

A black and white photograph of a forest stream. The water flows over rocks, creating white rapids. The forest is dense with tall, thin trees. The text "OCHRANA PODZEMNÍCH VOD" is overlaid in the center of the image.

**OCHRANA PODZEMNÍCH VOD**

## **Sanační metody**

lépe používat nápravná opatření

ex-situ x in-situ

omezení x odčerpání x destrukce x přírodní atenuace

### **první krok**

vymezení kontaminace

detailní vymezení – ohnisko x kontaminovaný pruh

určení intenzity a rozsahu kontaminace všech složek horninového prostředí

riziková analýza

## **Podmínky, které je nutné zajistit v zóně limitované kontaminací**

1. omezit kontakt nebo přístup a expozici s kontaminovanou podzemní vodou
2. vytvořit náhradní zdroj pitné a užitkové vody (nové vrty, studny, povrchová voda, apod.)
3. příp. objednat pitnou vodu – balená voda a dovoz vody
4. odstranění zdroje kontaminace – nápravná opatření včetně dekontaminace ohniska, úprava technologií zamezující dalšímu vzniku kontaminace, apod.
5. monitoring – v průběhu i po skončení případné sanace, často se monitoruje ještě před zahájením sanace a čeká se na vývoj kontaminace
6. dozor nad případným kontaktem obyvatel s kontaminovanou podzemní vodou
7. přijmutí zvýšeného rizika – při nulové variantě

## 1. omezení

### a) nepropustné těsnící stěny

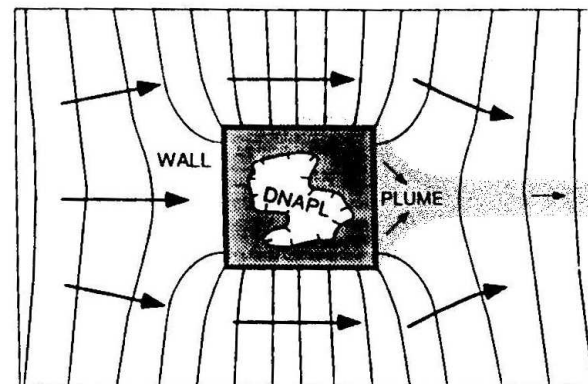
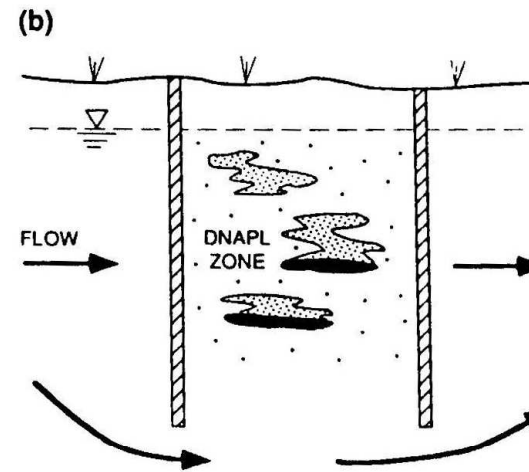
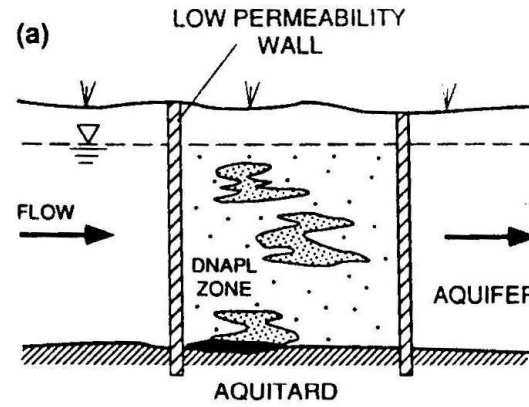
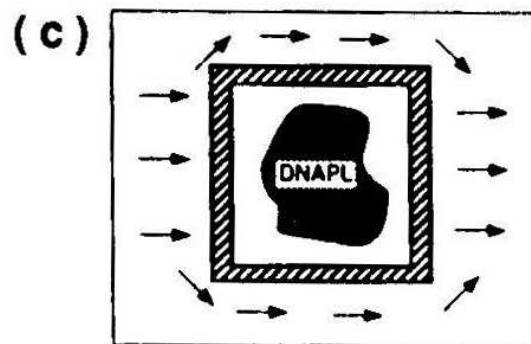
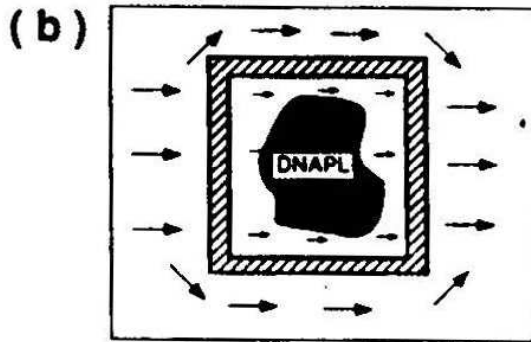
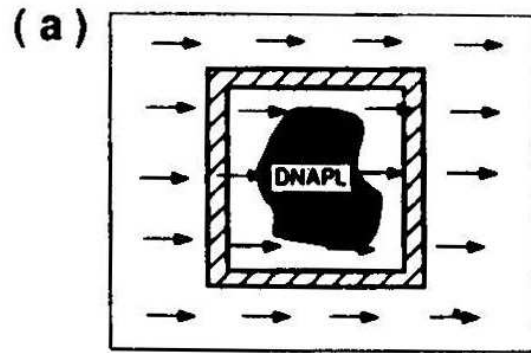
- cílem je omezit (izolovat) celý pruh, nebo jeho části (např. ohnisko), nebo změnit směr a rychlost proudění
- uvnitř lze potom použít agresivnější technologie
- úplné x neúplné

