

Rizikové látky v půdě

- Historie kontaminací
- Vícefázové proudění
- Přehled metod sanace

Slovník ekotoxikologie

- zabývá se toxickými efekty chemických a fyzikálních látek na živé organismy
- zkoumá jejich vliv pomocí specifických testů a nebo zpětného posouzení vývoje populací
- věda předpovídající vliv chemikálií na ekosystémy

polutant v. kontaminant

- obecně látky, které se vyskytují v hladinách vyšších než se normálně předpokládá
- polutant má potenciální možnost způsobovat poškození
- xenobiotická látka – cizí pro organismus

poškození nebo škoda

- poškození (harm): vážné ohrožení změn organismu a jeho vývoje
- škoda (damage): interakce mezi látkou a biologickým systémem

Slovník ekotoxikologie

cílové hodnoty. dávka. koncentrace

- míry obsažení látky v organismu. potravě nebo prostředí
- LD50 (lethal dose) – smrtelná dávka. která zabije 50% populace
- LC50 (lethal concentration) – smrtelná koncentrace. která zabije na 50% populace
- ED50/EC50 (median effect dose/concentration). dávka nebo koncentrace. která se projeví na 50% populace
- NOED/NOEC/NOEL (No Observed Effect Dose/Concentration/Level) – koncentrace při níž nedochází k efektu
- LOED/LOE (Lowest Observed Effect Dose) – nejnižší pozorovatelná dávka (kdy se projeví její vliv)

hazard a riziko

- hazard – potenciál působit poškození
- riziko - pravděpodobnost že je poškození způsobeno
- synergie – možnost součinnosti látek při zvyšování rizika

Informace o zemích – CIA

zásadní problémy v oblasti půd

- **Zasolení půd** – Australia, Egypt, Irán, Irák, Omán, Tadžikistán, Turkmenistán, Uzbekistán
- **Degradace půd** - Argentina, Bangladéš, Severní Korea, Nigérie, Venezuela, Vietnam
- **Vážné problémy s pesticidy**: Arménie, Bělorusko, Kolumbie, Kazachstán, Moldávie, Rumunsko, Rusko, Tadžikistán, Turkmenistán,
- **Rizikové nakládání s radioaktivními odpady** - Uzbekistán
- **Vzdušné depozice, přehnojování** - Lucemburk, Rakousko
- **Těžké kovy** - Bulharsko
- **Průmyslové znečištění** - Barma
- **Nesprávné ukládání odpadu** - Čad, Salvador, Gruzie, Tunis
- **Ztráta půdy vlivem průmyslového rozvoje** - Čína
- **Přeměna v pouště** - Lesoto, Peru, Senegal
- **Ropné produkty** – vojenské základny: Litva, Azerbajdžán
- **Kyselá deště** - Švédsko
- **Česká Republika** – kontaminace vzduchu a vod v severních Čechách a na severní Moravě s přímým ohrožením zdraví. kyselá deště poškozující lesy

Vývoj v oblasti toxických látek v USA

- Historie
 - významné události
 - vznik EPA, Superfund a NPL (National Priorities List)
- po 2. sv válce obrovský rozmach ekonomiky
 - objevy v organické chemii
 - velké objemy odpadu z průmyslu
 - nedostatek znalosti v oboru životního prostředí a zdraví

Vývoj v oblasti toxických látek v USA

- Rachel Carson publikuje *Silent Spring* v 1962 – toxicita pesticidů a jejich neznámé souvislosti v prostředí – elixíry smrti
- kontaminační případy – otrava rtutí v rybách (Jap.)
- vyrážky při používání oleje na vaření s PCB látkami
- Love Canal, 1977, černé kaly prosakují v domech ve městě Niagara Falls, NY
 - benzenové výpary v kuchyních – bolesti hlavy, obtíže dýchání, problémy s kůží
 - detekce dioxinu – defekty u novorozenců
 - evakuace na náklady vlády of 30 miliónů dolarů

Vznik agentur žp v USA

- 1970 – **Environmental Protection Agency** (EPA) koordinace obrany před polutanty se škodlivým účinkem na obyvatelstvo
- 1980 – Congress přijímá “Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (Zákon o odpovědnosti závaznosti a kompenzace v životním prostředí) tzv. “**Superfund**”
 - zvláštní daň v chemickém a ropném průmyslu
 - široká moc řešit problémy vypištěných nebezpečných odpadů

Dnes projektech také financuje **DOE** (Dept. of Energy), **DOD** (Dept. of Defense) a **DOA** (Dept. of Agriculture)

Legislativní předpisy v ochraně půdy v ČR

V působnosti Ministerstva životního prostředí

- Zákon č. 17/92 Sb. O životním prostředí.
- Zákon 114/92 Sb. O ochraně přírody a krajiny.
působnost orgánů ochrany přírody a krajiny, vztah k ochraně půdy.
- Zákon č. 334/92 Sb. O ochraně ZPF.
(změny kultur, zásady hospodaření na ZPF z hlediska ochrany, ochrana ZPF při územně plánovací činnosti, podmínky odnětí ZPF. odvody za odnětí. působnost orgánů ochrany ZPF).
- Zákon 244/92 Sb. O posuzování vlivů na životní prostředí.
u staveb s parametry definovanými vyhláškou je nezbytné provést vyhodnocení podle přílohy zákona, součástí je též ochrany půdního fondu.
- Zákon 125/97 Sb. O odpadech.
- Vyhláška č. 13/94 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany ZPF.
kritéria ke změnám kultur. vymezení nejvýše přípustných obsahů škodlivých látek v půdě, postupy k zajištění ochrany ZPF a obsah vyhodnocení.
- Vyhláška 337/97 Sb.. kterou se vydává Katalog odpadů a stanoví další seznamy odpadů (Katalog odpadů).

