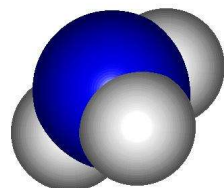


# Odpady a kontaminace 143ODKO

## Adsorpce – Degradace – Analytické metody

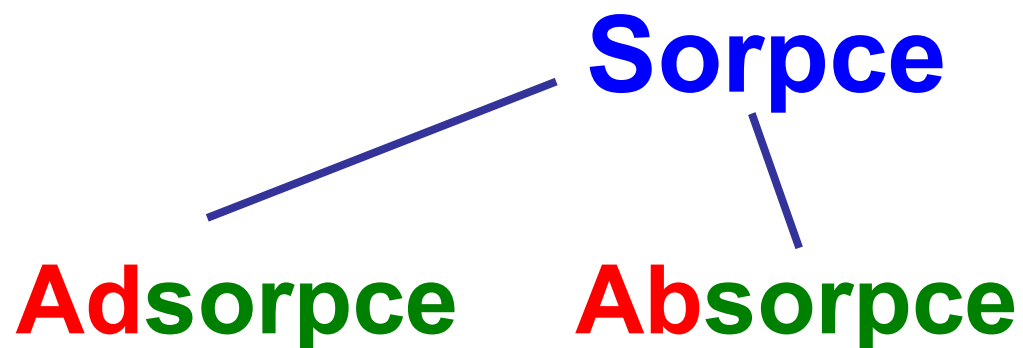
Sorpce – formy výskytu anorganických kontaminantů - Sorpce anorganických látek – Sorpce organických látek – Radioaktivní rozpad - Degradace – Chromatografické analytické metody



# Chemie - základní pojmy

- atom, molekula, chem. látka
- periodická tabulka prvků (např. [www.tabulka.cz](http://www.tabulka.cz))  
číselná hodnota rel. atom hmotnost  $A_r$  = hmotnost jednoho molu (g)
- molekuly (iontová, polární n. kovalentní vazba atomů)
- radikály (např.  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ )
- oxidační číslo n. valence = součet poz. a neg. nábojů  
Pravidla:
  - algebraický součet oxidačních čísel je u neutrální látky rovný nule (např.  $\text{NaCl}$ ), jinak rovný náboji molekuly (např.  $\text{CO}_3^{2-}$ )
  - oxidační číslo všech elementů ve volném stavu je nula (O v  $\text{O}_2$ )
  - oxidační číslo skupina IA kovů (H, Li, Na, K, Rb, Cs a Fr) = +1
  - oxidační číslo skupina IIA kovů (Be, Mg, Ca, Sr, Ba a Ra) = +2
  - oxidační číslo kyslíku je -2 (kromě v  $\text{H}_2\text{O}_2$  kde je -1)
  - oxidační číslo vodíku je téměř vždy +1

Schopnost pevné fáze poutat chemické látky z plynů nebo vody

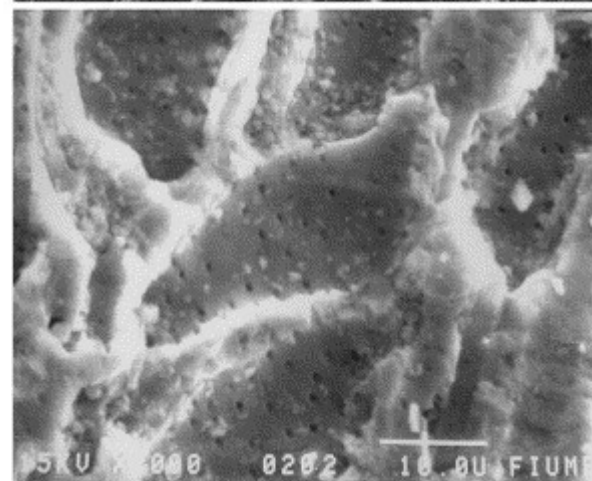
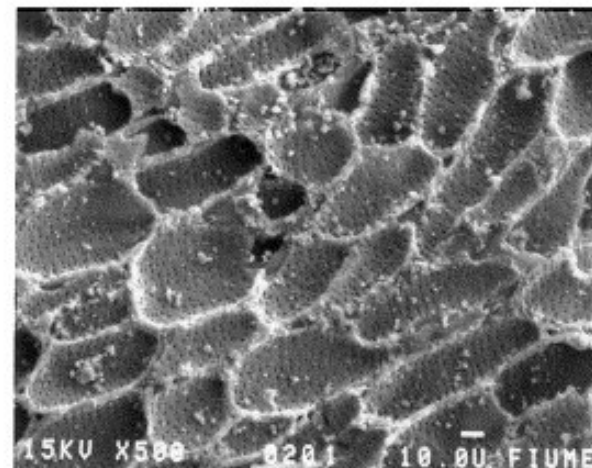


## Půdní sorpce

předpovědi pohybu toxických látek v půdě (vstupní informace pro simulační modely)

## Sorpce na aktivním uhlí, zeolitu

filtrace vody a vzduchu při remediacích



# Půdní sorpce

- **Mechanická sorpce** – zadržování částic, nebo koloidů
- **Adsorpce na fázovém rozhraní**
- **Fyzikálně chemická** – výměnná sorpce (výměnná kationtů)
- **Chemická sorpce** (vytváření málo rozpustných sloučenin)
- **Biologická sorpce** (přijímání chem. látek rostlinami a půdní flórou)

# **Formy výskytu anorganických kontaminantů (těžkých kovů) v podpovrchovém prostředí**

# Formy výskytu anorganických kontaminantů

## v roztoku

- v rozpuštěné formě

## adsorbované

- adsorbované na zrnech (fyzikálně chemická)
- asociované s nerozložitelnou org. hmotou

## pevná fáze

- v precipitované forma
- přítomné v primárních minerálech minerálech

# Forma výskytu těžkých kovů

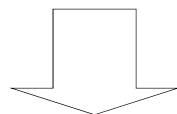
**závisí na pH a Eh a přítomnosti minerálů**  
ovlivňujících rozpustnost

**pH** – kyselost půdy – měří se pH elektrodou

**Eh**, (REDOX potenciál, ORP) - oxidačně redukční  
potenciál (*viz. kurz Pedologie*) – měří se ORP  
elektrodou

# pH

- **Kyselost** nebo **zásaditost** se vyjadřuje v **pH**
- $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ , prakticky  $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$
- Destilovaná voda  $1 \times 10^{-7} \text{ M}$ . (M = mol / liter)



- pH destilované vody = 7
- Hodnoty pH v rozmezí 0 až 14
- pH = 7 je neutrální ( $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ ),



# REDOX potenciál

Výsledkem REDOX reakcí je proud elektronů  
vytváří napětí

Měřítkem převahy oxidace nebo redukce je Eh

REDOX Potenciál Eh (mV)

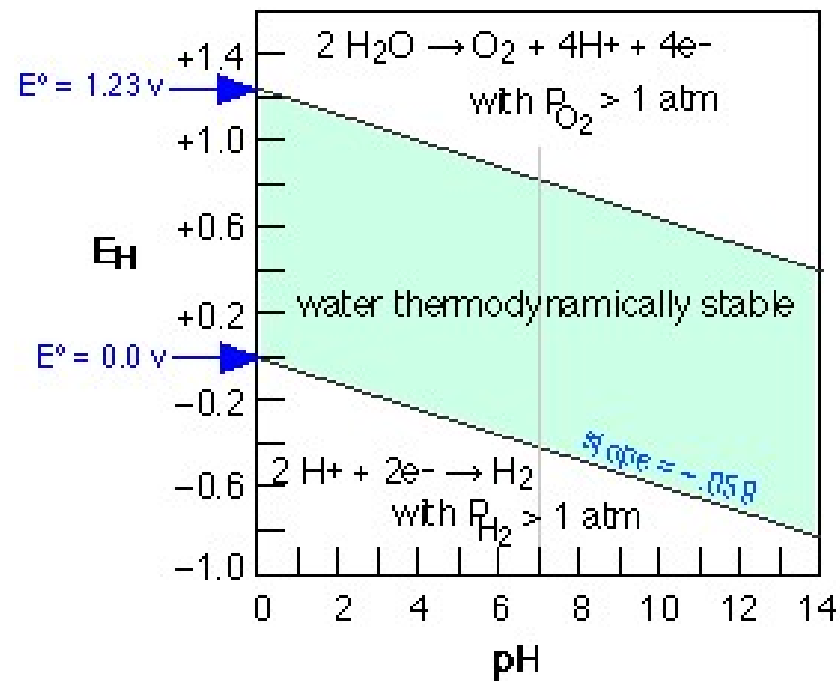
kladný - oxidace

záporný - redukce

V půdách rozsahy: od -200mV do 750mV

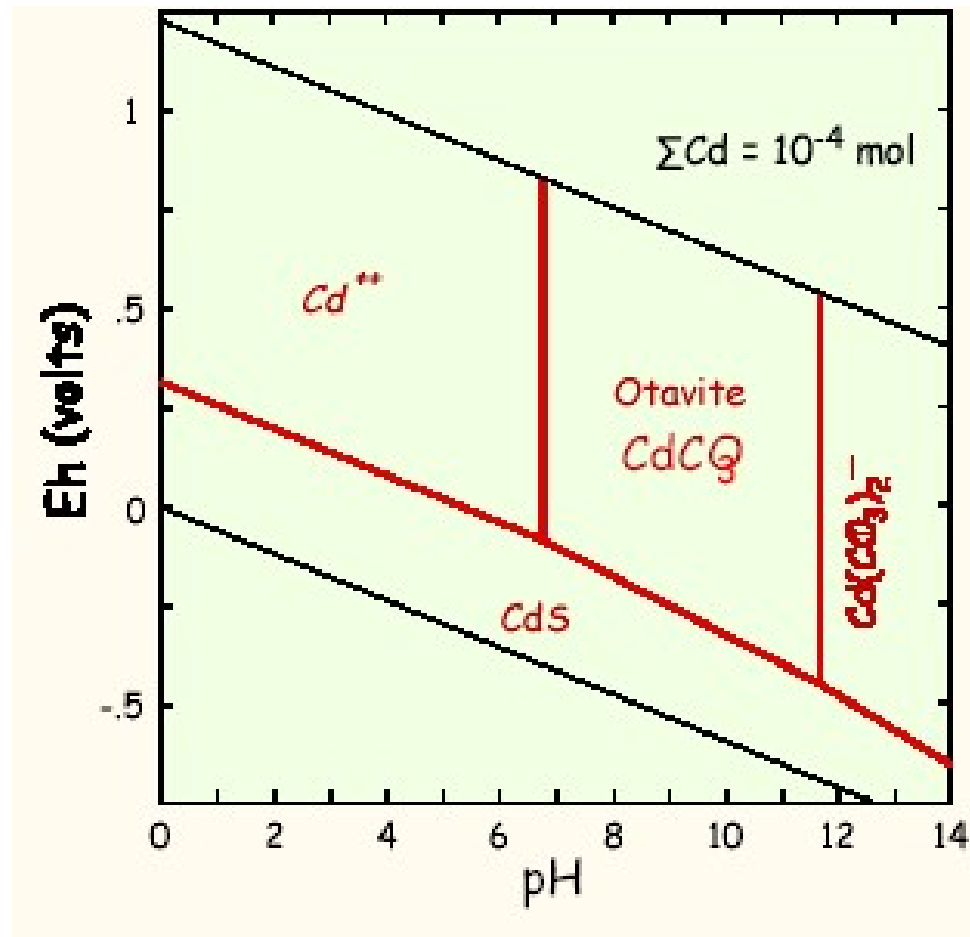
# Stabilitní diagram

## Eh – pH diagram



# Stabilitní diagram (*Eh* – *pH* diagram)

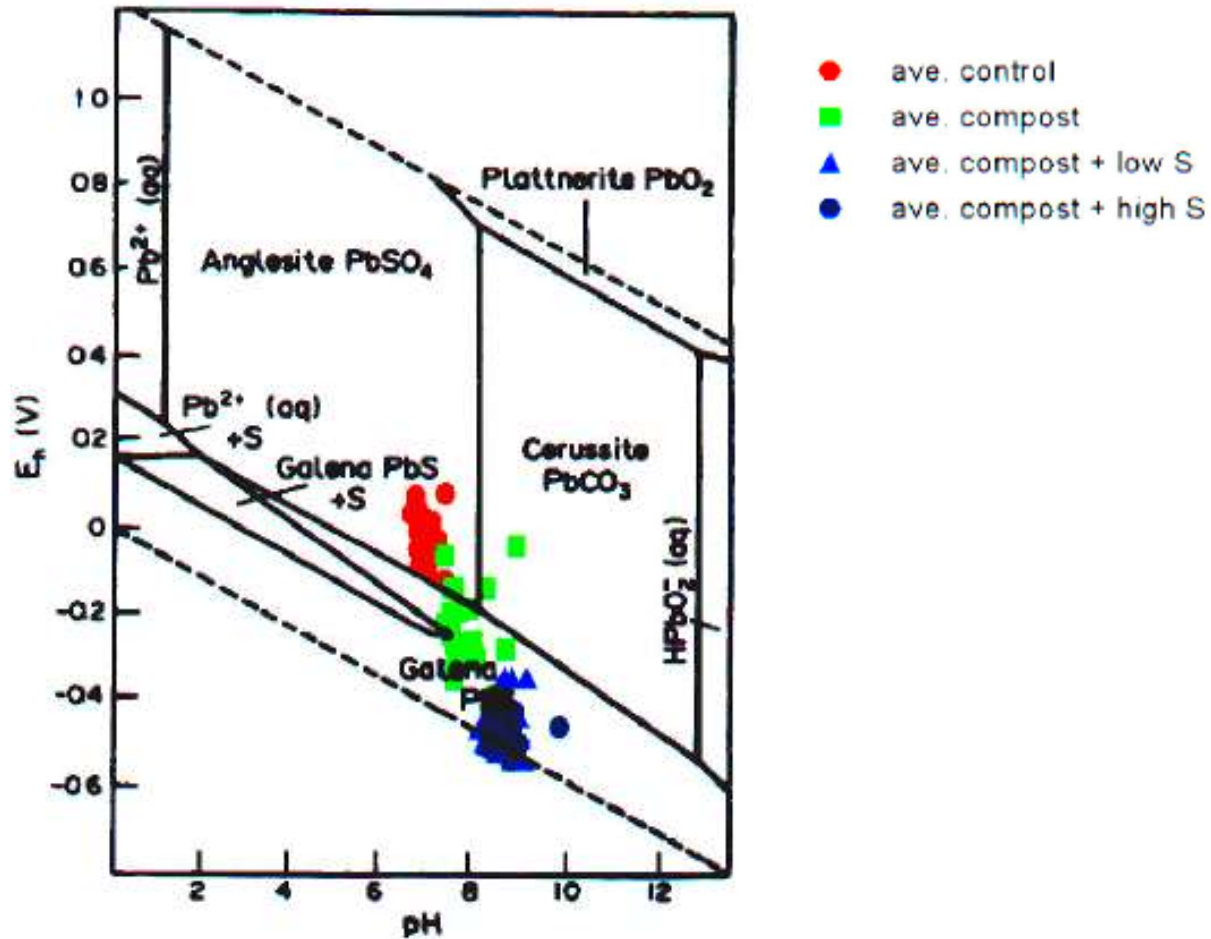
- Příklad: Kadmium



- Při  $pH > 7$ ,  $CdCO_3$  omezuje rozpustnost kadmia
- V anoxických podmínkách  $CdS$  omezuje rozpustnost

# Stabilitní diagram (*Eh* – *pH* diagram)

- Eh – pH diagram



# **Způsoby vyjádření koncentrací - jednotky**

## Molární koncentrace $c_A$ (M) (EN: molar concentration)

Počet molů na jednotku objemu  $1M = 1$  (mol / L)

**1 mol** je takové množství látky, které obsahuje  $6.0225 \times 10^{23}$  atomů, molekul, iontů, nebo jiných elementárních jednotek

**molární hmotnost ( $M_m$ )** = hmotnost jednotkového látkového množství (kg / mol)



### Molární zlomek $x_i$

Počet molů složky ( $n_i$ ) / celkový počet molů směsi ( $n_{tot}$ ) (bezrozměrné)



### Miliekvivalenty na litr (mEq/L)

**1 mEq = 1mmol / valence iontu**

Příklad  $mEq Ca^{2+} = 0.5 mmol Ca^{2+}$

## Hmotnost na jednotku hmotnosti

Podíl hmotnosti rozpuštěné látky a rozpouštědla

ppm, ppb, ppt (*parts per million, billion...*)  
nebo ppmv (*parts per million volume*)



## Hmotnost na jednotku objemu

Hmotnost rozp. látky na j. obj. vody  
mg / L – běžně používaná jednotka



1 L destilované vody představuje zhruba 1 000 000 mg  
takže 1 ppm  $\approx$  1 mg / L

# Vyjádření koncentrací

## Příklad 1:

**Jaká koncentrace sodíku vyjádřená v ppm  
vznikne rozpuštěním 1g sodíku v 999,999 litrech vody?**

**???????**

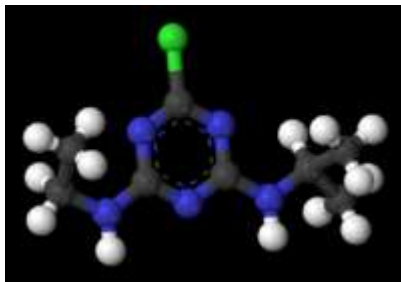


# Vyjádření koncentrací

## Příklad 2:

**Kolik pesticidu Atrazin by muselo proniknout do vodní nádrže Orlík (cca 300 mil. m<sup>3</sup>), aby ve vodě jeho koncentrace překročila 3 ppb**

**???????**  
300 kg



# Vyjádření koncentrací

## Příklad 3:

**Kolik ppm představuje molární koncentrace  
0,001M Ca<sup>2+</sup> ve vodě**

~~40 mg/L = 40 ppm~~

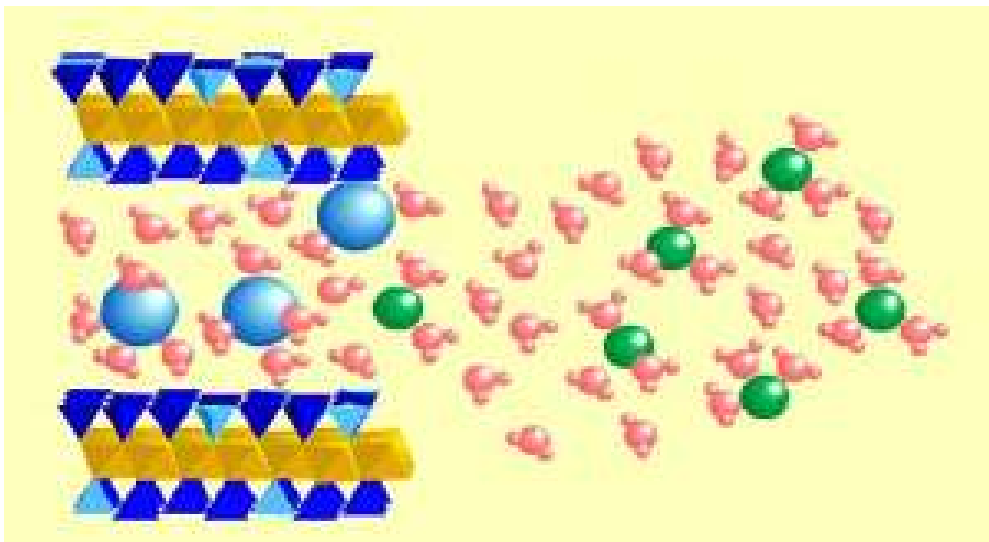
# **Sorpce anorganických látek**

# Výměnná sorpce kationtů

Interakce kationt – jílový minerál

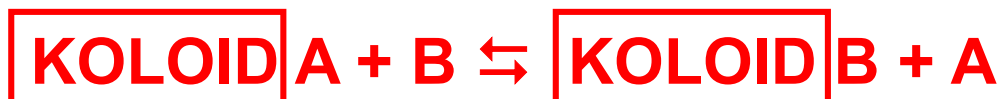
Výměna volně vázaných kationtů mezivrstvy

Například:  $2\text{Cs}^+ + \text{Ca-jíl} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{Cs-jíl}$