### *různé technologie instalace*

1. jílocementové (bentonitové) – šířka nejčastěji 0,5 – 2 metry a až do hloubky 50 metrů, hloubení nejčastěji klasicky – příkopy a jejich plnění tekutou hmotou, vibrační duté zarážené ocelové desky
2. ocelové desky – desky se spoji na okrajích, spoje potom ucpány jemnozrnným materiálem
3. groutování – injektáž roztoku, které po určité době (vzdálenosti od infiltračních vrtů) tuhnou, vrty těsně u sebe (metry) – typicky cement + bentonity + příměsi (silikáty),
4. hydraulické pulzy (v jílovitých horninách)

pozor na vzduší hladin a možné obtékání – síť monitorovacích vrtů

použití – prakticky všechny typy kontaminace – výhoda u LNAPL, DNAPL



Základní typy nepropustných stěn  
(podle Pankow a Cherry 1996):

- a) úplná - podzemní voda  
stěnu pouze obtéká
- b) neúplná - podzemní voda  
stěnu obtéká i podtéká

Charakteristický průběh  
hydroizohyps v okolí  
nepropustné těsnící stěny  
se odráží i ve tvaru  
kontaminovaného pruhu  
(podle Devlin a Parker 1994)

## 1. omezení

### a) nepropustné těsnící stěny

- cílem je omezit (izolovat) celý pruh, nebo jeho části (např. ohnisko), nebo změnit směr a rychlost proudění
- uvnitř lze potom použít agresivnější technologie
- úplné x neúplné

### *různé technologie instalace*

1. jílocementové (bentonitové) – šířka nejčastěji 0,5 – 2 metry a až do hloubky 50 metrů, hloubení nejčastěji klasicky – příkopy a jejich plnění tekutou hmotou, vibrační duté zarážené ocelové desky
2. ocelové desky – desky se spojí na okrajích, spoje potom ucpány jemnozrnným materiálem
3. groutování – injektáž roztoku, které po určité době (vzdálenosti od infiltračních vrtů) tuhnou, vrty těsně u sebe (metry) – typicky cement + bentonity + příměsi (silikáty),
4. hydraulické pulzy (v jílovitých horninách)

pozor na vzduší hladin a možné obtékání – síť monitorovacích vrtů

použití – prakticky všechny typy kontaminace – výhoda u LNAPL, DNAPL

### **b) povrchové zakrytí a drenáže**

- využití zejména v odpadovém hospodářství
- různé materiály (nejčastěji zhutnělé jíly, plastové fólie, apod.)
- umístění pod zónu promrzání – jinak praskání
- z hlediska deponovaného materiálu nad i pod ním
- pozor na praskání v důsledku zatížení – IG problémy
- možné kombinace i s nepropustnými těsnícími stěnami
- pozor na drenáže – musí být součástí

### **c) hydrodynamické omezení**

- injektáž nebo čerpání vody
- neslouží k sanaci, ale ke změně směrů a rychlostí proudění
- použití i ke kontrole migrace par půdním vzduchem