Legislativní předpisy v ochraně půdy v ČR

V působnosti Ministerstva životního prostředí

- Vyhláška 338/97 Sb. O podrobnostech nakládání s odpady.
- Metodický pokyn odboru pro ekologické škody MŽP ČR k zabezpečení usnesení vlády ČR č. 393 ze dne 13. července 1994. o zásadách dalšího postupu při privatizaci - postup zpracování analýzy rizika (nabytí účinnosti od 31. 7. 1996).
- Metodický pokyn odboru ochrany lesa a půdy MŽP ČR ze dne 1.10. 1996 č.j. OOLP/1067/96 k odnímání půdy ze zemědělského půdního fondu podle zákona ČNR 334/1992 Sb.. o ochraně ZPF ve znění zákona ČNR 10/1993 Sb.
- Metodický pokyn odboru pro ekologické škody MŽP ČR - kritéria znečištění zemin a podzemní vody (nabytí účinnosti od 31. 7. 1996).

V působnosti Ministerstva zemědělství

- Zákon 229/91 Sb. O úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku ve znění pozd. předpisů. restituční pozemkový fond (půda ve vlastnictví státu).
- Zákon 284/91 Sb. O pozemkových úpravách + prováděcí vyhláška.
- Zákon 569/91 Sb. O pozemkovém fondu + prováděcí vyhláška.

Legislativní předpisy v ochraně půdy v ČR

V působnosti Ministerstva zemědělství

- Vyhláška 215/95 Sb., kterou se stanoví Seznam katastrálních území s přiřazenými průměrnými cenami zemědělských pozemků, odvozenými z bonitovaných půdně ekologických jednotek zemědělských pozemků.
- Zákon 115/95 Sb. O vinohradnictví a vinařství a o změně některých souvisejících právních předpisů.
- Zákon 289/95 Sb. O lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon).
- Zákon 110/97 Sb. O potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů.
- Vyhláška 298/97 Sb., kterou se stanoví chemické požadavky na zdravotní nezávadnost jednotlivých druhů potravin a potravinových surovin. podmínky jejich použití. jejich označování na obalech. požadavky na čistotu a identitu přídatných látek a potravních doplňků a mikrobiologické požadavky na potravní doplňky a látky přídatné.
- Zákon č. 156/1998 Sb. O hnojivech, pomocných půdních látkách. pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech).

Legislativní předpisy v ochraně půdy v ČR

V působnosti Ministerstva zemědělství

- Vyhláška č. 271/98 Sb. O stanovení požadavků na hnojiva
- Vyhláška č. 273/98 Sb. O odběrech a chemických rozborech vzorků hnojiv
- Vyhláška č. 274/98 Sb. O skladování a způsobu používání hnojiv
- Vyhláška č. 275/98 Sb. O agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků.

Další předpisy

- Zákon 403/92 Sb. O okresních úřadech a Zákon 410/92 Sb. O obcích.
- Zákon 50/76 Sb. O územním plánování a stavebním řádu ve znění pozd. předpisů
při vyhotovování územně plánovací dokumentace je nezbytný souhlas orgánu ochrany ZPF.
- Vyhláška 279/97 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení Zákona 115/97 Sb., o oceňování majetku a o změně některých zákonů (oceňování staveb. pozemků a trvalých porostů (příloha č.16)).

Kontaminace půd v ČR

Hodnocení kontaminace

- Půda - člověk (vdechování, přímý vstup do zažívacího ústrojí)
- Půda - potravinu - člověk (vstup přes rostliny jako suroviny pro výrobu potravin)
- Půda - krmivo - zvíře - člověk (vstup přes živočišnou výrobu)
- Půda - voda - člověk (vstup prostřednictvím povrchových a podzemních vod)

Limity obsahů látek

- Výčet látek považovaných za potenciální kontaminanty půd je uveden v našich legislativních předpisech (Vyhláška č. 13/94 Sb. k zákonu č. 334/92 Sb. a vyhláška č. 275/98 Sb. k zákonu č. 156/98 Sb.).
- Limitní hodnoty rizikových látek v zemědělských půdách Podle Vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 13/94 a zákona č. 334/92 Sb.

Stav kontaminace zem. půd v ČR

Systematicky je v půdách ČR sledován stav a vývoj obsahů látek, jež mají **persistentní** charakter působení a jejichž rozšíření je víceméně **plošné**:

Anorganické látky

As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Tl, V, Zn

Organické látky

polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), sleduje se seznam vybraných 16 nebo 12 individuálních uhlovodíků

polychlorované bifenyly (PCB)

persistentní organochlorové pesticidy a jejich metabolity (DDT, DDE, HCH, HCB).

Sledování

- programů bazálního monitoringu zemědělských půd
- registr kontaminovaných ploch.
- Základní statistické zpracování výsledků těchto programů poskytuje
- Databáze registru kontaminovaných ploch obsahuje souřadnice ploch
- Mapy registru kontaminovaných ploch.

Vstupy látek do zem půdy v ČR

	g.ha⁻¹.rok⁻¹			
	Cd	Cr	Pb	Hg
Hnojiva	0.639	7.610	1.624	0.004
Atmosférická depozice	1.312	7.132	30.790	0.200
Aplikace kalu COV	0.058	4.250	1.790	0.060

Limity rizikových prvků v půdách ČR

anorganické	výluh HNO₃		výluh lučavkou královskou	
	lehké půdy	ostatní půdy	lehké půdy	ostatní půdy
As	4.5	4.5	30	30
Be	2.0	2.0	7.0	7.0
Cd	0.4	1.0	0.4	1.0
Co	10.0	25.0	25.0	50.0
Cr	40.0	40.0	100.0	200.0
Cu	30.0	50.0	60.0	100.0
Hg	-	-	0.6	0.8
Mo	5.0	5.0	5.0	5.0
Ni	15.0	25.0	60.0	80.0
Pb	50.0	70.0	100.0	140.0
V	20.0	50.0	150.0	220.0
Zn	50.0	100.0	130.0	200.0

