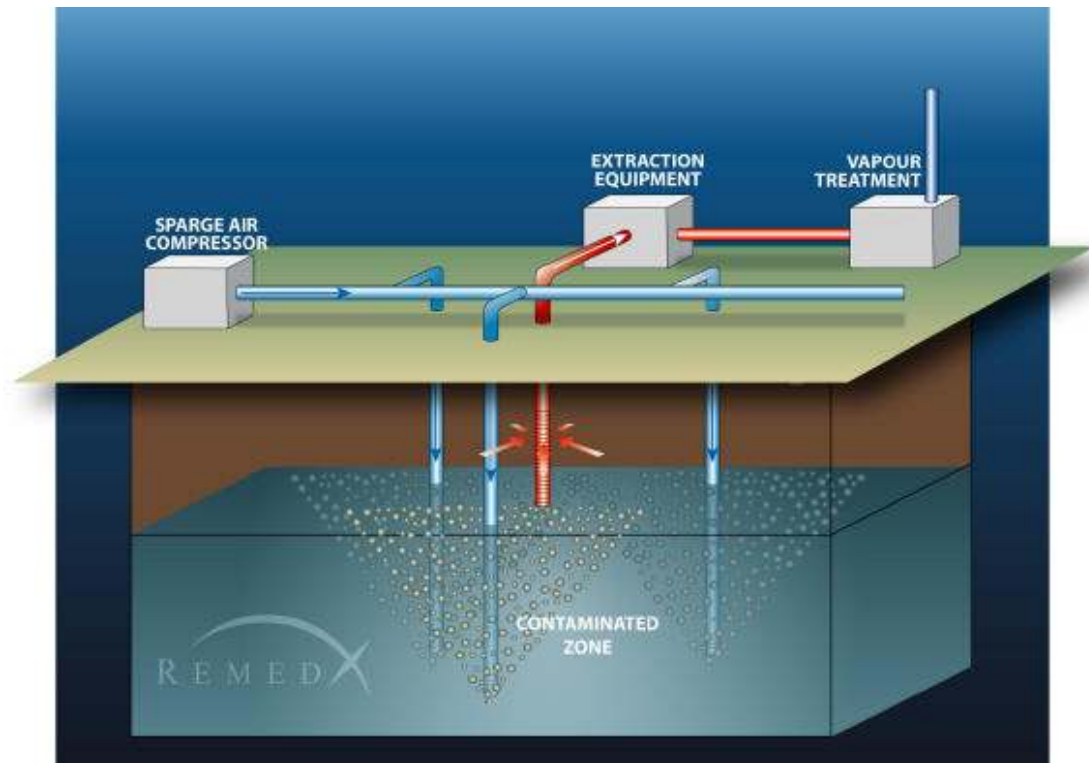


Odpady a kontaminace

Přehled technologií,
Vícefázové proudění

SANACE - Metody dekontaminace I.

Pump-and-treat, Air Sparging, Solvent Vapor
Extraction, Soil Flushing



Přehled technologií dle snížení rizika

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

Přehled technologií podle 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, jííl, 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

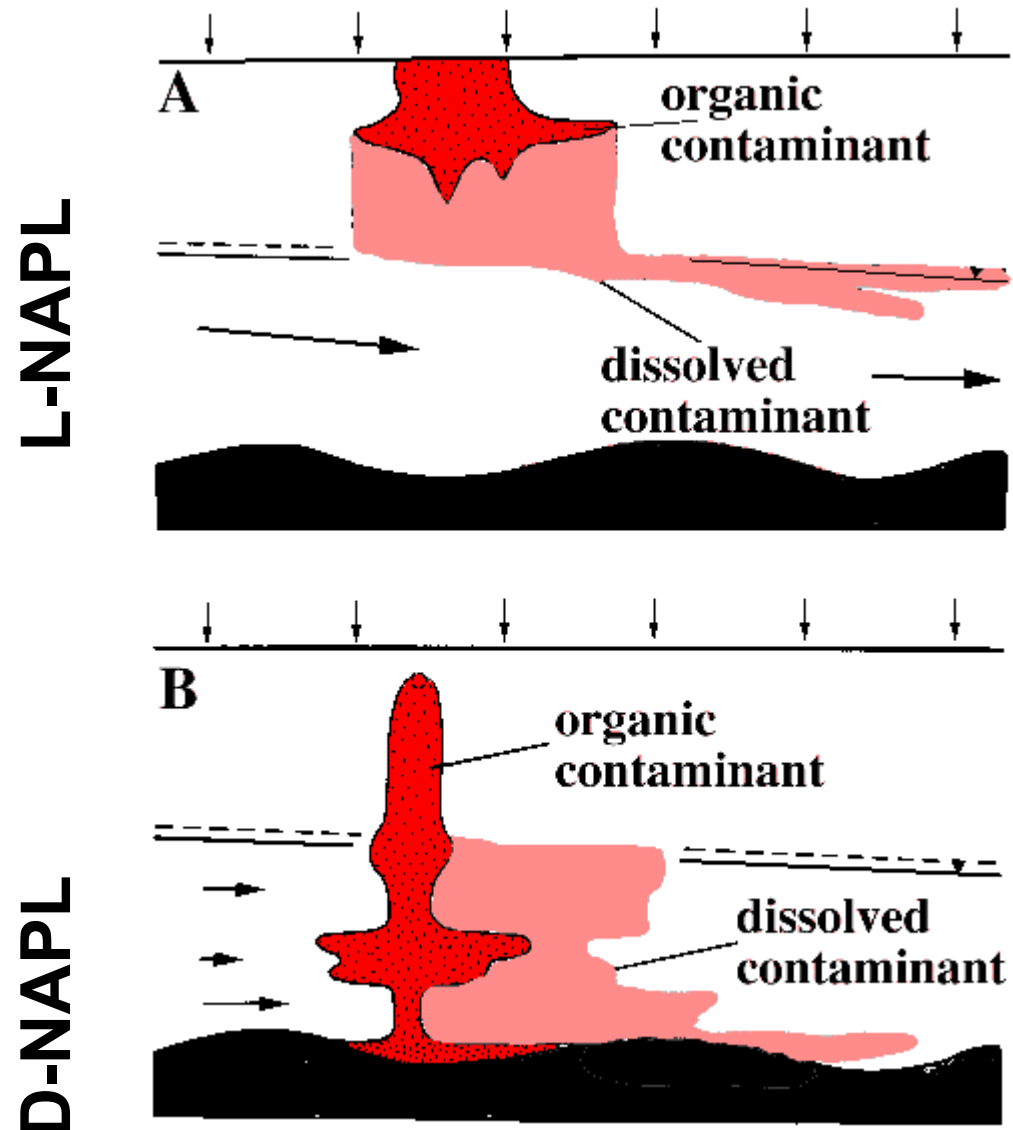
Technologie In Situ

- 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
- Propustné reaktivní bariéry
- Pump and Treat (čerpání a čištění)
- Fytoremediace
- Vymývání parou
- Vertikální bariéry

Vícefázové proudění

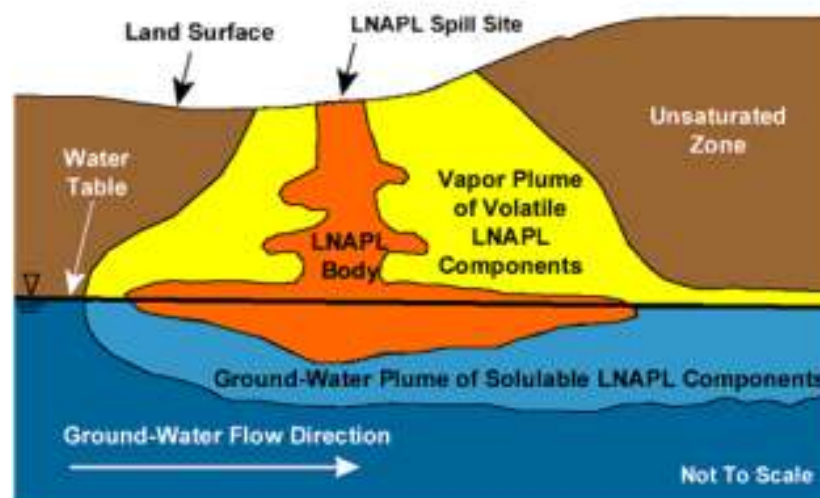
- **NAPL (Non Aqueous Phase Liquids)** – rozdílné fyzikální a chemické vlastnosti na fázovém rozhraní neumožňující mísení

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



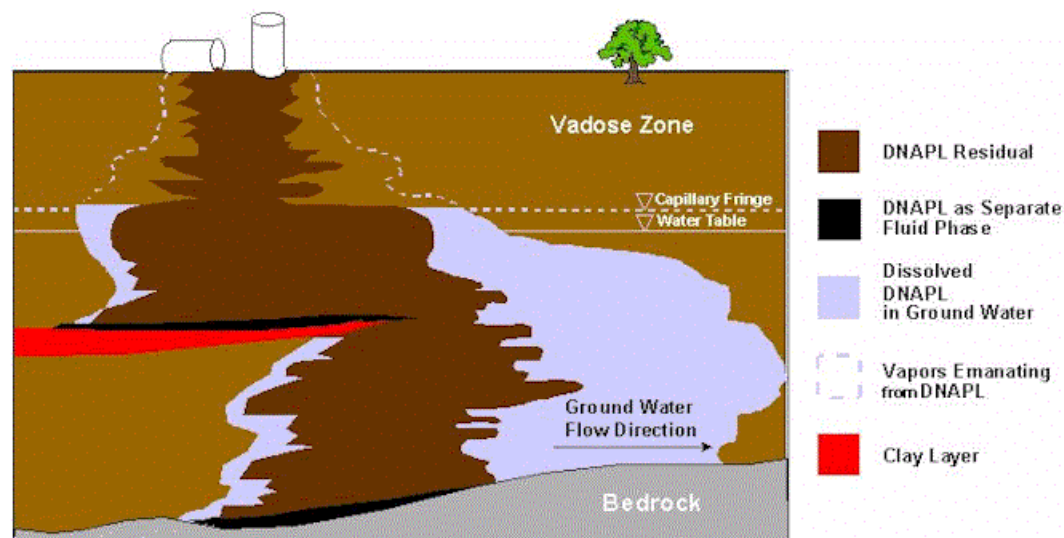
Vícefázové proudění

- **L-NAPL (Light Non Aqueous Phase Liquid)** – snadnější odstranění z hladiny podz. vody



USGS

- **D-NAPL (Dense Aqueous Phase Liquid)** – obtížné odstranění z rozhraní s podložím, nebo méně hydr. vodivými vrstvami



After NRC, 1994

Příklady NAPLů

Metyl-T-Butyl-Eter (MTBE)

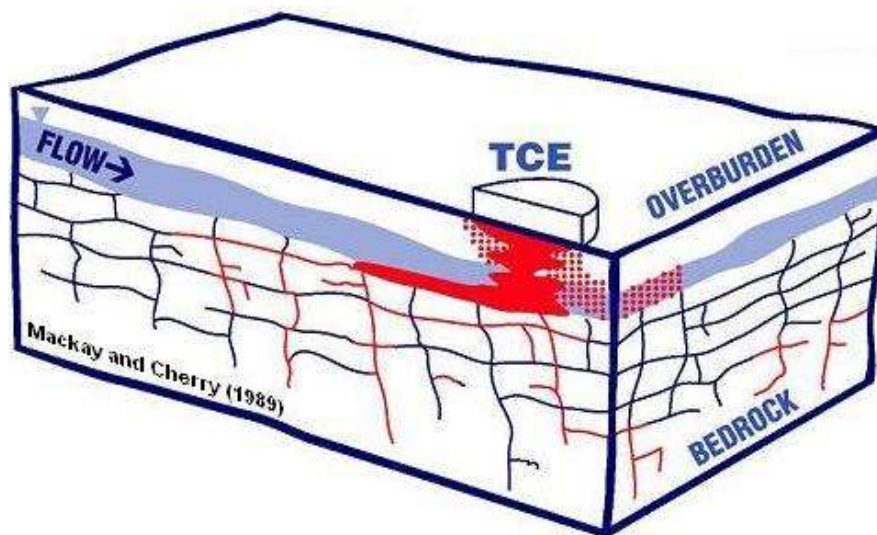
Benzen, Toluen, Etylbenzen a Xylen (BTEX)

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

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



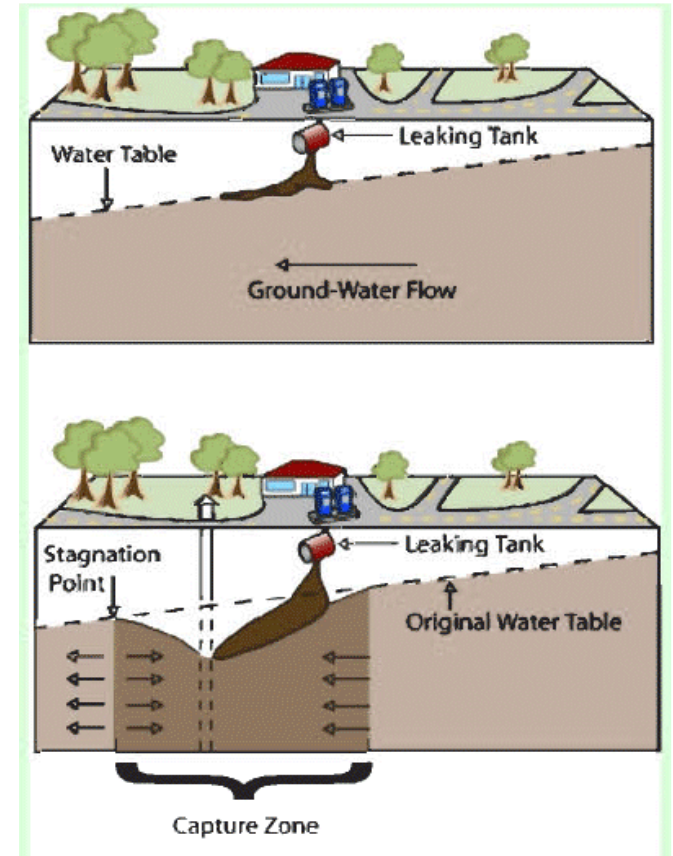
Kritéria obtížnosti sanace NAPLů

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

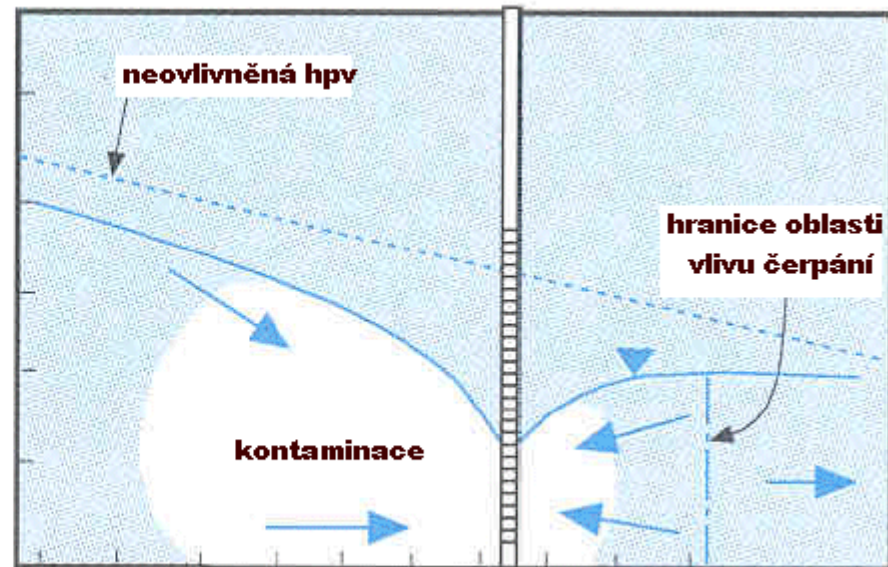
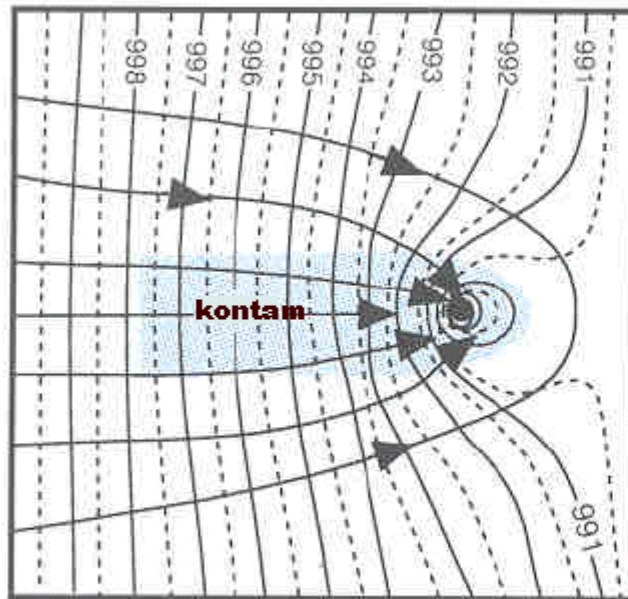
Metody Sanace I. Pump-and-treat (čerpání a čištění)

- Základní aktivní metoda čištění půdního a horninového kontam. prostředí in-situ
- **Zadržení** kontaminované podzemní vody
- **Prevence před rozšiřováním znečištění** do nekontaminovaných oblastí
- **Extrakce kontaminace** z půdněhorninového prostředí s následným čištěním
- **Snižování koncentrace** látek v podzemní vodě