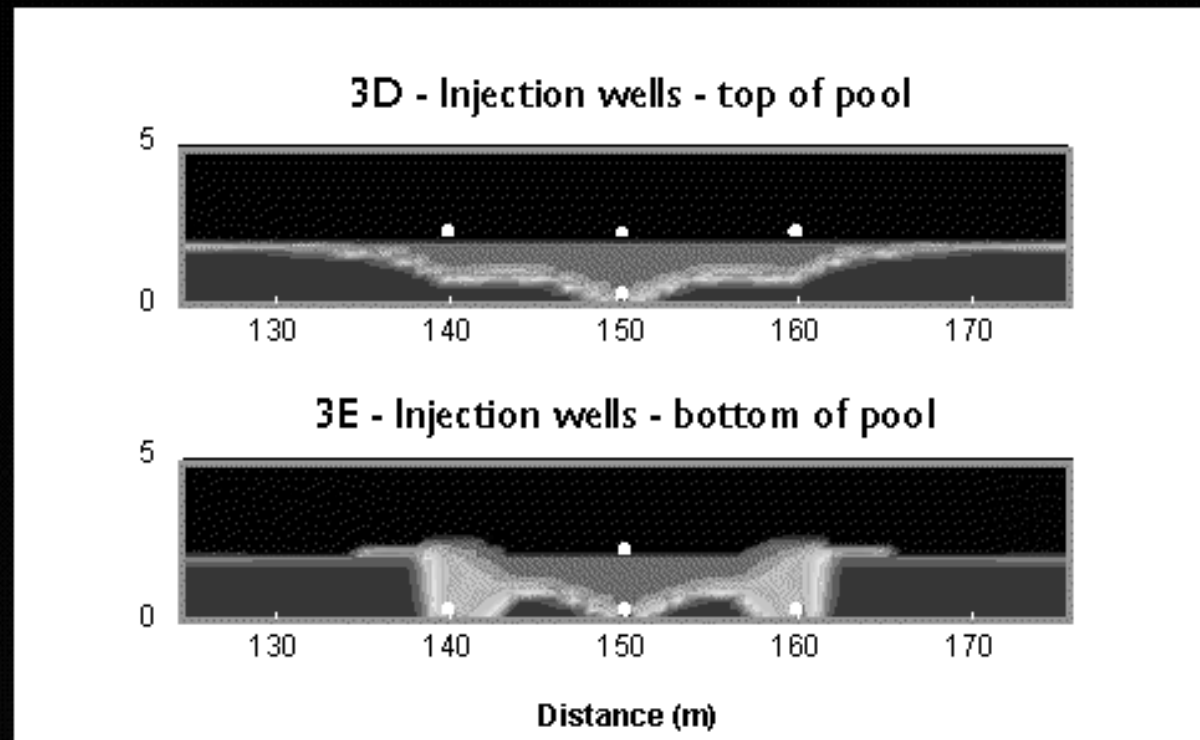
### **d) stabilizace a solidifikace**

- metody sloužící k omezení pohyblivosti kontaminantů
- přidávání cementu a jílocementové směsi, polymery, asfalt
- výrazná redukce propustnosti hornin
- využití pro kovy a PCB

### **e) vitrifikace**

- zahřátí zemin na tak vysokou teplotu, že dojde k jejich roztavení
- vhodné pro radioaktivní látky, kovy
- nevhodné pro většinu organických látek – pyrolýza nebo vytěkání

## Saturation Distributions After 5.3 Years





### **b) povrchové zakrytí a drenáže**

- využití zejména v odpadovém hospodářství
- různé materiály (nejčastěji zhutnělé jíly, plastové fólie, apod.)
- umístění pod zónu promrzání – jinak praskání
- z hlediska deponovaného materiálu nad i pod ním
- pozor na praskání v důsledku zatížení – IG problémy
- možné kombinace i s nepropustnými těsnícími stěnami
- pozor na drenáže – musí být součástí

### **c) hydrodynamické omezení**

- injektáž nebo čerpání vody
- neslouží k sanaci, ale ke změně směrů a rychlostí proudění
- použití i ke kontrole migrace par půdním vzduchem

### **d) stabilizace a solidifikace**

- metody sloužící k omezení pohyblivosti kontaminantů
- přidávání cementu a jílocementové směsi, polymery, asfalt
- výrazná redukce propustnosti hornin
- využití pro kovy a PCB

### **e) vitrifikace**

- zahřátí zemin na tak vysokou teplotu, že dojde k jejich roztavení
- vhodné pro radioaktivní látky, kovy
- nevhodné pro většinu organických látek – pyrolýza nebo vytěkání

## 2. odstranění kontaminantů z horninového prostředí

### a) hydraulické metody

### b) venting (SVE)

- odstranění těkavých látek z nenasycené zóny
- pro sanaci nasycené zóny nevhodný
- hydrodynamický x atmodynamický venting nebo kombinace obou
- nejčastěji – jeden nebo více vrtů s vakuovou pumpou
- na povrchu čištění odsávaného vzduchu