# Sorpce anorganických látek

## Zákon o působení hmoty



Při chemické rovnováze jsou reakce v obou směrech v rovnováze

$$K_{\text{eq}} = \frac{(A)[B]}{[A](B)}$$

po úpravě  $\frac{(A)}{(B)} = K_{\text{eq}} \frac{[A]}{[B]}$

**K ... Rovnovážná konstanta**

**(X) Aktivita iontu v roztoku (efektivní koncentrace iontu)**

**[X] Aktivita adsorbovaného iontu**

**Chemická aktivita iontu [X] =  
molární koncentrace ( $m_x$ ) x aktivní koeficient ( $\gamma_x$ )**

**Aktivní koeficient ( $\gamma_x$ ) závisí na množství  
kationtů a aniontů v roztoku, pro velmi zředěný roztok = 1**

**Pro výpočet aktivního koeficientu  
musí být známa **iontová síla (I)** roztoku**

**Iontová síla závisí na koncentraci  
a náboji iontů v roztoku**

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i z_i^2$$

**I = Iontová síla**

**$m_i$  = molární koncentrace iontu j**

**$z_i$  = náboj iontu j**

**Aktivní koeficient se poté počítá podle Debye Huckela**

$$-\log \gamma_i = \frac{az_i^2\sqrt{I}}{1 + d_i a \sqrt{I}}$$



Peter Debye



Erich Hückel

$\gamma_i$  = aktivní koeficient

$z_i$  = náboj iontu

$I$  = iontová síla roztoku

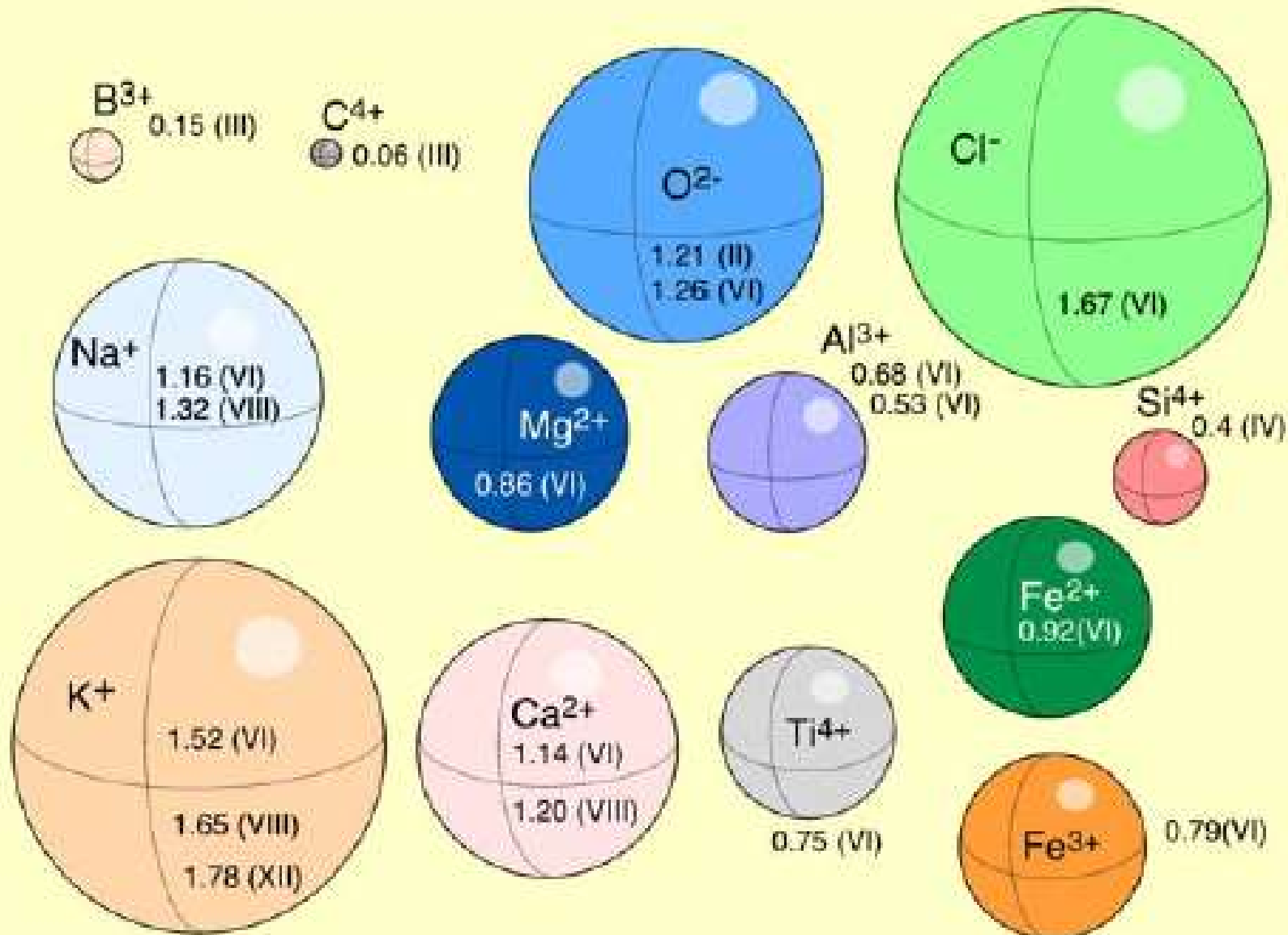
$a, b$  = konstanty závislé na tlaku a teplotě [tabulky (např. při 1atm 20°C,  $A=0,5042$ ,  $B=0,3273$ )]

$d_i$  = efektivní průměr iontu

Čím větší je  $I$  tím nižší je aktivita iontů

Debye – Huckel platí pro koncentrace  $< \approx 5000$  mg/L

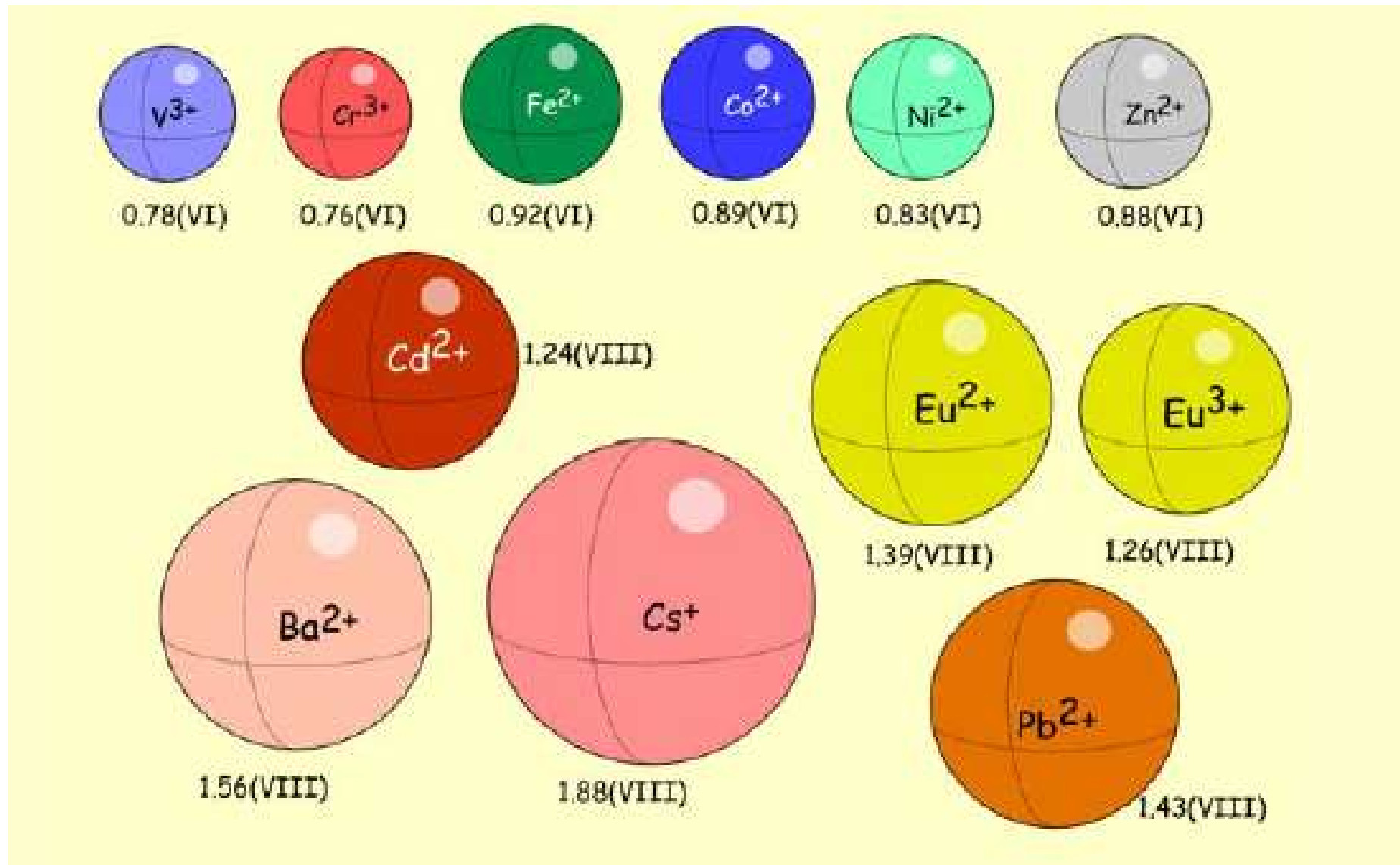
# Efektivní průměry iontů



(D.M. Sherman, University of Bristol)



## .... pokračování



# Adsorpce těžkých kovů

Selektivita adsorpce těžkých kovů na jílových minerálech

$Pb > Cr > Cu > Cd > Ni > Zn$

Adsorbuje nejsilněji

Adsorbuje slabě

Kovy jsou více rozpustné při nižším pH

Prakticky se řeší geochemickými modely např.  
PHREEQC

([http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/GWC\\_coupled/phreeqc/](http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/))

# Komplexace kovů

Ligandy  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$   
Vytvářejí komplexy s ionty kovů z roztoku



Takovéto reakce snižují iontovou sílu  
-> zvyšují aktivitu iontů -> mohou zvýšit rozpustnost  
volných kovů

# **Formy výskytu organických kontaminantů**

# Organické kontaminanty

- Jsou spalitelné
- Mají většinou nižší bod varu a tání než anorganické látky
- Existují různé izomery
- Chemické reakce jsou molekulární (většinou pomalejší reakce než u anorganických látek)
- Jsou biodegradovatelné

# Formy výskytu organických kontaminantů

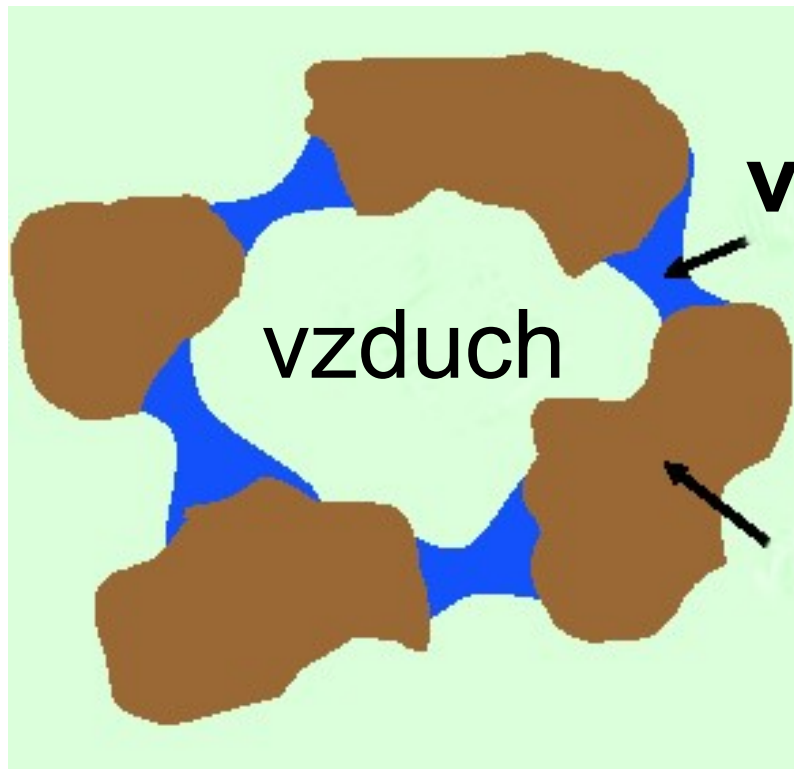
- ve formě par v půdním vzduchu
- rozpuštěné ve vodě
- sorbované na koloidech
- sorpce na povrchu
- chemisorpce
- v kapalné nebo tuhé formě

# Vyjádření koncentrací ve fázích

$C_w$ , mg/L, ppm  
koncentrace ve vodě

$C_g$ , mg/L or ppmv  
koncentrace v plynech

$C_s$ , mg/kg  
koncentrace na pevné fázi



# Rovnovážná distribuce kontaminantů v systému voda – vzduch - zemina

**$K_d$  = distribuční koeficient**

Pevná fáze - voda  $\frac{C_s}{C_w} = K_d = \frac{\text{mg/kg pevné fáze}}{\text{mg/L vody}}$

**H = Henryho konstanta**

Voda - vzduch  $\frac{C_g}{C_w} = H' = \frac{\text{koncentrace ve vzduchu}}{\text{koncentrace ve vodě}}$



# Henryho konstanta

- Henryho konstanta definována několika různými způsoby

Běžná jednotka  $H$  (atm.m<sup>3</sup>/mol)

$$H = \frac{p_g}{c_w}$$

$H'$  (-) bezrozměrné

$$H' = \frac{H}{R.T} \cdot \frac{\rho_w}{\rho_g}$$

R..... plynová konstanta

8.20575 x 10<sup>-5</sup> atm m<sup>3</sup>/mol °K

T..... teplota v °K

# Hodnoty Henryho konstanty



**H = těkavější látka**

- ( $10^{-7} < H < 10^{-5}$  atm.m<sup>3</sup>/mol) výpar je malý
- ( $10^{-5} < H < 10^{-3}$  atm.m<sup>3</sup>/mol) výpar není rychlý, ale pravděpodobně významný
- ( $10^{-3} < H$  atm.m<sup>3</sup>/mol) výpar je rychlý

## Rozdělení voda – půda

Organické látky a půda s OC > 1%

$$K_d = K_{OC} \cdot (\%OC/100)$$

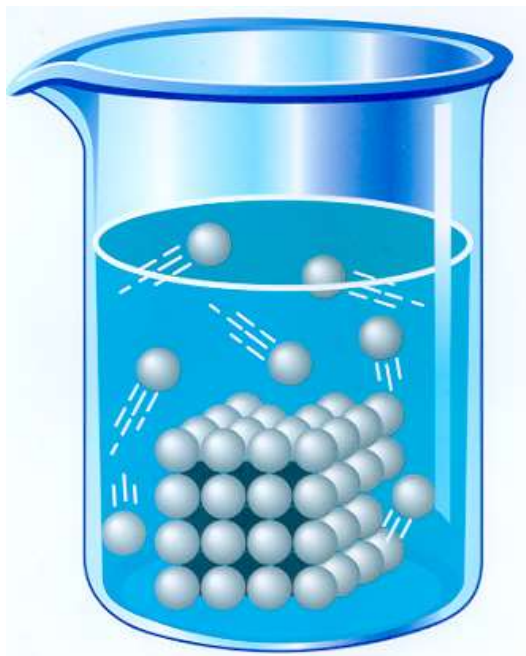
$K_{OC}$  ... distribuční koeficient organický uhlík  
– voda

$$K_{OC} = \text{v rozmezí } 1 \dots 10^7$$

Vztah mezi  $K_{OC}$  a  $K_{OW}$

$$K_{OC} = K_{OW} \cdot 0.41$$

# Rozpustnost ve vodě



**Rozpustné**  
**Málo rozpustné**

**Více rozpustné látky jsou v podpovrchovém prostředí mobilnější**

## Rozdělení OKTANOL – VODA

$$K_{ow} = \frac{\text{koncentrace látky v oktanolu}}{\text{koncentrace ve vodě}}$$

# Oktanol

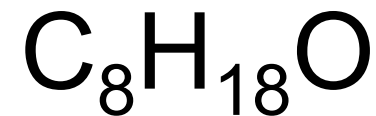
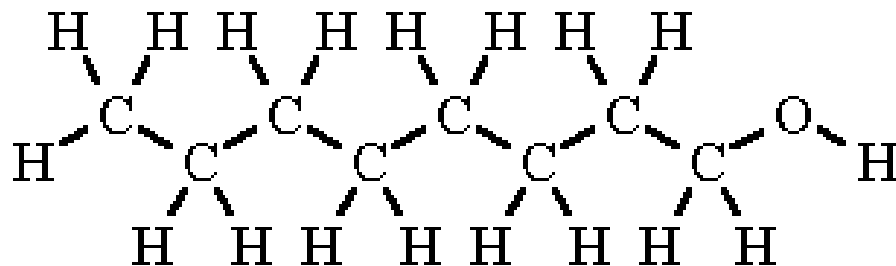
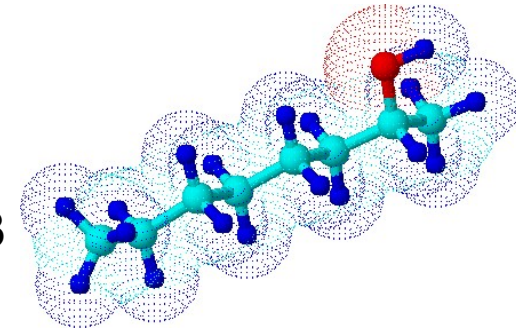
## 1-Oktanol

CAS 111-87-5 , hustota  $0,83 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

Struktura



*Osm uhlíků v řetězci (OKT) žádné dvojně nebo trojně vazby (AN) a alkohol (OL) na prvním uhlíku*

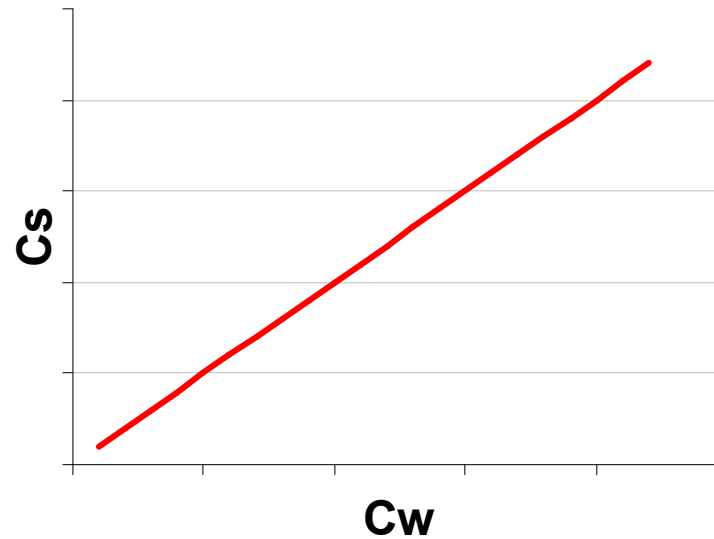


# Adsorpční isoterma

## Lineární

$$C_s = K_d \cdot C_w$$

- Obvykle vhodná pro nízké koncentrace



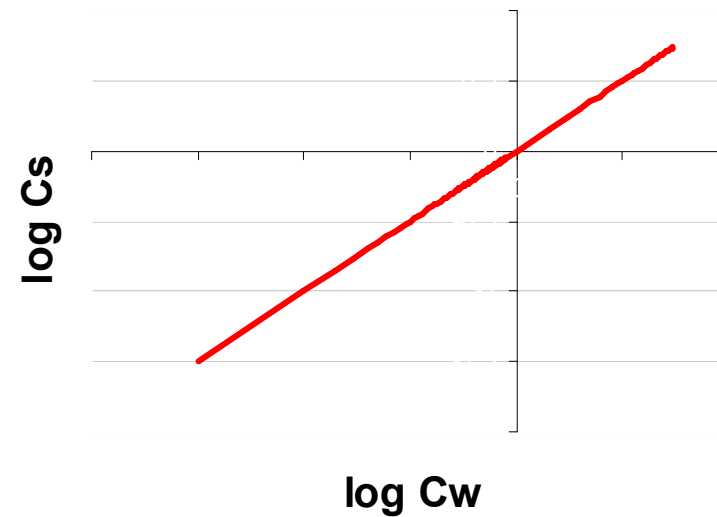
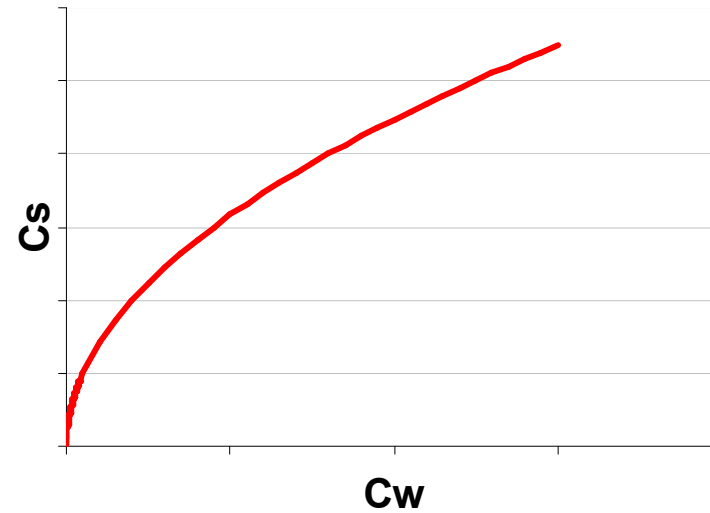
# Adsorpční isoterma

