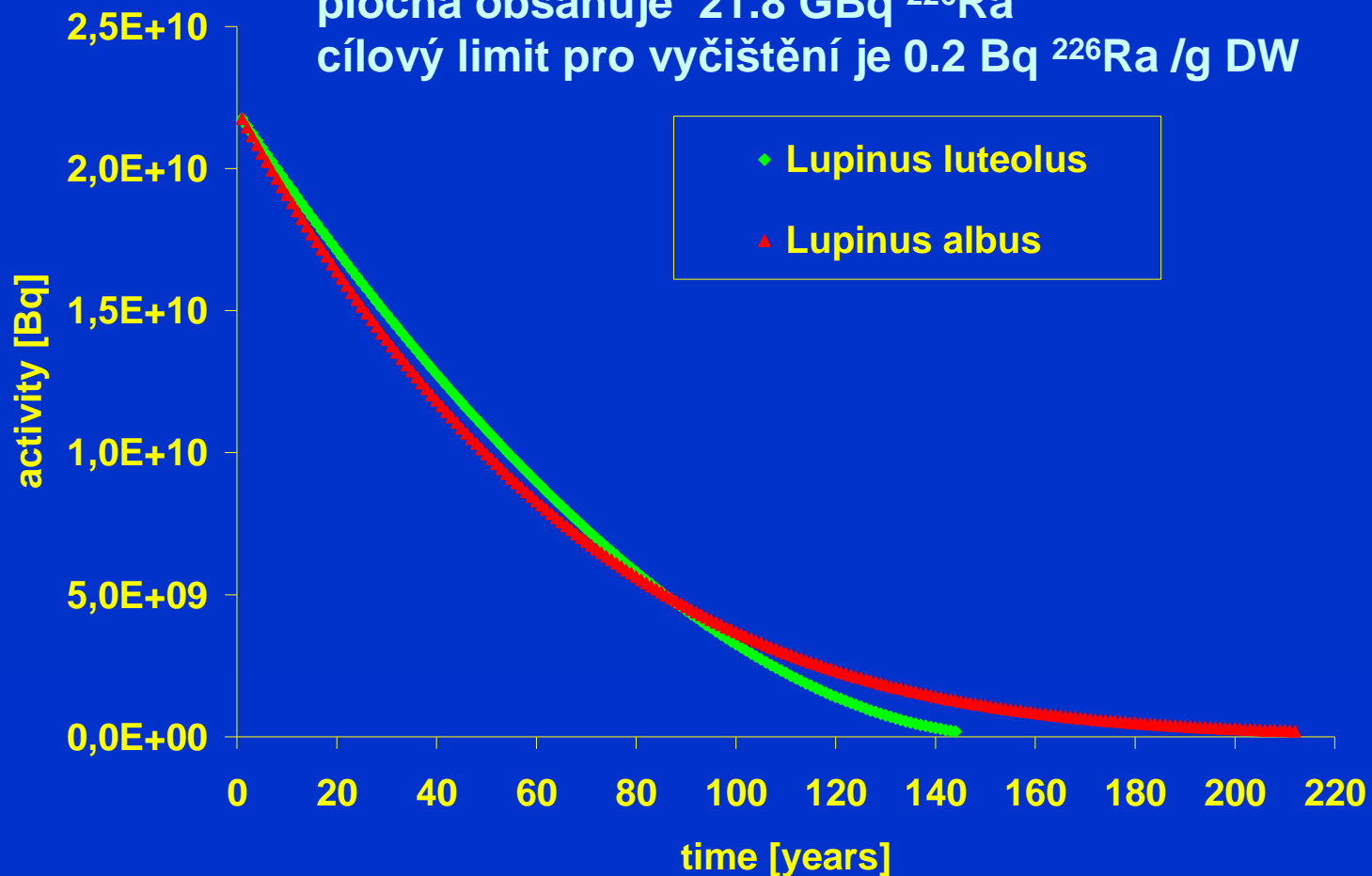
aktivita půdy v Mydlovarech = 21.75 Bq ^{226}Ra /g DW

