

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

# POCHRANA PODZEMNÍCH VOD

X.

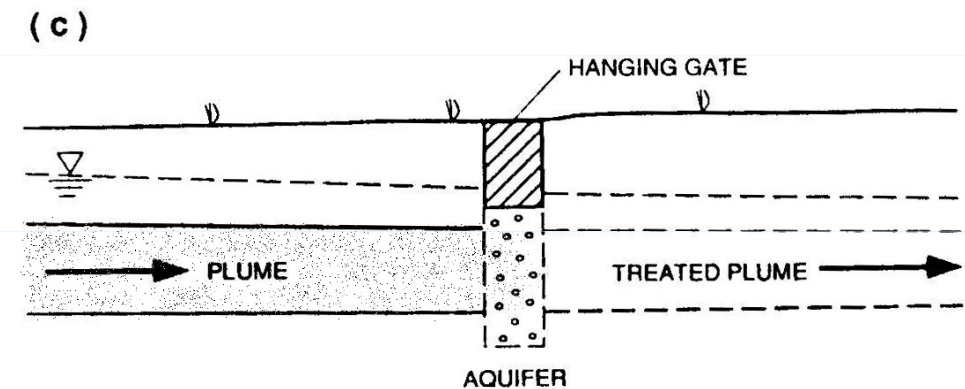
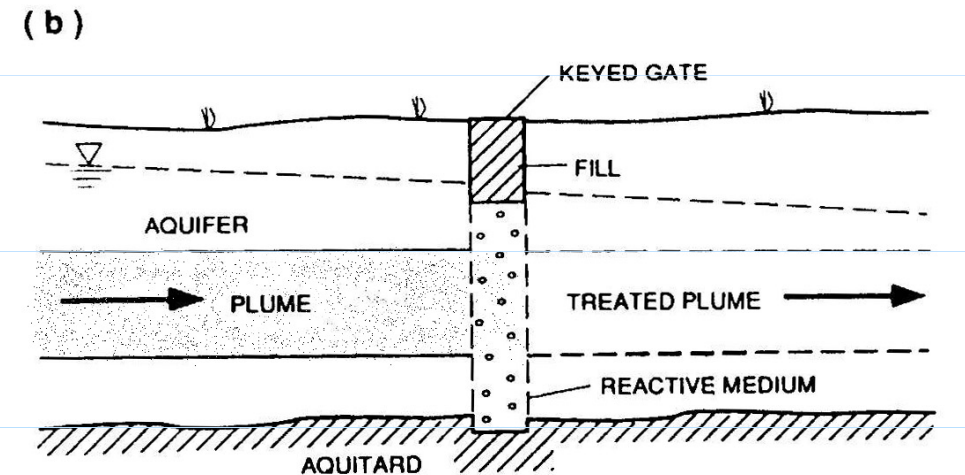
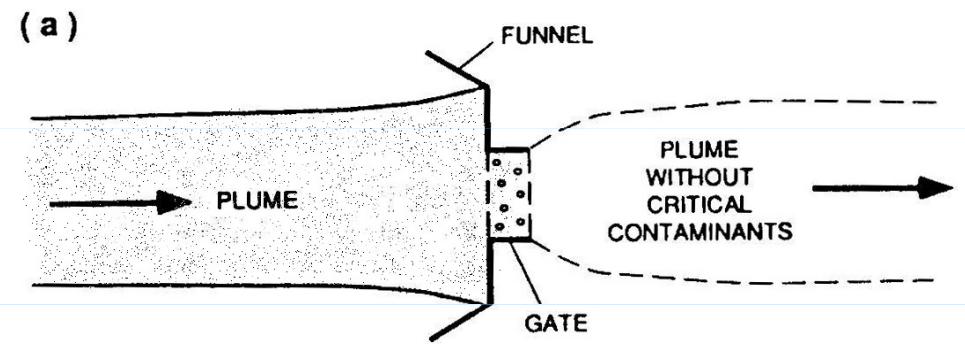
## h) termální metody