Freundlichova  
isoterma

$$C_s = K_F \cdot C_w^{1/n}$$

lineární tvar

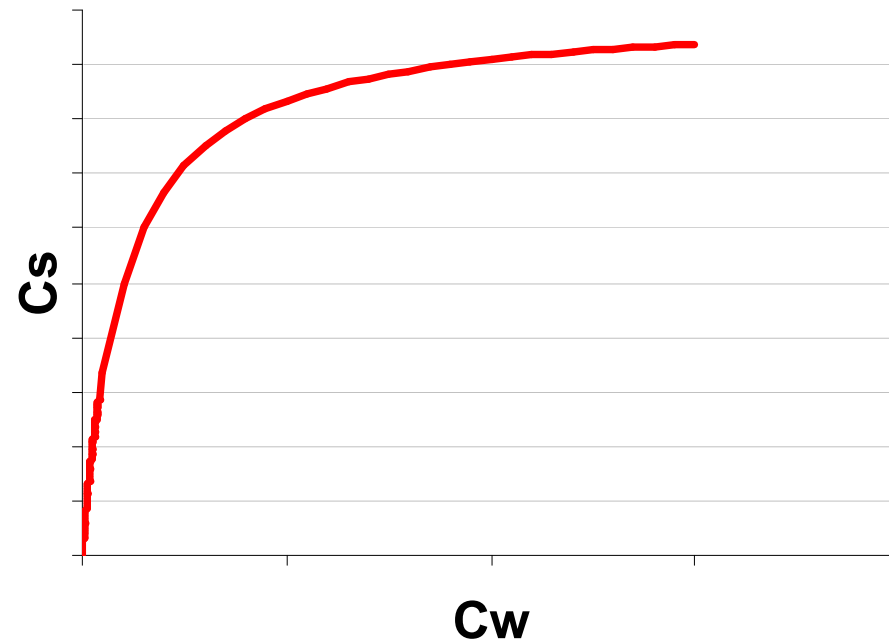
$$\log(C_s) = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_w$$



# Adsorpční isotherma

Langmuirova  
isotherma

$$C_s = \frac{b \cdot K_l \cdot C_w}{1 + K_l \cdot C_w}$$



Pokud  $K_l \cdot C_w \ll 1$  pak je lineární



# Měření adsorpčních isoterem

## “Batch sorption test”

- 1) Směs půdy, vody a chemické látky v různých koncentracích
- 2) Promíchávání ~24 hodin
- 3) Odstředění, filtrace roztoku
- 4) Analýza, aproximace bodů adsorpční izotermy funkcí



# Měření adsorpčních isoterem na velkých půdních vzorcích

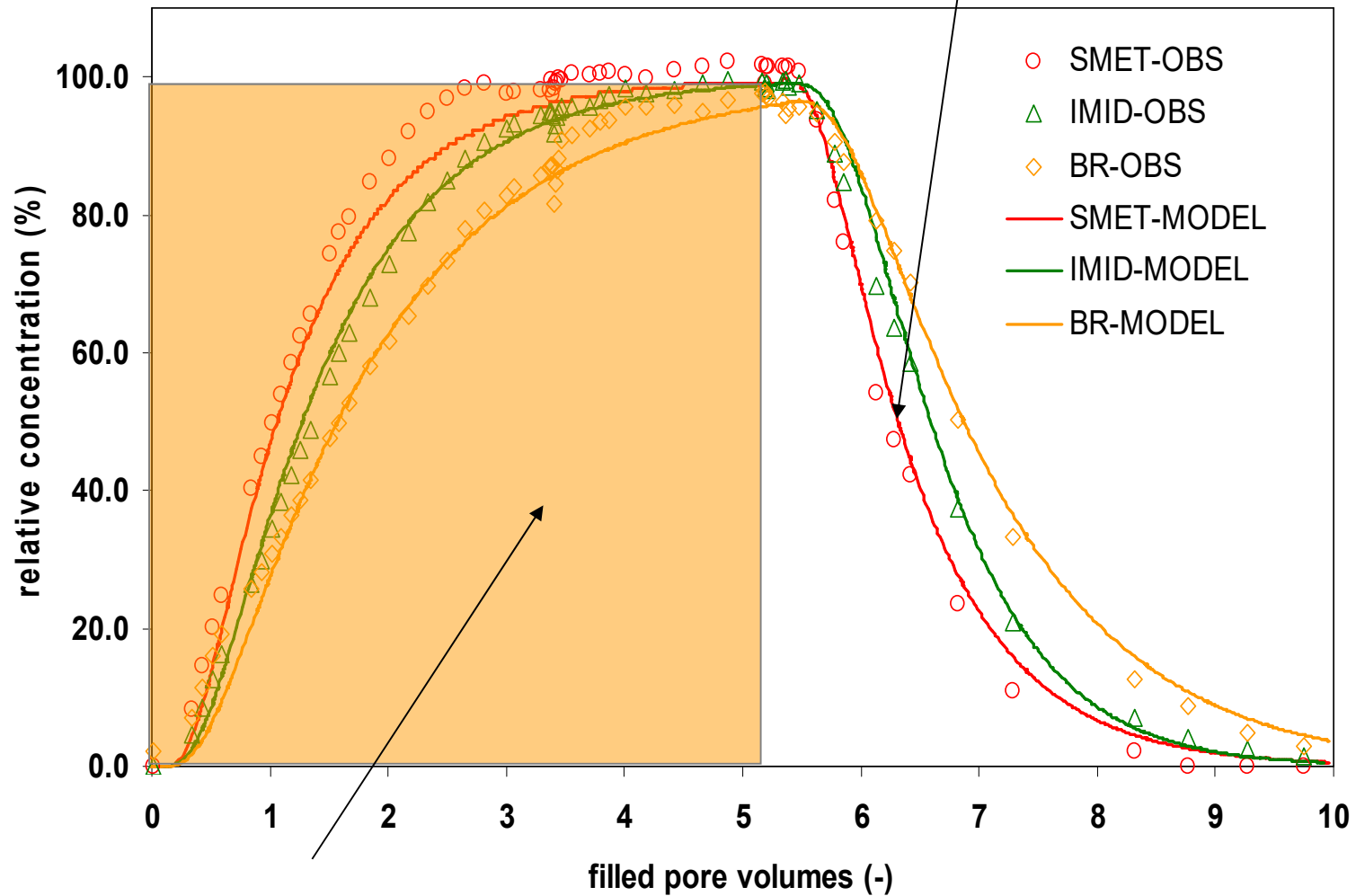
## Průniková čára (BTC)

- 1) Experiment na vzorku půdy
- 2) Konstantní průtok vody
- 3) Puls chemické látky (hodiny až dny)
- 4) Sběr a chem. analýza vytékající vody
- 5) Získání parametrů (disperzivity) inverzním modelováním



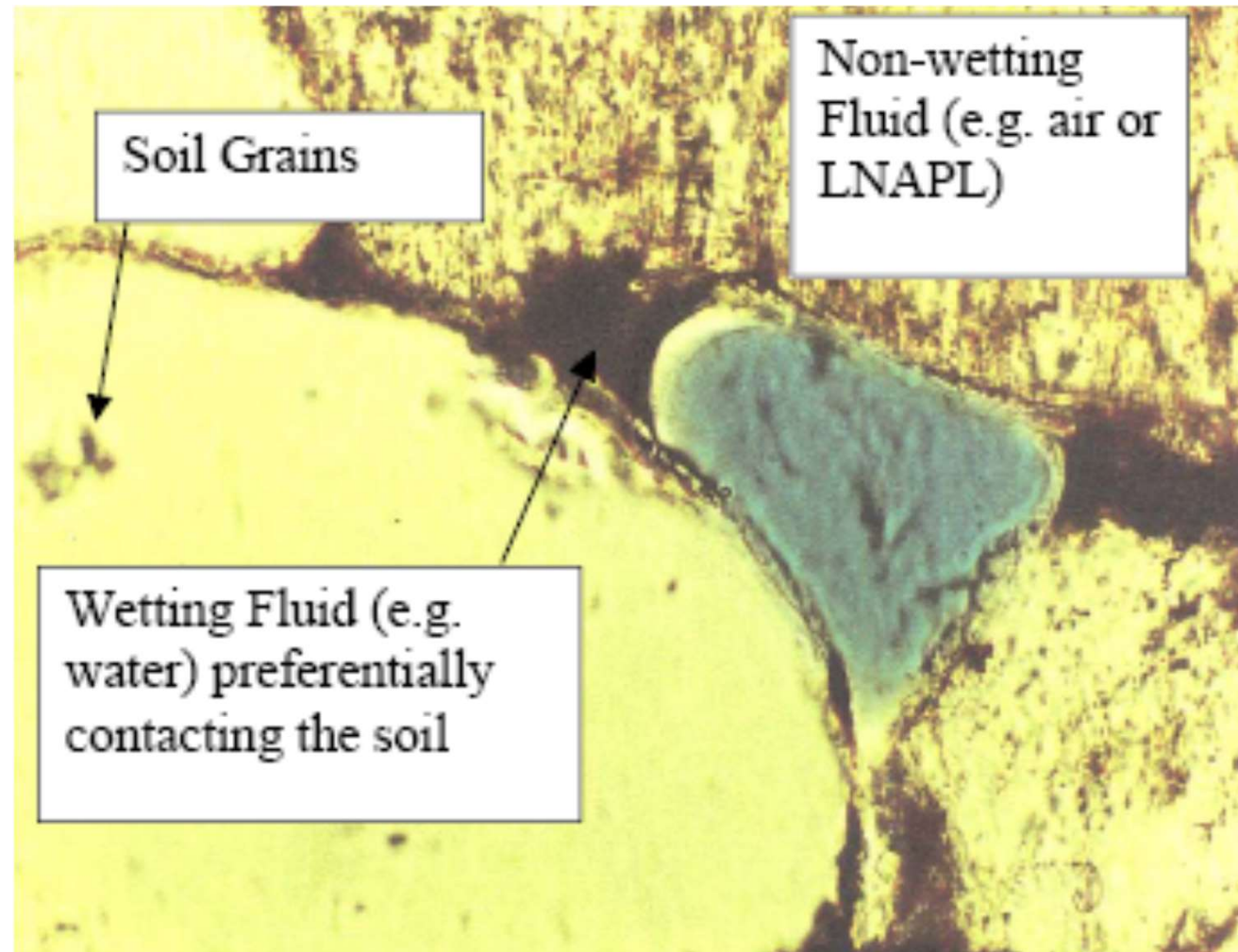
# Příklad tvaru průnikové čáry

průniková čára



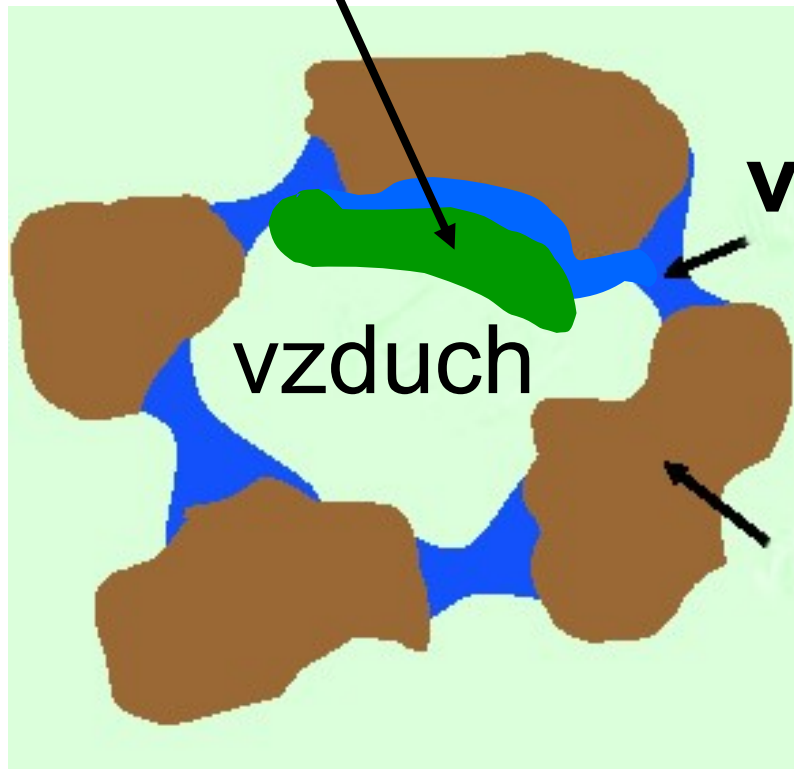
koncentrační puls

# NAPL



# System pŭda – voda – vzduch - NAPL

**NAPL**



**voda**

**vzduch**

**pevná fáze**

Distribuční koeficienty

$K_d, H$

+

$K_{NW}$  = distrib. koeficient  
NAPL – voda

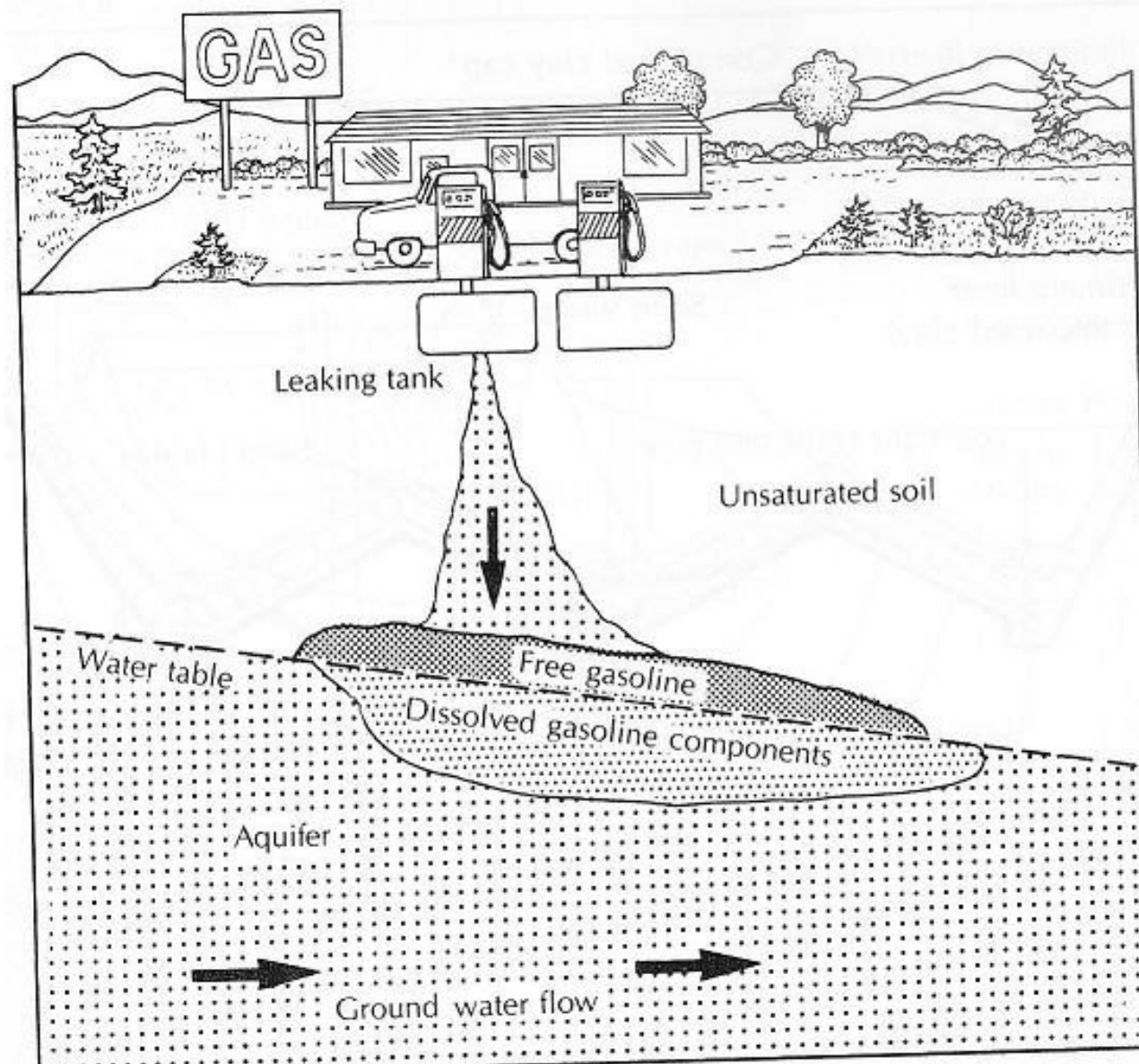
$K_{Na}$  = distribuční koeficient  
NAPL - vzduch