Principy proudění podz. vody

- hydraulika podzemní vody - Darcyho zákon
 $Q = K i A$
K = hydraulická vodivost,
i = hydraulický gradient
A = průřezová plocha kolmá na proudění



Principy čerpání

zóna vlivu (capture zone)

na tvaru a velikosti zóny vlivu čerpání v proudu podzemní vody má vliv

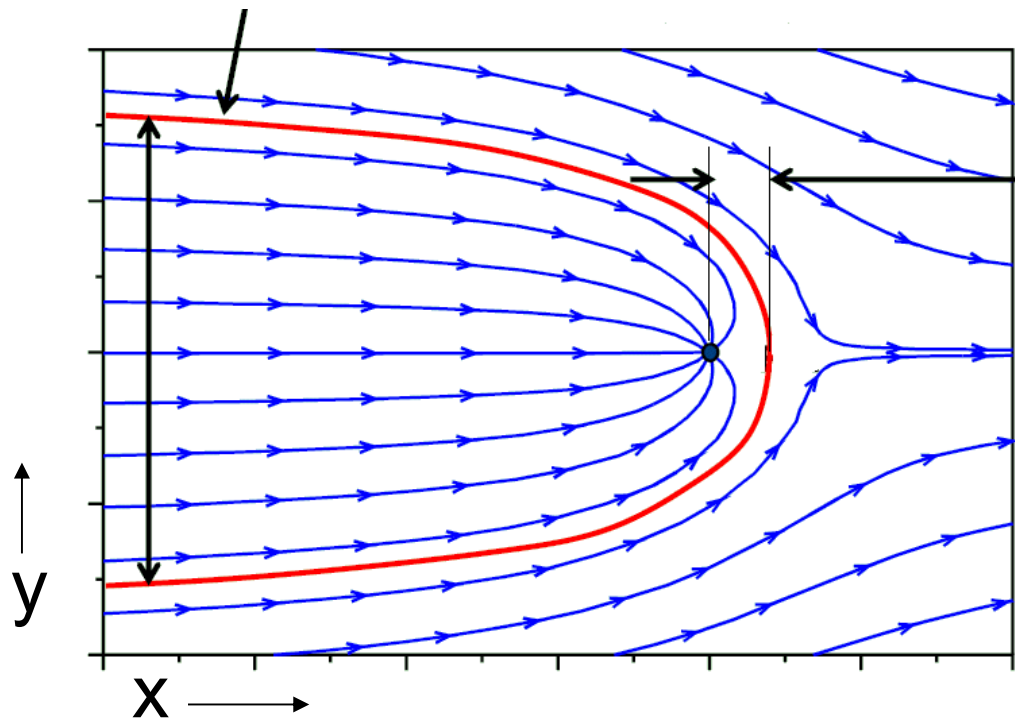
tvaru a velikosti zóny vlivu

$$\frac{y}{x} = \pm \tan\left(\frac{2\pi Tiy}{Q}\right)$$

- transmisivita zvodně **T** (m²/s)
- hydraulický gradient **i** (-)
- čerpané množství **Q** (m³/s)

šířka zóny

$$w = \frac{Q}{Ti}$$



bod stagnace

$$x = \frac{Q}{2\pi Ti}$$

Principy čerpání

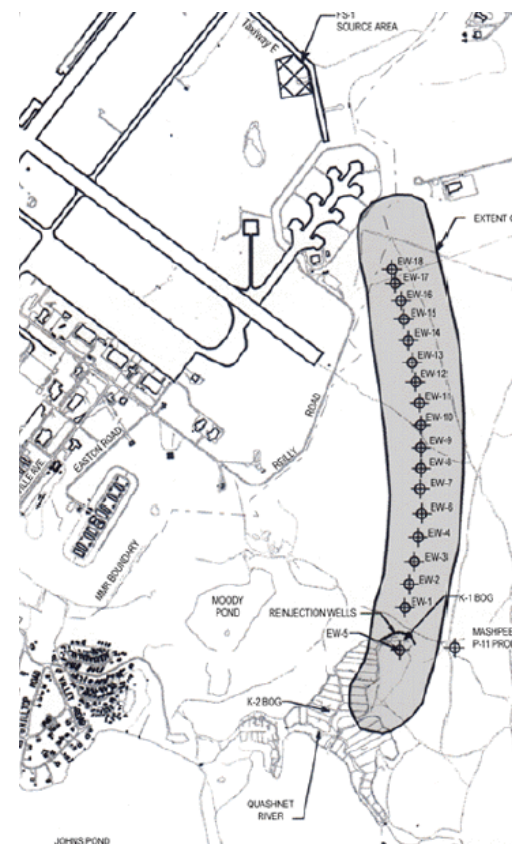
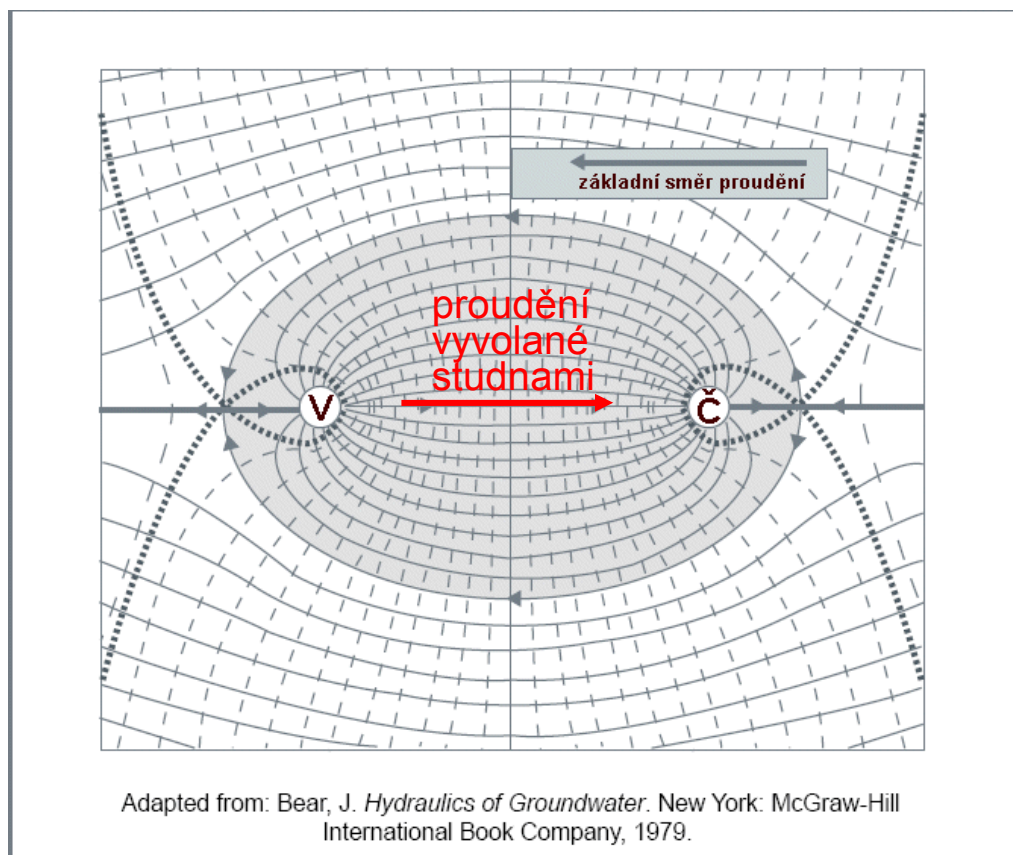
dvojice vsakovací a čerpací studně

hydraulická bariéra

Č - čerpací studna

V – vsakovací studna

sadou vsakovacích, čerpacích studní, či jejich kombinací lze vytvořit dynamickou ochranu podzemní vody a usměrnění proudění kontaminace (např. obrácení jeho přirozeného proudění)

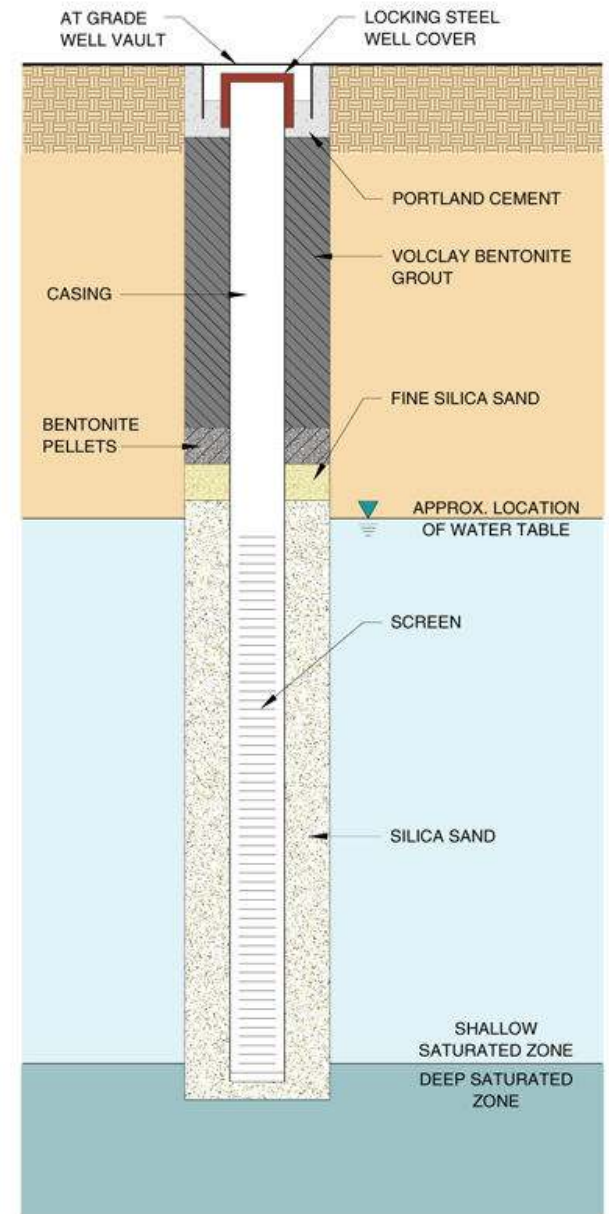


Optimalizace čerpání dosažení limitu sanace

matematické modely – lze zvýšit účinnost čerpání, posouzením různých návrhů množství a rozmístění čerpacích (vsakovacích vrtů) a rychlosti dekontaminace v závislosti na vlastnostech prostředí a typu kontaminace

účinnost vrtu závisí na dobře zvoleném **umístění perforace** (otevřeném úseku) a správném obsypu vrtu (vhodné zastoupení frakcí), hydraulické “úplnosti” studny atd. testy vydatnosti se provádí, tzv. čerpací zkouškou kdy se sleduje vydatnost vrtu a pokles hladiny vody

nevýhodou metody je **relativně malá účinnost**, tj. velmi dlouhá doba nutná k ukončení sanace – k té vedou ekonomické i praktické důvody



Čištění vyčerpané vody

obvyklým znečištěním jsou ropné produkty a další těkavé uhlovodíky, minerální oleje a rozpuštěné kovy

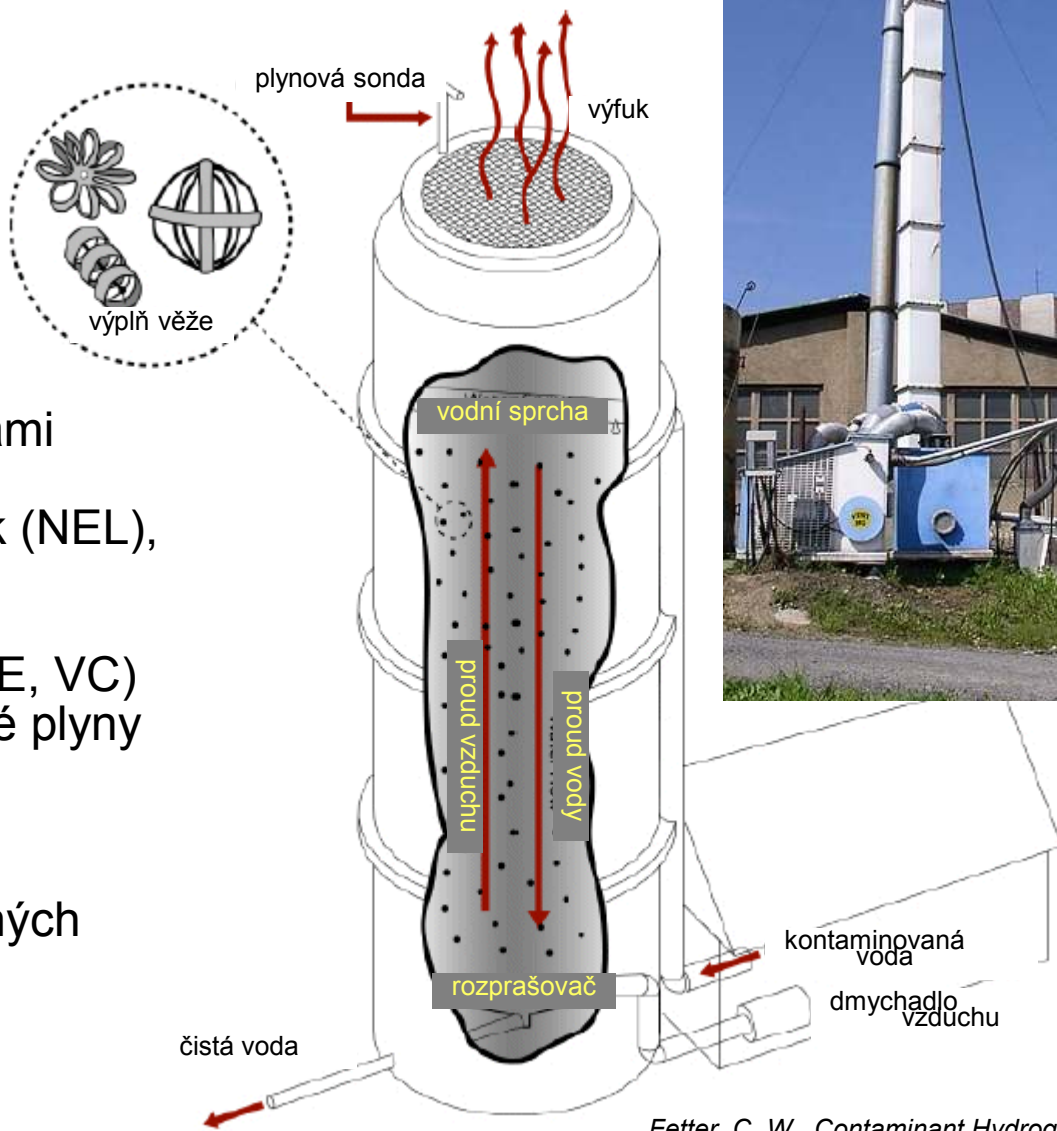
- air stripping - stripování „vyfoukávání“ vzduchem koloně z gravitačně proudící vody v prostředí umožňující kontakt vody a vzduchu
- chemická oxidace
- termální oxidace
- granulovaný aktivní uhlík (GAC) – sorpce na zrna filtru
- srážení kovů
- gravitační separace olejů



Air stripping – intenzivní vertikální aerace

“vyfoukávání” látek
vzestupným proudem
vzduchu ve vertikální
koloně, kde voda
proudí gravitačně

- čištění vod s těkavými látkami (VOC), BTEX
 - lehké frakce ropných látek (NEL), MTBE
 - aromatické a chlorované uhlovodíky (PCE, TCE, DCE, VC)
 - radon, sulfan a rozpuštěné plyny
- téměř 100% účinnost
- Pro odstraňování chlorovaných uhlovodíků je doposud nejpoužívanější metodou



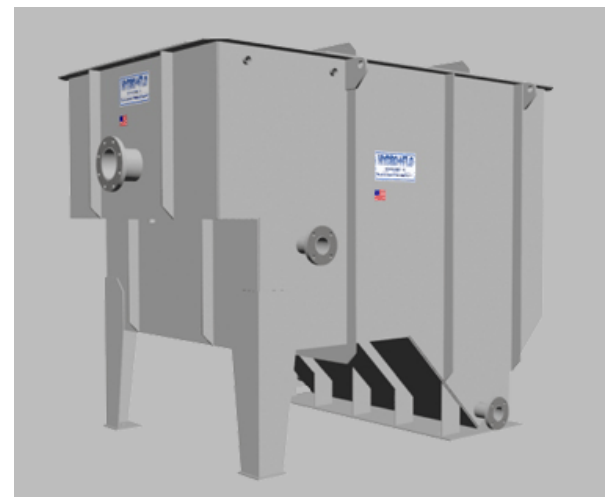
Fetter, C. W. Contaminant Hydrogeology,
Second Edition. Upper Saddle River,
NJ:Prentice Hall, 1999.

