



# ***KÖRNYEZETI ÉS MEZŐGAZDASÁGI BIOTECHNOLÓGIA***

## ***KOCKÁZATCSÖKKENTÉS - REMEDIÁCIÓ 2.***

Talajok és vizek kármentesítése biotechnológiai módszerekkel

**2019.09.18.**

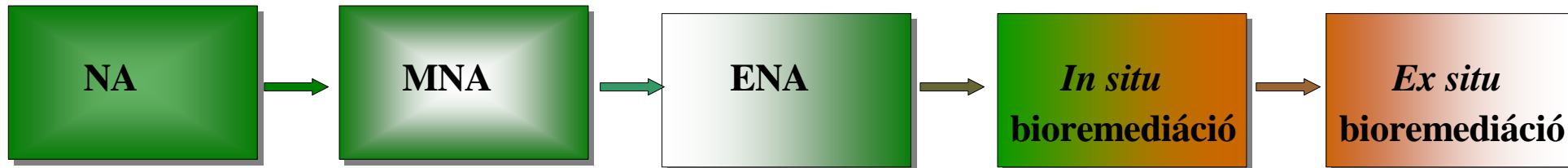
*Dr. Molnár Mónika*

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

*Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék*

# A szennyezett talajok kezelésére alkalmazott módszerek – osztályozás biológiai technológiák esetében

## A természetes folyamatok mérnöki alkalmazásának fokozatai szennyezett talaj remediálásában

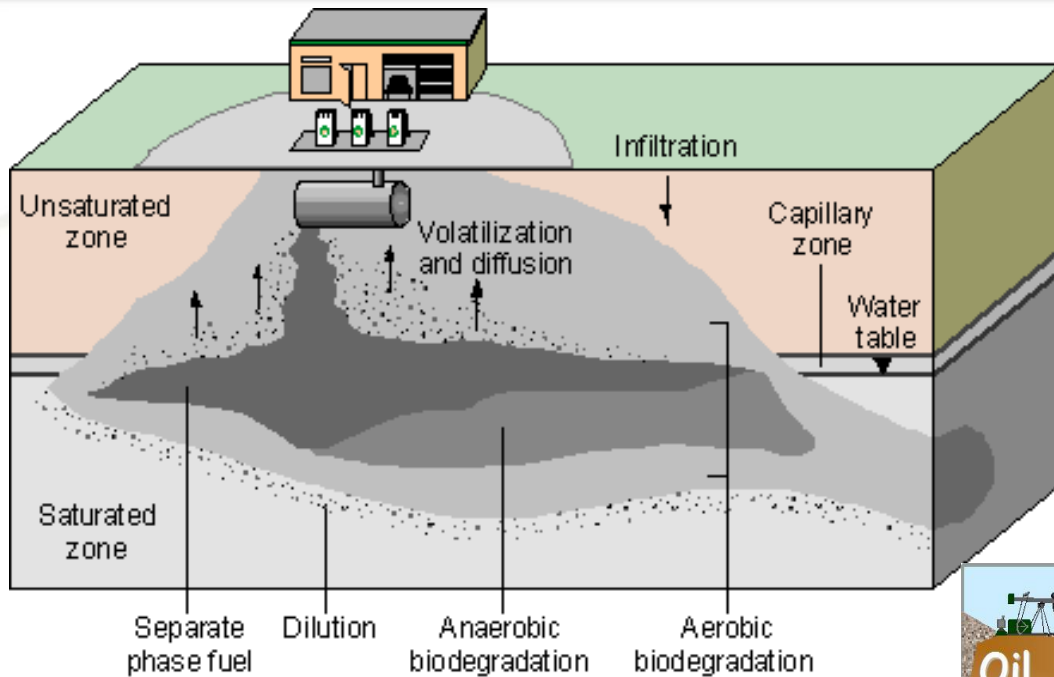


**NA:** Natural Attenuation – természetes szennyezőanyag-csökkenés

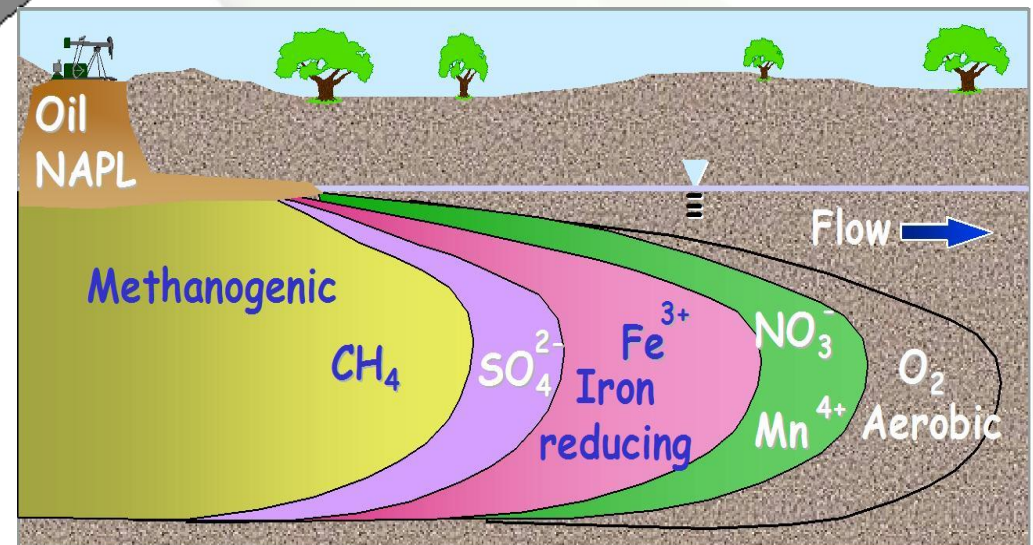
**MNA:** Monitored Natural Attenuation – monitorozott természetes szennyezőanyag-csökkenés

**ENA:** Enhanced Natural Attenuation – gyorsított természetes szennyezőanyag-csökkenés

# NATURAL ATTENUATION

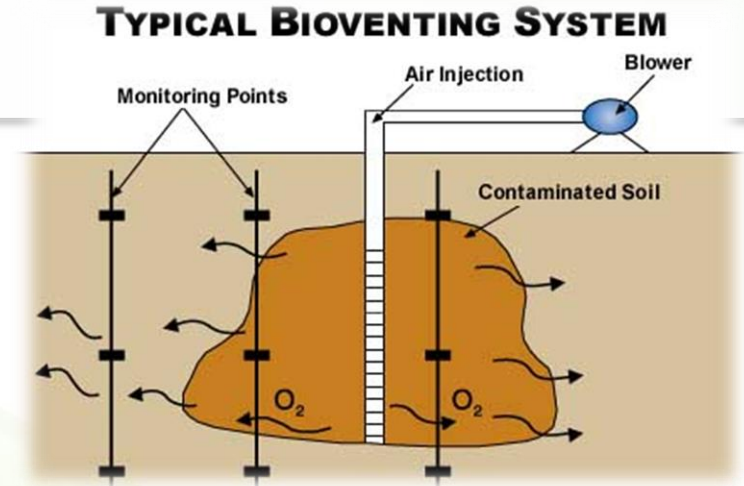


<https://toxics.usgs.gov/pubs/eos-v82-n5-2001-natural/>

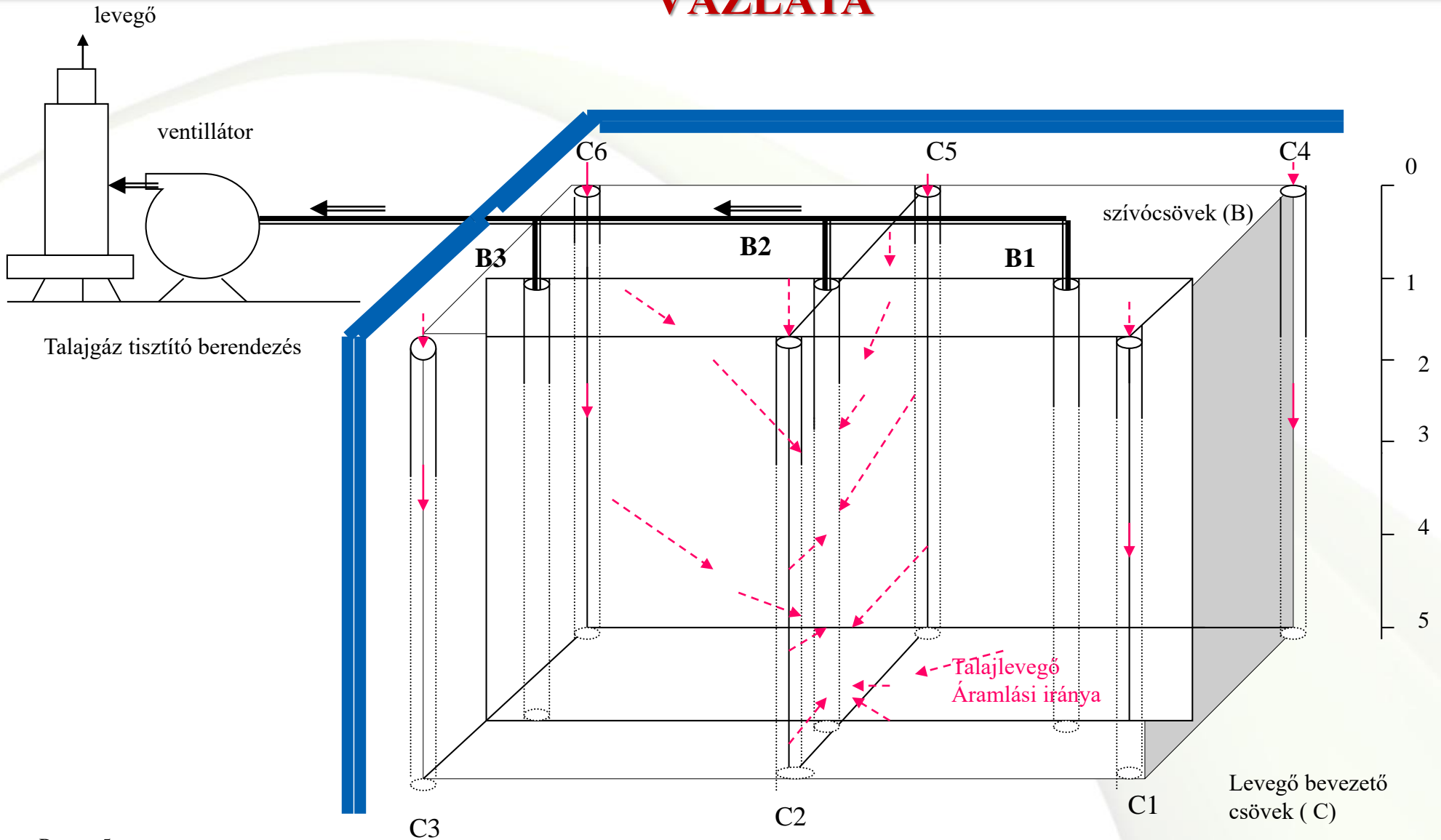


# BIOVENTILLÁCIÓ

- *In situ (De!)*
- Oxigén bejuttatása
- Ventilátoros átszellőztetés. Cél?
- Levegőztető kutak: 5-100 mm átmérőjű, perforált műanyag bélésűvel ellátott kutak (lyukak mérete 0,5-0,75 mm)
- Elhelyezés, sűrűség
- Enyhe elszívás jobb, mint a nyomással történő légbefúvás
- Kombinált kutak - adalékanyag is bejuttatható
- Megoldási lehetőségek: szívott kútsor + passzív kútsor