B -40, Br 20, F 500, CN – 5, CN toxické -1, S sulfatická – 2 mg/kg sušiny

Limity rizikových prvků v půdách ČR

a) aromatické uhlovodíky a jejich deriváty	
benzen	0.05
ethyl benzen	0.05
fenol	0.05
xyleny	0.05
aromáty celkem	0.3
b) polycyklické aromatické uhlovodíky	
anthracen	0.01
benzo (a) anthracen	1.0
benzo (a) pyren	0.1
phenanthren	0.1
fluoranthren	0.1
chrysen	0.01
naphtalen	0.1
polycyklické aromatické uhlovodíky celkem	1.0

c) chlorované uhlovodíky	
alifatické (jednotlivé)	0.1
alifatické (celkem)	0.1
chlorobenzeny (jednotlivé)	0.01
chlorofenoly (jednotlivé)	0.01
PCB	0.01
EOCl (extrahovatelný organicky vázaný chlor)	0.1
d) pesticidy	
organické chlorované (jednotlivé)	0.01
organické chlorované (celkem)	0.1
ostatní (jednotlivé)	0.01
ostatní (celkem)	0.1
e) ostatní látky	
cyclohexanol	0.1
pyridin	0.1
styren	0.1
nepolární uhlovodíky (celkem)	50

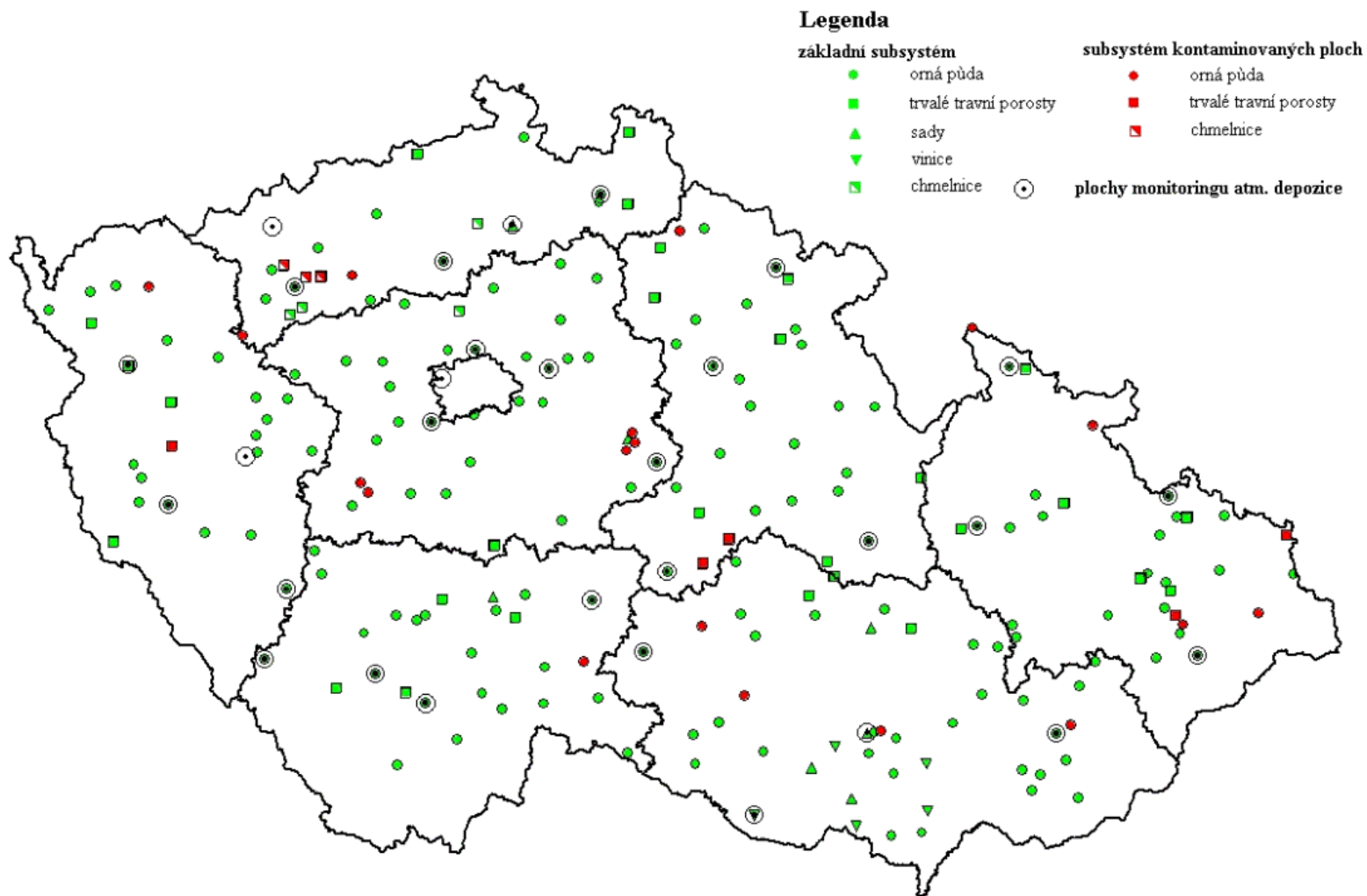
mg/kg sušiny

Bazální monitoring v půdách ČR

- v provozu od roku 1992 - 200 pozorovacích ploch, opakování 1995
- od 1996 - 27 pozorovacích ploch na kontaminovaných zemědělských půdách,
- pozorovací plocha je definována jako obdélník 40 x 25 m, tj. 1000 m²
- záznam geodetických souřadnic, pedologická sonda
- z každé plochy jsou odebírány čtyři směsné vzorky půdy z ornice a z podorničí po úhlopříčkách pozorovací plochy (u trvalých travních porostů ze tří horizontů).
- základní perioda odběru je 6 let, vybrané parametry každý rok

Bazální monitoring v půdách ČR

Lokalizace pozorovacích ploch bazálního monitoringu zemědělských půd
základní subsystém, subsystém kontaminovaných ploch a plochy monitoringu atmosférické depozice



