

Centrum environmentálního výzkumu:
Odpadové a oběhové hospodářství
a environmentální bezpečnost



Workshop
**DEKONTAMINAČNÍ
TECHNOLOGIE**
Stávající možnosti a metody
v oblasti sanací
kontaminovaných míst

23. 1. 2025, Ústav pro životní prostředí, PřF UK



T A
Č R

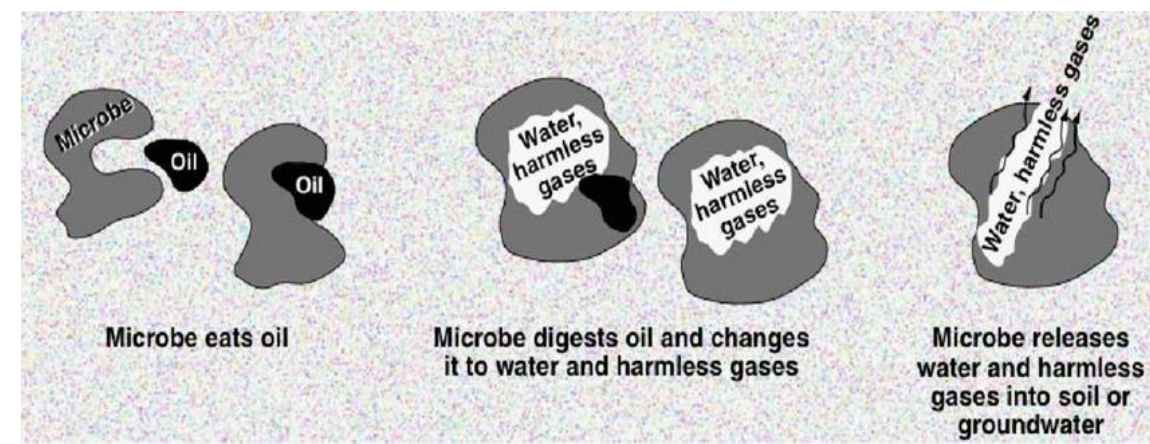
Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Bioremediace v praxi

Petra Najmanová
DEKONTA, a.s.

Princip bioremediace

- **Biodegradace** – založeno na schopnosti mikroorganismů využívat organické kontaminanty (zejména ropné uhlovodíky) jako zdroj E a C a postupně je rozkládat až na neškodné konečné produkty, tj. voda a oxid uhličitý
- Lze využít pro čištění odpadních vod, podzemních vod, zemin, kalů a dalších odpadů; **nevznikají nové odpady a nedochází k přesunu znečištění**
- **Biodegradovatelné kontaminanty**
 - ropné znečištění (C_{10} - C_{40} , NEL), BTEX, PAU, fenoly
- **Biologický činitel**
 - bakterie, kvasinky, houby, plísně