principem je prohrátí horninového prostředí

- využití pro TOL
- urychlení difúze – všechny látky

## i) propustné reaktivní stěny

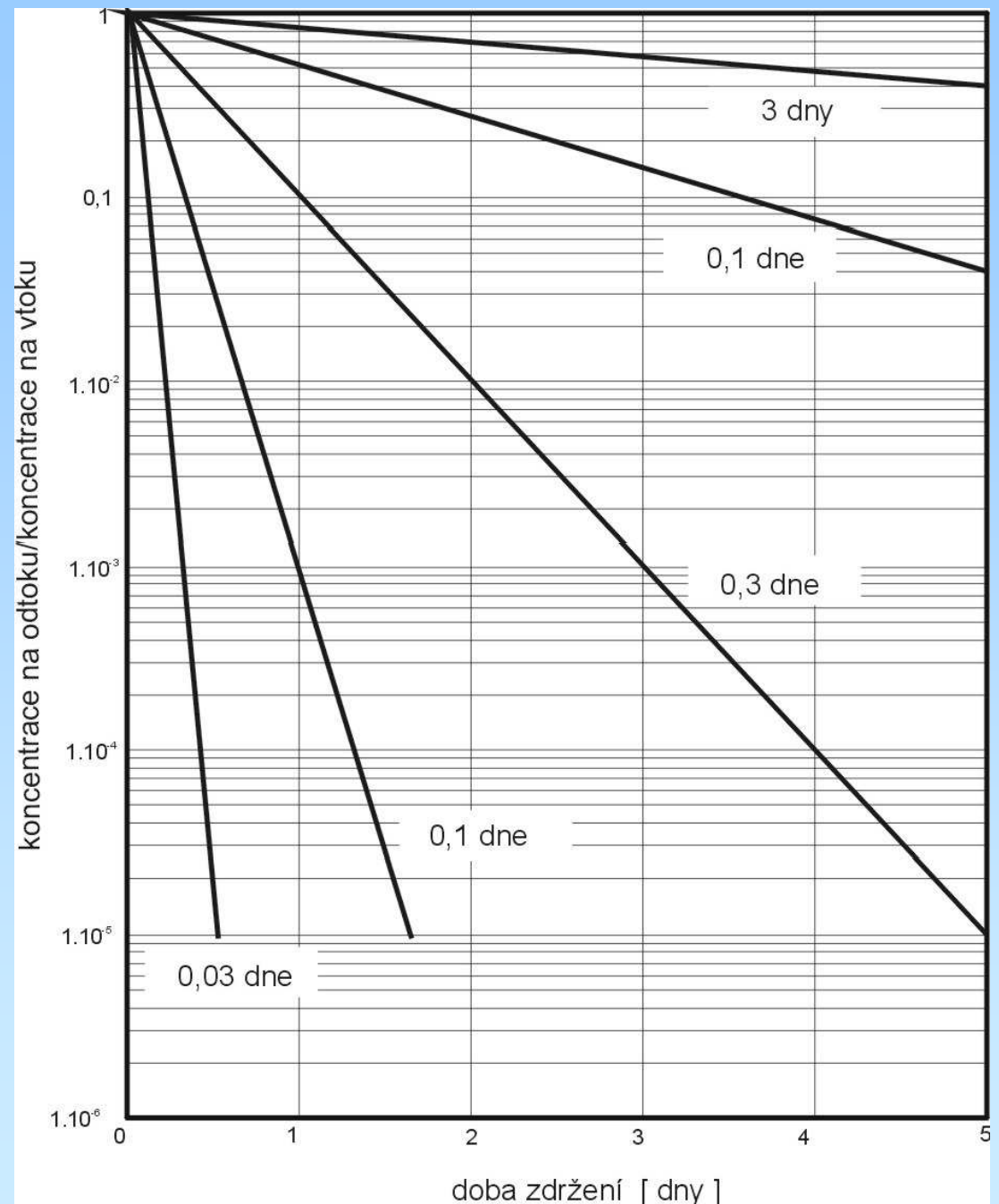
1. sorpční stěny – málo používané – zeolity
2. vysrážení kontaminantů – změna Eh
3. reaktivní stěny
  - náplň materiálem, který způsobuje rozklad kontaminantů rozpuštěných v podzemní vodě
  - stěny kolmo na směry proudění
  - šířka stěn nejčastěji 0,6 – 2,0 m
  - reaktivní zóna musí mít vyšší nebo minimálně stejnou propustnost než okolní horniny
  - 2 základní typy stěn :
    - a) souvislá stěna – šířka max. 100 m
    - b) brány – kombinace s nepropustnými stěnami - pro velké šířky mraků
    - c) geosyfony



Schema propustné reaktivní stěny typu "funnel-and-gate"  
(podle Pankow a Cherry 1996)