Bazální monitoring v půdách ČR

prováděné analýzy

- soubor fyzikálních charakteristik, aktivní a výměnná půdní reakce
- obsah přístupných živin - P, K, Mg stanovený různými metodami
- obsah mikroelementů (B, Mo, Mn, Zn, Cu)
- sorpční kapacita, obsah organické hmoty (C_{ox})
- obsah rizikových prvků (Pb, Cr, Cd, Hg, V, Be, Ni, Co, Cu, Zn) ve výluhu HNO₃, dále po rozkladu lučavkou královskou a celkový obsah extrakcí směsí minerálních kyselin obsah minerálního dusíku
- obsah organických kontaminantů
- obsahy rizikových prvků v rostlinách na vybraném souboru pozorovacích ploch
- vybrané vlastnosti mikrobiální biomasy

Bazální monitoring v půdách ČR

dosavadní výsledky

Anorganické látky

1995 a 1998 obecně není statisticky průkazné - Cd a Pb statisticky významně vyšší obsah v ornici než v podorničí.

Organické polutanty

35 pozorovacích ploch na zemědělské půdě a na 5 plochách chráněných územích - sledován stav a 16 PAU a PCB, 1997-1998 nevýznamné změny.

PAH nalezený v nenarušených půdách chráněných území- **vliv dálkového přenosu na plošnou distribuci.**

U PCB pokles na 1/3 za období 90.let, v CHKO minimální výskyt – vliv přenosu je pravděpodobně minimální

Persistentní organochlorové pesticidy nepoužívány, ale stále nacházeny.
Celkový klesající trend vlivem degradace nebyl potvrzen

Staré ekologické zátěže v ČR

za 15 let je známo 8900 lokalit

na 4000 proběhly průzkumné práce

1000: podrobný průzkum

746 sananční práce, 166 sanačních prací
ukončeno

průzkum 73 lokalit po Sovětské armádě

60 lokalit s velkým ekologickým rozsahem

Staré ekologické zátěže v ČR

financováno z prostředků Fondu národní majetku (FNM) – konec 2005

nabyvatelé privatizovaných podniků uzavírají ekologické smlouvy na průzkum, analýzu rizik

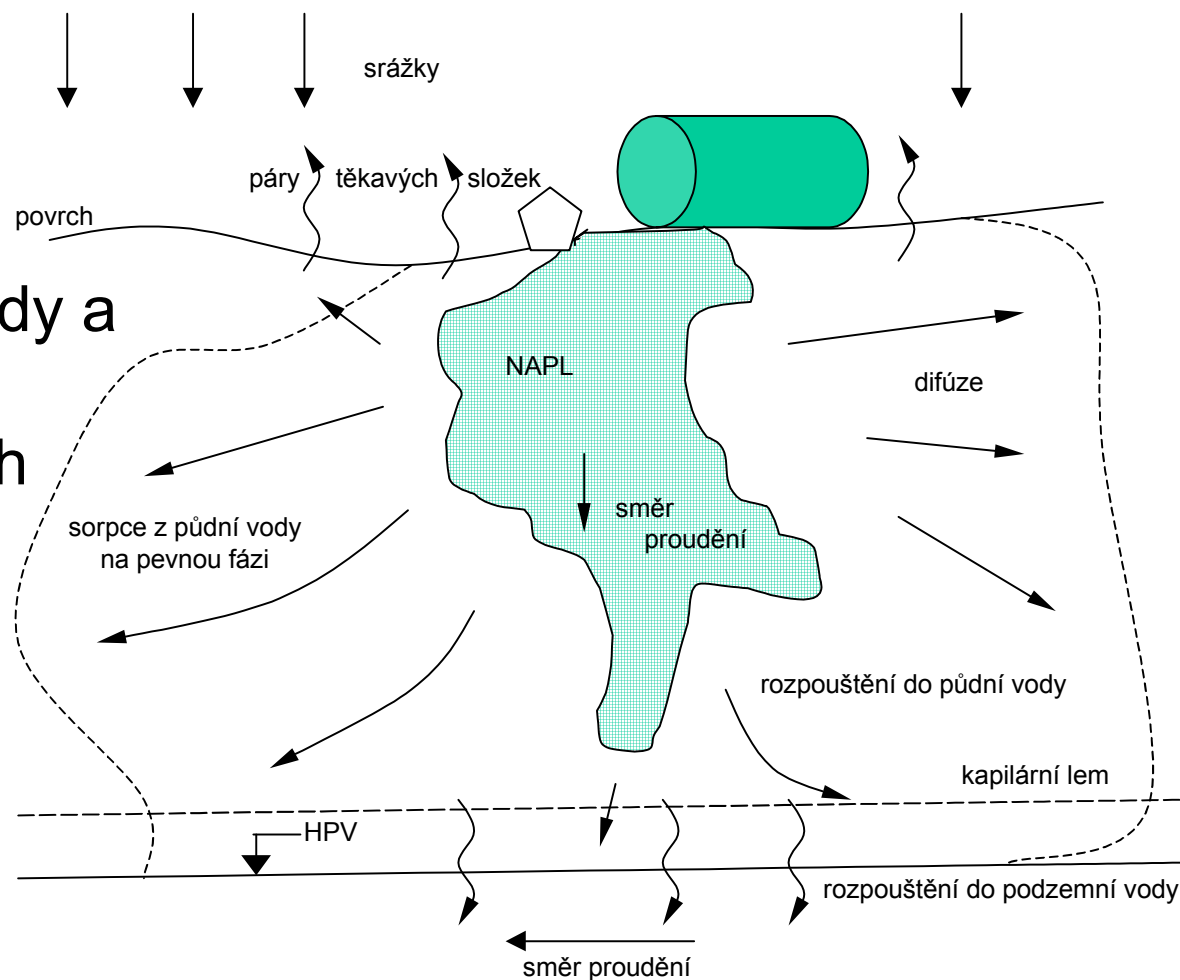
od 1991-2004 - 22 mld. Kč

datovába 3500 starých ekologických zátěží většinou POP – **persistentní organické polutanty**

