

A photograph of a forest stream with a title overlay. The stream flows through a dense forest with tall, thin trees. The water is clear and flows over rocks, creating white rapids. The forest floor is covered with fallen leaves and moss. The title "OCHRANA PODZEMNÍCH VOD" is written in white, serif font across the middle of the image.

# OCHRANA PODZEMNÍCH VOD

X.

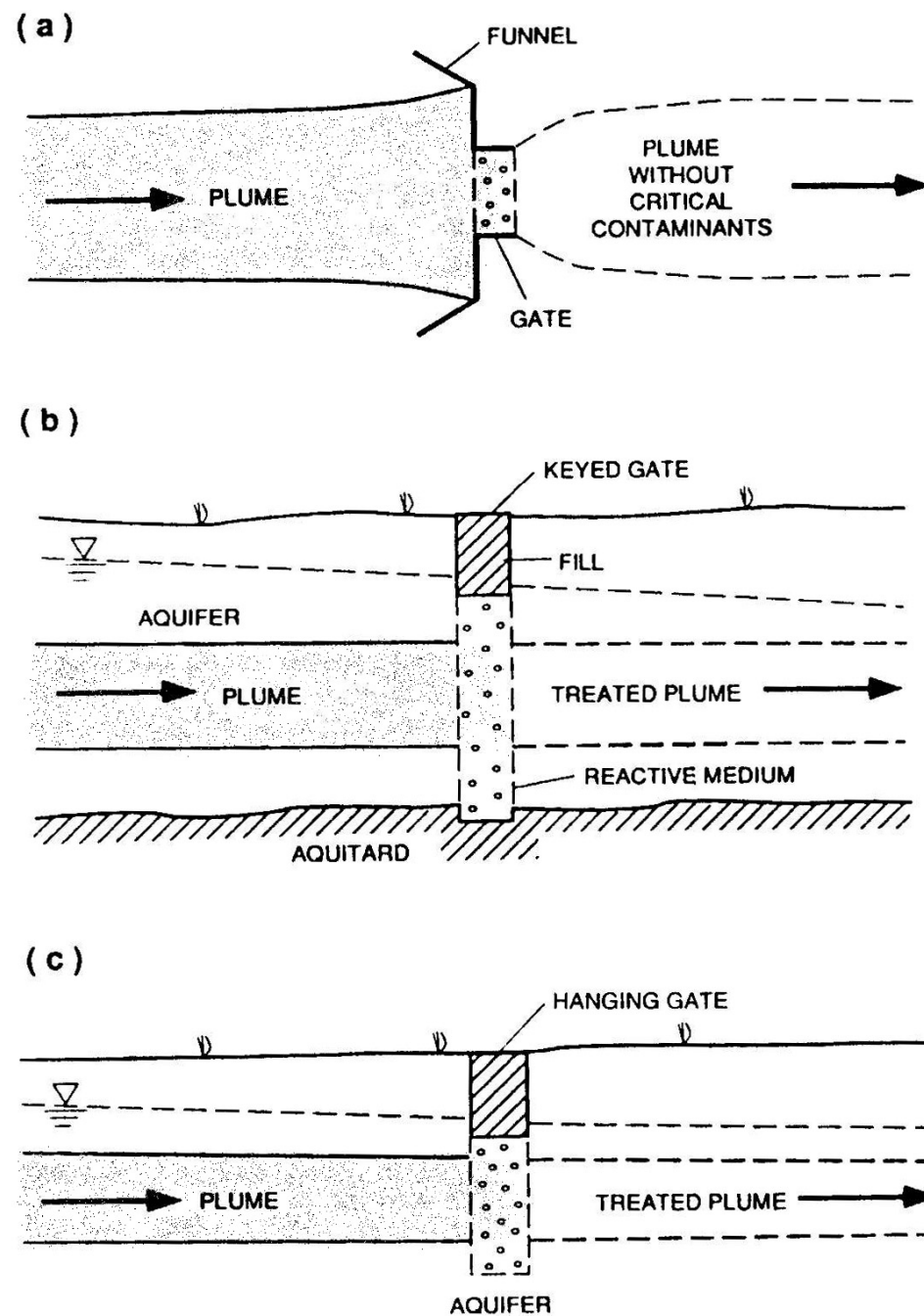
## h) termální metody

principem je prohřátí horninového prostředí

- využití pro TOL
- urychlení difúze – všechny látky

## i) propustné reaktivní stěny

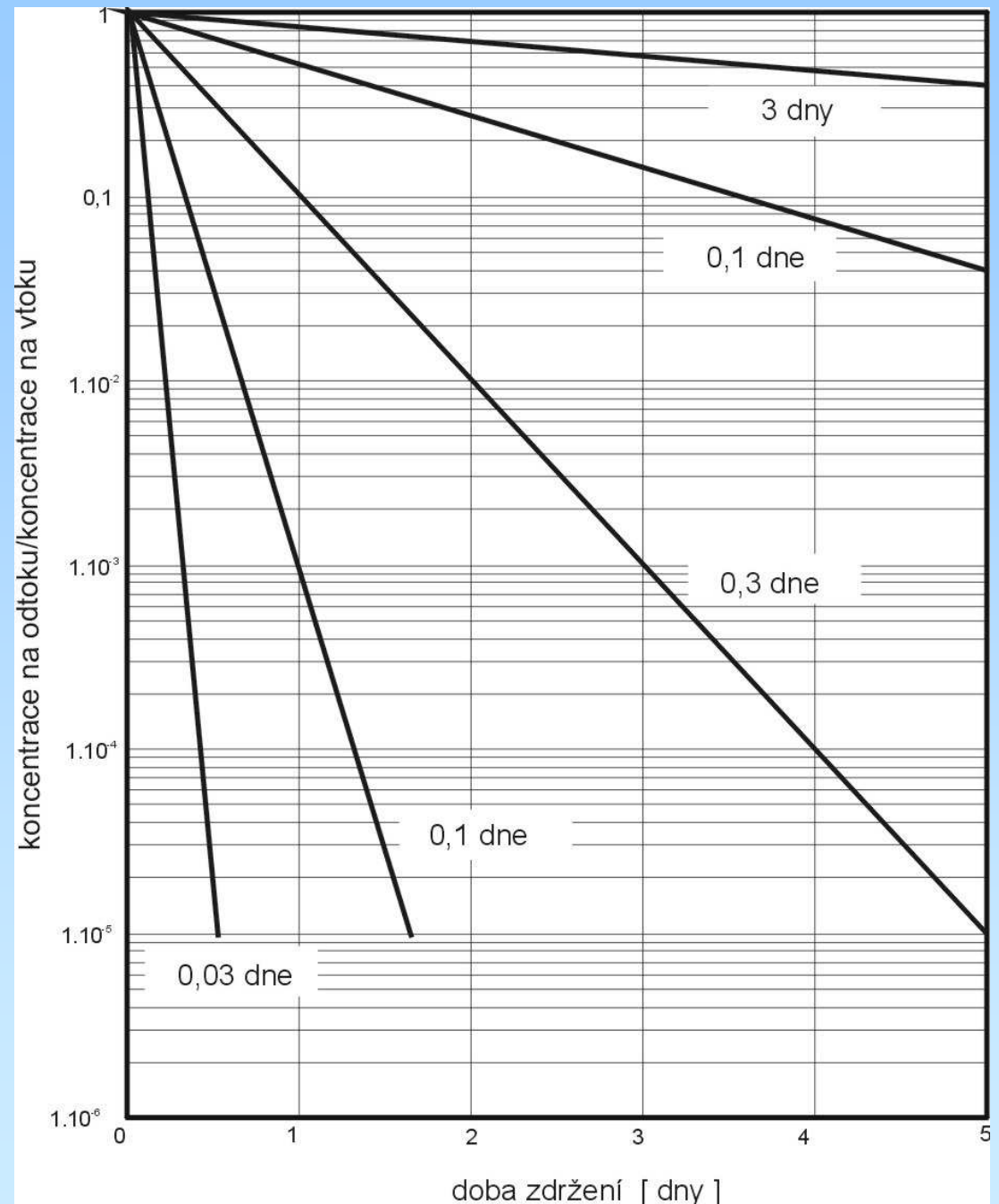
1. sorpční stěny – málo používané – zeolity
2. vysrážení kontaminantů – změna Eh
3. reaktivní stěny
  - náplň materiálem, který způsobuje rozklad kontaminantů rozpuštěných v podzemní vodě
  - stěny kolmo na směry proudění
  - šířka stěn nejčastěji 0,6 – 2,0 m
  - reaktivní zóna musí mít vyšší nebo minimálně 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 nenasaturované zóny na LNAPL
- použitelné i při některých DNAPL (TCE, PCE – kometabolismus)
- kromě vytěkání o podpora biodegradace (především přísun kyslíku)
- hlavní rozdíl od SVE je v průtoku vzduchu
- ideálně – k destrukci dochází již v nenasaturované 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, kreosot, 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	+	+	+	+	-