# IN SITU BIOVENTILLÁCIÓS TALAJTISZTÍTÁSI TECHNOLÓGIA VÁZLATA



# BIOVENTILLACIÓ

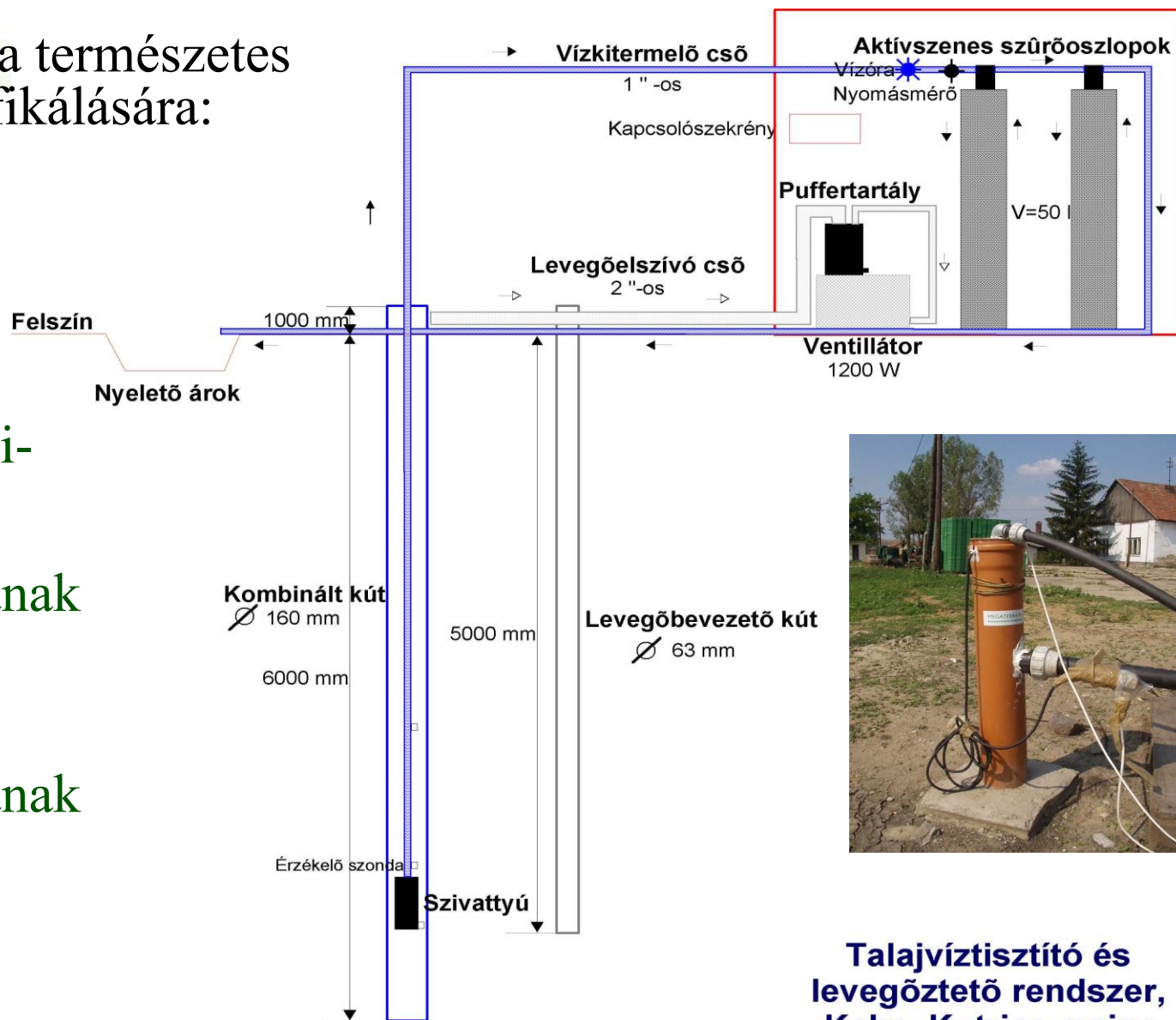
<http://freeassociationdesign.wordpress.com/tag/remediation/>



# BIOVENTILLÁCIÓ TÁPANYAGPÓTLÁSSAL

Technológia-együttes a természetes biodegradáció intenzifikálására:

- Felúszó olajréteg eltávolítása
- Talajvíz *ex situ* fizikai-kémiai kezelése
- Talaj telítetlen zónájának **bioventillációja**, tápanyagpótlással
- Talaj telítetlen zónájának időszakos átmosása

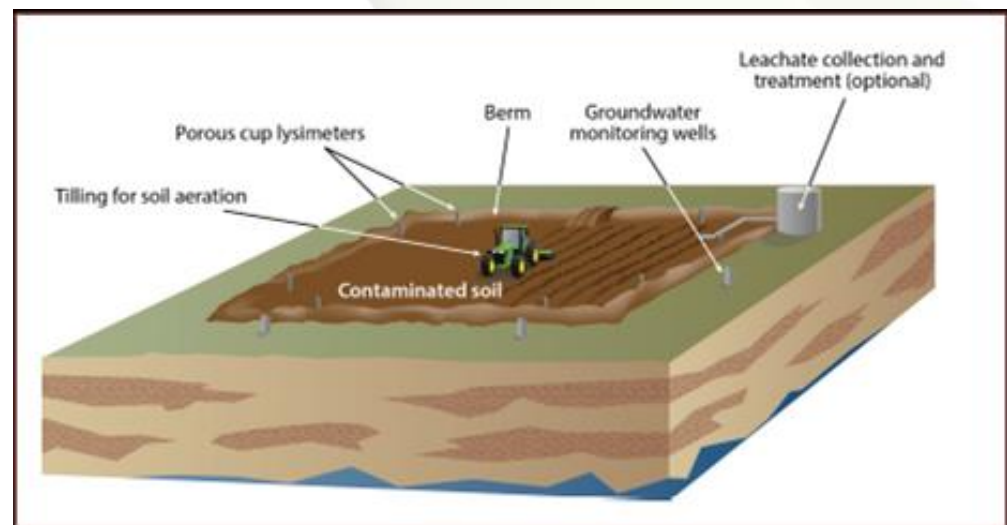


Talajvíztisztító és  
levegőztető rendszer,  
Kaba, Kutrica major

# TALAJKEZELÉS AGROTECHNIKAI MÓDSZEREKKEL - LANDFARMING

- *Ex situ*
- A szennyezett talaj → 0,5–0,8 m rétegvastagságban vízzáró (agyag, beton, geofólia) rétegre → mezőgazdasági gépek
- Mikrobiológiai bontás
- Optimális körülmények biztosítása mezőgazdasági gépekkel
  - a talajt lazítják, felületét boronálják, nedvesítik, adalékanyagokkal látják el.
- Drénrendszer és csurgalékvíz elvezető rendszer

<http://www.oil-gasportal.com/remediation-of-hydrocarbon-contaminated-soils/>





# „LANDFARMING”



[http://www.ftbraggmillsite.com/fortbraggmillsite/images/land\\_farm\\_2\\_lg.jpg](http://www.ftbraggmillsite.com/fortbraggmillsite/images/land_farm_2_lg.jpg)



[http://www.desleronline.com/html/english/hazardous\\_waste/landfarming.html](http://www.desleronline.com/html/english/hazardous_waste/landfarming.html)



[http://www.ftbraggmillsite.com/fortbraggmillsite/images/land\\_farm\\_1\\_lg.jpg](http://www.ftbraggmillsite.com/fortbraggmillsite/images/land_farm_1_lg.jpg)

- Nagy mennyiségű talaj kezelésére,
- Relatív alacsony költségek
- Nagy a siker valószínűsége (?)
- Napjainkban már kevésbé elfogadott
- **Illékony alkotók.**
- **Maradék nehezen bontható..**

# HÁROMFÁZISÚ TALAJ PRIZMÁS KEZELÉSE

- *Ex situ*
- Csurgalék elvezető rendszer, vízzáró szilárd felület (Komposztprizmák)
- 1,5–2,0 méter magas, "végtelenített" vagy véges hosszúságú prizmák.
- A nedvességtartalmat, pH-t, hőmérsékletet, oxigén- és tápanyagellátást kontrollálják. + lazító anyagok (faforgács)
- Prizmás elrendezés → biológiai kioldásra (pl. bioleaching)



- Dr Russell Thomas, Parsons Brinckerhoff: Bioremediation and Bionanotechnology



# HÁROMFÁZISÚ TALAJ PRIZMÁS KEZELÉSE



Kevert vagy statikus prizmák.

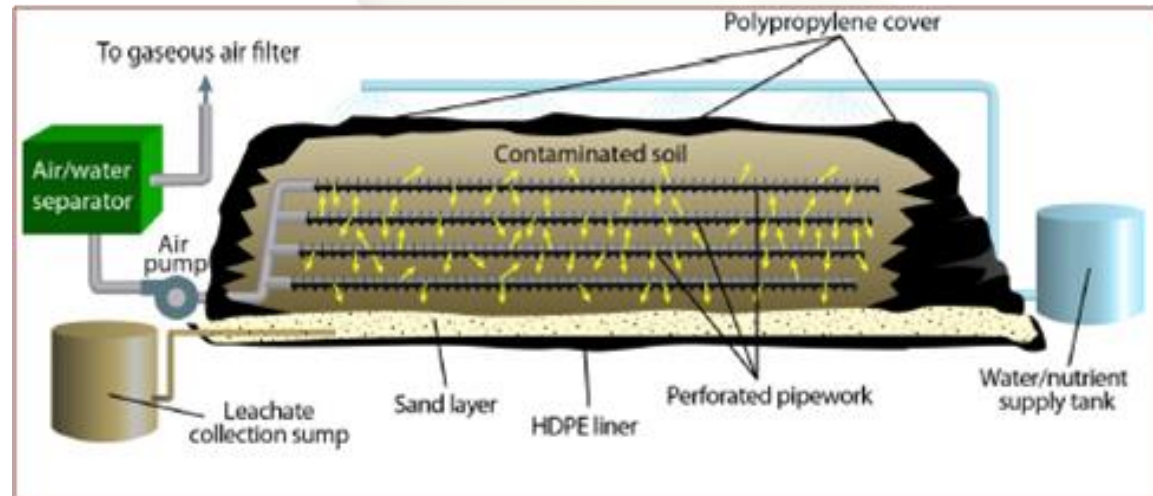
- A kevert prizmák → kisebb magasságú → áthalmozás (lapátolás, forgatás markológépekkel, stb.)

- Statikus prizmák: perforált csőrendszerek → a levegőztetés, az oldott tápanyag bejuttatás és a csurgalékvíz-elvezetés megoldására.

