

OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

NÁPRAVA EKOLOGICKÝCH ŠKOD

1. ČÁST

ZÁKLADNÍ POJMY A PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

VÍT MATĚJŮ

ENVISAN-GEM, a.s.

Biotechnologická divize, Radiová 7,

102 31 PRAHA 10

envisan@grbox.cz



O ČEM TO BUDE ?

1. Základní pojmy v sanačních technologiích, definice, druhy polutantů – aby bylo jasné, o čem se hovoří
2. Způsoby aplikace technologií – jak se technologie využívají
3. Principy sanačních technologií a jejich rozdělení

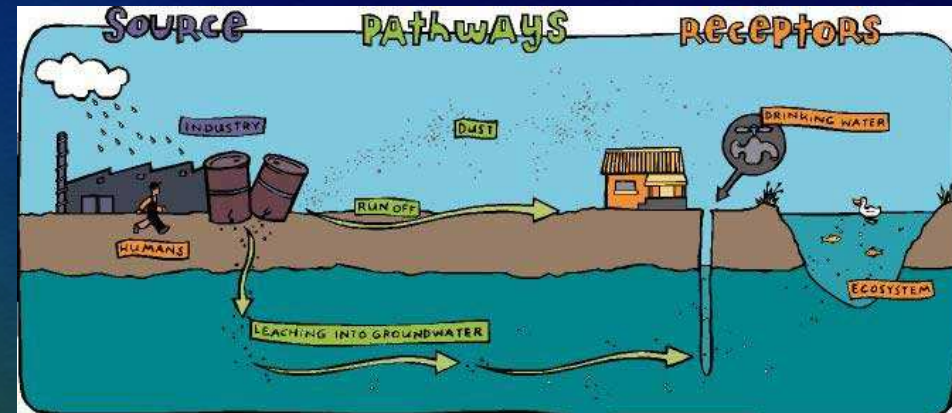


EKOLOGICKÉ ŠKODY

- Kontaminace horninového prostředí nejrůznějšími polutanty v důsledku anthropogenních činností, především průmyslové výroby a intenzivní zemědělské činnosti
- Kontaminace po haváriích vzniklých z nejrůznějších důvodů – úniky ze skladovacích zařízení, havárie při dopravě, technologické havárie, selhání lidského faktoru atd....

POLUTANTY

- Ropné látky
- Chlorované ethyleny
- Monoaromatické uhlovodíky (benzen, toluen, ethylbenzen, xyleny)(BTEX)
- Methylterciárníbutylether (MTBE)
- Chlorované alkany
- Polycyklické aromatické uhlovodíky
- Pesticidy
- Polychlorované bifenyly
- Těžké kovy
- Anionty (sulfát, kyanidy)
- Nejrůznější perzistentní organické polutanty (POP)



TYPY ZNEČIŠTĚNÍ

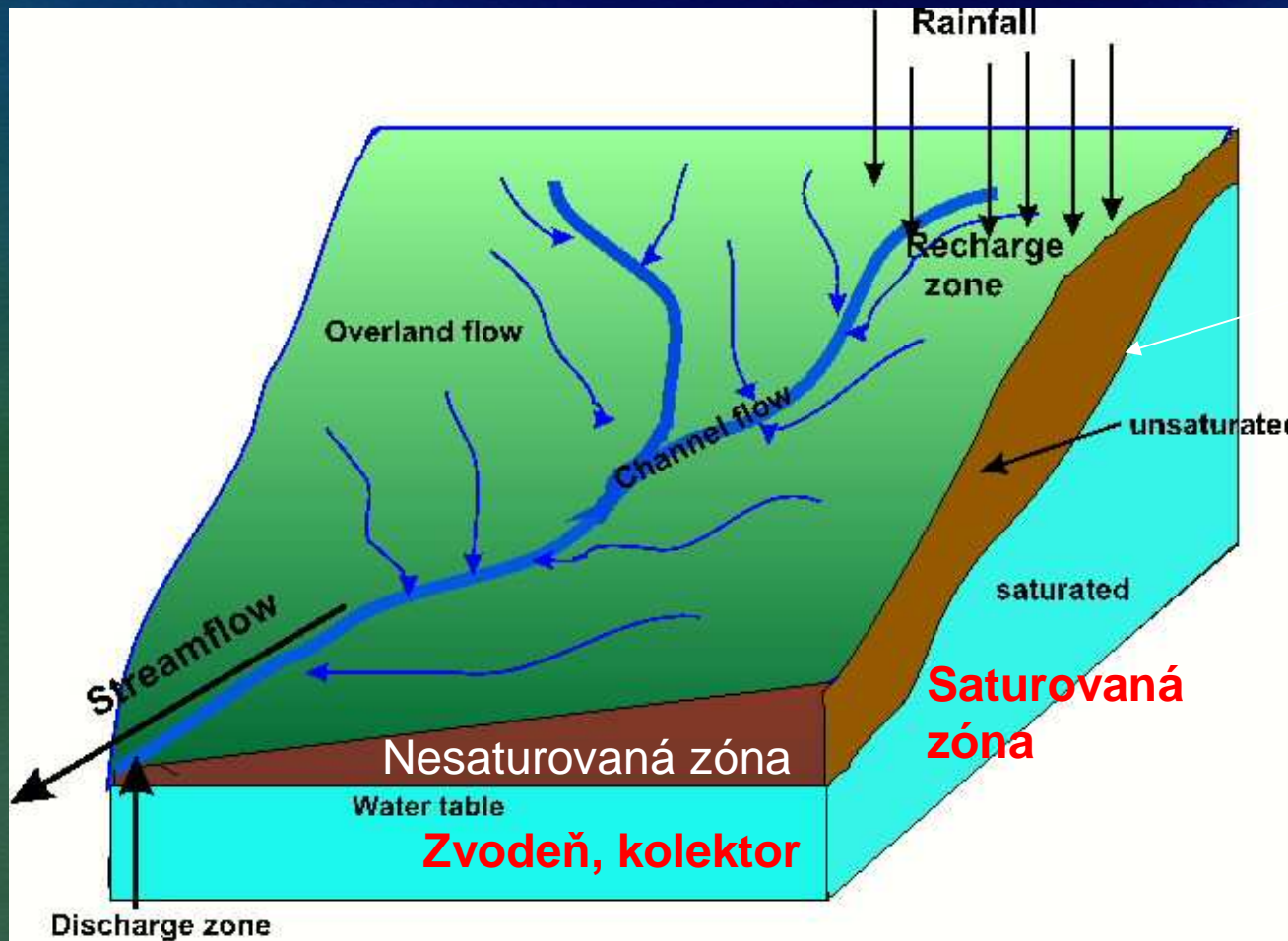
- Ohniskové znečištění (bodové)



- Difúzní znečištění –
kontaminace na velké ploše,
koncentrace polutantů jsou nízké

VYSVĚTLENÍ POJMŮ

- **HORNINOVÉ PROSTŘEDÍ**



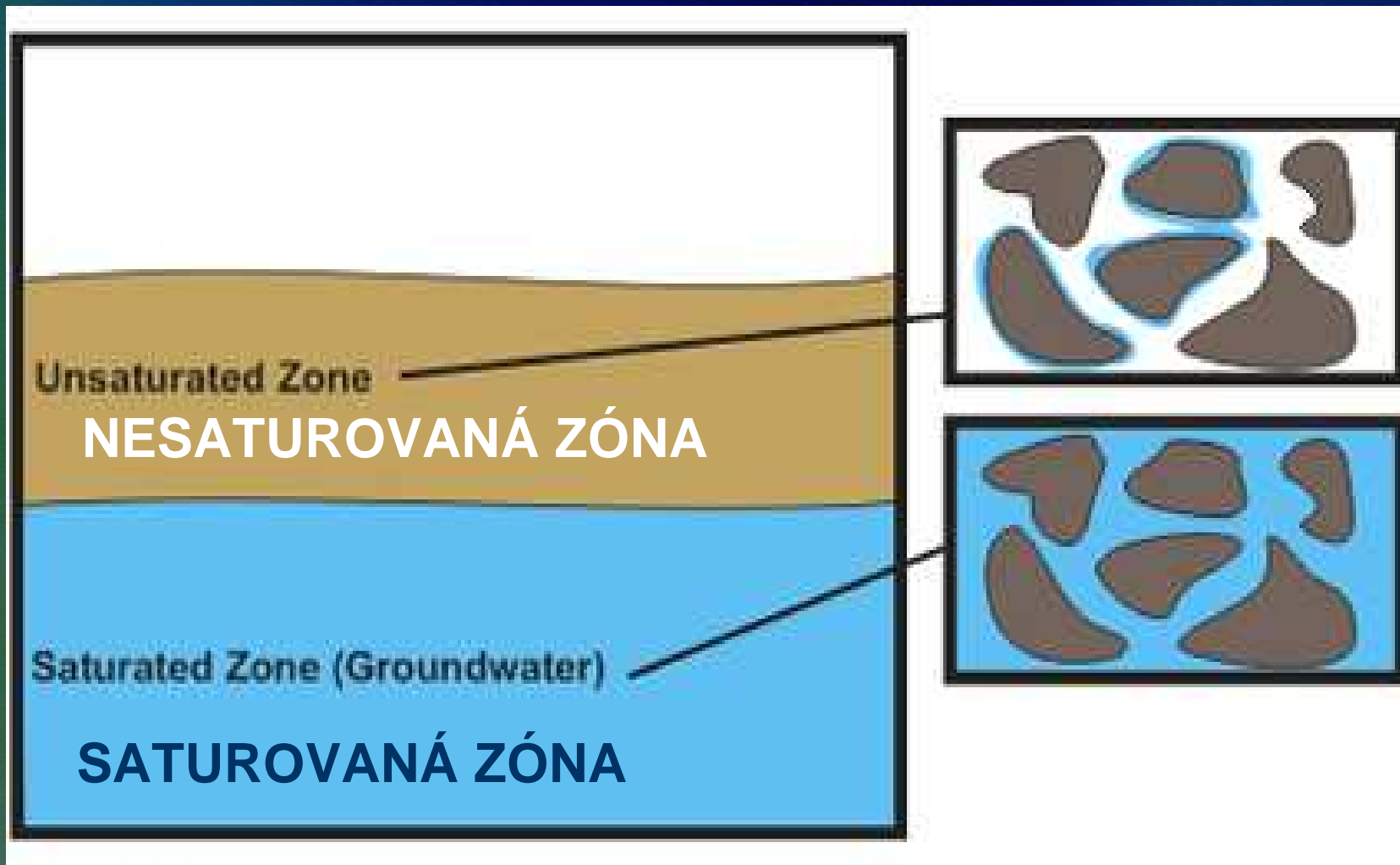
**Hladina
Podzemní
vody**

**Saturovaná
zóna**

Nesaturovaná zóna
Water table
Zvodeň, kolektor

VYSVĚTLENÍ POJMŮ

- SATUROVANÁ A NESATUROVANÁ ZÓNA



CHARAKTERIZACE KONTAMINOVANÉ ZVODNĚ

Aby bylo možné vybrat konkrétní sanační technologii, je třeba znát poměry v podzemní vodě či nenasaturované zóně.

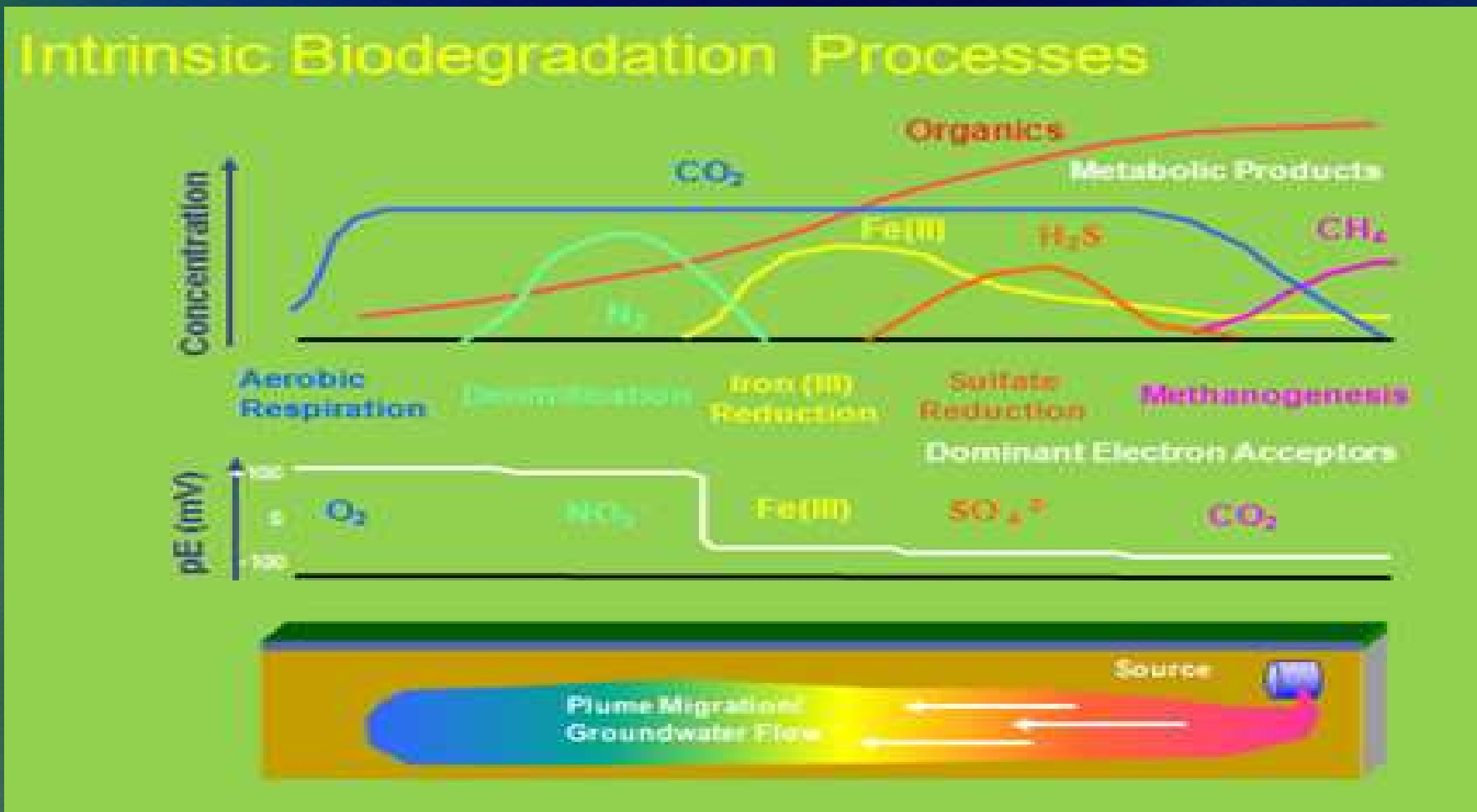
Parametry zvodně:



- Teplota
- pH
- Koncentrace rozpuštěného kyslíku a dalších akceptorů elektronů
- Redox potenciál
- Druh a koncentrace polutantu
- Přítomnost volné fáze produktu
- Rychlost proudění podzemní vody
- Filtrační koeficient, propustnost