## i) propustné reaktivní stěny

- účinnosti odstranění kontaminantů se pohybují v rozmezí 90 – 99%
- cenově velmi efektivní metoda
- chlorované uhlovodíky – náplň  $\text{Fe}^0$  – redukce PCE – TCE – c-1,2 DCE – VC – EE
- pro zvýšení propustnosti reaktivní části stěny se zpravidla používá směs reaktivního materiálu se štěrkem (nároky jako na obsyp vrtů)
- projekt stěny
- lokalizace stěny – numerické modelování – vliv zvýšení hladiny, apod.
- klíčová je doba zdržení kontaminantů v reaktivním materiálu
- při známém poločasu rozpadu při probíhající reakci, hydraulickém gradientu a propustnosti stěny kalkulace šířky stěny - nomogram



## j) bioremediace

- proces přírodní biodegradace kontaminantů
- ideálně neovlivňovaný, pouze monitorovaný proces
- po určité době se rozsah pruhu stabilizuje a dále se nešíří – tvar určen advekcí, difúzí, disperzí a biodegradací
- je nutné prokázat existenci procesů biodegradace
- především dekontaminace ropných uhlovodíků – po určité době ustálený stav i se zónami charakterizujícími stabilní podmínky (koncentrace kyslíku, redoxpotenciál, koncentrace vodíku, apod.)

### stanovení rychlosti biodegradace

- předpoklad, že k rozkladu dochází podle kinetiky 1. řádu (platí pro lineární pokles koncentrací – ke konci pruhu, ne na jeho počátku – exponenciální tvar křivky)

- srovnání poklesu koncentrací v čase nebo se vzdáleností  $C(t) = C_0 \cdot e^{-kt}$   
kde  $k$  je konstanta charakterizující pokles koncentrací [ t<sup>-1</sup> ]

- při uvažování vzdálenosti se vztah transformuje do podoby (bez retardace)  $C(x) = C_0 \cdot e^{-k \frac{x}{v}}$

- tento model uvažuje stabilní stav pruhu a neměnné koncentrace

- pokles koncentrací ještě nenaznačuje průběh biodegradace - je nutné jej potvrdit ještě hydrogeochemickými faktory – koncentrace rozpuštěného kyslíku či jiných elektronových akceptorů, měření E<sub>H</sub>, sledování nárůstu objemu mikrobiální populace v pórech

většina poločasu rozkladu organických látek leží v rozmezí 0,1 – 0,46 %, což odpovídá 150 – 693 dnů

## **Bioventing a Bioslurping**

- primárně k sanaci nenasurované zóny na LNAPL
- použitelné i při některých DNAPL (TCE, PCE – kometabolizmus)
- kromě vytěkání o podpora biodegradace (především přísun kyslíku)
- hlavní rozdíl od SVE je v průtoku vzduchu
- ideálně – k destrukci dochází již v nenasurované zóně a není nutná dekontaminace na povrchu – cenově efektivnější
- princip – především oxidace organických látek elektronovými akceptory – kyslík, dusičnany, sírany, oxid uhličitý – při vyčerpání již neprobíhá cestou oxidace
- benzin, nafta, PAH, kreosol, etery, alkoholy, ketony a estery – problém u molekul s dlouhými řetězci – větší tendence k sorpci – výhoda v menší migraci
- chlorované uhlovodíky – výše chlorované nepodléhají destrukci v oxidačním prostředí (PCE) – ostatní pomocí kometabolizmu – oxygenázy (metan, propan, ...)

### **požadavky na úspěšný bioventing:**

- propustnost sedimentu (přísun kyslíku)
- půdní vlhkost
- přítomnost bakterií – není-li jisté – nutné laboratorní experimenty před zahájením sanace
- fyzikální faktory – teplota (3 °C, o každých 10 stupňů se aktivita zdvojnásobí), pH
- přítomnost mikro a makroprvků

