

A scenic view of a forest stream with a waterfall, surrounded by tall trees and autumn foliage. The water is clear and flows over rocks, creating white rapids. The forest is dense with tall, thin trees, and the ground is covered in fallen leaves and moss.

OCHRANA PODZEMNÍCH VOD

IX.

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

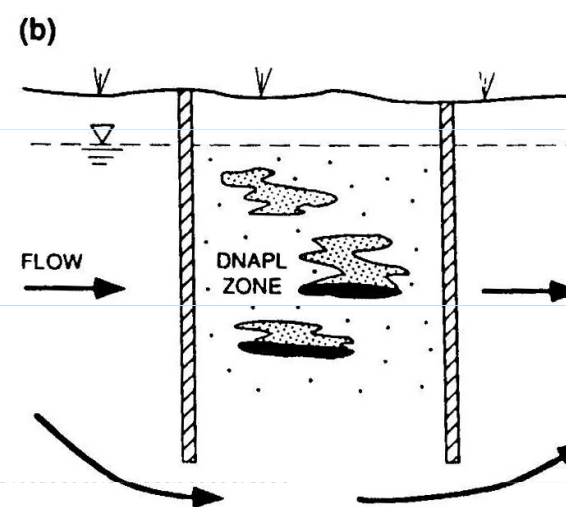
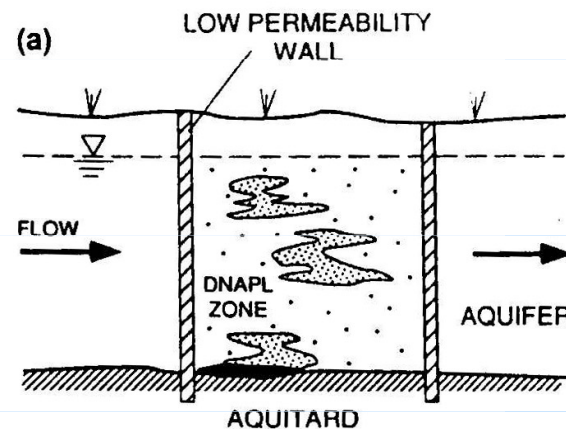
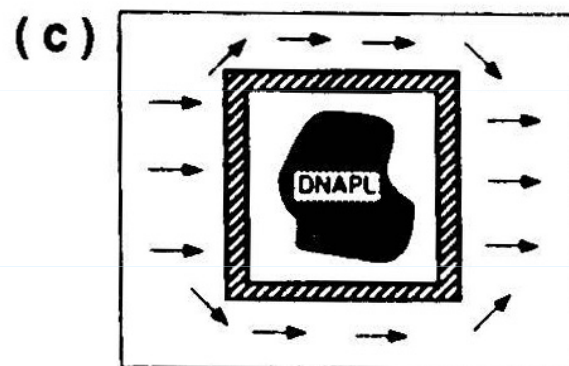
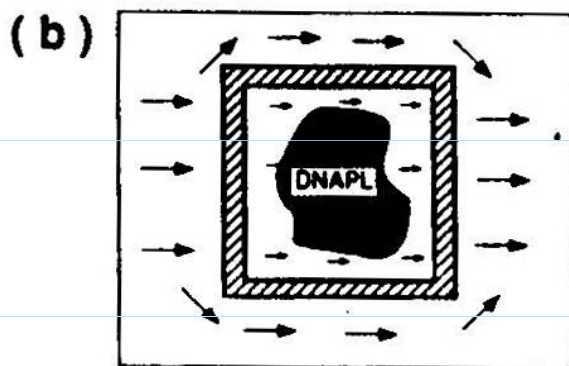
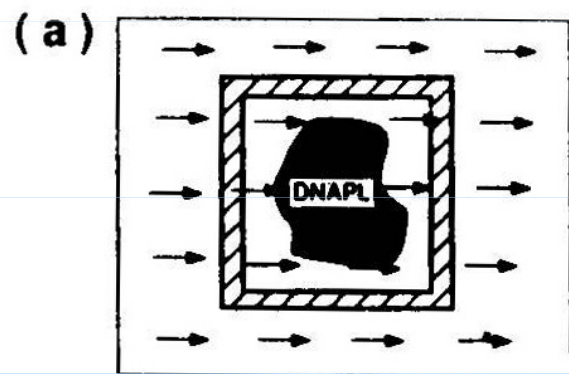
- cílem je omezit (izolovat) celý pruh, nebo jeho části (např. ohnisko), nebo změnit směr a rychlost proudění
- uvnitř lze potom použít agresivnější technologie
- úplné x neúplné

různé technologie instalace

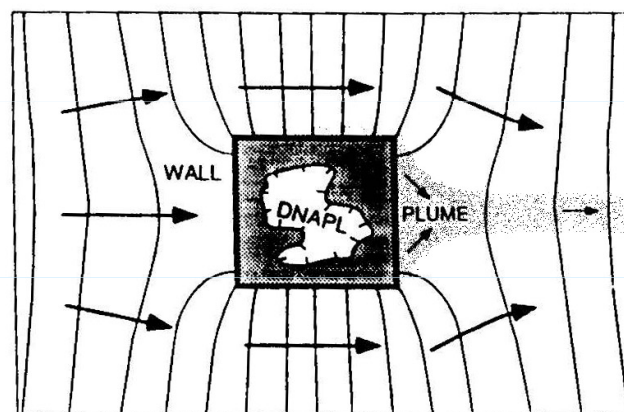
1. jílocementové (bentonitové) – šířka nejčastěji 0,5 – 2 metry a až do hloubky 50 metrů, hloubení nejčastěji klasicky – příkopy a jejich plnění tekutou hmotou, vibrační duté zarážené ocelové desky
2. ocelové desky – desky se spoji na okrajích, spoje potom ucpány jemnozrnným materiálem
3. groutování – 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 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