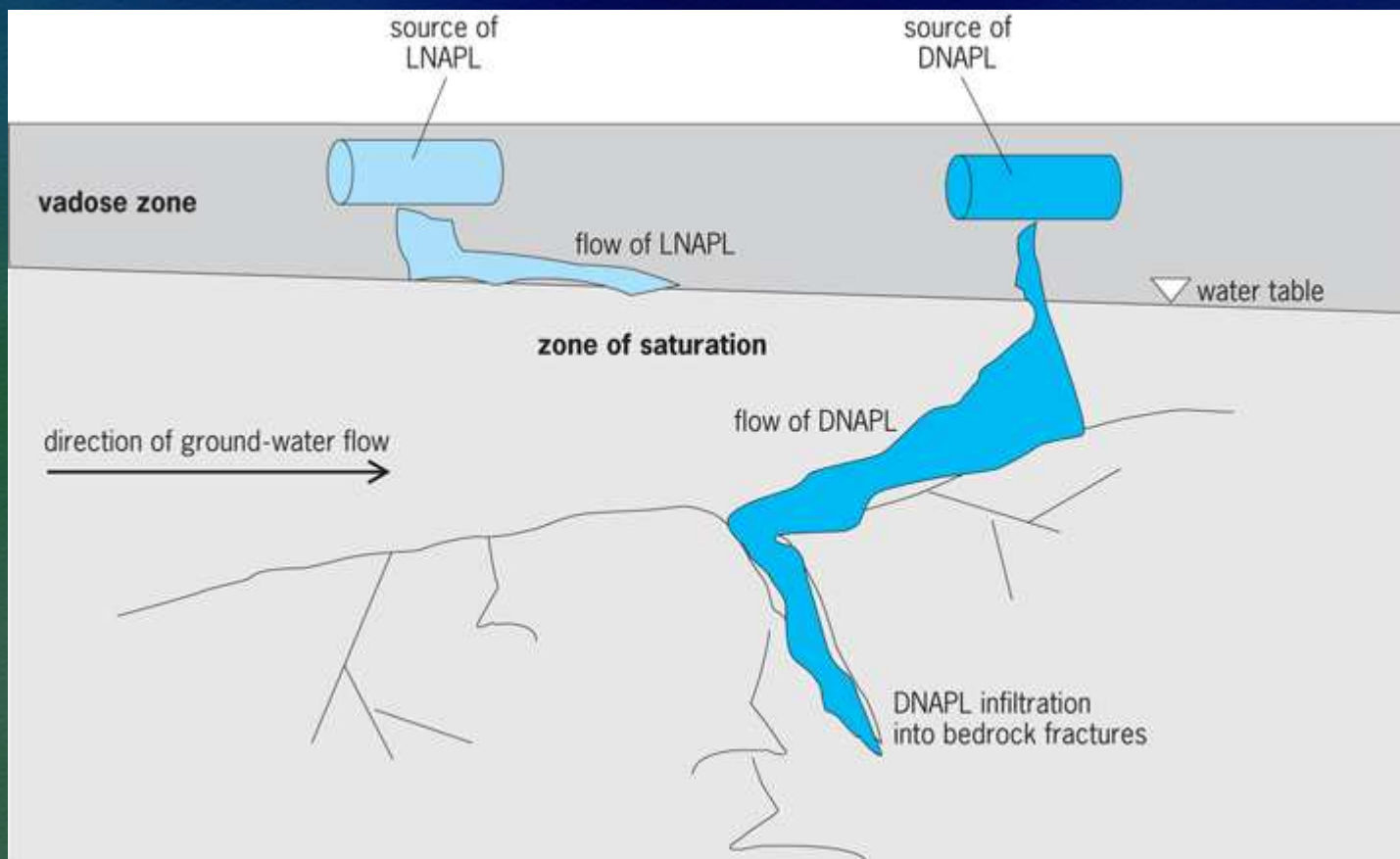
CHARAKTERIZACE KONTAMINOVANÉ ZVODNĚ

- FINÁLNÍ AKCEPTORY ELEKTRONŮ



VYSVĚTLENÍ POJMŮ

- DRUHY POLUTANTŮ PODLE FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ



VYSVĚTLENÍ POJMŮ

- DRUHY POLUTANTŮ PODLE FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ



Light non aqueous phase liquids

Dissolved contaminants

Dense non aqueous phase liquids

VYSVĚTLENÍ POJMŮ

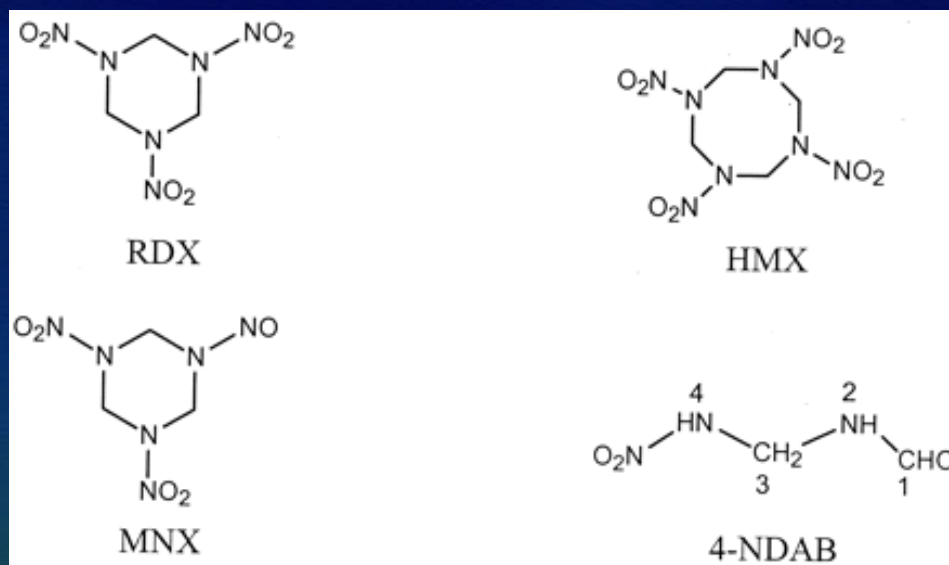
- DRUHY POLUTANTŮ PODLE CHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ

Organické polutanty

Anorganické polutanty

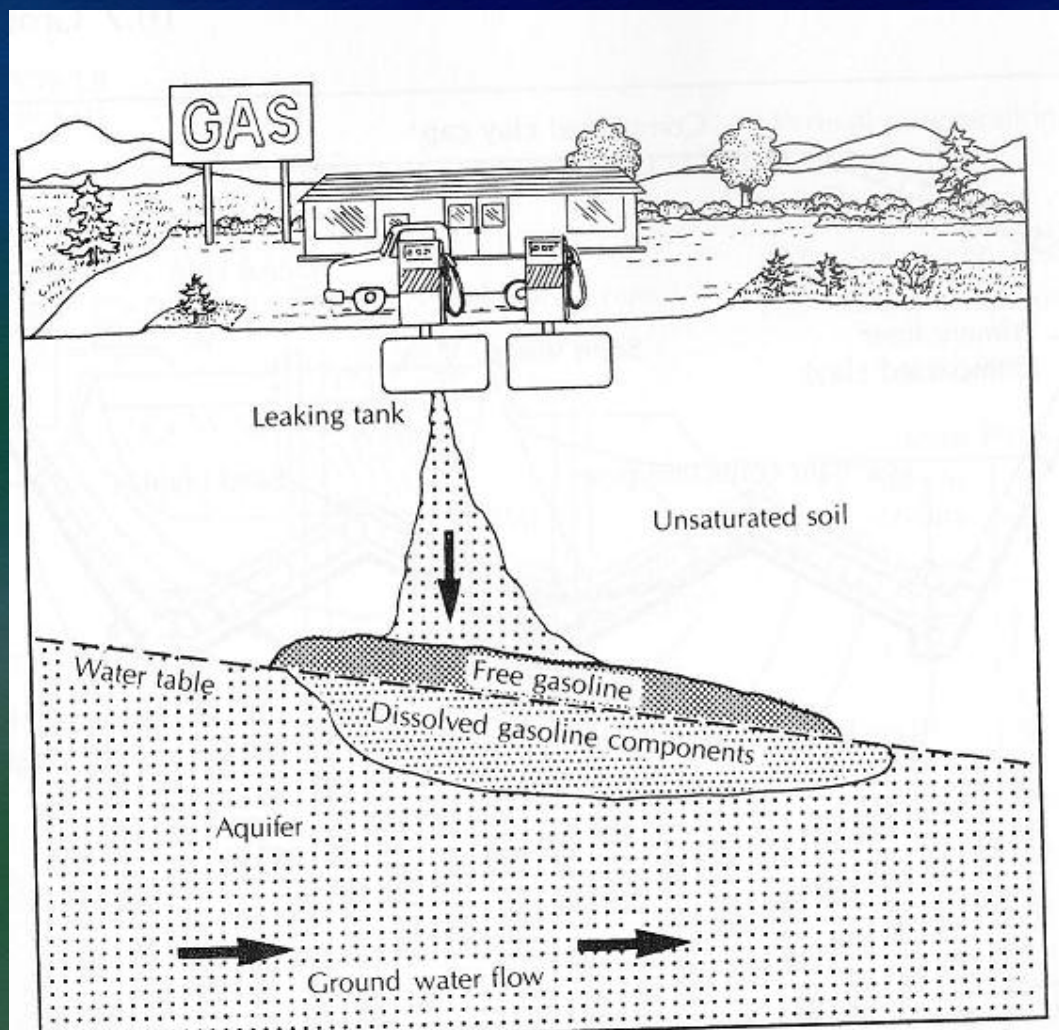
Rozpuslné ve vodě
(polární polutanty)

Nerzpuslné ve vodě
(nepolární polutanty)

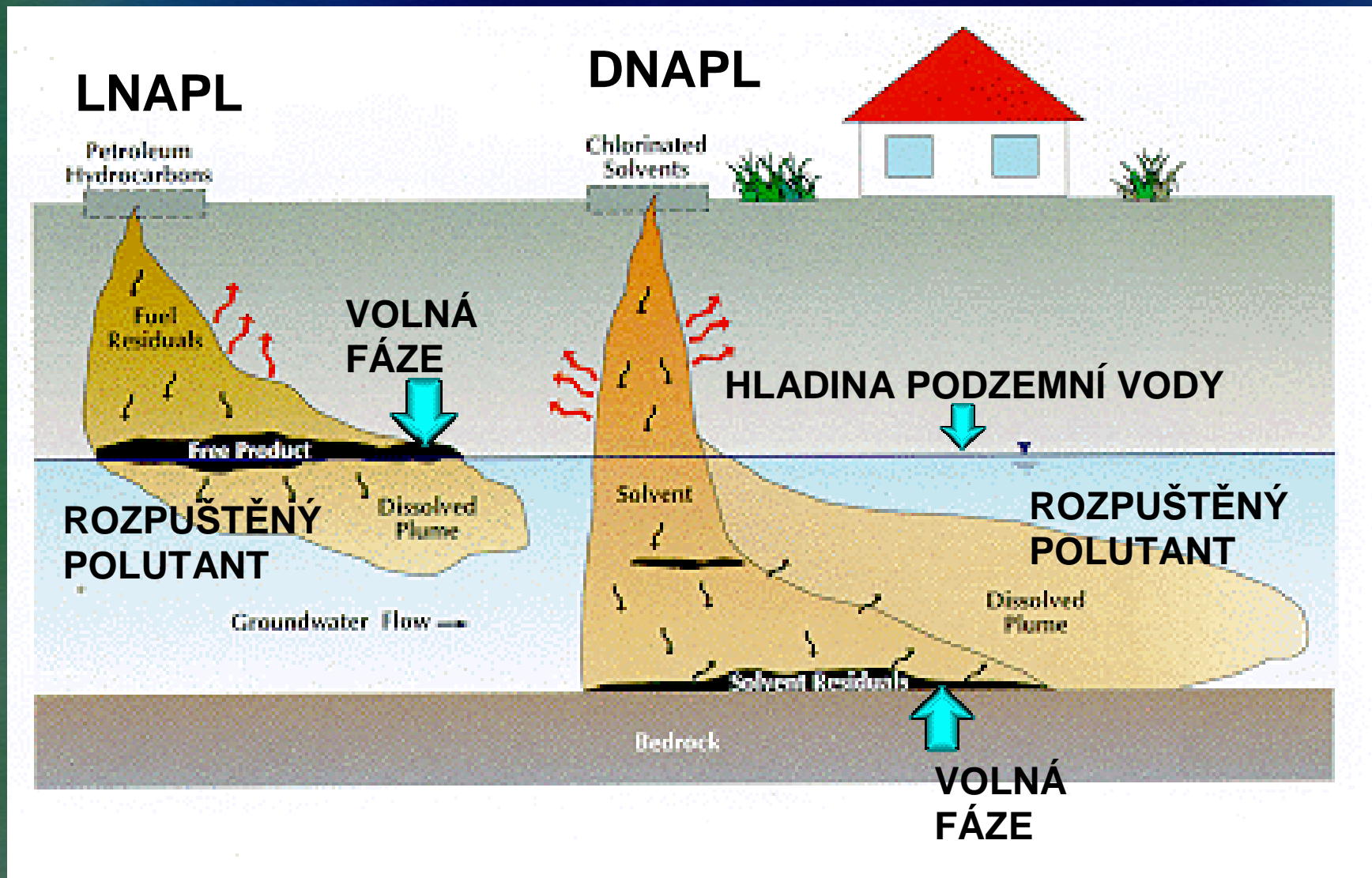


VYSVĚTLENÍ POJMŮ

- **KONTAMINAČNÍ MRAK - LNAPL**

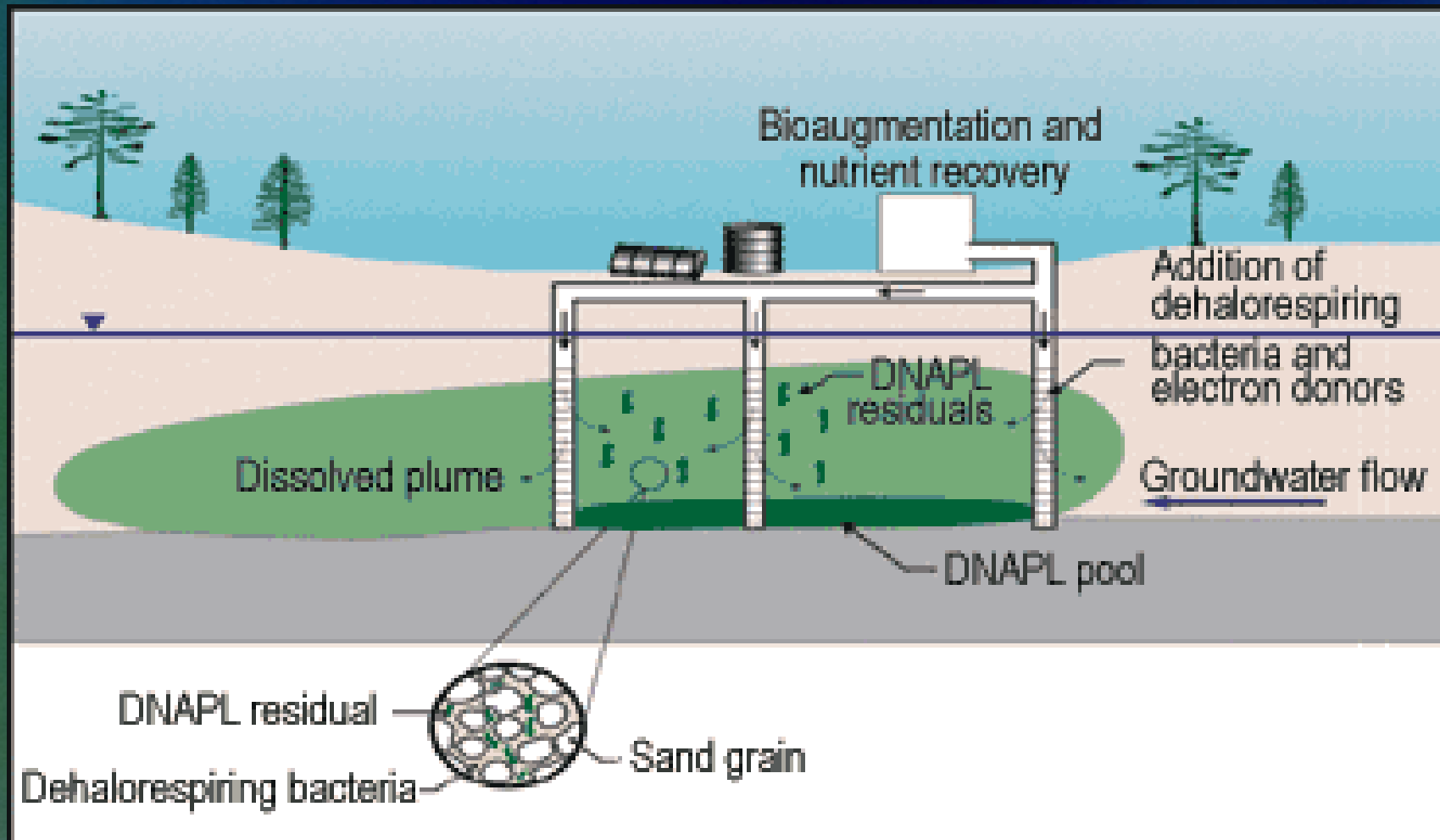


VYSVĚTLENÍ POJMŮ



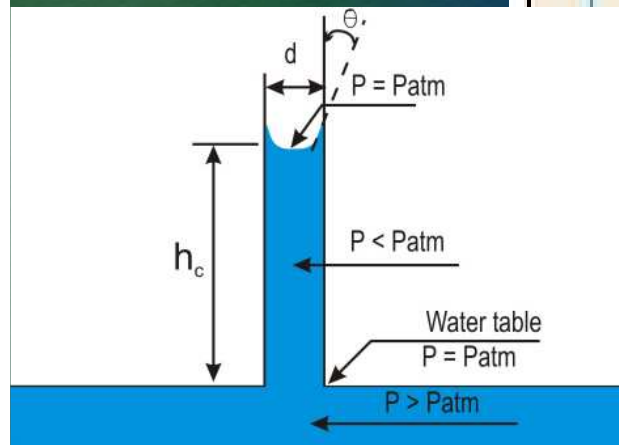
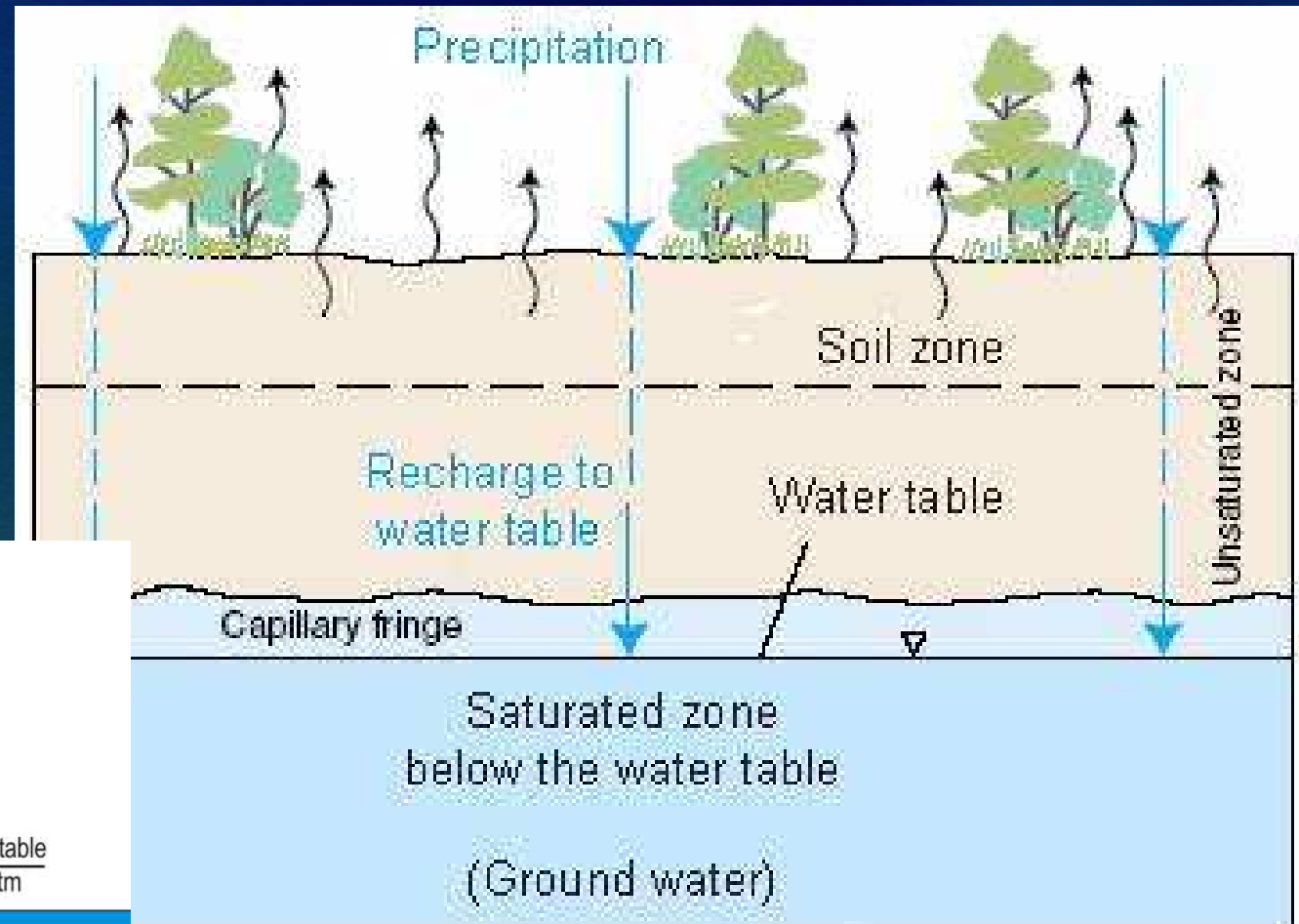
VYSVĚTLENÍ POJMŮ

