

NÁPRAVA EKOLOGICKÝCH ŠKOD

2. ČÁST

a) ZÁKLADY MIKROBIOLOGIE PRO APLIKACI
V SANAČNÍCH TECHNOLOGIÍCH

b) SANAČNÍ TECHNOLOGIE A JEJICH INŽENÝRSKÉ
ASPEKTY

VÍT MATĚJŮ

ENVISAN-GEM, a.s.

Biotechnologická divize, Radiová 7,

102 31 PRAHA 10

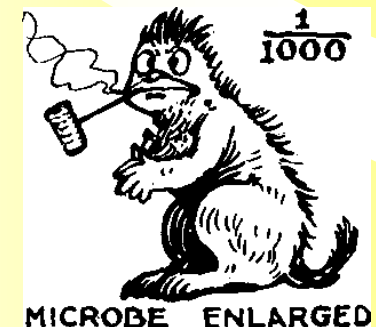
envisan@grbox.cz



MIKROBIOLOGIE

ZÁSADA PRO VYUŽÍVÁNÍ MIKROBIÁLNÍCH TECHNOLOGIÍ:

- Mikroorganismy pro nás nepracují proto, že my chceme, ale proto, že jim to přináší různé výhody, především energii pro množení a tvorbu biomasy a pro nezbytné fyziologické pochody
- Pokud jim zlepšíme podmínky v prostředí, pracují o to lépe.