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

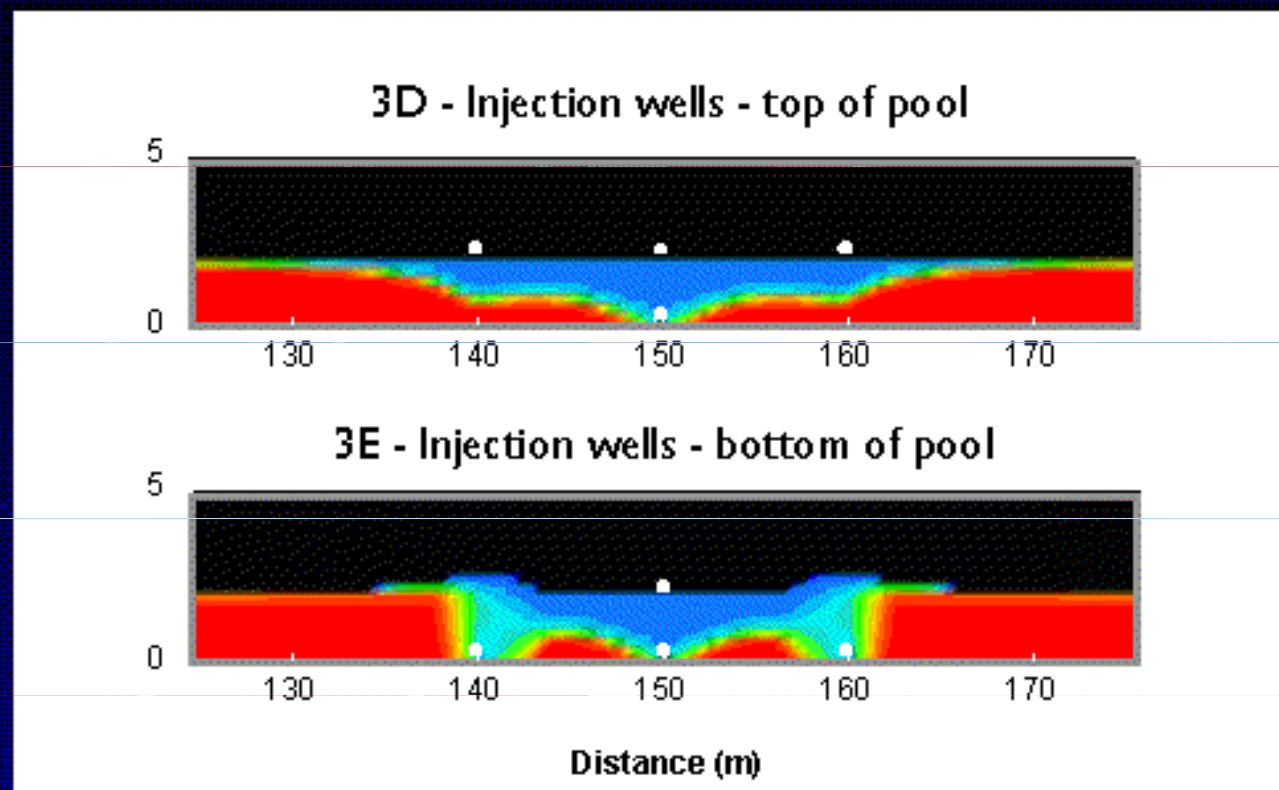
d) stabilizace a solidifikace

- metody sloužící k omezení pohyblivosti kontaminantů
- přidávání cementu a jílocementové směsi, polymery, asphalt
- 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

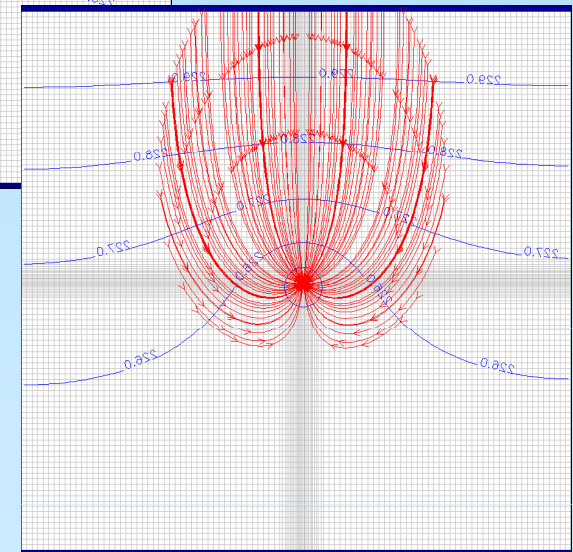
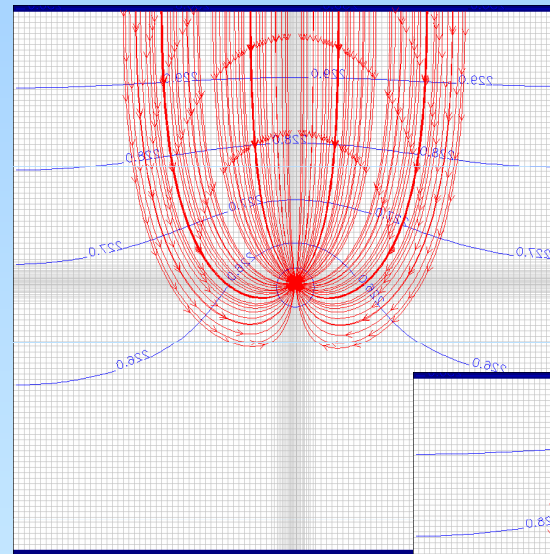
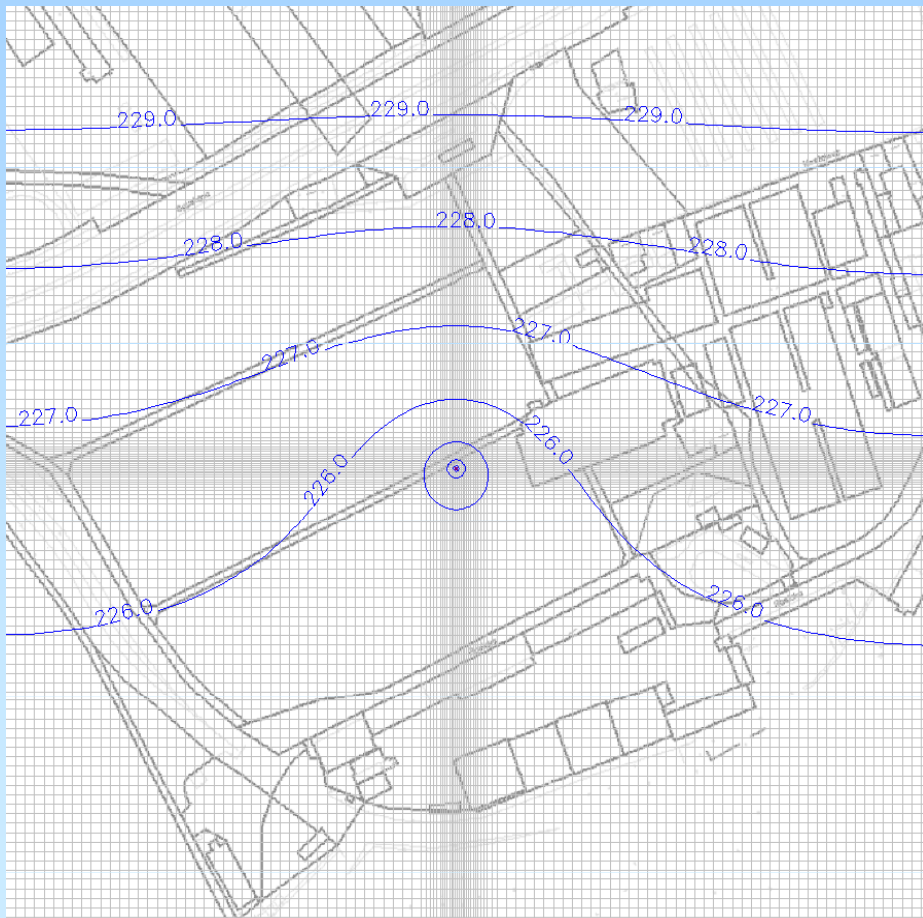
2. odstranění kontaminantů z horninového prostředí

a) hydraulické metody

- nejčastěji používaná metoda sanace podzemních vod
- libovolné kombinace čerpaných a injektovaných vrtů
- vhodné zejména pro sanaci kontaminačních mraků s rozpuštěnými polutanty
- použitelné i pro LNAPL
- snadný design, dobře propracovaná metoda, bezproblémová z hlediska orgánů státní správy
- vhodnost x nevhodnost metody – konkrétní podmínky
- hodnocení kumulativních denních odběrů polutantů
- kalkulace teoretické doby odstranění kontaminace – vždy podhodnocené – příčiny
- návrhy počtu vrtů a čerpaných množství – **analytické** metody x **numerické** metody

analytické metody

- homogenní prostředí a ustálené proudění, aplikace Darcyho zákona a Theisovy rovnice
- radiální charakter depresního kuželu a zóny zachycení



analytické metody

- Javandel & Tsang (1996) – typové křivky – 1 – 4 vrty
- variabilní Q , homogenní prostředí, ověřit hodnoty snížení (Theisova rovnice – \pm superpozice vrtů)