- **KONTAMINAČNÍ MRAK - DNAPL**



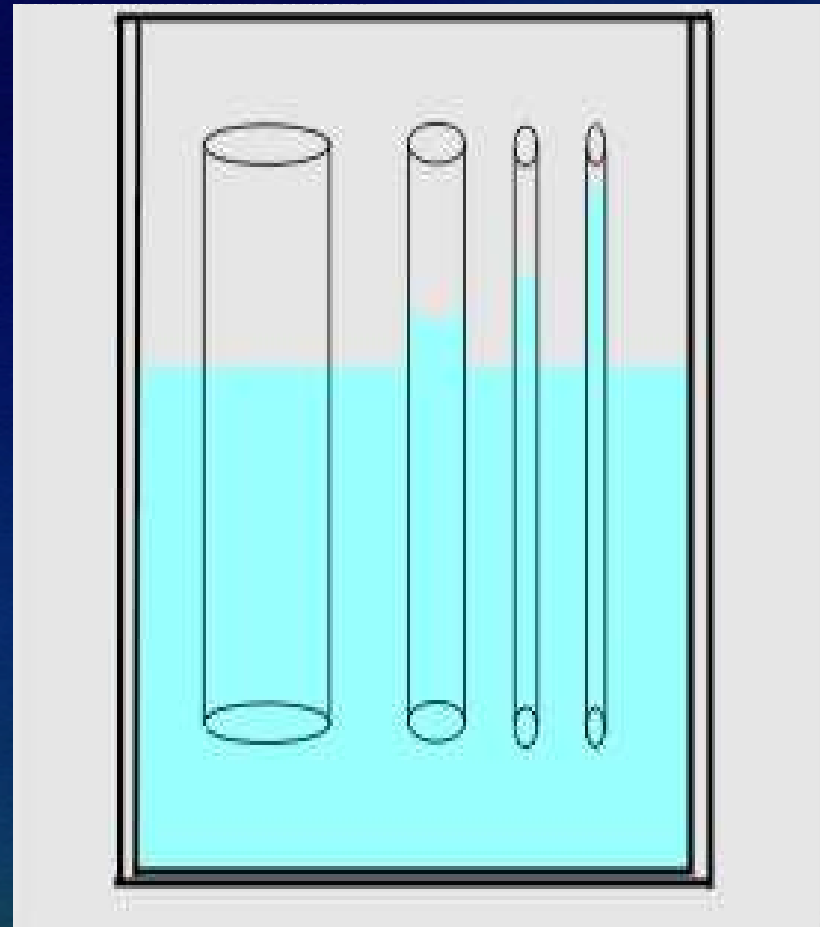
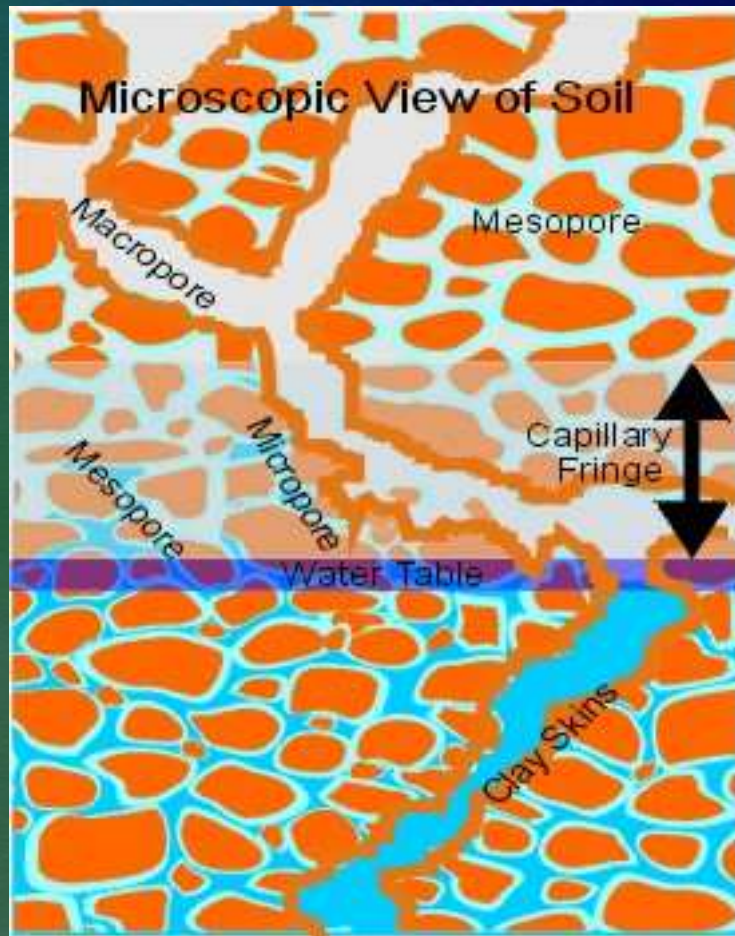
VYSVĚTLENÍ POJMŮ

- **KAPILÁRNÍ TŘÁSEŇ**



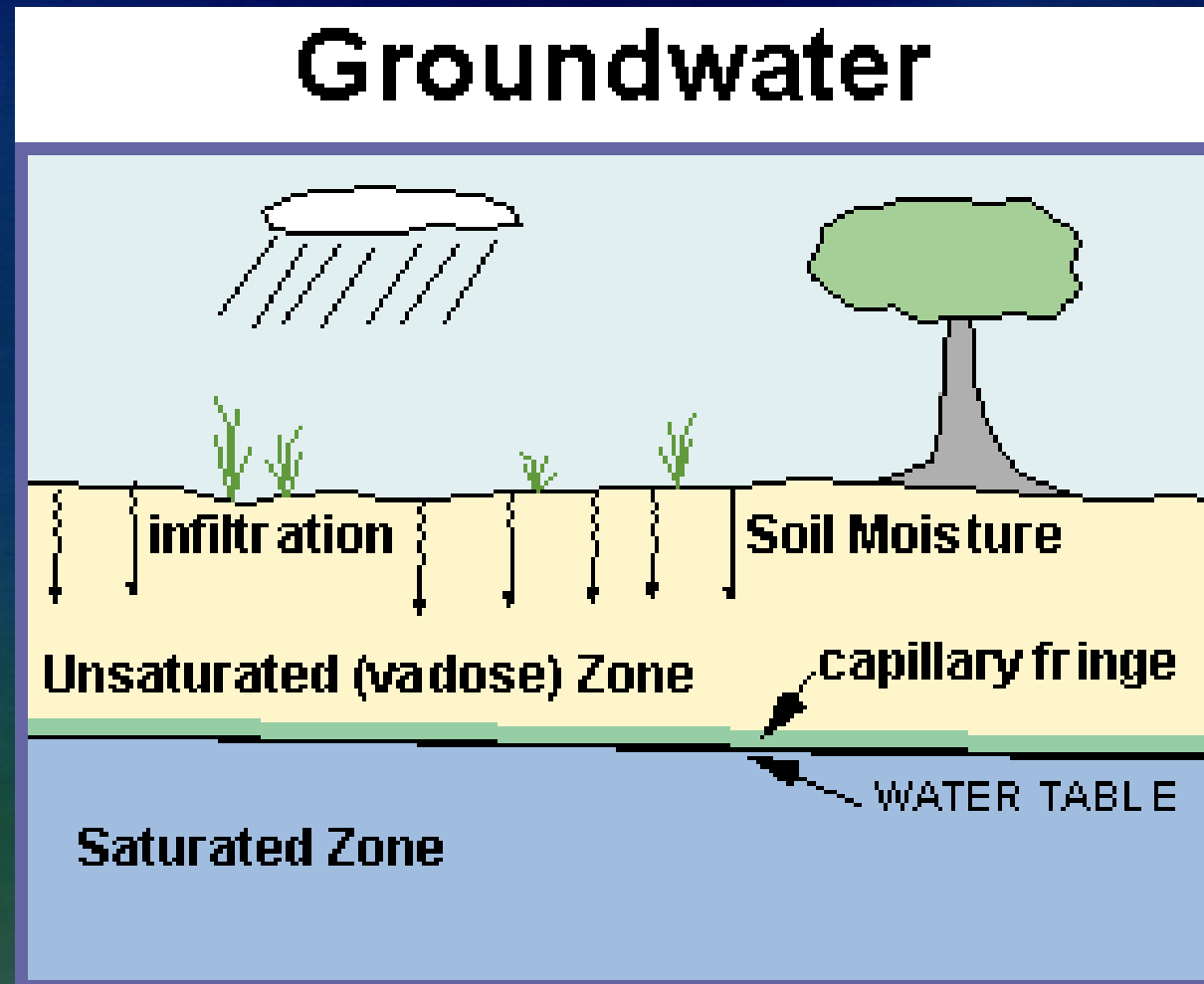
VYSVĚTLENÍ POJMŮ

- **KAPILÁRNÍ TŘÁSEŇ**



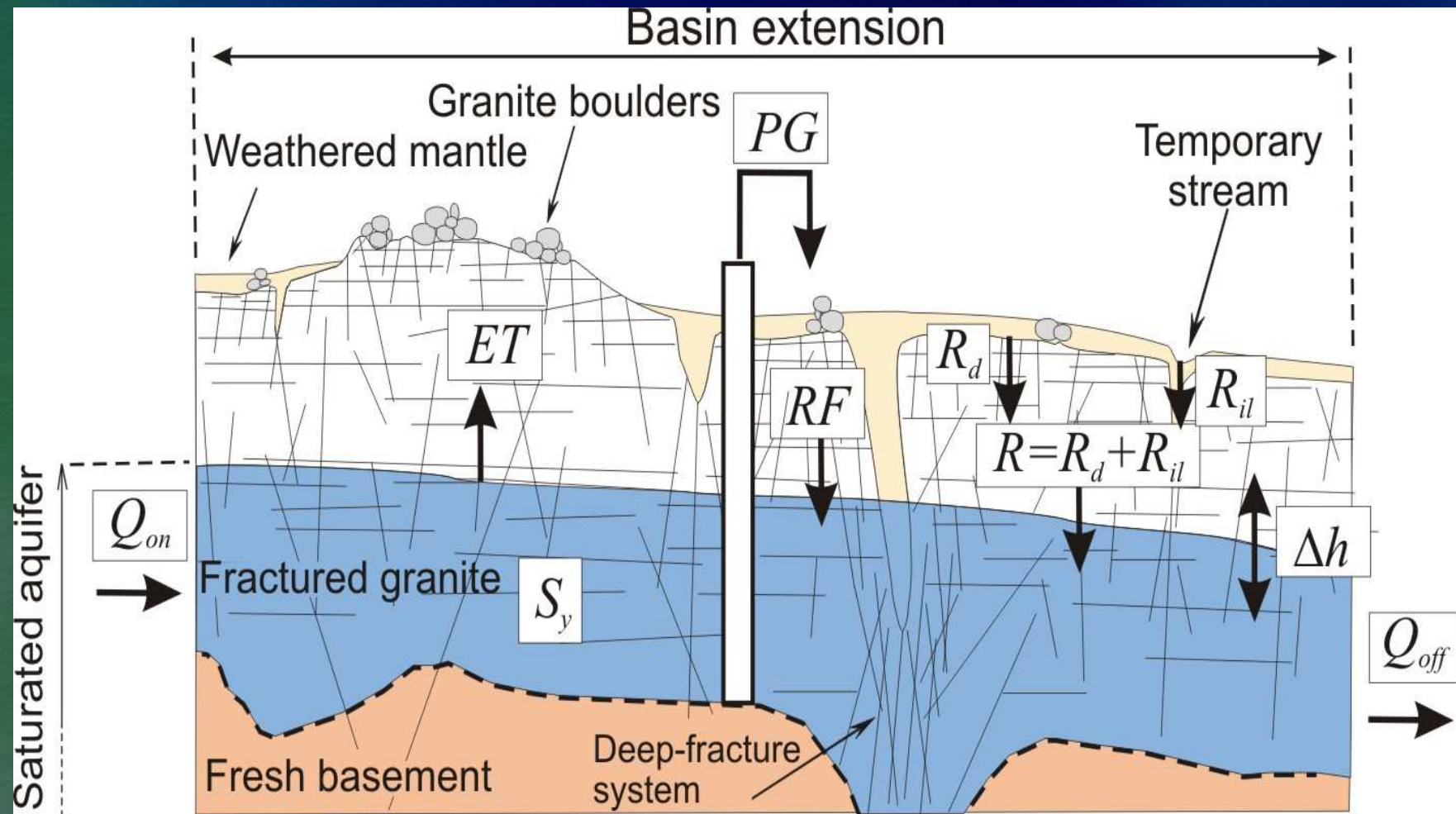
VYSVĚTLENÍ POJMŮ

- KOLÍSÁNÍ HLADINY PODZEMNÍ VODY



VYSVĚTLENÍ POJMŮ

- KOLÍSÁNÍ HLADINY PODZEMNÍ VODY



VYSVĚTLENÍ POJMŮ

- **SANAČNÍ METODY – ZPŮSOBY APLIKACE**
- **IN-SITU** – na místě bez těžby pevných materiálů, bez čerpání vyčerpávání podzemní vody
- **EX-SITU** – po vytěžení pevných materiálů nebo vyčerpání podzemní vody a přemístění z kontaminované lokality
- **ON-SITE** – po vytěžení nebo vyčerpání na kontaminované lokalitě
- **OFF-SITE** – po vytěžení nebo vyčerpání mimo kontaminovanou lokalitu