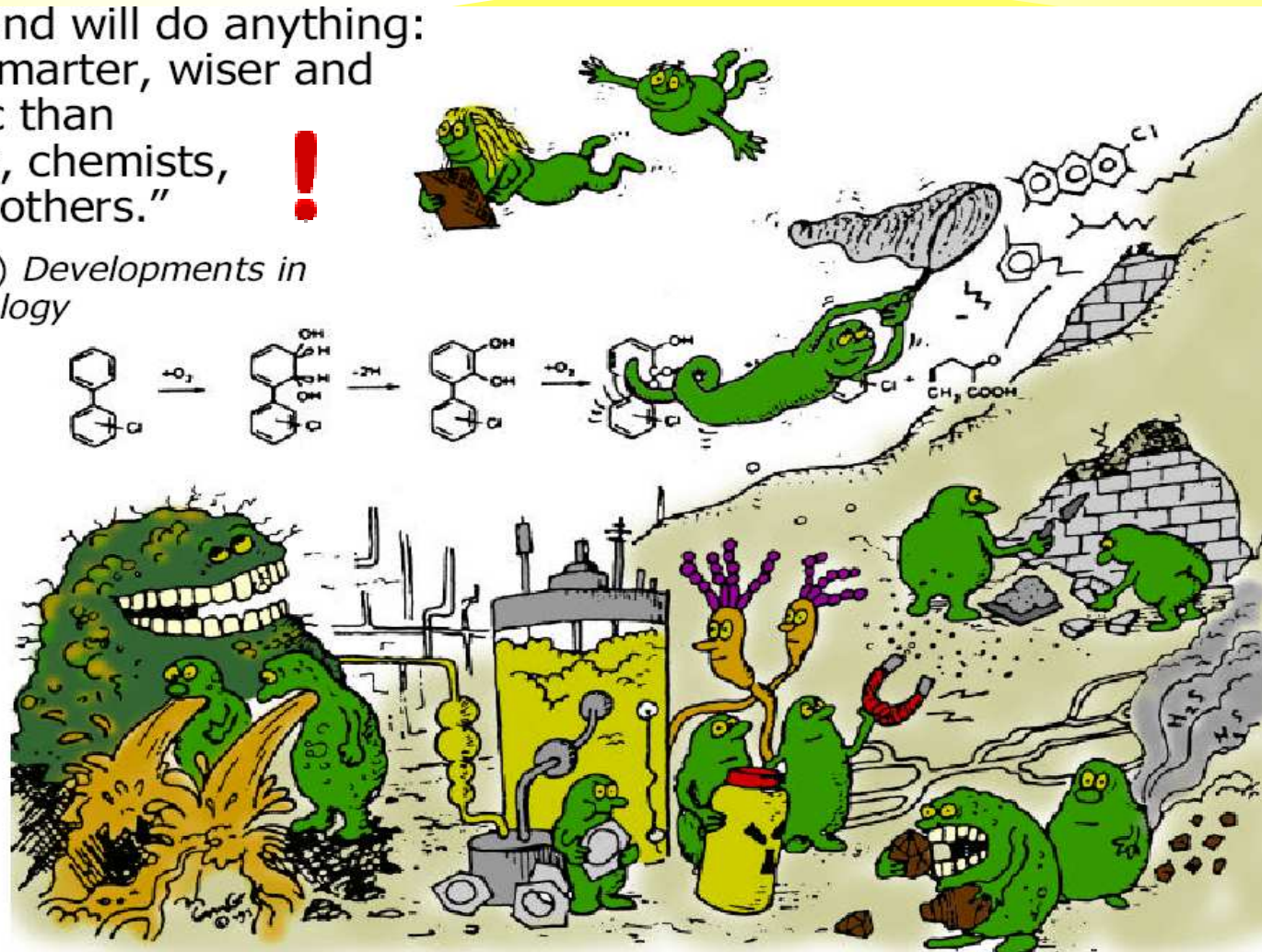
BEZE SLOV

Microbes can and will do anything:
microbes are smarter, wiser and
more energetic than
microbiologists, chemists,
engineers and others." !

Perlman, D. (1980) *Developments in
Industrial Microbiology*

Správně je

D. PERLMAN



Náprava ekologických škod - 2. část

MIKROBIOLOGIE

MIKROORGANISMY schopné rozkládat polutanty:

- bakterie
- kvasinky
- plísně
- nižší houby



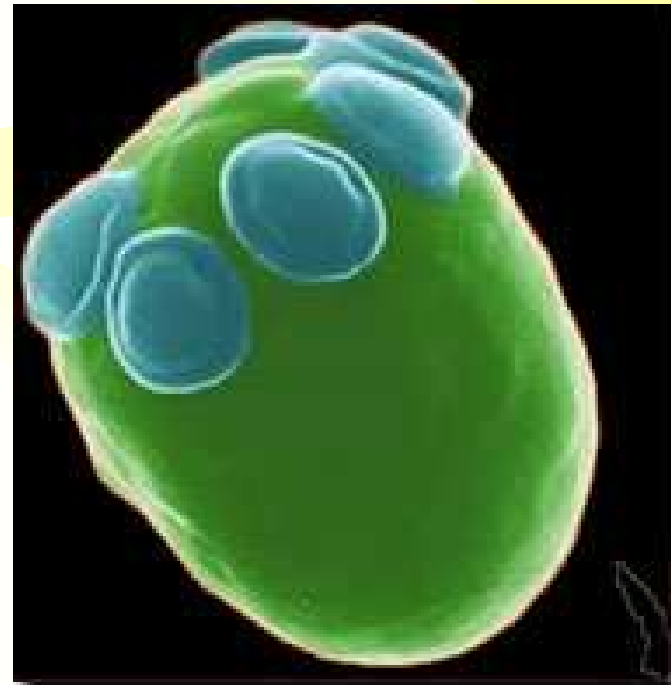
Nejčastěji se využívají bakterie.

Využití kvasinek pro čištění kontaminovaných lokalit prakticky neexistuje.

Nižší houby: snaha o jejich využití nevedla k úspěšným výsledkům, takže se v současné době nevyužívají.