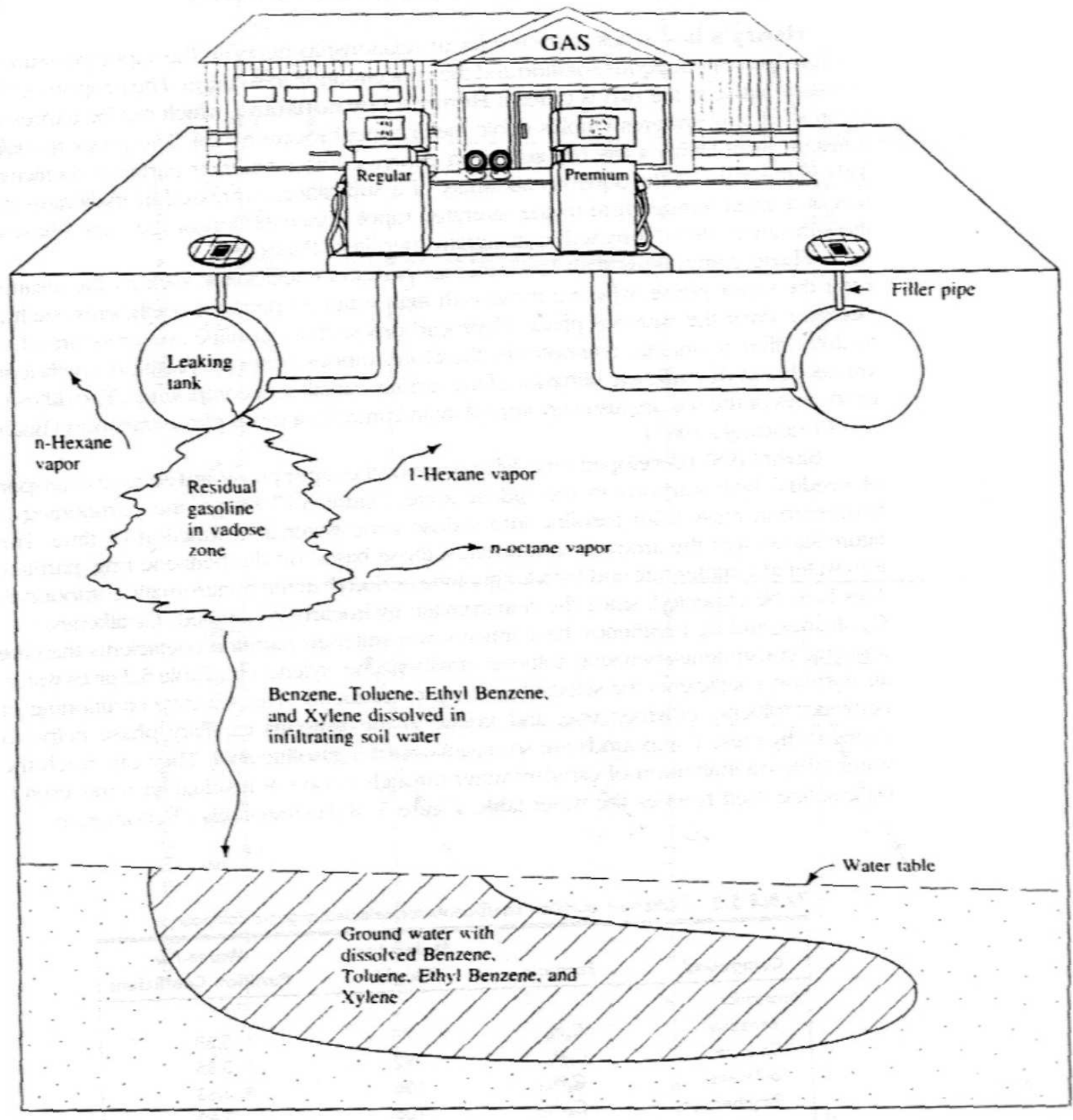
#### • vhodné pro organické látky těkavé

*BTX, ethylbenzen, hexan, chloroform, metylenchlorid, PCE, TCE, DCE, etylacetát, cyklohexan, MEK, MIBK, metanol, aceton, CTC, TCA, CIB, DCB, TCP, benzín, kerosin, motorová nafta, část LTO*

- nutný design a ověření účinnosti ventingu
- kalkulace denních odtěžitelných množství (teoreticky) – odhad doby sanace
- znalost propustnosti hornin – z čerpacích zkoušek

*písky, prachovité písky, písčité hlíny > spraše, hlíny s podílem jílovité složky > jílovité písky > jíly, jílovité hlíny*

- omezení – nízké propustnosti a těkavosti látek, nehomogenity



## 2. odstranění kontaminantů z horninového prostředí

### a) hydraulické metody

### b) venting (SVE)

- odstranění těkavých látek z nenasycené zóny
- pro sanaci nasycené zóny nevhodný
- hydrodynamický x atmodynamický venting nebo kombinace obou
- nejčastěji – jeden nebo více vrtů s vakuovou pumpou
- na povrchu čištění odsávaného vzduchu