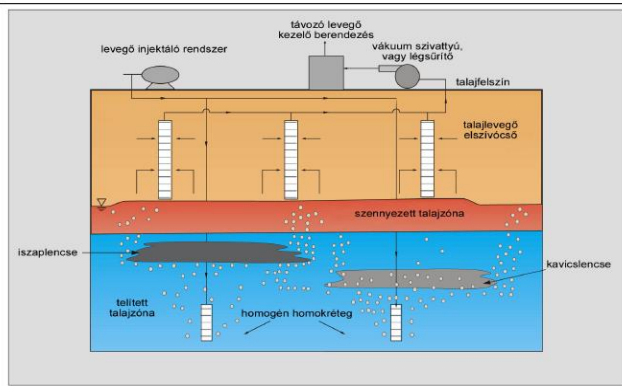
[http://www.layfielddenvironmental.com/Content\\_Files/Images/Application/remediation.jpg](http://www.layfielddenvironmental.com/Content_Files/Images/Application/remediation.jpg)

**Bioágy**

**Landfarming vagy prizmás kezelés?**



# LEVEGŐ BEKEVERÉS / BIOSPARGING

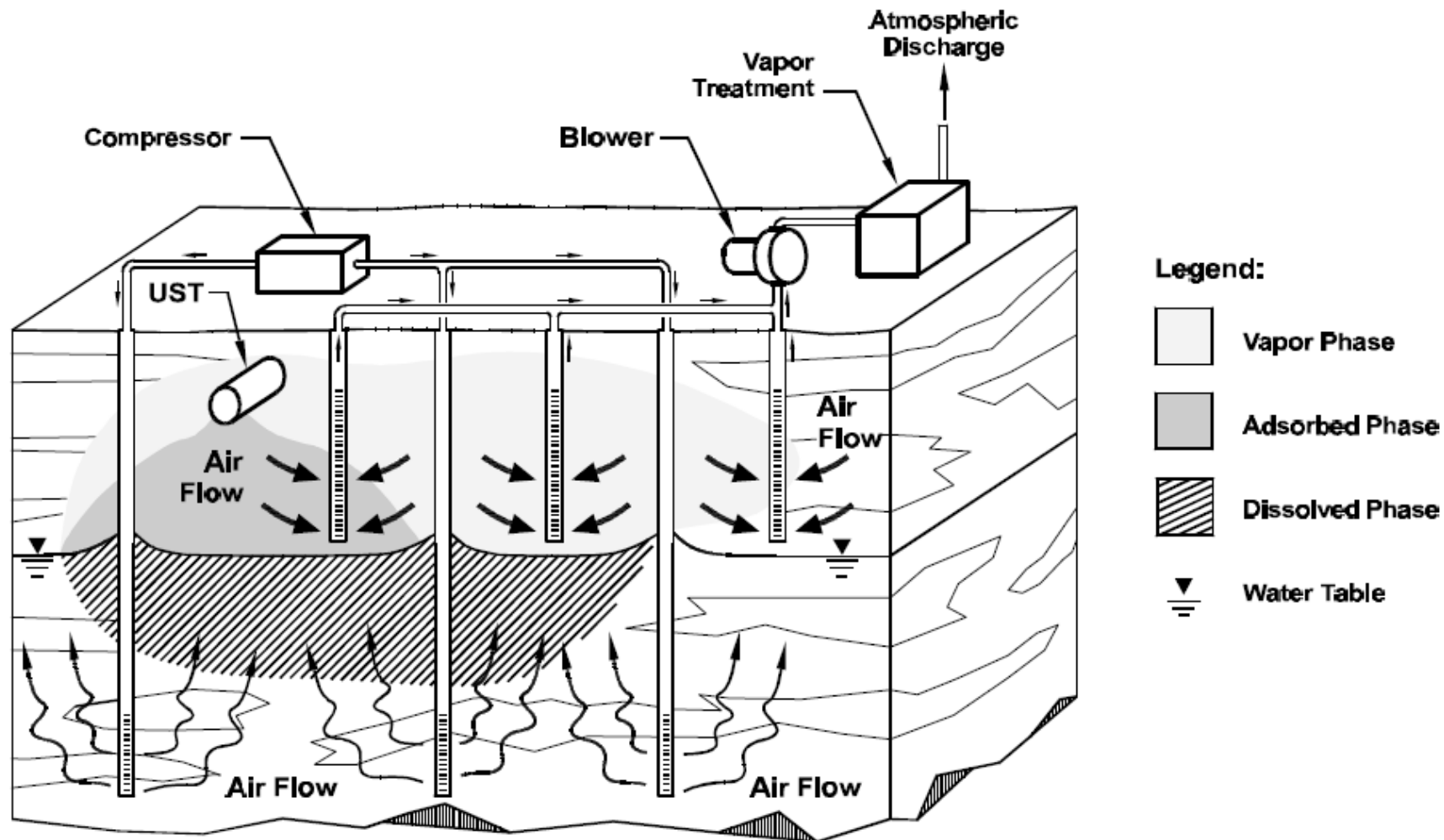


Anton, A. (2010) Kármentesítési kézikönyv 5. Bioremediáció: mikrobiológiai kármentesítési eljárások. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium

\*Kigőzölésen, illetve kihajtáson alapuló környezetvédelmi technológia, melyet illékony, vagy vízgőzzel illó szerves szennyezőanyagok eltávolítására alkalmaznak ipari szennyvizek, szennyezett felszíni és felszín alatti vizek kezelésekor

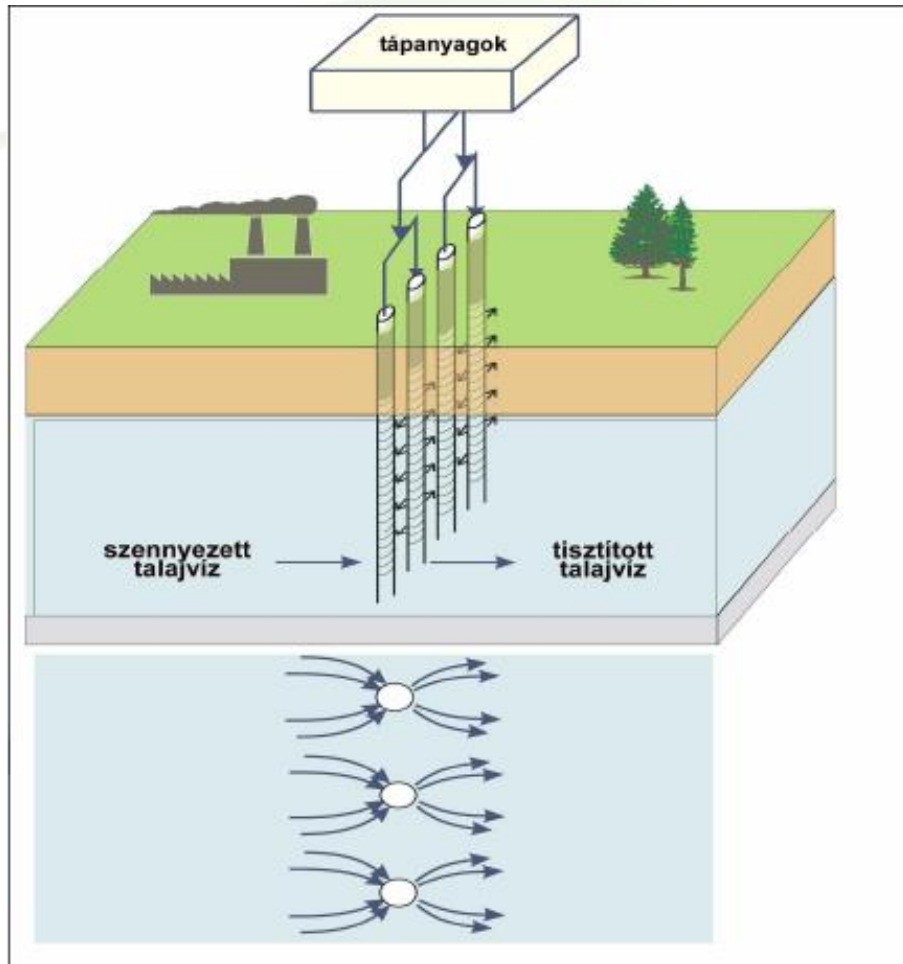
- Atmoszférikus levegő befúvatása a víztartó rétegbe
- *In situ*
- Vízrel telített talaj / talajvíz
- Injektálás → kicsiny, szerteágazó csatornákból álló kúpalakú zóna → a talaj megfelelő zónájába
- Befúvási nyomás
- + adalékanyagok bevitele (injektáló kutak)
- Hatások
  - Szennyezőanyagok deszorpciója
  - Mikrobiológiai bontás
  - Sztrippelés\*

Exhibit VIII-1  
Biosparging System (Used With Soil Vapor Extraction)



US EPA (2017) How To Evaluate Alternative Cleanup Technologies For Underground Storage Tank Sites - A Guide For Corrective Action Plan Reviewers. EPA 510-B-17-003

# IN SITU REAKTÍV ZÓNA



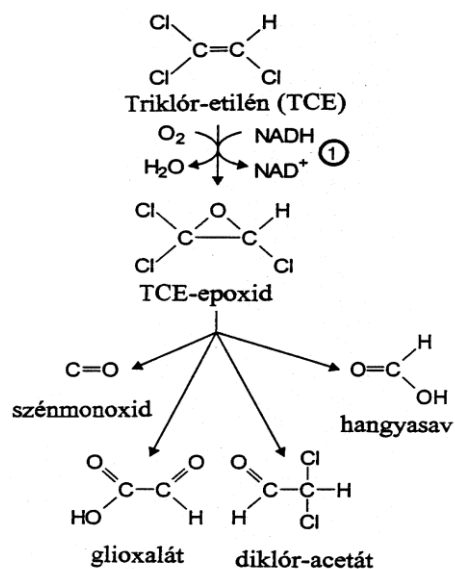
- A szennyező-csóván belül (csóva keresztmetszetben), vagy a szennyezőforrásnál egymáshoz közel elhelyezett talajvíz kutak.
- Nem klórozott szennyezőanyag - elektron akceptorok (pl.  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{NO}_3^-$ )
- ORC vegyületek  $\rightarrow \text{MgO}_2$
- Klórozott szennyezőanyag - elektron donorok (pl. laktátmelasz)



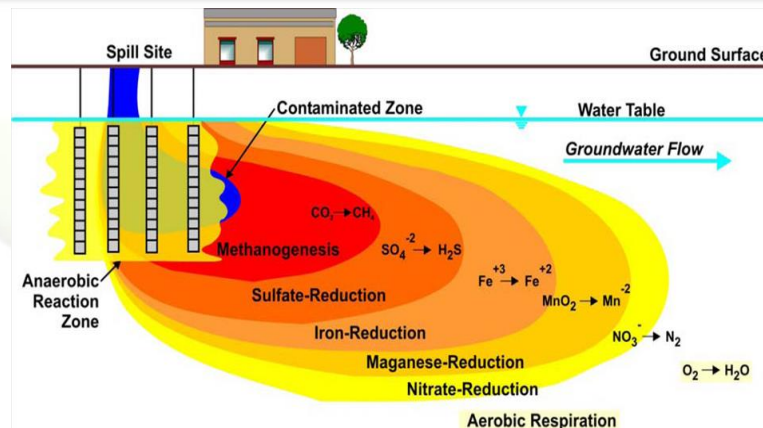
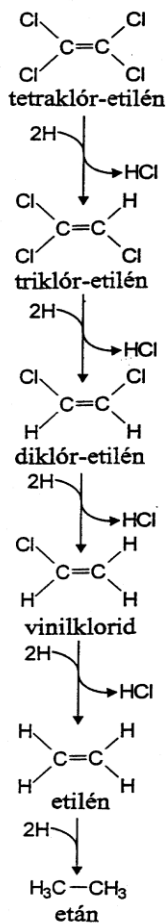
Anton, A. (2010) Kármentesítési kézikönyv 5. Bioremediáció: mikrobiológiai kármentesítési eljárások. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium

# KÉTZÓNÁS ANAEROB/AEROB BIOREMEDIÁCIÓ

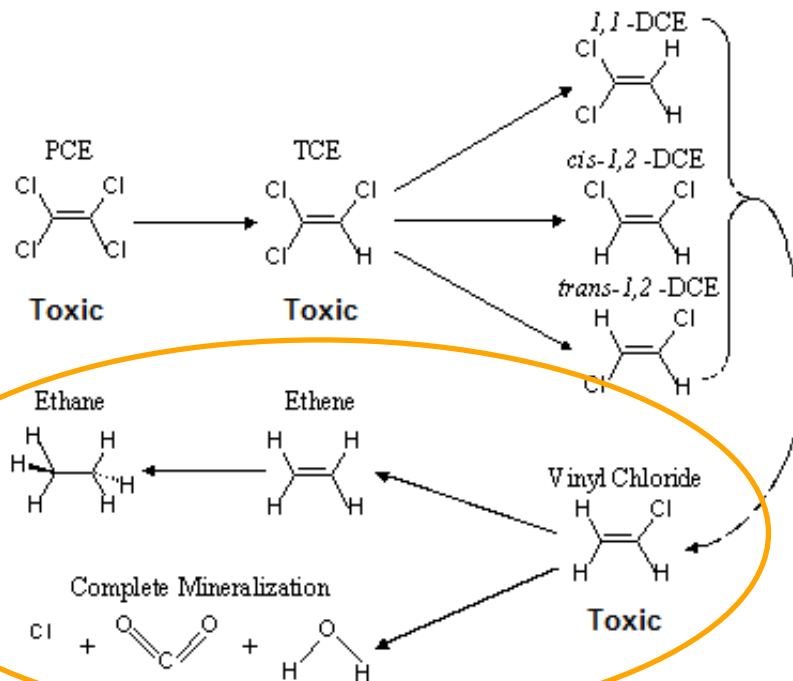
AEROB



ANAEROB



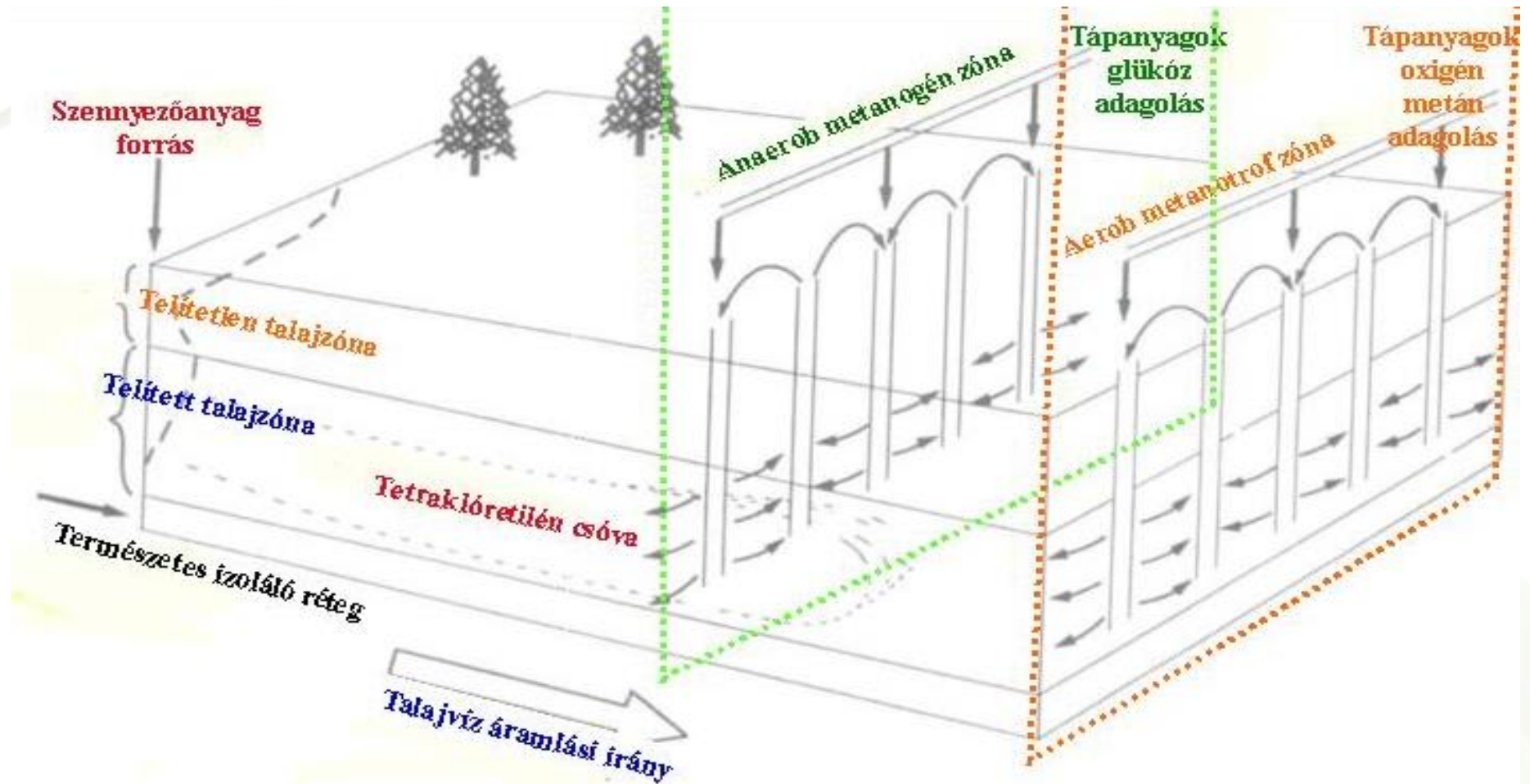
[http://clu-in.org/techfocus/default.focus/sec/Bioremediation/cat/Anaerobic\\_Bioremediation\\_%28Direct%29/](http://clu-in.org/techfocus/default.focus/sec/Bioremediation/cat/Anaerobic_Bioremediation_%28Direct%29/)



■ Alifás halogénezett szénhidrogének

Page 15 ■ Kezelés telített talajzónában (?)

# KÉTZÓNÁS *IN SITU* BIOREMEDIÁCIÓ - TELÍTETT TALAJZÓNA







# **BIOREMEDIÁCIÓS ESETTANULMÁNYOK**

# Biológiai hozzáférhetőség

- Szennyezőanyag biológiai hozzáférhetősége
  - a szennyezőanyag talaj szilárd fázisa és a talajnedvesség (biofilm) közötti megoszlási hányadosa,
  - a talaj kötöttsége és szervesanyag-tartalma,
  - a talaj szénhidrogénbontó mikroflórájának bontóképessége és biotenzid termelő képessége,
  - a talaj hőmérséklete és a redoxviszonyok.

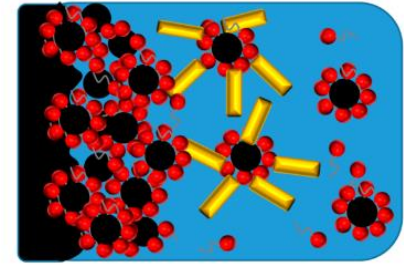
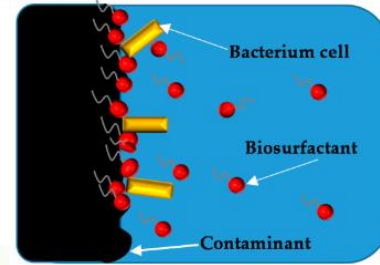


Korlátozó tényező a biodegradációban

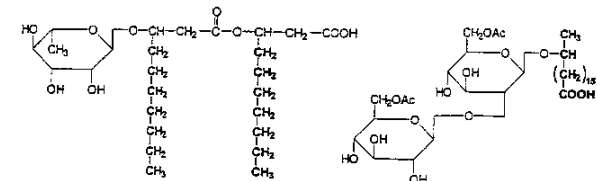
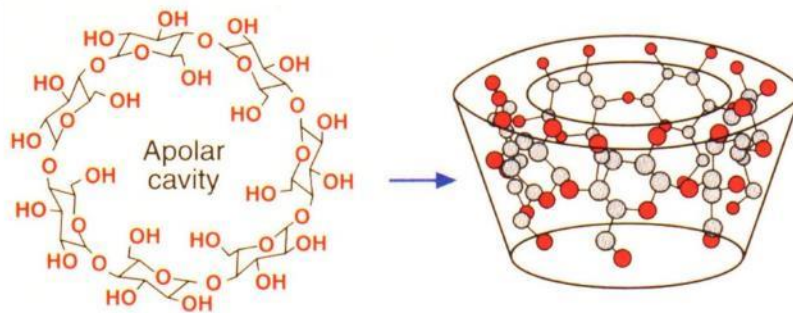
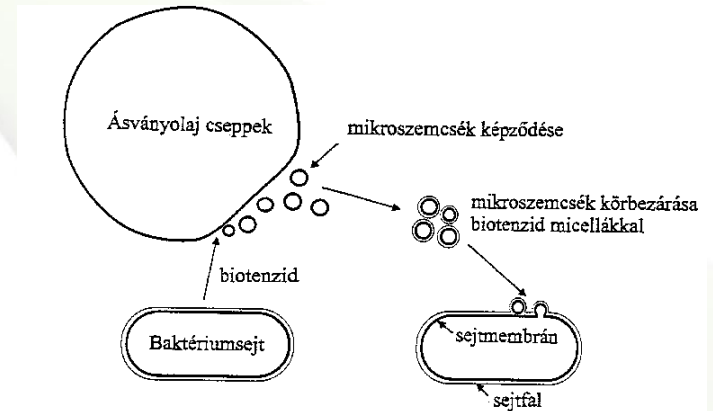
# Hozzáférhetőség növelése

## A bioremediáció gyakori korlátozó tényezője

- Hőmérséklet emelése
- Tenzidek
- Biotenzidek
- Ciklodextrinek



<http://www.mdpi.com/1422-0067/17/3/401/htm>

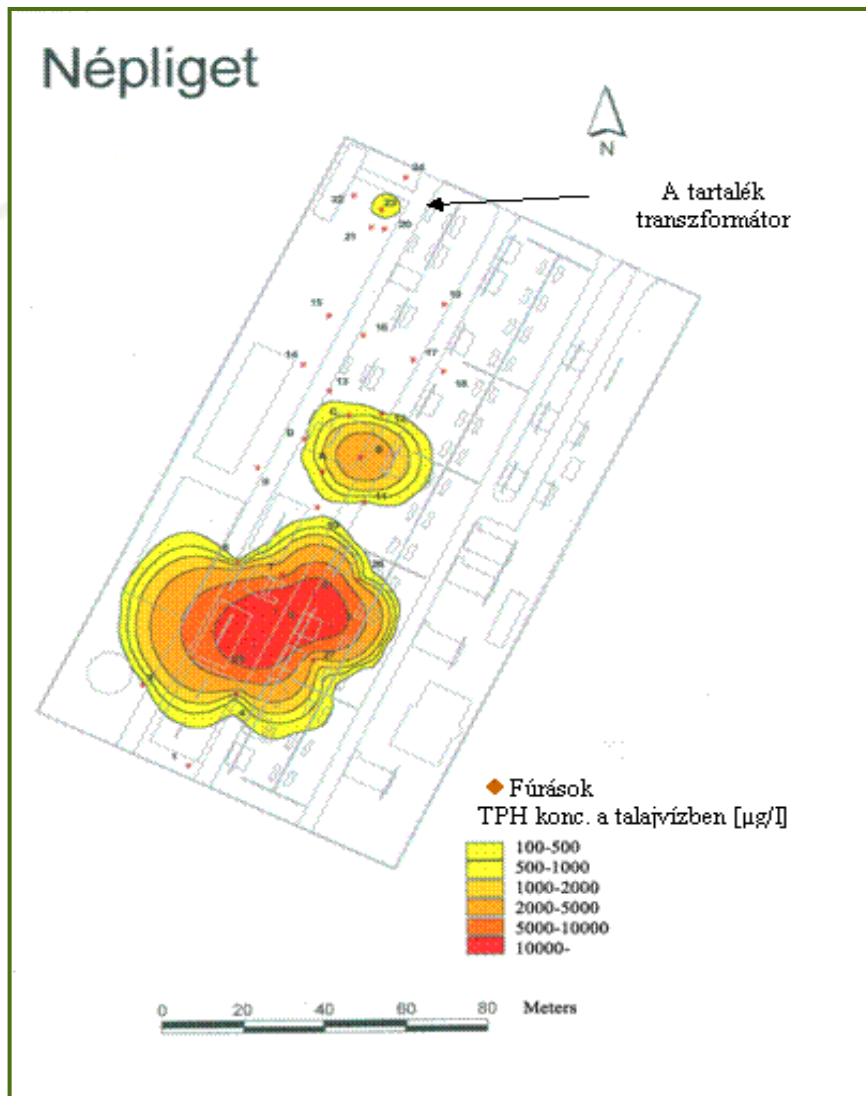


*Pseudomonas* ramnolipidje

*Torulopsis* élesztőfaj szoforolipidje

Két jellegzetes biotenzid

# CDT-A SZENNYEZETT TERÜLET - VESZÉLYFORRÁSOK



Az *in situ* bioremediáció (CDT) demonstrációja:

*Népligeti transzformátor állomás.*

A szennyezőanyag: TO40A transzformátorolaj a talajban és a talajvízben



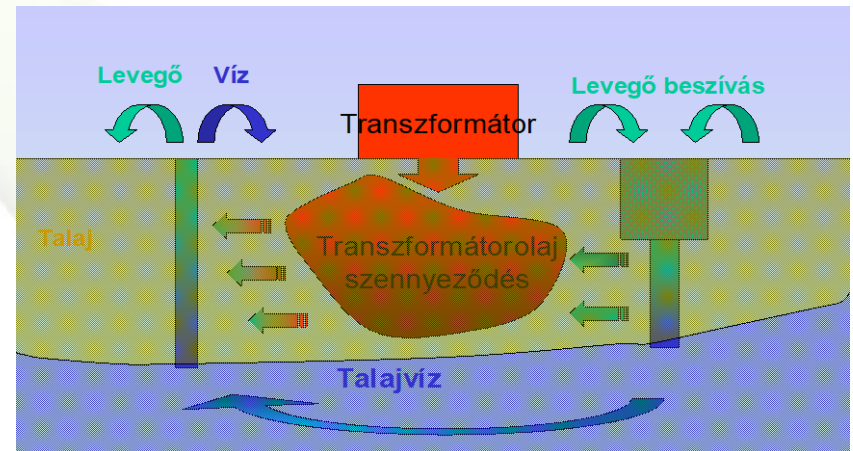
# CDT- SZABADFÖLDI DEMONSTRÁCIÓ

A szennyezett környezeti elemek kezelésére technológia-együttes:

- A telítetlen zóna *in situ* kezelése bioventillációval
- A talajvíz *ex situ* fizikai-kémiai kezelése
- A telítetlen zóna nedvesítése és enyhe *in situ* mosása a felszínen kezelt vízzel

A remediáció intenzitásának növelése:

- Levegőztetés
- Tápanyagpótlás: N, P adagolása
- Adalékanyag: *RAMEB* (biológiai hozzáférhetőség-javító hatás a három fázisú talajban, és szolubilizáló képesség a talaj-talajvíz kölcsönhatás befolyásolására)



# ***In situ* komplex ciklodextrines biotechnológia (CDT) transzformátorállomás szennyezett talajának kezelésére**

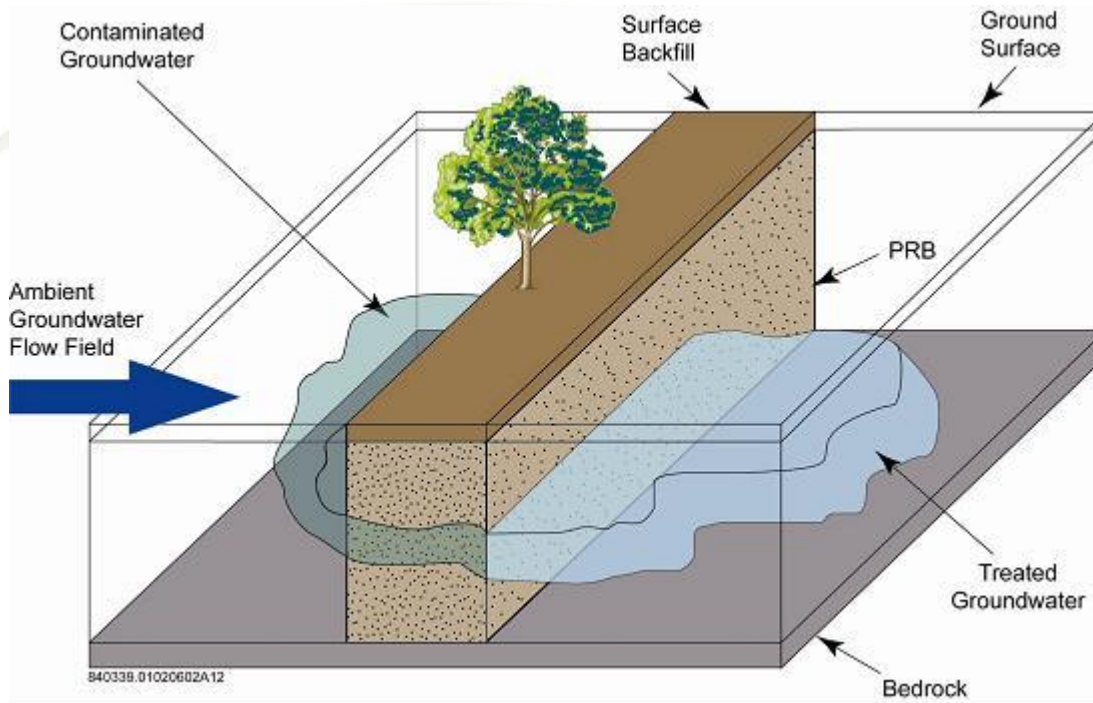
*A talajminták transzformátorolaj-tartalma a kezelés indításakor, a 24. és a 47. héten*

Talajmintavétel helye a felszíntől	Transzformátorolaj-tartalom [mg/kg]		
	Indítás (kísérlet kezdete)	24. hét	47. hét (kísérlet vége)
10–30 cm	25 000	1 600	210
80–90 cm	25 000	800	260

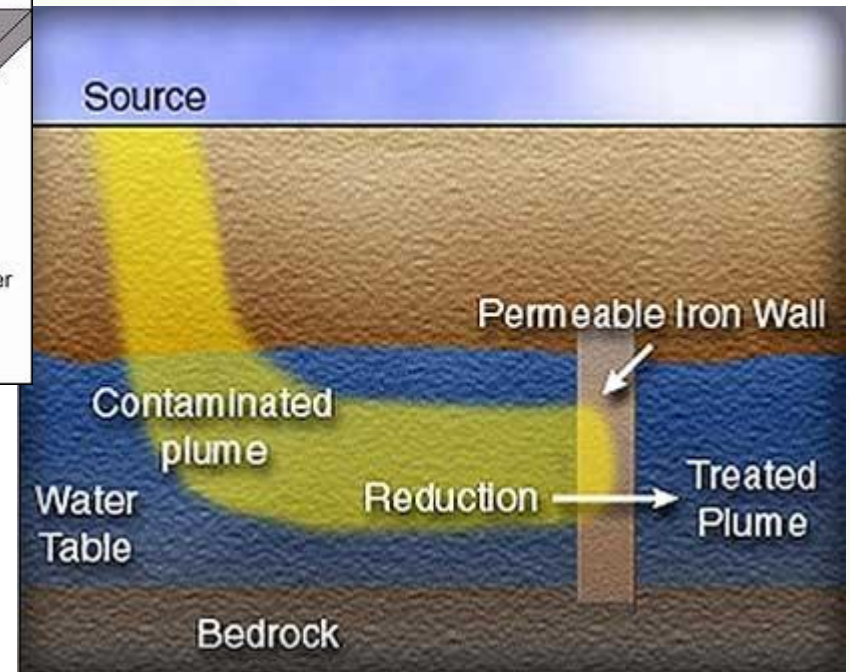
*A szennyezett talaj toxicitása és jellemzése a kísérlet kezdetén és végén*

Tesztorganizmusok és végpontok	Mintavétel helye a felszíntől			
	10–30 cm		80–90 cm	
	Vizsgálat a kísérlet előtt és után			
	Előtte	Utána	Előtte	Utána
<i>Vibrio fischeri</i> biolumineszcencia-gátlás ED <sub>50</sub> [mg] ΣCu <sub>20</sub> [mg Cu/kg talaj] Jellemzés	22 320 <i>toxikus</i>	50 <80 <i>nem toxikus</i>	8 450 <i>nagyon toxikus</i>	65 <80 <i>nem toxikus</i>
<i>Sinapis alba</i> gyökérnövekedés-gátlás ED <sub>50</sub> [g] Jellemzés	4 <i>toxikus</i>	>5 <i>nem toxikus</i>	2 toxikus	>5 <i>nem toxikus</i>
<i>Folsomia candida</i> mortalitás LD <sub>50</sub> [g] Jellemzés	12 <i>toxikus</i>	>20 <i>nem toxikus</i>	5 toxikus	>20 <i>nem toxikus</i>

# REAKTÍV RÉSFALAK (PERMEABLE REACTIVE BARRIER)



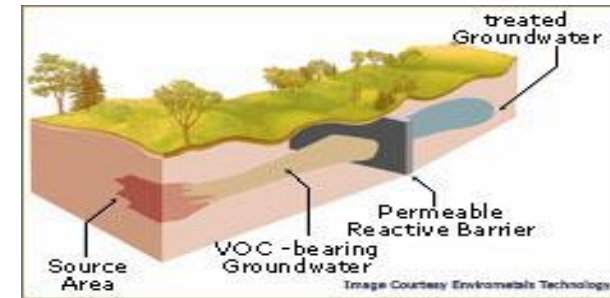
*Canyon de Valle – [www.lanl.gov](http://www.lanl.gov)*



*<http://www.st-ma.com/prb.html>*

# Reaktív résfalak (PRB-k)

- *In situ*
- Passzív technológia (de fenntartás)
- Szennyezőanyag ártalmatlanítása
  - a reaktív résfal töltet → immobilizáció, mobilizáció
- A felszín alatti víz átjuttatása a résfalon → a felszíni és felszín alatti szintkülönbsége és áramlási viszonyok
- Szennyezőanyagok: szénhidrogének, különböző nehézfémek/fémek
- A töltet ártalmatlanító hatása:
  - fizikai (adszorpció)
  - kémiai (oxidáció, redukció, kicsapás, stb.)
  - biológiai (biológiai kicsapás, lebontás)