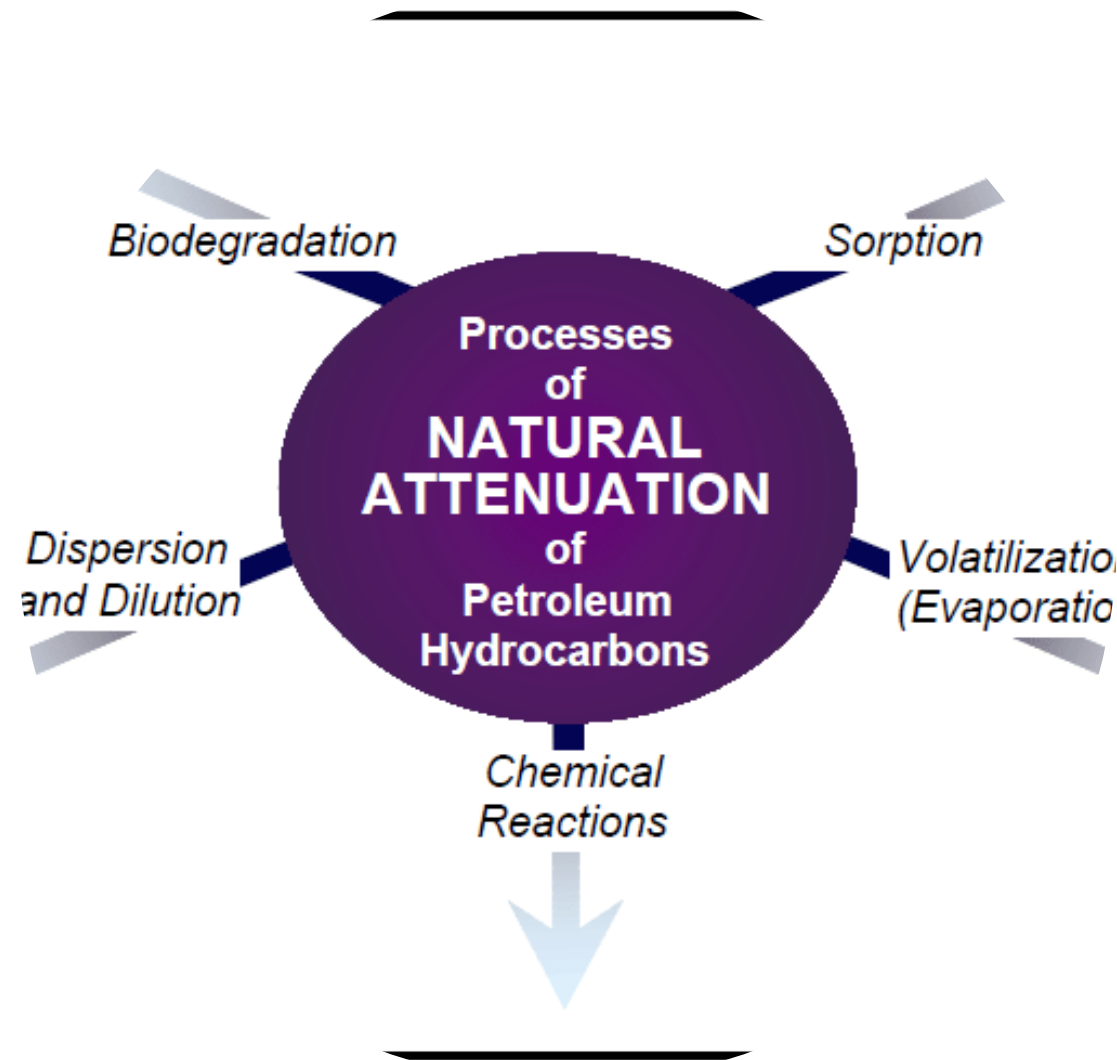


Přirozená atenuace

- proces přirozené transformace kontaminantů na méně škodlivé látky

Velmi pomalý proces vzhledem k:

- Absenci specifické mikroflóry schopné rozkladu organických látek
- Nízké rozpustnost polutantů
- Nehomogenní distribuci znečištění
- Nedostatku kyslíku a nutrientů (N,P)



Základní podmínky aerobní biodegradace

Řízený proces – nutné zajištění optimálních podmínek pro průběh biologického odbourávání

- Aerobní proces (přísun kyslíku)
- Optimální teplota (20 – 35 °C)
- Optimální vlhkost materiálu (12 – 30 %)
- Optimální pH (6 – 8)
- Nutrienty (C:N:P = 100:10:1)