# NAPL

hustota

$\rho = \text{hmotnost/objem}$

$\rho < 1$   
LNAPL

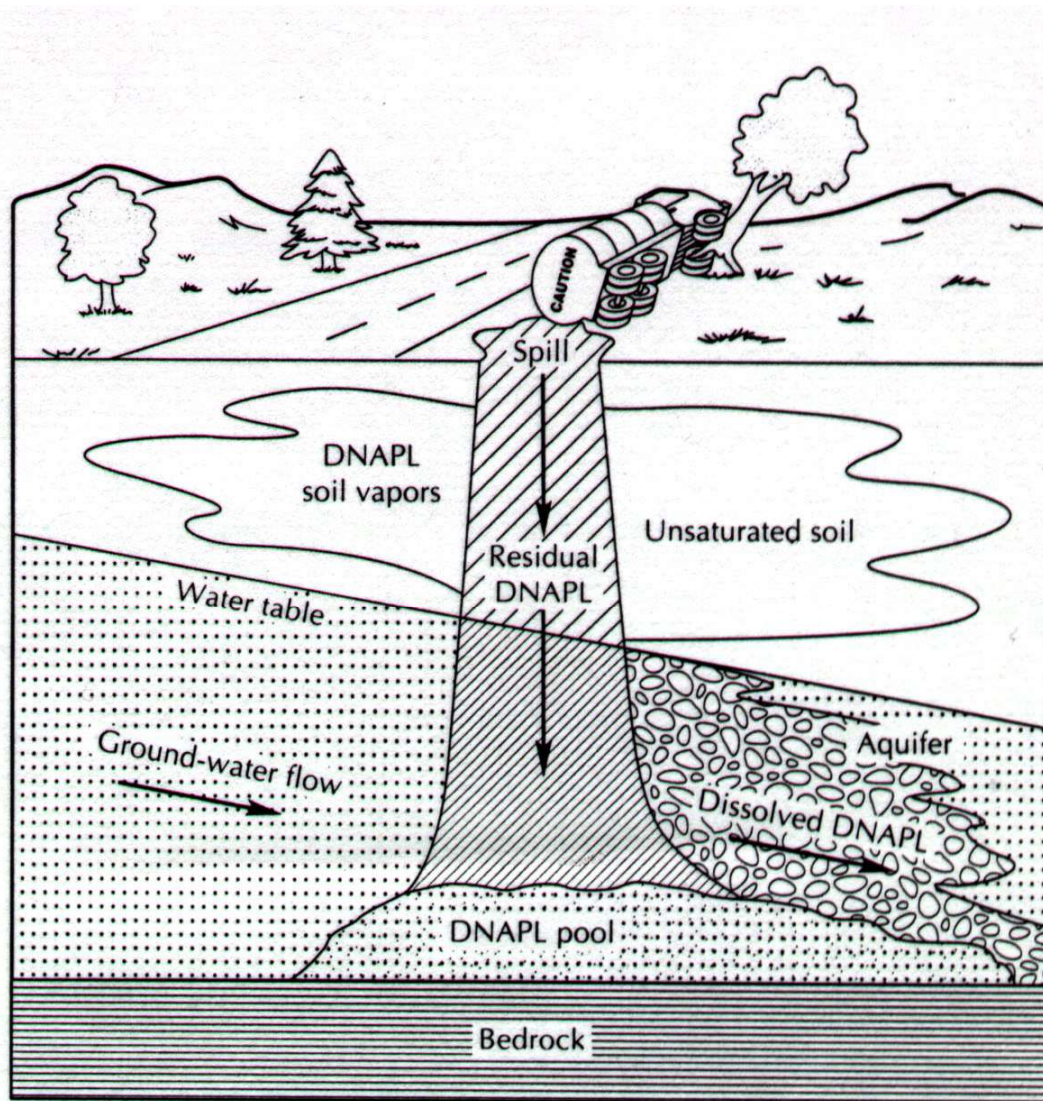


# NAPL

Hustota

$\rho = \text{hmotnost/objem}$

$\rho > 1$   
DNAPL



DNAPL spill

# Těkání

## Raoultův zákon

$$P_a = X_a P_0^a$$

$$C_a(g/L) = \frac{X_a \cdot P_0^a \cdot MW}{RT}$$

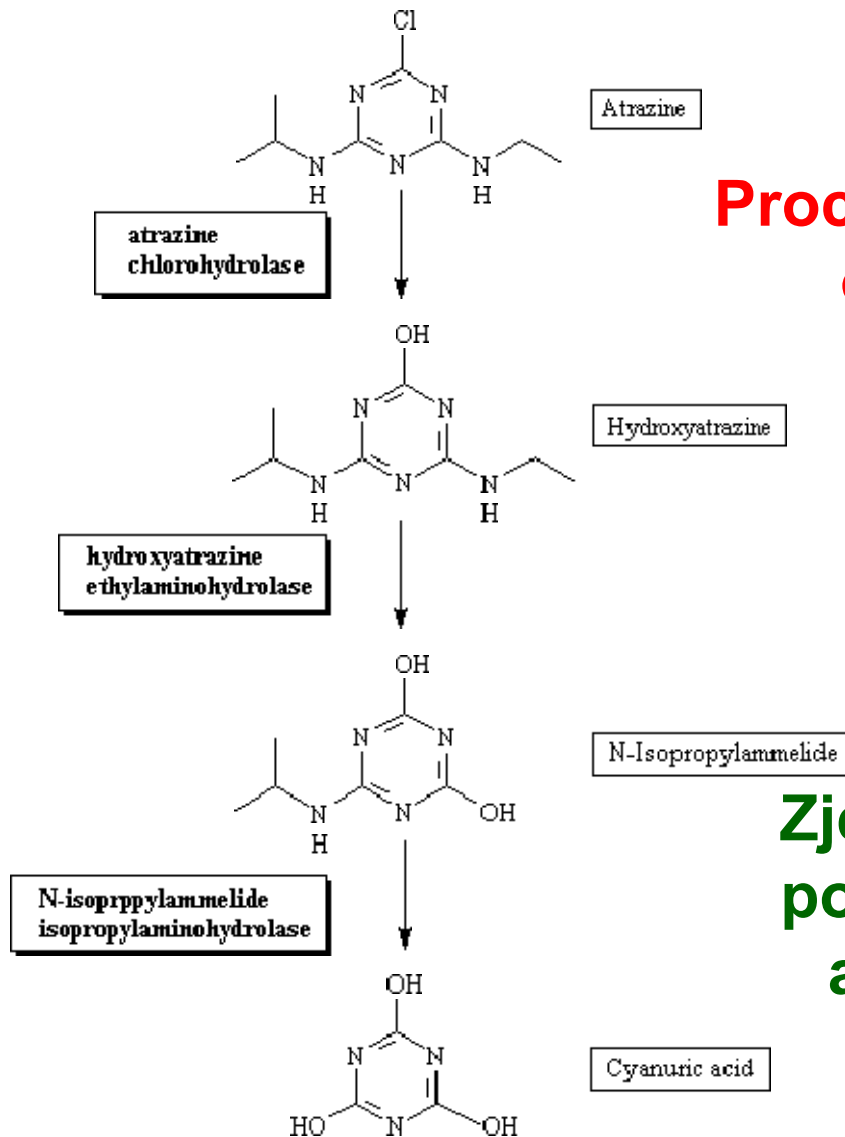


# Rozpustnost

Efektivní rozpustnost

$$S_i^e = X_i S_i$$

# Degradace



**Proces snižování koncentrace molekul organických látek chemickými nebo biologickými reakcemi**

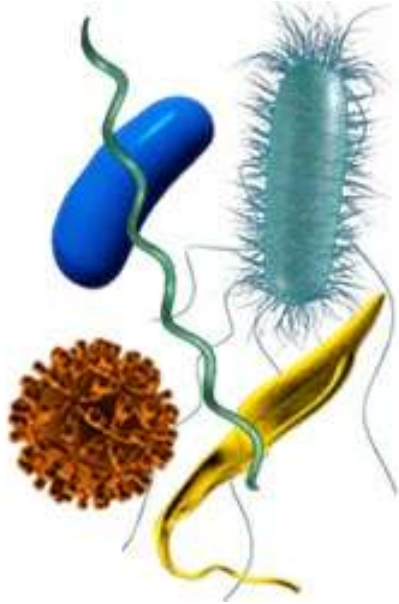
**Vznik dceřinných produktů metabolitů**

**Zjednodušeně se degradace často popisuje jako rozpad prvního řádu analogicky s rozpadem izotopů**

- Databáze rozpadu toxických chemických látek

<http://umbbd.ahc.umn.edu/>

# Biodegradace

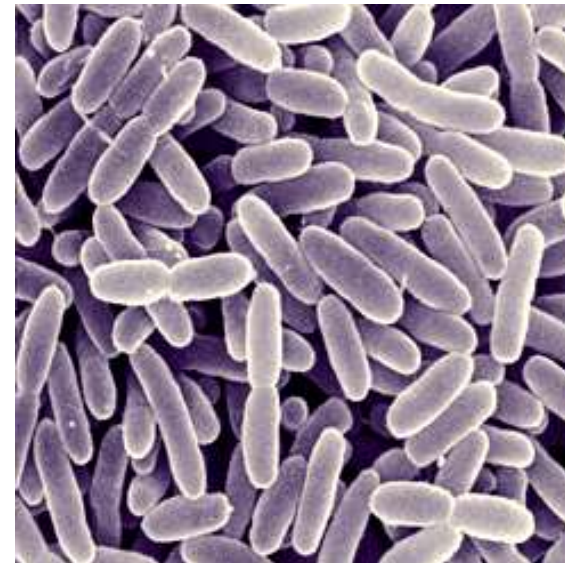


**Mikroorganismy potřebují k růstu živné substráty a kyslík**

**Živný substrát je přímo odbourávaná látka nebo látka vedlejší**

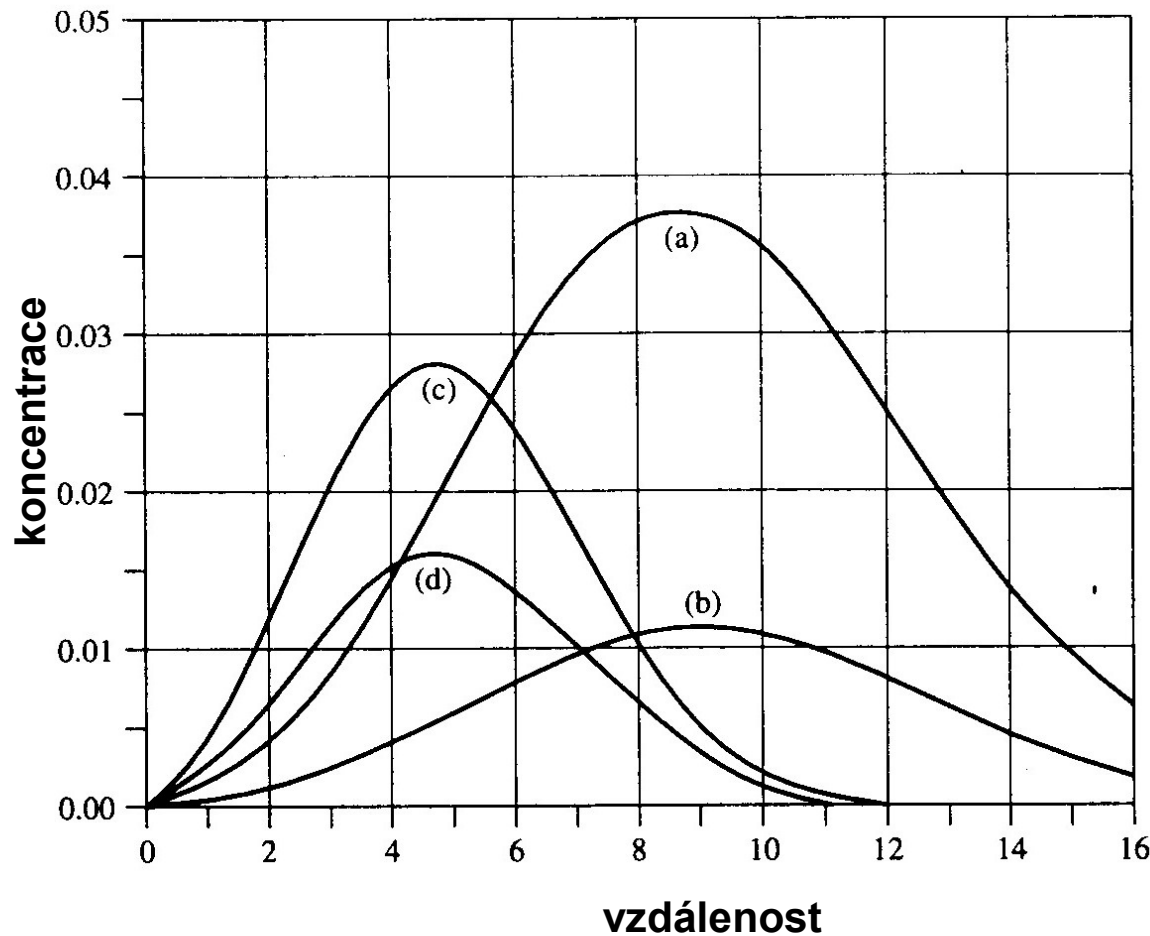
**Většinou aerobní biodegradace**

**Při modelování je třeba zohlednit dostupnost živného substrátu**



# Vliv sorpce a degradace na šíření chemických látek

## Biodegradace snižuje amplitudu profilu koncentrací



a. Bez sorpce  
Bez degradace

b. Bez sorpce  
s degradací

c. Se sorpcí  
bez degradace

d. Se sorpcí  
bez degradace

# Měření charakteristik degradace v laboratoři

## „Batch“ dekadační experiment

- 1) Smíšení známé dávky kontaminantu se známým množstvím půdy
- 2) Udržování podmínek (teplota, vlhkost) blízcích se skutečným podmínkám v terénu
- 3) Odebírání a uskladnění vzorků půdy v čase
- 4) Extrakce a analýza chemické látky
- 5) Vztah koncentrace x čas



**Nejběžnější analytické metody pro detekci  
organických látek vyskytujících se v životním  
prostředí**

# Analytické metody detekce organických látek

## PLYNOVÁ CHROMATOGRRAFIE, GC

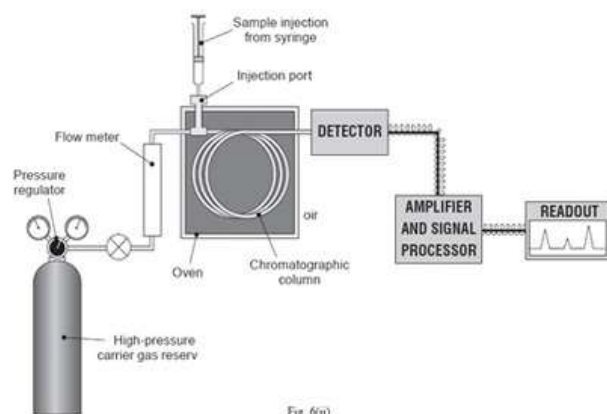
Separace probíhá v kapilární nebo náplňové koloně, která obsahuje stacionární (nepohyblivou) fázi (sorbent) a mobilní (pohyblivou) fázi (nosný plyn, inertní plyn či eluent).



Rozdílné analyty jsou rozdílně zadržovány a rozdílně zpoždovány (retardovány).

Detektory: **TCD** – Tepelně vodivostní detektor (univerzální)

### Schéma GC



**FID** – Plamenový ionizační detektor (uhlovodíky)

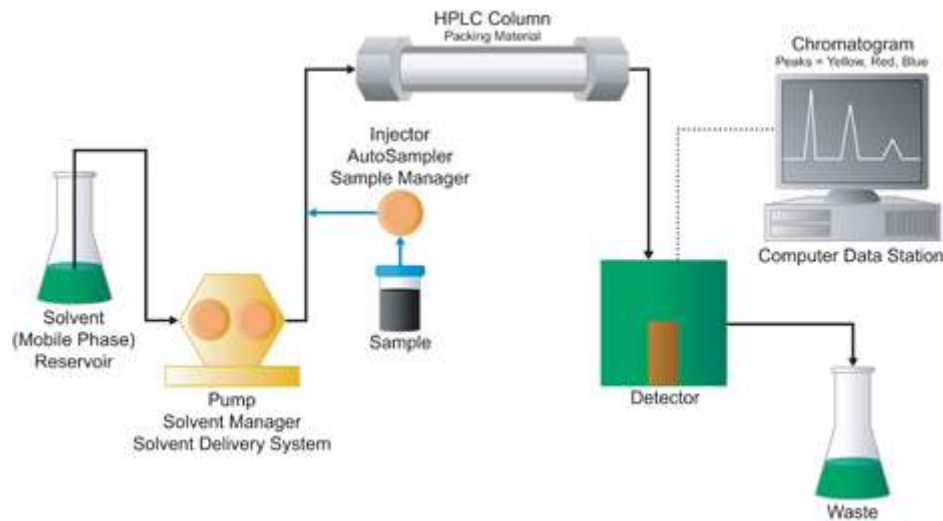
**ECD**- Detektor elektronového záchytu (halogenderiváty – pesticidy)

# Analytické metody detekce organických látek

## VYSOKOÚČINNÁ KAPALINOVÁ CHROMATOGRRAFIE, HPLC

Separace probíhá v náplňové koloně, která obsahuje stacionární (nepohyblivou) fázi (sorbent) a mobilní (pohyblivou) fázi (nosný plyn, inertní plyn či eluent).

### Schéma HPLC



**Detektory: absorpční fotometrický detektor**

**fluorescenční detektor**

**DAD detektor s diodovým polem**

**MS hmotnostní spektrometr**



# Analytické metody detekce organických látek

Výsledkem chromatografických metod je:

CHROMATOGRAM – plochy pod “píky” jsou přímo úměrné koncentraci chemické látky. Absolutní hodnota koncentrací je získána z kalibrační křivky.

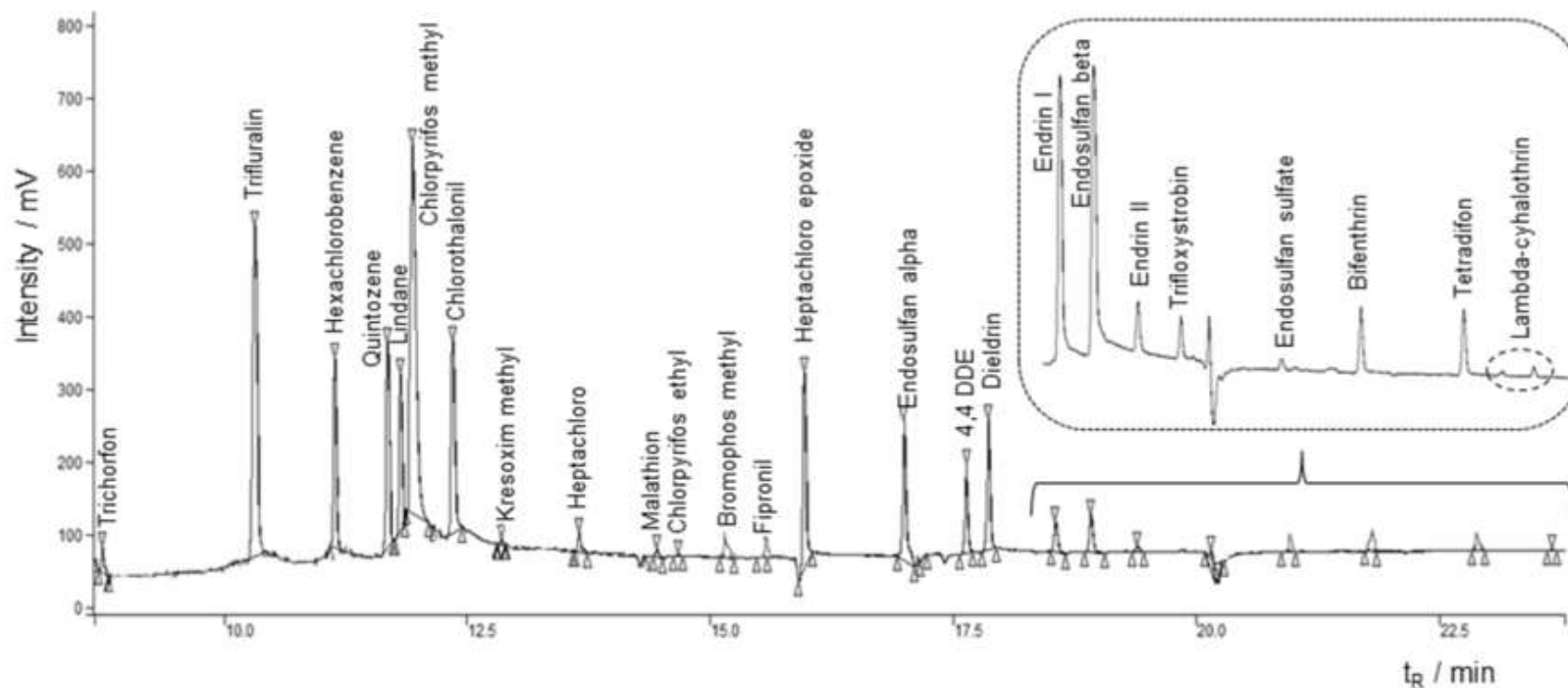


Figure 2. Chromatogram obtained for the pesticides in matrix extract analyzed by GC-ECD, corresponding to a spiked sample at  $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ .

# Průzkum lokality

Otázky které by měl průzkum zodpovědět

Původ a rozsah znečištění

**kde to je?**

Budoucí pohyb kontaminace

**kam se to šíří?**

Kdo jsou příjemci a jaké pro ně představuje riziko

**koho/co poškozují?**

Technické prostředky remediací

**jak se toho zbavit?**

# Fáze průzkumu

Fáze 1 - Vstupní průzkum

Je zde problém? Jak závažný?

Fáze 2 – Příprava detailního průzkumu

Zahrnuje plán odběrů a analýzu vzorků, stanovení zásad zdraví a bezpečnosti

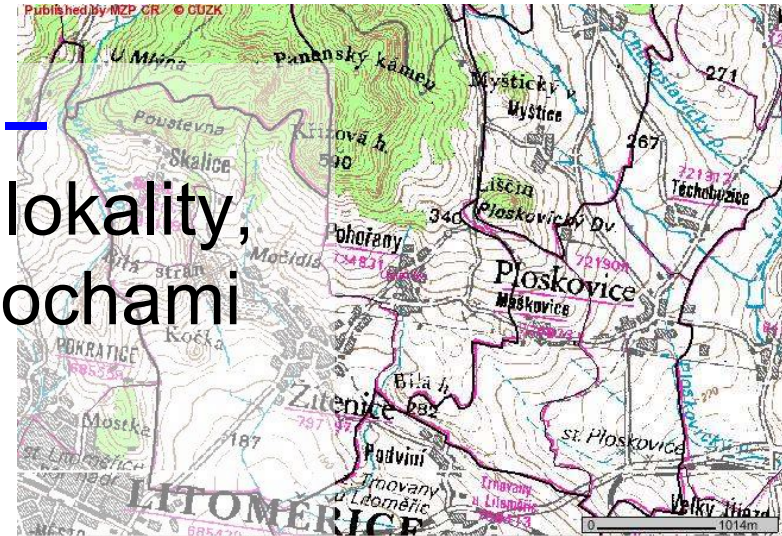
Fáze 3 – Průzkum v lokalitě a analýzy

Fáze 4 – Interpretace výsledků, ohodnocení, modelování

Fáze 5 – Návrh remediačního opatření

# Základní podklady průzkumu

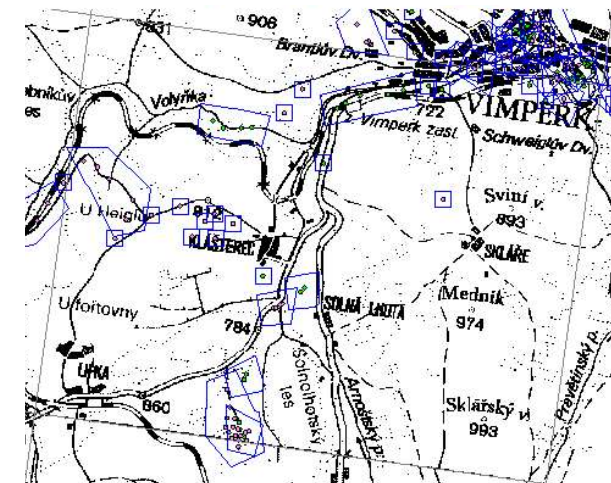
**Základní mapa ČR 1:10 000** –  
seznámení se s geografíí lokality,  
blízkými vodními toky a plochami



## Geologické podklady

- Vodohospodářská mapa
- Geologické mapy
- Česká geologická služba

[www.geofond.cz](http://www.geofond.cz)



# Základní podklady průzkumu

Využití lokality v současnosti a v minulosti

Kde byly chemikálie skladovány a likvidovány?

Které aktivity výroby jsou potenciálním zdrojem kontaminace

S kterými chemikáliemi je a bylo manipulováno?