Vícefázové proudění

NAPL (Non Aqueous Phase Liquids) – rozdílné fyzikální a chemické vlastnosti na fázovém rozhraní neumožňující mísení

souběžný pohyb vody a jedné nebo více s vodou nemísitelných tekutých fází



Příklady NAPLů

Benzen, Toluen, Etylbenzen a Xylen (BTEX)

Metyl-T-Butyl-Eter (MTBE)

Perchloroetylen (PCE), Trichloroetylen (TCE),
Dichloroetylen (DCE), Vinylchlorid (VC)

Volatile Organic Compounds (VOCs)

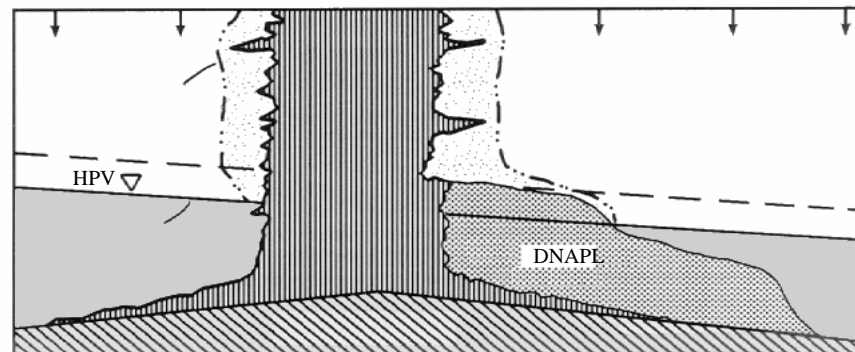
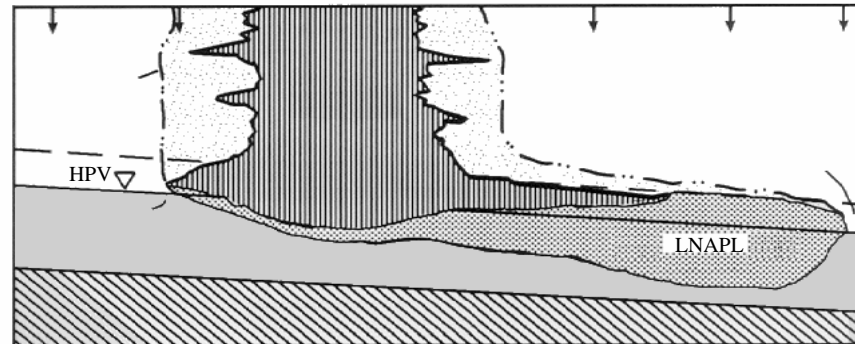
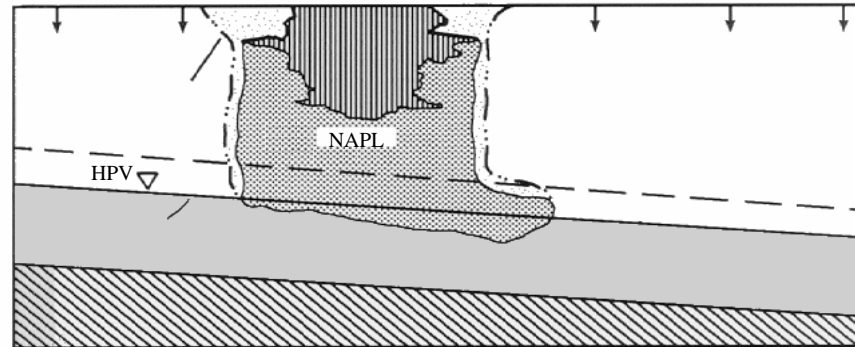
Typy lokalit s výskytem NAPL

- Chlorovaná rozpouštědla a odmašťovadla
TCE : nejčastější DNAPL - dřevovýroba, kovovýroba
- Průmyslová výroba plynu - dehty
- Rafinérie ropy LNAPL (MTBE)
- Vojenské prostory LNAPL/DNAPL

Dělení NAPLů

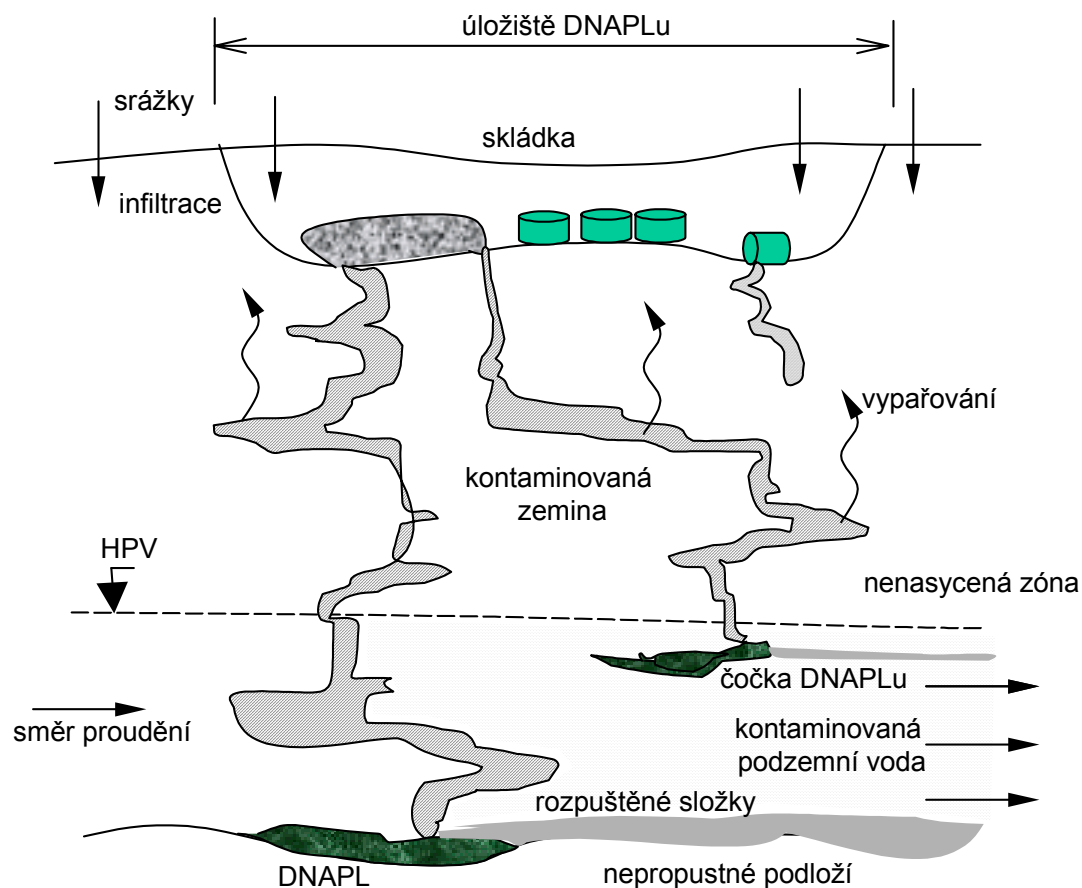
L-NAPL – light NAPL.
lehčí než voda,
jednodušší sanace

