



KÖRNYEZETI ÉS MEZŐGAZDASÁGI BIOTECHNOLÓGIA

KOCKÁZATCSÖKKENTÉS - REMEDIÁCIÓ 1.

Talajok és vizek kármentesítése biotechnológiai módszerekkel

2019.09.18.

Dr. Molnár Mónika

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

Tartalomjegyzék

- Vegyi anyagok, talaj- és felszín alatti vizek szennyezettsége
- Adatok – EU (European Environment Agency)
- Hazai és nemzetközi programok
 - OKKP/NKP és eredményei
- Remediációs technológiák csoportosítása
- Biológiai eljárások – biodegradáció talajban



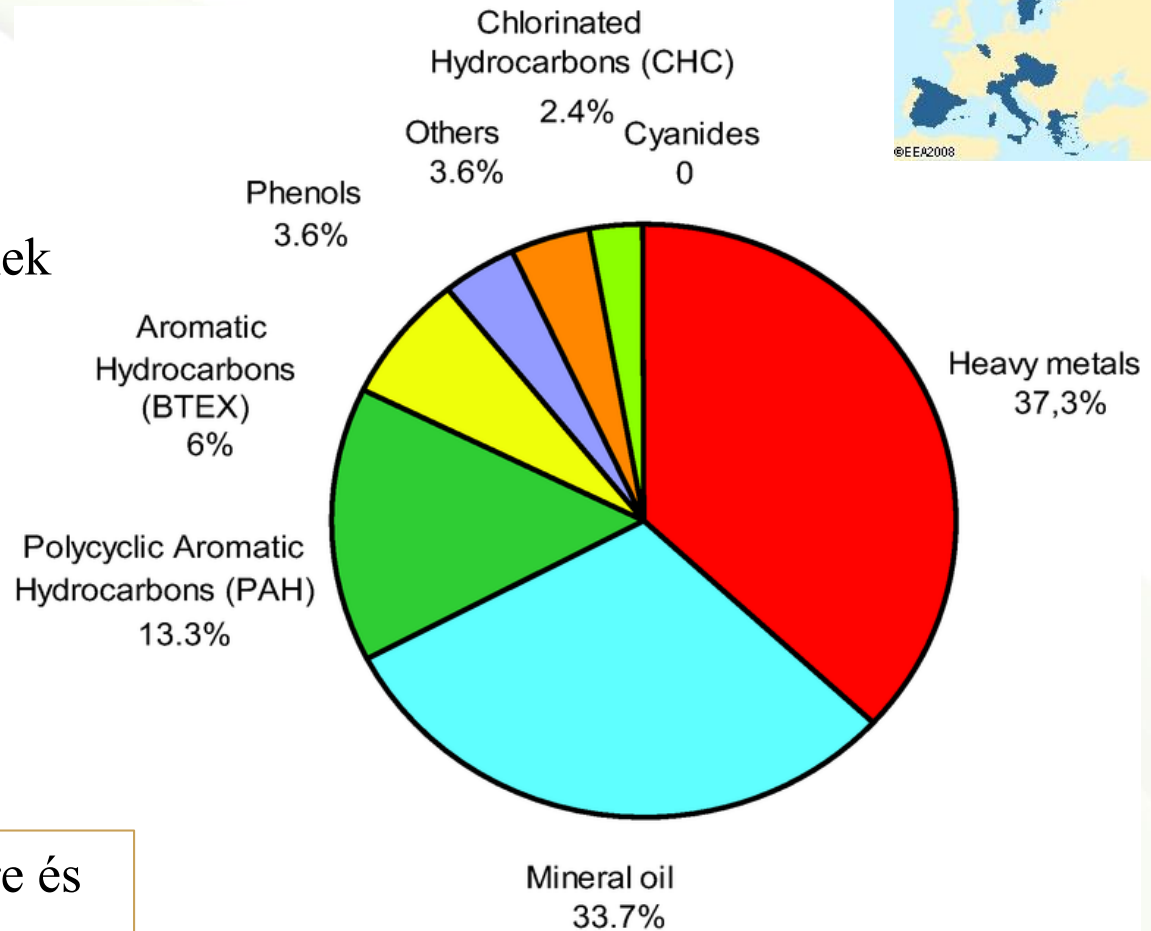
Szennyezőanyagok a talajban



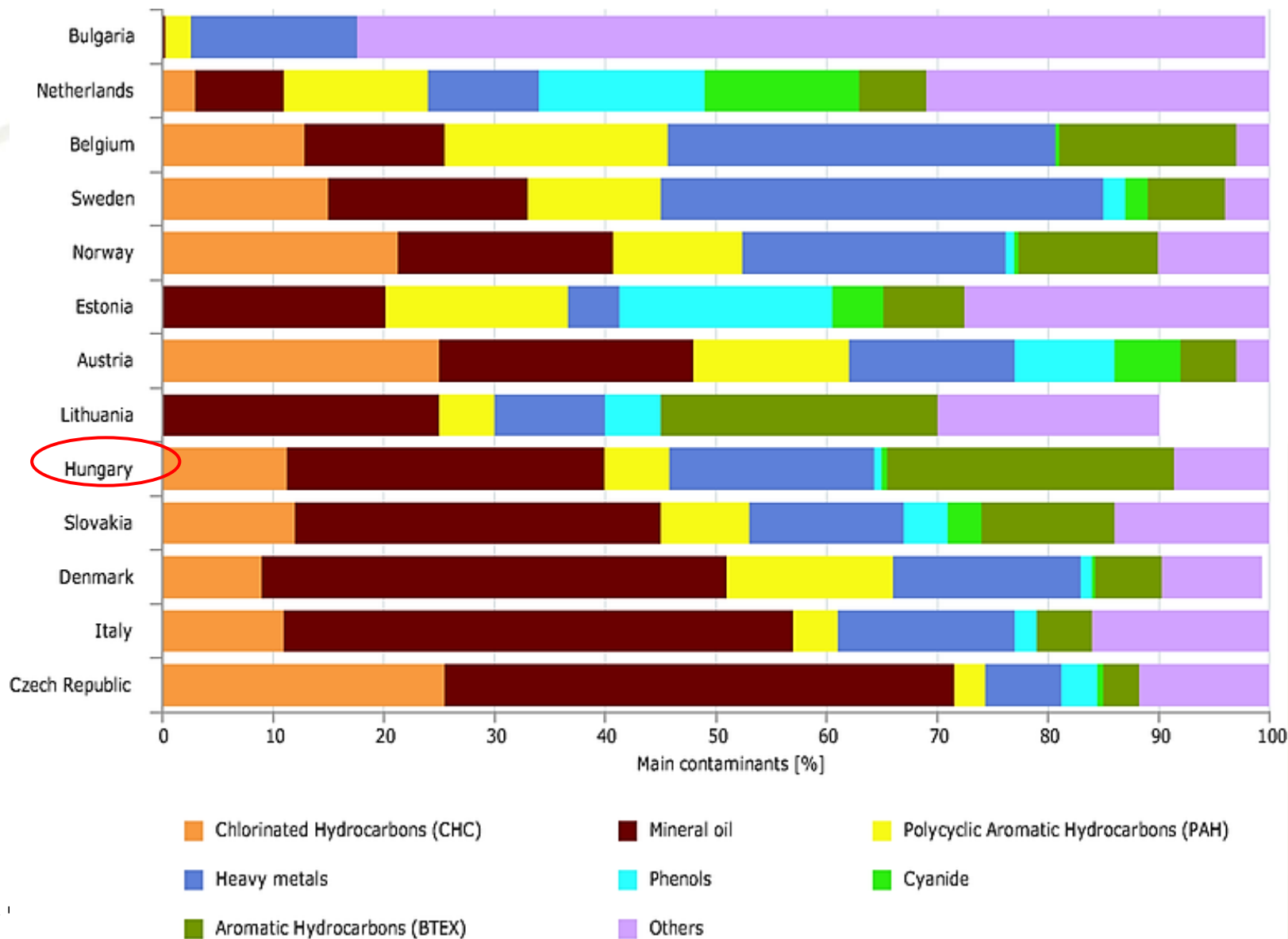
1. Szervetlen szennyezőanyagok
 - Toxikus nehézfémek (Pb, Cd, Ni, Hg, Cu, Zn)
2. Ásványolaj és ásványolaj-termékek
3. Szerves szennyezőanyagok
 - Policiklikus aromás szénhidrogének (PAH)
 - Aromás szénhidrogének (BTEX: benzol, toluol, etil-benzol, xilol)
 - Fenolok
 - Klórozott szénhidrogének, poliklórozott bifenilek (PCB) és egyes származékaik

Hasonló adatok felszíni vizekre és talajvízre!

EU – European Environment Agency
felmérése (2014)



EU felmérés - A jelentősebb talaj- és talajvíz szennyezőanyagok országonként (2014)



<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/main-contaminants-affecting-soil-and-groundwater-percentage-of-contaminated-industrial-or-commercial-sites-by-country>

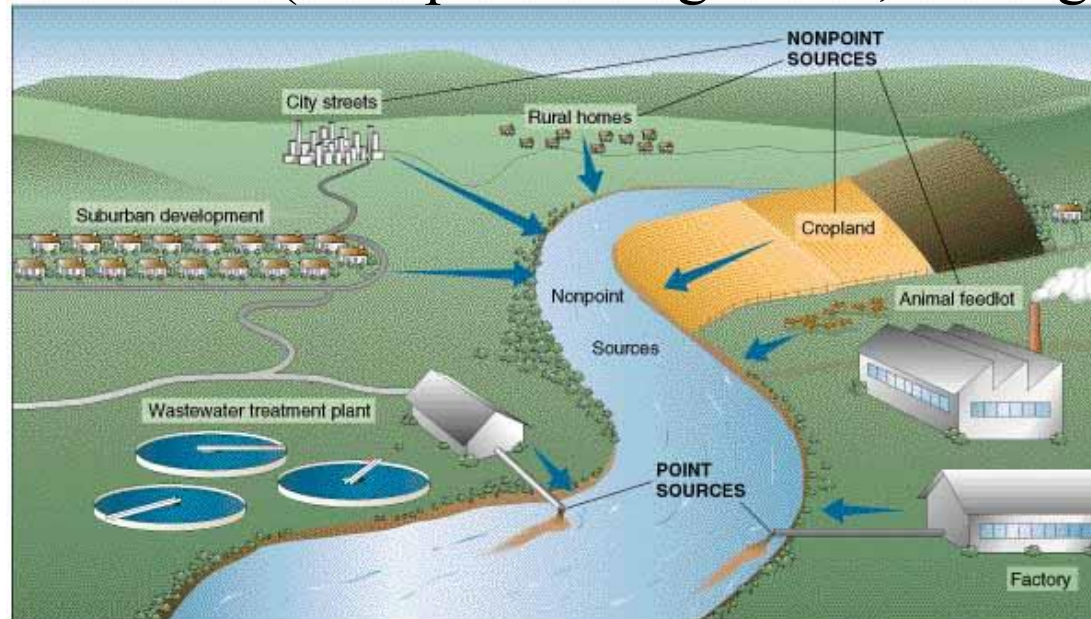
Szennyezőforrások típusai

■ Szennyezés eredete szerint:

- Természetes eredetű források (vulkáni eredetű, ásványi eredetű stb.)
- Emberi eredetű (antropogén) források

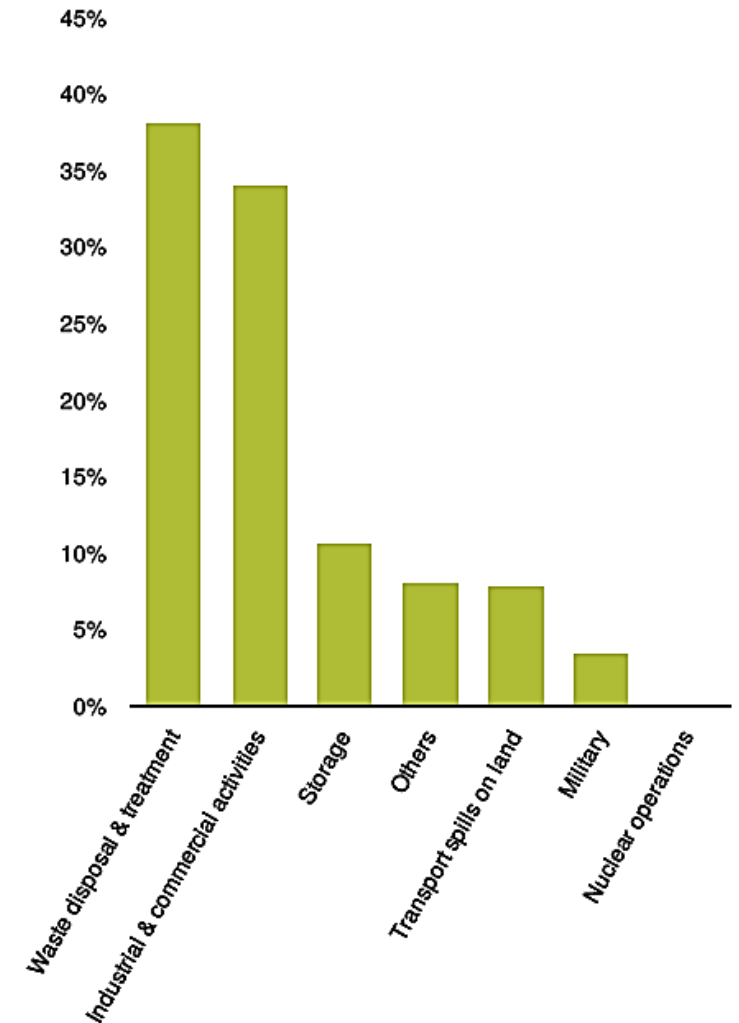
■ Szennyezőforrás mérete szerint:

- Pontszerű szennyezőforrások (pl. ipari emisszió, hulladéklerakók stb.)
- Diffúz szennyező-források (kiülepedés a légkörből, műtrágyák használata stb.)



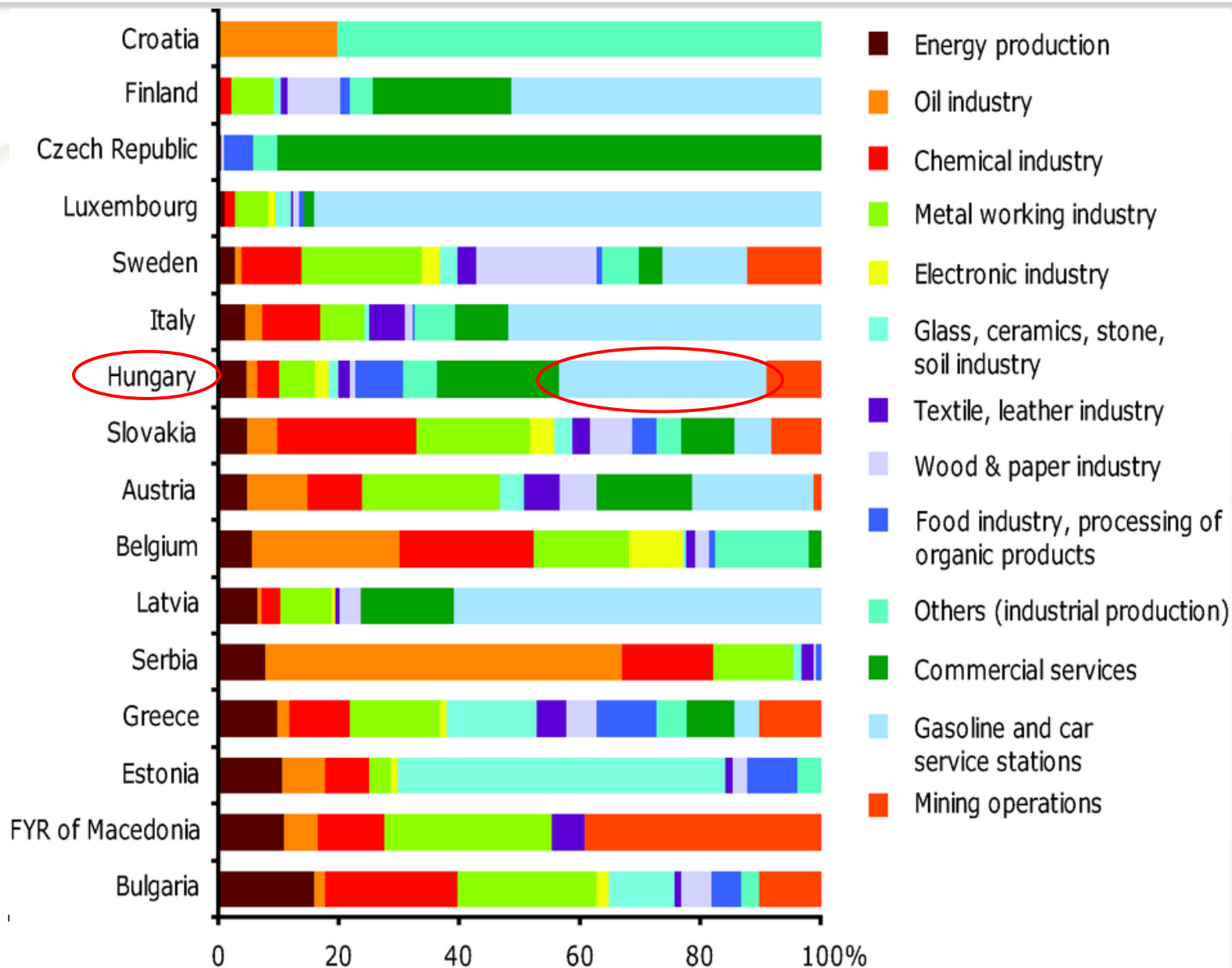
A talajszennyezetttség főbb forrásai Európában (2014-es adatok)

A talajszennyezés főbb lokális forrásai	Átlag (22 ország) (%)
Hulladék lerakás és kezelés	38,1
Ipari és kereskedelmi tevékenység	34,0
Tárolás	10,7
Egyéb	8,1
Szállítási balesetek	7,9
Hadászat	3,4
Nukleáris tevékenység	0,1



<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/progress-in-management-of-contaminated-sites-3/assessr>

EU felmérés - A jelentősebb talaj- és talajvíz szennyező ipari tevékenységek országonként (2012)



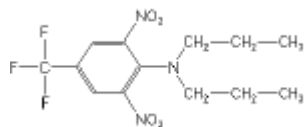
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/main-contaminants-affecting-soil-and-groundwater-percentage-of-contaminated-industrial-or-commercial-sites-by-country>

Veszély



KOCKÁZAT

▪ Vegyi anyag



Veszélyessége: kémiai szerkezetéből adódó *immanens* tulajdonság

Mindent ami problémát okoz meg kell ismerni!!



Vegyi anyagok tesztelése

- Vegyi anyag kockázata a környezettel való kölcsönhatás révén nyilvánul meg
- A környezeti kockázat számszerűsített értéke a környezet-védelemmel, környezetgazdálkodással kapcsolatos döntések tudományos alapja



▪ Környezeti minták – szennyezett környezet

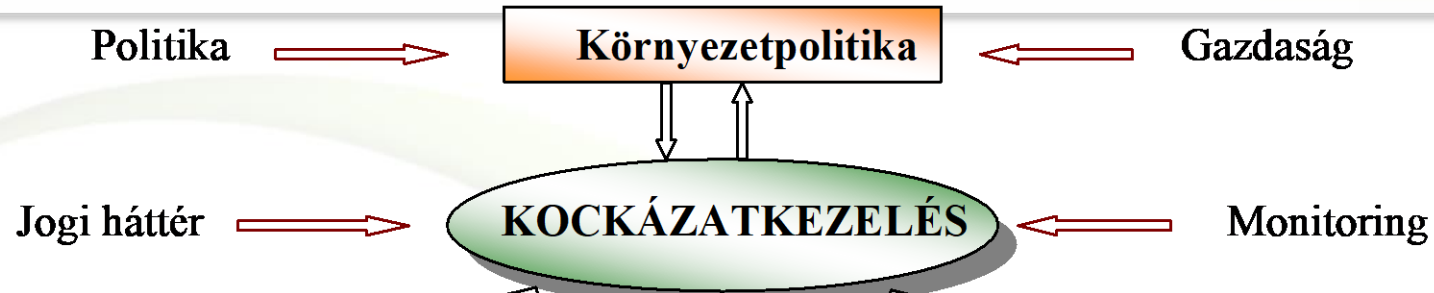


Vegyi anyag kikerül a környezetbe



KOCKÁZAT

KÖRNYEZETI KOCKÁZATMENEDZSMENT



Veszély azonosítása	Kockázatfelmérés	Megelőzés	Remediáció	Korlátozás
Osztályozás	Általános kockázatfelmérés	Rendeletek	Technológiaválasztás	Területhasználat-korlátozás
Fontossági sorrendek (prioritások)	Lokális kockázatfelmérés	Monitoring	Előzetes felmérés	Termeléskorlátozás
Prioritási lista	Ökológiai kockázat		Félüzemi kísérletek	
	Egészségkockázat		Részletes tervezés	
			Kivitelezés	
			Utókezelés	
			Utómonitoring	

KOCKÁZATMENEDZSMENT MAGYARORSZÁGON

OKKP / NKP 1.

- Környezetvédelmi programok (*Superfund* (<https://www.epa.gov/superfund>), *Altlasten*)
- A Nemzeti Környezetvédelmi Program része: összefogja a környezeti kármentesítéssel kapcsolatos feladatokat.

- *Mit örököltünk?*
- *Mit lehet tenni?*
- *Ki fizessen?*
- *Mikor tiszta a tiszta?*



- Célok, feladatok:

- A környezetet veszélyeztető szennyezőforrások, tartós környezetkárosodások teljes körű országos számbavétele,
- A felszín alatti vizek, földtani közeg károsodásának megismerése,
- kockázatának felmérése,
- a veszélyeztetett területeken a szennyezettség kockázatának csökkentése...