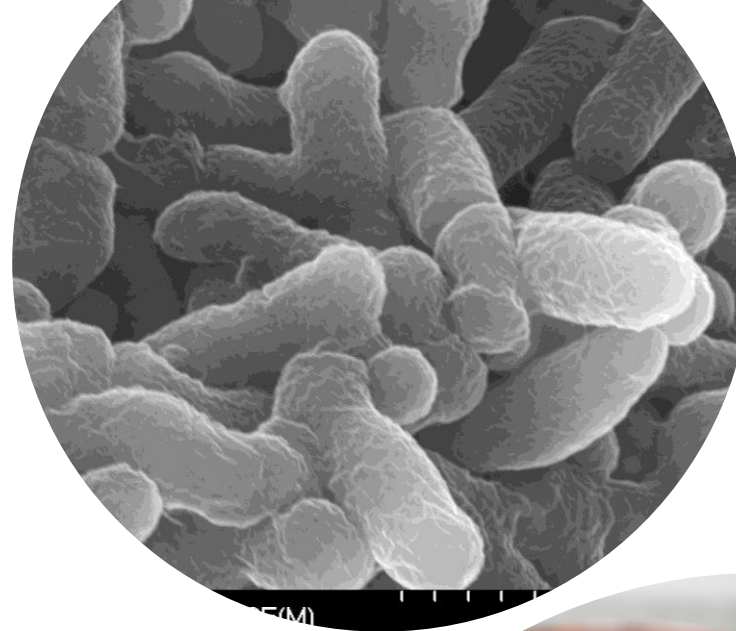
Biostimulace & Bioaugmentace



Biostimulace – podpora autochtonních MO
(přídavek makrobiotických prvků, provzdušňování,
přídavek surfaktantů, ORC)

Bioaugmentace - vnášení bakteriálních kmenů s
vysokou biodegradační aktivitou do sanovaného
materiálu

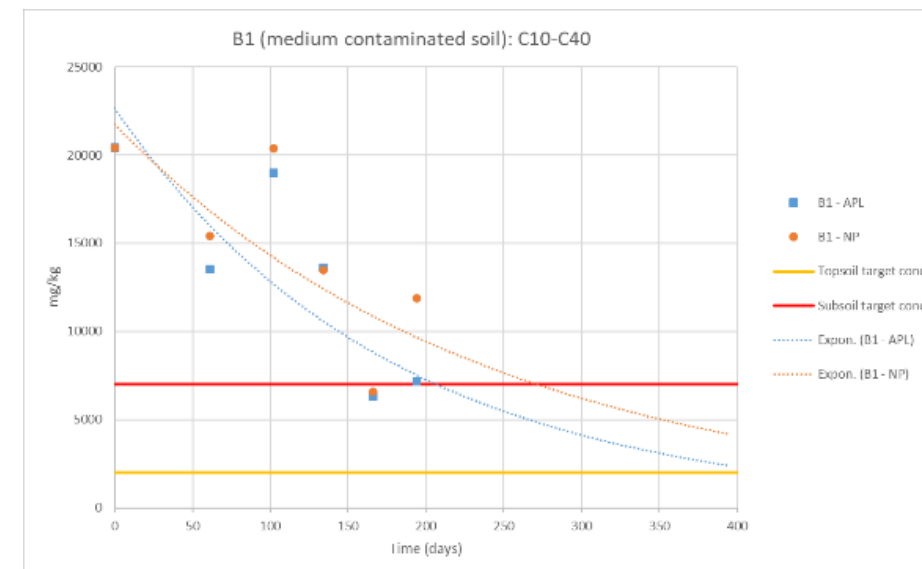
- vysoká enzymatická aktivita
- netoxické, nepatogenní, ne GMO
- kompetice s přirozenou mikroflórou
- bioaugmentace nemusí být vždy nejlepším řešením