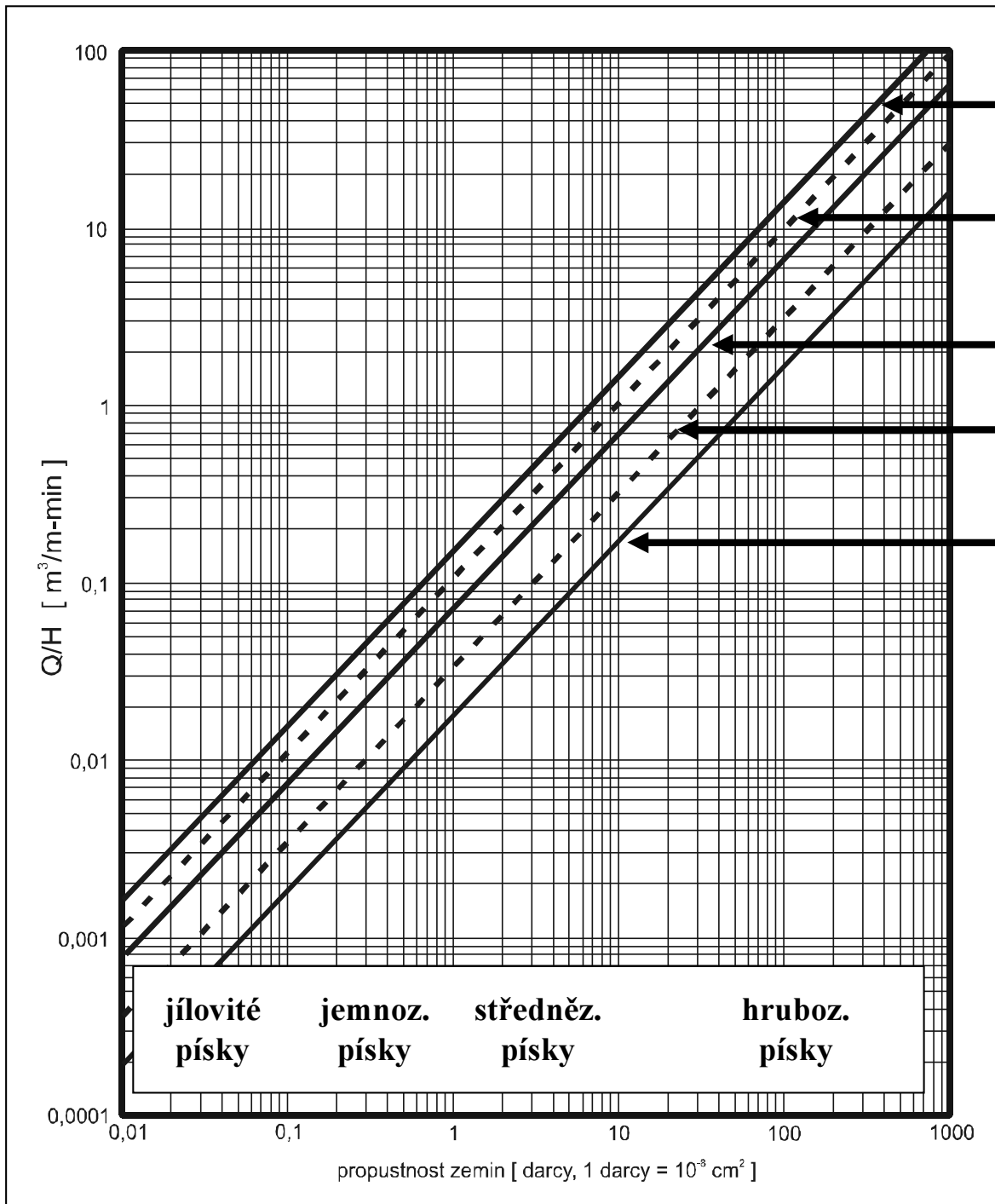
- vhodné pro organické látky těkavé

*BTX, ethylbenzen, hexan, chloroform, metylenchlorid, PCE, TCE, DCE, etylacetát, cyklohexan, MEK, MIBK, metanol, aceton, CTC, TCA, CIB, DCB, TCP, benzín, kerosin, motorová nafta, část LTO*

- nutný design a ověření účinnosti ventingu
- kalkulace denních odtěžitelných množství (teoreticky) – odhad doby sanace
- znalost propustnosti hornin – z čerpacích zkoušek – určení hodnoty  $Q/H$  – obdoba  $q$