OKKP / NKP 2.

Az OKKP (1996 (22005/1996 (VII.24.) kormányhatározat)

–<http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/>

- *Rövid távú szakasz (1996-1997)*
- *Középtávú szakasz (1998-2002)*
- *Hosszú távú szakasz (2003-2030), a Nemzeti Környezetvédelmi Programhoz igazodóan, hatévenkénti ütemezéssel.*

Érintettek, résztvevők

- Minisztériumok, hatóságok, kutató-fejlesztő intézmények, tervezők, kivitelezők. A felszámolandó szennyeződések okozói is sokfélék: magánszemélyek, társaságok, állami és egyéb intézmények - és sokszor nem is azonosíthatók.

OKKP / NKP – tények, adatok

- OKKP várható időtartama **több évtized**,
- **Tízezres nagyságrendű helyszínen** kell intézkedéseket, illetve beavatkozásokat tenni
- Szennyezőanyagok?
- Talaj érintettsége?
- Költségigény **~1000 milliárd Ft**



<https://www.dontwasteit.hu/2016/11/17/ket-evtized-a-karmentesites-jegyeben/>

- **Prioritások számbavétele (NKPL)**
- **A kockázatelemzés nélkülözhetetlen eszköz az OKKP szinte valamennyi szakaszában!**
- **Jogszabályi háttér megalkotása!**

Magyarország – kockázatkezelés 1.

- **10/2000. (VI.2.) KöM-EüM-FVM-KHVM** rendelet – a határértékek a földtani közeg és a felszín alatti vizek minőségének védelméről
- **33/2000. (III. 17.) – a határértékek alkalmazási szabályai** (A rendeletben megjelenik a kockázat, a kockázatos anyag fogalma, a mennyiségi kockázatfelmérés célja, módszere, a hatáson alapuló remediációs célérték kívánalma)

A kockázatfelmérés jogszabályi környezetbe kerül.

(A) háttérértéket, (B) szennyezettségi határérték és a (C1), (C2), (C3) intézkedési szennyezettségi határértékek

Lakóterület és rekreációs célú terület



C1

Mezőgazdasági terület vagy erdő



Gazdasági terület (ipari/kereskedelmi)

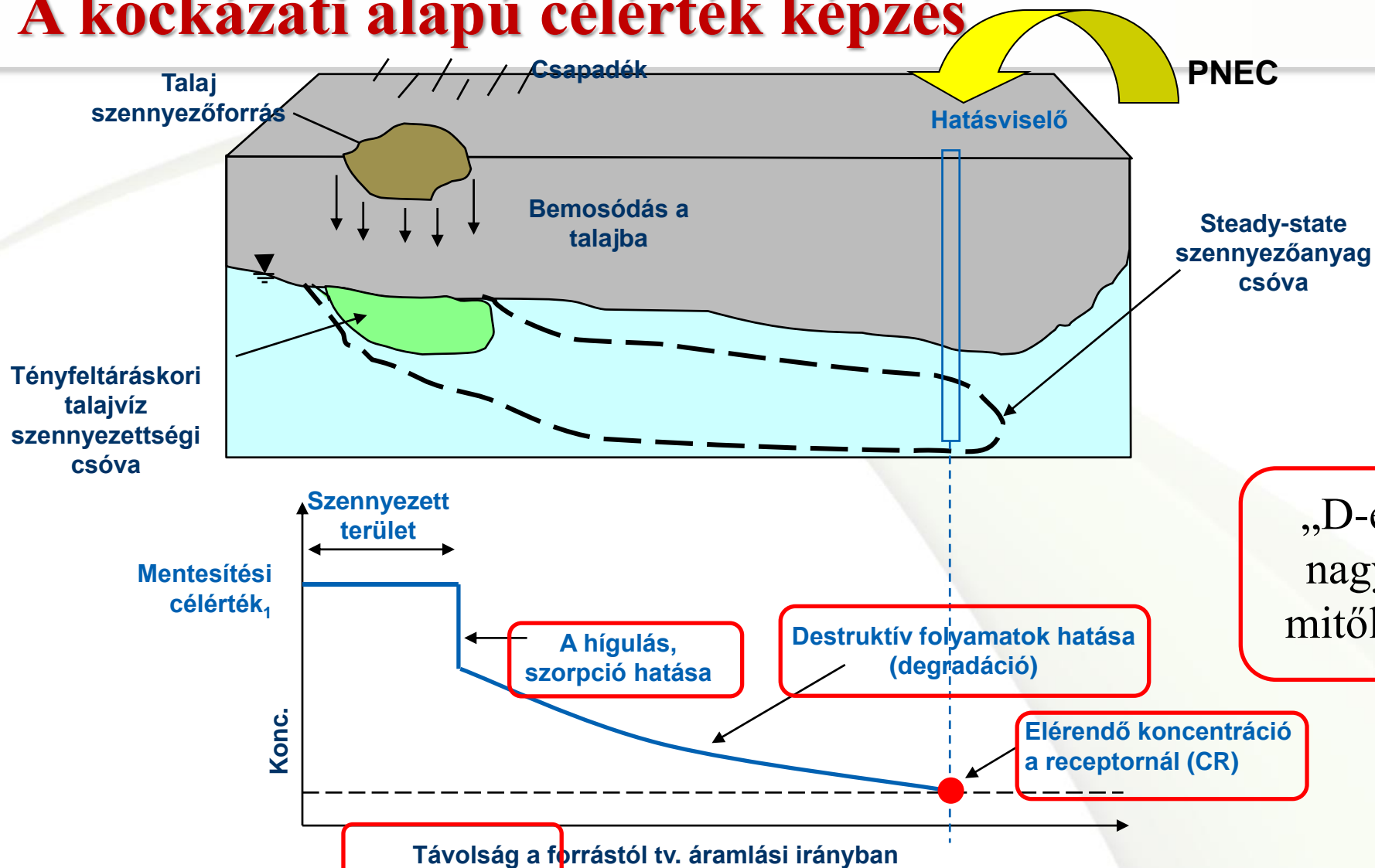


C3

219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről

- *D) kármentesítési célállapot határérték: **hatósági határozatban előírt koncentráció***, amit a kármentesítés eredményeként kell elérni az emberi egészség és az ökoszisztéma, illetve a környezeti elemek károsodásának megelőzése érdekében.
- Meghatározása a kármentesítési eljárás keretében végzett komplex értékelésen, a szennyező anyagnak a környezeti elemek közötti megoszlására, viselkedésére, terjedésére vonatkozó méréseken, modellszámításokon, mennyiségi **kockázatelemzésen alapul** a területhasználat figyelembevételével.

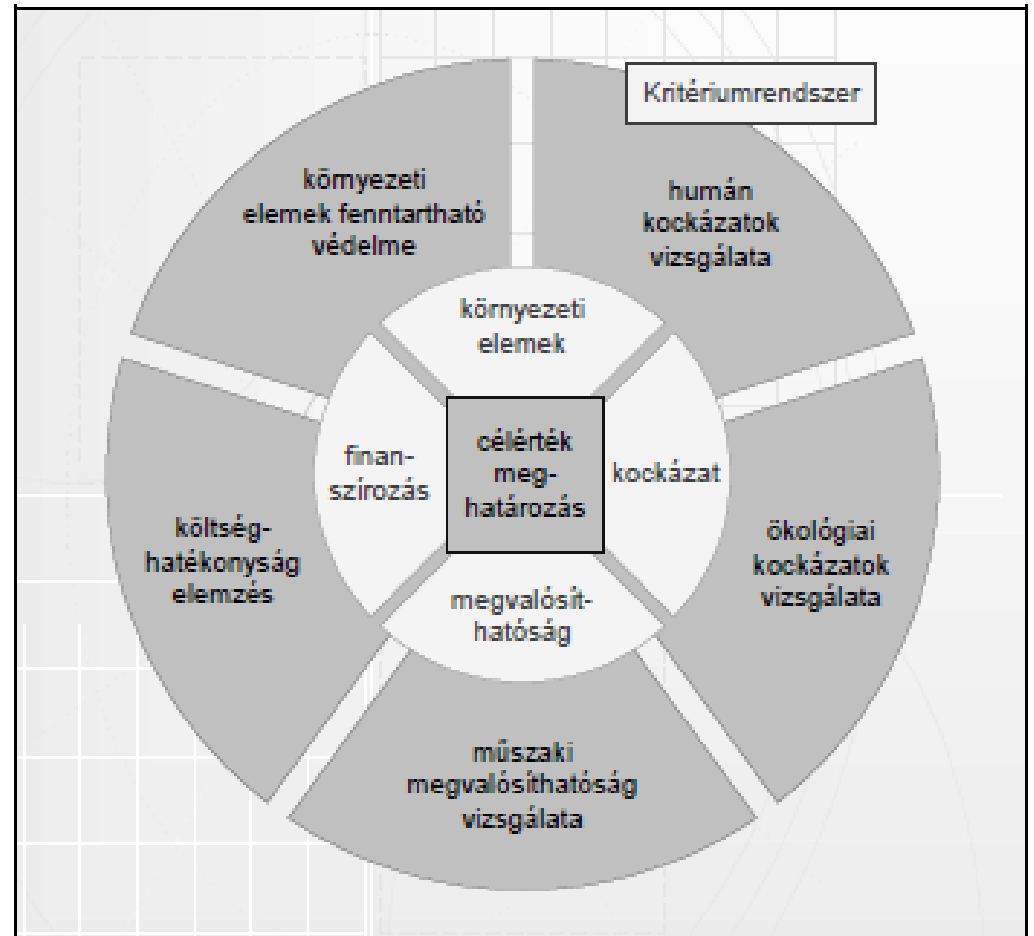
A kockázati alapú célérték képzés



A kockázati alapú célkoncentráció; azaz a D kármentesítési célállapot határérték meghatározásakor (az elfogadható kockázathoz tartozó környezeti koncentráció képzése) a hatásviselőnél megengedhető kockázathoz tartozó dózishoz vagy koncentrációhoz visszafelé haladva határozzuk meg a forrásoldalon még megengedhető koncentrációt az adott környezeti elemekben. A kapott értéket pedig összehasonlítjuk a szennyezett területen mért koncentráció értékekkel.