Doba biologického čištění

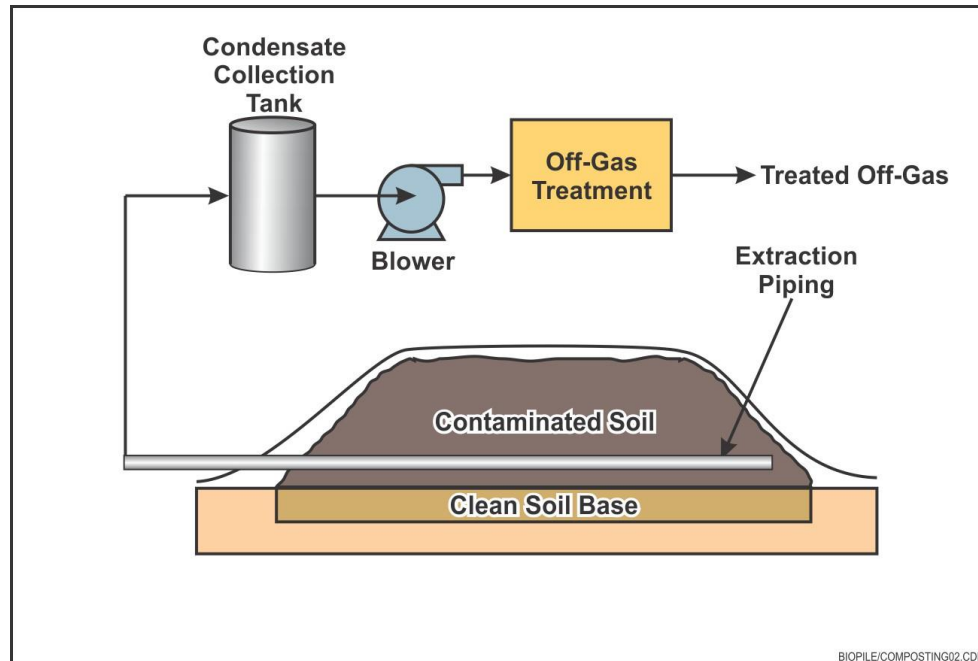
Závisí na mnoha faktorech

- Vstupní koncentrace kontaminantu; sanační limit
- Charakter kontaminace (C10-C40, PAU, BTEX)
- Typ zeminy (jíl vs. písky)
- Stáří kontaminace (sorpce polutantu na částic půdy)
- Biodostupnost
- Klimatické podmínky
- Ex-situ & In situ provedení



Ex-situ biodegradace zemin

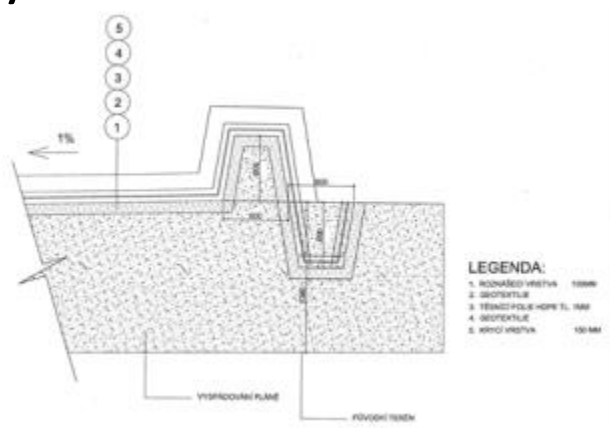
- Odtěžba zemin
- Transport na zabezpečenou plochu
- Hromady – „biopiles“ (max. 2,5 m do výšky)



Konstrukce zabezpečené plochy



- Vodohospodářsky zabezpečená plocha
- Sendvičová struktura nepropustných membrán x beton
- Odvod dešťových vod včetně jímky (možnost recyklace)
- Odvodňovací systém a ohraničení plochy