# Bezpečnost práce při průzkumu

Vybavení	Produktivita – manuální práce	Produktivita – práce s přístroji
“Skafandr”	37 %	50 %
Plynová maska	48 %	60 %
Respirátor	55 %	75 %
Běžné prac. pomůcky	82 %	100 %
Bez ochranných pomůcek	100 %	100%



# Nepřímé metody detekce kontaminantu

- Detekce výparů nad povrchem
- Monitoring půdního vzduchu  
(Atmogeochemie)
- Geofyzikální metody

# Detekce výparů těkavých látek v terénu

OVA Plamenový ionizační detektor (FID) Scott, R. P. W., 1957, Vapour Phase Chromatography

Detekuje aromáty, alifáty, halomethany haloethany



<http://www.epa.gov/r10earth/offices/oea/ieu/manual/gallery.htm>.

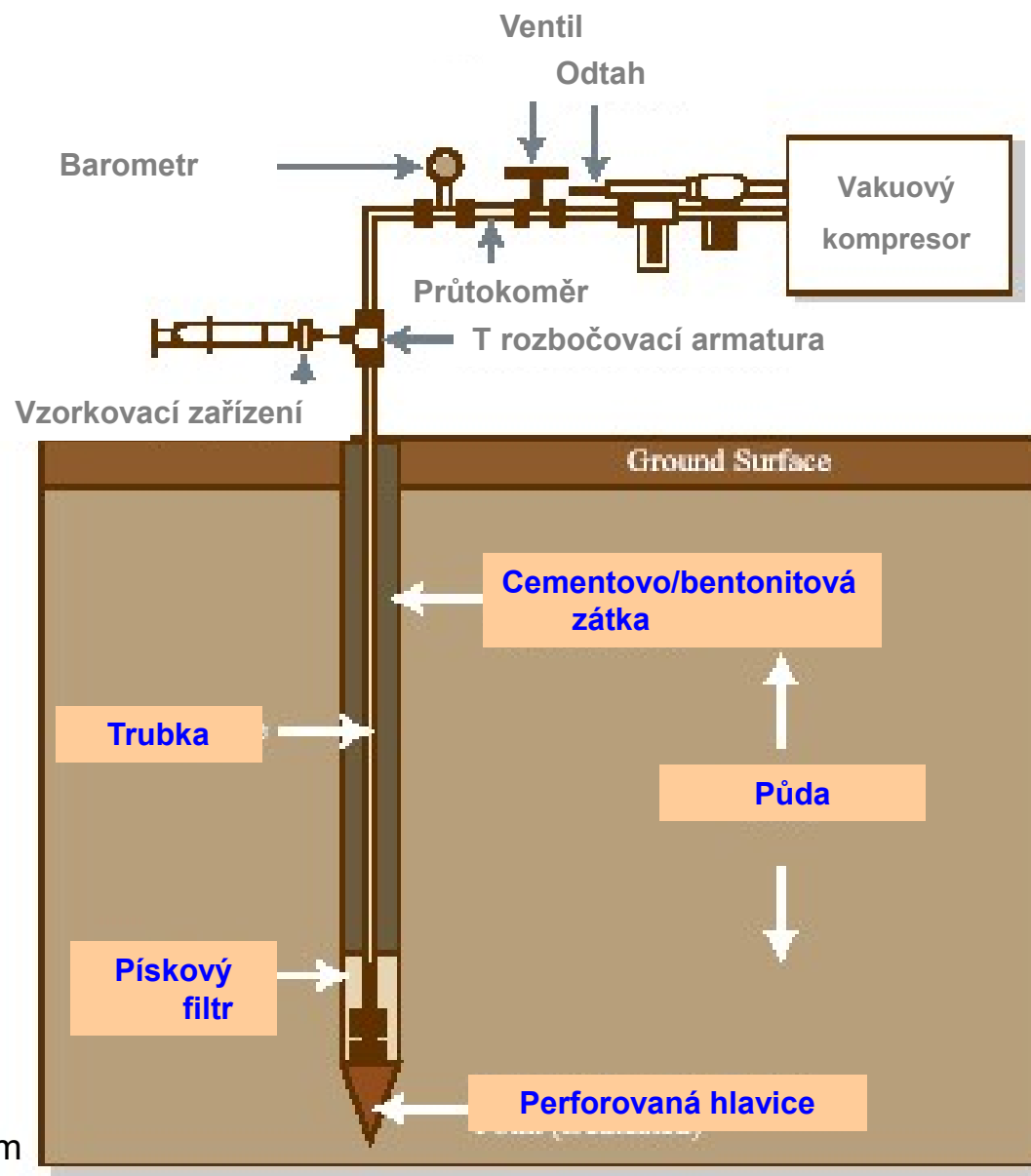
<http://www.enviroequipment.com>



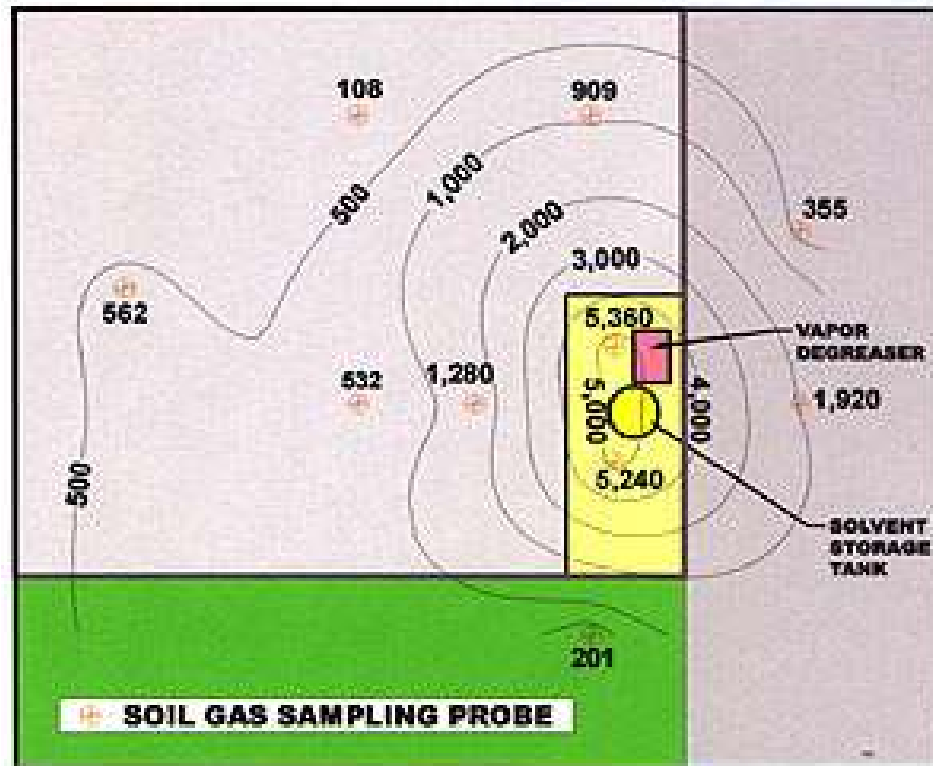
# Geofyzikální metody

<b>Metoda</b>	<b>Objekt</b>
Elektrická resistivita	Mapování vodivých nebo nevodivých kontaminantů; stratigrafie
Elektromagnetická indukce	-//- + kovové předměty
Seismická refrakce	Stratigrafie (poloha skalního podkladu); hloubka hladiny podzemní vody
Seismická reflexe	Poloha skalního podkladu
Radar (GPR)	Zasypané předměty (plast, kov), stratigrafie, hloubka podzemní vody
Magnetometrie	Zasypané kovové předměty
Gravimetrie	hranice skládek, změny hustoty

# Monitoring půdního vzduchu



# Monitoring půdního vzduchu

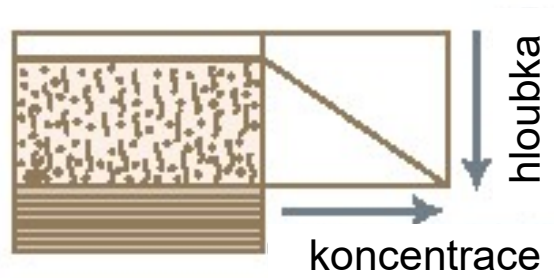


ISO-CONCENTRATION CONTOUR MAP (MICROGRAMS PER LITER)

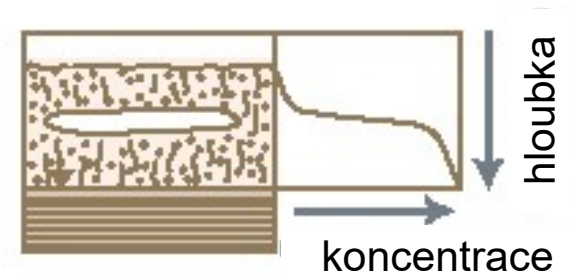
<http://www.est-inc.com/soil-gas.htm>

**Chemikálie:**  
**Chlorované**  
**uhlovodík**  
**y**  
**CFC**  
**Aromatické**  
**uhlovodík**  
**y**  
**Aditiva**

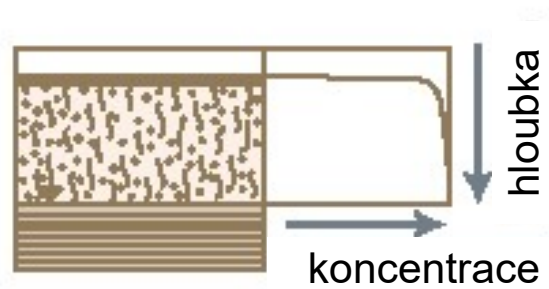
# Příklady distribuce těkavého kontaminantu v půdním vzduchu



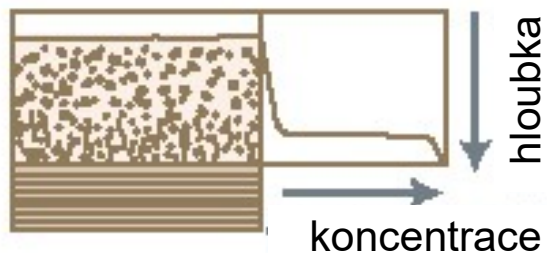
Homogenní půdní prostředí



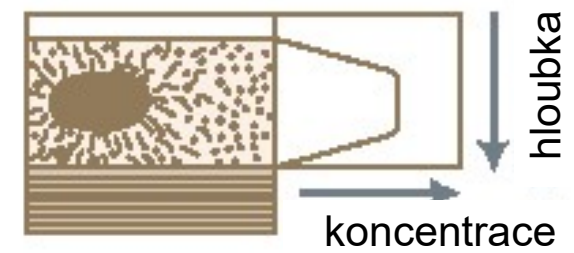
Přítomnost jílové vrstvy



Asfaltový povrch



Vysoká aktivita mikrobů ve svrchní vrstvě



Zdroj těkavé látky ve fázi

# Vrtný průzkum

**Zjištění složení a polohy geol. vrstev**

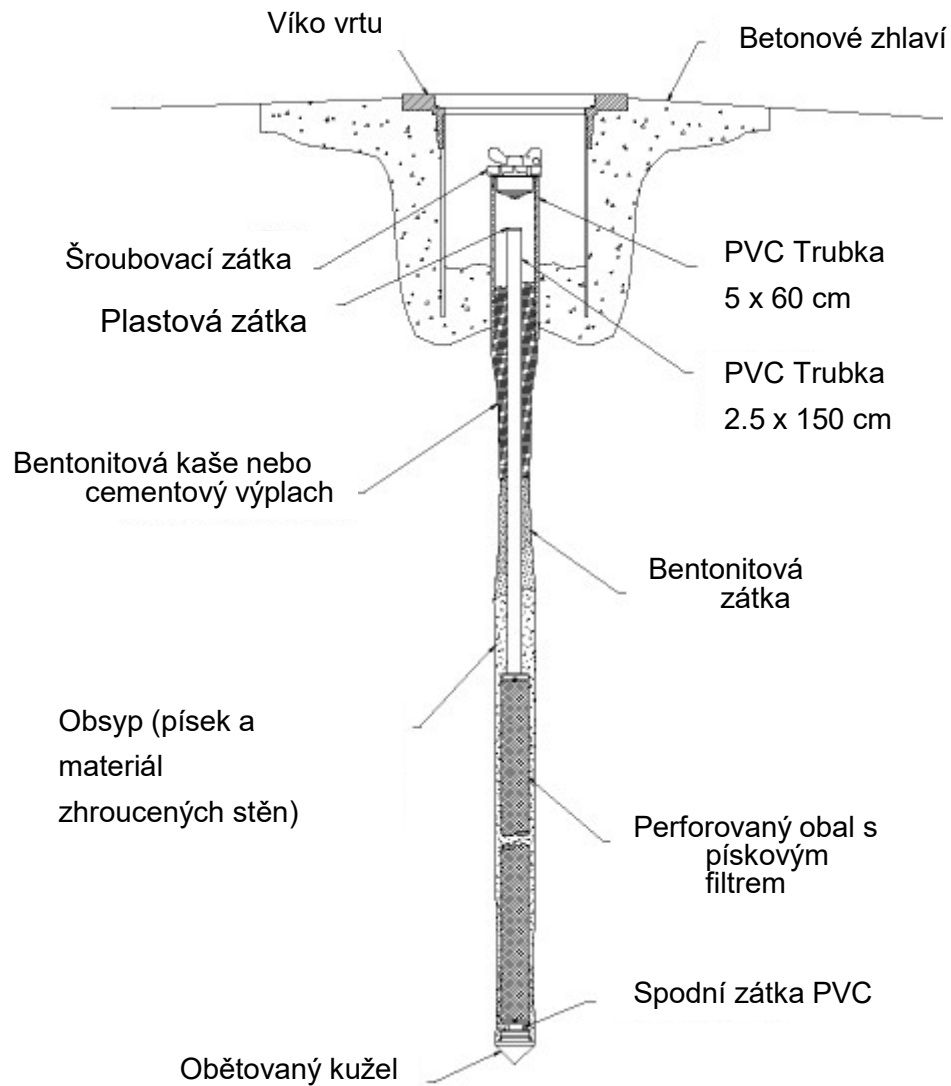
**Zjištění hydrogeologických poměrů**

- poloha HPV
- hydraulické charakteristiky

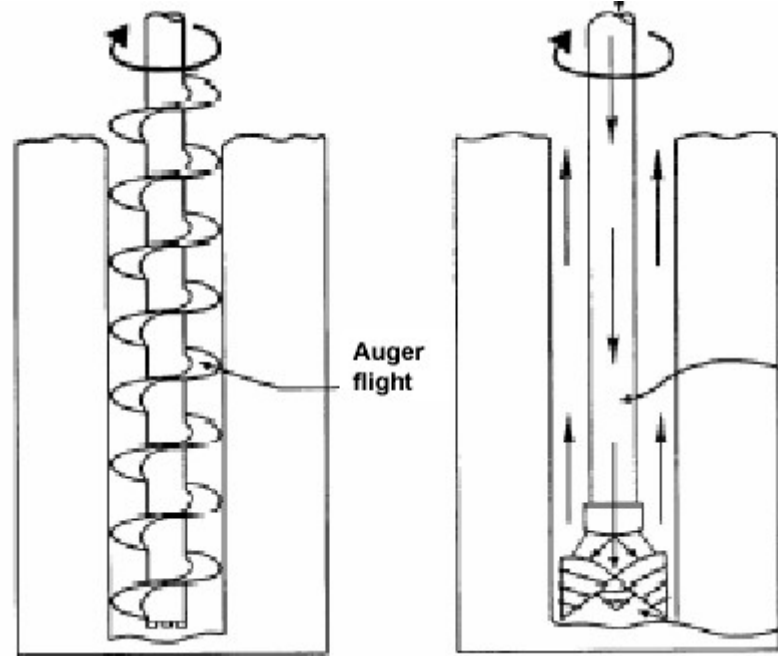
**Oběr vzorků půdy, podzemní vody**

- zjištění množství kontaminantu
- zjištění polohy kontaminačního mraku

# Přímé protlačování - Geoprobe



# Klasické metody vrtání



Šnekový  
vrták

Výplachové  
vrtání

# Jádrové vrtání



**Neporušené vzorky**

**Geologický popis**

**Chemická analýza**

**Experimenty pro zjištění  
charakteristik transportu**



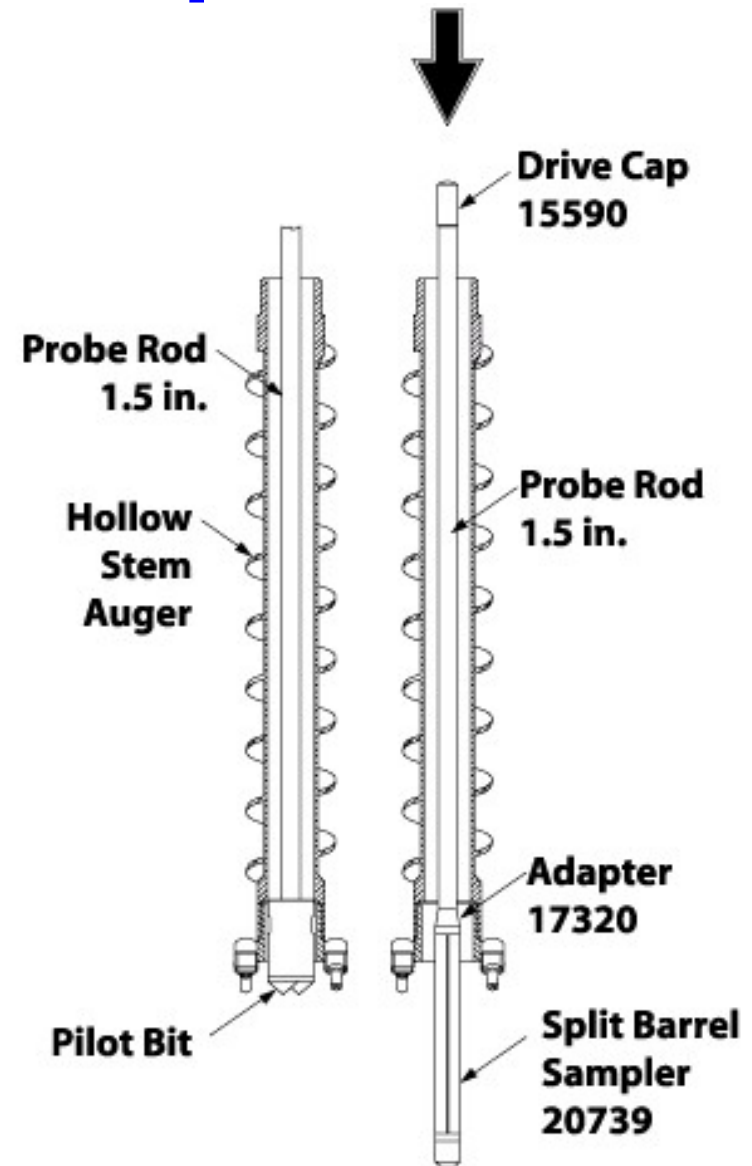
# Split barrel sampler



Neporušené vzorky pro:

Chemickou analýzu  
Měření fyzikálních  
charakteristik  
(Ks, retenční čára, transportní  
charakteristiky)

Adapted from MIT Open courseware <http://ocw.mit.edu/>



Source: [www.geoprobe.com](http://www.geoprobe.com)