*písky, prachovité písky, písčité hlíny > spraše, hlíny s podílem jílovité složky > jílovité písky > jíly, jílovité hlíny*

- omezení – nízké propustnosti a těkavosti látek, nehomogenity



$P_w = 0,40$  atm

$P_w = 0,60$  atm

$P_w = 0,80$  atm

$P_w = 0,90$  atm

$P_w = 0,95$  atm

platnost nomogramu

$R_w = 5,1$  cm (2 palce)

$R_i = 12$  m

### Úprava nomogramu:

$R_w = 5,1 \text{ cm}$        $R_i = 7,6 \text{ m}$       násobit Q/H hodnotou 1,09

$R_w = 5,1 \text{ cm}$        $R_i = 23 \text{ m}$       násobit Q/H hodnotou 0,90

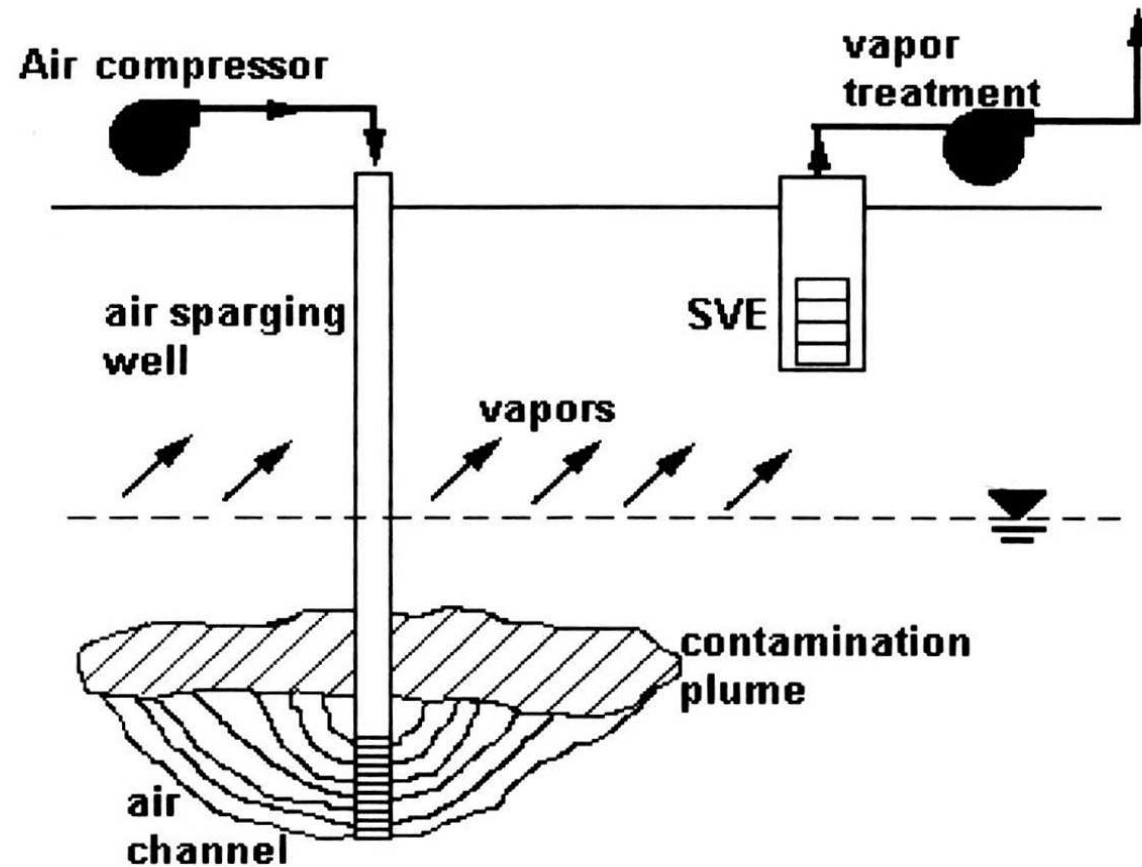
$R_w = 7,6 \text{ cm}$        $R_i = 12 \text{ m}$       násobit Q/H hodnotou 1,08

$R_w = 10 \text{ cm}$        $R_i = 12 \text{ m}$       násobit Q/H hodnotou 1,15

$R_w = 10 \text{ cm}$        $R_i = 7,6 \text{ m}$       násobit Q/H hodnotou 1,27

### c) air sparging

- odstranění TOL a  $C_3-C_{10}$
- popis systému – kombinace s SVE



Základní princip air-spargingu (podle Miller 1996)