ZPŮSOB APLIKACE

In situ



ZPŮSOB APLIKACE



ZPŮSOB APLIKACE

Off site



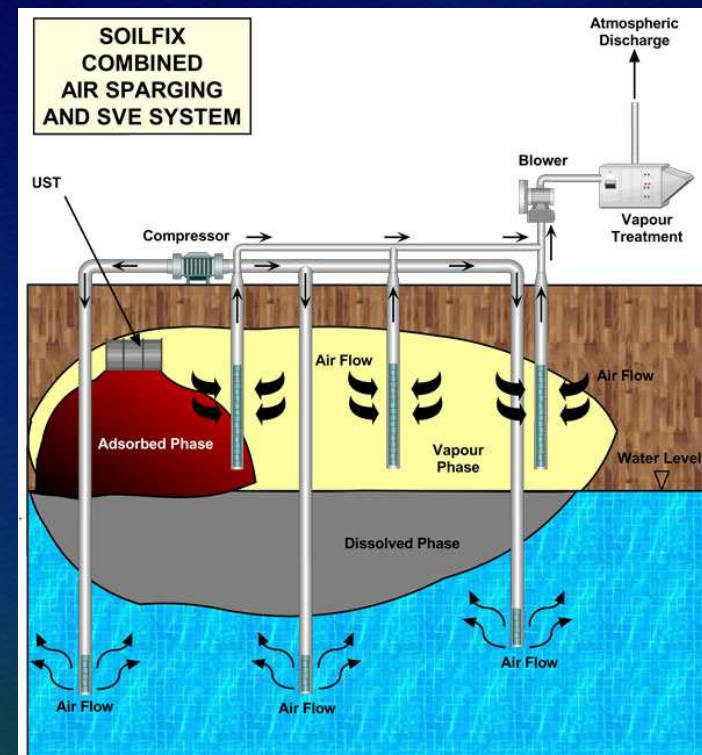
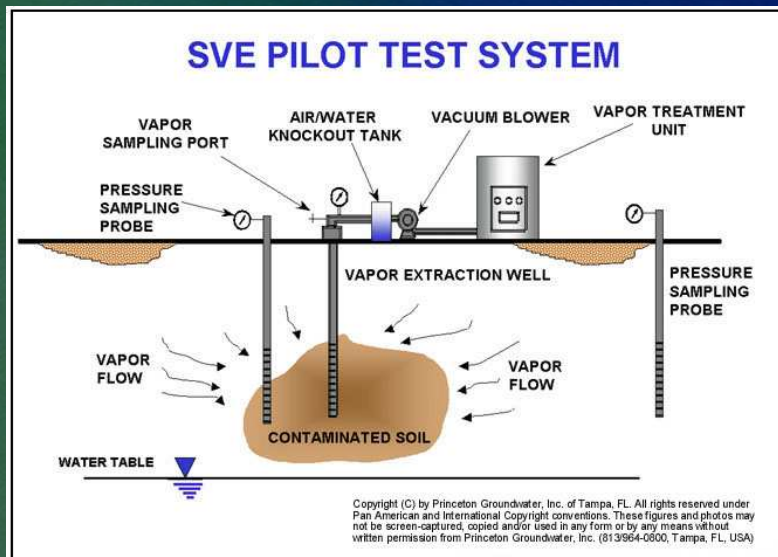
ZPŮSOB APLIKACE

- Nesaturovaná zóna *in-situ* - bioventing
- Saturovaná zóna *in-situ* – biosparging, bioslurping, bariéry, přirozená atenuace
- Vytěžená zemina *ex-situ* on-site nebo off site, suspenzní bioreaktory
- Vyčerpaná podzemní voda na povrchu (pump & treat) – čištění v bioreaktorech
- Čištění půdní vzduchu – čištění
v biofiltrech



VYSVĚTLENÍ POJMŮ

- ROZDĚLENÍ SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ PODLE MÍSTA APLIKACE
 - i) Pro nenasatovanou zónu
 - ii) Pro saturovanou zónu
 - iii) Použitelné obecně

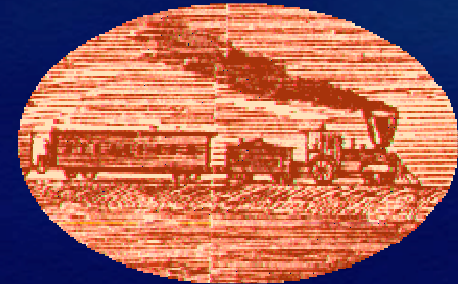


VYSVĚTLENÍ POJMŮ

- **SANAČNÍ METODY – ROZDĚLENÍ**

Dělí se podle principů, na kterých je sanační metoda založena, na:

- i) biologické
- ii) fyzikálněchemické a fyzikální
- iii) chemické
- iv) kombinované (integrované) – treatment trains
- v) přirozená atenuace
- vi) podporovaná atenuace
- vii) green remediation (využití udržitelných energií při čištění kontaminovaných lokalit)
- viii) fytoremediace

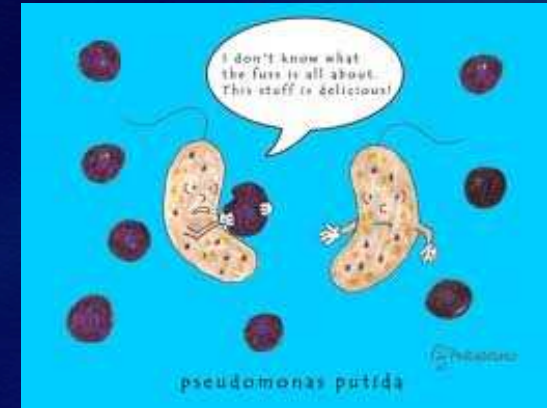


VYSVĚTLENÍ POJMŮ

i) Biologické sanační metody

Anorganické polutanty

- Redukce sulfátu
- Fytoremediace
- Mokřady (uměle konstruované)
- Biosorpce
- Bioimobilizace
- Biostabilizace
- Biologická redukce a oxidace kovů a radionuklidů
- Přirozená atenuace
- Biofiltrace
- Denitrifikace

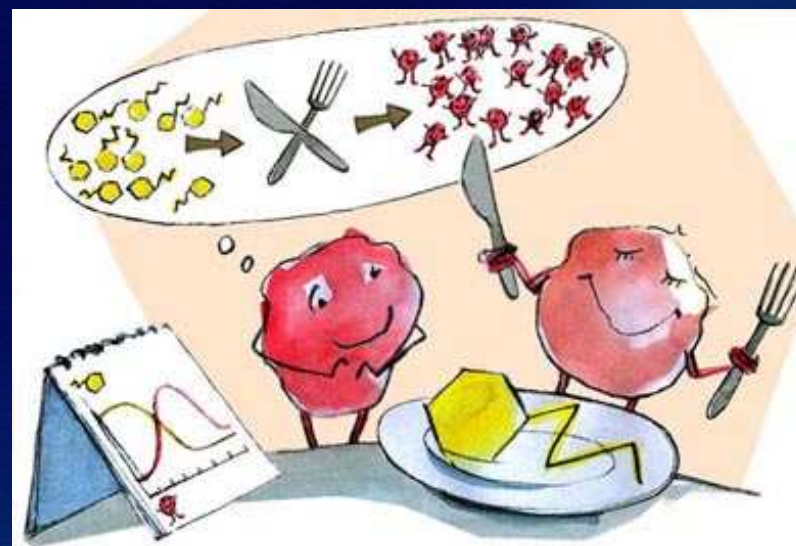


VYSVĚTLENÍ POJMŮ

i) Biologické sanační metody

Organické polutanty

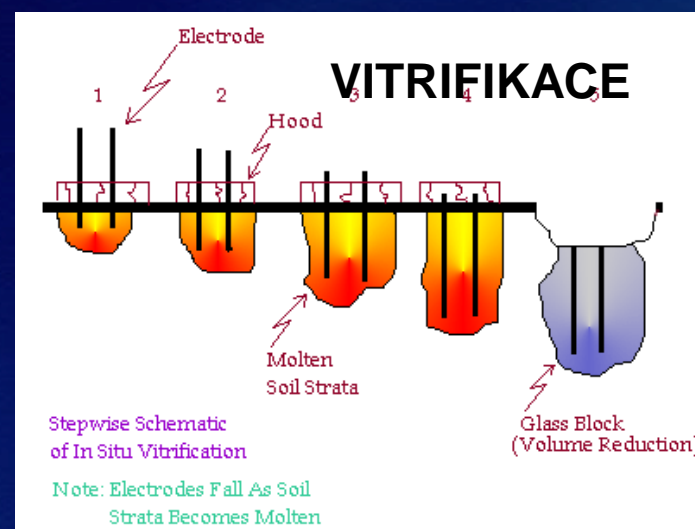
- Bioventing
- Biosparging
- Bioslurping
- Bioaugmentace
- Fytoremediace
- Bioimobilizace
- Biosorpce
- Kompostování
- Aerobní rozklad polutantů v zeminách
- Kompostování
- Landfarming
- Kometabolismus
- Přirozená atenuace
- Biofiltrace



VYSVĚTLENÍ POJMŮ

ii) Fyzikálněchemické a fyzikální sanační metody

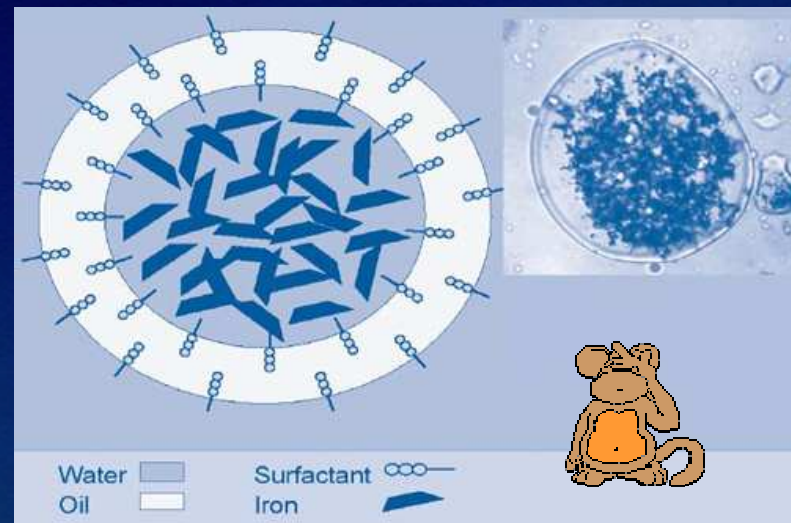
- Sanační čerpání (pump & treat)
- Elektrokinetické metody
- Odporový ohřev
- Uzavření (capping)
- Vitřifikace
- Stripping vzduchem
- Adsorpční filtrace
- Gravitační separace
- Odsávání půdního vzduchu (venting)
- Air sparging



VYSVĚTLENÍ POJMŮ

iii) Chemické metody

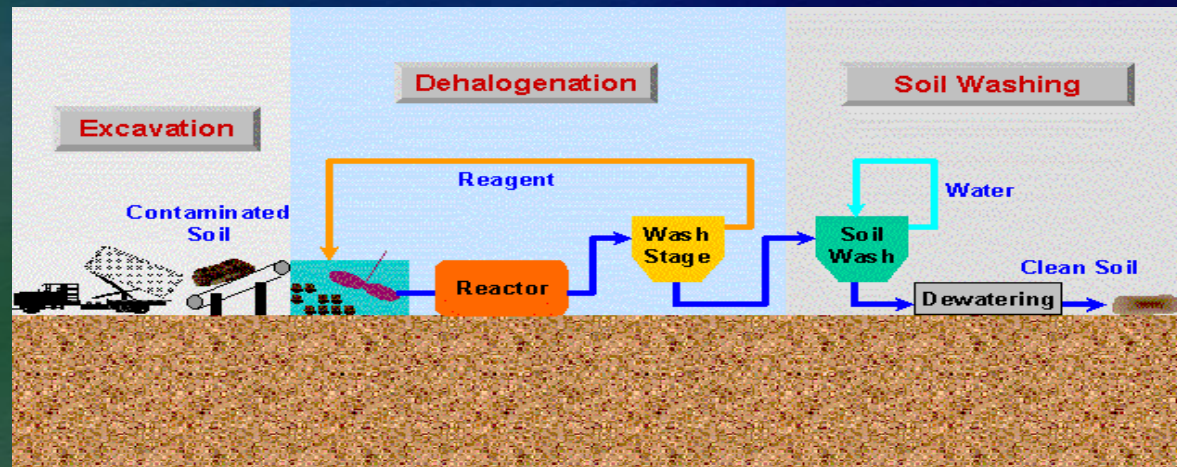
- chemická oxidace
- vymývání roztokem povrchově aktivní látky
- chemická redukce
- solidifikace a stabilizace
- reaktivní bariéry
- chemická extrakce



VYSVĚTLENÍ POJMŮ

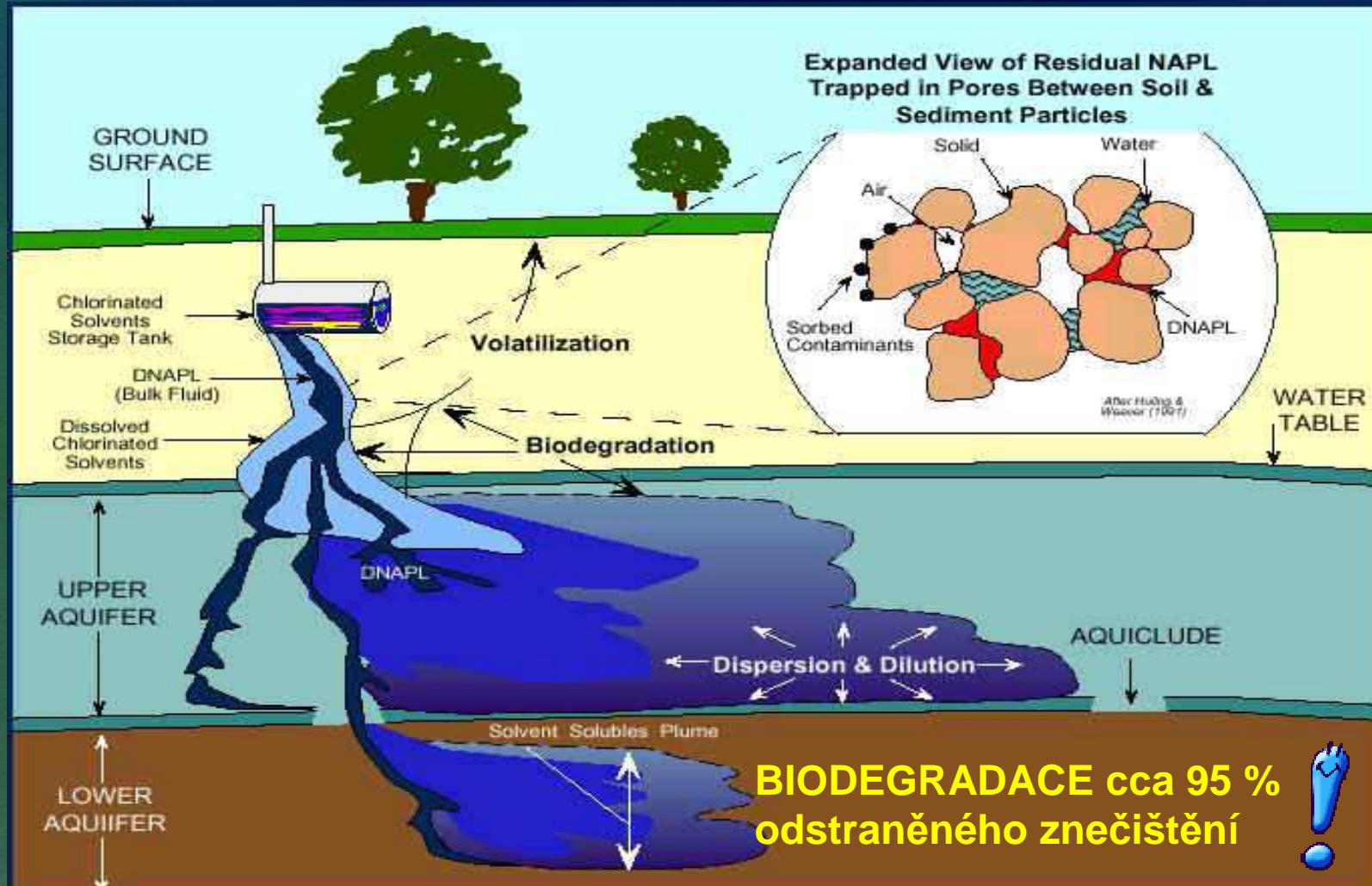
iv) Integrované sanační technologie

- chemická oxidace + biologické dočištění
- sanační čerpání + stripping + adsorpční filtrace
- bioparging + odsávání půdního vzduchu + adsorpční filtrace
- ohřev (odporový, parní) + odsávání půdního vzduchu
- sanační čerpání + biologické dočištění
- odtěžení + biologické dočištění *ex-situ*



VYSVĚTLENÍ POJMŮ

v) Přírozená atenuace



VYSVĚTLENÍ POJMŮ

v) Přírozená atenuace

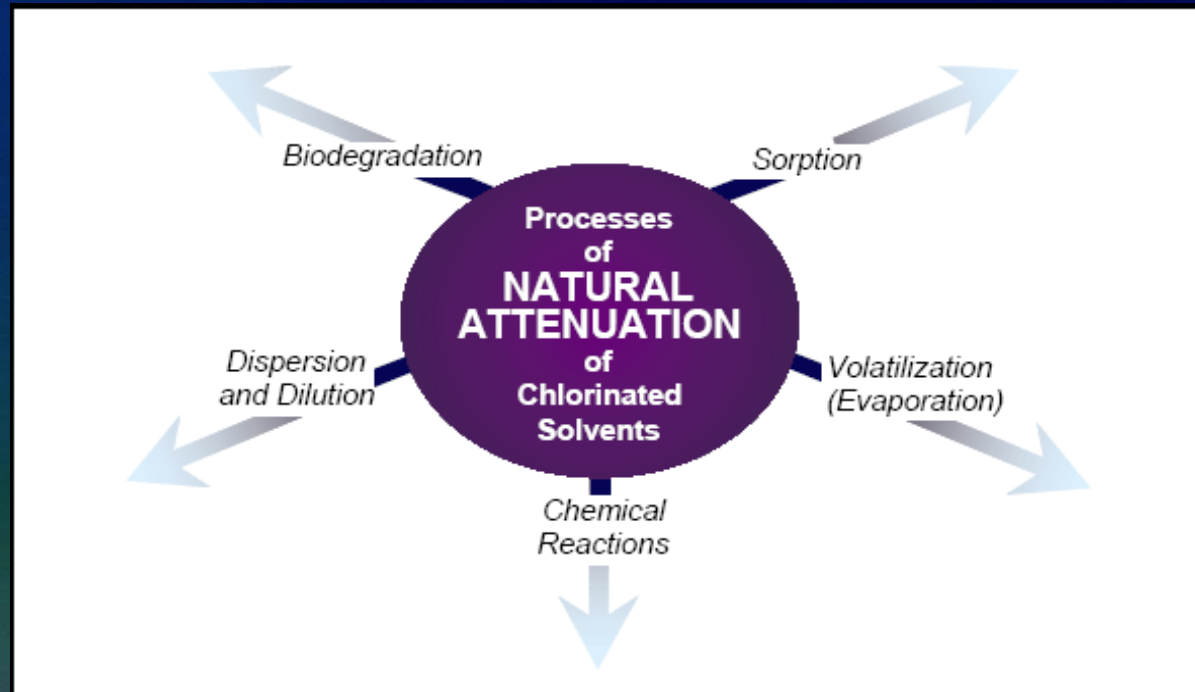
AIR FORCE CENTRE FOR ENVIRONMENTAL EXCELLENCE

Tod Wiedermayer

National Contingency Plan (EPA, 1990), (Environmental Protection Agency (EPA). 1990. Preamble to the national oil and hazardous substances pollution contingency plan, final rule. Federal Register 55(46): 8666-8732.)