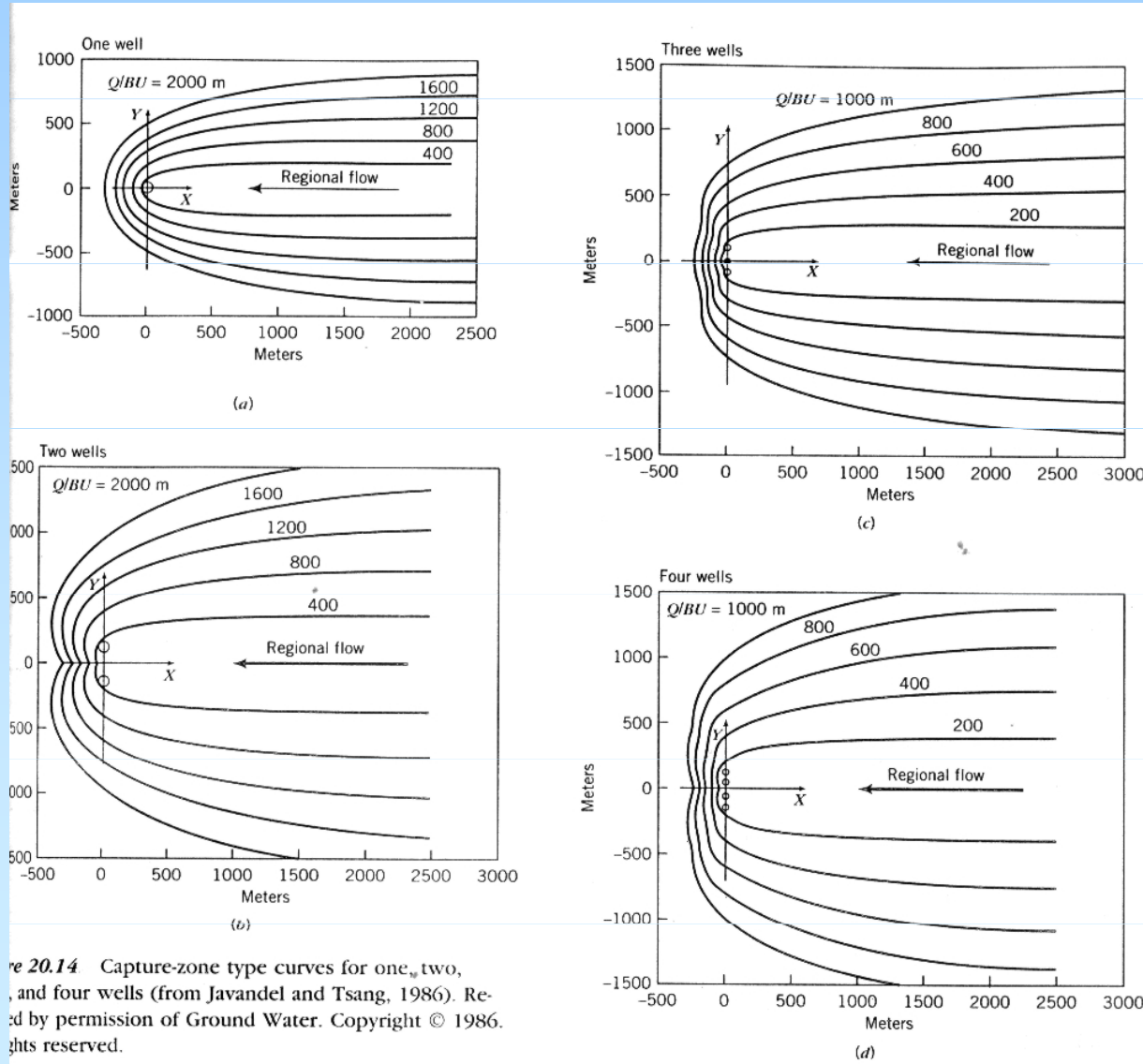


Figure 20.14 Capture-zone type curves for one, two, and four wells (from Javandel and Tsang, 1986). Reprinted by permission of Ground Water. Copyright © 1986. All rights reserved.

Javandel & Tsang (1996)