Air stripping - intenzivní aerace (horizontální)

- horizontální provzdušňovač je kontejner ve tvaru krychle nebo hranolu, proudící voda je probublávána vzduchem.
- nižší výška než kolona, jednoduché čištění
- vyšší spotřeba energie a vyšší hlučnost

Gravitační separace olejů

- využití rozdílné měrné hmotnosti kapalin
- odsazení kapalně fáze kontaminantu na hladině vody (ropné látky) nebo na dně separační nádrže (chlorované uhlovodíky)
- separovaný kontaminant je sčerpáván a předán k ekologické likvidaci.
- za gravitační stupeň je obvykle instalována sopční jednotka dočištění - sorpční náplň : volná stříž, pásy, tkaniny, hydrofobní materiály, schopné vázat ropné látky



Mokrý sorpce na aktivním uhlí

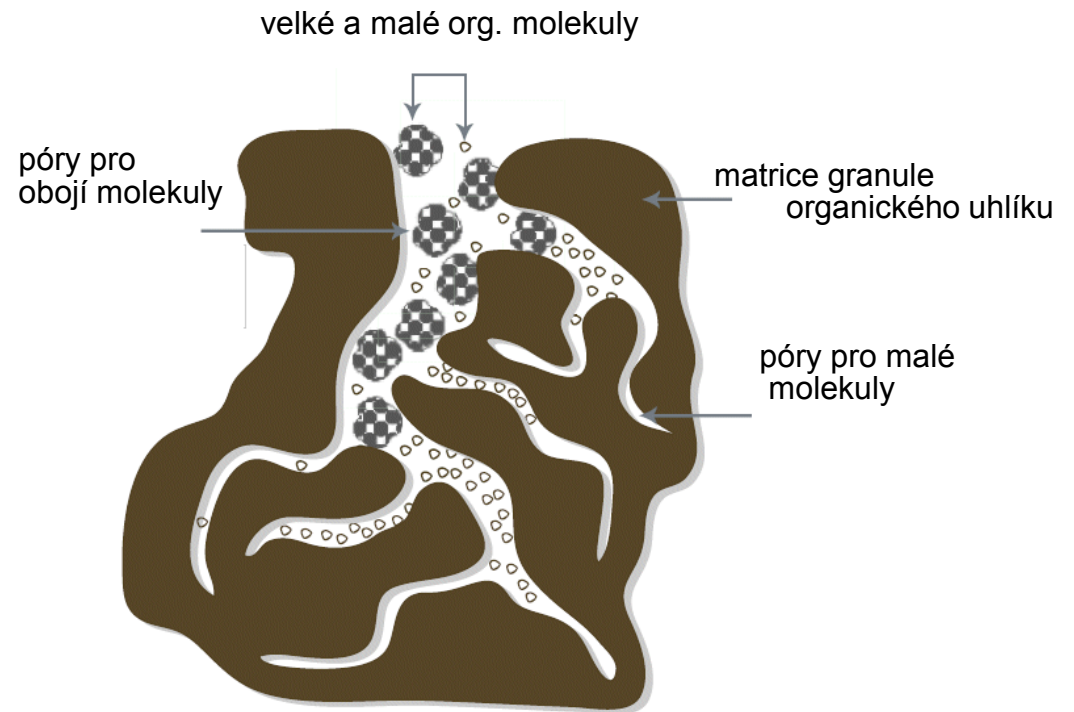
Kontaminant převedený do plynné fáze je většinou zachytáván na filtru s **aktivním uhlím** nebo biofiltru.

Aktivní uhlí má univerzální využití pro dočišťování vody i vzduchu

Připravuje se z rašeliny/dřeva dehydratací ve směsi s P_2O_5 a ohřátím na teploty 500-800C

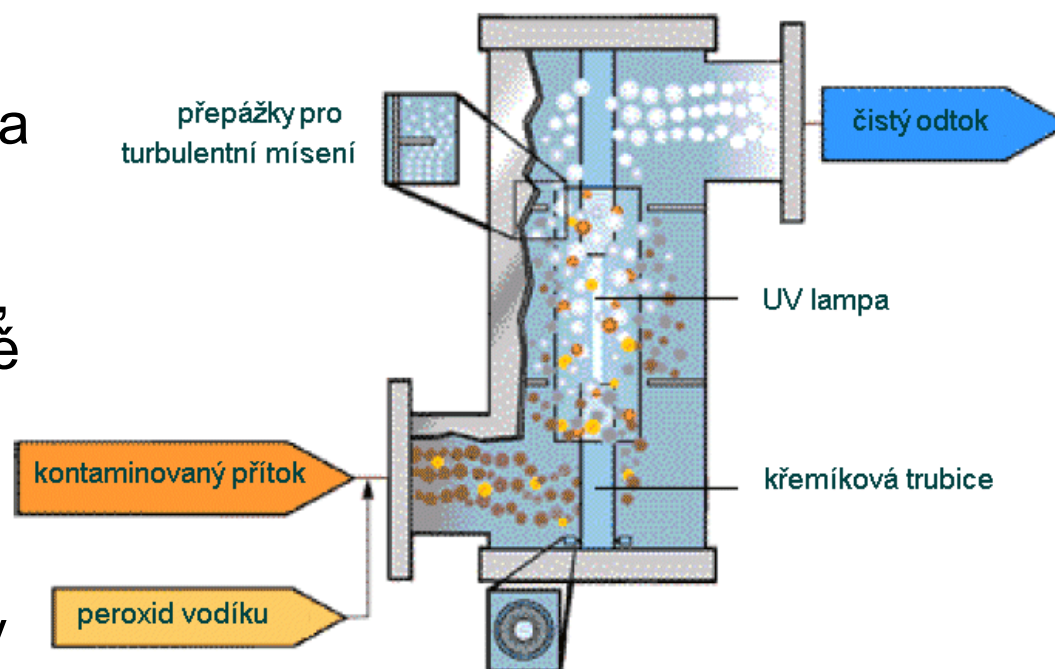
Při sanaci podzemních vod je využíváno **pro sorpci ropných látek, aromatických a chlorovaných uhlovodíků, polycyklických aromatických uhlovodíků** atd

Výhodou aktivního uhlí je také možnost jeho **regenerace** a tím vícenásobné použití



Chemická oxidace

- **silná oxidační činidla** použitá k urychlení rozkladu látek v plynné a kapalně fázi
- **ozón, peroxid vodíku** nebo **UV** produkují $\text{OH}\cdot$,
- destrukce látek na místě (on-site)
- dosažení limitů pod hranicí detekce
- nevznikají druhotné odpady a odpadní plyny
- tichá kompaktní a subtilní zařízení, nízké náklady na provoz



Chemická oxidace se používá i k intenzifikaci in-situ metody pump-and-treat/soil flushing. Jako katalyzátor oxidace se používá KMnO_4 , H_2O_2 nebo Fentonovo činidlo ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$)

Termální oxidace - destrukce

- **těkavé páry** mohou být **spáleny** nebo pyrolyzovány
- to je **vhodné pro PAH a chl. uhlovodíky**, když je dosaženo úplného spálení
- oxidace chlorovaných látek může produkovat krátkodobé **vysoce toxické meziprodukty**
- je **účinná** pro **vysoce koncentrované** páry
- v nízkých koncentracích je cena paliva příliš vysoká
- je nutné sledovat a upravovat průtok – nákladná elektronika
- může dosáhnout až (>99.9%) destrukce

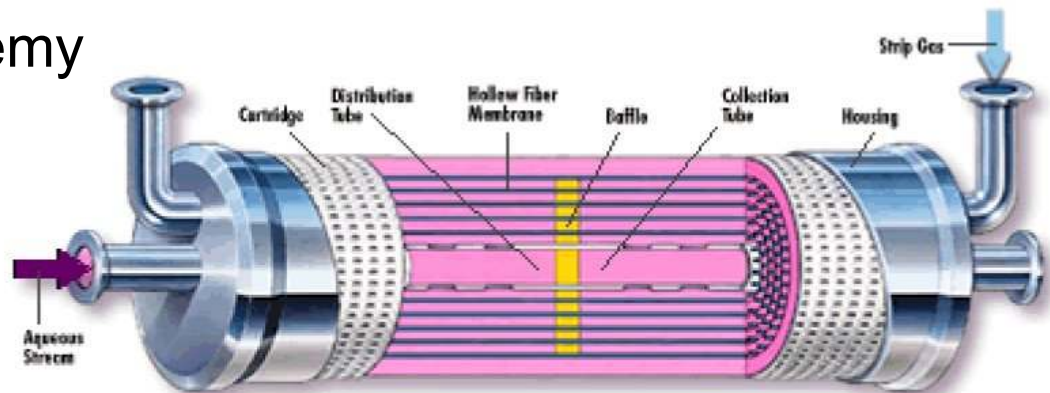


Stripování parou

- vhodné pro těkavé látky s nízkou hodnotou Henryho konstanty, z důvodu jejich rozpustnosti (např. MTBE a alkoholy)
- funguje jako destilace, teplo zahřívá látky, a ty jsou separovány v procesu kondenzace
- vyžaduje zdroj energie – tepla

Membrány z dutých vláken

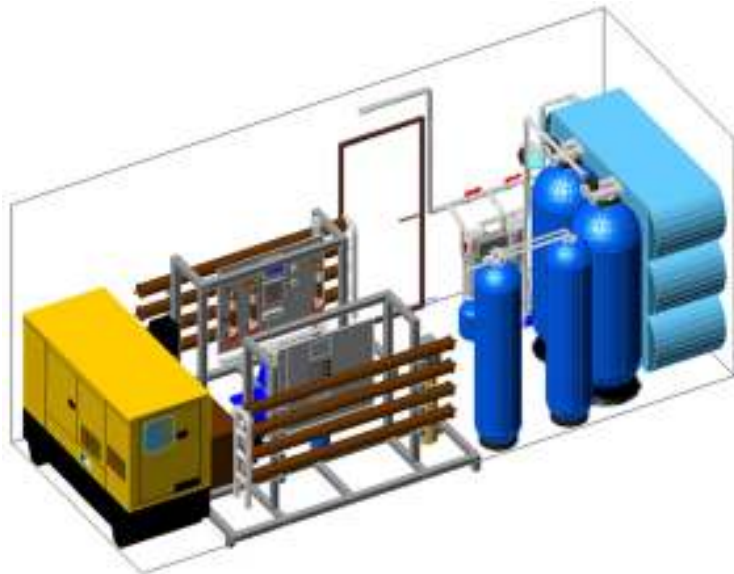
- převádí organické látky hydrofobní membránou na plynnou fázi bez přítomnosti vody
- vyžaduje velmi malé objemy vzduchu k dosažení účinnosti air strippingu
- méně kontaminovaného vzduchu
- levnější provoz



Air sparging – “prodouvání” vzduchem

in-situ air stripping, in-situ volatilisation, (bioventing)

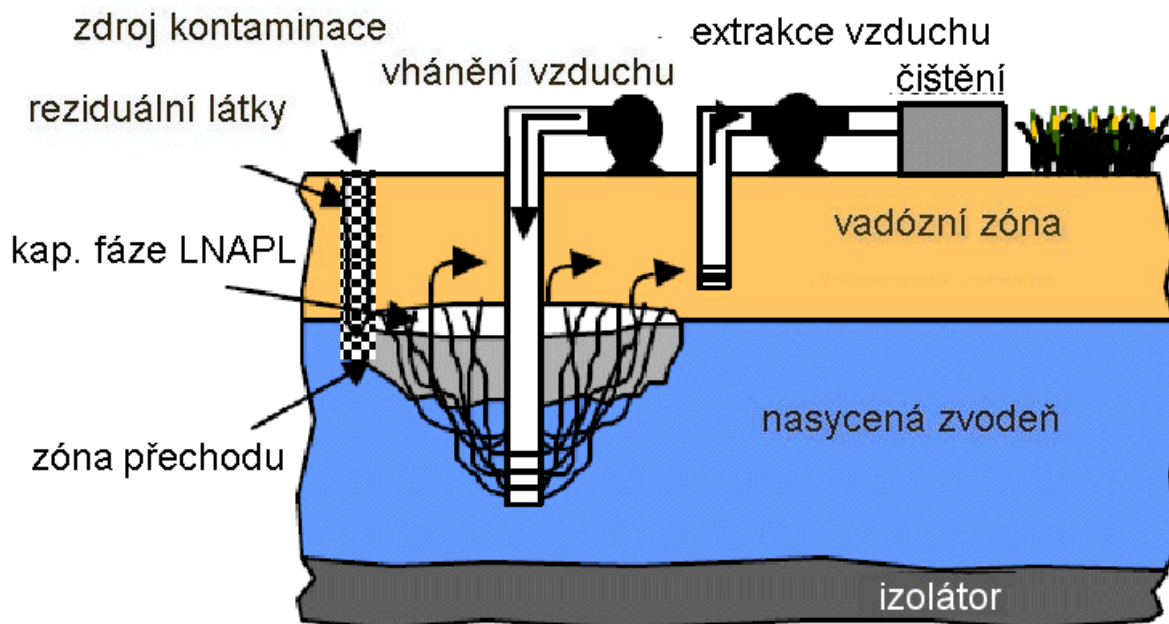
- vzduch (obvykle kyslík) je vháněn přetlakem přímo do nasycené zvodně v půdním nebo horninovém prostředí.
- provzdušňováním dochází k přechodu těkavých látek rozpuštěných ve vodě vázaných, na pevné fázi, nebo se vyskytujících v samotné kapalně fázi kontaminantu do formy plyné.
- kontaminanty se desorbují lépe v plyné fázi než ve vodě (tam jen díky difuzi)



Air sparging

- **těkavé látky se pohybují směrem vzhůru** a jsou zachyceny při přechodu do vadózní zóny, většinou pomocí extrakce půdních par (**soil vapor extraction – sve**)
- plynná fáze je odsávána systémem kombinovaných nebo ventingových vrtů podtlakem.

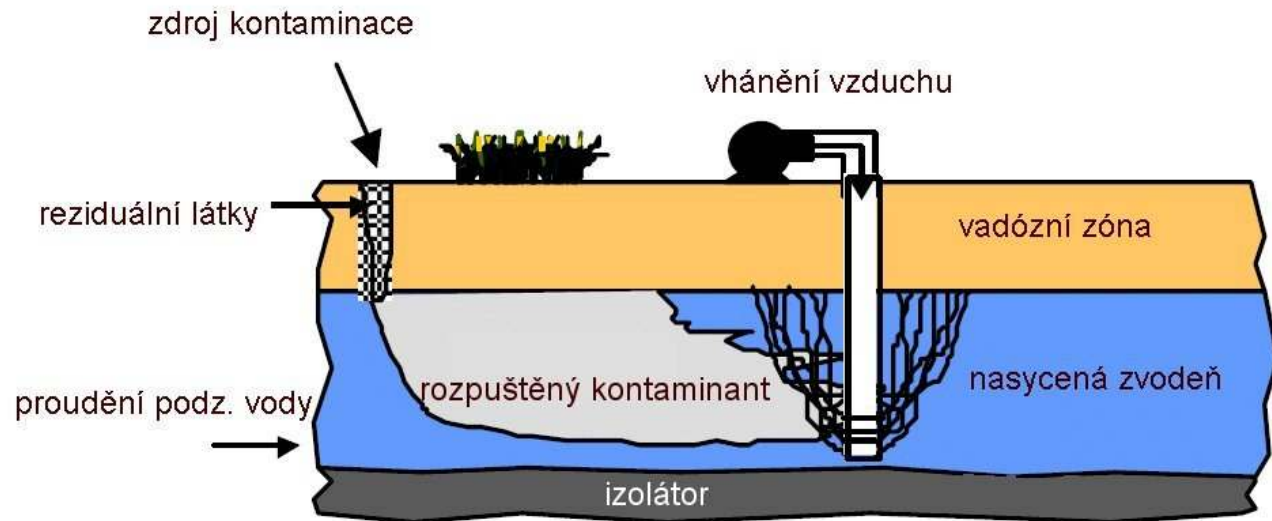
dekontaminace LNAPL : air sparging/sve



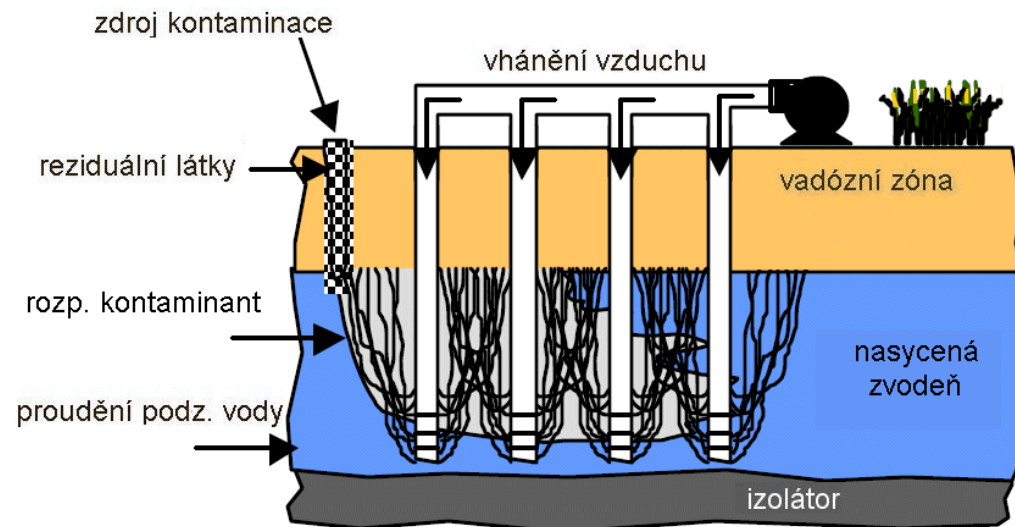
Air sparging

- Air sparging je **efektivnější než pump-and-treat ale...**
- **nasycená zvodeň musí být relativně mocná** aby byla metoda účinná
- **možnost použití pro dekontaminaci jak v nasycené tak vadózní zóně** na rozdíl od SVE (soil vapor extraction-jen ve vadózní zóně)