### c) air sparging

- odstranění TOL a  $C_3$ - $C_{10}$
- popis systému – kombinace s SVE
- původní předpoklad – migrace bublin – spíše migrace kanály privilegovaně generovanými v místech s nejnižší hodnotou vstupního tlaku – nevýhoda v případě uložení horizontálních méně propustných vrstev
- po vytěkání se koncentrace v migrujícím vzduchu výrazně sníží a přechod z roztoku do vzduchu je již jen v důsledku difúze (tvar a průběh kanálek se nemění)
- největší difúze bude v případě řady malých kanálek v husté síti
- průtoky vzduchu zpravidla v rozmezí 80 – 250 l/minutu na jeden injektovaný vrt
- průtok závisí především na hloubce hladiny podzemní vody – větší hloubka a větší mocnost saturované zóny = větší nutné průtoky
- nutné kalkulovat poloměr zóny dosahu kolem vrtu – ze změn tlaku v saturované a nesaturované zóně, z koncentrací TOL v nesaturované zóně, z dosahu vzdučí hladiny a ze stopovacích zkoušek s plyny – metoda pokusu a omylu
- čím menší dosah zóny, tím rychlejší sanace => více injektovaných vrtů
- nevýhody – vzdučí hladiny (může dosahovat až k povrchu nebo k ventingovým vrtům), infiltrace vzduchu způsobuje pokles tlaku mezi zrny – vznik trhlin a kolaps nezpevněných sedimentů (propadání, hroucení, trhliny)



#### d) vymývání rozpouštědly

pro látky s nízkými rozpustnostmi ve vodě a naopak vysokými rozpustnostmi v nejčastěji organických kapalných rozpouštědlech

- NAPL – vytvoření směsí

#### e) vymývání detergenty

- obecně látkami snižujícími povrchové napětí na rozhraní dvou nemísitelných kapalin

- důsledkem je snazší mobilizace kapalných fází NAPL

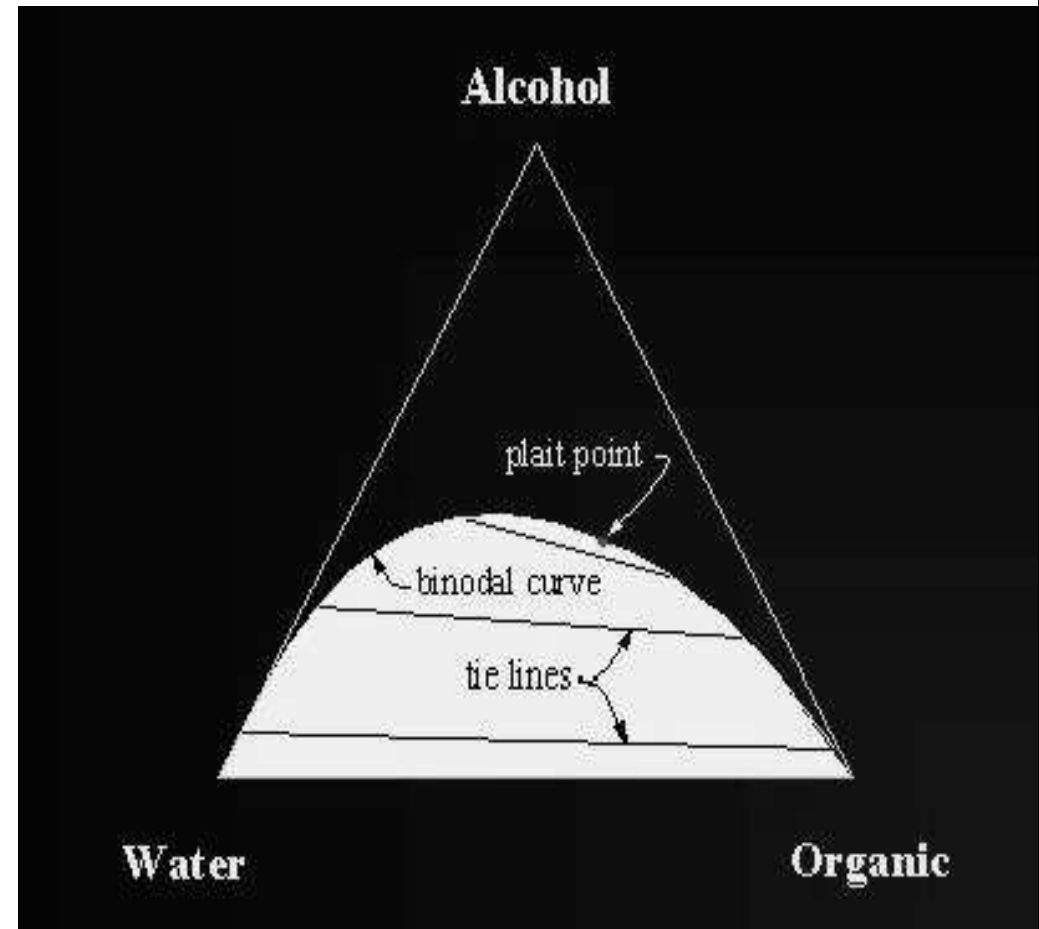
#### f) chemická destrukce (oxidace + event. redukce)