kalkulace čerpaného množství

$$Q = B \cdot v_{ef} \cdot TCV$$

kalkulace vzdálenosti mezi vrty

$$2 \text{ vrty} \quad \frac{Q}{\pi \cdot B \cdot v_{ef}}$$

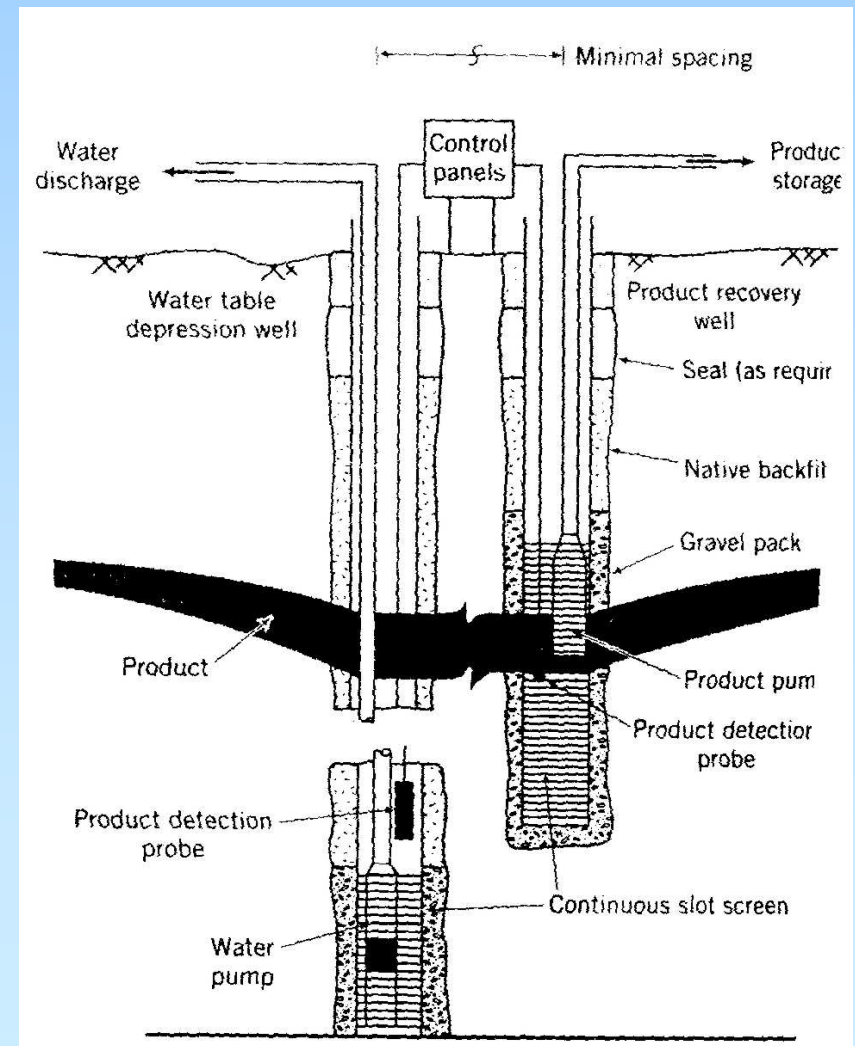
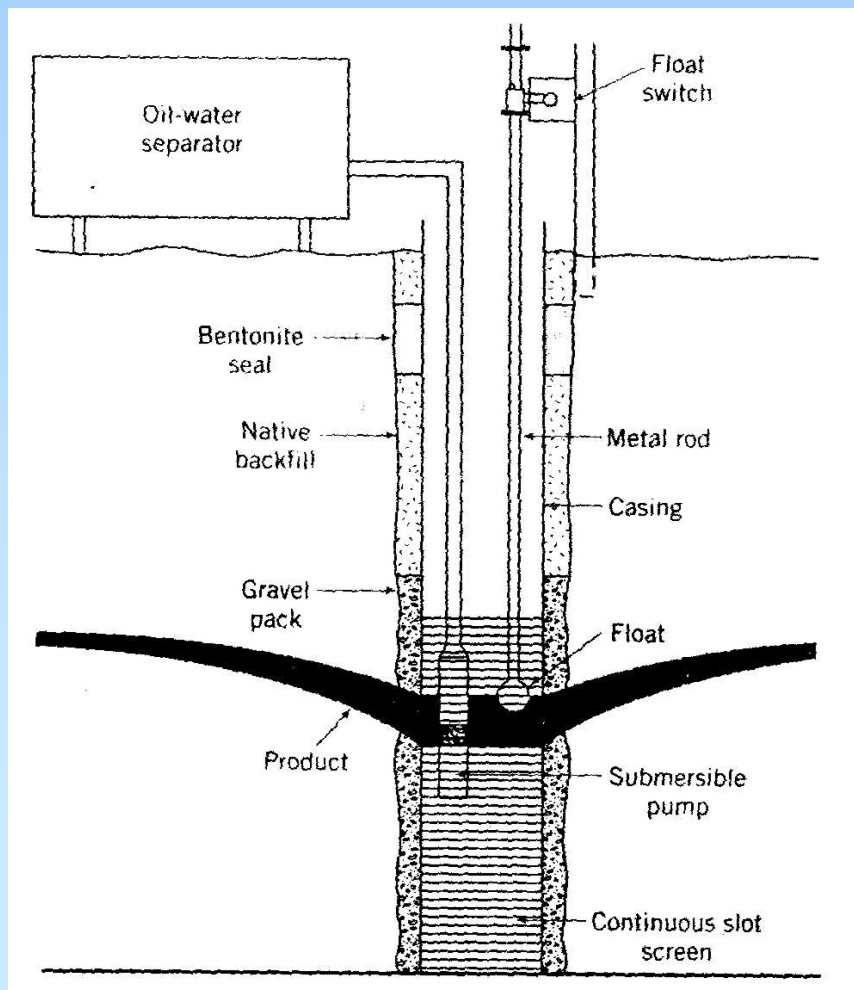
$$3 \text{ vrty} \quad \frac{1,26 \cdot Q}{\pi \cdot B \cdot v_{ef}}$$

$$4 \text{ vrty} \quad \frac{1,2 \cdot Q}{\pi \cdot B \cdot v_{ef}}$$

$$s = \frac{2,303 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \left(\log \frac{2,246 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S} + \log \frac{2,246 \cdot T \cdot t}{r_2^2 \cdot S} + \dots \right)$$

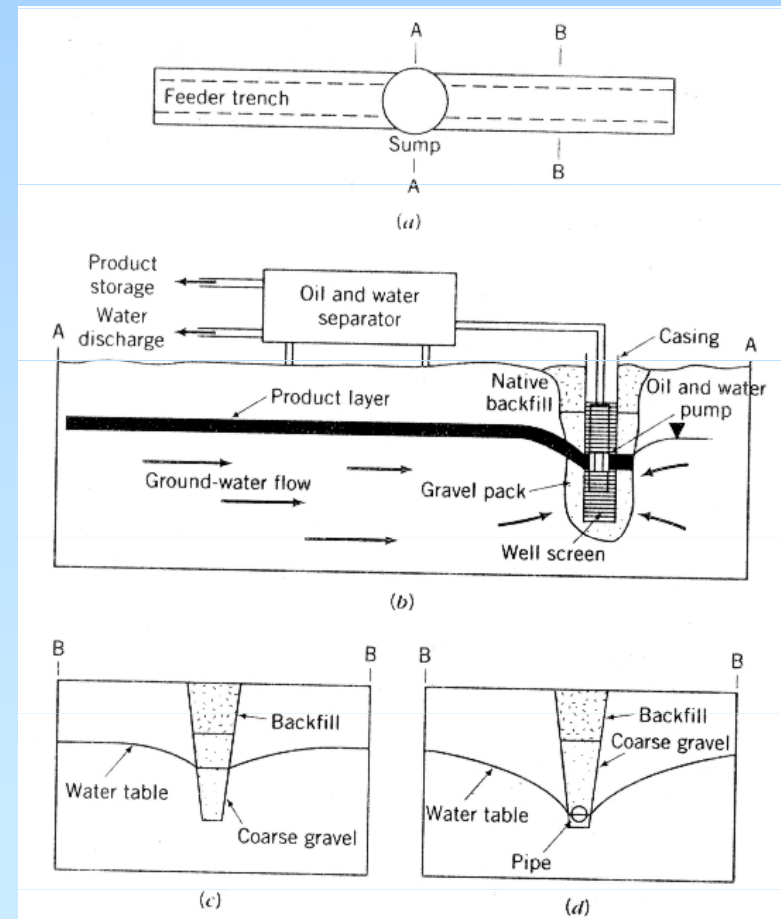
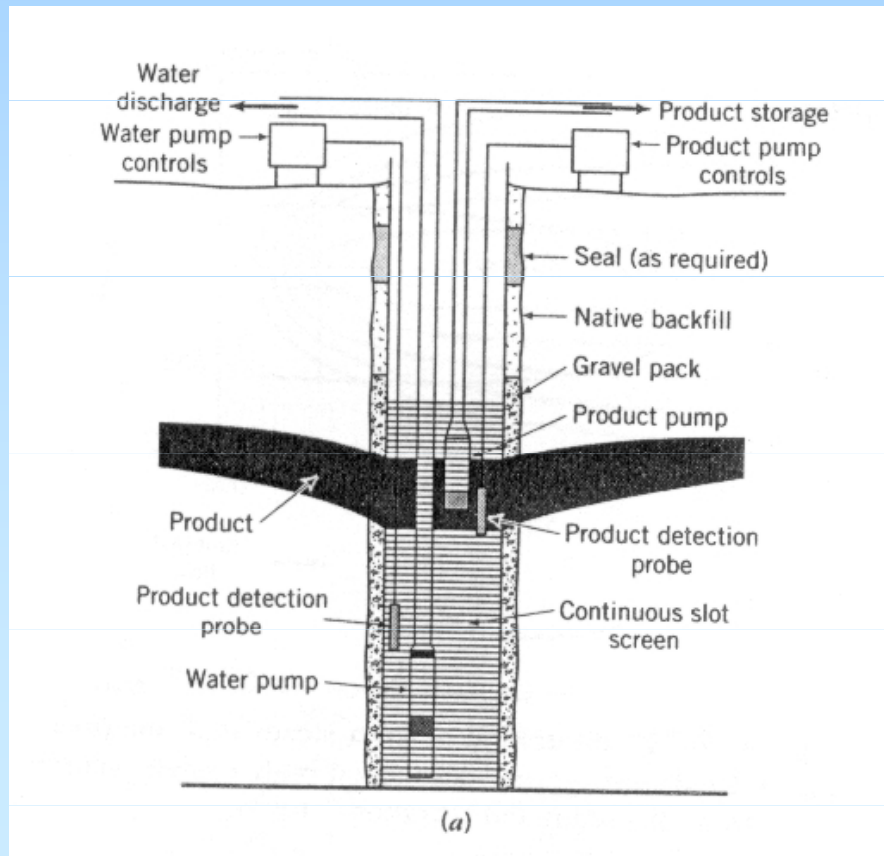
LNAPL

- separace fází v čerpaném vrtu x čerpání emulze z vrtu (+ povrchový separátor)
- 1 vrt, 2 vrty těsně vedle sebe, drenážní rýhy, atd.