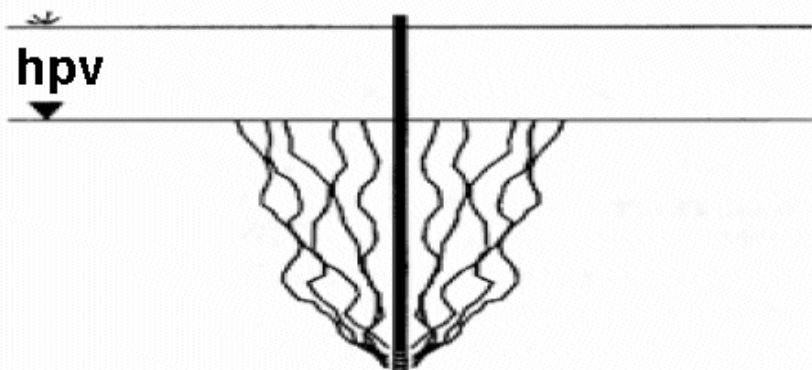
zamezení šíření kontaminace



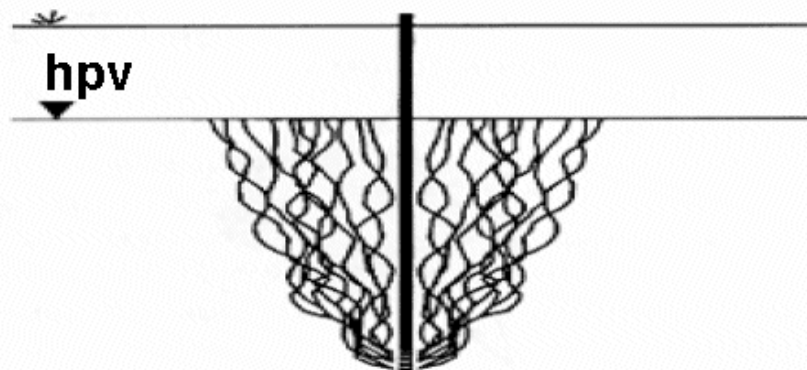
dekontaminace rozpuštěných těkavých látek



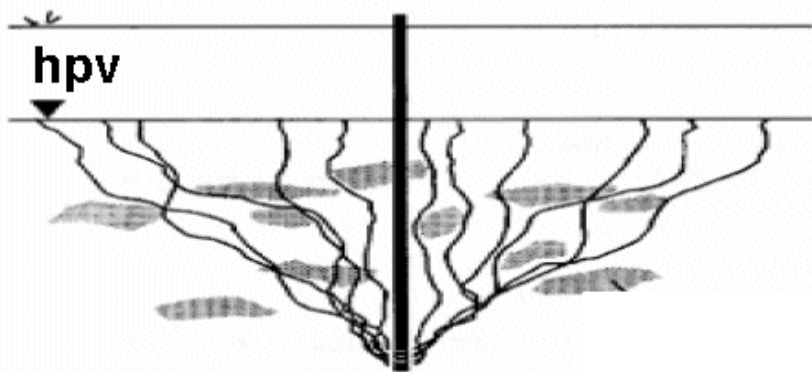
Air sparging – typy proudění vzduchu



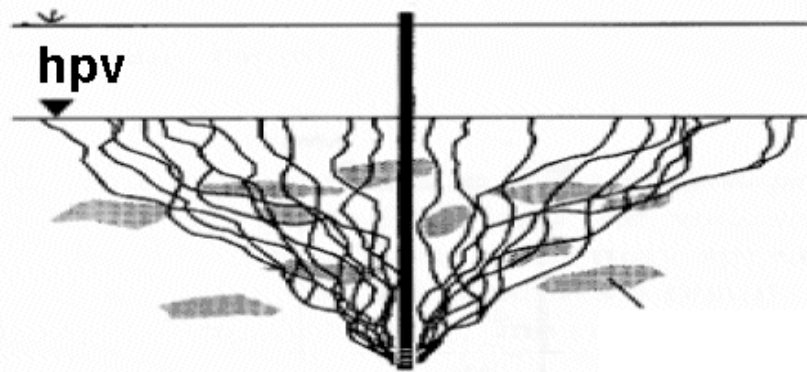
homogenní prostředí, nízký přetlak



homogenní prostředí, vysoký přetlak



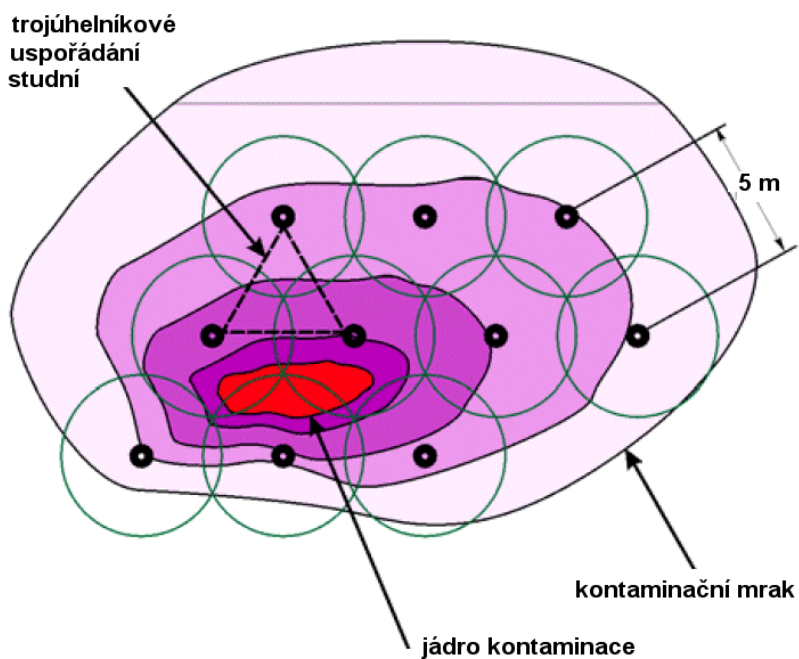
heterogenní prostředí, nízký přetlak



heterogenní prostředí, vysoký přetlak

neúčinná metoda v prostředí s preferenčními cestami

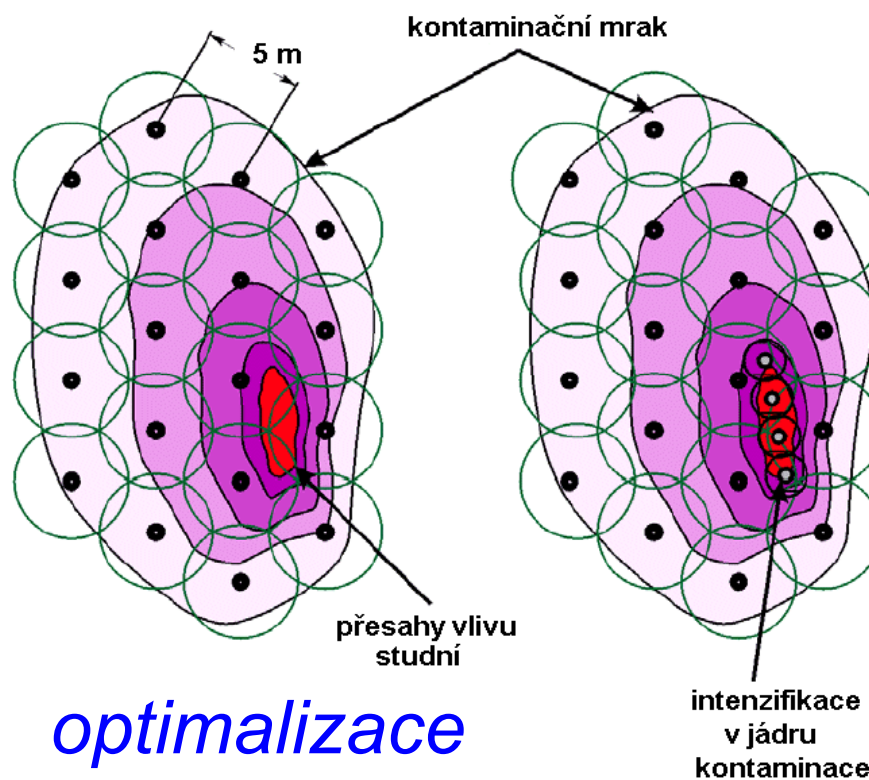
Air sparging – návrh sítě vrtů



uspořádání

před instalací je nutné odstranit volnou kapalnou fázi kontaminantu

čištění obvykle trvá 1/2 - 4 roky

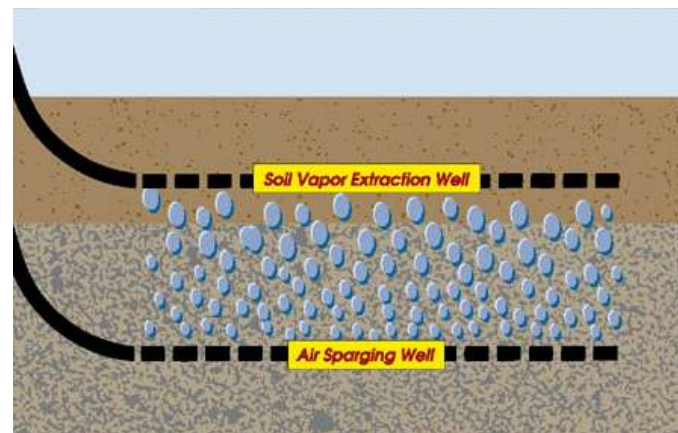


optimalizace

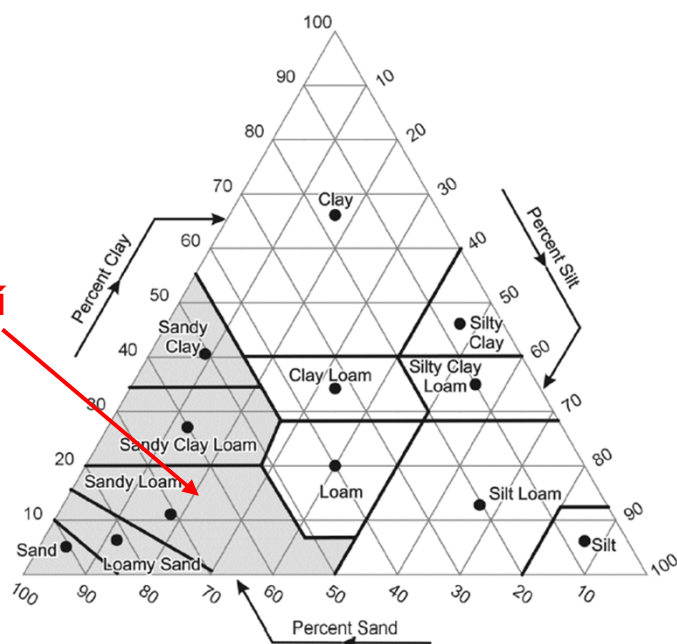
Air sparging – účinnost

- Metoda je nejvhodnější na těžké organické kontaminanty v **homogenním** prostředí se střední nebo vysokou propustností
- Posiluje biodegradaci zvyšováním množství kyslíku v prostředí – **biosparging**: degradace za přísunu kyslíku je hlavním procesem dekontaminace před volatilizací (vytěkáním).

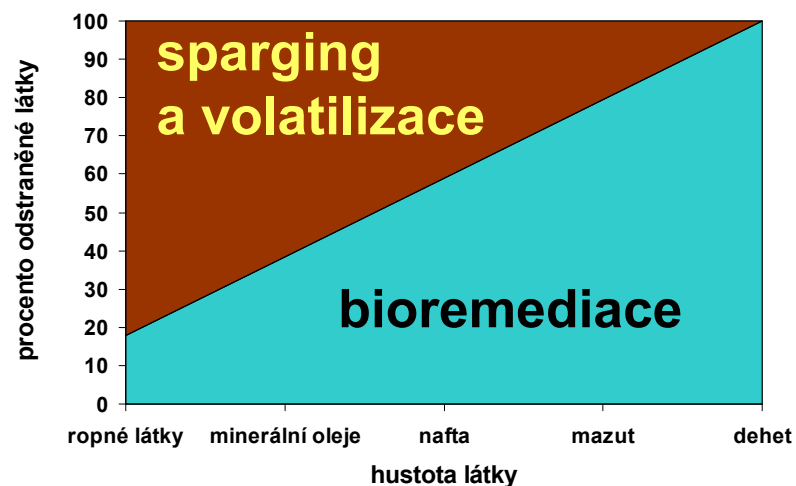
horizontální air sparging/sve



vhodné prostředí



Účinnost metod sanace



Stripování v cirkulačních studních

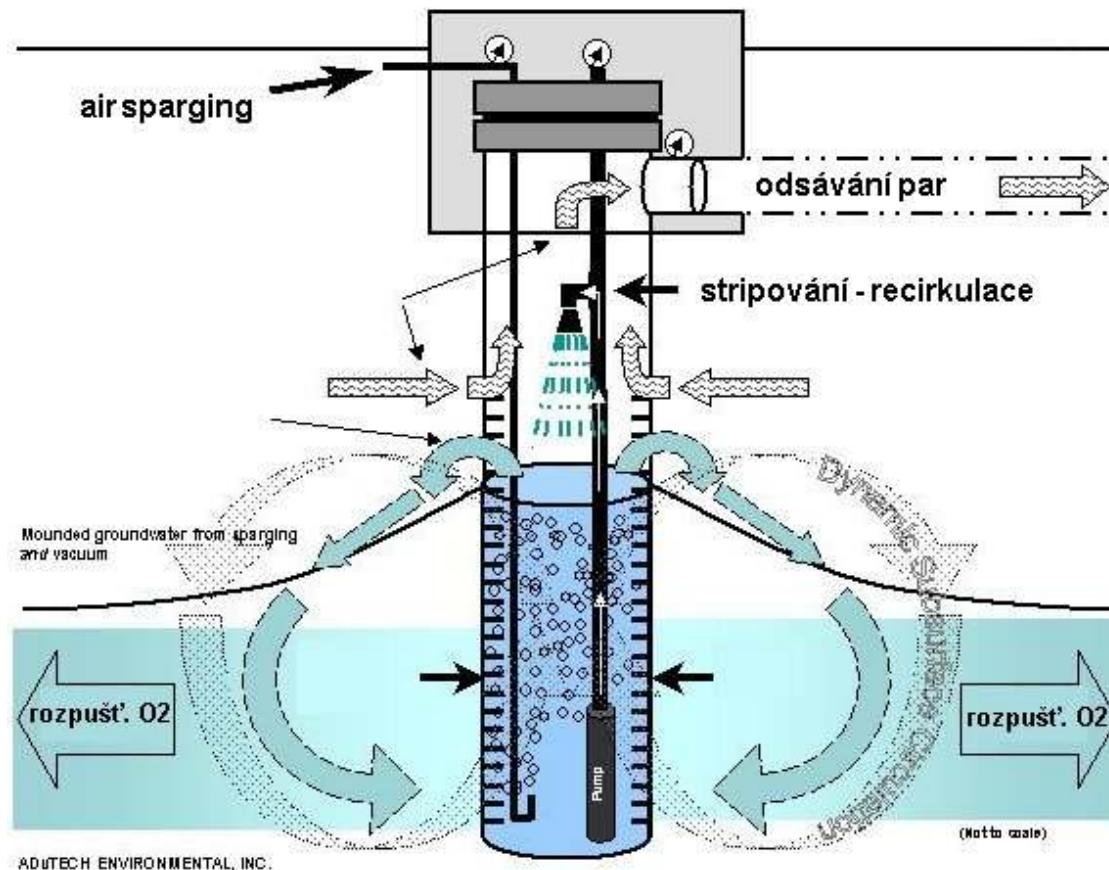
In-Well Air stripping/Groundwater Circulating Wells

- zakládá se na **vstřikování tlakového vzduchu na dno studny**
- studna se chová jako **malá stripovací kolona**, kde kontaminanty ve vodě přecházejí do plynné fáze
- studna jako celek je **udržována v podtlaku, páry jsou odsávány**
- stripování ve studních je často **kombinováno s cirkulací** pro zvýšení dosahu studny:
 - vzduch provádí čištění - volatilizaci
 - vzduší vlivem vhněnění vzduchu a odsávání par zvedá hladinu a cirkuluje vodu v okolí studně

Stripování v cirkulačních studnách

In-Well Air stripping/Groundwater Circulating Wells

- recirkulační studna má dva otevřené úseky: u dna a v místě hladiny vody pro vytvoření hydraulického spádu
- **vytváří trojrozměrné proudění**: čerpáním a vhněním vody
- tvary proudění jsou vysoce závislé na návrhu studny a prostředí v němž se nachází



Stripování v cirkulačních studních

In-Well Air stripping/Groundwater Circulating Wells

Výhody a omezení vzhledem k air spargingu

- odstranění těkavých látek bez nutnosti čerpání podzemní vody a jejího čištění na povrchu
- povolení k odběrům vody není nutné, úspora energie především v hluboko situovaných zvodních
- použití je citlivější na geologické podmínky, úspěch jen na malém počtu lokalit v USA a Evropě, především v nepoměru horizontální a vertikální složky hydraulické vodivosti (použitelná pro 3 - 10 Kh/Kv)
 - málo propustné půdy - odpor cirkulaci
 - velmi propustné – zkratové cesty
 - vrstvení – zamezuje recirkulaci jako takové