D-NAPL – dense
NAPL, těžší než voda.
obtížná sanace



Pohyb NAPLů

- **residuální nasycení** - pohyb směrem k hladině podzemní vody
- **uvolňování** ve vodě rozpustných složek. sekundární znečištění pohybující se vody
- **vypařování** těkavých látek do půdního vzduchu



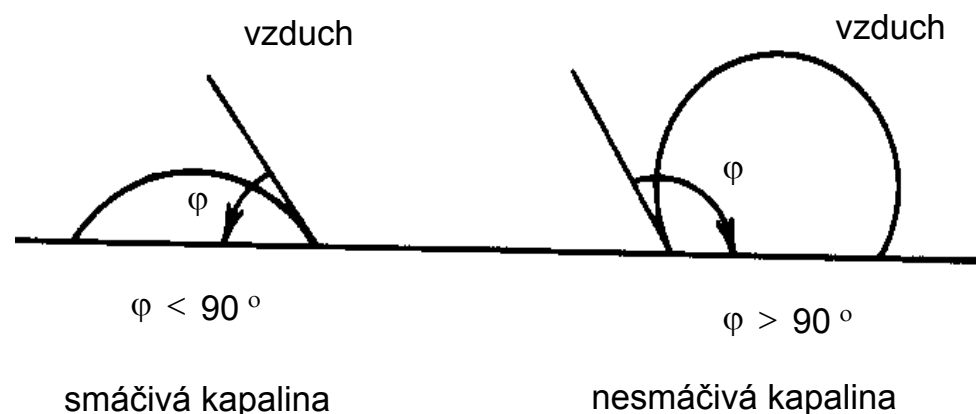
Vlastnosti NAPLů

- **hustota** – (DNAPL-LNAPL) s rostoucí teplotou klesá

- **smáčivost** - schopnost kapalin přilnout přednostně k povrchu pevné fáze v přítomnosti dalších nemísitelných tekutých fází

- **dynamická viskozita** - s rostoucí teplotou klesá odpor tekutiny při proudění (s rostoucí viskozitou klesá hydraulická vodivost)

- **mezifázové napětí** - rozložení energie na rozhraní dvou fází. vyšší mezifázové napětí - stabilnější rozhraní mezi fázemi (závisí na teplotě, chemismu fází, vliv na smáčivost)