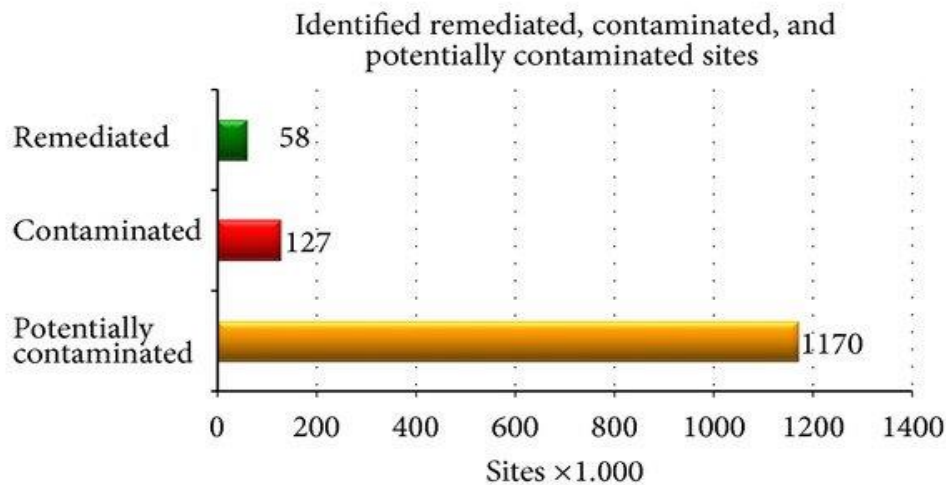
Magyarország – kockázatkezelés 2.

- 219/2004. (VII.21.) - terület specifikus célérték („D”-érték) a szennyezőanyag mennyiségi kockázatfelmérésen alapuló célkoncentrációja
- 6/2009 (IV. 14.) KvVM-EüMFVM együttes rendeletet (földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről)

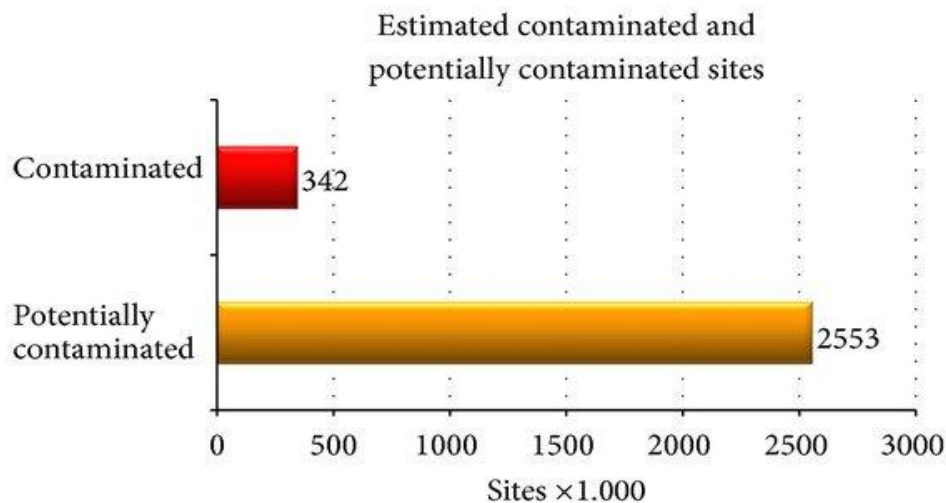


Forrás: Madarász és Kovács, 2009

EU felmérés – Szennyezett területek remediációja (2014)



(a)



(b)


Remediáció:

meggyógyítás.

Vegyianyagokkal szennyezett környezeti elemek és/vagy fázisok környezeti kockázatának elfogadható mértékűre csökkentése.

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/progress-in-management-of-contaminated-sites-3/assessment>

ATSDR lista - elsőbbségi vegyi anyagok



**SUPPORT DOCUMENT TO THE
2017 SUBSTANCE PRIORITY LIST
(CANDIDATES FOR TOXICOLOGICAL PROFILES)**

LISTA – 2017 <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/index.html>

TOTAL SCORE = NPL FREQUENCY + TOXICITY + POTENTIAL FOR HUMAN EXPOSURE
(1,800 max. points) (600 points) (600 points) (300 concentration + 300 exposure points)



REMEDIÁCIÓ

Remediációs technológiák csoportosítása

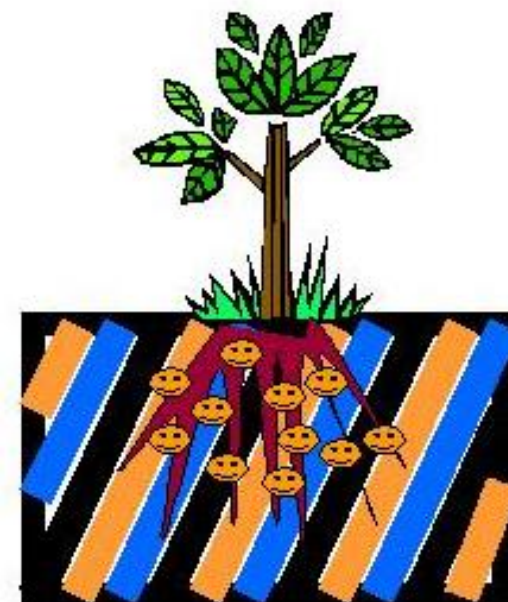
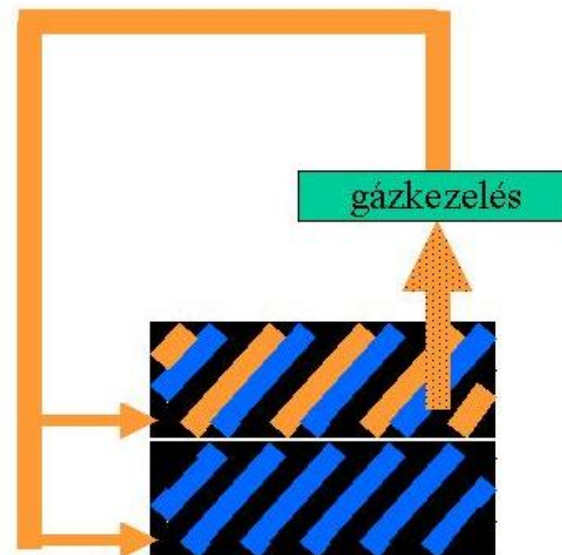
A remediációs technológiák csoportosítási lehetőségei

1. Környezeti elemek szerint:

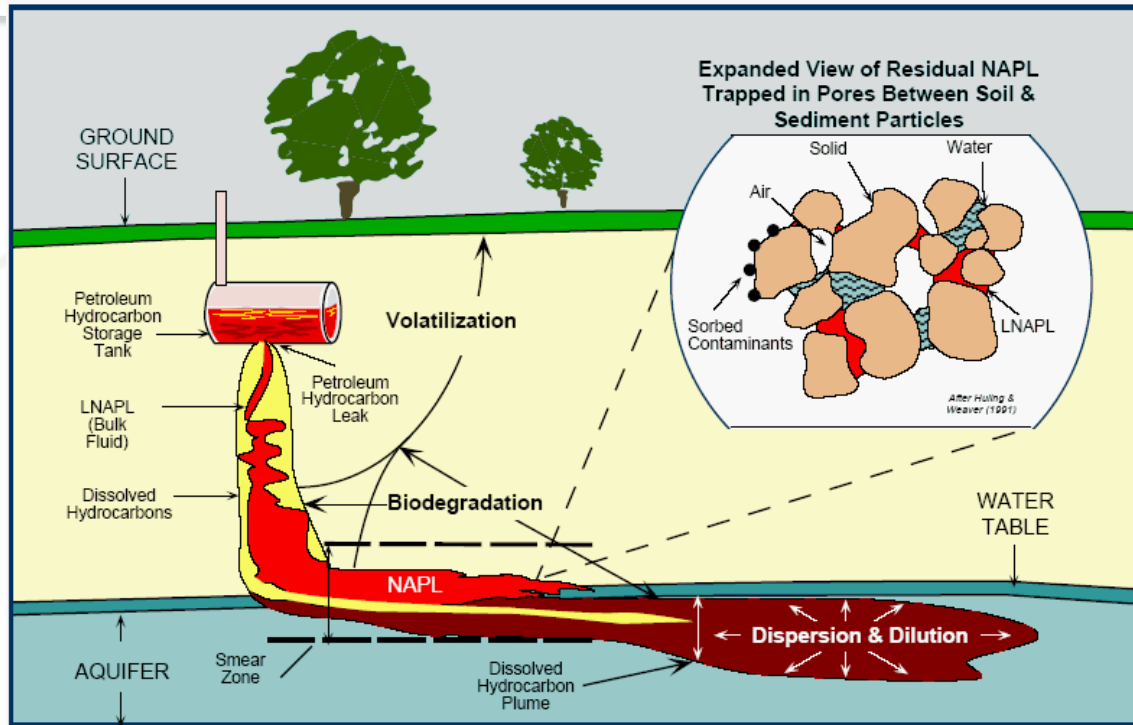
- levegő
- víz
- talajvíz
- talaj
- üledék

2. Talaj fázisai szerint:

- talajlevegő
- talajnedvesség
- talajvíz
- talaj szilárd fázisa
- több fázis együtt pl. talajvíz és szilárd fázis; háromfázisú (telítetlen) talaj
- a különálló szennyezőanyag fázis

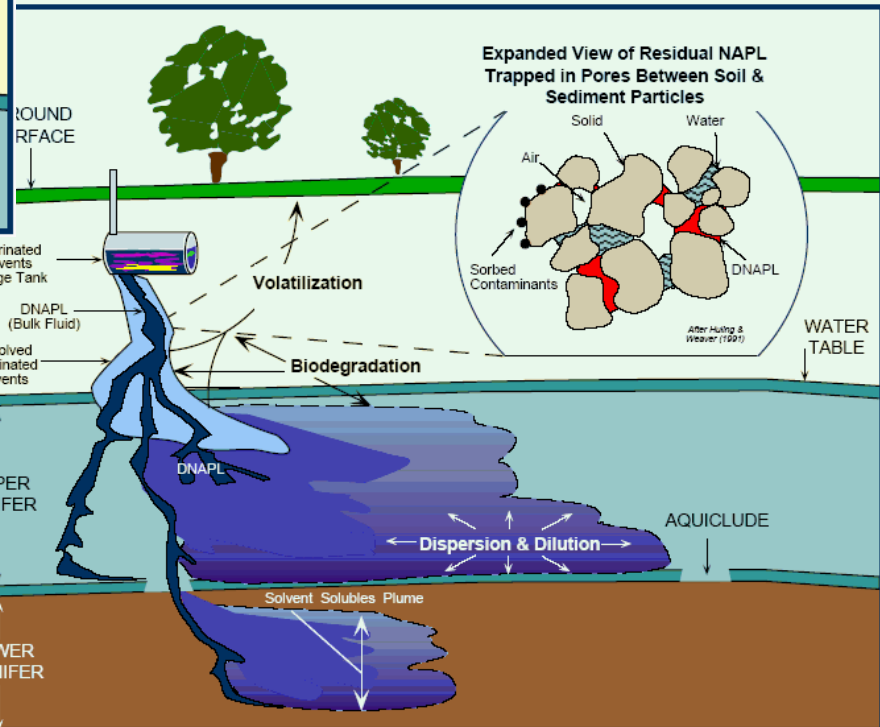


LNAPL – DNAPL (különálló szennyezőanyag fázis)



LNAPL: light nonaqueous phase liquid

DNAPL: dense nonaqueous phase liquid



3. Talajremediációs technológiák osztályozása a kezelés helye szerint 1.

■ Rendezett biztonságos lerakás (containment)