Odsávání par (SVE)

soil vapor extraction, vacuum extraction, soil venting

- doplňová metoda k air spargingu
- **vlivem podtlaku – vakua** v blízkosti zdroje kontaminace, dochází k těkání látek a jejich odsávání a následnému čištění
- **vhodná pro lehké těkavé produkty** podléhající evaporaci
- odsávání je **funkční jen nad hladinou podzemní vody**
- při mělké hladině podzemní vody není metoda účinná
- v kombinaci s SVE je někdy nutné provádět zčerpávání podzemní vody
- je **použitelné pro zastavěné prostory**, kde může docházet k průniku toxických par do budov
- proudění vzduchu podporuje biodegradaci,
- zvláště těžších, méně těkavých látek



Odsávání par (SVE)

- **propustnost půdy ovlivňuje rychlost pohybu** vzduchu a par, půdy s vyšší propustností jsou vhodnější pro tuto metodu
- **půdní struktura a stratifikace jsou důležité pro efektivitu**, protože ovlivňují tok půdních par, vrstvení může vyústit v preferenční proudění a neefektivně, minimálně prodloužit doby proudění
- **vysoká vlhkost a jemná zrnitost (vysoké kapilární síly) též zamezuje** efektivnímu proudění
- **poloměr dosahu je základní parametr při posuzování systému**, poloměr je definován jako největší vzdálenost od studny, kde je podlak dostatečný k podpoření tekání a odsávání kontaminantu z půdy, poloměry by se měly překrývat, aby pokryly celé území



Odsávání par (SVE)

- při návrhu systému je nutné počítat s denní či **sezónní fluktuací hladiny podzemní vody**, to platí zvláště pro horizontálně uložené systémy
- na půdním povrchu je možné **instalovat těsnění** (např. fólie) k zamezení infiltrace vody a přísávání par z atmosféry – zkratování systému
- pro návrh systému jsou velmi důležité **pilotní projekty**, ty umožní po vyhodnocení navrhnout celý systém efektivně, včetně škály kontaminantů a jejich schopnostem pro odsávání



Odsávání par (SVE)

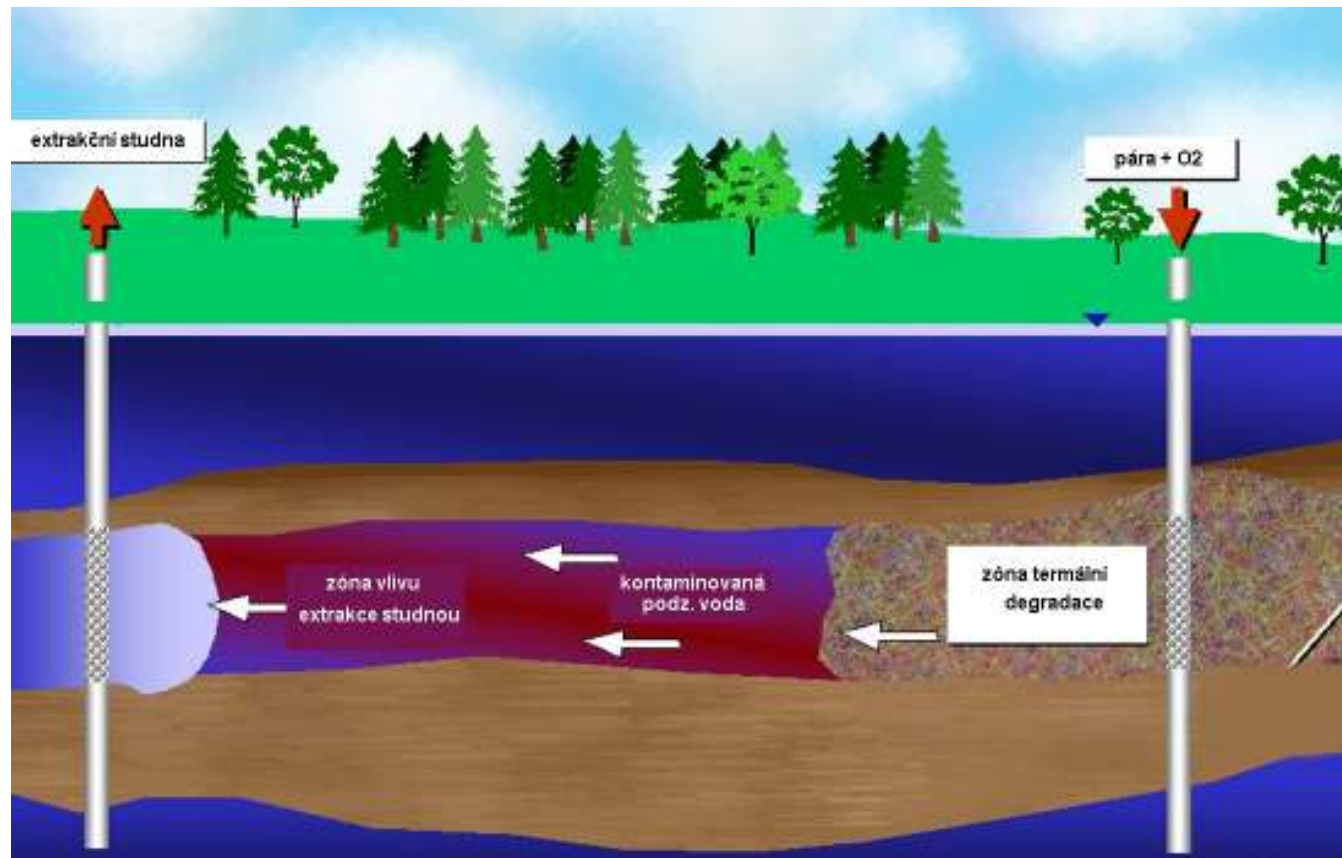
- instalace zahrnuje **vrtání odsávacích studní** v systému se vzduchovou pumpou
- množství studní závisí na **ploše kontaminace, hustotě půdy a požadovanému času** dekontaminace
- je též možné instalovat jen pasivní systém podporující výměnu půdního vzduchu
- systém má **malé provozní náklady** a jen základní obsluhu a kontrolu filtrů, pump a studní
- **odsáté produkty** jsou sorbovány, spalovány, ev. podrobeny katalytické oxidaci, kondenzaci, biodegradaci
- vyčištěný vzduch je možné injektovat nazpět



Promývání parou

steam flushing/stripping, hydrous pyrolysis/oxidation

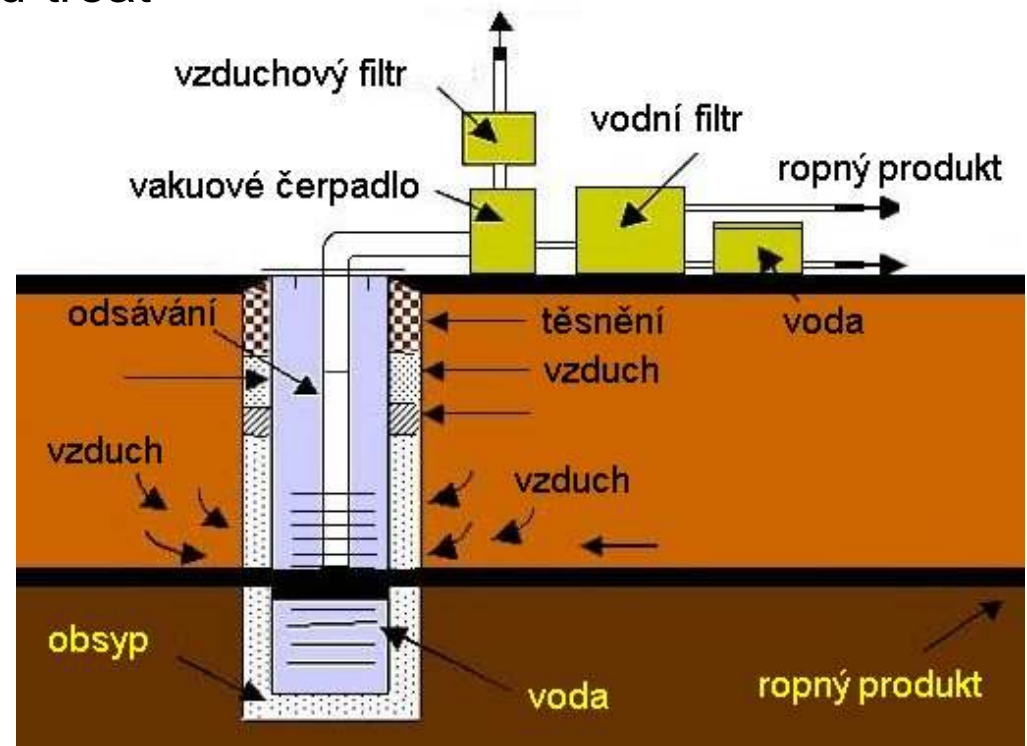
- do půdy je **injektován ohřátý vzduch** ke zvýšení těkavosti látek, vypařování obecně s teplotou roste.
- ekonomicky to **nemusí být únosné**, použitelné jen několik týdnů či měsíců, ostatní limity viz sparging a sve



Strhávání dvou fází

dual phase extraction / slurping

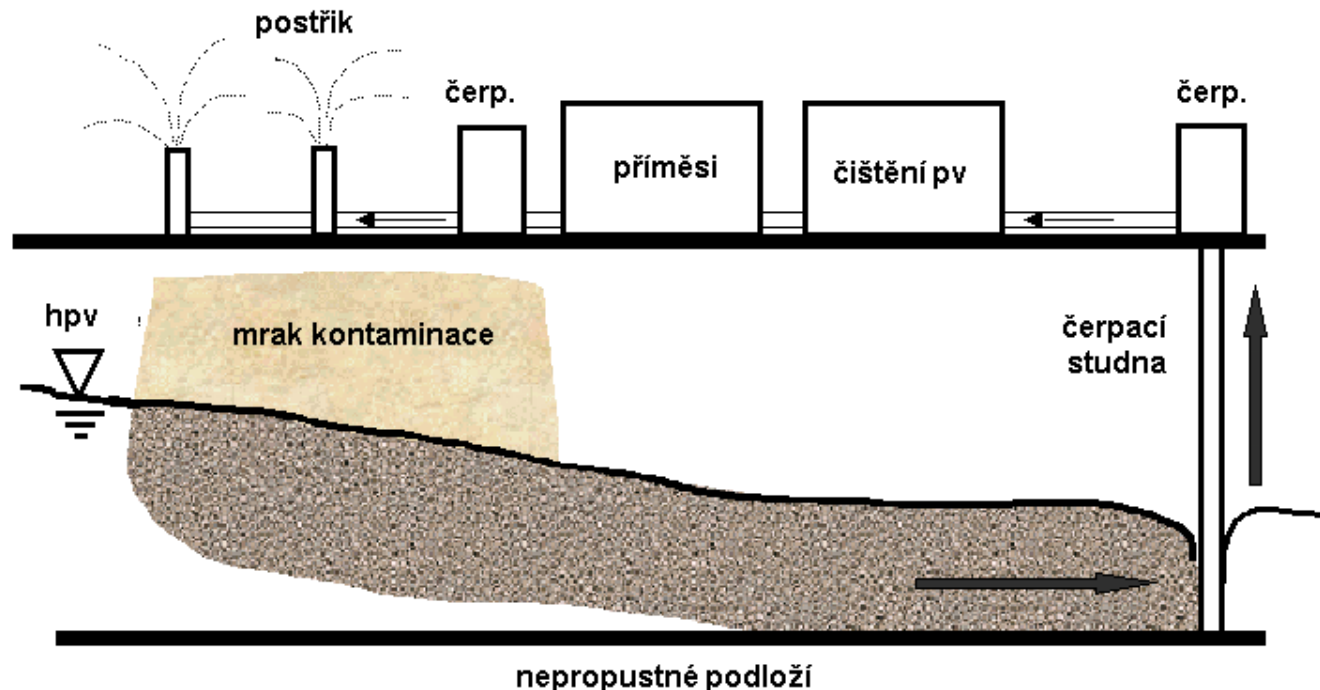
- strhávání kapének ropné fáze z hladiny podzemní vody **za velmi vysokých podtlaků**
- ve zvodněném prostředí se vytváří v důsledku podtlaku negativní depresní kužel a dohází k růstu hladiny podzemní vody s vyšší mocností fáze ropných látek.
- metoda je **technicky nenáročná** a má výrazně vyšší výtěžnost fáze ropných látek oproti pump-and-treat



Promývání zeminy

in-situ flushing, soil washing, injection/recirculation

- zvyšuje mobilitu látek jejich rozpouštěním a umožněním odstranění
- základem metody je injektování, postřik, výtopa nebo infiltrace roztoku do zóny kontaminované zeminy (nad i pod hladinou podzemní vody)
- návazně se ve směru klesajícího gradientu proudění voda odčerpává, čistí a znovu injektuje do prostředí
- aplikovaný roztok může obsahovat látky snižující povrchové napětí - surfaktanty, rozpouštědla-alkoholy, kyseliny a zásady



Promývání zeminy

in-situ flushing, soil washing, injection/recirculation

- technicky se může jednat vsakovací studny, zářezy, infiltrační galerie – čerpací studny, sběrné příkopy
- dobrá znalost hydrogeologického režimu je zásadní pro dosažení úspěchu
- metoda je nejvhodnější pro půdy se střední a vysokou propustností
- může být použita na řadu organických kontaminantů – NAPL, i anorganické látky – např. kovy

Limity

- Promývání může v půdě zanechat reziduální koncentrace příměsí
- K promývání může dojít mimo vymezenou oblast a výtoku příměsí na povrch, tj. použití jen v prostředí, které lze kontrolovat
- Příměsí musí být vyčerpány a recyklovány
- Odpady správně ukládány či zneškodňovány
- nefunkční pro málo propustné horniny
- příměsí mohou snižovat pórovitost

Použitelnost

- Touto metodou lze odstraňovat kovy, radioaktivní látky, těkavé produkty, paliva, pesticidy
- pro organické látky je to obvykle finančně nákladné

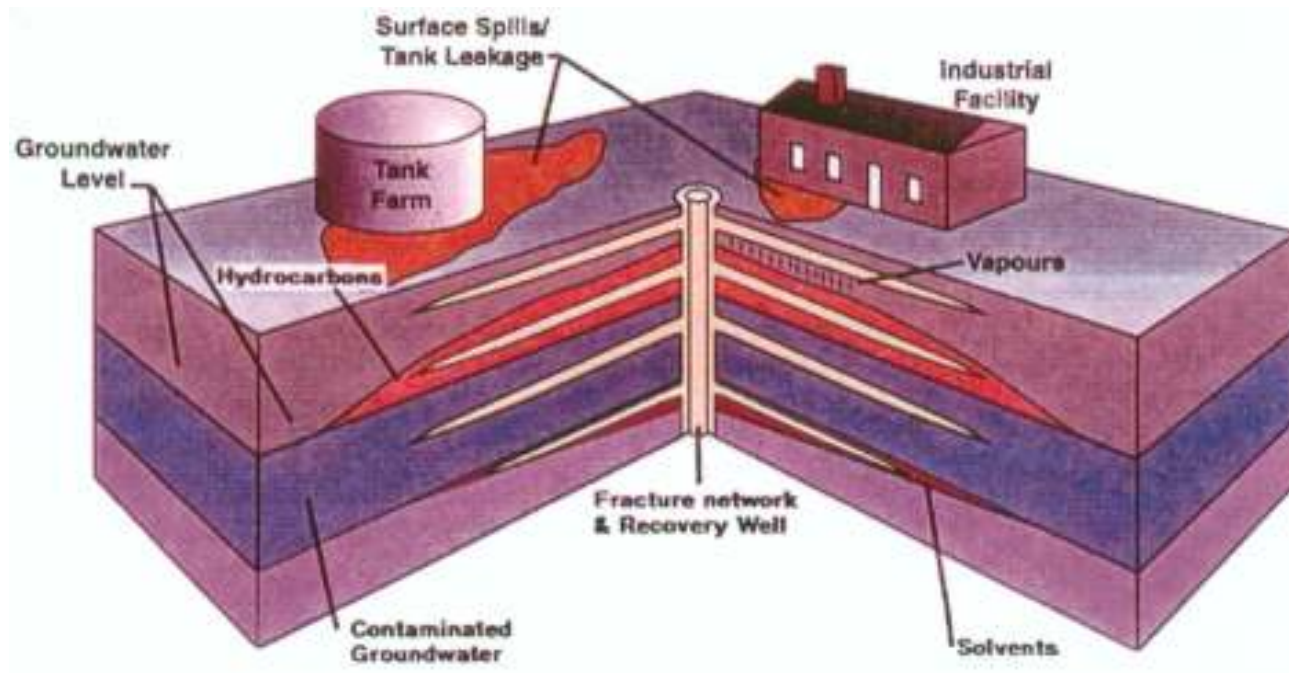


Diamo s.p. Stráž p. Ralskem, sanace těžby uranu

Odpady a kontaminace

SANACE - Metody dekontaminace II.