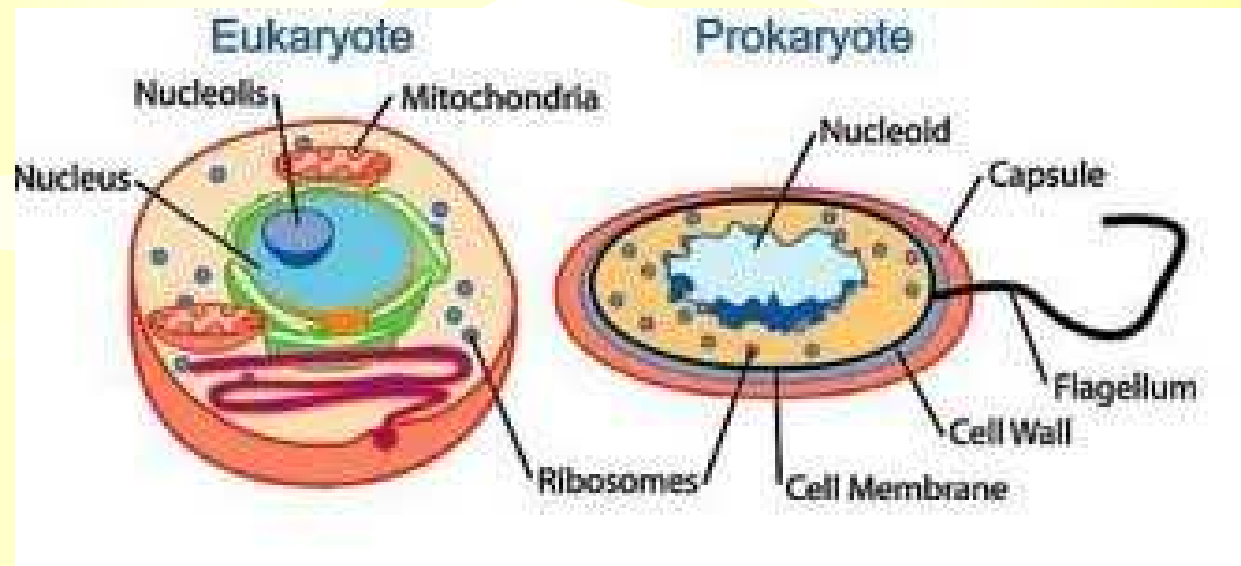
MIKROBIOLOGIE

- Bližší informace o použití kvasinek a lignovorných hub k eliminaci některých organických sloučenin bude ve 3. části kurzu.



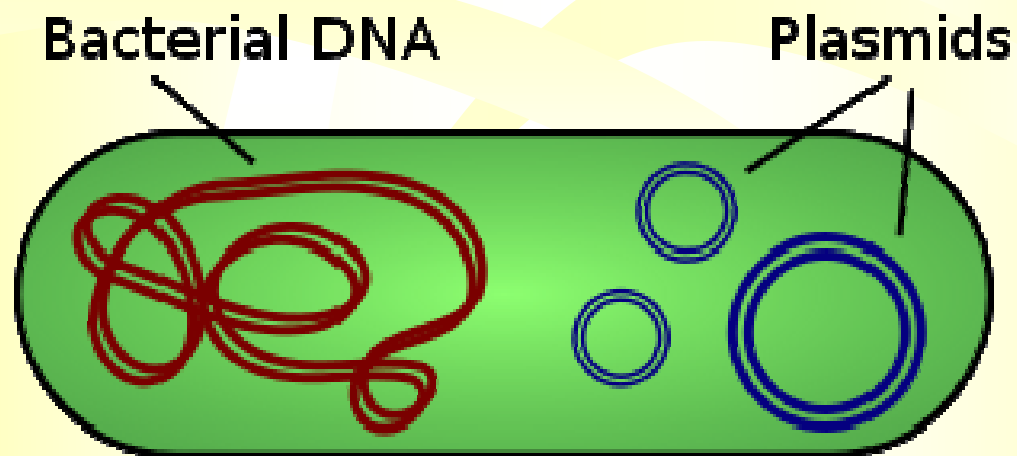
MIKROBIOLOGIE

- Eukaryontní organismy – kvasinky, nižší houby
- Prokaryontní organismy - bakterie