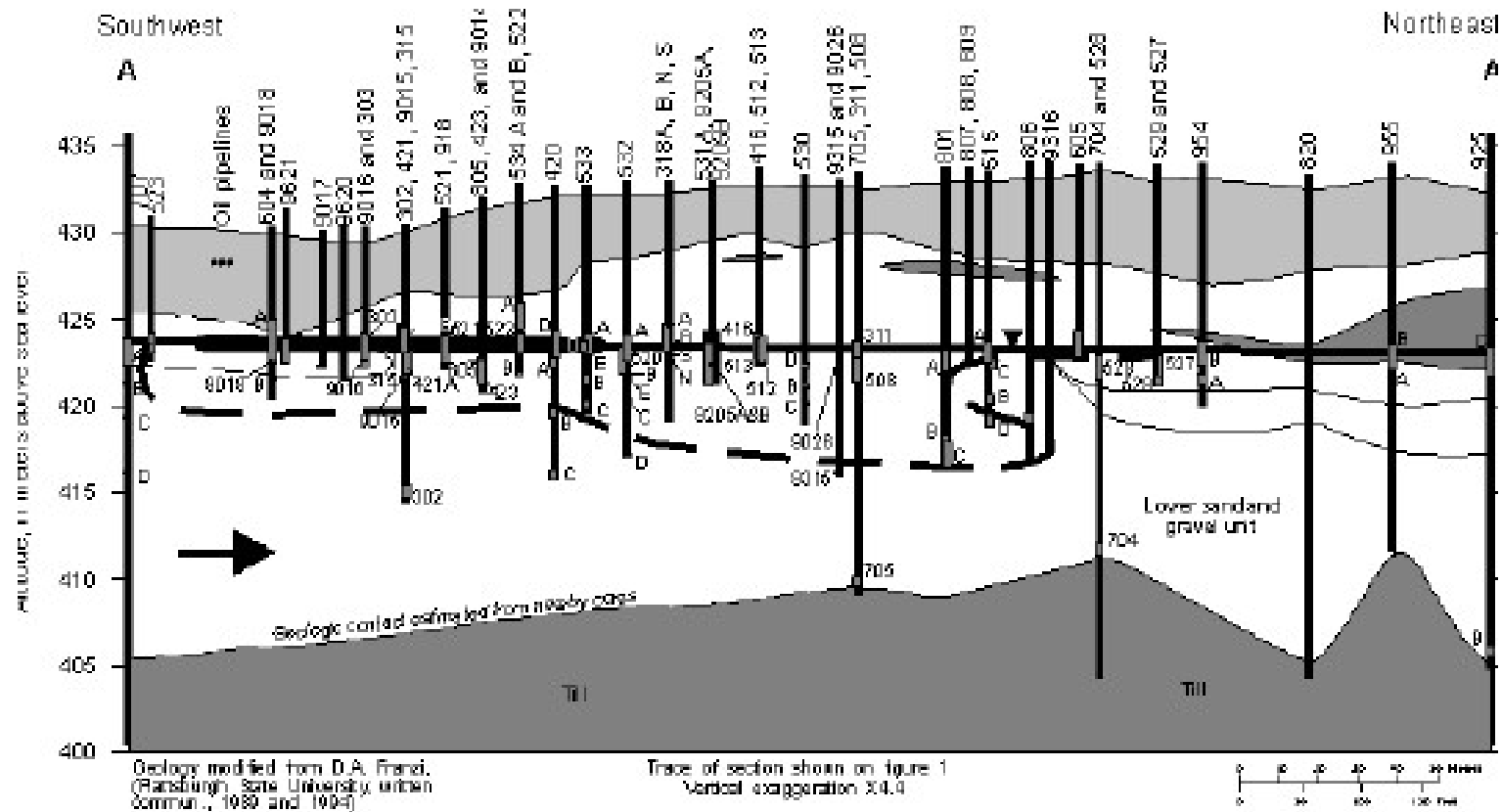
# Geologická dokumentace vrtu

- **Název vrtu**
- **Polohopis (JTSK)**
- **Nadmořská výška terénu**
- **Datum**
- **Materiál výstroje**
- **Hladina podzemní vody** - naražená  
- ustálená
- **Vzorky zemin**
- **Vzorky podzemní vody**
- **Popis vrstev**

WELL LOG			
FORM NO.: 22	PROJ. NO.: 9470-61139		
PRINCIPAL INVESTIGATOR: E.A. Shine	TITLE: Subsurface pathways for pollutant transport		
COMPANY: U.S. GEOLOGICAL SURVEY	LOCATION: PLACE - Key Largo Inland #1B (KLI-1B)	DATE BEGAN - 12-21-92	DATE FINISHED - 12-21-92
TOTAL DEPTH: 20 feet	ELEVATION: +5 feet	GPS: LAT. - 25°05'51" N	LONG. - 80°26'18" W
DRILLING SYSTEM: NX WIRELINE SYSTEM HYDRAULIC ROTARY DRILL	REMARKS:		
LOGGED BY: Christopher Reich	DATE: 4-16-93	PLOTTED BY: Christopher Reich	
	DATE: 4-16-93		

Depth	Ø	Cores	Description - (e.g. lithology, color, fossils, sed. structures, other remarks)
top			Topsoil with grass.
1 m			<i>Montastraea</i> sp. (streakened by dirt leaching from above). Brown calcareous soil. White pocketone with brown soil infilling fissures and vugs. <i>Acropora</i> sp. fragment.
5 ft			<i>Montastraea</i> sp. with vugs, and pholad borings infilled with brown soil. <i>Montastraea</i> partially infilled with lime mud. <i>Diploria</i> sp. infilled with lime mud and brown soil in voids.
2 m			Grainstone-pocketone. <i>Diploria</i> sp. with pholad bore holes and brown soil.
2 m 10 ft			Chalky-white grainstone with shell imprints and pholad bores. (brown soil stops at 9 feet).
4 m			<i>Montastraea</i> sp. leached and partially infilled with mud.
15 ft			Chalky-white grainstone with vugs. <i>Montastraea</i> sp. leached and partially recrystallized. Pholad bore holes and shell fragments.
5 m			<i>Diploria</i> sp. infilled with lime mud. Bore holes and shell fragments.
8 m 20 ft			Chalky-white grainstone with yellow coating in vugs. Leached <i>Montastraea</i> sp. Very vuggy. Chalky-white grainstone. <i>Montastraea</i> sp. infilled with mud and grainstone.

# Příčný řez

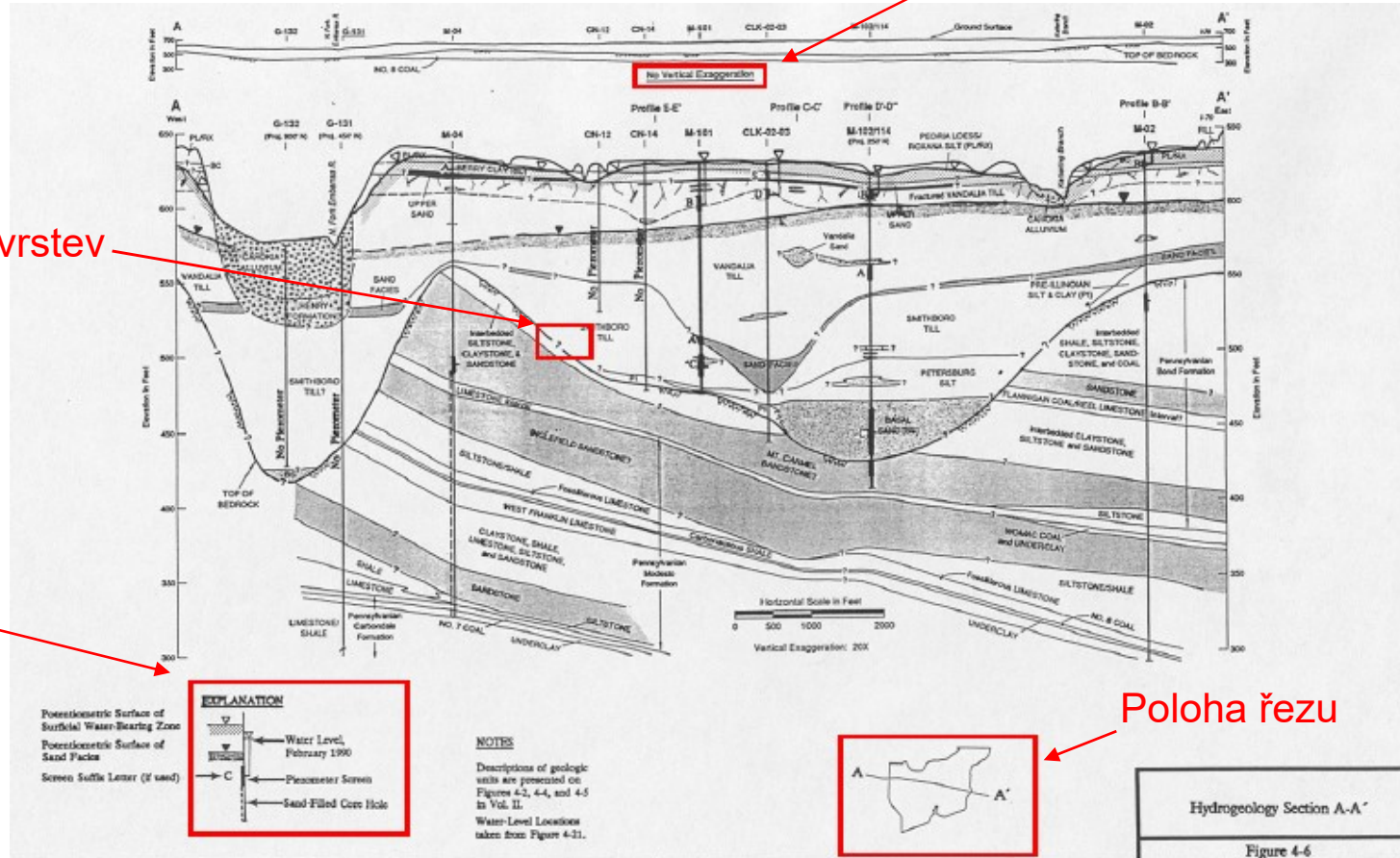


# Příčný řez

Nepřevýšený  
řez

Rozhraní vrstev

Legenda



**EXPLANATION**

- Water Level, February 1990
- Potentiometric Surface of Sand Facies
- Piezometer Screen
- Sand-Filled Core Hole

**NOTES**  
 Descriptions of geologic units are presented on Figures 4-3, 4-4, and 4-5 in Vol. II.  
 Water-Level Locations taken from Figure 4-21.



Hydrogeology Section A-A'  
 Figure 4-6

# Zásady vrtného průzkumu

**Bezpečnost – chemická**

**Bezpečnost – provádění vrtných prací  
(elektrické kabely, potrubí, úrazy)**

**Zabránění kontaminace vzorků !!!!**

**vzorek – vzorek**

**nástroj – vzorek (artefakty)**

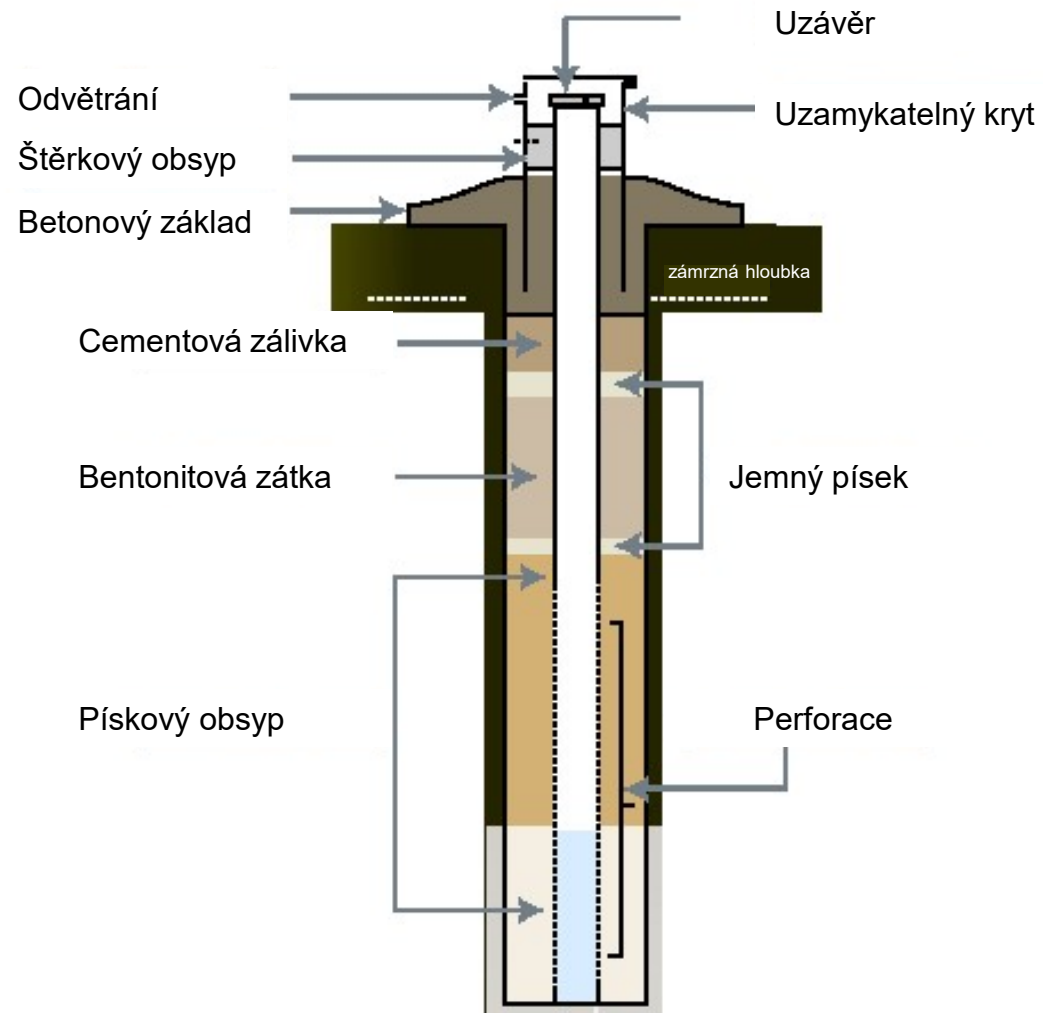
**Dodržování standardních postupů**

**Nakládání s vzorky**

# Artefakty

Látka	Zdroj kontaminace (artefaktu)
Methylen chlorid, chloroform	rozpouštědla
Ftaláty	Změkčovadla (plastifikátory) plastových trubek
Chloroform	Pitná voda z hromadného zásobování
Aceton, hexan	omývání nástrojů
Baryum, vysoké pH	Kapalina výplachu
Methyl chlorid	Přírozně se vyskytující chemikálie
Methyl Ethyl Keton (MEK)	Duct Tape (stříbrná lepicí páska)

# Monitorovací vrt

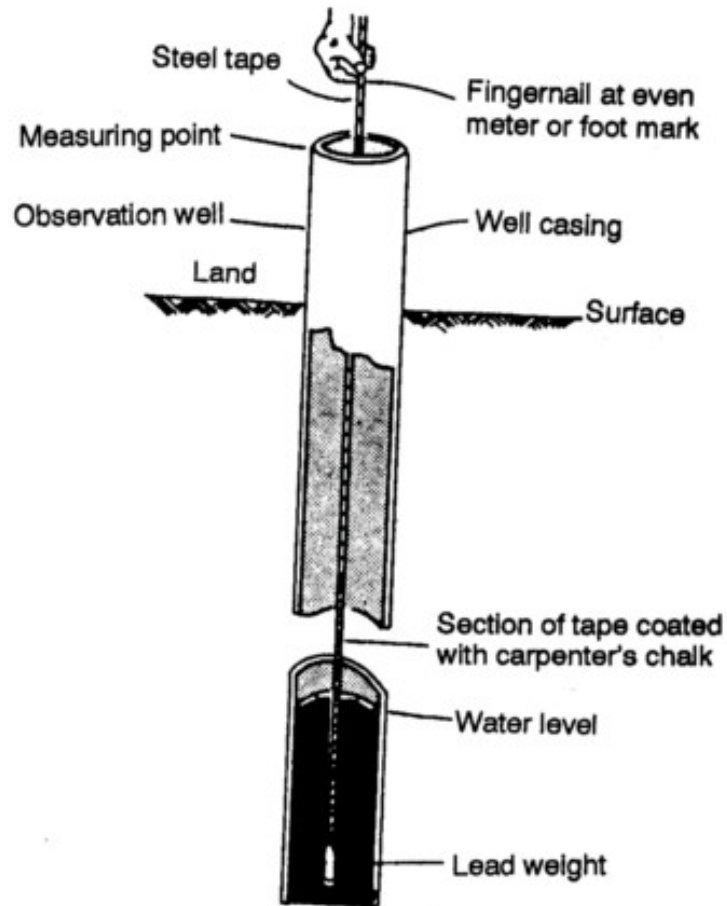


# Monitorovací vrt





# Měření hladiny vody



**Figure 8-3. Steel-tape measurement method**

Water level sound indicator



[www.globalw.com](http://www.globalw.com)

# Vzorkování podzemní vody

Čerpadlo  
do vrtu  
Peristaltick  
é čerpadlo

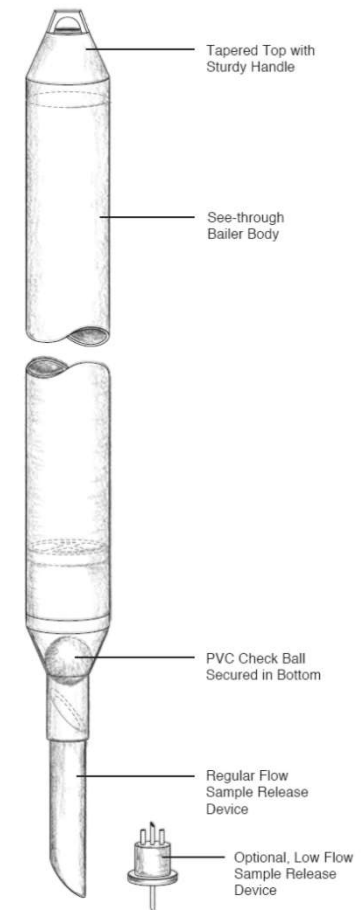


<http://www.barnant.com>



Bailer  
(kalovka)

Model 428 Disposable,  
Translucent Bailer



<http://www.solinst.com/Prod/Data/428.pdf>

# Orientační ceny laboratorních rozborů (ceny za jeden vzorek)

**Těžké kovy: samostatně (voda)** 80 – 120,-  
**skupinově** 1500,-

Metodický pokyn MŽP ČR 8/96 (Zemina) (As,Ba,Be,Cd,Co,Cr,Cr6+,Cu,Hg,Mo,Ni,Pb,Sb,Sn,V,Zn)

**Těkavé látky TOL: chlorované ethylény** 900,-  
**vyhláška č. 252/2004 Sb** 1200,-

“(1,2-dichlorethan, VC, TCE, PCE, chloroform, bromoform, bromdichlormetan, dibromchlormetan, benzen, toluen, etylbenzen, xyleny)

**Polychlorované bifenyly (PCB):** 1500,-

**Pesticidy - organochlorové (OCP):** 900,-  
**- triazinové (TP):** (simazin, atrazin, propazin, terbutylazin) 1150,-

**Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)** 1300,-

Vyhláška 383/2001Sb. – „odpady“ (PAU 15)

# **Sanační technologie**

## **In situ**

# Sanační technologie

## In situ

- **Fixace**  
(stabilizace, solidifikace, vitrifikace in situ )
- **Izolace s použitím pasívních prvků**  
(podzemní stěny, clony)
  - horizontální
  - vertikální

# Solidifikace/Stabilizace

## **Solidifikace:**

enkapsulace znečištění monolitickým materiálem (cement)

## **Stabilizace:**

injektáž vhodného stabilizátoru který snižuje rozpustnost, toxicitu, mobilitu přímo do kontaminačního mraku

S/S technologie vhodné pro kovy, radionuklidy a málo těkavé org. látky

# Solidifikace/Stabilizace

## Fixační směsi:

### Organické

Polyethylén

bitumen

asfalt

### Anorganické

Cement

Vápenné mléko

Speciální směsi

**Výběr fixačních směsí na základě experimentu**

# Solidifikace/Stabilizace

## Technologie promíchávání in situ

### Mělké promíchávání:

do hloubky 12 m,

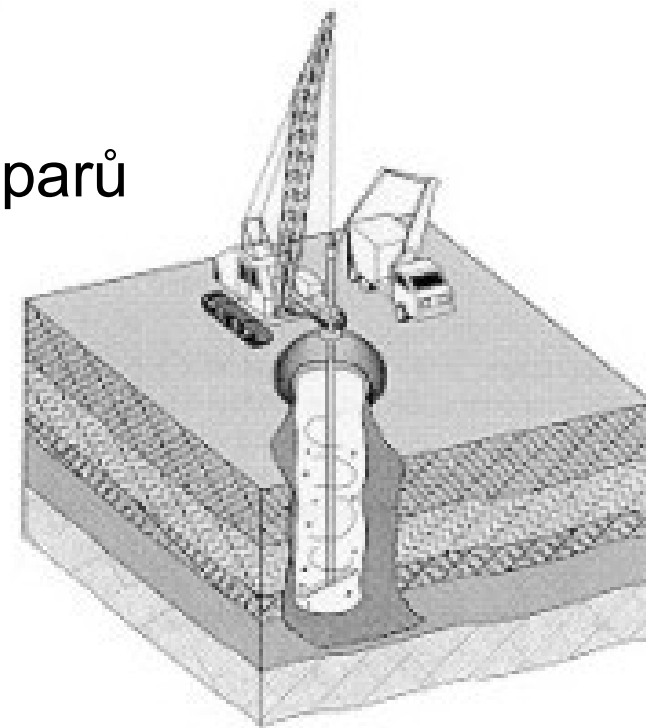
průměr míchacího nástroje do 4 m

středně těkavé látky – odsávání výparů

Cena 50 – 80 USD/m<sup>3</sup>



<http://www.geocon.net/>



<http://www.new-technologies.org/ECT/Other/soilmixing.htm>



# Solidifikace/Stabilizace

## Technologie promíchávání in situ

### Hluboké promíchávání

do hloubky 40 m

sada 2-4 míchacích nástrojů

Solidifikační směsi přiváděny

jádry nástrojů

zvětšení objemu ~15%

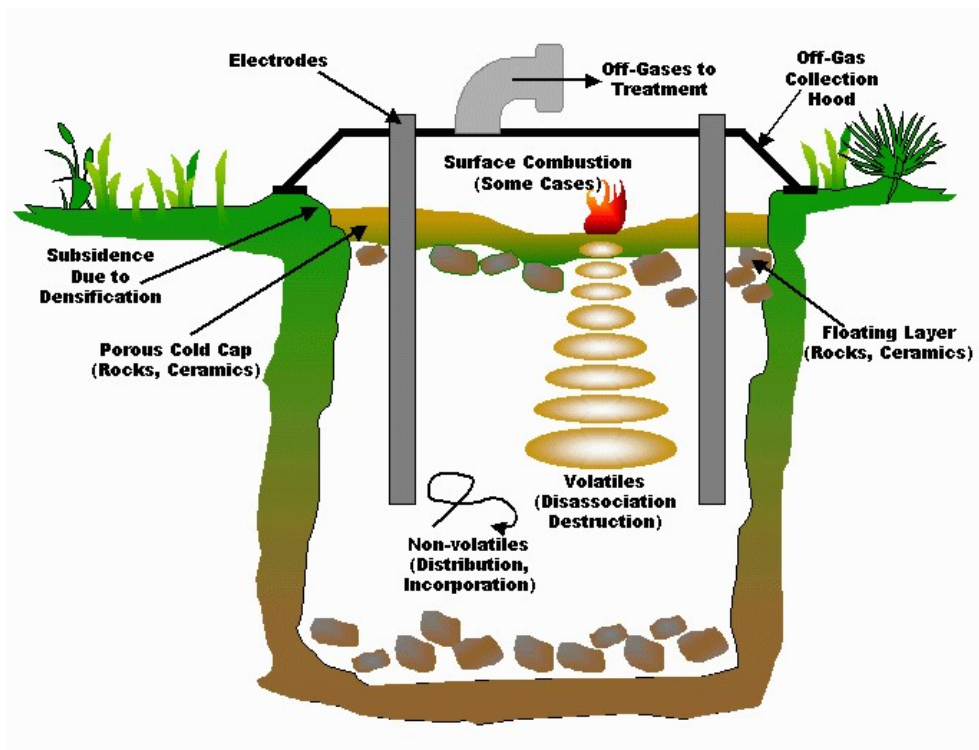
cena 190 – 300 USD/m<sup>3</sup>



# Vitrifikace in situ

**Žárová přeměna kontaminované zeminy ve tvrdý, chemicky inertní materiál sklovitý materiál.**

- Organické látky jsou odpařeny nebo spáleny.
- Teplo se vyvíjí odporově – mezi dvěma až čtyřmi elektrodami. Teplota  $\sim 2000^{\circ}\text{C}$ .