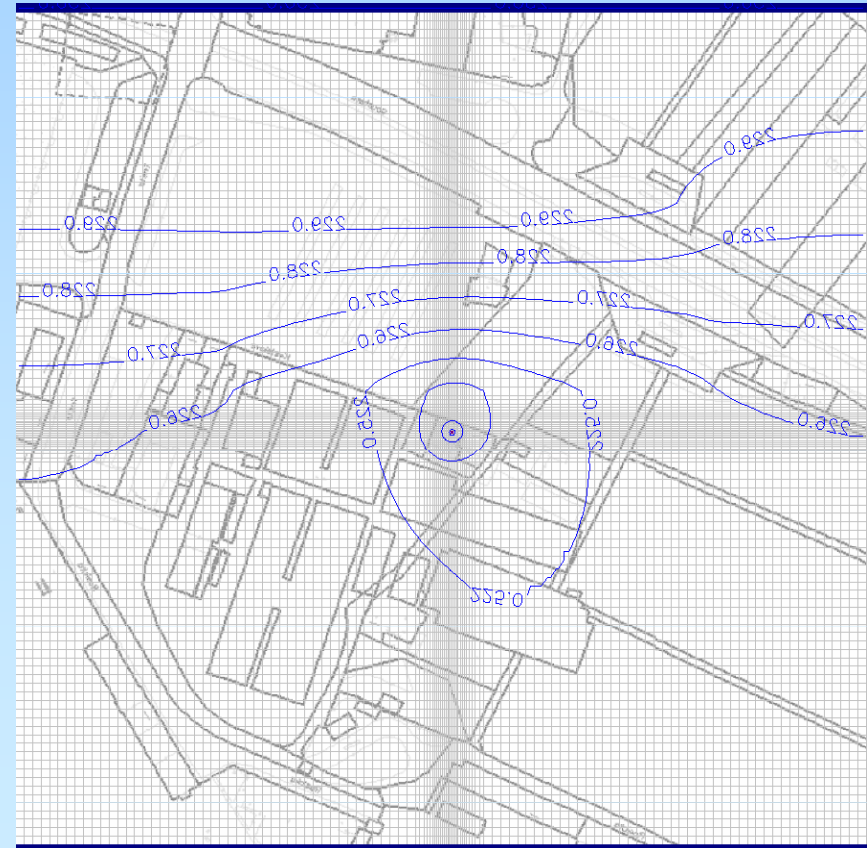
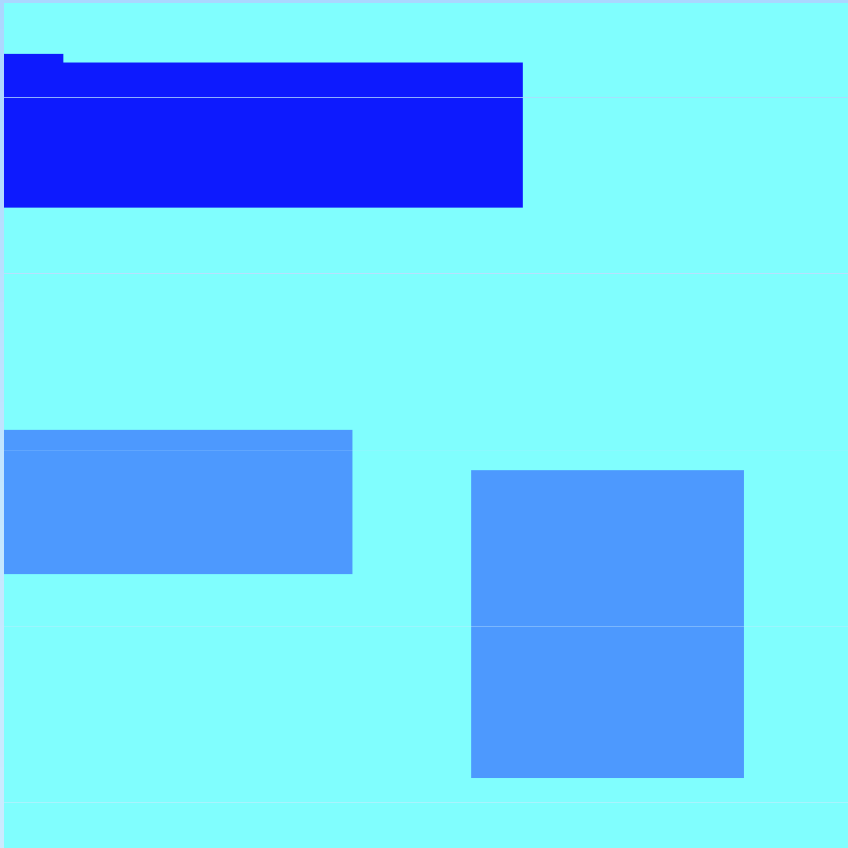
LNAPL

- separace fází v čerpaném vrtu x čerpání emulze z vrtu (+ povrchový separátor)
- 1 vrt, 2 vrty těsně vedle sebe, drenážní rýhy, atd.