National Research Council (NRC, 1993) (NRC (National Research Council). 1993. In Situ Bioremediation: When Does It Work? Washington, D.C.: National Academy Press.)

- **Biodegradace**
- **Disperze**
- **Ředění**
- **Sorpce**
- **Těkání**
- **Stabilizace**
- **Přeměna**



VYSVĚTLENÍ POJMŮ

vi) Podporovaná atenuace

- **obecně optimalizace podmínek pro činnost bakterií a podporu dalších přirozených procesů snižujících koncentraci polutantu**
- **úprava redoxních podmínek** (například dávkováním heterotrofních substrátů do podzemí, které podporuje spotřebu rozpuštěného kyslíku a vznik redukčních podmínek nezbytných pro dehalogenaci chlorovaných ethylenů)
- **úprava koncentrace rozpuštěného kyslíku**
- **zvýšení biologické dostupnosti polutantu**

VYSVĚTLENÍ POJMŮ

vii) green remediation (především využívání obnovitelných zdrojů energie)

- **Koncepce vznikla v roce 2004, kdy U.S. EPA publikovala *Introduction to Energy Conservation and Production at Waste Cleanup Sites*, ENGINEERING FORUM ISSUE PAPER (Michael Gill and Katarina Mahutova)**

(<http://www.epa.gov/tio/tsp/download/epa542s04001.pdf>)

- **Rozpracování konceptu: studentská práce Amandy D. Dellens – podporovaná U.S. EPA (National Network for Environmental Management Studies Fellow, Case Western Reserve University)**

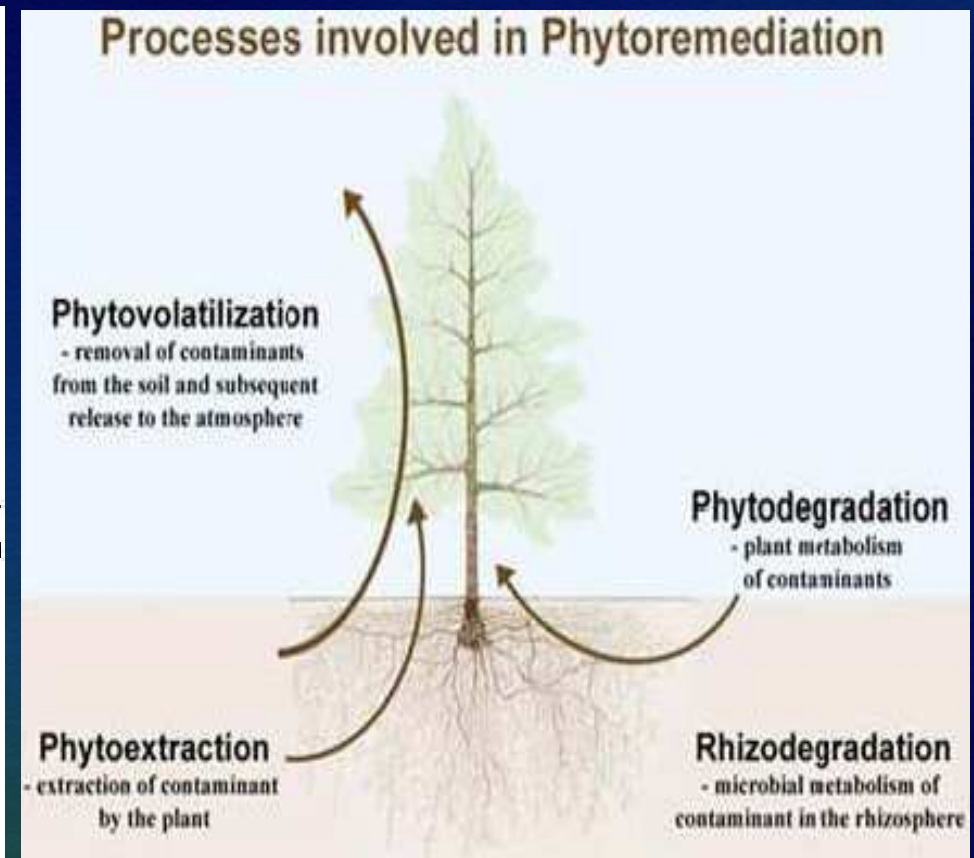
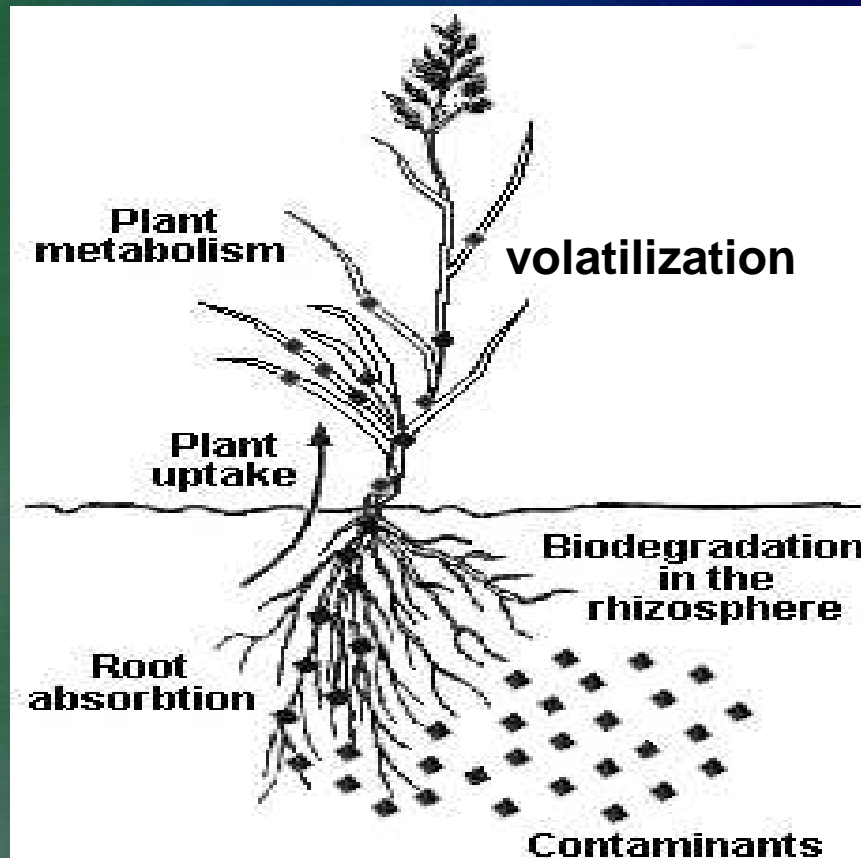
„Green Remediation and the Use of Renewable Energy Sources for Remediation Projects“

(<http://clu.in.org/download/studentpapers/Green-Remediation-Renewables-A-Dellens.pdf>)

VYSVĚTLENÍ POJMŮ

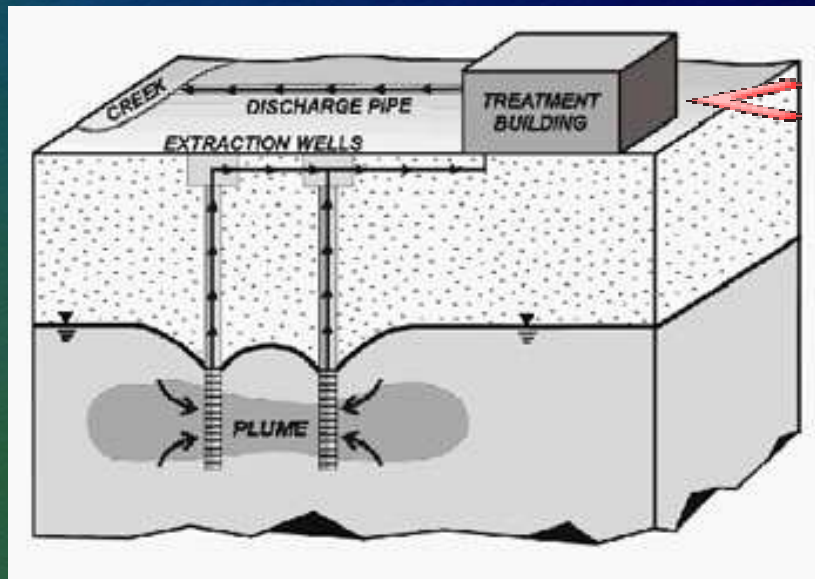
viii) Fytoremediace

Pro eliminaci polutantů využívá vyšších rostlin
Mechanismy uplatňované při fytoremediaci:



ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- SANAČNÍ ČERPÁNÍ



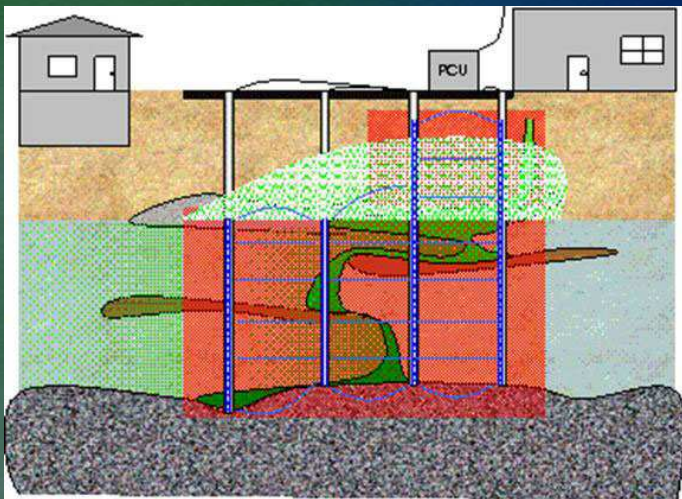
gravitační separace
adsorpční filtrace
stripping vzduchem
bioreaktor
chemické srážení
jiná úprava

ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- SANAČNÍ ČERPÁNÍ

ZVYŠOVÁNÍ ÚČINNOSTI SANAČNÍHO ČERPÁNÍ

- ohřevem parou
- odporovým ohřevem
- vymytím povrchově aktivní látkou



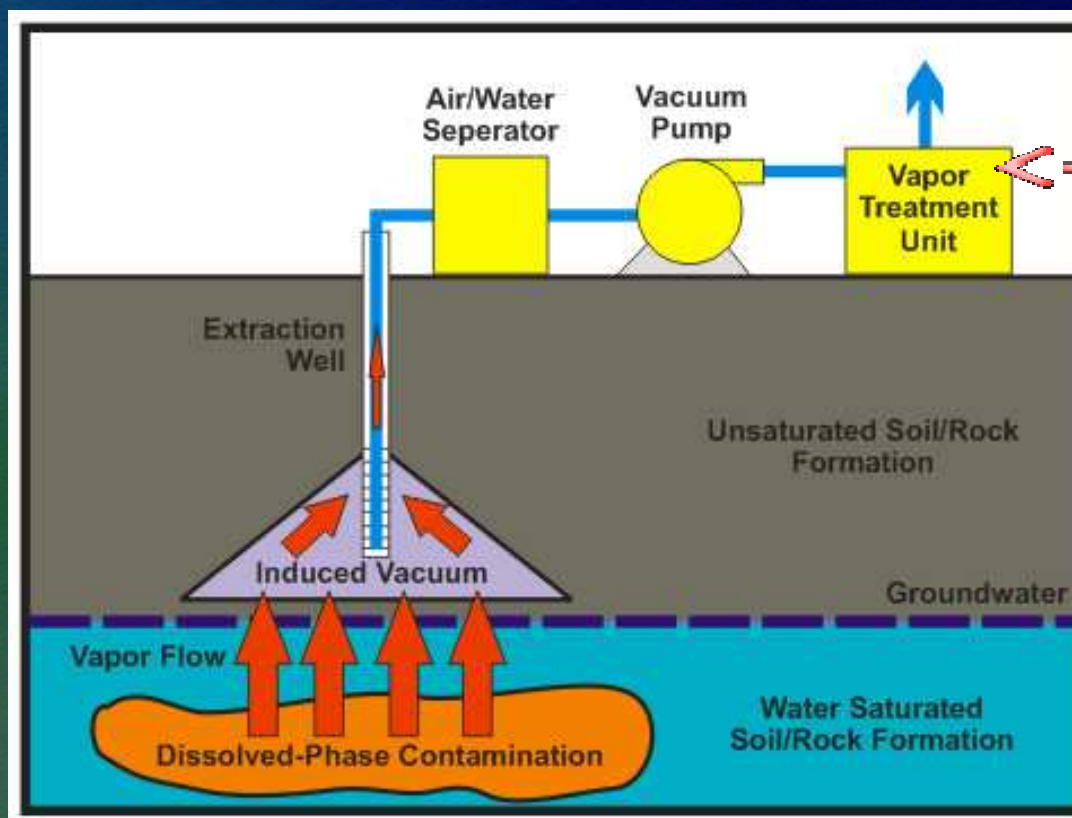
ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- **STRIPPING VZDUCHEM (odstraňování těkavých polutantů) – Henryho zákon a Henryho konstanta polutantu musí být $> 0,01$**



ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- ODSÁVÁNÍ PŮDNÍHO VZDUCHU (pro těkavé polutanty) - VENTING