- Szennyezett talajtérfogat „kapszulálása”
- Környezettől való elszigetelés
- Kockázatcsökkentés nem végleges



<http://elements.geoscienceworld.org/content/6/6/363/F8.expansion.html>

3. Talajremediációs technológiák osztályozása a kezelés helye szerint 2.

▪ Ex situ (off site)

- Kezelés a talaj (talajfázisok) eredeti helyéről való eltávolítás után, **kezelő üzemben/udvaron**
- Gyakran csak a szilárd fázisra vonatkoztatják
- Kiszívott talajgáz v. pára kezelése is



3. Talajremediációs technológiák osztályozása a kezelés helye szerint 3.

▪ (Ex situ) On site

- Kezelés a talaj eredeti helyéről való eltávolítás után a **helyszínen**
- Technológiai szempontból kevés a különbség az *ex situ off site*-hoz képest
- Megkülönböztetés: a kapcsolódó műveletek, időtartam



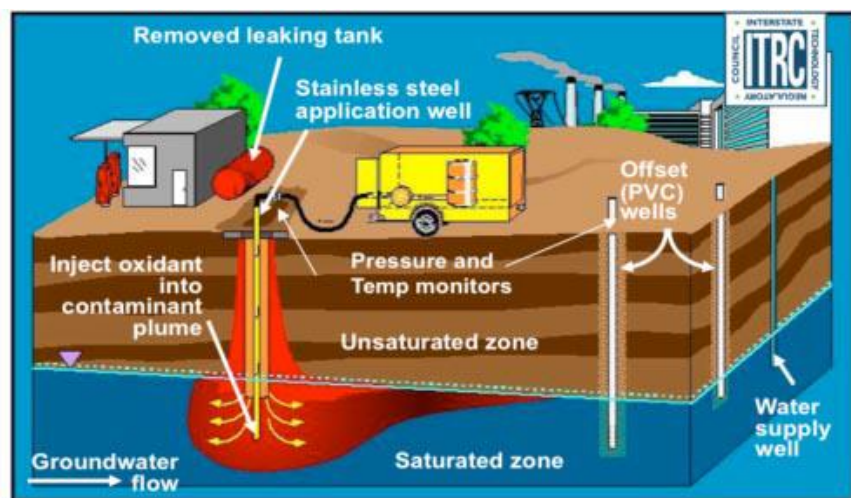
http://www.gaicontractors.com/_english/1_applications_04.html



3. Talajremediációs technológiák osztályozása a kezelés helye szerint 4.

▪ In situ

- Kezelendő talajfázisokat nem távolítjuk el (vagy egyiket sem, vagy csak a szilárdat nem)
- „Kvázi reaktor” (Nyitott reaktor: faltalan, de nem végtelen)
- További megkülönböztetés: a rendszer zavartalansága



In-Situ Chemical Oxidation (ISCO)

<http://www.regenesis.com/contaminated-site-remediation-products/chemical-oxidation/>



In situ vagy ex situ

1. Nagyság, kiterjedés: nagy kiterjedés → *in situ*
2. Terjedés, toxicitás, veszélyesség: nagy → *ex situ*
3. Szennyezett elemek és fázisok: víz, levegő: *ex situ*, talaj: *in situ*
4. Terület jövőbeni használata: pl. lesz-e építkezés, megbolygatják-e a terület felszínét → *ex situ*. Természetvédelmi terület és nem várható területhasználat változás → *in situ*.
5. A beavatkozás sürgőssége: sürgős → *ex situ*, nem sürgős → *in situ*
6. Kapcsolható és kapcsolandó technológiák: pl. előkezelésre, megelőzésre
Pl. *Résfal / aktív résfal beépítése, szétválasztás, frakcionálás, ...*



REMEDIÁCIÓ

Remediációs technológiák funkcionális csoportosítása

A talajremediálási módszerek csoportosítási szempontjai

- *In situ, ex situ, on site* → technológiai alapfolyamat szempontjából nem jogos, sok a félreértés/átfedés, újra kell értelmezni

- **Funkcionális csoportosítás szükséges**



- **Osztályozás**

- A szennyezőanyag tulajdonságai
- Szennyezett közeg, ill. fázis szerint
- A technológia alapfolyamata szerint

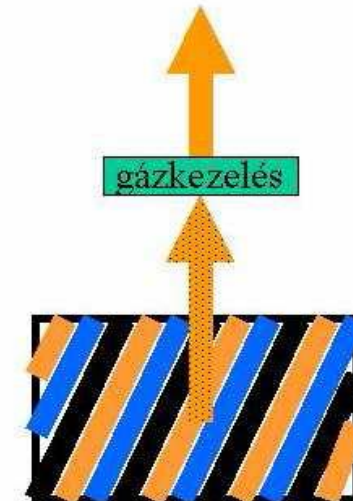
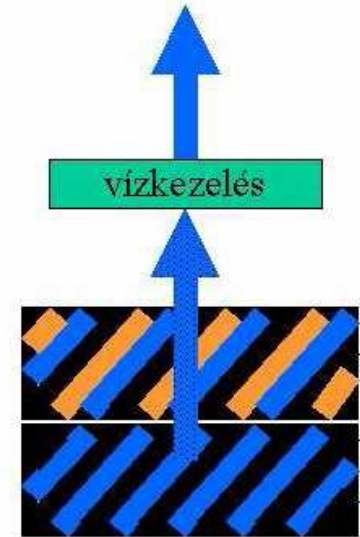
Technológiák csoportosítása a szennyezőanyag mobilizálása/immobilizálása alapján

A szennyezőanyagon végbemenő változások szerinti csoportosítás:

- Szennyezőanyag mobilisabbá, mozgékonyabbá tétele
 - Illékonyabbá,
 - Vízoldhatóbbá,
 - Deszorbeálódóbbá,
 - Biológiailag felvehetőbbé/lebonthatóbbá tétel.
- Szennyezőanyag immobilizálása
 - Fizikai stabilizálás
 - Ad/abszorpció felé tolás
 - Kémiaailag immobilis formába hozás
 - Bioakkumuláció/bioszorpció

Fizikai, kémiai és biológiai folyamatokon alapuló talajkezelési technológiák - fizikai

- Leggyakoribb **fizikai talajkezelési technológiák a szennyezett talajgáz elszívása és a víz kiszivattyúzása a talajból és felszíni kezelése.**
- Következmény: új kémiai és biológiai folyamatok, új egyensúlyi helyzet
 - Új víz, új levegő - szorpciós-deszorpciós, oldódás-kicsapódás, elpárolgás - gőzfázisból, mikroorganizmusok friss levegőellátottsága



Fizikai, kémiai és biológiai folyamatokon alapuló talajkezelési technológiák - kémiai

- A talajvízben oldott és a szilárd talajfázishoz kötött, szorbeált formában jelenlévő szennyezőanyagokra.
- Az alkalmazott kémiai reakciók: oxidáció, redukció, a szubsztitúció, a kondenzáció, a polimerizáció, stb.
- A kémiai átalakítás célja lehet:
 - a mobilitás növelése (illékonyá tétel, vízoldhatóvá tétel, biológiai hozzáférhetőség növelése),
 - immobilizálás (oldhatatlanná tétel, kicsapás),
 - teljes vagy részleges bontás,
 - toxikusság csökkentés, toxicitásért felelős csoportok elbontása, lecserélése (pl. deklórozás).



<https://www.geo-solutions.com/services/soil-mixing/in-situ-chemical-reduction/>

Fizikai, kémiai és biológiai folyamatokon alapuló talajkezelési technológiák - termikus

- *Ex situ, in situ*
- Széles hőmérséklettartomány
- Gőz, meleg levegő, elektromos erőter, rezgések
- 40-50 °C-ig - a biológiai folyamatok intenzifikálása

– Cél?

- 100–600 °C hőmérséklettartomány: deszorpció intenzifikálása,
– elsősorban *ex situ* technológiai megoldásokban, zárt reaktorokban

- Gőzzel végzett szennyezőanyag kihajtás

- Égetés, pirolízis

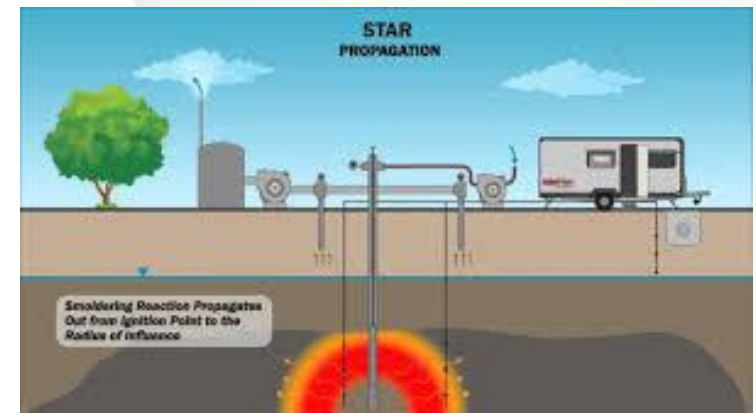
- Vitrifikáció

- + ...*egyéb termikus eljárások*



<http://www.gencor.com/index.php?page=soil-remediation-plants>

<http://savronsolutions.com/products>



Fizikai, kémiai és biológiai folyamatokon alapuló talajkezelési technológiák - biológiai

- **Bioremediáció** → élő sejtek vagy szervezetek, esetleg azok valamely termékének (pl. enzim) biodegradációs, bioakkumulációs vagy biológiai stabilizáló képességét állítja a technológia középpontjába → optimális körülmények biztosítása az alkalmazott technológiai paraméterekkel, adalékanyagokkal.
- Felhasználhatóak:
 - Ökoszisztéma endogén tagjai/közösségei
 - Izolált és mesterségesen felszaporított mikroorganizmusok, növények (adaptált, genetikailag módosított...)
 - Aktív közösségek (pl. szennyvíziszapból, komposztból, aktív talajból stb.)