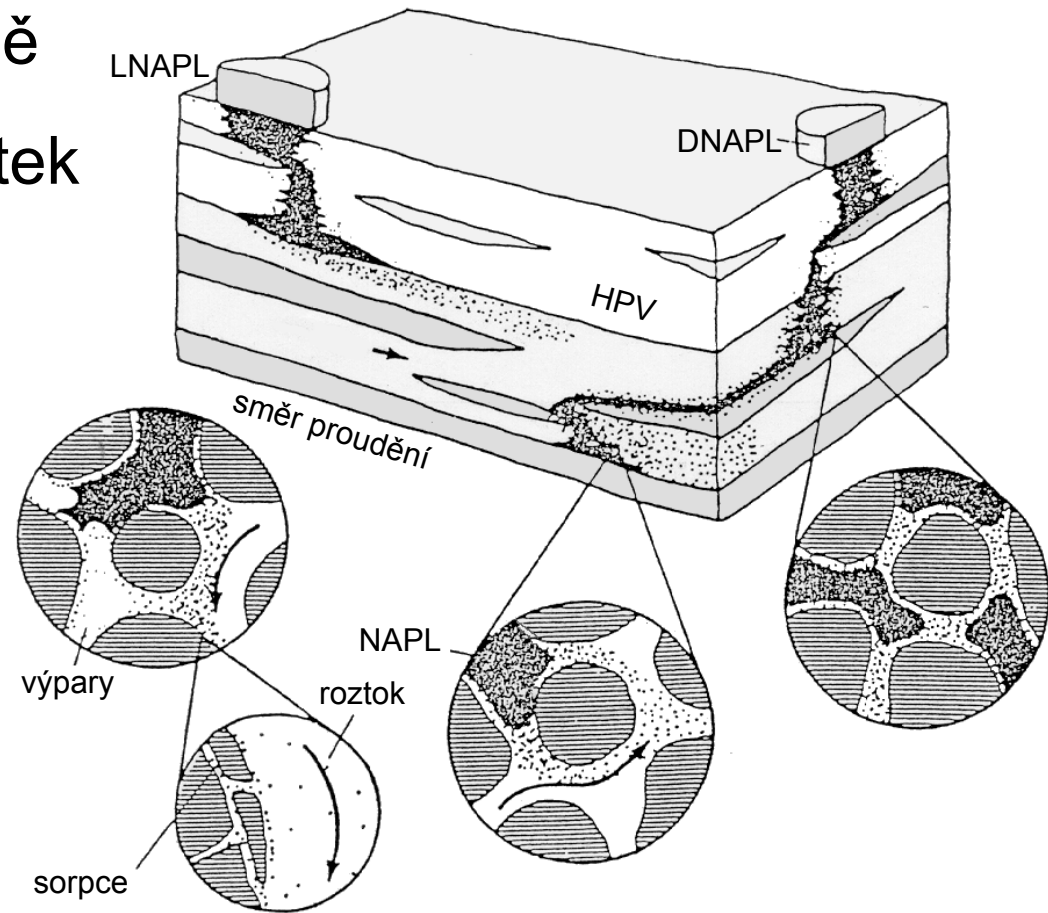
Fázové interakce NAPLů

Reakce složek NAPLů

- rozpouštěním ve vodě
- vypaření těkavých látek
- reakce s pevnou fází

-sorpce

-desorpce



Reziduální nasycenost NAPLů

- nespojité.
- působením kapilárních sil nepohyblivá
- neodstraňená - trvalý zdroj znečištění

Závisí

- na mezifázových napětích
- poměru viskozit a hustot přítomných fází
- hydraulických gradientech
- směru a rychlosti proudění každé přítomné fáze
- zatížena výraznou hysterezí
- v heterogenním prostředí je proměnlivá

	<i>L/m³</i>
• <i>kameny</i>	5
• <i>štěrk</i>	8
• <i>písek</i>	15
• <i>jemný písek</i>	25
• <i>prach</i>	40

EPA – 10-20% pro nenasyc. zónu, 15-50% pro nasyc. zónu
(NAPL v nenasycené zóně – smáčivé fáze ve vztahu ke vzduchu –
malé póry, NAPL v nasycené zóně – nesmáčivé fáze – nepohyblivé
kapky zadržené ve větších pórových prostorech)

Kritéria obtížnosti sanace NAPLy

Hydrogeologické podmínky	Mobilní a rozpuštěné (degraduje/těká)	Mobilní rozpuštěné	Silně sorbované, rozpuštěné	Silně sorbované, rozpuštěné (degraduje/těká)	Samostatná fáze LNAPL	Samostatná fáze DNAPL
jedna homogenní vrstva	1	1-2	2	2-3	2-3	3
souvrství homogenních vrstev	1	1-2	2	2-3	2-3	3
jedna heterogenní vrstva	2	2	3	3	3	4
souvrství heterogenních vrstev	2	2	3	3	3	4
rozpuštěné podloží	3	3	3	3	4	4

nejjednodušší = 1 / nejtěžší = 4

Přehled technologií dle snížení rizika

- **Degradace**
rozklad škodlivé látky – samovolný, podpořený (UV záření)
- **Chemická transformace**
oxidace, redukce, systéza
- **Sterilizace**
změna životaschopnosti organismů
- **Naředění**
nejběžnější technologie snížení pod limity (směsi s pískem, rašelinou, zeminou)
- **Fixace**
snížení schopnosti migrace
- **Izolace**
zamezení migrace

Přehled technologií dle využívaných procesů

- **Fyzikální**

ředění, homogenizace, destilace, tíhová separace, flotace, solidifikace, stabilizace, sedimentace, filtrace, magnetická separace, extrakce (vodou, parou, vzduchem, rostlinami, mikroby), mikrofiltrace, termické procesy (spečení, vitrifikace), venting, stripping

- **Fyzikálně chemické**

adsorpce, dialýza (sorpce), chemisorpce, iontová výměna, reversní osmoza, solidifikace, elektrochemické procesy, termické procesy desorpce

- **Chemické**

neutralizace, rozpouštění, vysrážení, oxidace (vysušením, ozonizací, hořením, aerací, UV zářením), redukce, koagulace, fotosyntéza, dehalogenizace

- **Biologické**

aerobní + anaerobní procesy, degradace ve vznosu, rostlinná extrakce vč. zaorávání, bioreaktory

Přehled technologií dle mechanismů likvidace rizikových látek

- **Mechanické odstranění**

odtěžení, drcení

- **Degradace**

stimulace rozkladu, spalování

- **Extrakce**

uvolnění, odčerpání, odtěžení

- **Fixace**

zabránění rozpouštění, difuzi, filtraci

- **Izolace**

pasivní vertikální - těsnící zářezy, injekční clony,

pasivní horizontální – folie, betonové desky, asfalt, jíl, atd.

aktivní – hydraulické bariéry

Přehled technologií sanací dle místa

- **Metody "ex situ"**

odstranění primárního (např. podzemní nádrže na pohonné hmoty) a sekundárního (kontaminovaná zemina) zdroje dotace polutantů ze zájmového prostoru. Likvidace je prováděna selektivním odtěžováním znečištěné zeminy a její dekontaminací v lokalitě sanace (**on site**) nebo transportem na povolené dekontaminační zařízení (**off site**)

- **Metody "in situ"**

sanační technologický postup nedestruktivním způsobem aplikován přímo do půdního a horninového prostředí nebo do podzemních vod