Monitored Natural Attenuation, Fracturing, Lasagna process, Electrokinesis, Phytoextraction

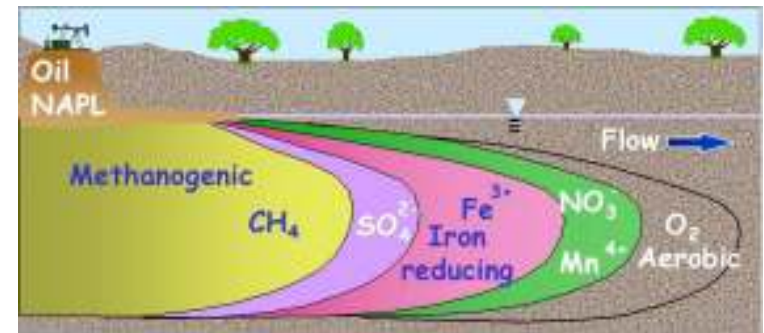


MNA - Monitored Natural Attenuation (monitorovaná přírodní atenuace)

- attenuation = zeslábnutí, zmenšení, útlum
- tak jako oheň spotřebovává svíčku, stejně prostředí spotřebovává znečištění
- definice EPA: **spoléhání na přírodní procesy k dosažení cílů sanace pro danou lokalitu**
- **neznamená – nic nedělání**, ponechání osudu
- **není základní** samozřejmou metodou **sanace**
- jako **samostatná** metoda musí být použita velmi **obezřetně**
- musí být **posouzena s jinými alternativami** a zvolena jen když splňuje vytyčená kritéria (limity sanace) v rozumném čase (do 30 let)
- může být fyzikální, chemická i biologická
- procesy atenuace pro ropné látky: biodegradace, disperze, rozředění, chemické reakce, vytěkání, sorpce, destrukce

součásti MNA

- požadované součásti MNA:
 - kontrola – odstranění zdroje znečištění
 - monitorování šíření znečištění
- nutné podmínky MNA:
 - charakteristická data pro lokalitu
 - analýza rizik



demonstrování efektivity MNA

historická chemická data ukazující jasný trend poklesu objemu látky nebo koncentrace

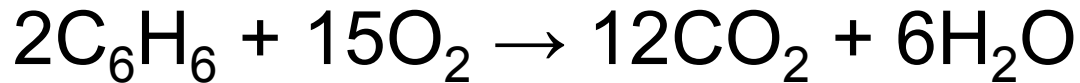
hydrogeologická nebo geochemická data demonstrující nepřímo procesy MNA

polní studie mikrokosmu, které přímo demonstrují procesy MNA

přirozené procesy při rozpadu ropných látek

aerobní biodegradace

kyslík je příjemcem elektronu



indikátory aerobní biodegradace

snížení rozpuštěného kyslíku

(3 mg rozp. kyslíku jsou potřeba
k metabolizování 1 mg benzenu)

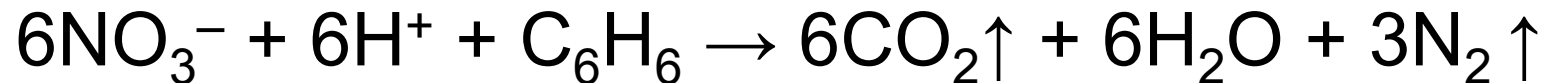
snížení koncentrace uhlovodíků

posloupnost aerobní biodegradace

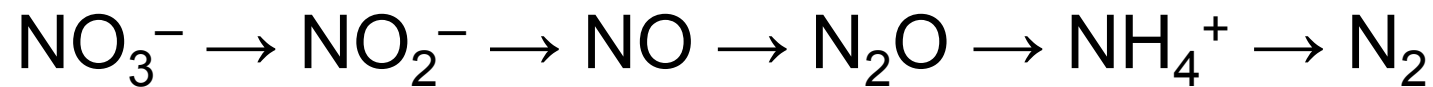
etyl benzen, toluen, benzen, xylen

denitrifikace

nitrát je příjemcem elektronů



ve skutečnosti k tomuto procesu dochází v několika krocích, ovlivěno různými bakteriemi



indikátory biodegradace denitrifikací

snížení obsahu nitrátů

snížení koncentrace uhlovodíků

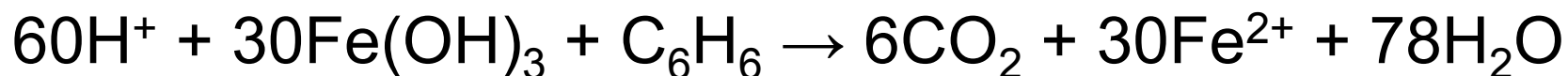
přítomnost denitrifikačních bakterií

redukční podmínky (rozp. kyslík < 1 mg/L)

redukce železa

nerozpustné trojmocné železo je příjemcem elektronů

je redukováno na dvojmocné



indikátory biodegradace redukcí železa

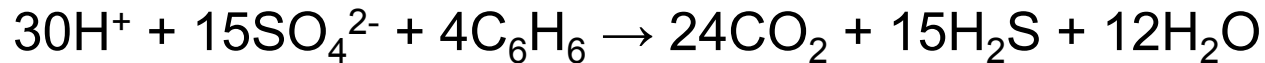
vzrůst rozpuštěného železa

pokles koncentrace uhlovodíků

žádný nebo malé koncentrace rozpuště. kyslíku

redukce sulfátů

sulfát je příjemcem elektronů



methanogeneze (fermentace metanu)

není redoxní ale fermentační reakcí
probíhá ve vysoce anaerobních podmínkách

$$4\text{C}_6\text{H}_6 + 18\text{H}_2\text{O} \rightarrow 9\text{CO}_2 + 15\text{CH}_4$$

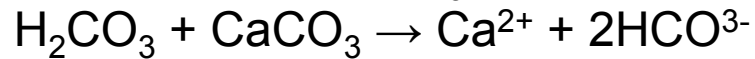
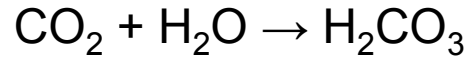
indikátory metanogeneze

vzrůst koncentrace metanu a oxidu uhličitého
snížení koncentrace uhlovodíků

žádný nebo malé koncentrace rozpuštěného kyslíku
přítomnost metanogenních bakterií

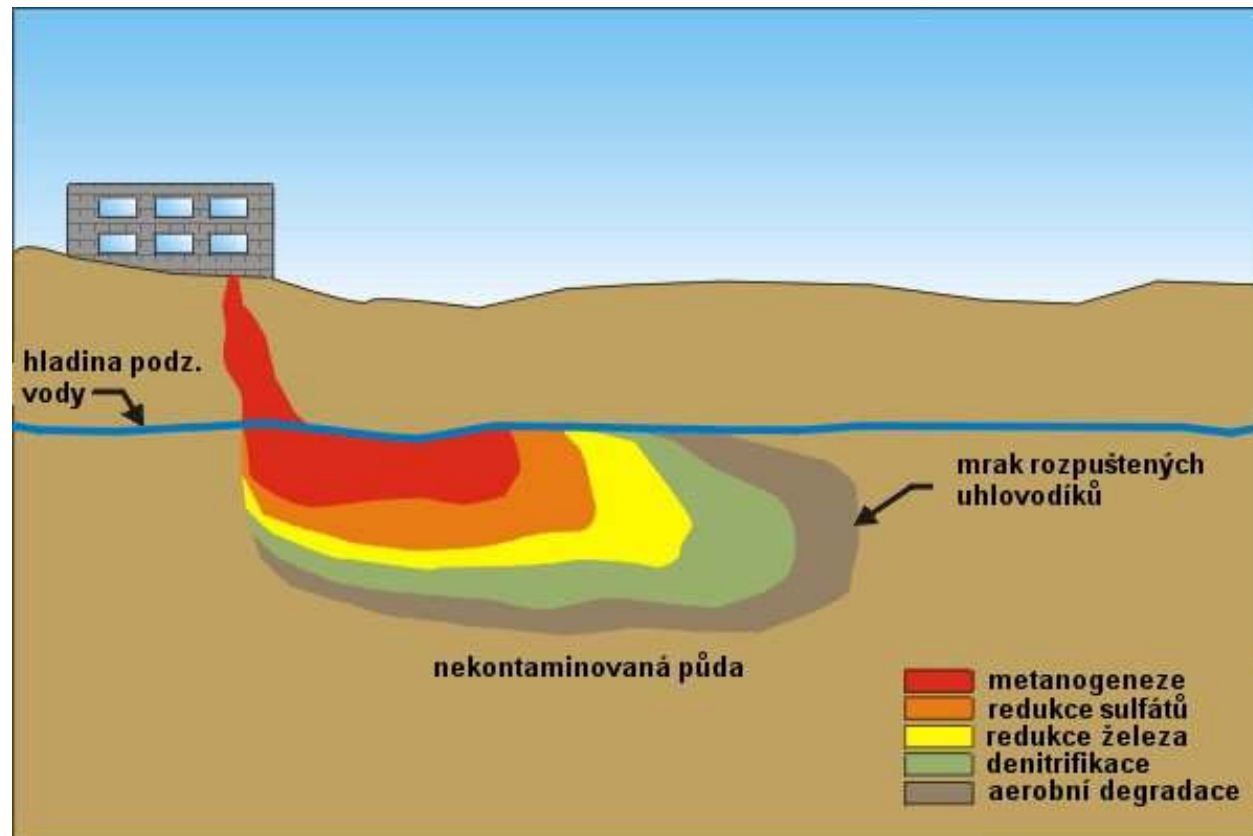
neutralizace oxidu uhličitého

všechny degradační procesy uhlovodíků produkují CO_2



neutralizace CO_2 zvyšuje alkalitu prostředí

posloupnost procesů MNA



analytický protokol MNA

podzemní voda

celkové množství uhlovodíků – potvrdit jejich pokles

aromatické uhlovodíky – potvrdit pokles BTEX

kyslík – potvrdit spotřebu, redoxní prostředí

nitráty – potvrdit spotřebu

dvojmocné železo – potvrdit produkci

sulfáty – potvrdit spotřebu

metan – potvrdit produkci

alkalita – potvrdit produkci CO₂ a jeho neutralizaci

oxidačně redukční prostředí – potvrdit geochemické podmínky – pH, teploty, vodivost, chloridy

potvrdit jednovrstevnost systému podzemních vod

biologické podmínky

potvrdit přítomnost aerobních bakterií

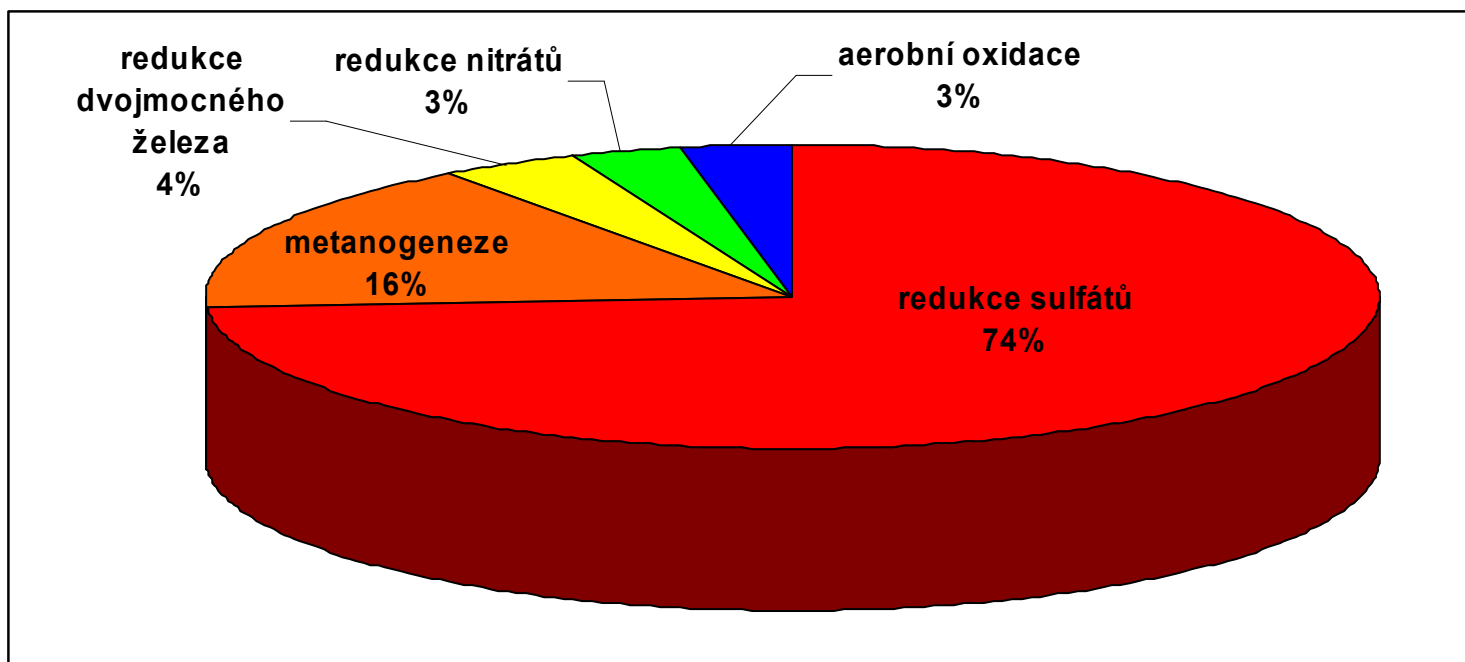
těkavé mastné kyseliny – meziprodukt biodegradace komplexních organických sloučenin

studie mikrokosmu – potvrdit že biodegradace probíhá

relativní podíl procesů na biodegradaci BTEX

zdroj: <http://www.afcee.brooks.af.mil/er/ert/download/natattenfuels.ppt>

průměr 42 lokalit, MNA praktické časové limity: 9 dní – 9 let, v průměru 1 rok



Vliv koncentrace H_2 (ng/L) na jednotlivé procesy

denitrifikace < 0.1, redukce železa 0.2 - 0.8, redukce sulfátů 1 - 4

dechlorinace (u chlor. uhlovodíků) > 1, metanogeneze 5 - 20

Bioscreen

Model pro odhad procesů přírodní atenuace

BIOSCREEN Natural Attenuation Decision Support System
Air Force Center for Environmental Excellence

Hill AFB
UST Site 870
Run Name

Version 1.3

Data Input Instructions:
 → 1. Enter value directly...or
 → 2. Calculate by filling in grey cells below. (To restore formulas, hit button below).
 Variable* → Data used directly in model.
 → Value calculated by model. (Don't enter any data).

1. HYDROGEOLOGY

Seepage Velocity* Vs (ft/yr)
 or (cm/sec)
 Hydraulic Conductivity K (ft/ft)
 Hydraulic Gradient i (-)
 Porosity n

2. DISPERSION

Longitudinal Dispersivity* alpha x (ft)
 Transverse Dispersivity* alpha y (ft)
 Vertical Dispersivity* alpha z (ft)
 or (ft)
 Estimated Plume Length Lp

3. ADSORPTION

Retardation Factor* R (-)
 or (kg/l)
 Soil Bulk Density rho (L/kg)
 Partition Coefficient Koc (-)
 Fraction Organic Carbon foc

4. BIODEGRADATION

1st Order Decay Coeff* lambda (per yr)
 or (year)
 Solute Half-Life t-half
 or Instantaneous Reaction Model

Delta Oxygen* DO (mg/L)
 Delta Nitrate* NO3 (mg/L)
 Observed Ferrous Iron* Fe2+ (mg/L)
 Delta Sulfate* SO4 (mg/L)
 Observed Methane* CH4 (mg/L)

5. GENERAL

Modeled Area Length* (ft) L
 Modeled Area Width* (ft) W
 Simulation Time* (yr)

6. SOURCE DATA

Source Thickness in Sat.Zone* (ft)

Source Zones:

Width* (ft)	Conc. (mg/L)*
50	0.07
25	2.8
1000	0
25	2.8
50	0.07

Source Decay (see Help):
 SourceHalfLife* (yr)
 Soluble Mass (Kg)
 In NAPL, Soil (Kg)

Vertical Plane Source: Look at Plume Cross-Section and Input Concentrations & Widths for Zones 1, 2, and 3

View of Plume Looking Down

Observed Centerline Concentrations at Monitoring Wells
 If No Data Leave Blank or Enter "0"

7. FIELD DATA FOR COMPARISON

Concentration (mg/L)	0.0	8.0	1.0	0.02	0.005						
Dist. from Source (ft)	0	145	290	435	580	725	870	1015	1160	1305	1450

8. CHOOSE TYPE OF OUTPUT TO SEE:

RUN CENTERLINE **RUN ARRAY**

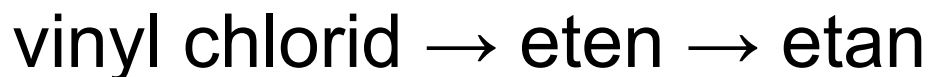
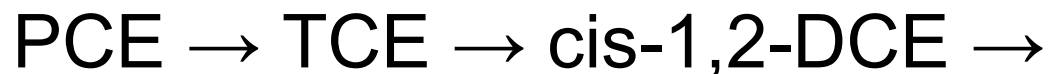
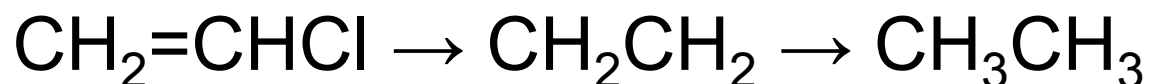
View Output **View Output**