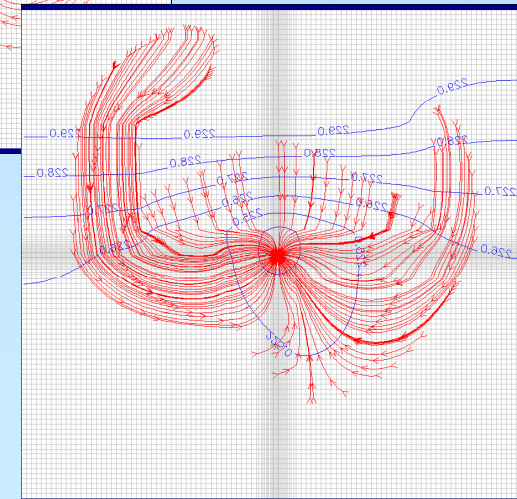
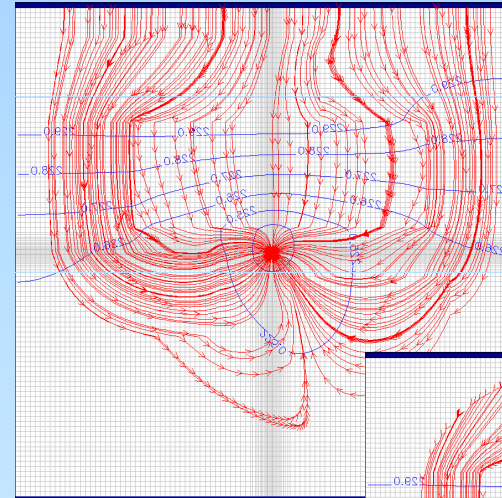
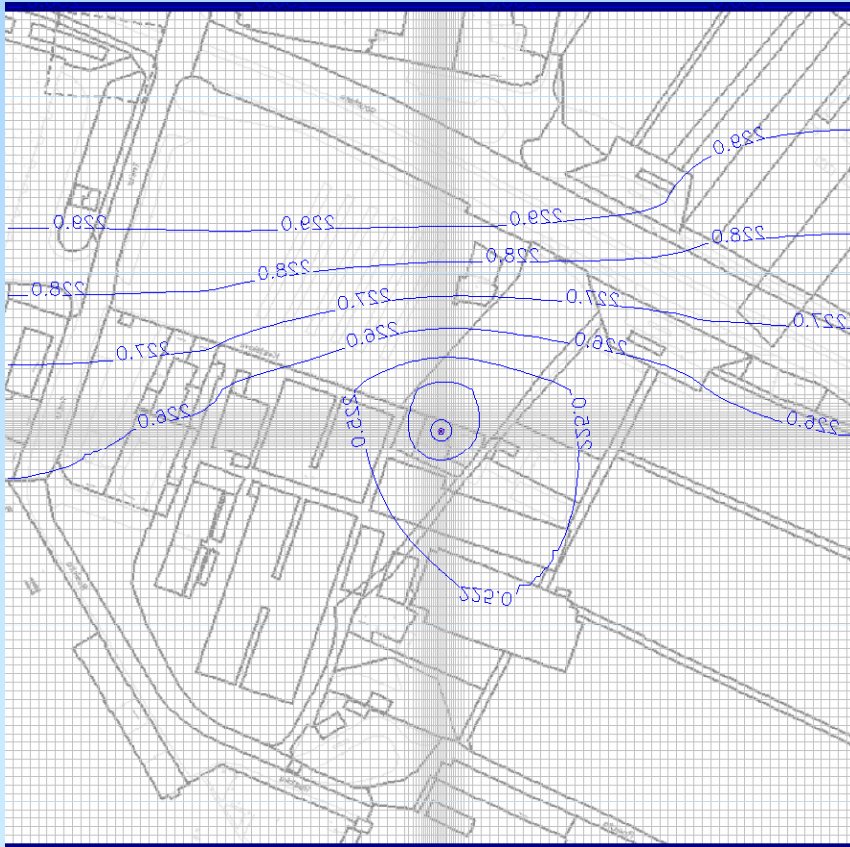
numerické metody

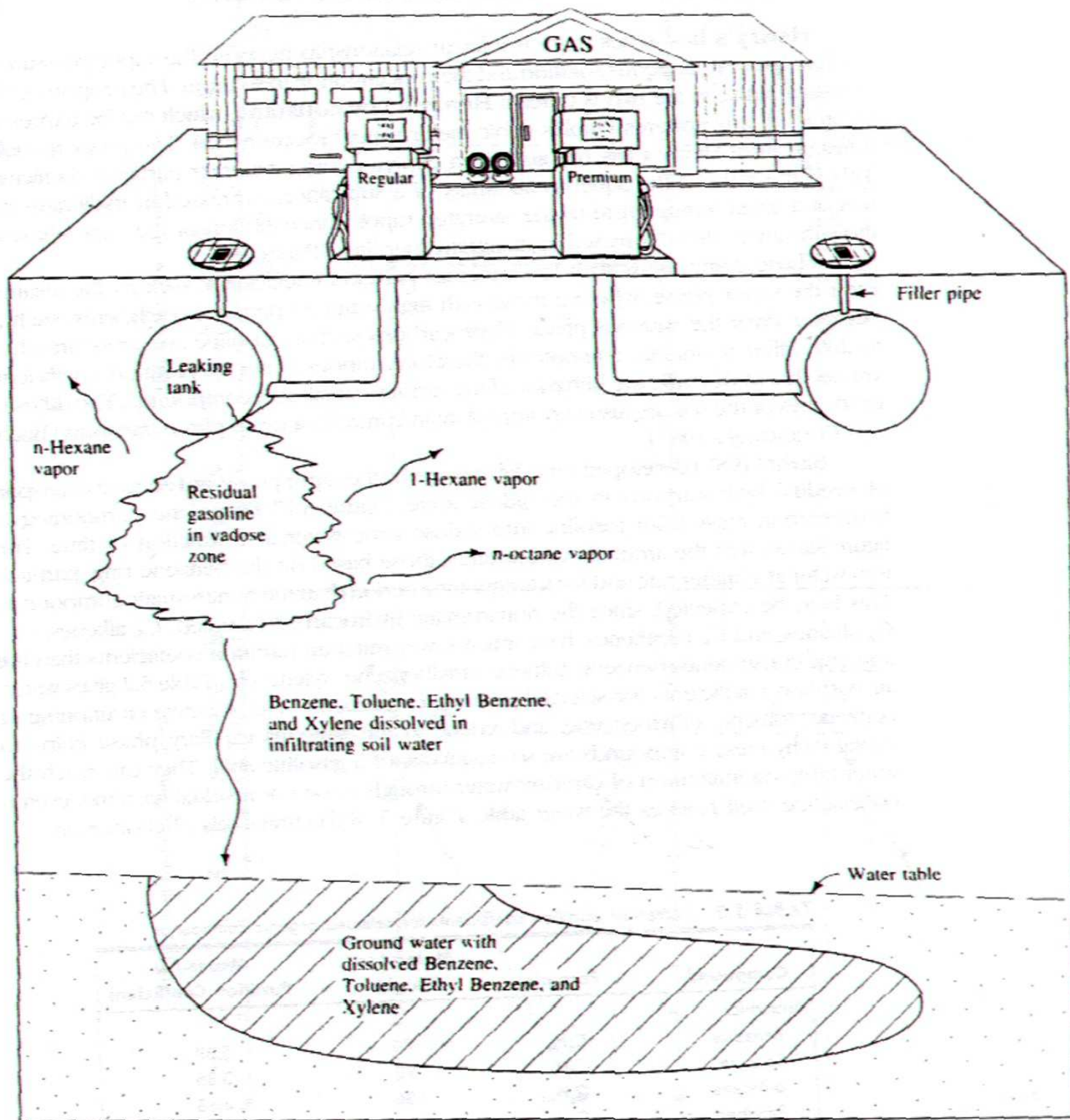
- numerické počítačové modelování
- nehomogenní prostředí, neustálené i ustálené proudění
- přesnější definice záchytných zón s využitím vektorů rychlostí proudění (+časový krok)



numerické metody

- numerické počítačové modelování
- nehomogenní prostředí, neustálené i ustálené proudění
- přesnější definice záchytných zón s využitím vektorů rychlostí proudění (+časový krok)





2. odstranění kontaminantů z horninového prostředí

a) hydraulické metody

b) venting (SVE)