## Leggyakoribb típusok:

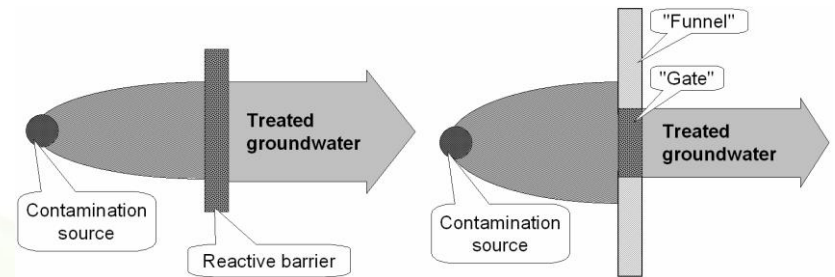
- Elemi vas,  $\text{Fe}^0$ , redukálószer  
→ klórozott illékony alifás  
 $\text{CH}$ ,  $\text{Cr}^{\text{VI}}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{As}^{\text{V}}$ ,  $\text{UO}_2^{2+}$
- ...
- Aktív szén
- **Mulcs**



# PRB - építési típusok

1. Folytonos permeábilis reaktív falak
2. Tölcsér és kapu (funnel and gate)
3. Injektálás vagy „mixed in place”

- *In situ* falak méretezése
- Helyszíni vizsgálatok

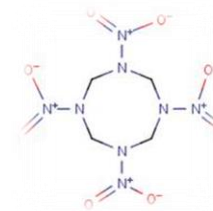
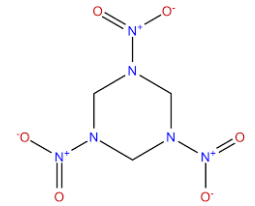


Klasszikus PRB építési módok a) Folytonos fal b) Tölcsér és kapu (F&G) (Roehlet al. 2005a)



# PRB MULCS ALKALMAZÁSÁVAL ROBBANÓANYAGOKKAL SZENNYEZETT TALAJVÍZ KEZELÉSÉRE

- Helyszín: USA, Colorado – Pueblo Chemical Depot
- Szennyezés: robbanóanyaggal szennyezett talajvíz
- RDX és HMX szennyezőanyag
- Beavatkozás időpontja: 2005. november – 2007. július
- Remediációs technológia: Reaktív résfal
- Alkalmazott töltet: mulcs



HMX - Octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine

RDX - Hexahydro-1,3,5-Trinitroperhydro-1,3,5-triazine



# SZERVES MULCS TÖLTET

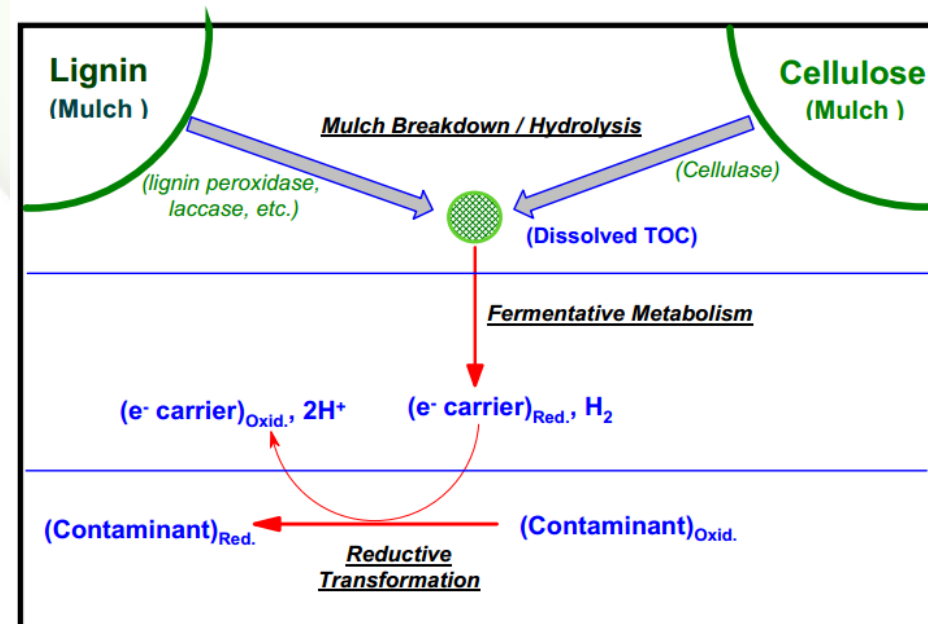


A reaktív részfalban alkalmazott töltet a szerves mulcs

Töltet összetevője: 67% mulcs és 33% kavics

**A töltet ártalmatlanító hatása → *in situ* anaerob biodegradáció:**

- Mikroorganizmusok → RDX és a HMX szennyezőanyag degradálására képesek
- A szerves mulcs egy lassan felszabaduló elektron donor → oldott szerves szén a talajba
- Jelentős redukáló erő jön létre
- Az RDX és a HMX lebontása → különböző redukzív átalakítások anaerob körülmények között



□ ESTCP Cost and Performance Report: Treatment of RDX and/or HMX Using Mulch Biowalls, April 2008 (Environmental Security Technology Certification Program, U.S. Department of Defense)

# TECHNOLÓGIA MEGVALÓSÍTÁSA

A kialakítása a mulcs töltetű reaktív részfalnak és a kapcsolódó monitoring kutaknak 3 fázisban történt:

1. Két sorban 3 monitoring kút építése (R1A, R3A) és mintavétel a szennyezőanyagok kiindulási eloszlásának és koncentrációjának meghatározására

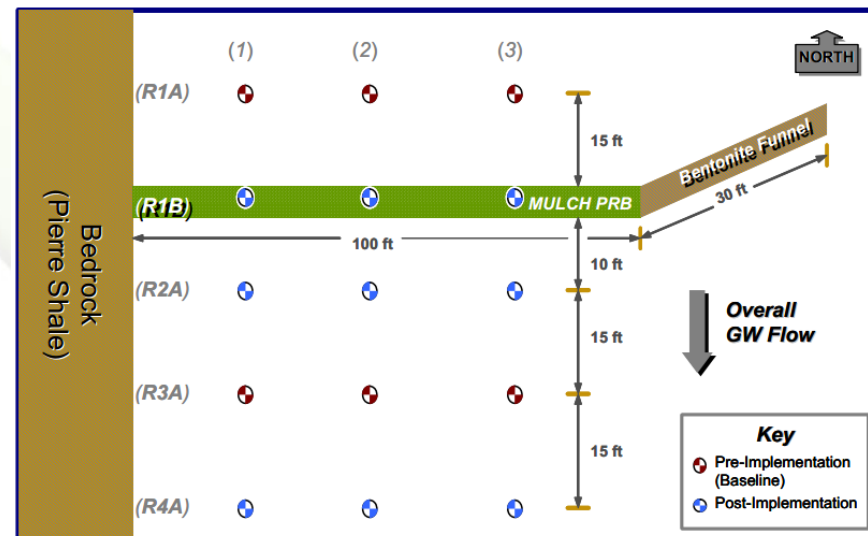
2. A mulcs/kavics töltetű részfal beépítése és egy talaj/betonit nem áteresztő fal építése

- részfal**
- 33% kavics és 67% mulcs
  - 0,6 méter széles
  - 32 méter hosszú
  - 4,5-7 méter mély

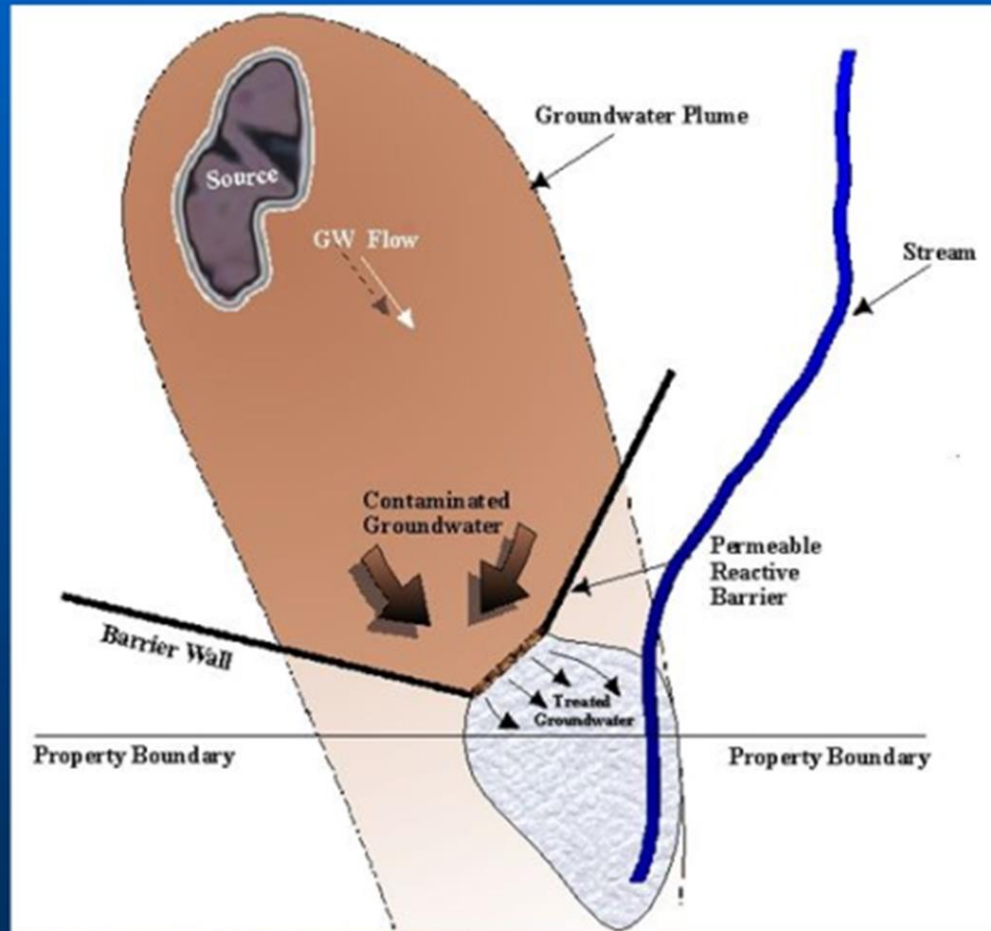
**nem áteresztő fal** - 0,6 méter széles

- 9 méter hosszú
- 7 méter mély

3. Három sor új monitoring kút építése (R1B, R2A, R4A)

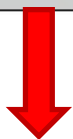
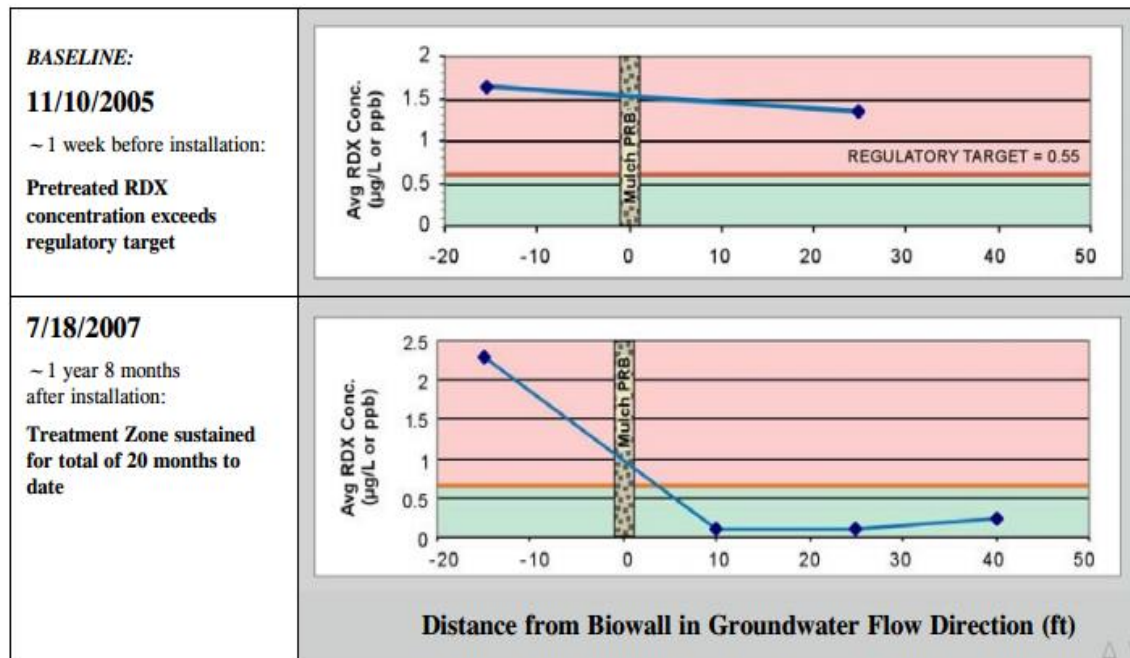