Help Recalculate This Sheet

Paste Example Dataset

Restore Formulas for Vs, Dispersivities, R, lambda, other

Anaerobní degradace PCE a TCE



redoxní podmínky:

redukce sulfátů PCE \rightarrow DCE, TCE \rightarrow DCE

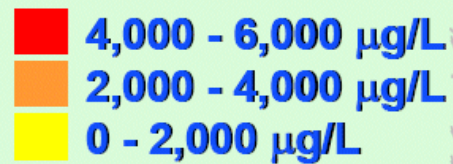
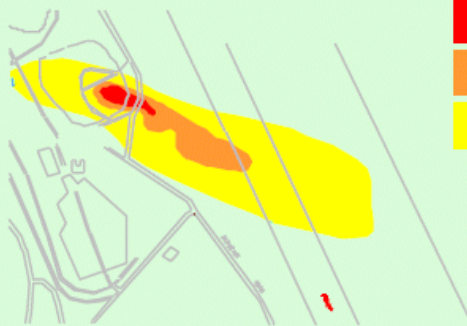
metanogeneze PCE \rightarrow eten, TCE \rightarrow eten

vedlejší produkty degradace: CO_2 , etan, eten, chlorid

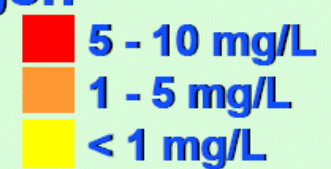
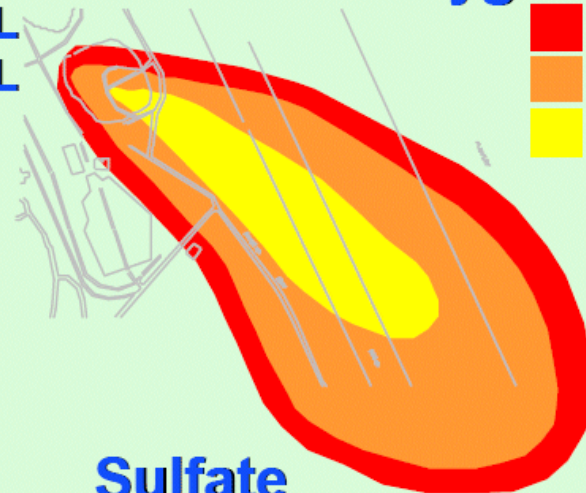
Případ z praxe – Plattsburgh Air Force Base, New York

BTEX and Electron Acceptors

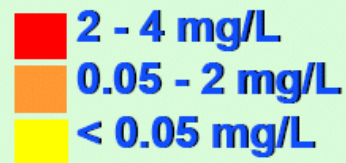
Total BTEX



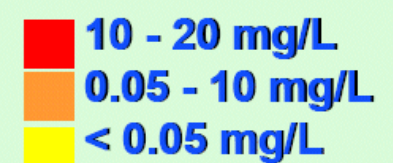
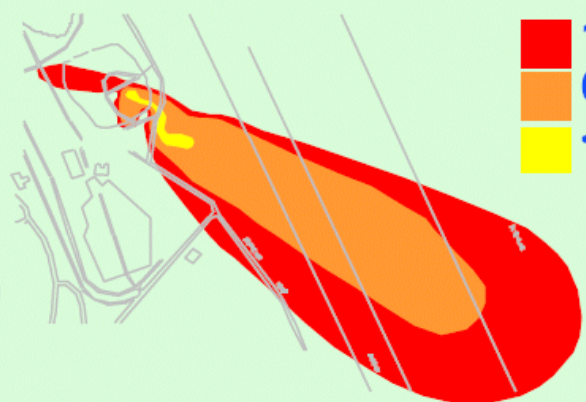
Dissolved Oxygen



Nitrate



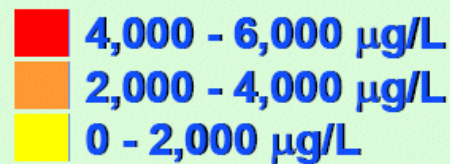
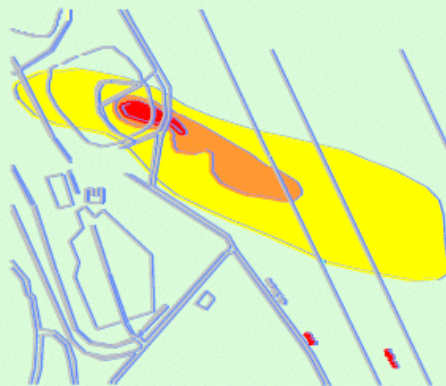
Sulfate



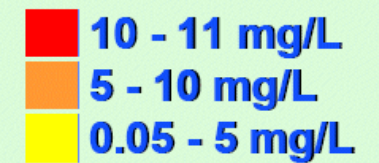
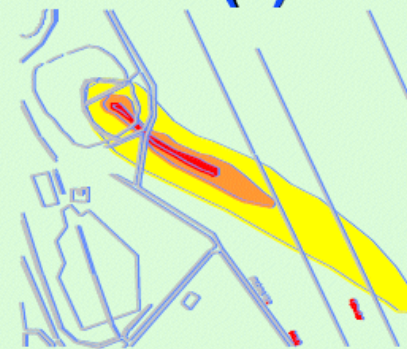
Případ z praxe – Plattsburgh Air Force Base, New York

BTEX and Metabolic Byproducts

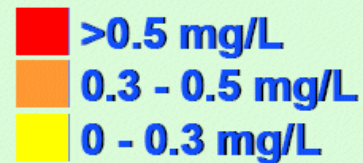
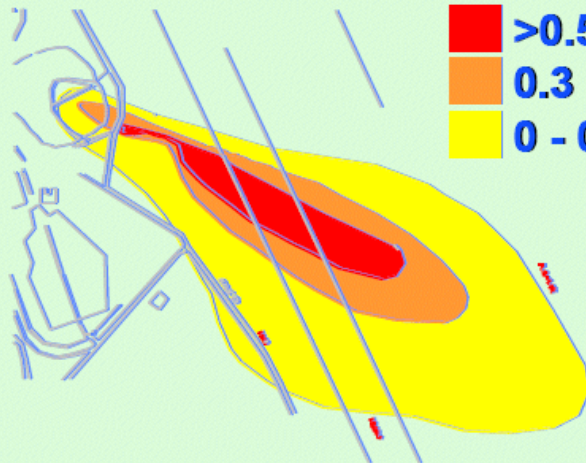
Total BTEX



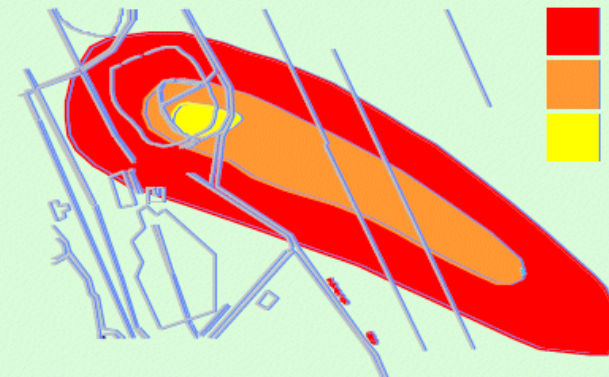
Iron (II)



Methane



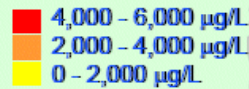
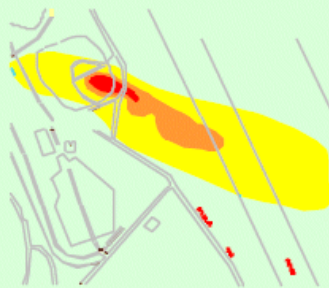
pe



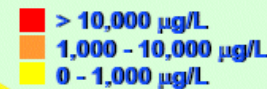
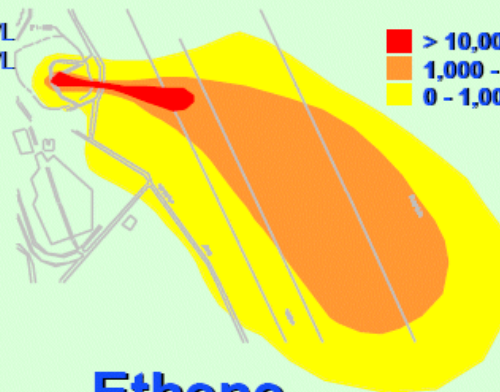
Případ z praxe – Plattsburgh Air Force Base, New York

Chlorinated Solvents and Byproducts

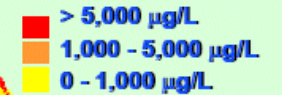
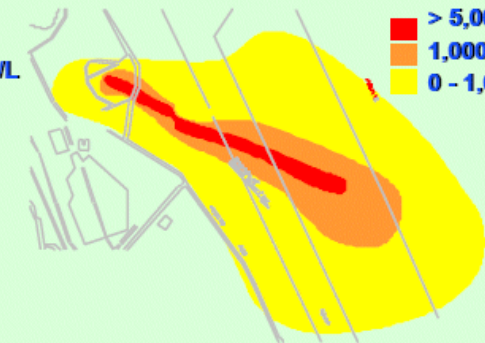
Total BTEX



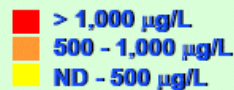
Trichloroethene



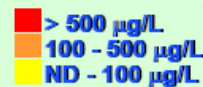
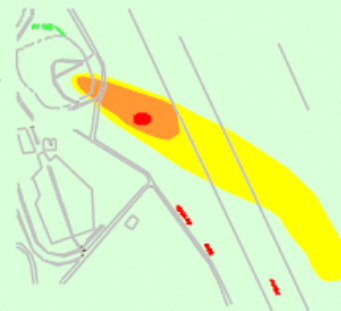
Dichloroethene



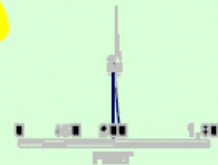
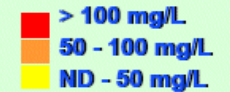
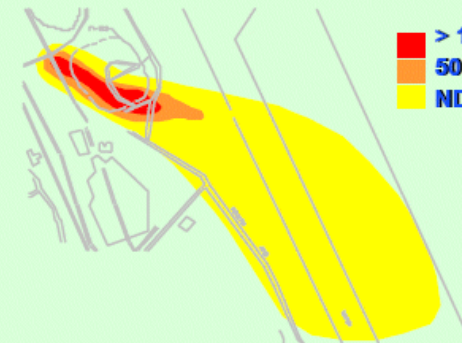
Vinyl Chloride



Ethene

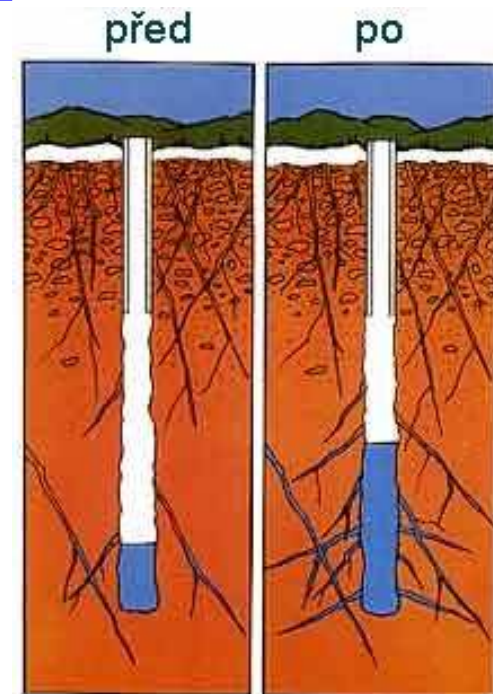


Chloride



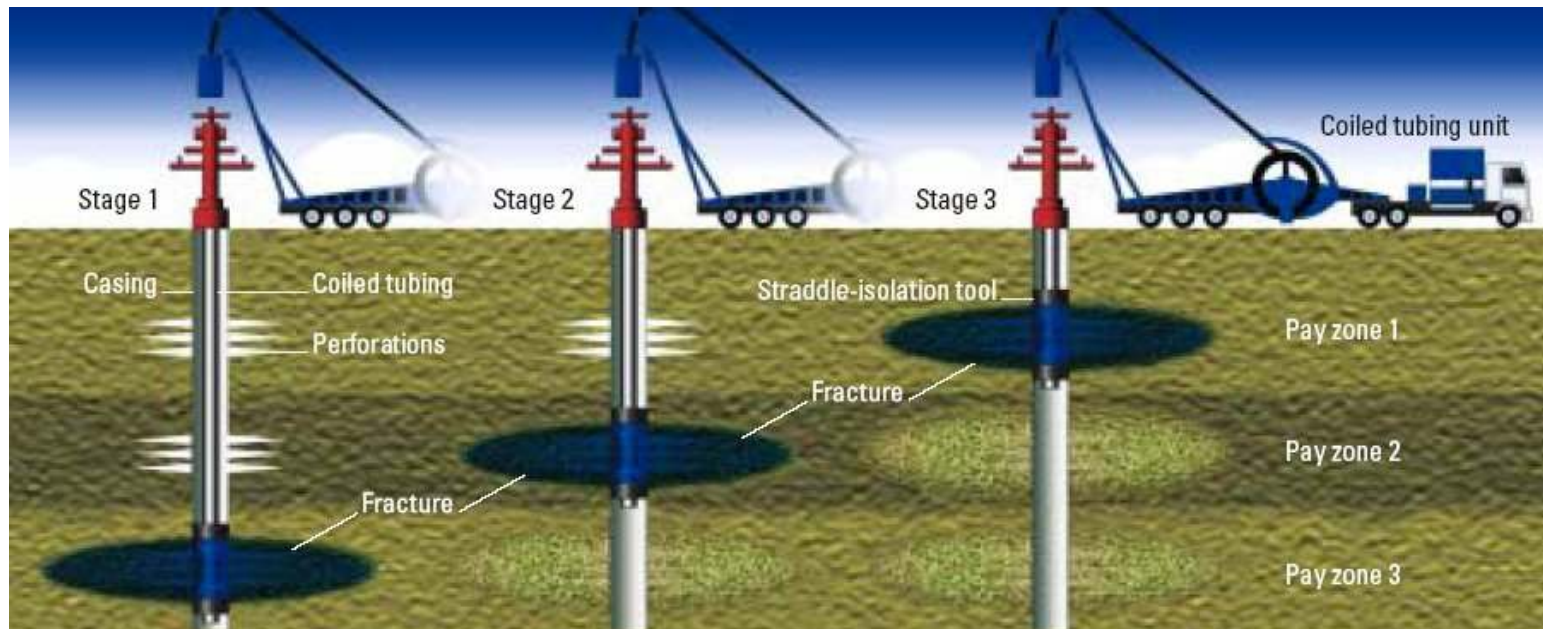
Fracturing – rozvolňování prostředí

- známá technologie z petrolejářského průmyslu
- je podpůrná technologie pro zvýšení efektivity dalších in-situ technologií v obtížných půdních podmínkách – jíly, silty.
- rozšiřuje do šířky i délky existující praskliny a vytváří nové pukliny, a to především v horizontálním směru



Procesy rozvolňování

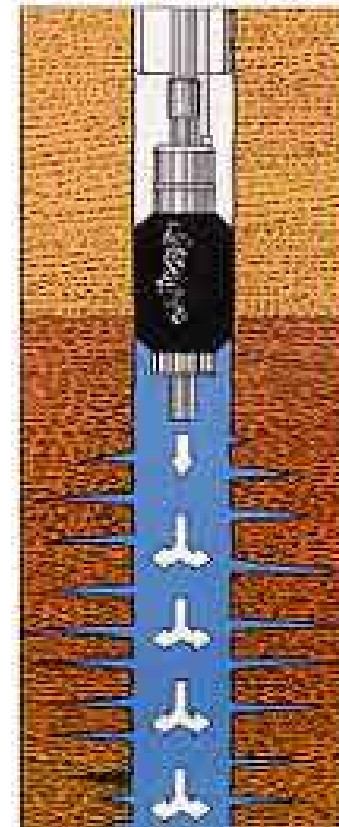
- pneumatické
- hydraulické
- explozivní
- Lasagna™ proces



Procesy rozvolňování

pneumatické a hydraulické rozvolňování

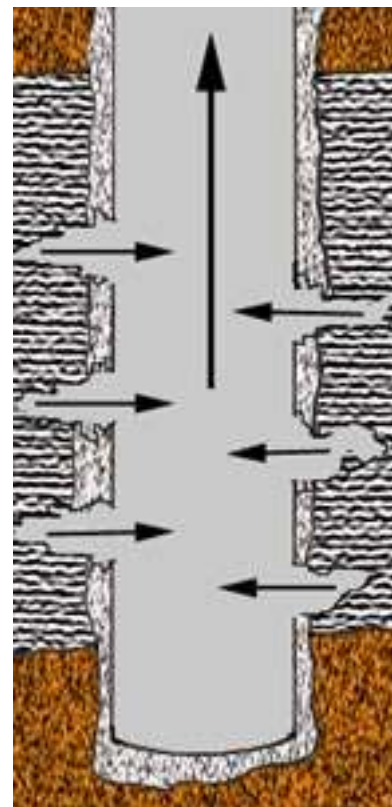
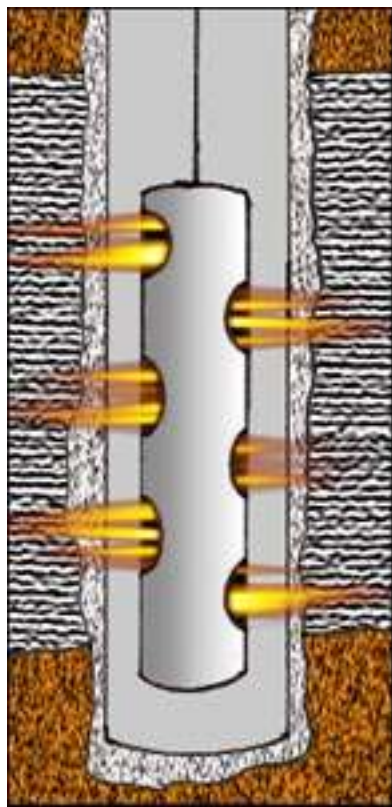
- studny jsou v kontaminovaném nenasyceném prostředí ponechány nevystrojené po většinu výšky. Do prostředí je opakovaně vtlačěn vzduch nebo voda (ev. roztok s polymery) v krátkých intervalech pod vysokým tlakem (>10 bar)
- usnadňuje úniky vzduchu a zvětšuje cesty pro vodu