## in-situ respirační testy

použití tzv. utilizační množství kyslíku

1. lokalizace monitorovacích objektů – většina v zóně kontaminace, alespoň 2 vrty mimo ni
2. odběry vzorků – sledování koncentrace kyslíku, oxidu uhličitého (v zóně – kyslík 0 – 2%, CO<sub>2</sub> 5 – 20%, organické látky nad 10 000 mg/l (podle kontaminantu), mimo zónu – kyslík 15 – 20%, CO<sub>2</sub> 1 – 5% a uhlovodíky < 100 mg/l
3. instalace injektážních objektů a trvalých monitorovacích objektů
4. injektáž vzduchu s 1 – 2% helia do všech vrtů – průtok 2 – 30 m<sup>3</sup>/hod po dobu 24 hodin
5. po skončení injektáže ovzorkování všech objektů (vše + He) při čerpání malého množství omezujícího riziko vniknutí vzduchu z atmosféry do nesaturované zóny
6. čerpané množství cca 0,06 – 0,12 m<sup>3</sup>/hod
7. s časem dochází k poklesu kyslíku a nárůstu CO<sub>2</sub> test je ukončen až koncentrace kyslíku klesne na 5% nebo po 5-ti dnech

grafická interpretace dat – pracuje se s kyslíkem nebo oxidem uhličitým

$$K_B = -K_0 A D_0 \frac{C}{100}$$

$K_b$	rychlost biodegradace [mg uhlovodíku/kg půdy za den]
$K_0$	změřená utilizace kyslíku [v % za den]
$A$	objem vzduchu na m <sup>3</sup> půdy [l/kg]
$D_0$	hustota plynného kyslíku [mg/l]
$C$	hmotnostní poměr uhlovodíku ke kyslíku

## Biodegradace ropných uhlovodíků

- především aerobní cestou (i anaerobní – prokazatelně některé aromatické uhlovodíky)
- uhlovodíky s kratšími řetězci jsou lépe rozložitelné, delší řetězce – větší tendence k sorpci
- při biodegradaci vznikají postupně zóny s odlišnými redoxními podmínkami podle druhu mikrobiálních procesů

postup biodegradace (v přírodních podmínkách):

1. vyčerpání rozpuštěného kyslíku
  2. anaerobní podmínky – jako elektronový akceptor jsou nejprve využívány ionty  $\text{NO}_3^-$
  3. další elektronový akceptor jsou ionty  $\text{Fe}^{\text{III}}$
  4. další elektronový akceptor jsou ionty  $\text{SO}_4^{2-}$
  5. další elektronový akceptor jsou molekuly  $\text{CO}_2$  (metanogeneze)
- při těchto procesech dochází k poklesu hodnot ORP
  - zonace saturované zóny z hlediska hodnot ORP a výskytu výše uvedených zón v okolí těles LNAPL

## **Biodegradace chlorovaných uhlovodíků**

- různé chlorované uhlovodíky jsou odbouratelné jen ve specifických podmínkách a různými procesy

procesy biodegradace chlorovaných uhlovodíků

### **1. redukční dechlorace**

- nutná přítomnost jiného substrátu (elektronových donátorů) – např. BTX, ropné uhlovodíky, polysacharidy, apod. – produkce  $H_2$
- při oxidaci dochází k uvolňování elektronů a k jejich vazbě na terminální elektronové akceptory (např.  $O^2$ ,  $NO_3^-$ ,  $Fe^{III}$ ) nebo právě na molekuly CIU – „náhodně redukovány“
- k redukční dechloraci dochází v anaerobním prostředí s nízkou hodnotou ORP

### **2. oxidace**

- molekula CIU slouží jako donor elektronu, terminálními akceptory jsou  $O^2$ ,  $Fe^{III}$ , apod.
- aerobní oxidace – zpravidla nepřístupná pro výšechlorované molekuly CIU, ale přístupná pro dceřinné produkty jejich redukční dechlorace
- anaerobní oxidace – anaerobní bakterie využívají jako terminální akceptor např.  $Fe^{III}$

### **3. kometabolismus**

- bakterie metabolizují jiný organický substrát pomocí enzymů (např. aerobní podmínky – enzymy oxygenázy), které náhodně kometabolizují i molekuly CIU
- primární substráty – např. propan, metan, apod. – produkty degradace CIU často silně toxické



sloučenina	redukční dechlorace	aerobní oxidace	anaerobní oxidace	aerobní kometabolizmus	anaerobní kometabolizmus
PCE	+	-	-	-	+
TCE	+	-	-	+	+
DCE	+	+	+	+	+
VC	+	+	+	+	+
1,1,1-TCA	+	-	-	+	+
1,2-DCA	+	+	-	+	+
CA	-	+	-	+	-
TTCM	+	-	-	-	+
CM	+	-	-	+	+
DCM	+	+	+	+	-