Zásady technického provedení

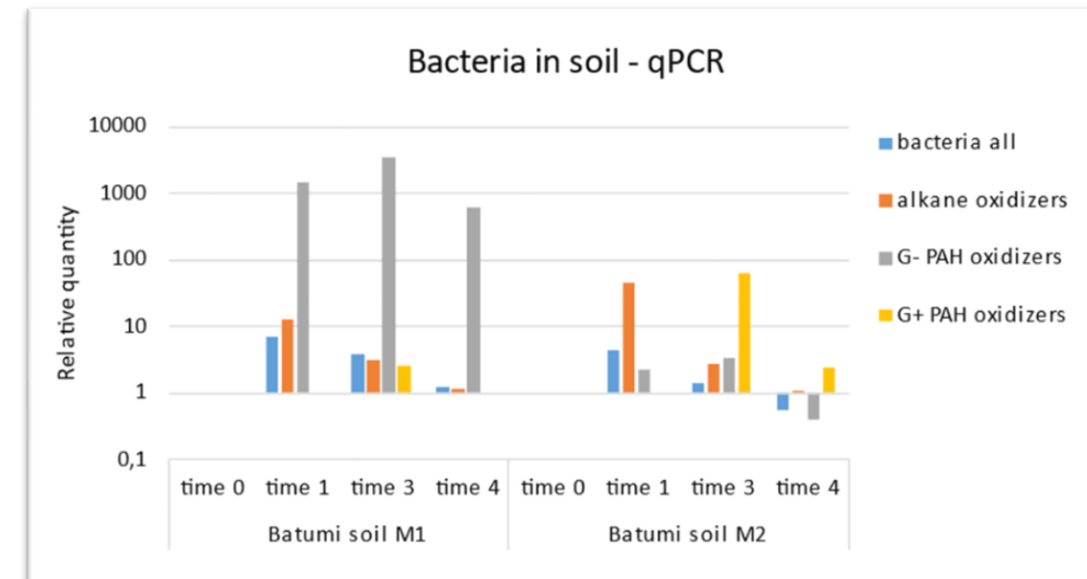
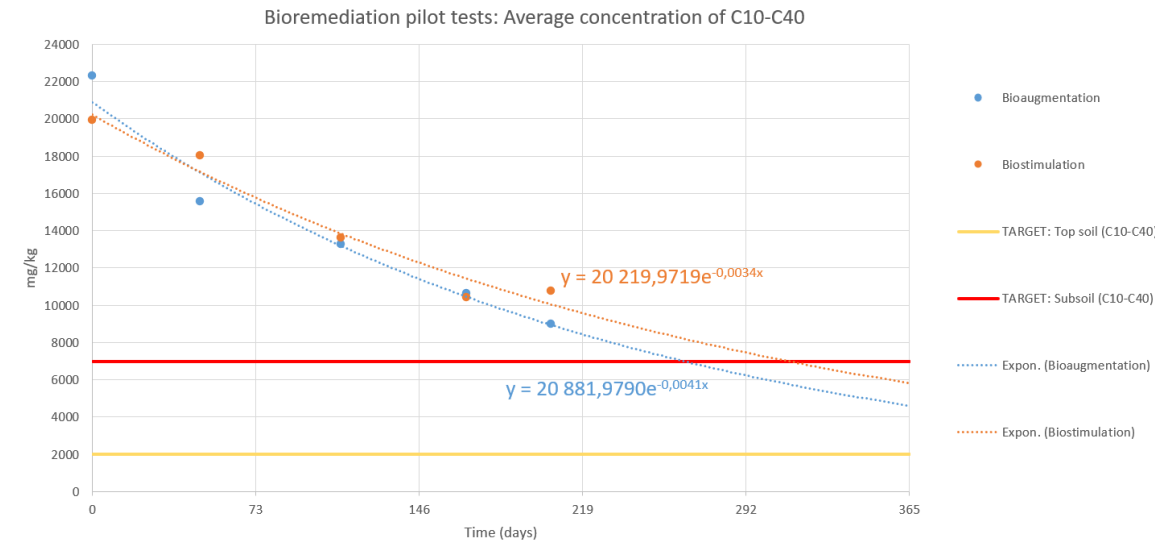
- Zajištění přítomným MO optimální podmínky pro průběh biodegradace → řízený proces
- Statické ošetření materiálu na hromadách vybavené vlhčením, dodávkou nutrientů a kyslíku vháněním vzduchu (bioventing)
- Přehazování a homogenizace materiálu s úpravou technologických parametrů (pH, živiny, vlhčení, MO) – vhodnější způsob
- Přídavek inertních materiálů pro zlepšení porozity, půdní textury (ligninocelulózové materiály)
- Biodostupnost – zpřístupnění přídavkem PAL



Monitoring účinnosti biodegradace

Probíhající biodegradační proces, jeho účinnost a rychlost lze komplexně charakterizovat prostřednictvím údajů o:

- **kontaminaci** a jejích změnách během mikrobiální degradace - složení a koncentrace polutantů, změny v molekulové hmotnosti, měnící se poměr nepolárních a polárních látek, výskyt mastných kyselin aj.
- **mikrobiálním pozadí** biodegradace - množství všech přítomných mikrobů (bakterie, mikroskopické houby), přítomnost a množství specifických degradačních kmenů, příp. výskyt patogenních bakterií; **molekulární analýzy**
- intenzitě biodegradačního procesu na základě údajů o mikrobiálním metabolismu - **respirometrické testy** (produkce CO_2)



Monitoring biodegradačního procesu

- **ekotoxicitě** a jejích změnách v průběhu biodegradace pro detailnější popis osudu kontaminantu a jeho komplexní působení na složky ŽP
- **parametrech prostředí** - koncentrace iontů nezbytných pro metabolismus mikroorganismů (především dusičnany, fosforečnany), hodnota pH, vlhkost, koncentrace rozpuštěného kyslíku apod.