# Vitrifikace in situ

**Žárová přeměna kontaminované zeminy ve tvrdý, chemicky inertní materiál sklovitý materiál.**

- Organické látky jsou odpařeny nebo spáleny.
- Teplo se vyvíjí odporově – mezi dvěma až čtyřmi elektrodami. Teplota  $\sim 2000^{\circ}\text{C}$ .
- Použito zřídka – především izolace radioaktivního odpadu
- Až 1000 tun na jednou
- Zmenšení objemu o 25-50%
- Cena  $\sim 280 - 600$  USD/tunu zeminy (závisí především na ceně elektřiny, a počáteční vlhkosti půdy)



# Vitrifikace in situ

- Použito zřídka – především izolace radioaktivního odpadu
- Až 1000 tun na jednou
- Zmenšení objemu o 25-50%
- Cena ~280 – 600 USD/tunu zeminy (závisí především na ceně elektřiny, a počáteční vlhkosti půdy)



# Izolace s použitím pasívních prvků

## Horizontální prvky „Surface caps“

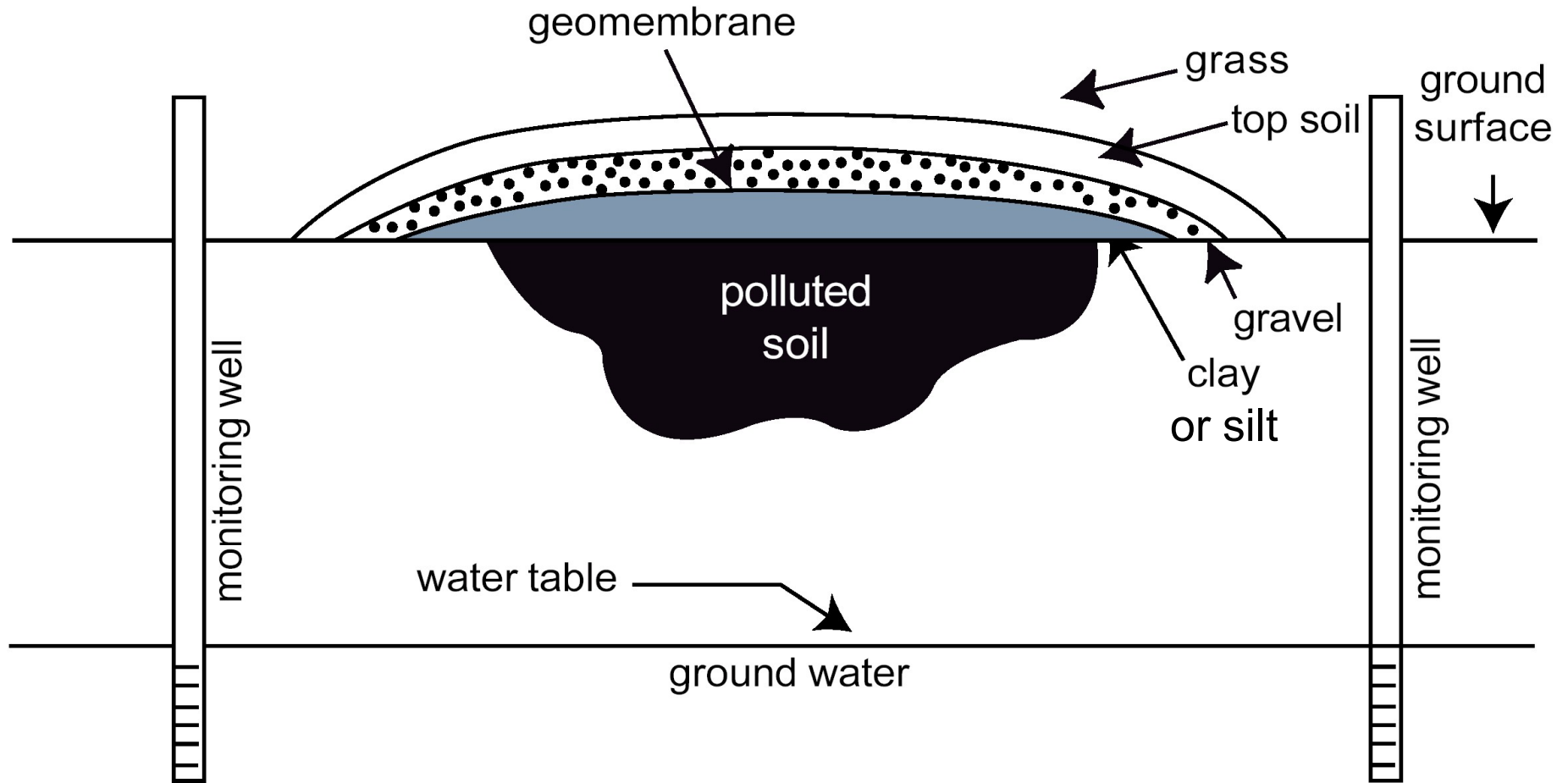
**Cíl:** Zamezení infiltrace srážkových a jiných povrchových vod

### Prostředky:

- Folie (PVC)
- Betonové panely, desky
- Asfaltové směsi
- Jílové těsnící prvky (clay liners)
- **Kompozitní**
- .... ostatní (např. produkty recyklací)

Výběr závisí především na následném využití lokality

# Surface caps



# Kompozitní horizontální izolace

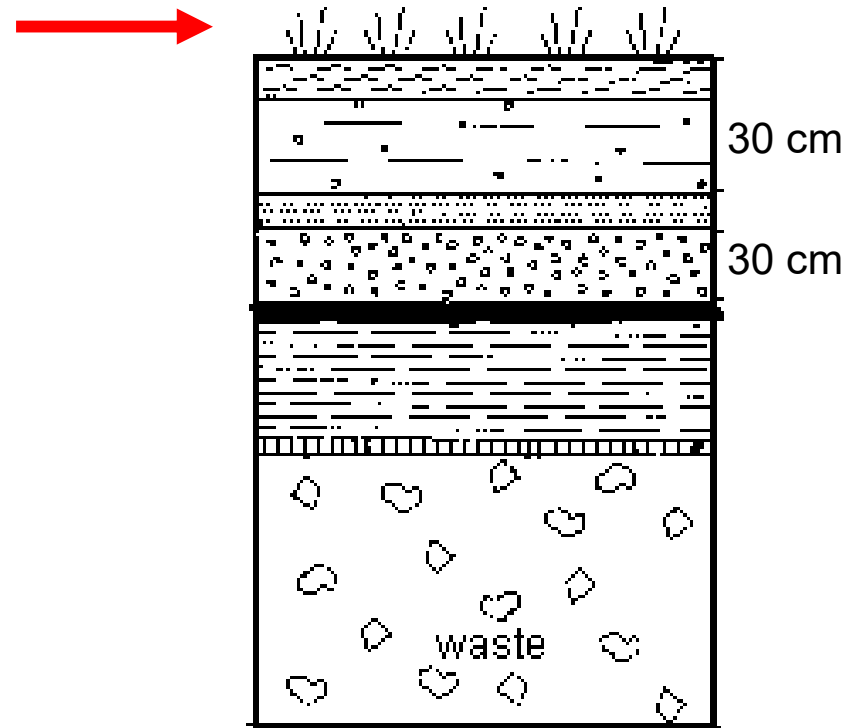
## VEGETACE

### Účel:

- Ochrana proti erozi
- Snížení infiltrace evapotranspirací

### Skladba:

- Mělce kořenící rostliny
- Malé nároky na živiny
- Odolné suchu



# Kompozitní horizontální izolace

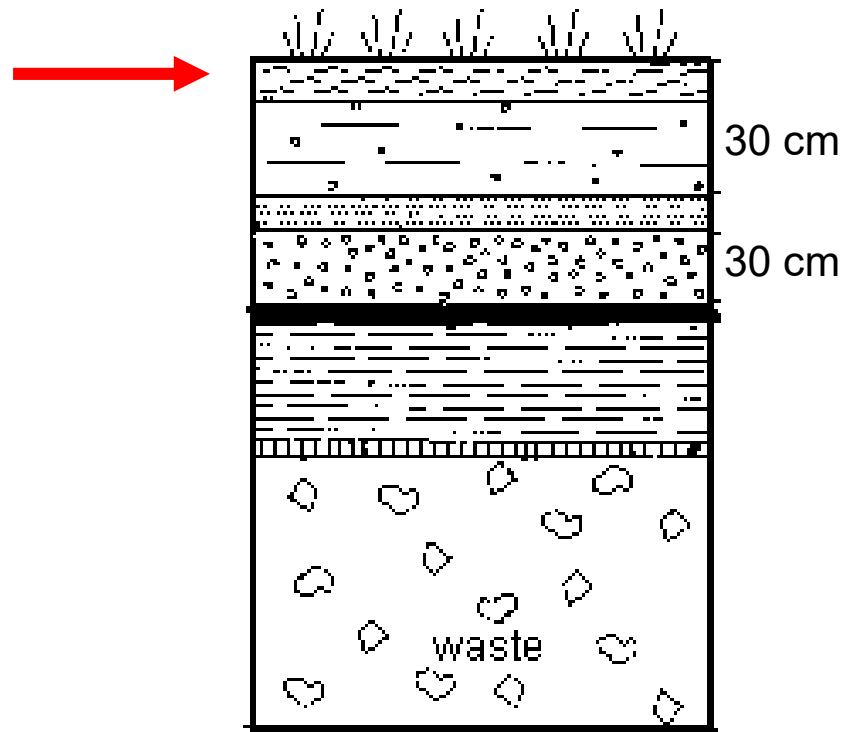
## VRSTVA PŮDY

### Účel:

- Kořenící substrát pro rostliny
- Ochrana dalších vrstev

### Charakteristika:

- Běžně 60cm hluboká





# Kompozitní horizontální izolace

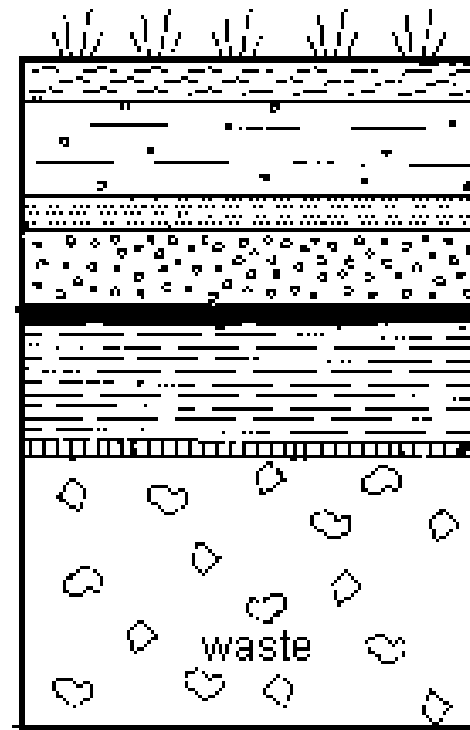
## HRUBÝ ŠTĚRK

### Účel:

- Ochrana proti prorůstání kořenů a prohrabávání živočichy

### Charakteristika:

- Nemusí být vždy přítomna



# Kompozitní horizontální izolace

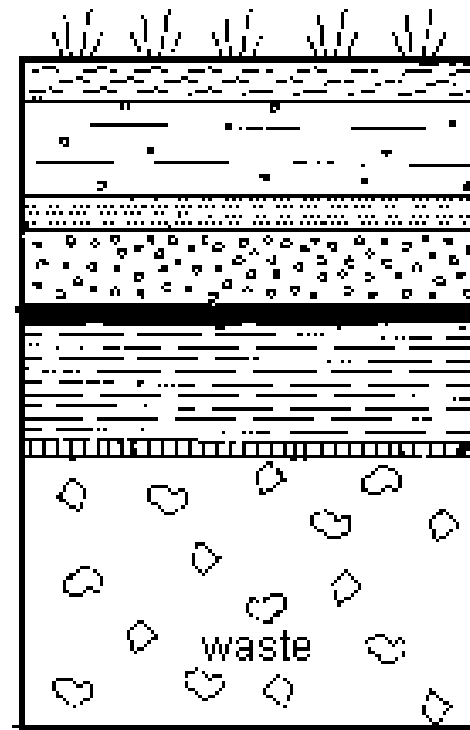
## FILTRAČNÍ VRSTVA

### Účel:

- Ochrana proti pronikání jílových částic do drenážní vrstvy

### Charakteristika:

- Geotextilie nebo pískový filtr (30 cm)



# Kompozitní horizontální izolace

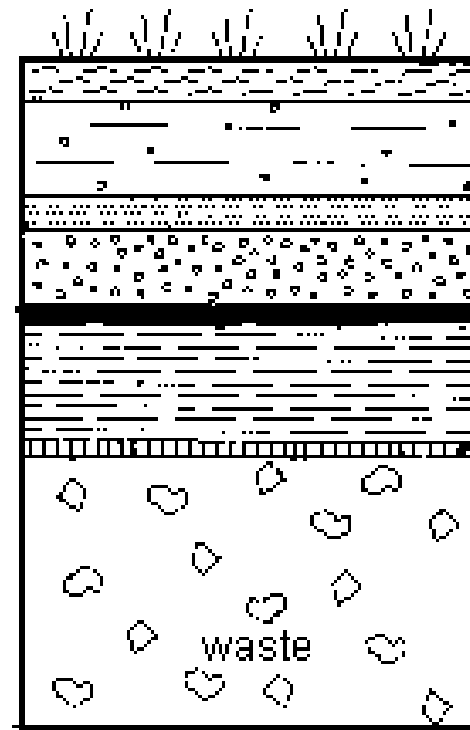
## DRENÁŽNÍ VRSTVA

### Účel:

- Odvedení vody
- Zamezení tlakového namáhání geomembrány

### Charakteristika:

- Ve sklonu
- > 30cm písku
- $K > 10^{-2}$  cm/sec



# Kompozitní horizontální izolace

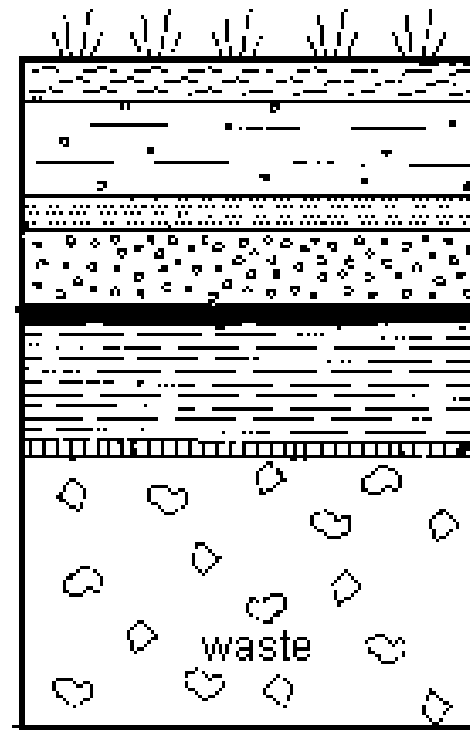
## IZOLAČNÍ VRSTVA

### Účel:

- Zabraňuje pronikání vody do půdy obsahující kontaminant

### Charakteristika:

- Fólie (geomembrána) alespoň 0.5 mm
- Dusaný jíl 60 cm,  $K \leq 10^{-7}$  cm/s



# Kompozitní horizontální izolace

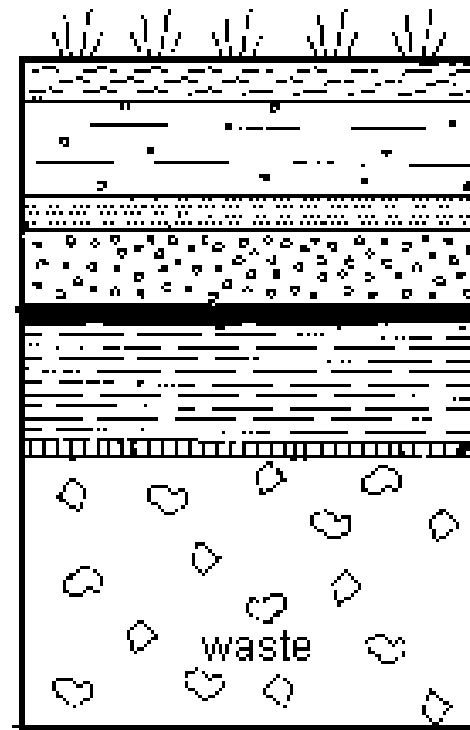
## VRSTVA ÚNIKU PLYNŮ

### Účel:

- Odvádí plynné produkty degradací (methan)

### Charakteristika:

- 30 cm písku



# Izolace s použitím pasívních prvků

## Vertikální prvky

**Cíl:** Zamezení nebo omezení migrace znečištění z ohniska

## Prostředky:

- Těsnící zářezy (slurry walls, cut-off walls)
- Injekční clony
- Tenké těsnící clony
- Clony z umělých hmot, ocelové profily