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

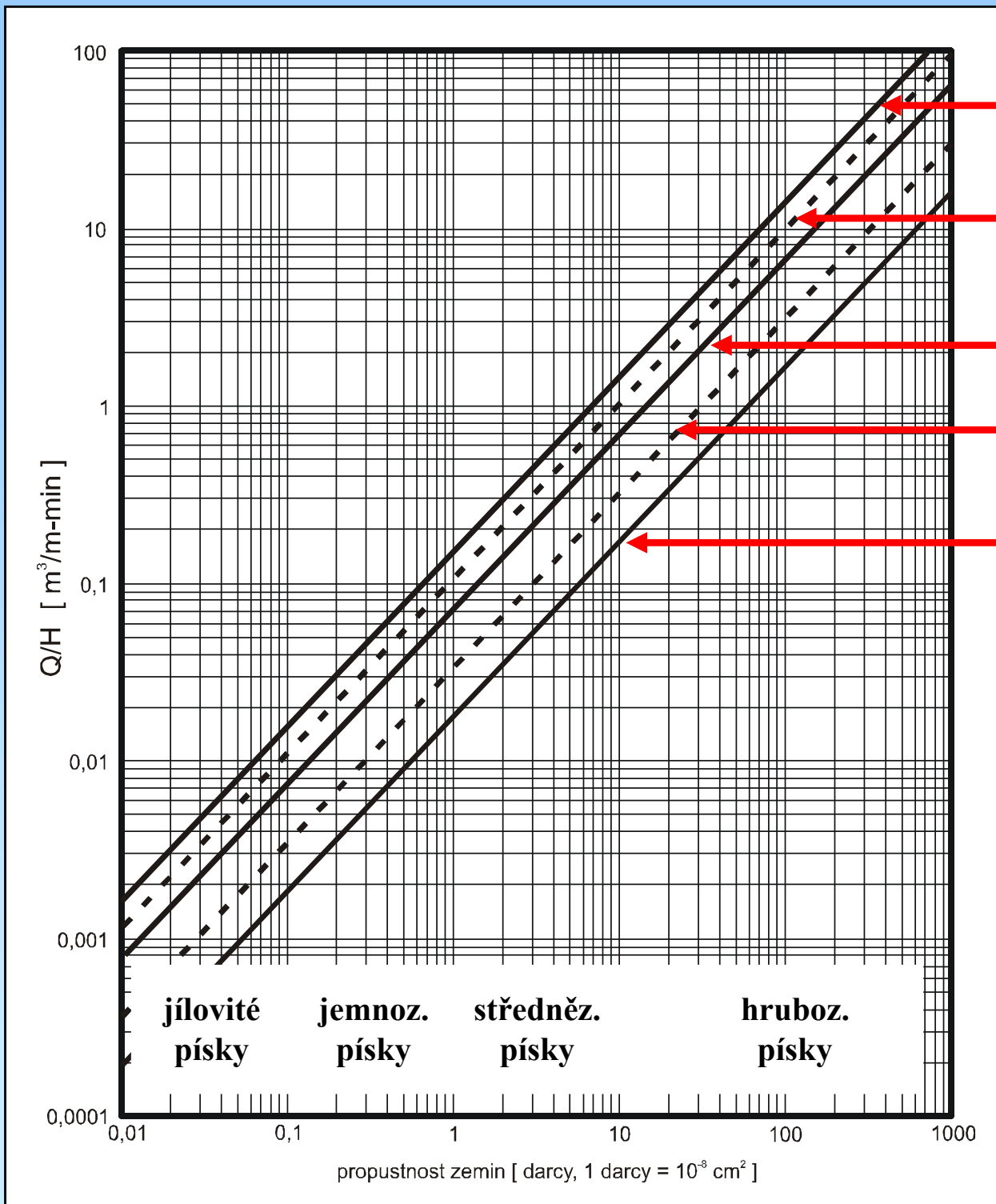
- vhodné pro organické látky těkavé

BTX, ethylbenzen, hexan, chloroform, metylenchlorid, PCE, TCE, DCE, etylacetát, cyklohexan, MEK, MIBK, metanol, aceton, CTC, TCA, ClB, 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

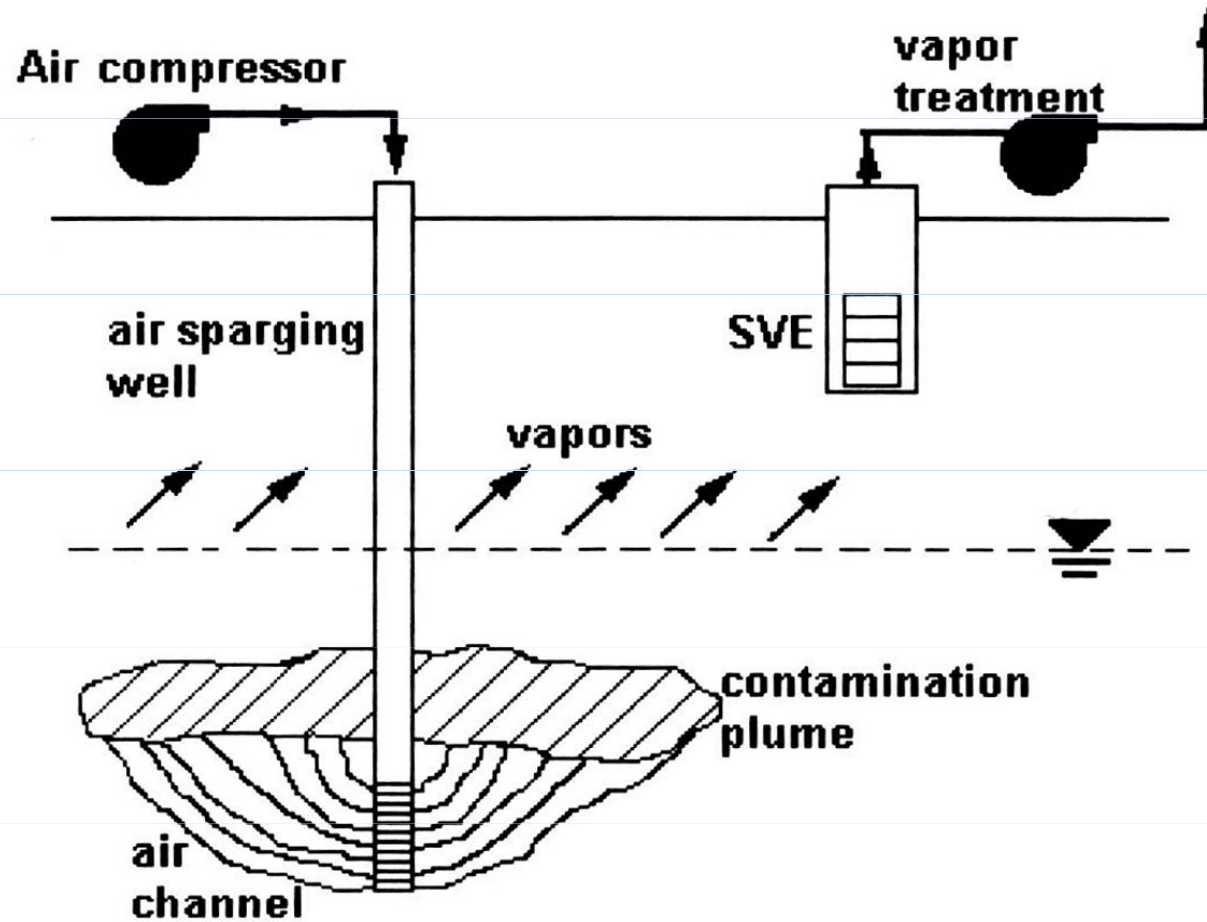
$R_w = 7,6 \text{ cm}$ $R_i = 12 \text{ m}$ násobit Q/H hodnotou 1,08

$R_w = 10 \text{ cm}$ $R_i = 12 \text{ m}$ 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 vytěžení 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 vzduť hladiny a ze stopovacích zkoušek s plyny – metoda pokusu a omylu
- čím menší dosah zóny, tím rychlejší sanace => více injektovaných vrtů
- nevýhody – vzduť 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