množství kontaminované půdy = 1000 ton

roční produkce *Lupinus* sp. = 10 ton

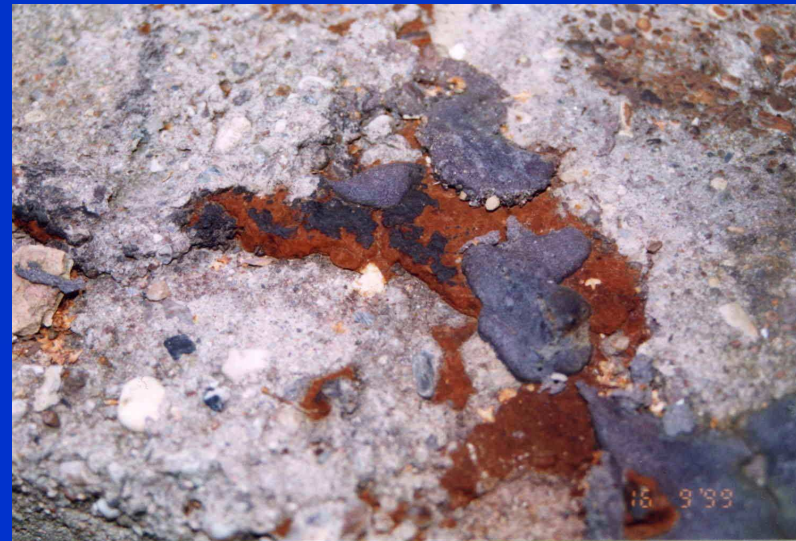
plocha obsahuje 21.8 GBq ^{226}Ra

cílový limit pro vyčištění je 0.2 Bq ^{226}Ra /g DW





KONTAMINANT JE V BIOLOGICKY NEDOSTUPNÉ FORMĚ





CHYBÍ ROSTLINY VHODNÉ PRO REMEDIACI



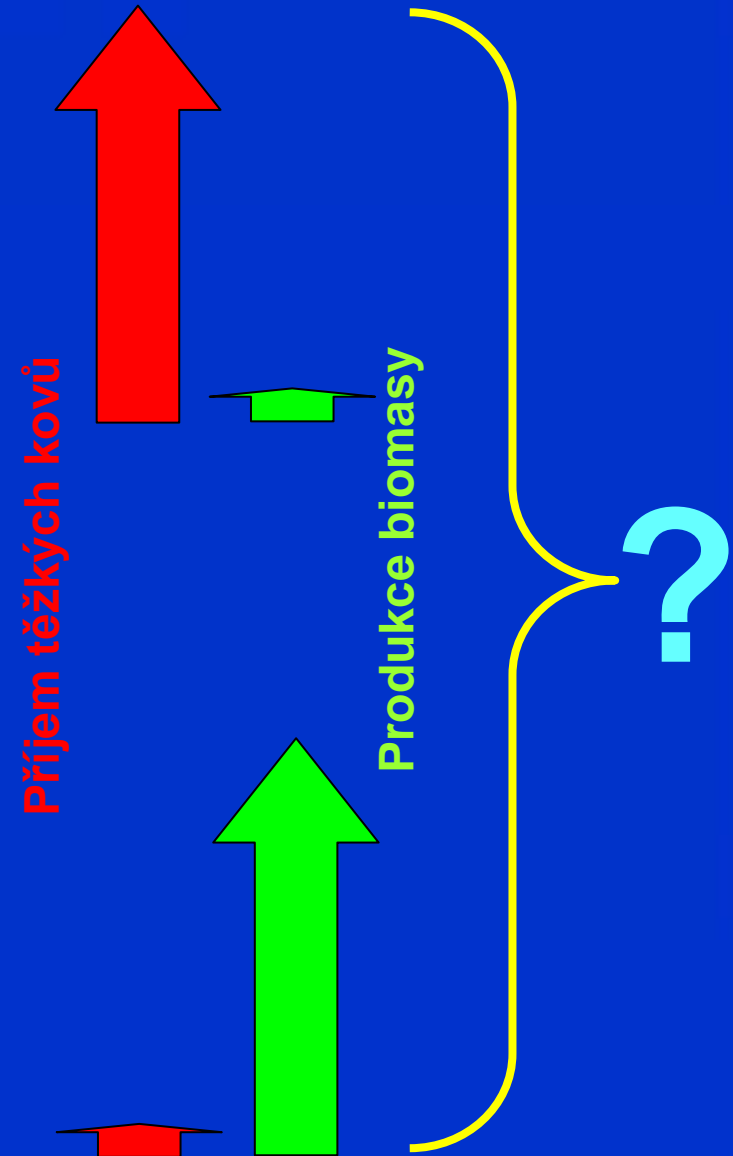
Rostliny pro
remediaci



Thlaspi calaminare