# Těsnící zářezy

**Nejvíce používaný prvek**

**Materiál:**

**bentonit + půda (SB)**

$$K = 10^{-7} - 5 \times 10^{-9}$$

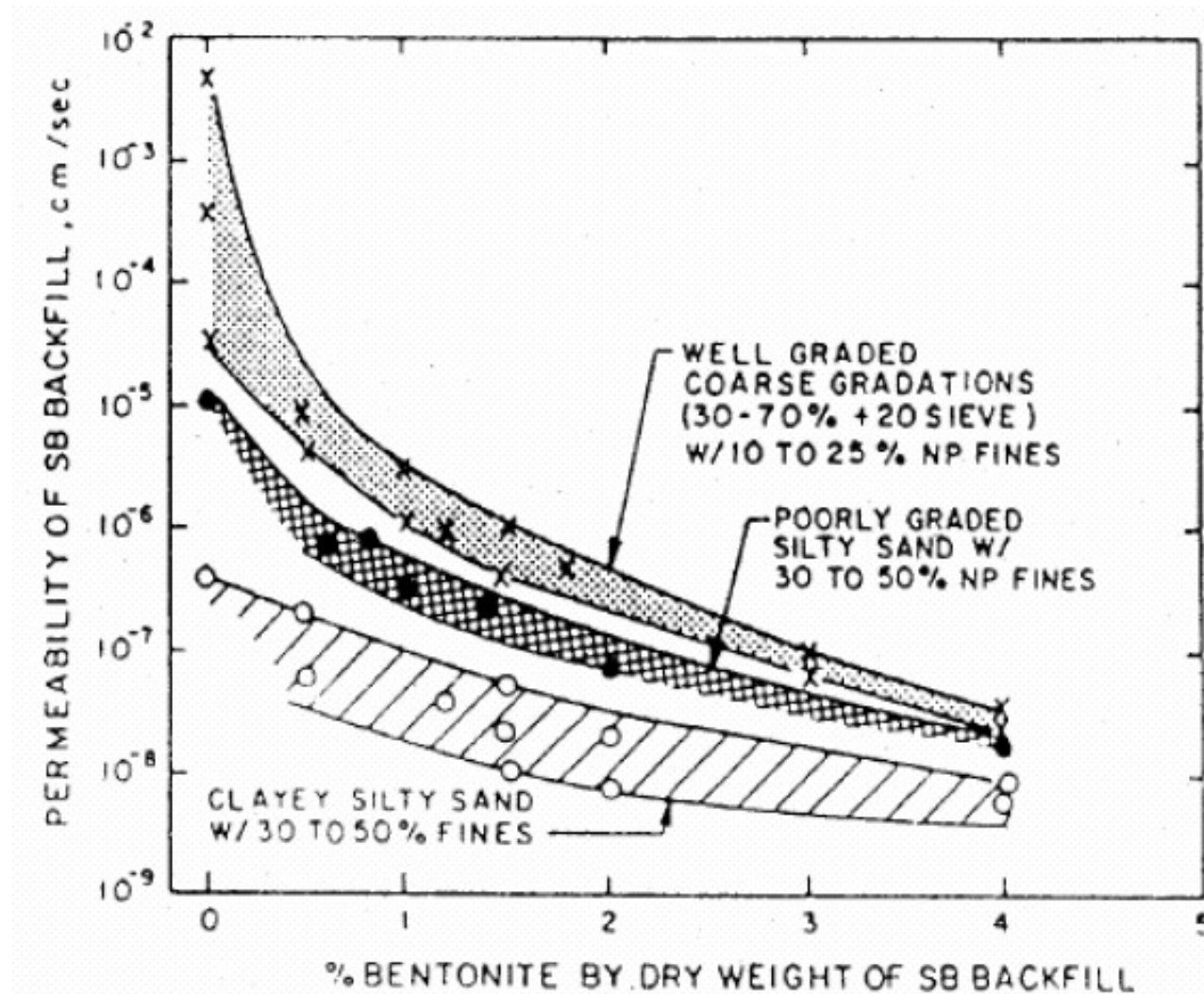
**bentonit + cement**

propustnější, má ale vyšší únosnost,  
použití tam kde není vhodná půda pro  
(SB)



# SB směs

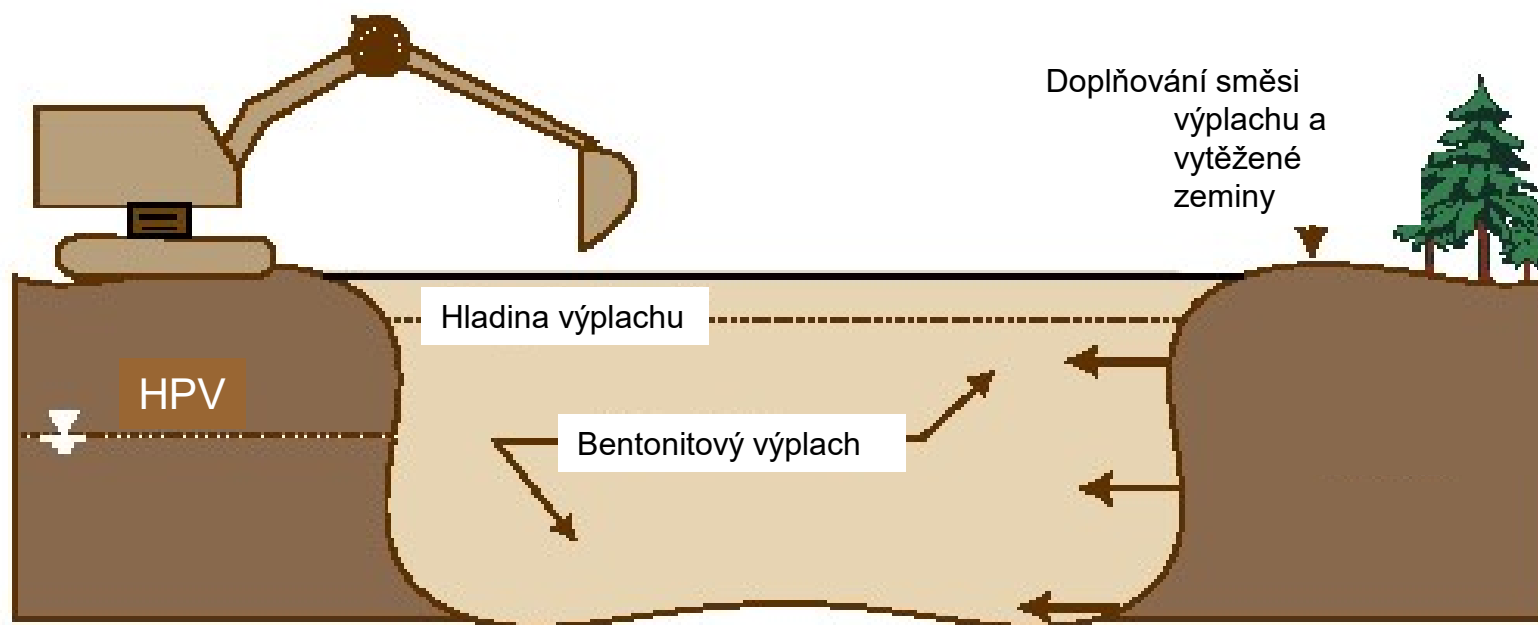
## Závislost $K_s$ na obsahu bentonitu





# Zhotovení těsnícího zářezu

- Rypadlo hloubí zářez
- Stěny jsou „paženy bentonitovým výplachem“
- Povrch je uzavřen betonovou hlavicí



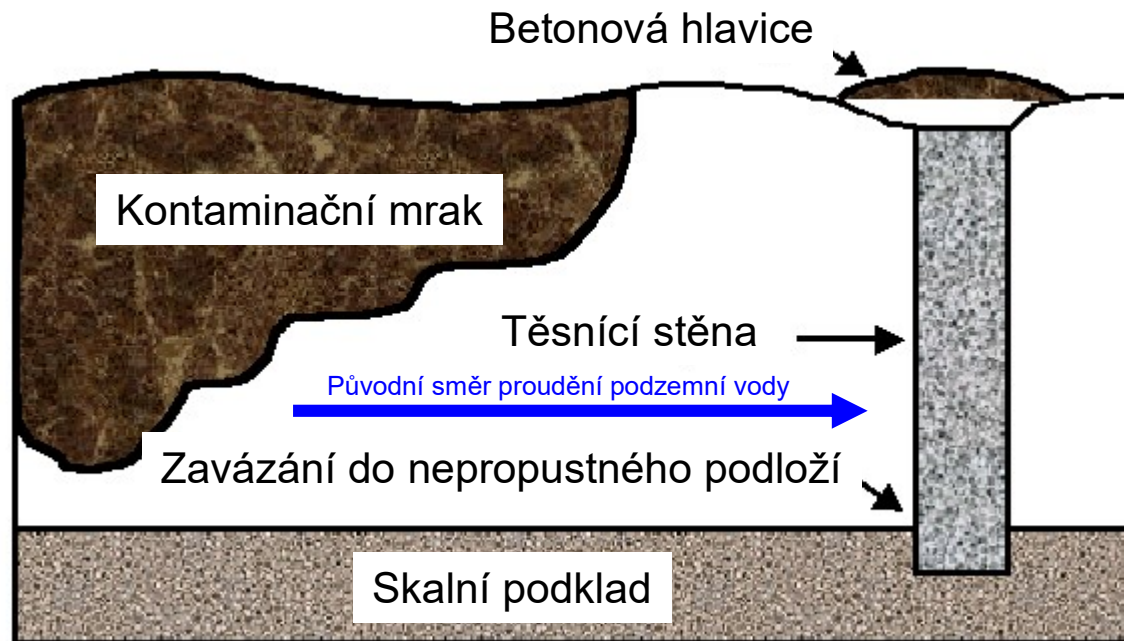
# Technologie hloubení



<http://www.mp.usbr.gov/mpco/showcase/bradbury.html>.

# Konstrukce těsnícího zářezu

## Konstrukce těsnícího zářezu



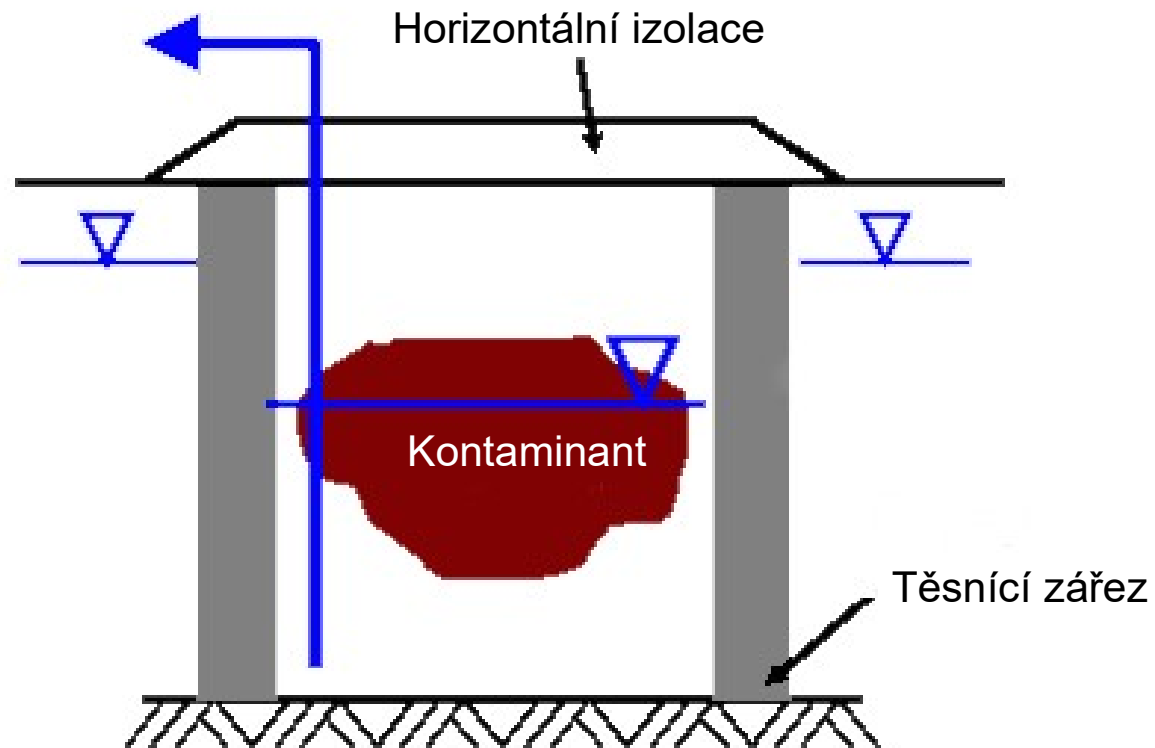
## Možné

### selhání

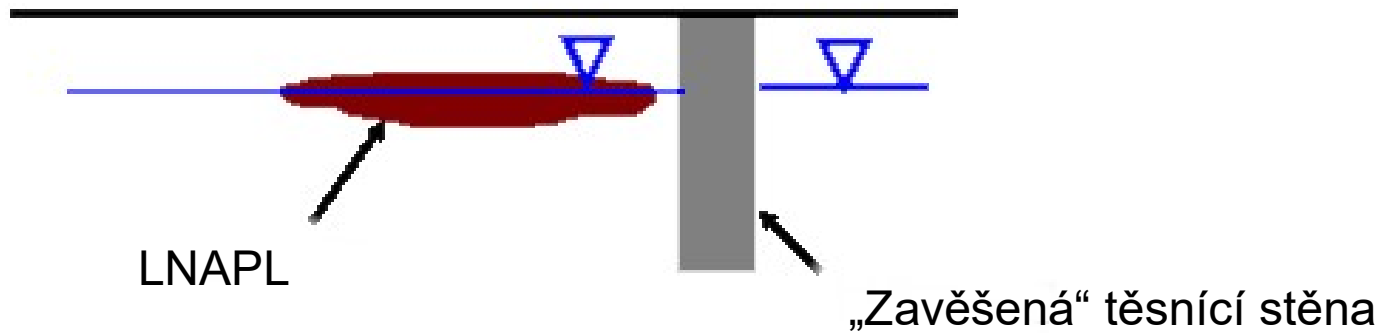
- Nesprávně připravená směs
- Odpadávání materiálu stěn
- Špatně provedené zavázání do skalního podloží
- Narušení mrazem
- Vysušení

# Úplná izolace kontaminace

Odčerpávání průsakové vody



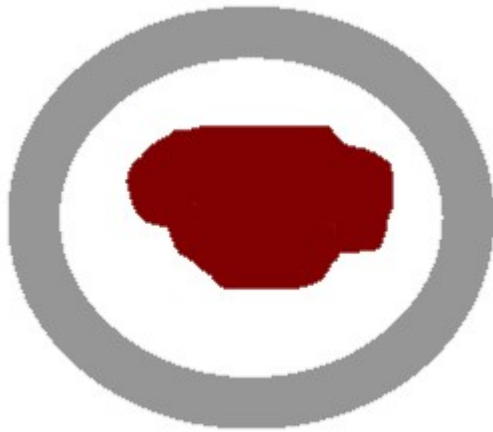
# Neúplná stěna pro zamezení šíření LNAPLu



Nepropustné podloží (ve velké hloubce)

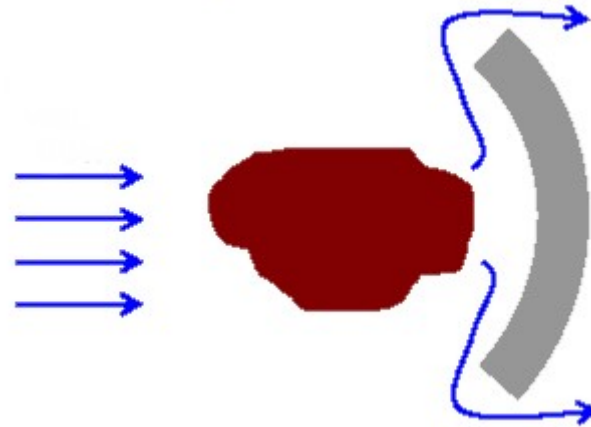
# Horizontální uspořádání

Úplné uzavření



Těsnící zářez zcela izoluje znečištění

Otevřená bariéra



Těsnící zářez zpomaluje migraci (možnost degradace kontaminantu)

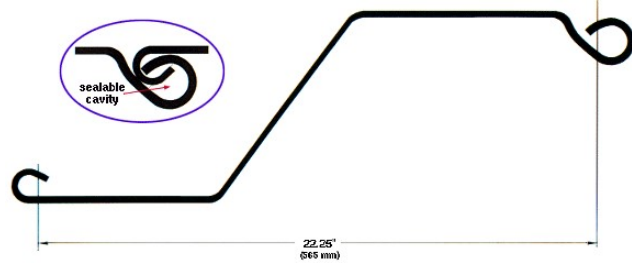
# Hodnocení EPA úspěšnosti projektů s těsnícími zářezy

## Hodnoceno 130 realizací – u 36 k dispozici požadovaná data

- 8 z 36 splnilo cíl remediacce
- 4 splnily cíl ale ještě nebyla prokázána dlouhodobá úspěšnost
- 13 spíše splnily cíl
- 4 spíše nesplnily cíl remediacce
- 7 nejistý výsledek

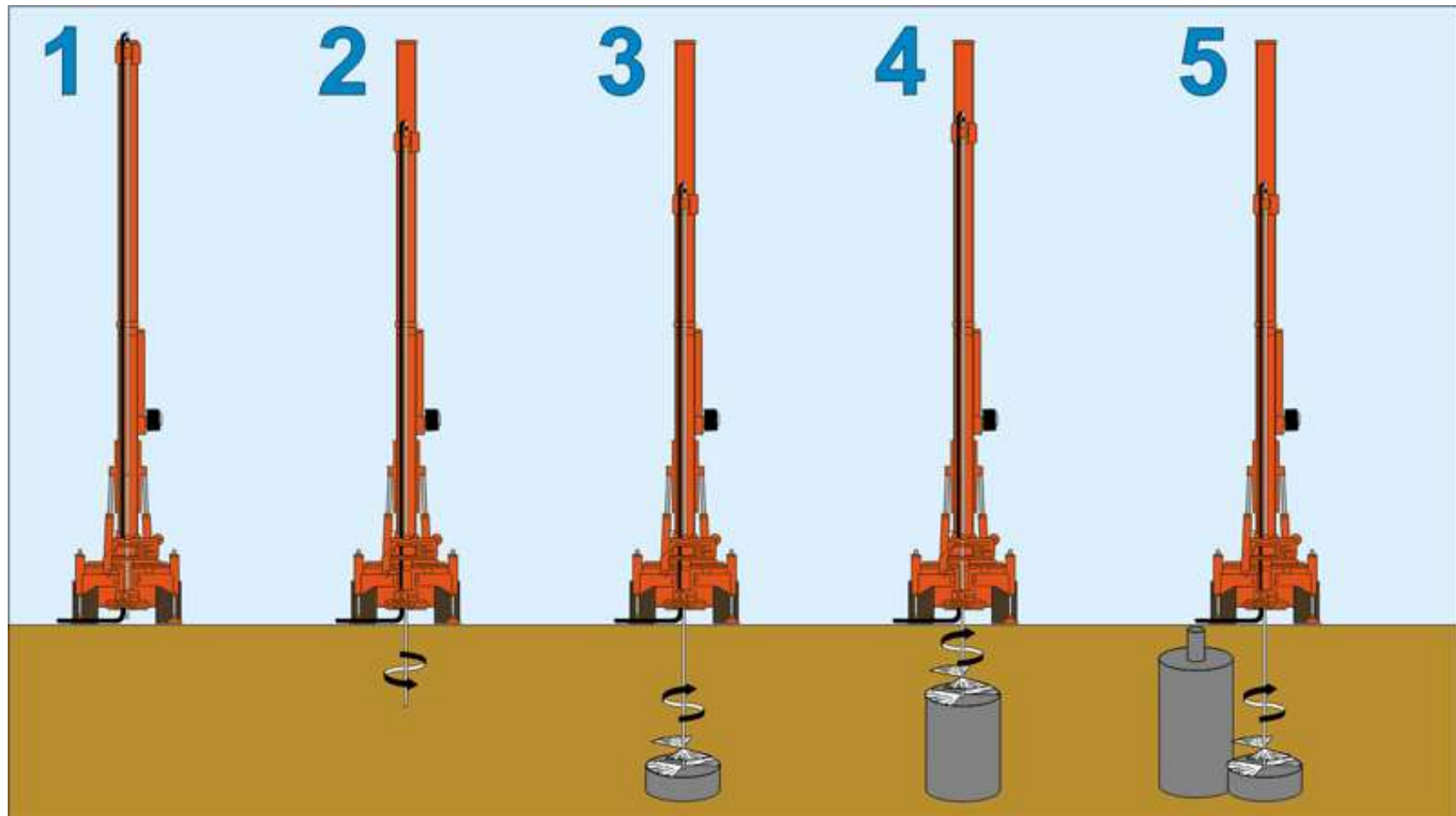
4 z 36 vyžadují opravu (došlo k průsakům v místě zavázání do podloží)

# Těsnící stěny z ocelových profilů





# Injekční clony (trysková injektáž- Jet Grouting)



# Příklady použití metod izolace kontaminantu v ČR

## **SPOLANA A. S., NERATOVICE**

Izolační geokontejnment z těsnících podzemních stěn (27 640m<sup>2</sup>), 110 mil Kč

## **KEMAT s.r.o., Skalná u Chebu (financováno FNM)**

zdvojený geokontejnment, vnitřní stěna s použitím tryskové injektáže **42 mil Kč**

## **LETIŠTĚ PRAHA RUZYNĚ**

Enkapsulace znečištění na 4 místech po 6 m<sup>3</sup> klasickou injektáží 0,5 mil Kč



# Literatura

- Databáze rozpadu toxických chemických látek <http://umbbd.ahc.umn.edu/>
- Paulo C. Gomesa, Mauricio P.F. Fontes\*,b, Aderbal G. da Silvab, Eduardo de S. Mendonçab and André R. Nettoc, *Soil Science Society of America Journal* 65:1115-1121 (2001)
- Císlerová M. a Vogel T., Transportní procesy. Skriptum ČVUT (1998)
- <http://www.natur.cuni.cz/~pcoufal/> Separační metody
- <http://staff.bath.ac.uk/chsataj/CH10094%20lectures%201-4.pdf>