Procesy rozvolňování

explozivní

- zanoření výbušniny a její odpálení ve studni
- zvětšuje vydatnost studny a dosah studny, při zvýšení propustnosti prostředí



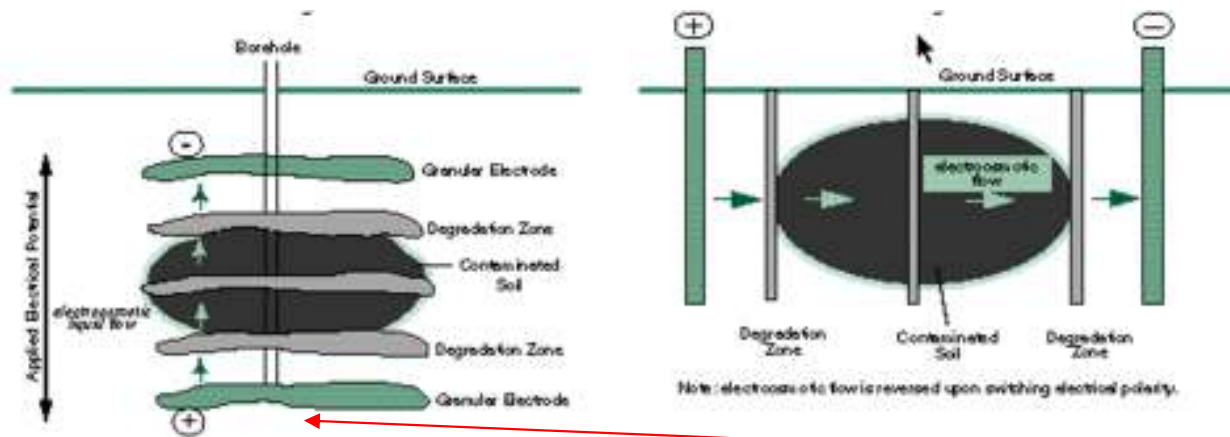
Procesy rozvolňování

Lasagna™ proces



ačkoliv...

Lasagna™ je integrovaná sanační metoda kombinuje hydraulické rozvolňování, elektroosmózu a čistící zóny instalované přímo v půdním prostředí hydraulické rozvolňování se používá k vytvoření sorpčních/degradačních zón v půdním prostředí



Lasagna™ proces

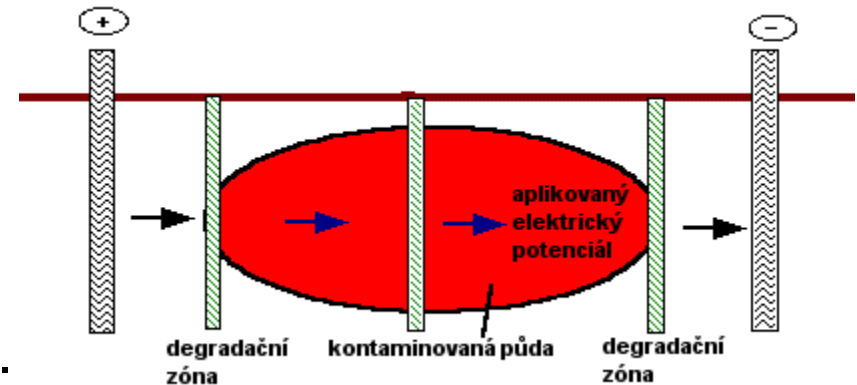
vertikální nebo horizontální
dispozice
elektrické pole je vytvořeno dvěma
elektrodami (kovové tyče x horiz.
– grafitové granule)
degradační zóny obsahují krouhané
železo, aktivní uhlí

tři způsoby čištění:

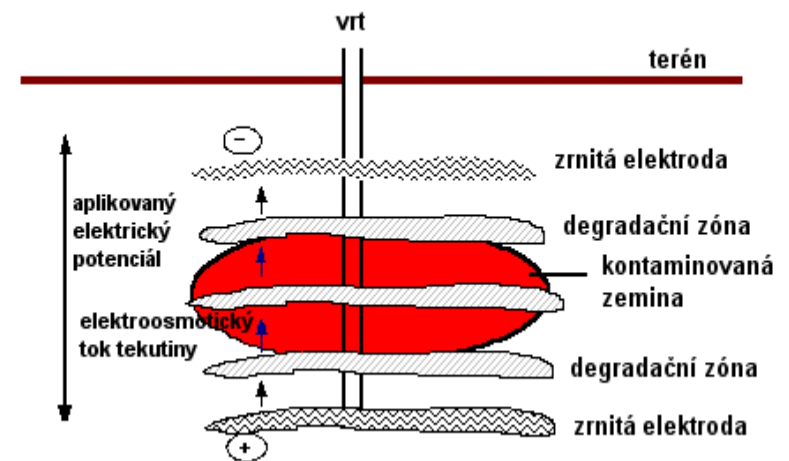
dosahy degradačních zón
transport elektrokinezí do deg.z.
měnění směru proudění přepínáním
elektrod

horizontální konfigurace umožňuje čistit velmi hluboké znečištění

vertikální



horizontální



Elektrokinéze

elektrické pole je aplikováno v kontaminovaném prostředí s cílem pohybu:

- iontů (elektrolýza)
- vody (elektroosmóza)
- koloidů (elektroforéza)

- vysoká účinnost pro kovy, avšak více jak 25x pórových objemů je nutno vyměnit v prostředí
- cca 1 MWh/kg půdy – drahé
- změna pH a rozpohybování všech iontů nemusí být žádoucí

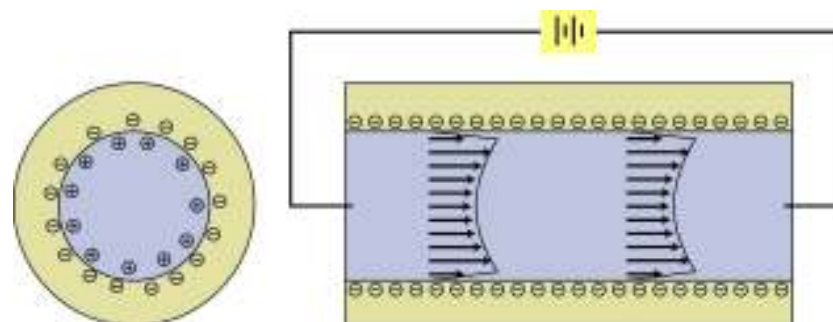
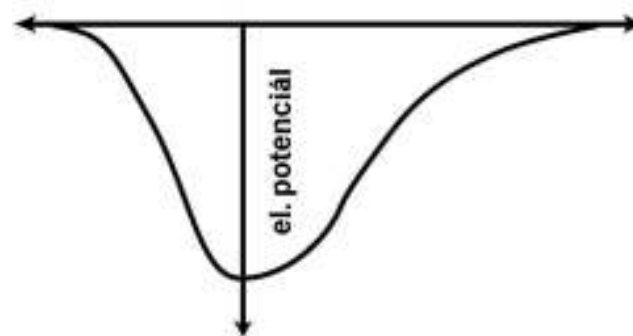
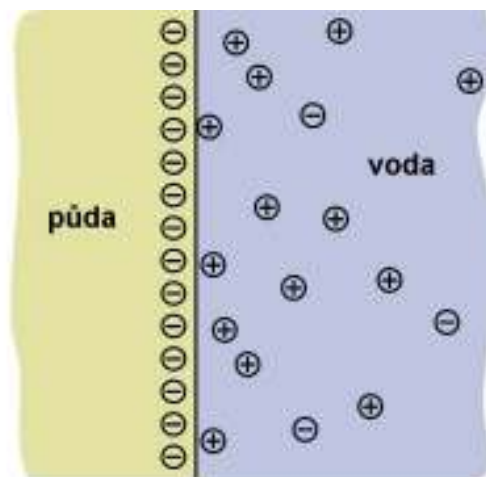
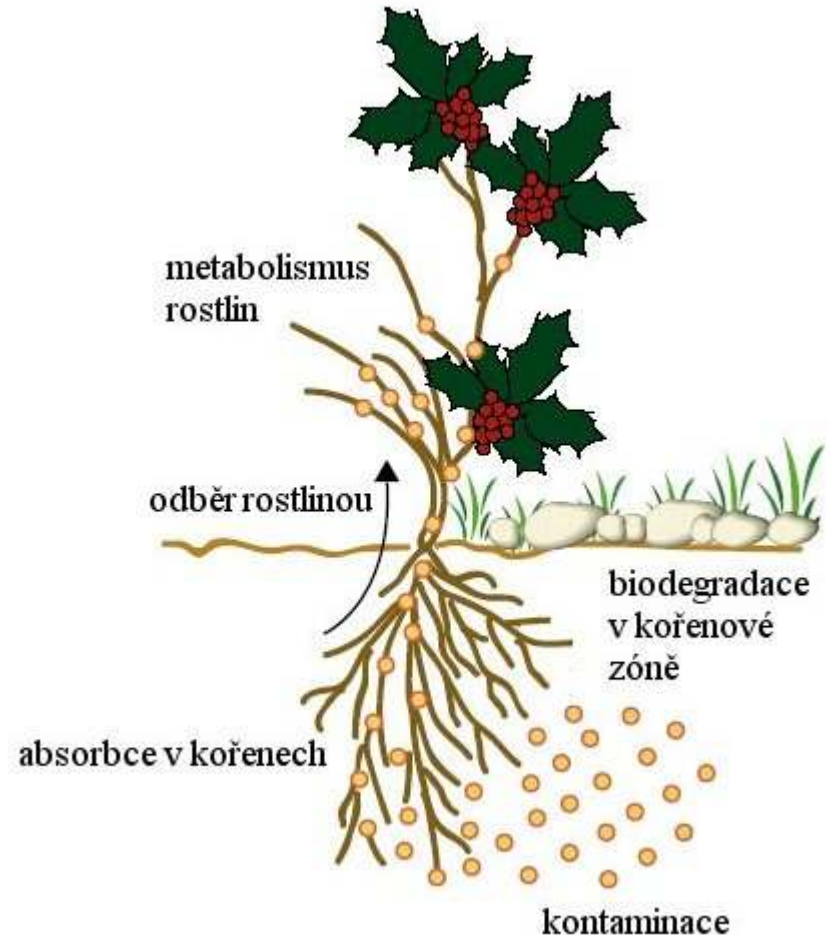


schéma pórézní kapiláry

Fytoremediace

Čištění půdy pomocí rostlin

- **fytotransformace** – odběr látek z půdy a podzemní vody rostlinami a jejich transformace v těle rostliny
- **bioremediace kořenové zóny** (rizosféry) – rozmnožení bakteriálních procesů v kořenové zóně
- **fytoextrakce** – hydraulické ovládání čerpání pomocí stromů, fyzická stabilizace půdy rostlinami
- **fytoextrakce** – použití rostlin schopných vázat kovy a koncentrovat je v kořenech, stoncích nebo listech
- **rizofiltrace** – kořeny stromů se napomáhají sorpci, koncentrování nebo srážení kovů



Fytoremediace

pro čištění odpadních vod se používají se rychle rostoucí dřeviny a vodní rostliny

výhody

nízká cena

estetický vzhled

stabilizace půdy

snížení vyplavování polutantů

limity

čistí se jen kořenová zóna

vysoké koncentrace mohou být pro rostliny toxické

jsou vyžadovány pilotní studie

Fytoremediace

mechanismy:

přímý odběr rostlinou

vhodný pouze pro organické látky, které jsou jen středně hydrofobní

kapilární síly natahují kontaminaci

v rostlině je kontaminant akumulován, metabolizován (vydýchán) a nebo vypařen listy

speciální enzymy jsou potřebné k metabolizaci některých látek (této vlastnosti se používá při výzkumu nových herbicidů)

Fytoremediace

degradace v kořenové zóně

rhizosféra má mikrobiální obsah, navíc i “vypocené” enzymy z rostlin a mikrobů

rostliny též vypocují cukry, uhlovodíky a aminokyseliny, které podporují zdravý mikrobiální život a populaci hub

tj. enzymatickou cestou je podpořena degradace BTEX, uhlovodíků, PAU a chl. uhlovodíků

Fytoremediace

Fytoextrakce těžkých kovů

některé rostliny mohou akumulovat kovy ve vysokých koncentracích vzhledem k jejich biomase (2-5%)

rostliny s hyperakumulační schopností mohou přemísťovat kovy do svých listů a stonků (až 100x vyšší než jiné druhy)

hořčice – hyperakumulace niklu, olova – 2 tuny/ha x 3 sklizně ročně)

rostliny pak mohou být sklizeny a skládkovány

Fytoremediace

rostliny v. stromy

rostliny mohou ovlivnit znečištění jen cca do 60 cm hloubky

stromy, převážně topoly mají tuto schopnost do cca 3 metrů (např. přímý odběr TCE, enzymy na redukci TNT-těž kovy)

topoly jsou oblíbené pro jejich rychlý růst, vysokou transpiraci a hluboké kořeny

odběr z půdy bez vytěkání může probíhat po několik měsíců

nevýhodou je odnos opadajícího listí – nutné mu zamezit

Fytoremediace

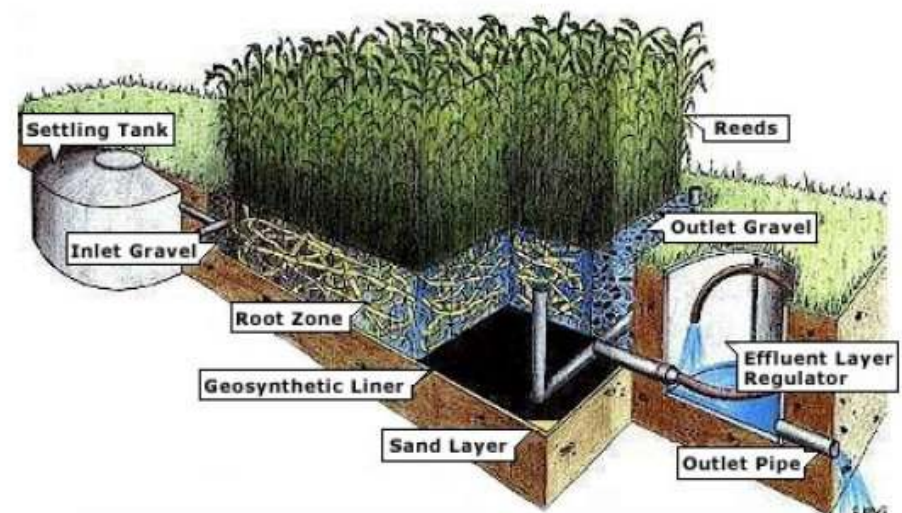
vodní systémy

vodní rostliny mohou akumulovat kovy a další toxiny přímo z vody

návazné řasy v systému vykazují schopnosti odběru Cd, Zn, Ni a Cu

některé studie prokazují odběr radionuklidů, nebo nitrátových sloučenin ve vysokých koncentracích

umělé mokřady na
čištění výbušnin (TNT)



Fytoremediace

podmínky / omezení

vysázené oblasti jsou – musí být cca 17x rozlehlejší než je zdroj kontaminace

je nutné uvažovat pedologické a geologické podmínky a hloubku hladiny podzemní vody

ke zvýšení odběru vody z půdy je nutné oblasti zakrývat membránou a odvádět přímý odtok

u některých výsadeb je nutné zavlažování cca po 3 roky k dosažení vysokého tempa růstu

alternativou je spalování půdy v ceně cca 10-30 tis Kč/tunu

Fytoremediace

použití

městské odpadní vody, vody z parků, dešťová kanalizace

rozmrazovací kapaliny (glykol – letadla)

výluhy ze skládek

zemědělské odpadní vody

odpady z ocelářského průmyslu

důlní a průmyslové vody – papírenství (celulóza)

průmyslové a městské kaly

kontaminované půdy a podzemní vody

Použitá literatura

- MIT Open courseware Civil and Environmental Engineering » Waste Containment and Remediation Technology, Spring 2004
<http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Civil-and-Environmental-Engineering/1-34Spring2004/LectureNotes/index.htm>
- Nyer, E.K. et al: 2001 In Situ Treatment Technology. 2nd edition. Lewis publishers.
- Keller, A.A. ESM 223 Soil and Groundwater Quality Management
http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/esm223_syllabus.htm
- <http://www.hgcinc.com/watersupp.htm>
- <http://www.srs.gov/general/enviro/erd/technology/Pages/g05p.html>
- www.g-servis.cz
- www.diamo.cz
- <http://www.fliteway.com/pages/pumpandtreat.html>
- http://www.gwrtac.org/html/tech_topic.htm

Internetové prezentace firem

- Schlumberger
- US Oil & Gas
- C.S. Garber & Sons