Helianthus annuus





VYLEPŠENÍ FYTOREMEDIACE



VYLEPŠENÍ FYTOREMEDIACE



Rostlinná selekce

Úprava a hnojení půdy

Zvýšení biodostupnosti pomocí syntetických chelatorů

Hustota rostlin při výsevu

Střídání plodin

Podpora plodin (hubení škůdců a zavlažování)

Výzkum



TRANSGENNÍ ROSTLINY

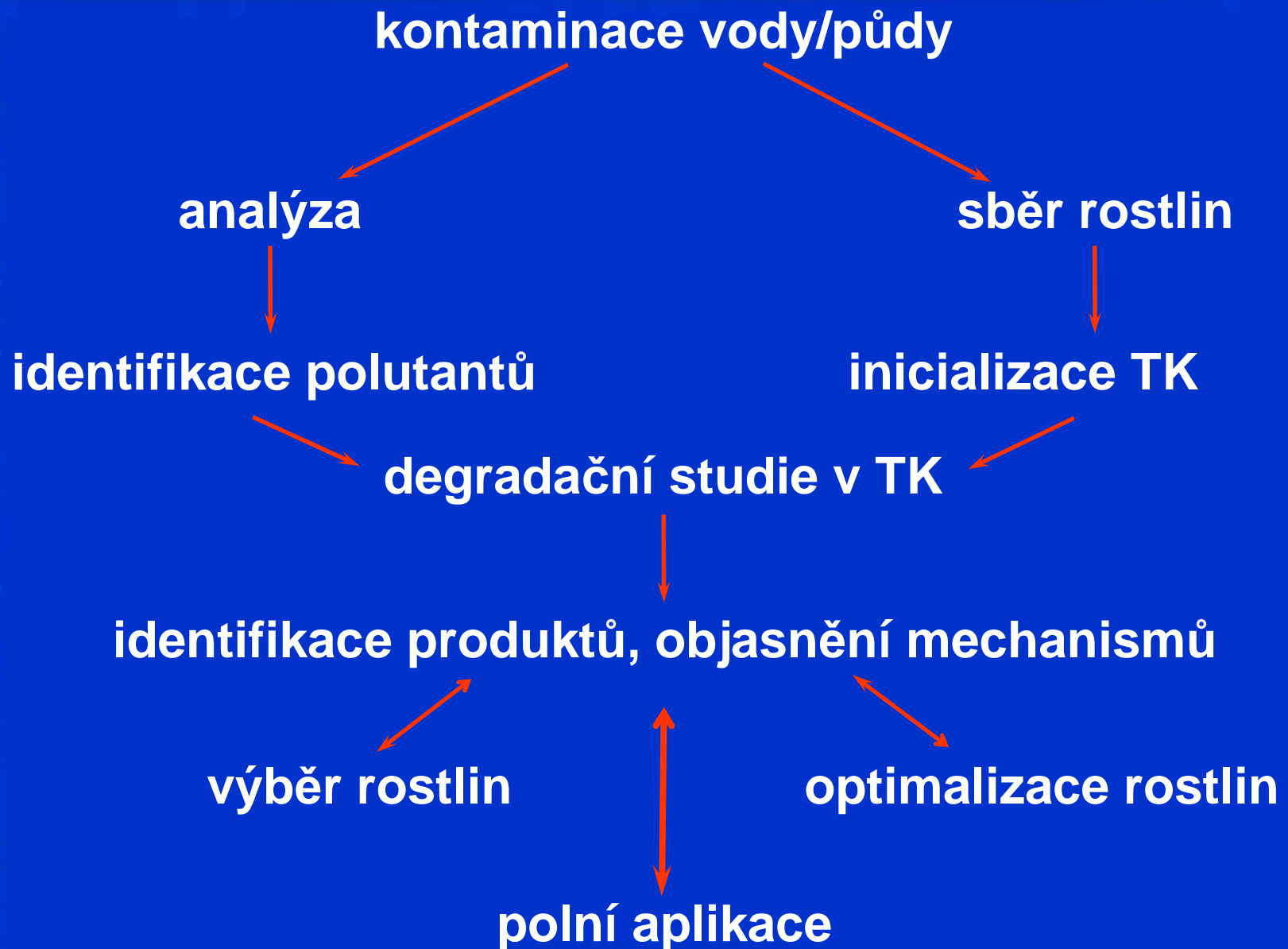
Genetické úpravy ke zvýšení tolerance/akumulace/degradace:

- **Metallothioneiny, fitochelatiny a chelatory kovů**
- **Transportéry kovů**
- **Enzymatické transformace**
- **Alternativní metabolické cesty**
- **Změny v mechanismu oxidativního stresu**
- **Změny v kořenovém systému**
- **Změny v produkci biomasy**





OBECNÝ POSTUP





BOTANICKÝ PRŮZKUM

1. Průzkum kontaminované lokality
2. Documentace rostlin
3. Sběr rostlin a semen pro herbář a *in vitro* studie





Saponaria officinalis

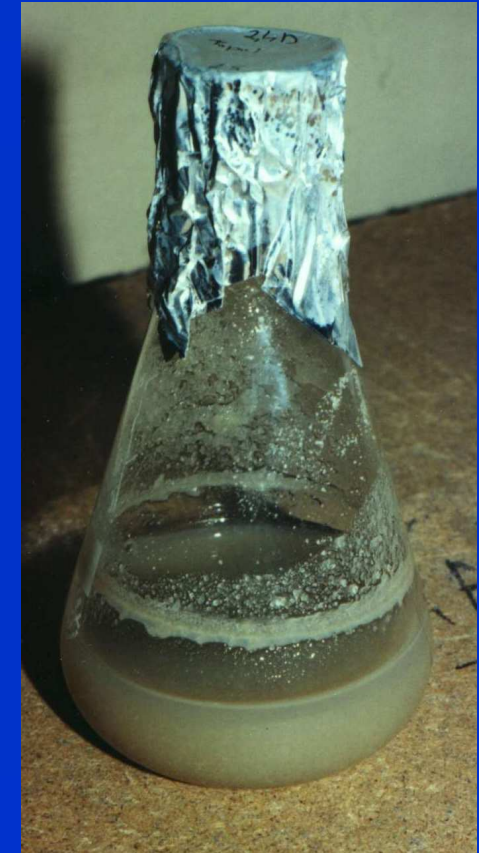


→ semena

↓ sterilizace

iniciace kalusu

↓
nediferencovaná
buněčná kultura

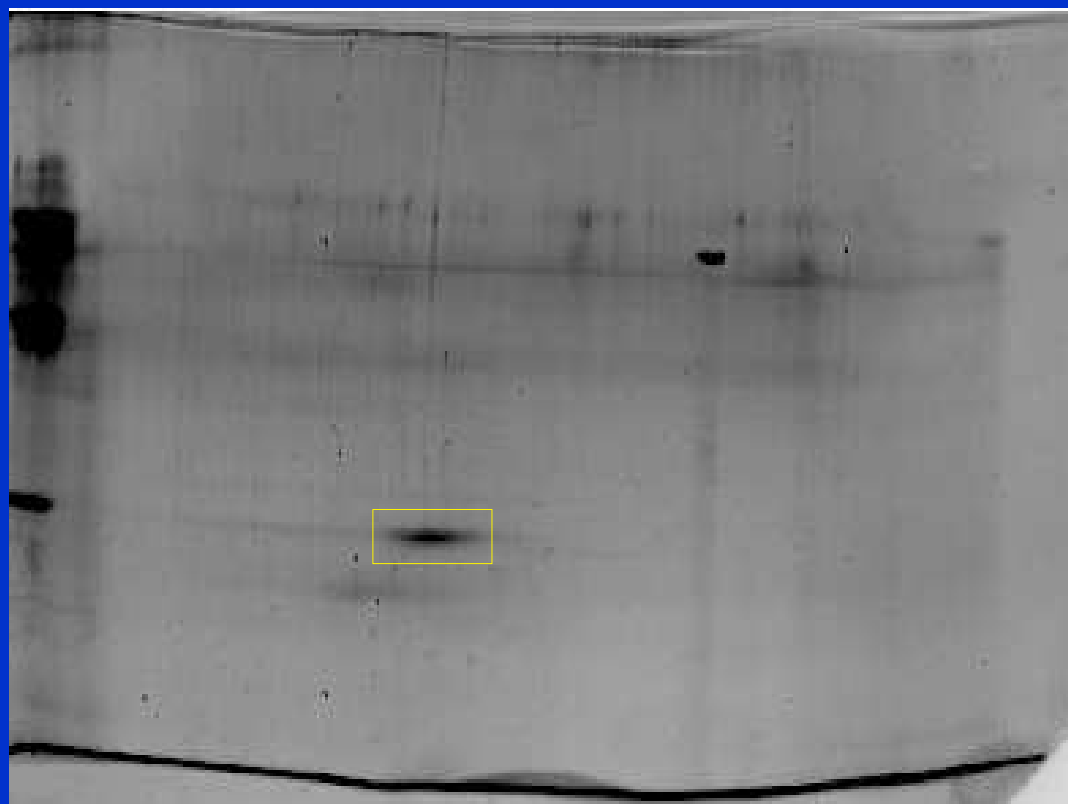




IDENTIFIKACE ZODPOVĚDNÝCH PROTEINŮ



97,4
67
45
29
kDa





SOMATICKÁ HYBRIDIZACE BUNĚK



Asymmetrický somatický hybrid 60/31 (B) a jeho rodiče *Brassica juncea* (A) a *Thlaspi caerulescens* (C) rostoucí v půdě obsahující 800 mg/kg olova, 328 mg/kg niklu, a 7,600 mg/kg zinku.

Gleba *et al.*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA (1999) 96: 5973–5977