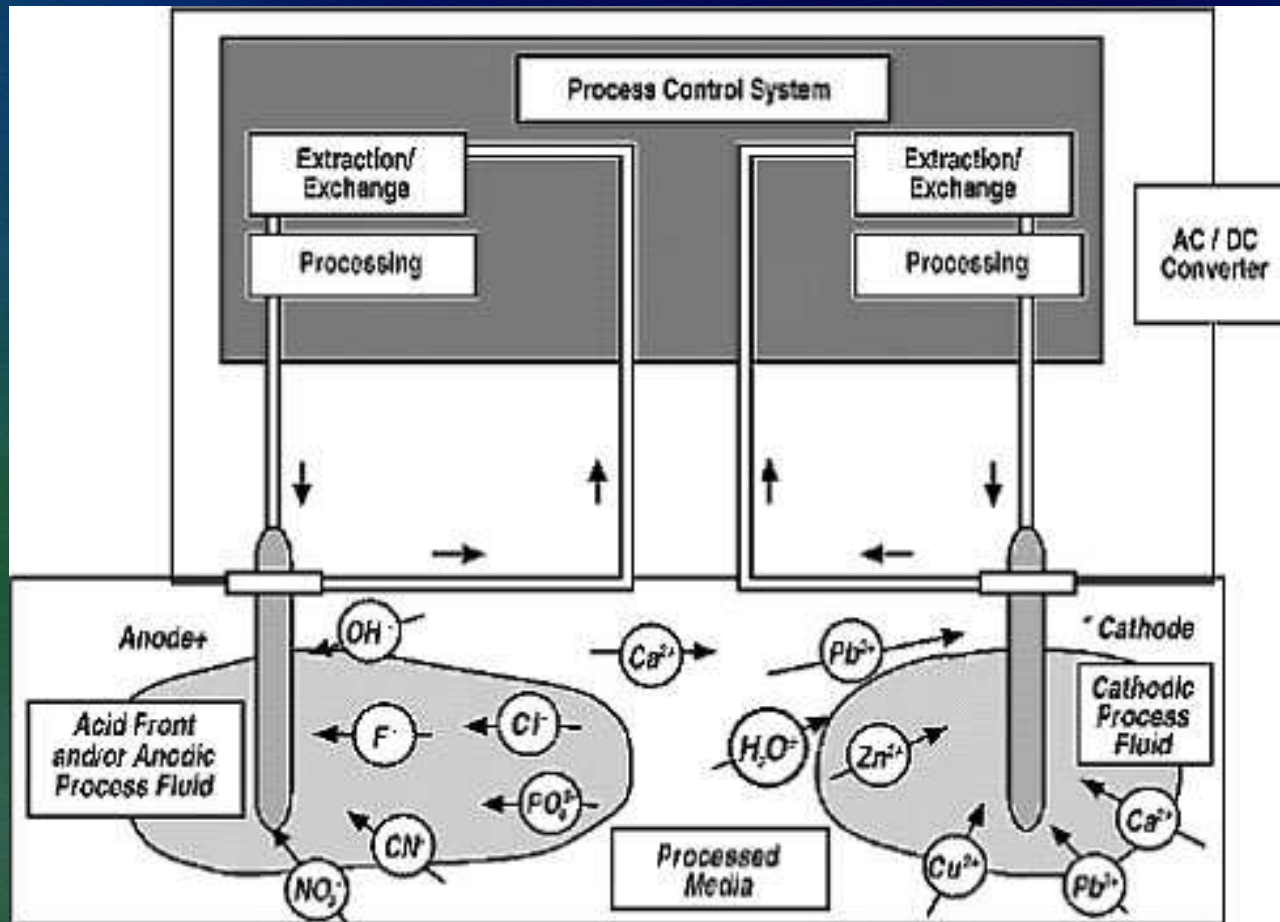
BIOFILTRACE

FILTRACE NA
AKTIVNÍM UHLÍ

PROMÝVÁNÍ
(scrubbing) pro
polutanty
rozpuštěné ve
vodě

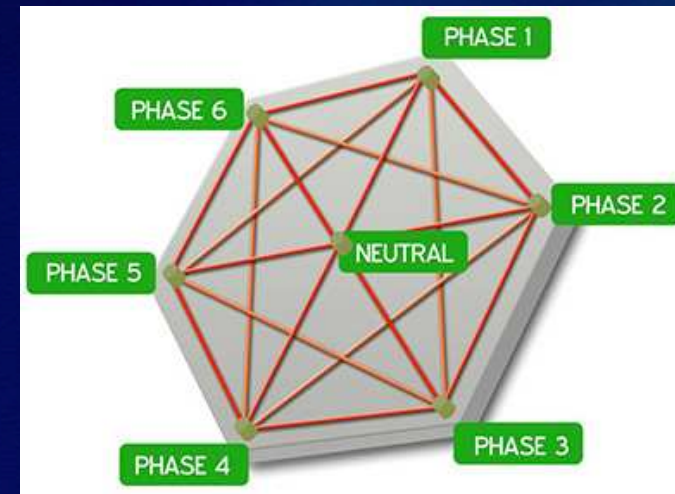
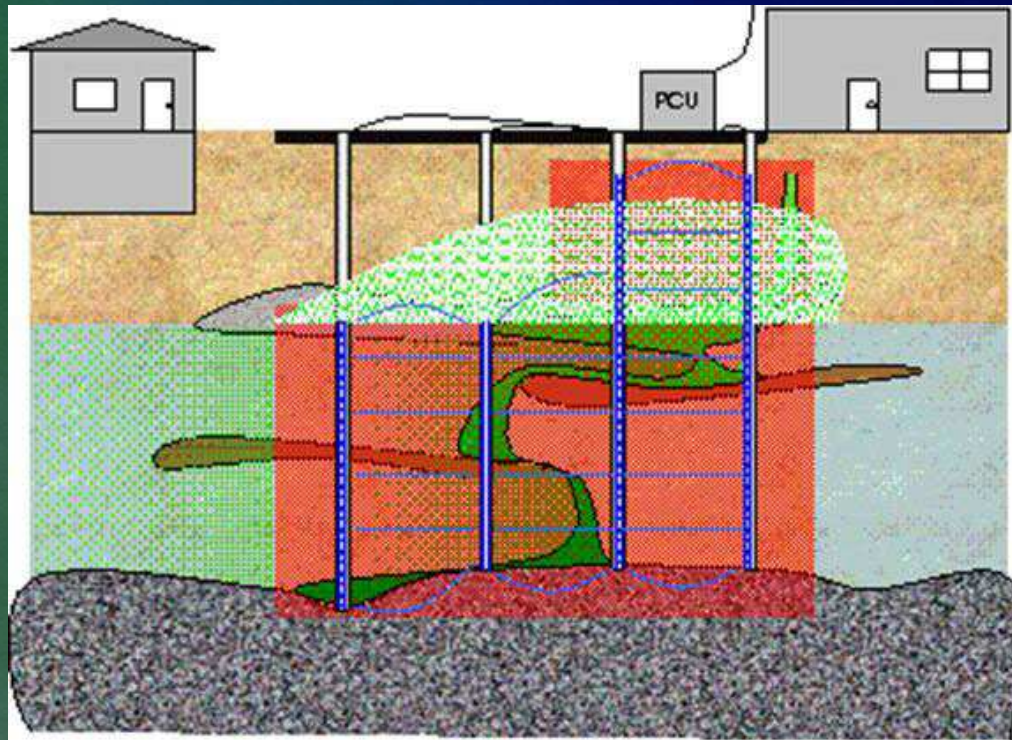
ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- ELEKTROKINETICKÉ METODY



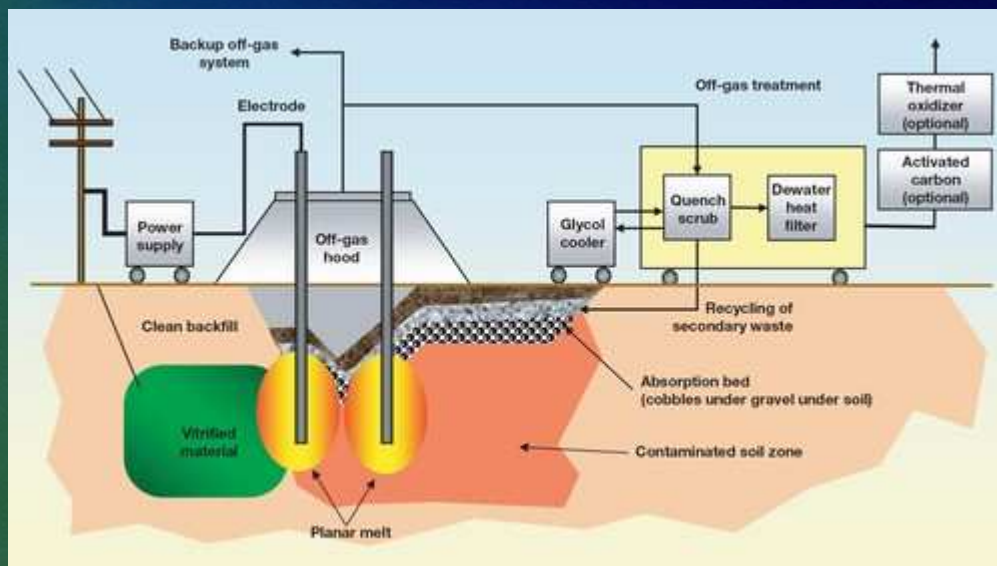
ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- ODPOROVÝ OHŘEV (PARNÍ OHŘEV)



ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

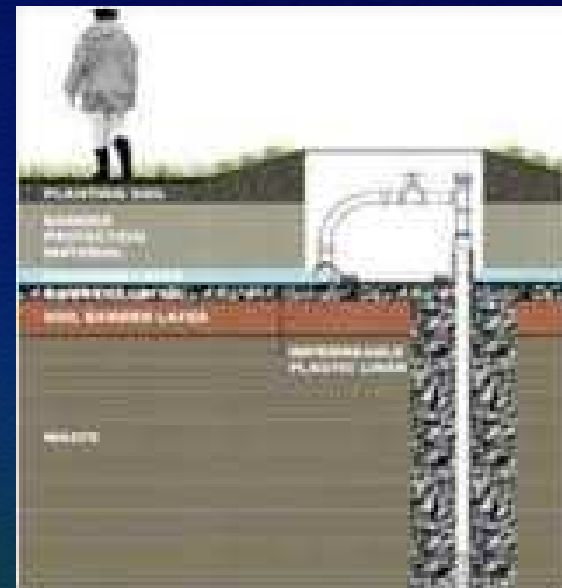
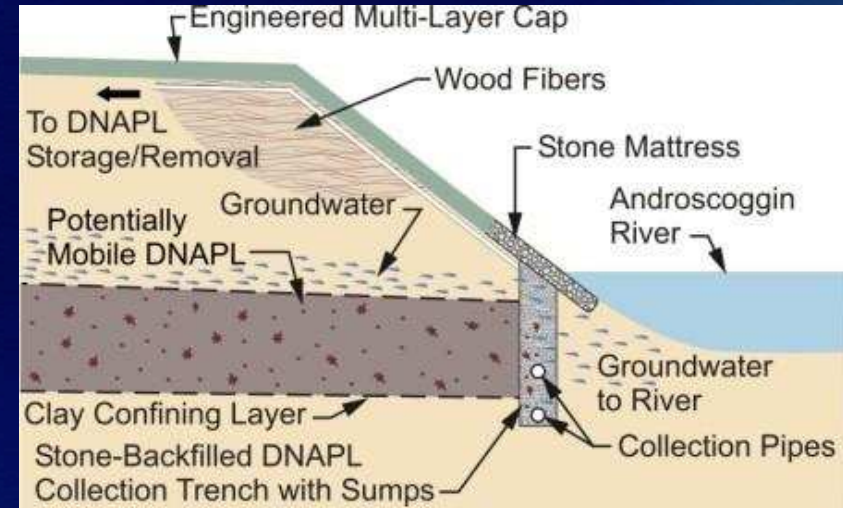
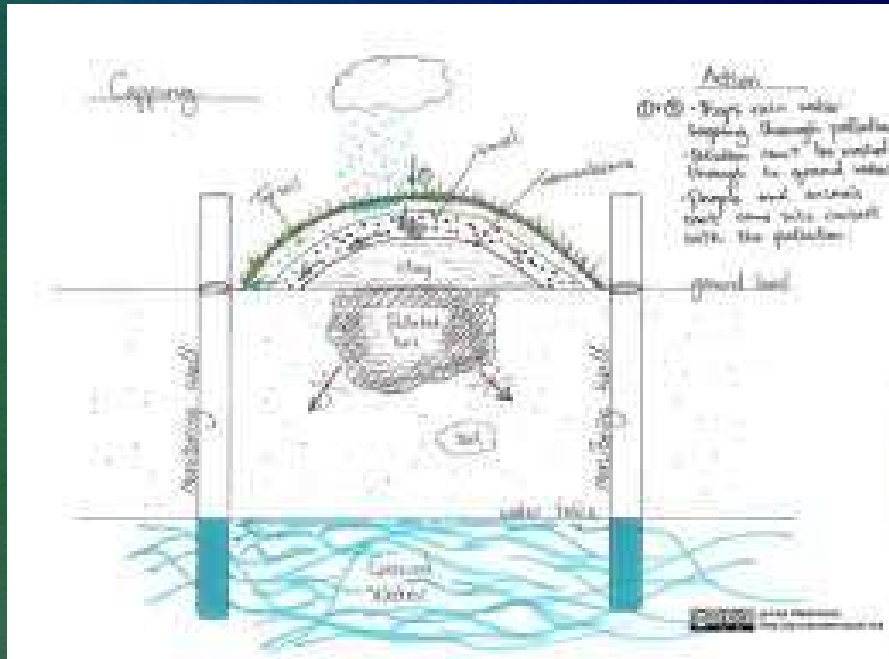
- VITRIFIKACE



- Záhřev na teplota až kolem 1000 °C – vysoká spotřeba energie

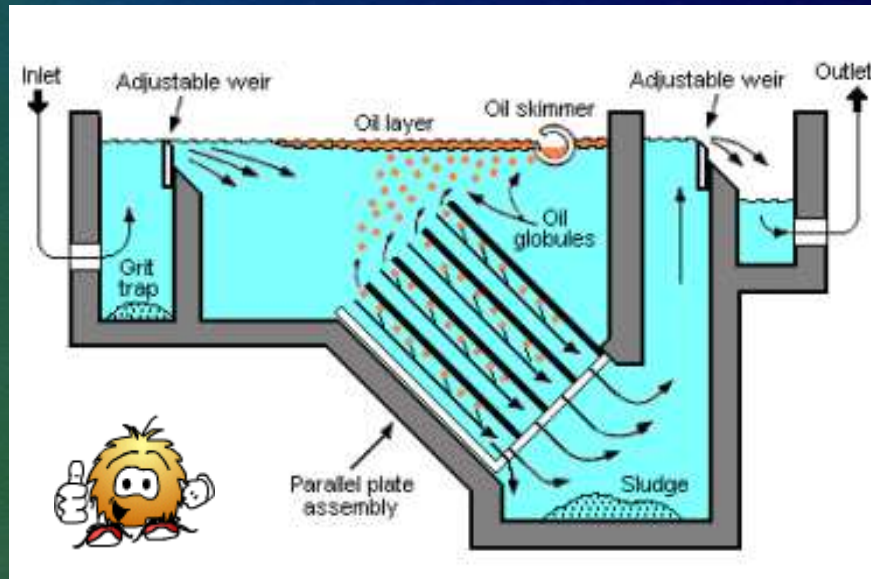
ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- ZAKRYTÍ (CAPPING)



ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- GRAVITAČNÍ SEPARACE



ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

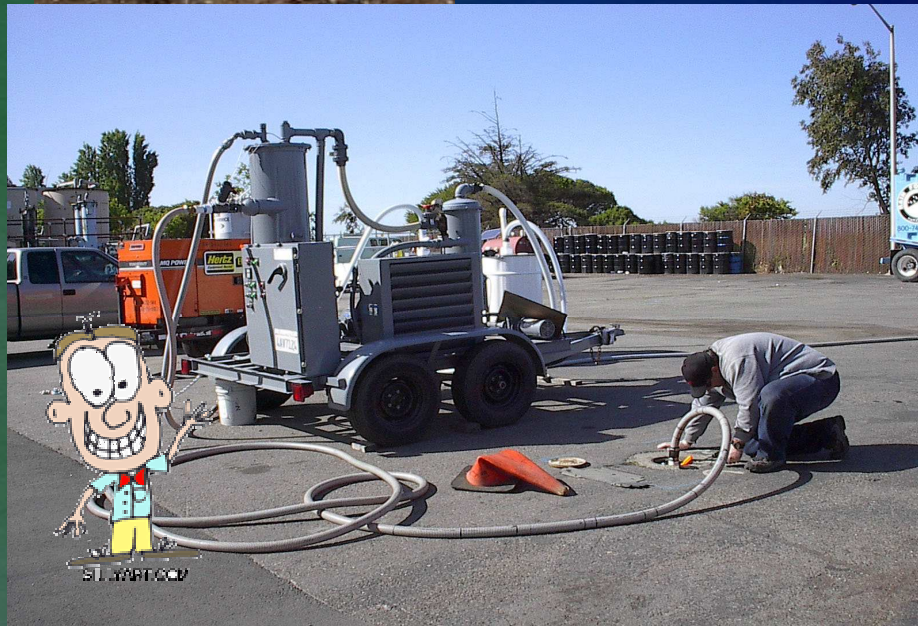
- CHEMICKÁ OXIDACE
- Oxidační činidla: Fentonovo oxidační činidlo
Manganistan draselný
Ozon
Ozon + peroxid vodíku
persulfát

Oxidační potenciál

- Hydroxyl radikál $\bullet\text{OH}$ 2.7 V
- Sulfatový radikál $\text{SO}_4^{\bullet-}$ 2.6 V
- Ozone O_3 2.2 V
- Persulfatový aniont S_2O_8^- 2.1 V
- Hydrogen peroxide H_2O_2 1.8 V
- Manganistanový iont MnO_4^- 1.7 V
- Peroxymonosulfátový anion HSO_5^- 1.4 V

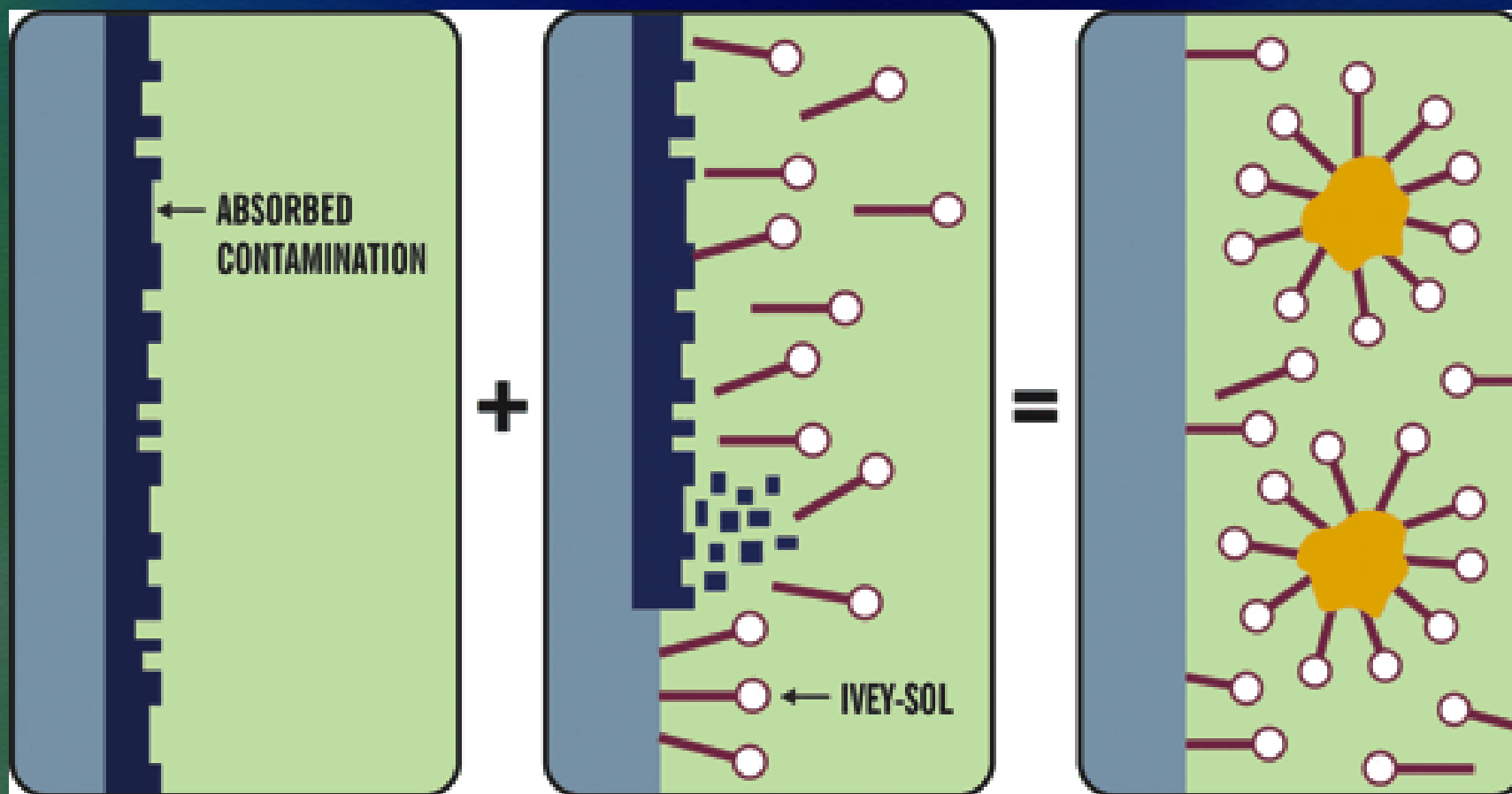
ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Chemická oxidace