# Funnel-and-Gate PRB Plan



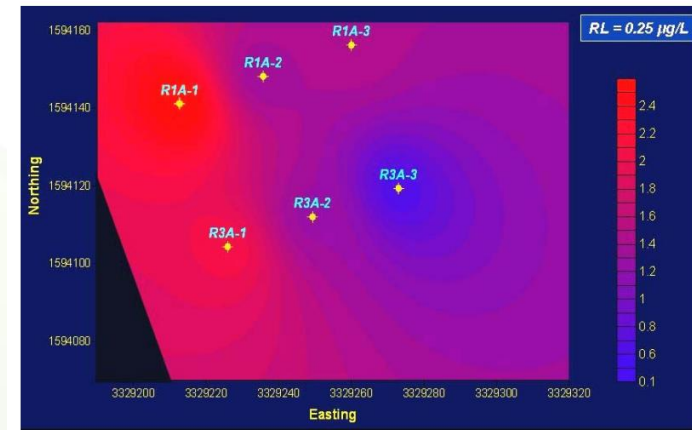
# Eredmények

## RDX koncentráció alakulása:

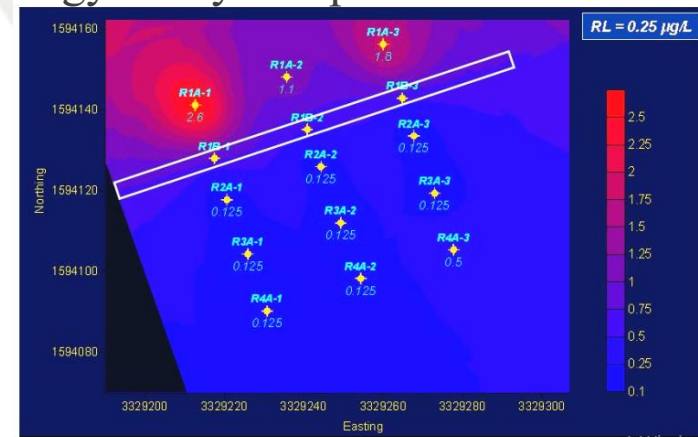


RDX koncentrációja a határérték alá csökkent a kezelési zónában

## Kiindulási állapot



## Egyensúlyi állapot



# BIOAUGMENTÁCIÓ

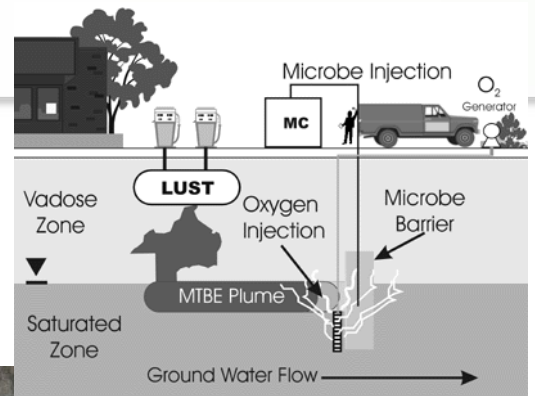


[http://toxics.usgs.gov/photo\\_gallery/solvents.html](http://toxics.usgs.gov/photo_gallery/solvents.html)

- Tudatos oltóanyag használat
- Tervezés (biodegradációs képesség, faj szintű azonosítás)
- Kockázat (patogének!)
- **Monitoring** (biológiai monitoring)

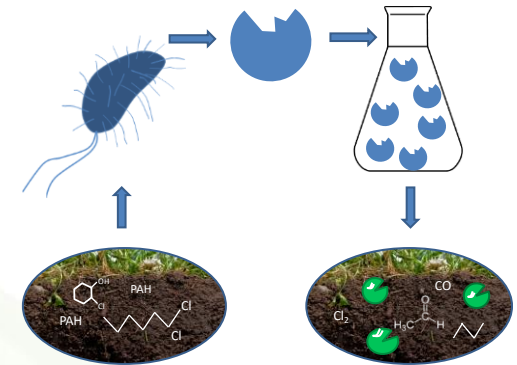
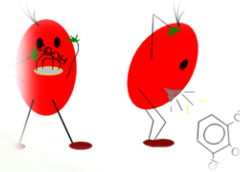


<http://www.biocleanenvironmental.com/product/bioaugmentation>



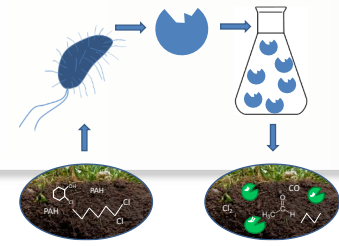
# BIOAUGMENTÁCIÓ

- Tudatos oltóanyag használat
- Kiegészítő eljárás is lehet
- Talaj, talajvíz
- Kivitelezés
  - *In situ*, ex situ
- Hatékony és indokolt alkalmazás?
  - Illékony szerves vegyületek reduktív deklórozása (*Dehalococcus ethenogenes* különböző törzsei → végtermék etilén)
- Újszerű oltókultúrák





# INNOVATÍV BIOAUGMENTÁCIÓ



Komplex megközelítés: mikrobiológiai, metagenomikai és enzimológiai

Mikroorganizmusokban jelenlevő specifikus bontó enzimek tanulmányozása

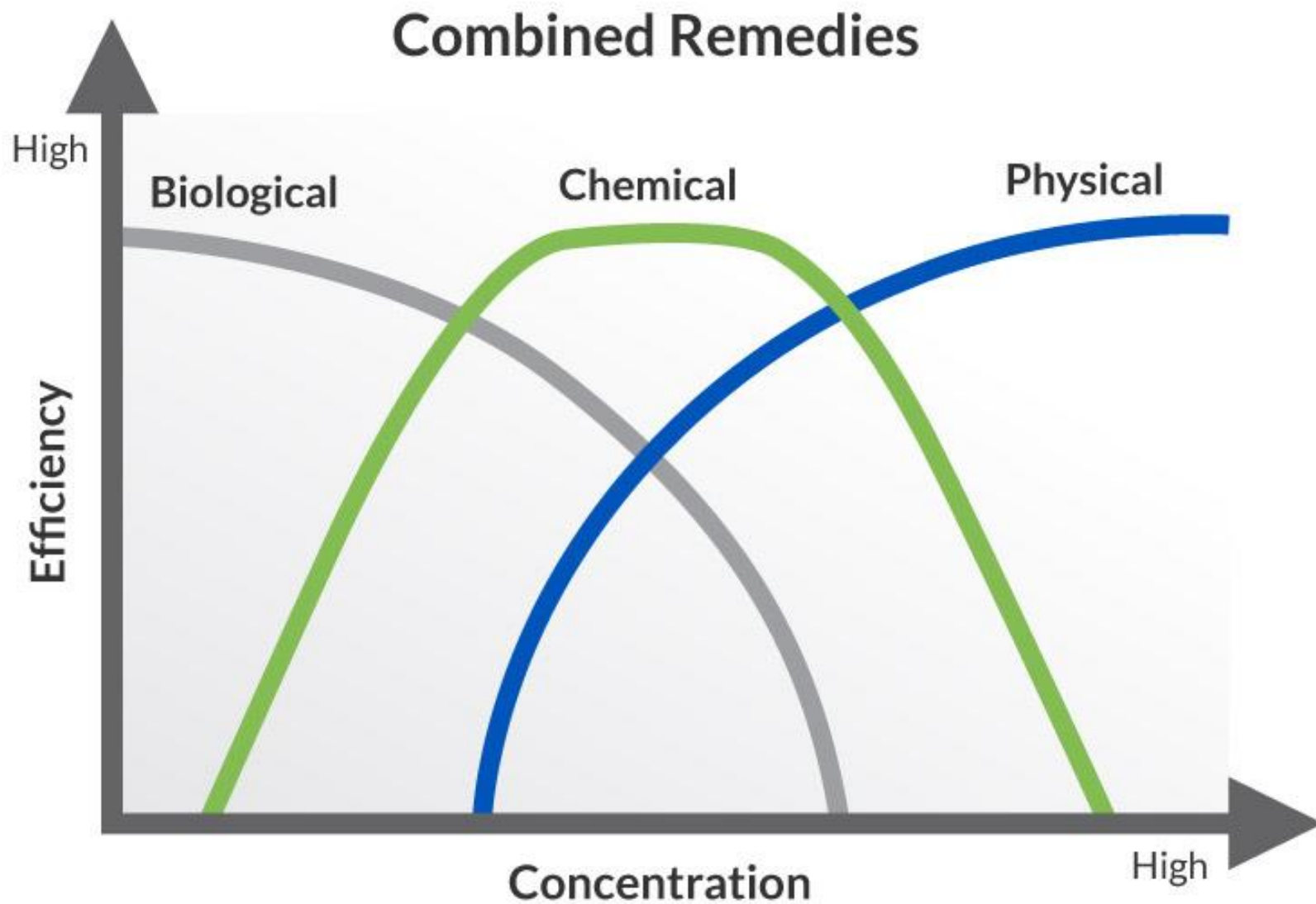
A mikroorganizmusok DNS-ének szekvenálása (metagenomikai megközelítés)

A lebontás során aktív katabolikus gének gyors, specifikus kimutatása



*Speciális bontóképességű mikroorganizmusokból izolált enzimek stabilabb és aktívabb formájának előállítása, felszaporítása → hatékony alkalmazása szennyezett talaj bioremediációjára*