Technologie In Situ

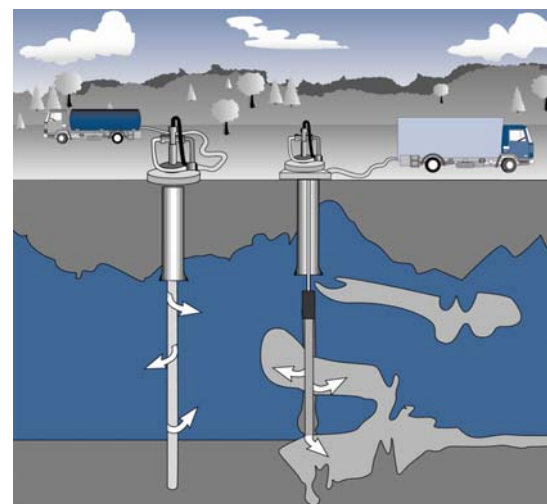
- Air Sparging (kropení)
- **Bioremediace**
- Bioslurping
- Circulační studny
- Rozpouštědla/surfaktanty
- Extrakce dvou fází
- Dynamické podzemní stahování (stripping)
- In situ oxidace (Fentonovo činidlo, KMnO_4)
- **Přírodní atenuace** nechlorovaných látek
- Přírodní atenuace nechlorovaných uhlovodíků
- Propustné reaktivní bariéry
- **Pump and Treat (čerpání a čištění)**
- Fytoremediace
- Vymývání parou
- Vertikál bariéry

Současné trendy a problémy

Brownfields – rozvoj na dříve kontaminovaných plochách
DNAPL - redukce potenciálních zdrojů z důvodu velké obtížnosti sanace

In Situ chemická oxidace - slibný vývoj při rychlé degradaci a destrukci široké palety nebezpečných odpadů v podzemní vodě, půdě a sedimentu

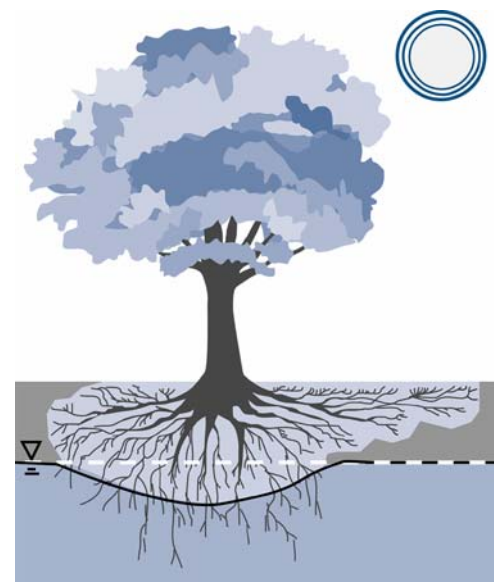
Termální desorpce za nízkých teplot odstraňuje nebezpečná rozpouštědla a další kontaminanty se směsných odpadů, snižuje náklady na skládkování



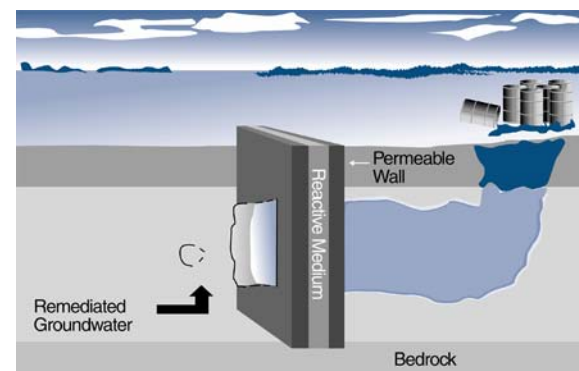
Současné trendy a problémy

Kovy v půdách - In situ sanace zabráňuje nákladnému odtěžování, a ukládání odpadu:

- fytoremediace
- elektrokineze
- In situ stabilizace

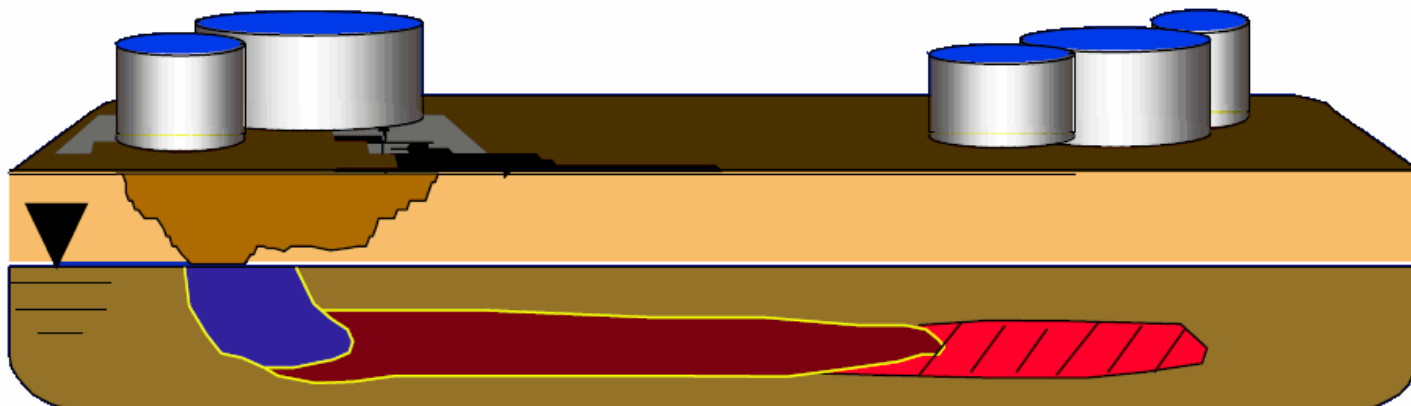


Propustné reaktivní bariéry - příslib možnosti sanovat pod požadované limity i v místech kde konvenční metody selhávají



Současné trendy a problémy

- **Přírodní atenuace (regulované znečištění)** – “samočistící” schopnosti půdního a horninového prostředí (biologické, chemické a fyzikální reakce) při rozšiřujícím se znečištění, kde klesá koncentrace látek a je možné je přeměnit na netoxické produkty přirozenou cestou
- často jen monitoring (finanční důvody)



Sanace podzemních vod - Superfund USA (1982 - 1999)

**Pump-and-Treat, Monitorovaná přírodní atenuace Attenuation (MNA) a
In-Situ sanace – 749 lokalit**