www.grainnews.ca

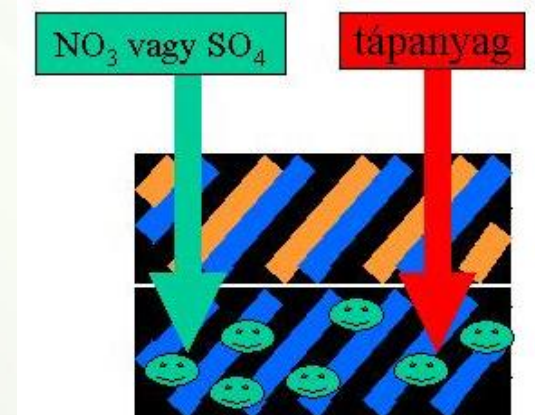
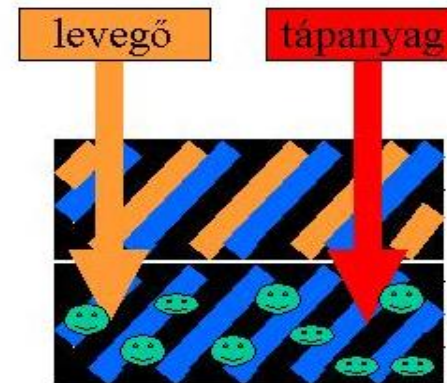
Szennyező- anyag kémiai tulajdonsága	Talaj szilárd fázisa	Talajvíz	Talajlevegő
Illékony	Bioremediáció Talajgőz kiszívása és felszíni kezelése Termikus deszorpció	Bioremediáció Sztrippelés	Bioremediáció Talajgáz kiszívása és felszíni kezelése
Vízoldható	Bioremediáció Fitoremediáció Talajmosás Elektrokinetikai eljárások	Bioremediáció Fitoremediáció Talajvíz kiszívás & felszíni kezelés Aktív résfalak	Bioremediáció Talajgőz kiszívása és felszíni kezelése
Szorbeálódó	Bioremediáció Biológiai kioldás Fitoremediáció Extrakció Szemcseméret szerinti frakcionálás Termikus deszorpció Talajégetés/Pirolízis Vitrifikáció Elektrokinetikai eljárás	Biodegradáción alapuló remediáció Talajvíz kiszívás és felszíni kezelés	Bioremediáció Talajgáz kiszívása és felszíni kezelése

**Szennyezőanyag mobilizálásán
alapuló technológiák**

Szennyező- anyag kémiai tulajdonsága	Talaj szilárd fázisa	Talajvíz	Talajlevegő
Illékony	Gázadszorpció szilárd fázison Kémiai immobilizáció	Biológiai immobilizáció Kémiai immobilizáció	Izoláció Kémiai immobilizáció
Vízoldható	Biológiai immobilizáció Fitostabilizáció Szorpció növelése Kémiai oxidáció/redukció Fizikai-kémiai stabilizáció	Biológiai immobilizáció Rhizofiltráció Szorpció növelése Kicsapás, oldhatóság csökkentése Kémiai ox./redukció	Izoláció Fizikai-kémiai immobilizáció (kicsapás, szorpció növelése)
Szorbeálódó	Biológiai immobilizáció Fitostabilizáció Szorpció növelése Kémiai ox./redukció Fizikai-kémiai stabilizáció Vitrifikáció, kerámiába ágyazás	Biológiai immobilizáció Rhizofiltráció Szorpció növelése Kicsapás, oldhatóság csökkentés Kémiai oxidáció/redukció	Szennyezőanyag immobilizálásán alapuló technológiák

Biológiai folyamatokon alapuló talajkezelési technológiák – biodegradáción alapuló remediáció

- Biodegradáció
- Fokozatok beavatkozástól függően
 - A mikroflóra működésének optimalizálása, aktivitásának növelése
 - Enyhe beavatkozás
 - Erőteljesebb beavatkozás
 - Helyszínspecifikusság
- *In situ, ex situ*
- Talajgáz, talajvíz, teljes talaj



The background features a series of overlapping, wavy, ribbon-like shapes in various shades of green and white. The shapes flow from the top left towards the bottom right, creating a sense of movement and depth. The colors range from a vibrant lime green to a soft, pale green, with some areas appearing as white or light grey due to the layering and lighting effects.

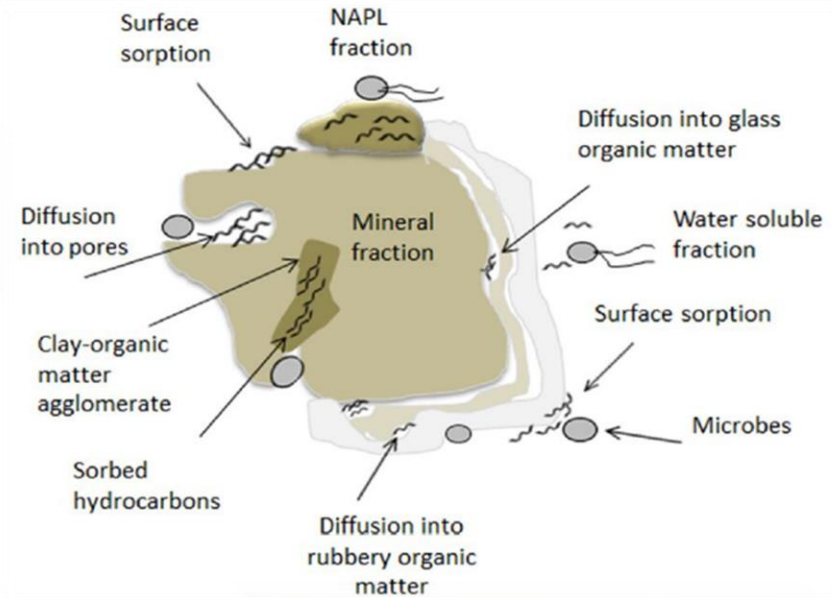
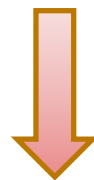
BIODEGRADÁCIÓ

Szerves szennyezőanyagok sorsa a talajban 1.

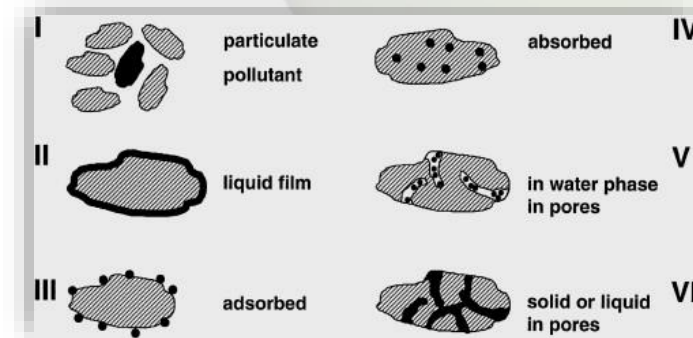
Formáik

Sorsuk

- Perzisztencia
- Beépülés biomassza
- Beépülés táphumusz
- Beépülés szerkezeti humusz
- Természetes koncentrációcsökkenés - kémiai folyamatok



Eman Koshlaf, Andrew S Ball: Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments, AIMS Microbiology, 3, 1, 25, 49, 2016-12-22, microbiol-03-00025,



Szerves szennyezőanyagok sorsa a talajban 2.

Biológiai folyamatok → biodegradáción alapuló

- **Biodegradáció**

- **Mikroorganizmus közösségek → lebontás**
- **Teljes biodegradáció / mineralizáció** (termékek pl. CO_2 , CH_4 , H_2O , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} biomassza)
- **Biotranszformáció / biokonverzió** (egy lépés a biokémiai lebontási útvonalban)

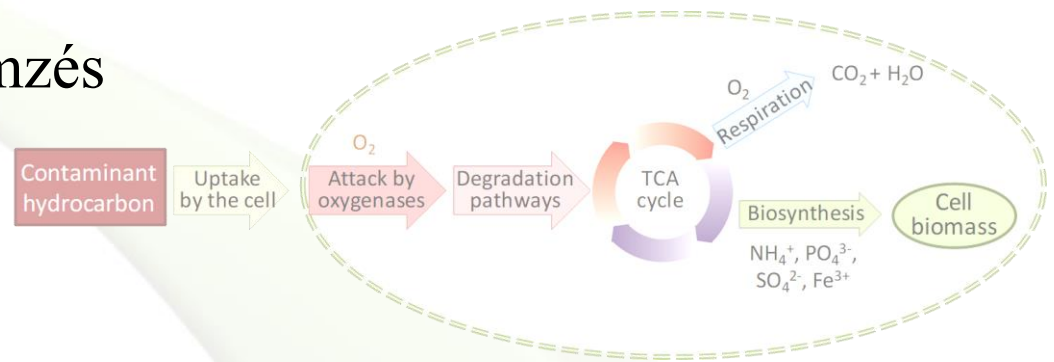
Biodegradáció → közvetlen v. közvetett

- **Kometabolizáció ***

* Tápanyagul nem szolgáló szubsztrát átalakulása, egy másik tápanyagul szolgáló szubsztrát átalakulásával egybekötve (nem növekedéshez kötött)

Kőolajszármazékok és xenobiotikumok lebontása

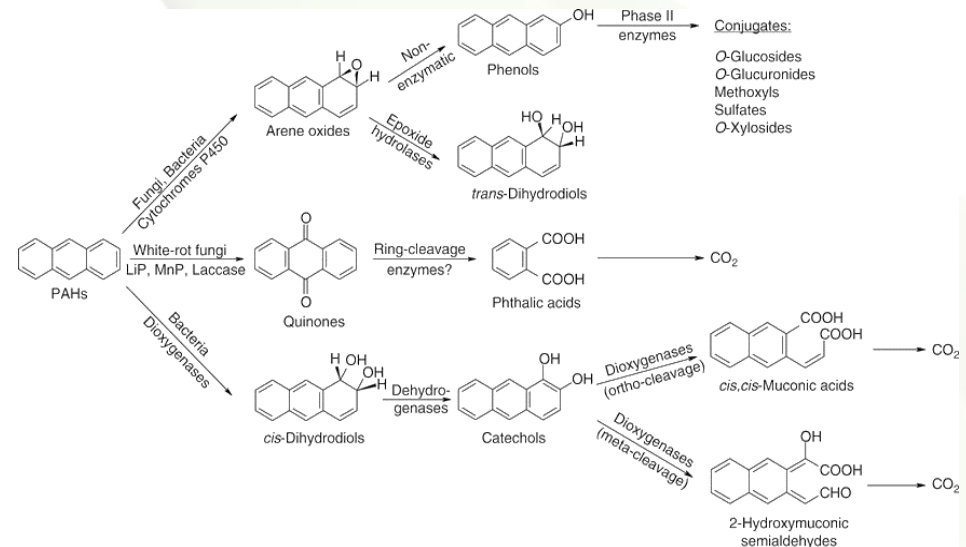
- Csoportosítás oxigénigény alapján
- Energetikai szempontból jellemzés



Jellemzők



- Szükséges idő
- Enzimreakciók
- Domináló reakciótípusok
- Enzimek
- Mikroorganizmusok



Szennyezett területeken folyó biodegradáció

Szerves (szennyező)anyag bekerül a környezeti elembe

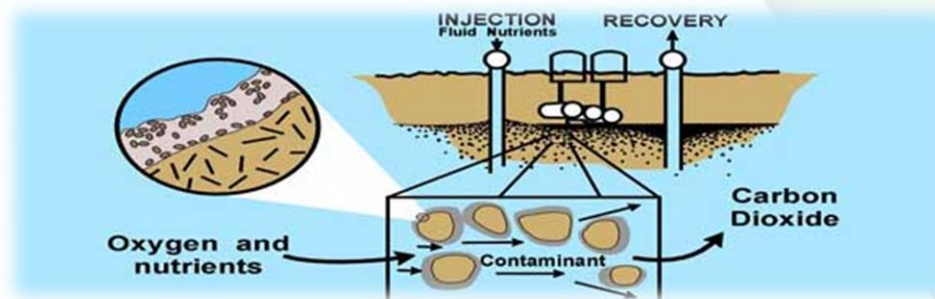


Mikrobaszám növekedés

Bontóképes fajok szelekciója

Fajeloszlás megváltozása

Felfokozott mutációs szelekciós és DNS rekombinációs folyamatok



Forrás: <http://www.alken-murray.com/clearflo.htm>, <http://biomineralsystems.com/e1.php>

Szénhidrogénbontó mikroorganizmusok

▪ Baktériumok

Aerob: *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Nocardia*, *Corynebacterium*, *Mycobacterium sp.*

Anaerob: *Acetobacterium*, *Rhodobacter*, *Desulfobacterium*, *Clostridium*, *Desulfococcus*, *Desulfovibrio*, *Syntrophus sp.*



www.grainews.ca

Gram-Negative Bacteria

Pseudomonas spp.
Acinetobacter spp.
Alcaligenes sp.
Flavobacterium!
Cytophaga group
Xanthomonas spp.