OVEREXPRESSE GENŮ



Fytoextrakce

metallothionein

glutathion synthetasa

(γ -Glu-Cys) synthetasa

ATP sulfurylase

serin acetyl transferasa

fytochelatin synthasa

glutathion reduktasa

cystein synthasa

selenocystein methyltransferasa

cystathionin- γ -synthasa

arsenat reduktasa

kation kanál

vakuolový transportér

Zn a Fe transportér

transportér těžkých kovů

transportní protein

ferric reduktasa

Phytovolatilization

Hg(II) reductase

organomercurial lyase

cystathionine- γ -synthase

selenocysteine methyltransferase

Fytodegradace

PETN reduktasa

nitro-reduktasa

γ -ECS and GS

lidský cytochrom

savčí cytochrom

krysí mono-oxygenasa

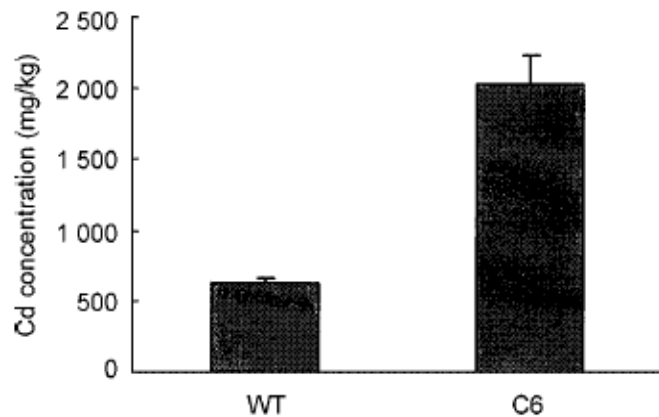
Cherian and Oliveira, Environ. Sci. Technol. (2005) 39,9377-9390



PŘÍJEM KADMIU TABÁKEM

Transgenní a „wild-type“ tabák byly kultivovány s 300 $\mu\text{mol/L}$ Cd^{2+} 10 dní Linie C6 měla zvýšenou resistenci vůči Cd^{2+} .