- přidávání silných oxidačních činidel způsobuje rychlou oxidaci látek

- anorganické kontaminanty – vznik forem s vyššími oxidačními čísly (spíše vysrážení – méně rozpustné)

- organické kontaminanty – např. CIU – destrukce molekul, neúčinkuje u molekul ve vysokém oxidačním stavu – vznik  $\text{CO}_2$  a vody

- redukce – směsi vermikulitu, biotitu a sulfidů - CIU

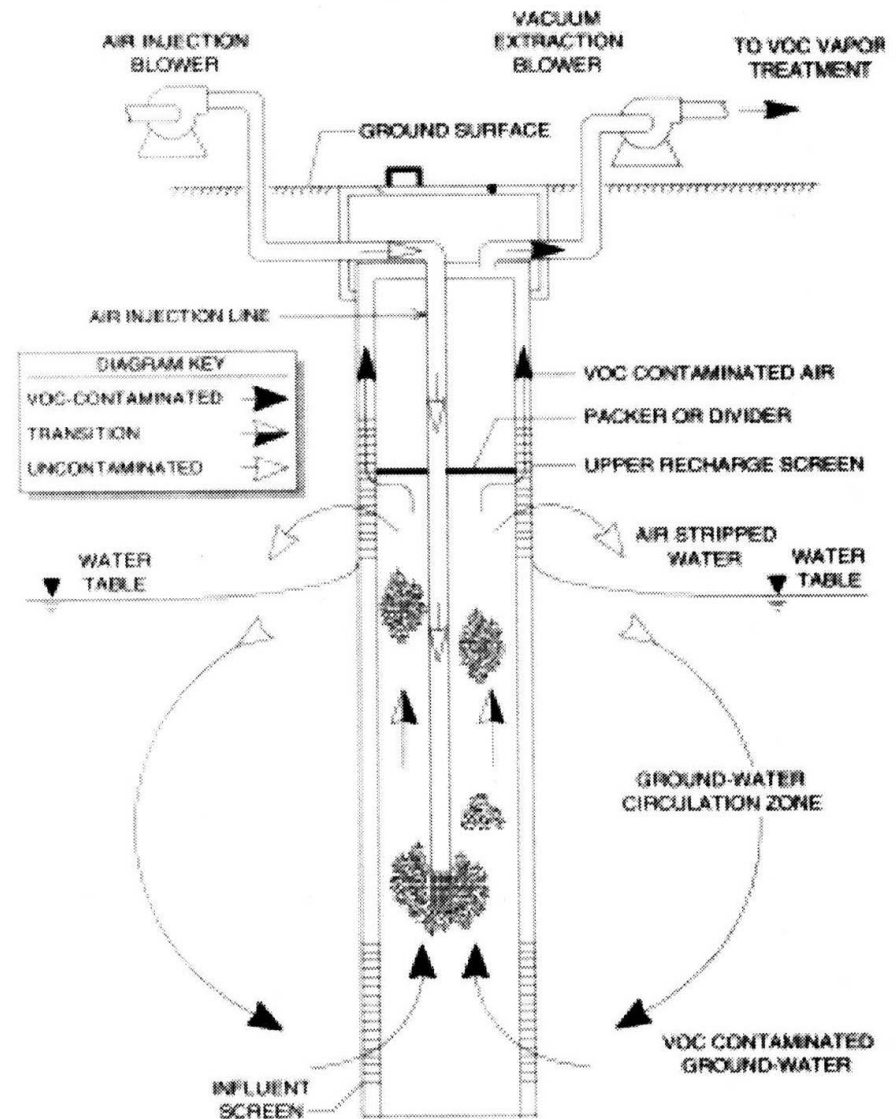


### g) in-well stripping

- cirkulace vody v okolí speciálně vystrojených vrtů
- uvnitř vrtu vytěkávání TOL do vzduchových bublin
- odsávání vzduchových bublin a přečištění vzduchu na povrchu
- prokázané dosahy v jednotkách metrů kolem vrtů
- pouze pro rozpuštěné kontaminanty
- ovlivnění redoxních podmínek
- negativní vliv nehomogenit - horizontálních

### h) termální metody

### i) propustné reaktivní stěny



Základní princip in-well strippingu (podle U.S.EPA 1998)