Gram-Positive Bacteria

Nocardia spp.
Mycobacterium spp.
Corynebacterium spp.
Arthrobacter spp.

Bacillus spp.

Szénhidrogénbontó mikroorganizmusok

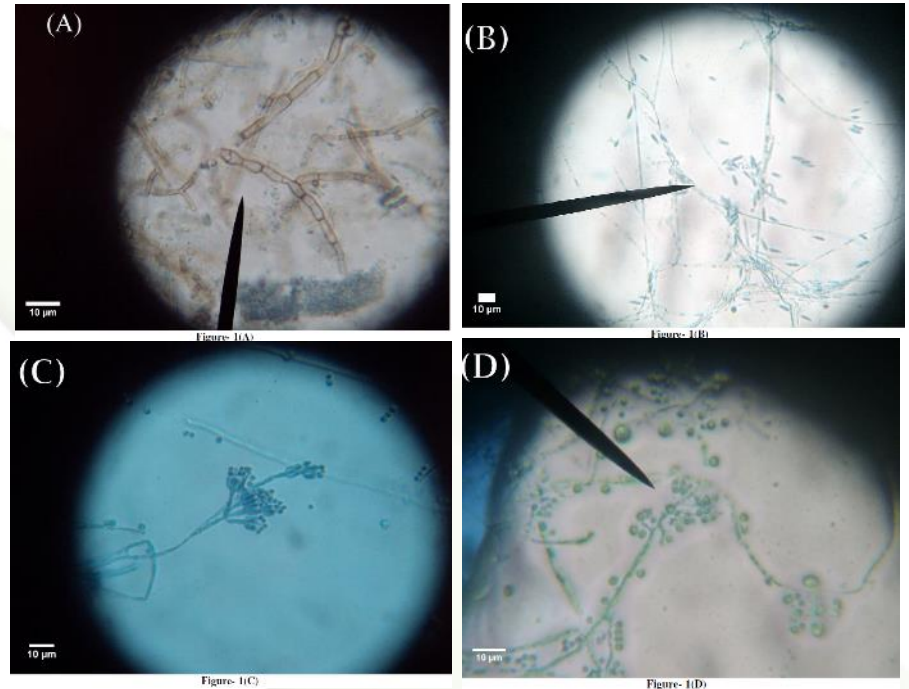
■ Gombák

Aspergillus sp., *Mucor sp.*,
Rhizopus sp., *Penicillium sp.*...

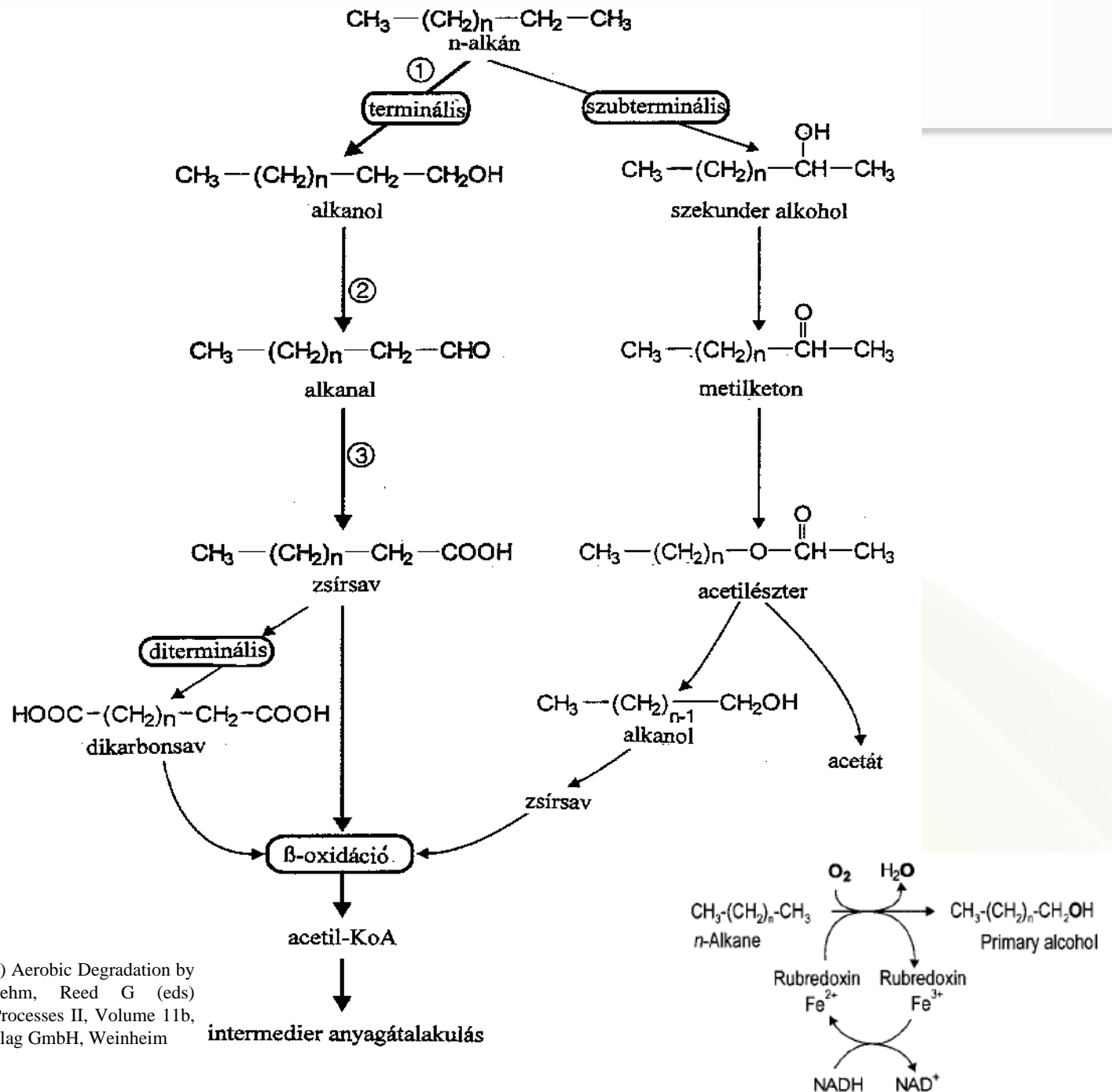
Phanerochaete chrysosporium,
Agrocybe aegerita, *Coriolopsis*
gallica, *Lenzites betulina*,
Nematoloma frowardii,
Morchella conica, *Agarius*
bisporus

Photomicrographs of the isolates at 400 magnifications.

- (A) conidiophores and conidia of *Cladosporium tenuissimum*;
- (B) macroconidia of *Fusarium moniliforme*;
- (C) biverticilliate conidiophores *Penicillium corylophilum*;
- (D) side branching of conidiophores of *Trichoderma koningii*; (E) conidiophores, conidial heads and conidia *Aspergillus niger*



Az alkánok lebontásának biokémiai útjai



•Fritsche W, Hofrichter M (2008) Aerobic Degradation by Microorganisms. In: HJ Rehm, Reed G (eds) Biotechnology: Environmental Processes II, Volume 11b, Second Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim

ADATBÁZIS

Biodegradációs útvonalak

UM-BDD University of Minnesota Biocatalysis/Biodegradation Database

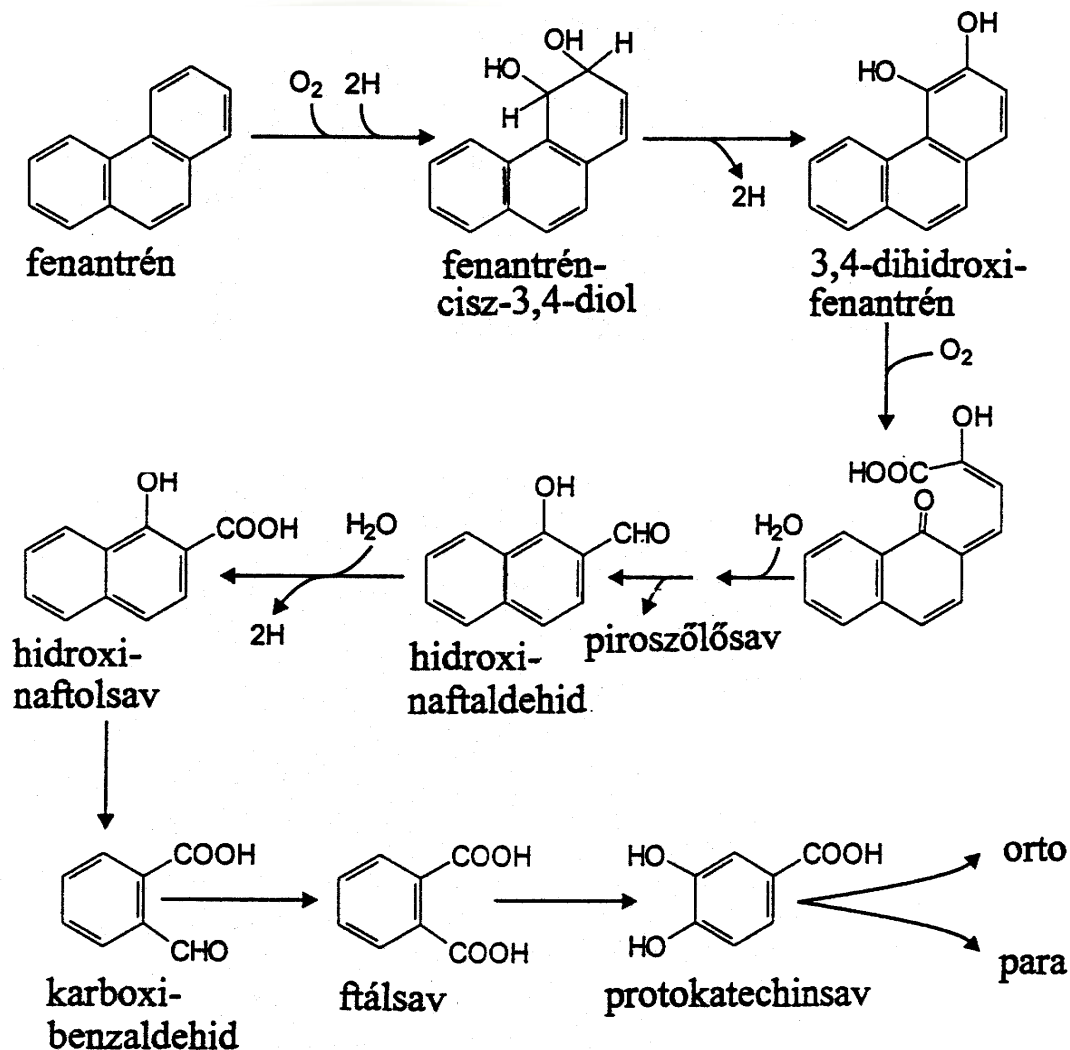
Microbial biocatalytic reactions and biodegradation pathways.