Sanace bývalého vojenského letiště - TRIANGLE Žatec



- Doba: 08/2003 – 02/2014
- Množství: 184 000 t (ex-situ, on-site); 157 000 t (in-situ)
- Kontaminace: kerosin
- Sanace zeminy i PV založena na biodegradaci; area 300 000 m²



Sanace bývalého vojenského letiště - TRIANGLE Žatec



- Průzkum, odtěžba, demolice
- on-site biodegradace zemin, in-situ biodegradace PV

Sanační limity:

- Nesaturovaná zóna: 2,000 mg/kg
- PV: 4 mg/l; odstranění fáze



Sanace bývalého vojenského letiště - TRIANGLE

Žatec



- Kontaminovaná zemina odtěžena a převezena na odletovou plochu – provizorní biodegradační plocha, on-site biodegradace, poté zpětný zásyp

Optimalizace procesu:

- **Různý charakter zemin** (geologické vlastnosti, výše kontaminace)
- **Rozděleno do 20 sektorů** – na základě výše kontaminace
- Doba sanace 4-8 měsíců
- Absolutní množství odstraněné kontaminace **411 t** kerosinu
- Dnes – industriální zóna – automobilový průmysl



South Kuwait Excavation, Transportation and Remediation (SKETR I & II) Projects

- Doba sanace: 2021 – ongoing
- Množství: 8,5 millionů m³ (rozděleno na 8 projektů)
- Kontaminace: ropa (těžké frakce uhlovodíků)
- Zadavatel: ENSHAAT Al Sayer (hlavní zadavatel Kuwait Oil Company Kuwait Remediation Program)
- DEKONTA se podílí na 2 projektech
- Sanace zemin a písku kontaminované za války v Perském zálivu (1990-1991)
- Sanační limit – 1 % ropných uhlovodíků (HEM)



South Kuwait Excavation, Transportation and Remediation (SKETR I & II) Projects

- Zmapování kontaminace
- Odstranění nevybuchlé munice)
- Odtěžba
- Transport
- Třídění
- Ex-situ biodegradace

Zemina rozdělena podle kontaminace:

- 1-2 %, 2-5 %, 5-7 %
(bioremediation)
- 10-15 % (soil washing)



South Kuwait Excavation, Transportation and Remediation (SKETR I & II) Projects

- Laboratorní a pilotní testy na místě
- Vysoké teploty v průběhu dne vs. chladné noční teploty
- Odlišná analytika - HEM
- On-site biodegradace na ploše 1 500 x 9 000 m



Biotechnologické čištění odpadních průmyslových vod

Bioreaktory

- ropné rafinérie a petrochemický průmysl
- chemická a farmaceutická výroba
- potravinářský průmysl
- textilní průmysl
- zemědělství
- sanační projekty – čištění GW
- běžná kapacita – 5 – 20 l/s
- Stacionární, velkoobjemový, provzdušňovaný bioreaktor s kompletním vybavením (čerpadla, provzdušňovací systém, nádrž na oddělení kalu, elektrické instalace a řídicí systém).



Výhody & Omezení Biodegradace

- ☺ rozklad organických látek až na neškodné produkty; nevzniká další odpad nebo nedochází pouze k přesunu kontaminace
- ☺ využitelné pro široké spektrum organických látek
- ☺ ekonomické výhody v porovnání s jinými technologiemi
- ☺ „jednoduchá“; ověřená technologie
- ☹ nedostupnost polutantu k biologické degradaci při silné sorpci polutantů na půdní částice
- ☹ nízké teploty snižují rychlost biodegradace
- ☹ vysoké koncentrace polutantů či přítomnost inhibičních faktorů může působit na MO inhibičně
- ☹ nízké pH může vést k inhibici biodegradačního procesu