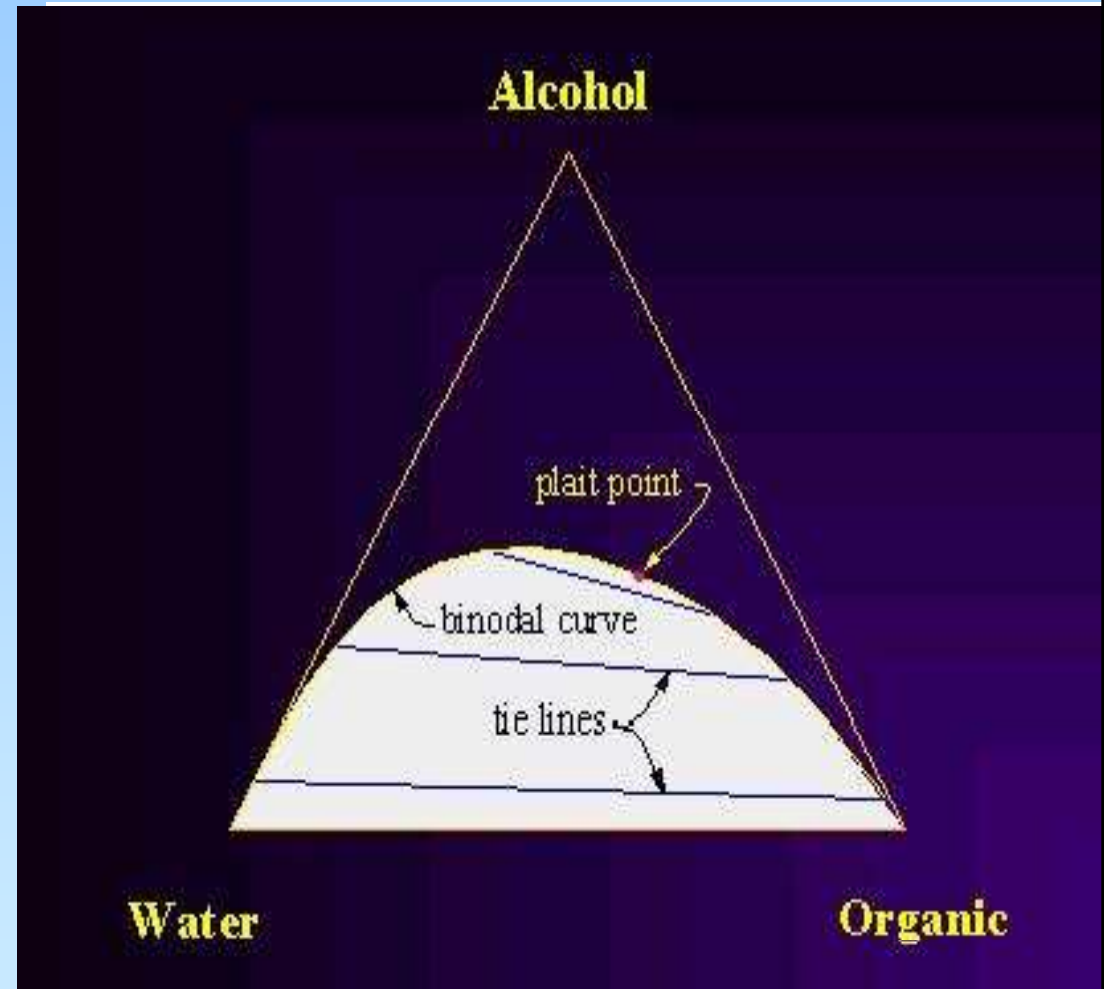
f) chemická destrukce (oxidace + event. redukce)

- 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 CO_2 a vody

- redukce – směsi vermikulitu, biotitu a sulfidů - CIU

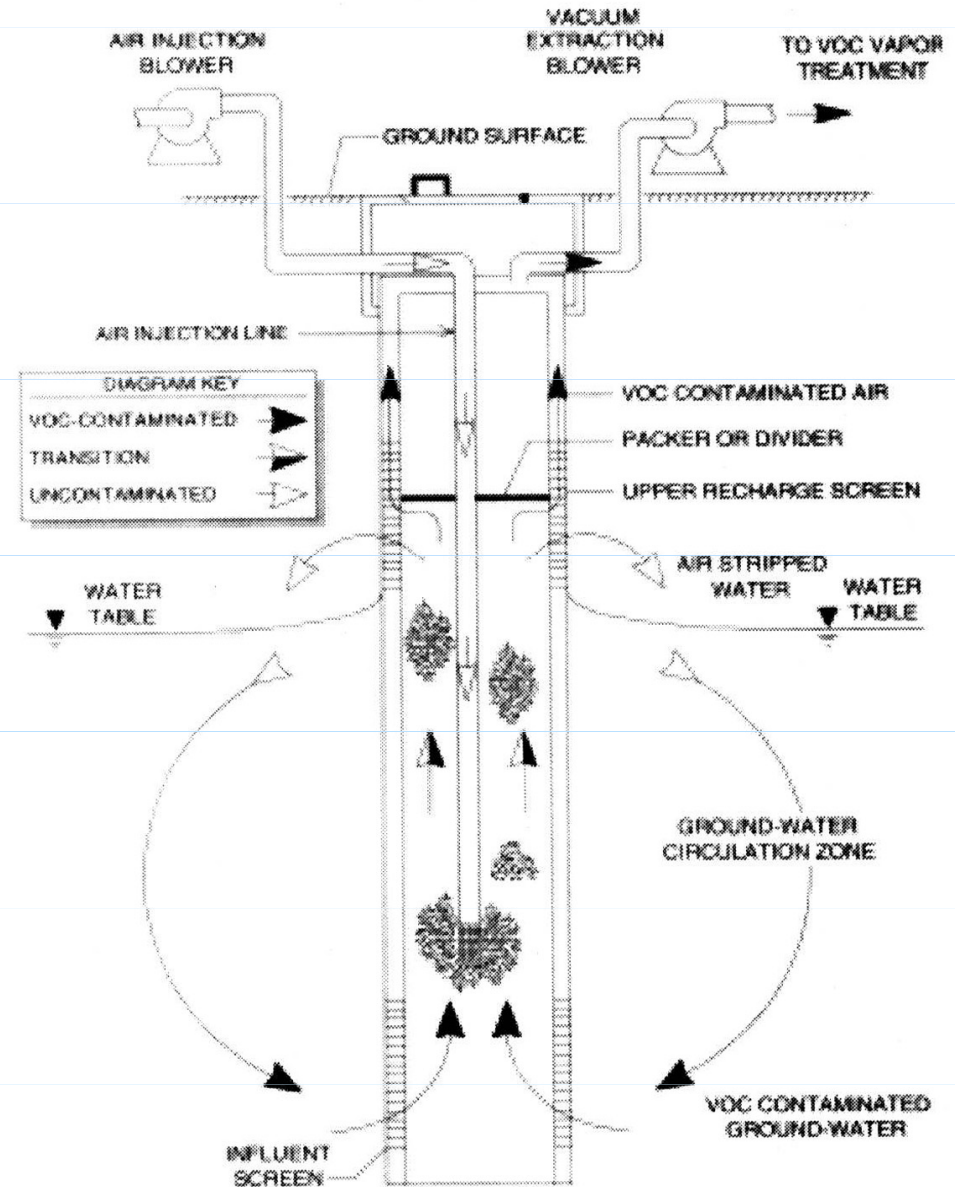


g) in-well stripping

- 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)