(A) List C6 před kultivací. (B) List „wild type“ před kultivací
(C) List C6 po kultivaci. (D) List „wild type“ po kultivaci



Koncentrace Cd v tabáku po 3 týdnech kultivace s 100 $\mu\text{mol/L}$ CdCl_2 .
WT, „wild type“ rostliny
C6, transgenní linie

Li *et al.*, *Journal of Integrative Plant Biology* (2006) 48:928–937

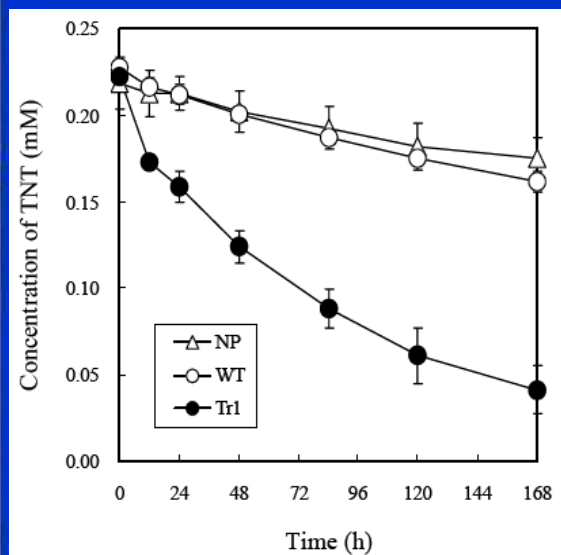
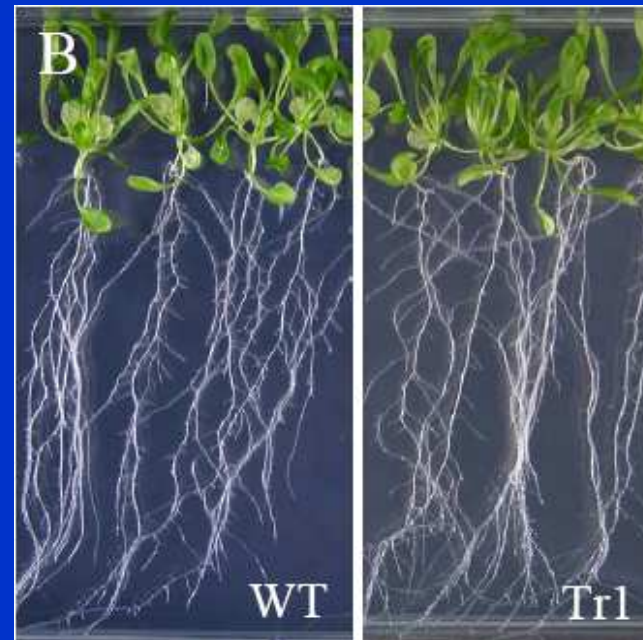




DEGRADACE TNT POMOCÍ *ARABIDOPSIS*



Srovnání tolerance k TNT mezi „wild-type“ (WT) a transgenní linií (Tr1). Deset semen z každé linie bylo kultivováno v přítomnosti (A) a bez přítomnosti (B) 0.1 mM TNT po 21 dnech.



Deset dní staré semenáčky rostoucí asepticky byly inkubovány v mediu obsahujícím 0.25 mM TNT po 7 dní. Koncentrace TNT v mediu vynesena proti času inkubace v přítomnosti „wild-type“ (WT) nebo transgenních (Tr1) rostlin a bez přítomnosti rostlin (NP).

Kurumata et al., *Z. Naturforsch.* (2005) 60c, 272-278



JINÉ TYPY REMEDIACÍ



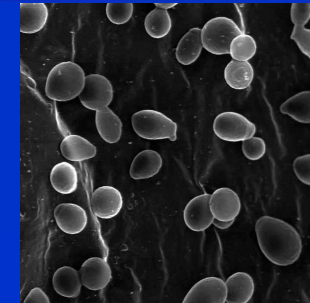
JINÉ TYPY REMEDIACÍ



mykoremediace



zooremediace



bioremediace

Kontaminace

fytooremediace



algaremediace



ekoremediace