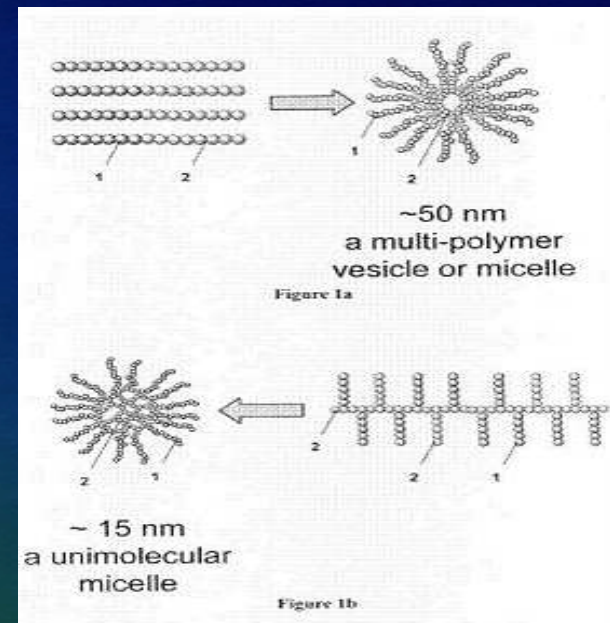
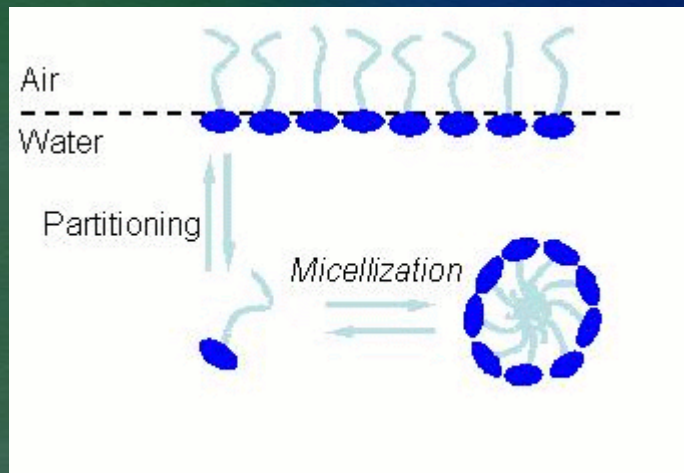
ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- VYMÝVÁNÍ HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ POVRCHOVĚ AKTIVNÍ LÁTKOU



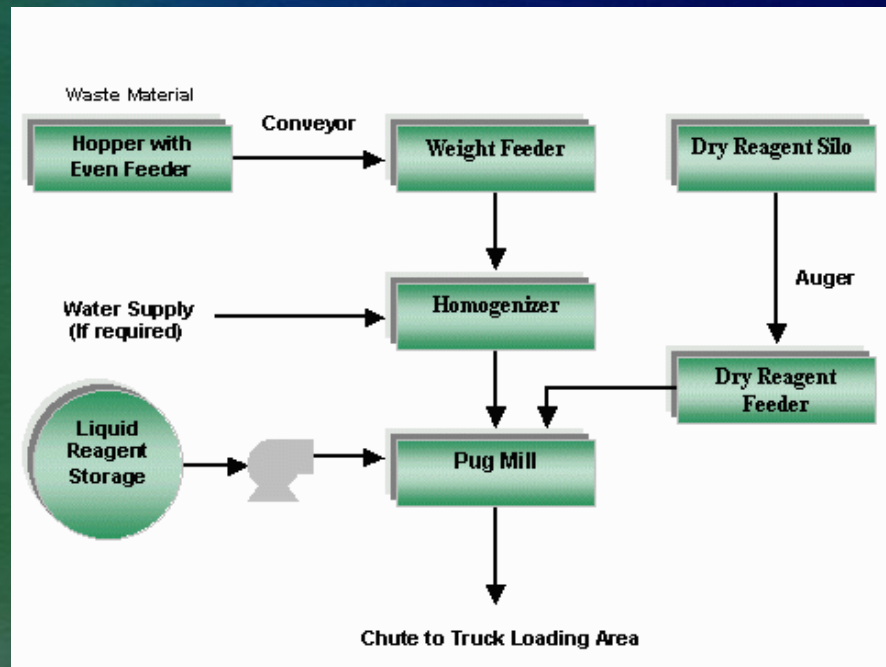
ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- VYMÝVÁNÍ HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ POVRCHOVĚ AKTIVNÍ LÁTKOU
- Kritická miceliární koncentrace surfaktantu musí být co nejmenší. Pokud není překročena, v prostředí nevznikají micely, a proto je nezbytné koncentraci monitorovat a udržovat v aktivní koncentraci

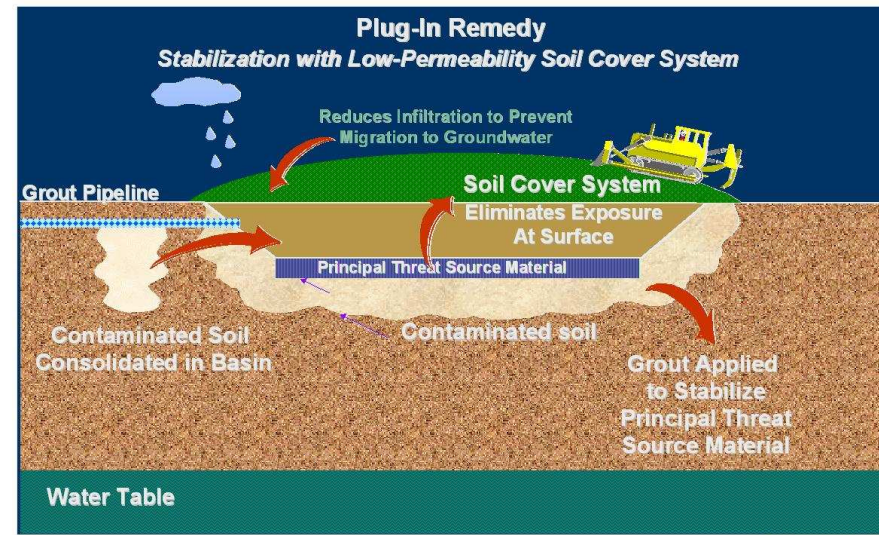


ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- SOLIDIFIKACE A STABILIZACE



Future S/S Projects at SRS



- Stabilizace a solidifikace s cementem, vápnem a využití pozzolanových reakcí (popílek) (silikáty)

ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- SOLIDIFIKACE A STABILIZACE



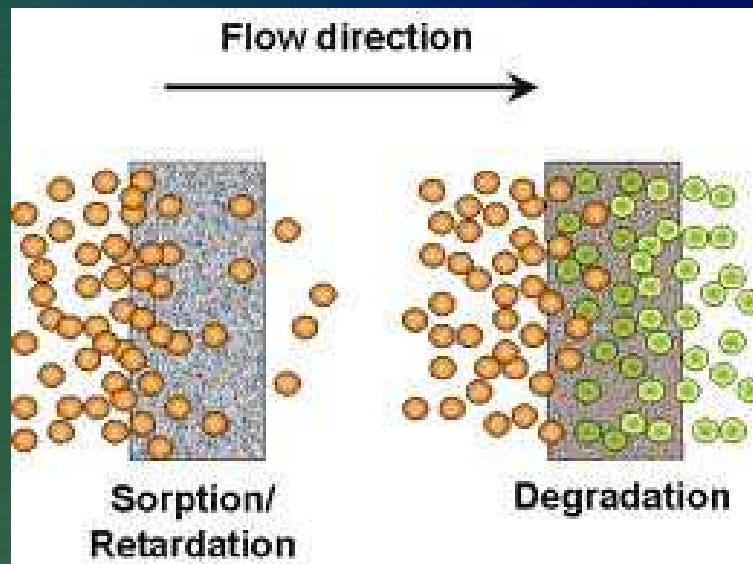
PRODUKT - SOLIDIFIKÁT



ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- REAKTIVNÍ BARIÉRY

Náplně: nula mocné železo
biologická náplň
sorpční náplň



DVA ZÁKLADNÍ TYPY BARIÉR

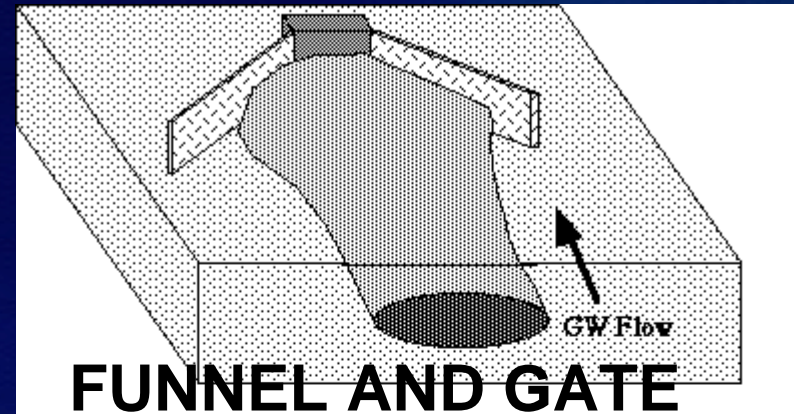


Figure 1a. Plume capture by a funnel & gate system. Sheet piling funnels direct the plume through the reactive gate.

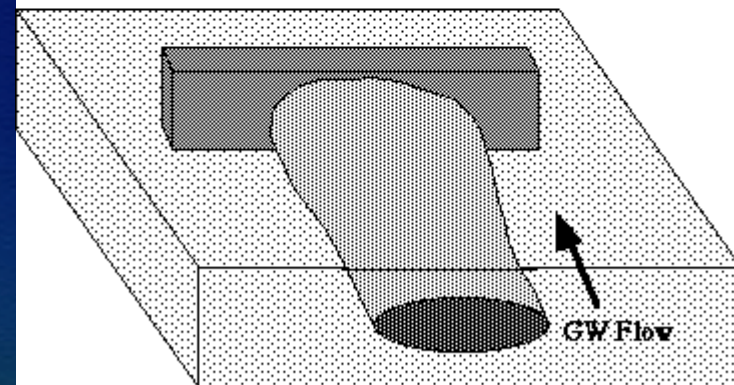
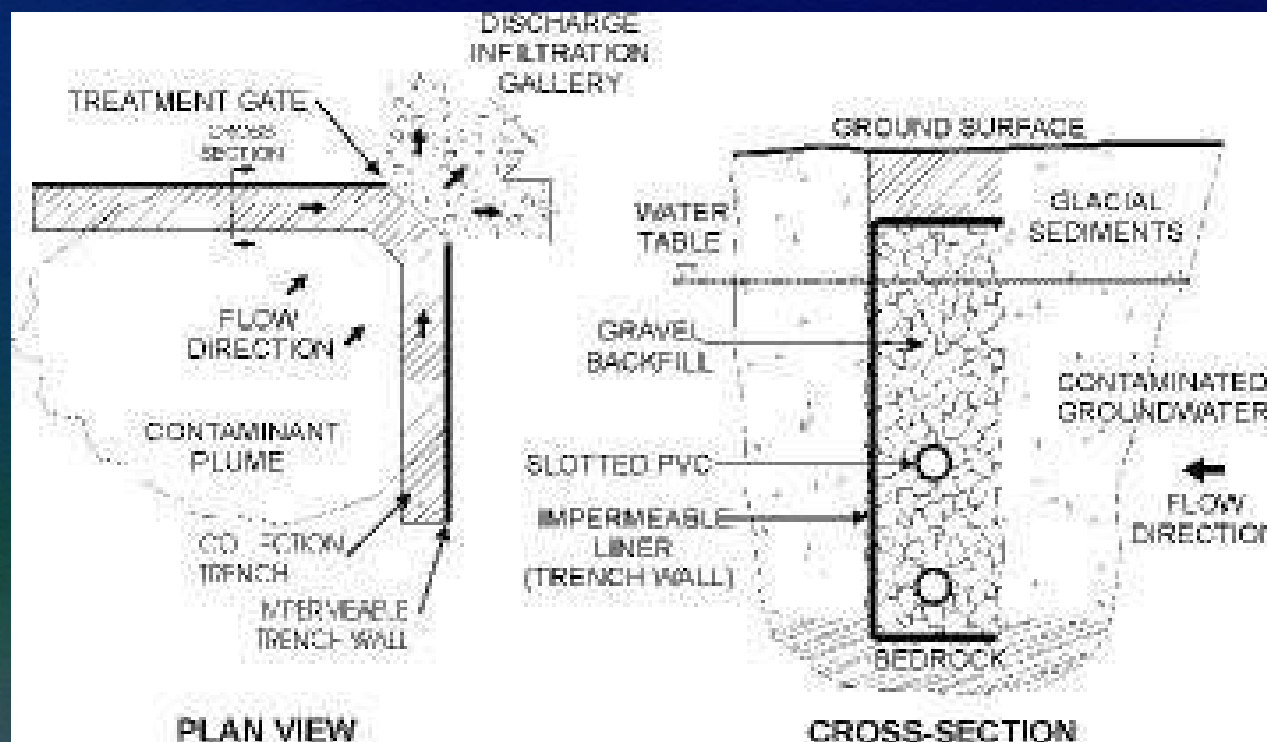


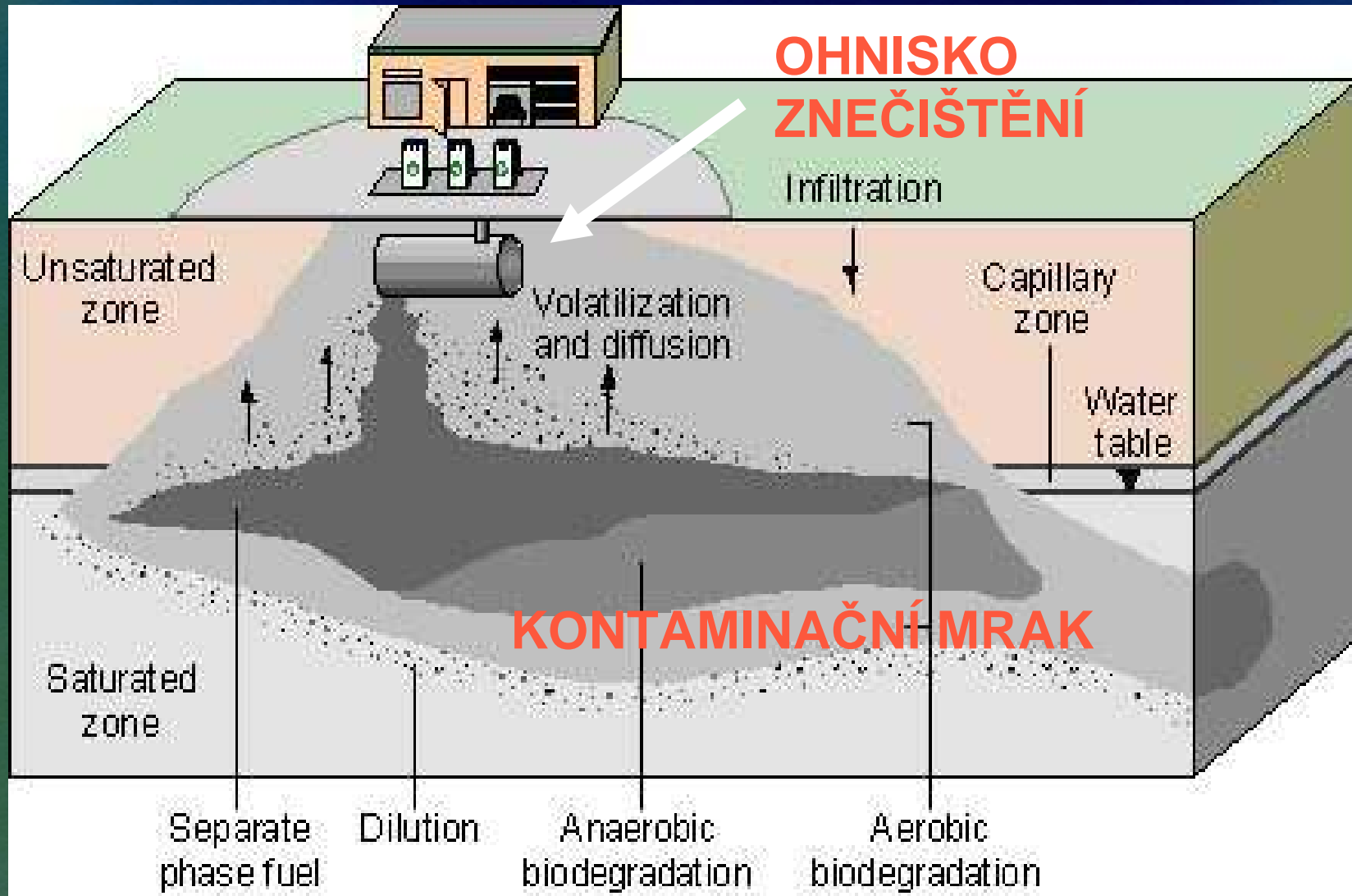
Figure 1b. Plume capture by a continuous trench system. The plume moves unimpeded through the reactive gate.

ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- REAKTIVNÍ BARIÉRY - VÝSTAVBA

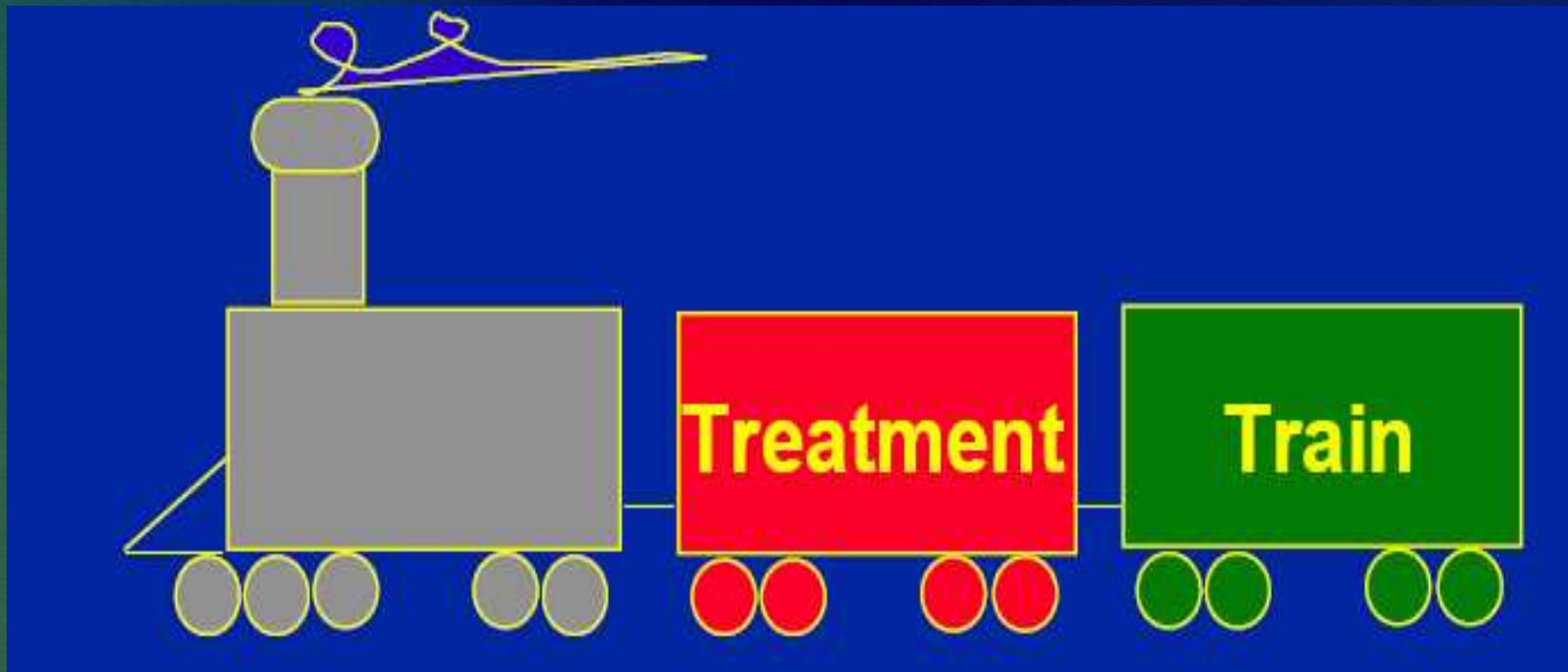


STRATEGIE SANACE



ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ


- INTEGROVANÉ TECHNOLOGIE



ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- INTEGROVANÉ TECHNOLOGIE
FILOSOFIE INTEGRACE

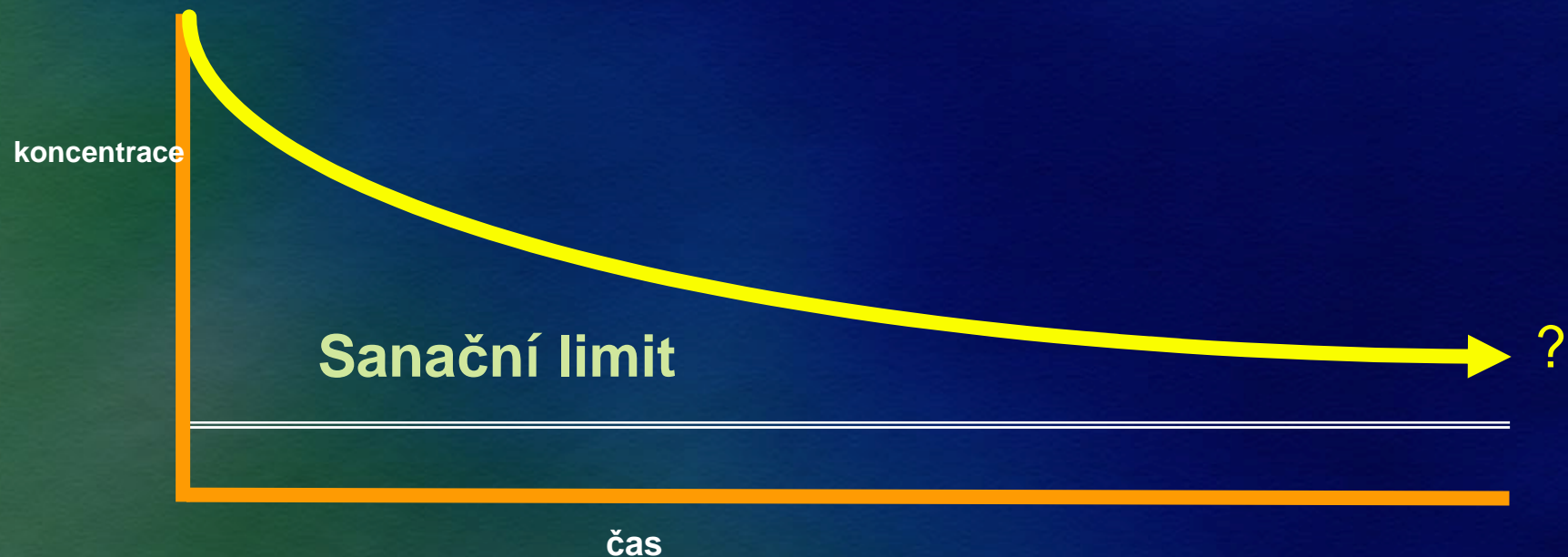
Počátek sanace – vysoké koncentrace polutantu 

 vybírají se technologie vhodné k odstraňování vysokých koncentrací polutantů (odsávání volné fáze s hladiny podzemní vody, sanační čerpání – většinou fyzikální metody.

Po poklesu koncentrace polutantů ztrácejí fyzikální technologie účinnost a zařazují se nové technologie vhodné pro dočištění (biologické dočištění, podporovaná atenuace, chemická oxidace)

PROČ INTEGRACE SANAČNÍCH METOD?

- V 80. letech minulého století se předpokládalo, že sanační čerpání s úpravou vody vyřeší veškeré problémy s kontaminací horninového prostředí
- Ale po několika letech přišly špatné zprávy:



ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- INTEGROVANÉ TECHNOLOGIE

Každá ze sanačních technologií je samostatně (a rozumně) použitelná jen za určitých podmínek:

koncentrace polutantů

druh polutantů

rozpusťnost polutantu ve vodě

specifická hmotnost polutantu (vyšší než

voda – DNAPL, nižší než voda – LNAPL)



*Většinou se však nedosáhne
sanačního limitu*

ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- INTEGROVANÉ TECHNOLOGIE
- Sanační technologie řazené sekvenčně (například sanační čerpání – stripping – filtrace na aktivním uhlí, či chemická oxidace – biologické dočištění), po ukončení využívání jedné technologie se začne využívat jiná
- Sanační technologie řazené paralelně (bioventing nebo venting a odporový ohřev, vymytí povrchově aktivní látkou a biologické čištění) – souběžně se využívají dvě nebo více technologií

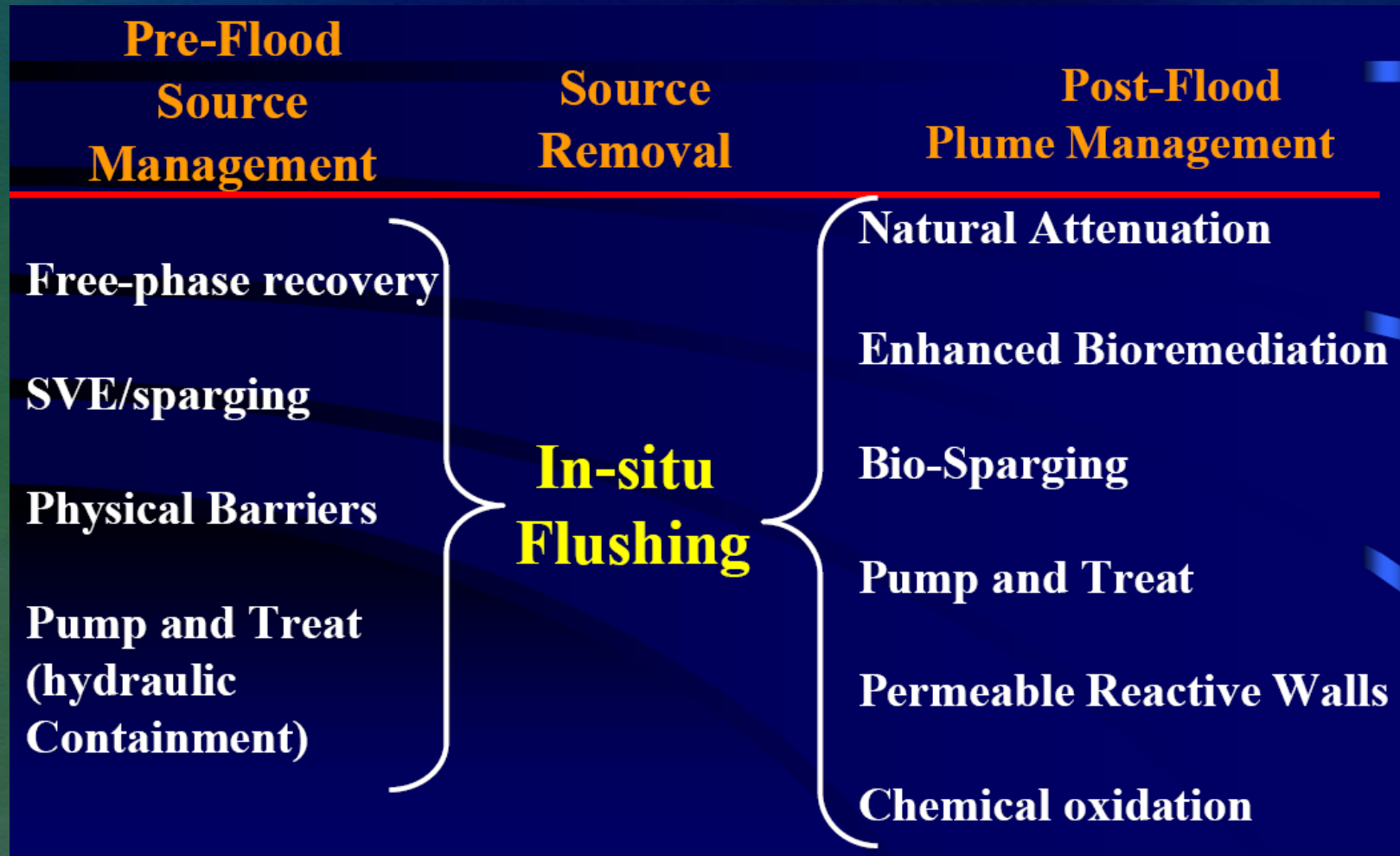
ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- INTEGROVANÉ TECHNOLOGIE
- Zvýšení účinnosti sanace
- Zkrácení doby pro dosažení limitů
- Dosažení limitů
- Snížení nákladů na sanaci
- Překonání „neřešitelných“ situací



ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

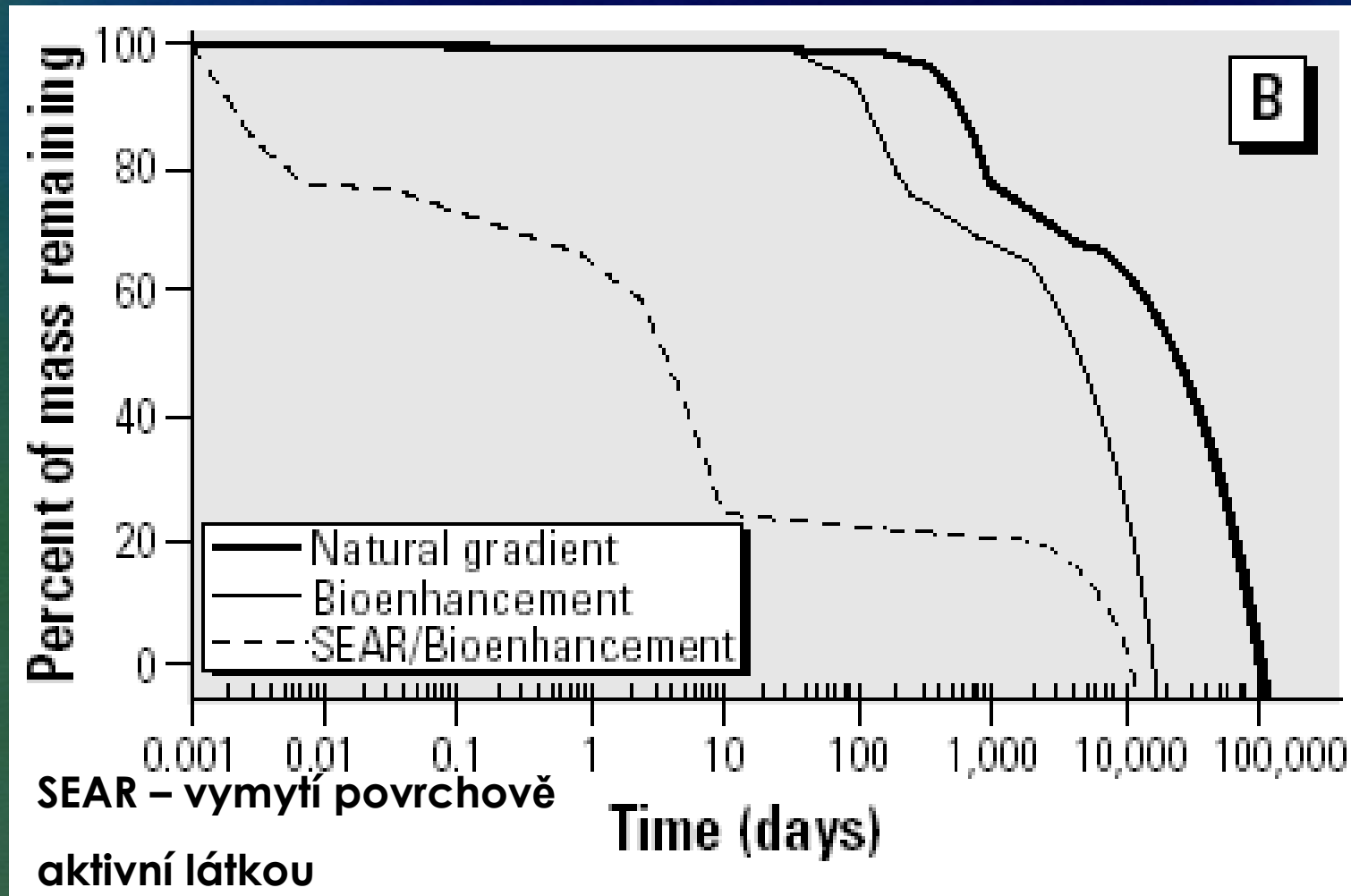
- INTEGROVANÉ TECHNOLOGIE – CO LZE KOMBINOVAT?



ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

- INTEGROVANÉ TECHNOLOGIE – CO LZE KOMBINOVAT?
1. Sanační čerpání – vymytí neionogenní povrchově aktivní látkou – air sparging – biologické dočištění (podpora přirozené atenuace)
 2. Chemická oxidace *in situ* – biologické dočištění
 3. Sanační čerpání – ohřev – venting
 4. Odstranění ohniska (odtěžení, chemická oxidace,...), přirozená atenuace, podporovaná atenuace

ZÁKLADNÍ PRINCIPY SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍ



OTÁZKY ?



**DĚKUJI
VÁM ZA**



POZORNOST !!