<http://umbbd.ethz.ch/>

<http://eawag-bbd.ethz.ch/>

- 217 - 219 útvonal
 - 1488 - 1503 reakció
 - 1379 - 1396 vegyület
 - 984 - 993 enzim
 - 534 - 543 mikroorganizmus...
- Lebontási útvonalak grafikusán is.

A fenantrén bakteriális lebontása



- Dioxigenázok és dihidrogenázok reakciója az egyik gyűrűn

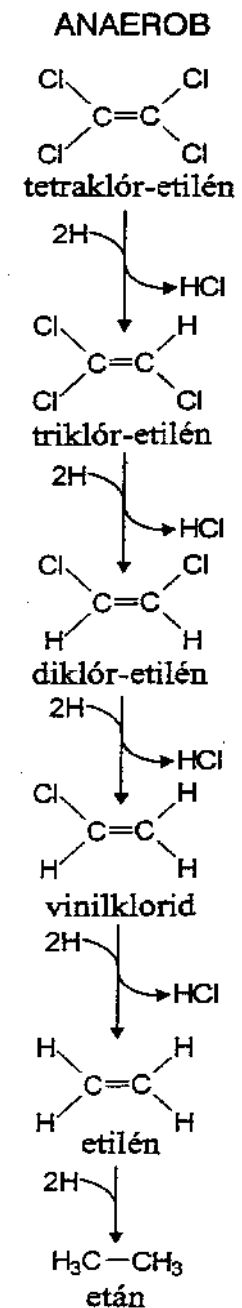
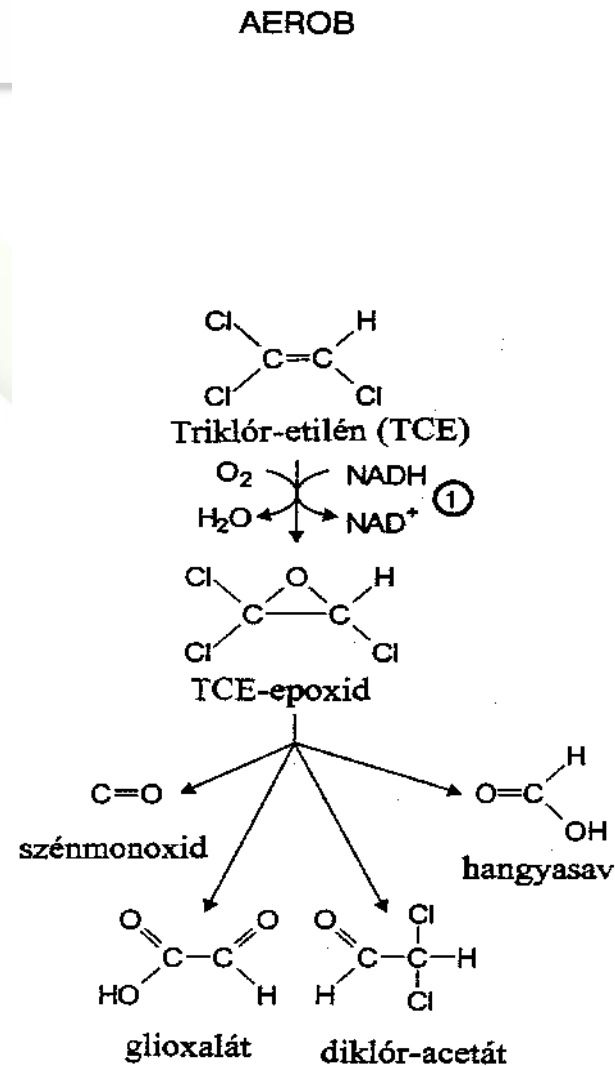
- Gyűrűhasadás

• Fritsche W, Hofrichter M (2008) Aerobic Degradation by Microorganisms. In: HJ Rehm, Reed G (eds) Biotechnology: Environmental Processes II, Volume 11b, Second Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim

•A metanotróf baktériumok a metán-monooxygenáz enzim segítségével bontják pl. a triklóretilént, és még egy sor más klórozott szénhidrogént (pl. cisz- és transz-diklóretilén).

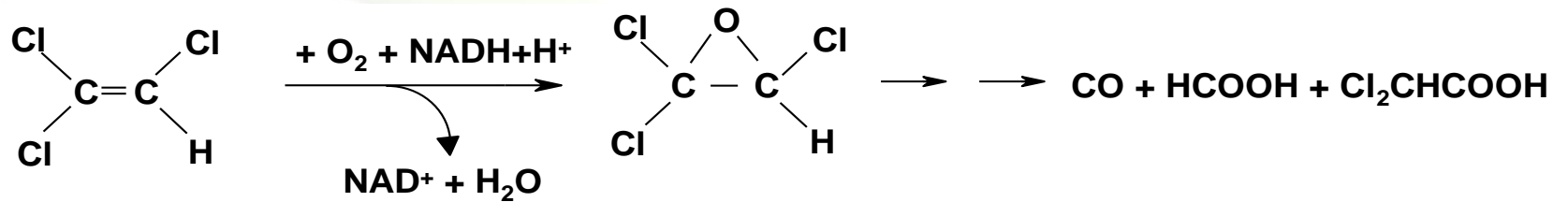
•Anaerob lebontás: reduktív dehalogénezéssel különböző anaerob baktériumok → deklórozott alkán és sósav.

•Aerob lebontás: az epoxi-képzés kulcsreakcióját a (1) a metán-monooxygenáz katalizálja. Az instabil molekula extracellulárisan szétdarabolódik.

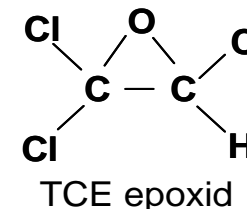
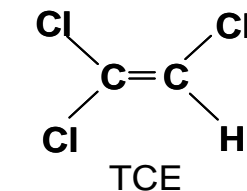
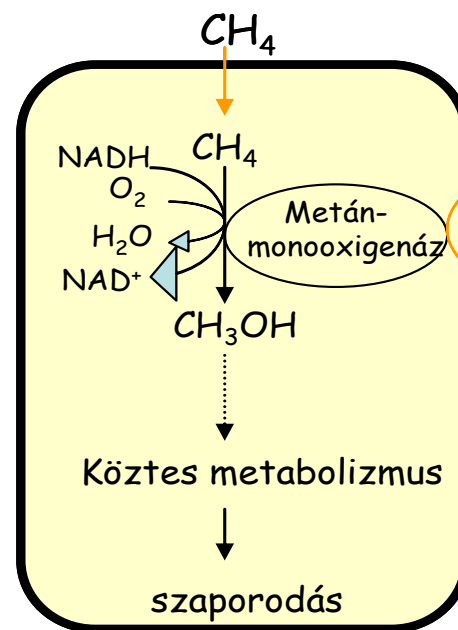


Kometabolizmus: TCE (triklóretilén)

Biodegradáció kometabolizmussal, oxigenáz reakció



Növekedési szubsztrát



formiát, CO, diklóracetát, glioxilát

Biodegradáció - biodegradálhatóság

Biodegradálhatóság: a szerves vegyületek immanens anyagi tulajdonsága, a kémiai szerkezetéből adódó biológiai bonthatósága. Mérés *standard* körülmények között.

Szerves vegyületek **biodegradációja**: a környezetbe kerülésük és a biotával való **kölcsönhatásuk** eredményeképpen nyilvánul meg.



A biodegradáció mértéke és sebessége függ: szerves vegyület biodegradálhatósága és a környezet biodegradálódó képessége

Jellemzés: a bontáshoz szükséges idővel (ill. felezési idővel) – $t_{1/2}$, **DT50**

Szennyezőanyagok

- Koncentrációja
- Összetétele
- Minőség, szerkezeti jellemzők

Mikroorganizmusok

- Mennyisége
- Mikroflóra összetétele
- Mikroflóra aktivitása

Biodegradációt befolyásoló paraméterek

Környezeti paraméterek

- Oxigénellátottság, redoxviszonyok
- NPK, pH, T
- Talajfizikai paraméterek

Egyéb paraméterek

- Hozzáférhetőség
- Kometabolikus szubsztrát
- ...

IRODALOM

- BGT Hungária Kft. – Környezeti és humán egészségi kockázatfelmérés, MOKKA Konferencia <http://www.mokkka.hu/index.php?body=publication>
- Gruiz Katalin, Horváth Beáta, Molnár Mónika: Környezettoxikológia, Műegyetemi Kiadó, 2001
- EU TGD 1996 (2003) Technical guidance document for environmental risk assessment of new and existing substances, Brussels
- ✓ <http://enfo.agt.bme.hu/drupal/en/elearning/11478>
- ✓ https://echa.europa.eu/documents/10162/16960216/tgdpart1_2ed_en.pdf
- Madarász T. Kovács G.: A kármentesítés szerepe a vízkészletvédelemben(könyvfejezet) a Szűcs-Sallai-Zákányi-Madarász(szerk): Vízkészletvédelem című egyetemi tankönyvben, Miskolci Egyetem. Három pillér –a kármentesítés során védendő értékeink Madarász Tamás, Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézet. 2009
- KVVM - <http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/>
- KÖRINFO adatbázis - www.korinfo.hu

IRODALOM

- Alvarez PJJ, Illman WA (2006) Bioremediation and Natural Attenuation. Wiley-Interscience, New Jersey
- Fritsche W, Hofrichter M (2008) Aerobic Degradation by Microorganisms. In: HJ Rehm, Reed G (eds) Biotechnology: Environmental Processes II, Volume 11b, Second Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim
- Jördening H-J, Winter J (2005) Environmental biotechnology. Concepts and application. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim
- Eman Koshlaf, Andrew S Ball: Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments, AIMS Microbiology, 3,1, 25, 49, 2016-12-22, microbiol-03-00025,
- 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, Dordrecht
- UM-BDD University of Minnesota Biocatalysis/Biodegradation Database. Microbial biocatalytic reactions and biodegradation pathways <http://umbbd.ethz.ch/>

The background features several flowing, wavy lines in various shades of green, from light lime to dark forest green, set against a white background. The lines are smooth and curved, creating a sense of movement and elegance. The text is centered horizontally and vertically within the white space.

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!