# Várható technológiai hatékonyság

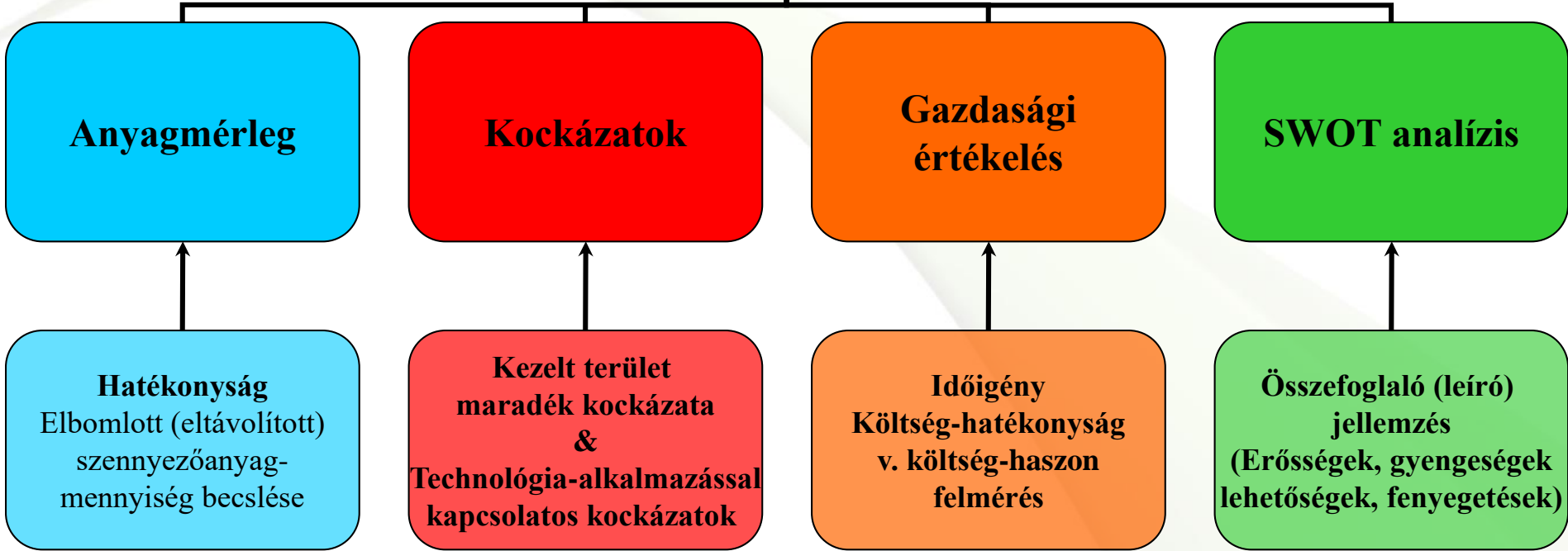


# Döntési folyamat

1. Területfelmérés, koncepcionális terület modell (CSM)
2. Szóbajövő technológiai alternatívák kijelölése (melyek a választott célértéket teljesíteni tudják)
3. A megfelelő technológiai alternatívák rangsorolása (ökomérnök):
  1. **ökoszisztéma és az emberi egészség védelme,**
  2. **kockázatkommunikációs és szociális szempontok,**
  3. **területfejlesztés, területhasználat,**
  4. **gazdasági szempontok.**

De a terület tulajdonosa ettől eltérő prioritásokat jelölhet meg  
(1. Területhasznosítás, bevételszerzés)!

**REMEDIÁCIÓS  
TECHNOLÓGIA  
VERIFIKÁCIÓ**



# BIOREMEDIÁCIÓ



## BIODEGRADÁCIÓ

Biológiai kioldás ...

Biológiai stabilizáció

*Mikroorganizmusok, növények, állatok*



**Biotechnológiák toxikus fémekkel  
szennyezett talajra**

# BIOLÓGIAI KIOLDÁS

## ▪ Bioremediáció (mikroorganizmusokkal)

### – Biológiai kioldás (bioleaching)

- Autotróf: vas- és kénoxidáló baktériumokkal, pl. *Acidithiobacillus* sp.
- Heterotróf: savtermelő mikroorganizmusokkal, pl. *Aspergillus*, *Penicillium* sp.
- Főként: Cu, Co, Ni, Zn (szulfidok), U (oxidok)

Acid Mine Drainage



Biológiai kioldás prizmákban

# BIOLÓGIAI TECHNOLÓGIÁK – FITOREMEDIÁCIÓ

Növények (és a velük együtt élő mikroorganizmusok) felhasználásával történő remediáció

- Fitoextrakció
- Fitofiltráció
- Fitovolatilizáció
- Fitodegradáció (csak szerves)
- Fitostabilizáció

**Mobilizáció**

**Immobilizáció**



# BIOREMEDIÁCIÓS TECHNOLÓGIÁK FÉMMEL SZENNYEZETT TALAJOK KEZELÉSÉRE

## ■ Fitoremediáció (növényekkel)

### – Fitoextrakció

- Szennyezőanyagok kivonása hiperakkumuláló vagy nagy biomassza tömeget képző növényekkel (pl. fűzfa, nyárfa)
- *Feltétel:* a növény szállítsa a felszín feletti részeibe a szennyezőanyagot.

*Sebertia acuminata*, Új-Kaledónia



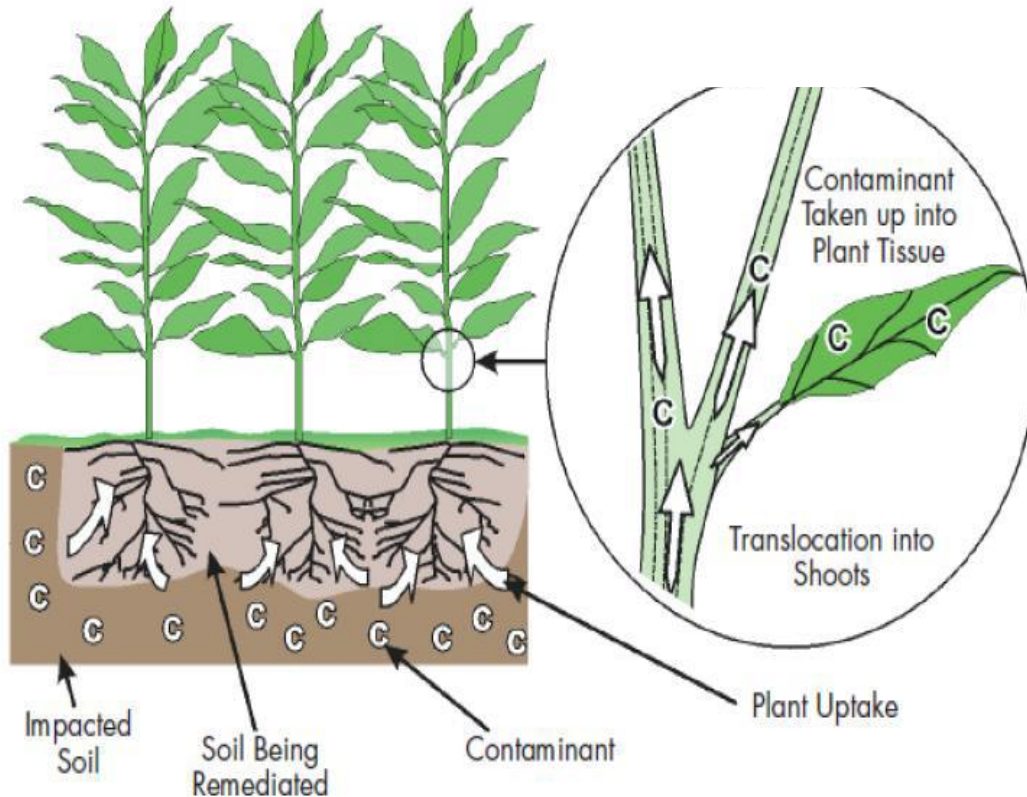
Ni hiperakkumulátor



<http://www2.dijon.inra.fr/cmse/ColloqueCMSE/presentation/morel/MorelJL.htm>

# FITOEXTRAKCIÓ

## PHYTOEXTRACTION



### Hatékonytágot befolyásolja:

- Fémek mennyisége és biológiai hozzáférhetősége (adalékanyagok pl. kelátképzők, savak)
- Növények toleranciája és bioakkumuláló képessége

**Befejező lépés:** A szennyezett biomassza betakarítása és kezelése , pl. égetés, hamu veszélyes hulladékként lerakása, ill. értékes elemek kinyerése

10 000 mg/kg Zn



**Nehézfém-tűrő árvácskafaj**  
*Viola calaminaria*

30 000 mg/kg Zn

1 000 mg/kg Cd

8 000 mg/kg Pb



**Havasalji tarsóka**  
*Thlaspi caerulescens*

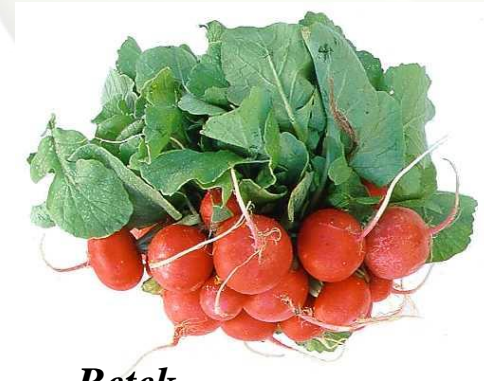
30 000 mg/kg Zn



**Lúdfű**  
*Arabidopsis halleri*



**Olajrepce**  
*Brassica napus*  
Zn



**Retek**  
*Raphanus sativus*  
Zn

# FŰZFA ÉS NYÁRFA – NAGY BIOMASSZÁT KÉPZŐ FAJOK



# Irodalom

- Dahmani, M. A., Huang, K. and Hoag, G. E. (2006) Sodium Persulfate Oxidation for the Remediation of Chlorinated Solvents (USEPA Superfund innovative technology evaluation program) *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*, **6**, p 127–141
- ITRC - The Interstate Technology & Regulatory Council, In Situ Chemical Oxidation Team (2005) Technical and regulatory guidance for in situ chemical oxidation of contaminated soil and groundwater, Second edition, Technical/Regulatory Guideline
- Liang, C., Huang, C. F., Mohanty, N., Lu, C.J. and Kurakalva R. M. (2007) Hydroxypropyl-beta-Cyclodextrin-Mediated Iron-Activated Persulfate Oxidation of Trichloroethylene and Tetrachloroethylene, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 46(20), 6466–6479
- MOKKA lexikon - <http://www.mokkka.hu/db2/glossary.php>
- Izing Imre <sup>1</sup>, Lonsták László <sup>1</sup>, Tóth Roland <sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Golder Associates (Magyarország) Zrt. <sup>2</sup> Geo-Engineering Kft. Injektálási technológiák alkalmazása a környezetvédelemben Kármentesítés aktuális kérdései c. konferencia (KSZGYSZ) 2011. március 17–18., Hotel Aréna, Budapest
- REGENESIS - <http://regenesiis.com>

# IRODALOM

- Anton, A. (2010) Kármentesítési kézikönyv 5. Bioremediáció: mikrobiológiai kármentesítési eljárások. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium
- Alvarez-Cohen L, Speitel Jr GE (2001) Kinetics of aerobic cometabolism of chlorinated solvents. Biodegradation 12:105-126
- Alvarez PJJ, Illman WA (2006) Bioremediation and Natural Attenuation. Wiley-Interscience, New Jersey
- Crawford RL (2002) Biotransformation and biodegradation. In: Hurst CJ, Crawford RL, Knudsen GR, McInerney MJ, Stetzenbach LD (eds) Manual of Environmental Microbiology, 2nd edn. ASM Press, Washington
- Jördening H-J, Winter J (2005) Environmental biotechnology. Concepts and application. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim
- KÖRINFO adatbázis: [www.enfo.hu](http://www.enfo.hu)
- Mulligan CN (2005) Environmental applications for biosurfactants. Environ Pollut 133(2): 183–198
- Pavan M, Worth AP (2006) Review of QSAR models for ready biodegradation. EUR 22355 EN Report. European Commission Directorate, General Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, Ispra, Italy
- Schink B (2005) Principles of anaerobic degradation of organic compounds. In: Jördening HJ, Winter J (eds) Environmental Biotechnology. Concepts and Application. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim
- Swartjes FA (2011) Dealing with contaminated sites. From theory towards practical application. Springer,

The background features a white horizontal band across the middle. Above and below this band are green wavy lines that create a sense of movement. The text is centered within the white band.

**KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!**