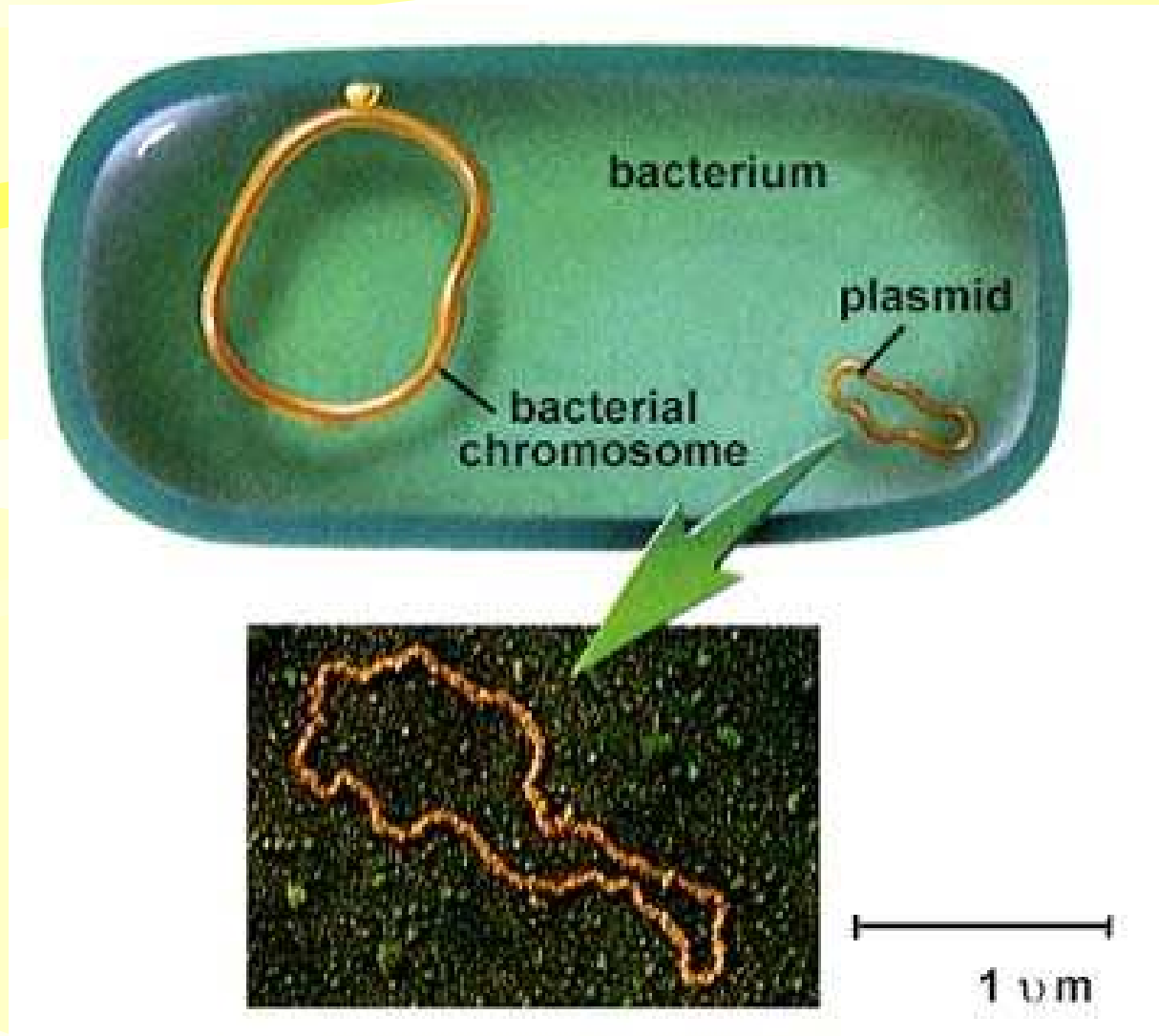


MIKROBIOLOGIE

- PLASMIDY – většinou nesou genetickou informaci pro syntézu enzymů nutných pro degradaci polutantů
- Pokud pomnožovací kultivace neprobíhá za selekčního tlaku, hrozí vyředění plasmidů a ztráta biodegradační aktivity.



MIKROBIOLOGIE

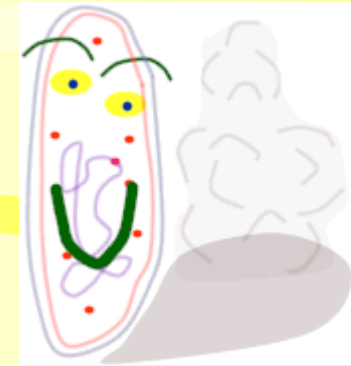


Náprava ekologických škod - 2. část

MIKROBIOLOGIE

- Využívají se kmeny přirozeně se vyskytující v zájmové lokalitě – autochtonní populace
- Nebo kmeny uměle připravené (izolace, selekční tlaky, pomnožení) s požadovanými vlastnostmi – allochtonní populace.
- Při využití allochtonních kmenů se postup nazývá bioaugmentace – obohacení vyselektovanými kmeny z jiných míst. Zastupitelný termín pro bioaugmentaci je inokulace.
- **OTÁZKOU JE, JAK DLOUHO INOKULOVANÉ KMENY PŘEŽÍVAJÍ A JAK DLOUHO JSOU AKTIVNÍ**

MIKROBIOLOGIE



CO MIKROORGANISMY UMÍ?

- **BIOTRANSFORMACE**

Obměna molekuly polutantu biologickou cestou, výsledek může být pozitivní i negativní

- **BIODEGRADACE**

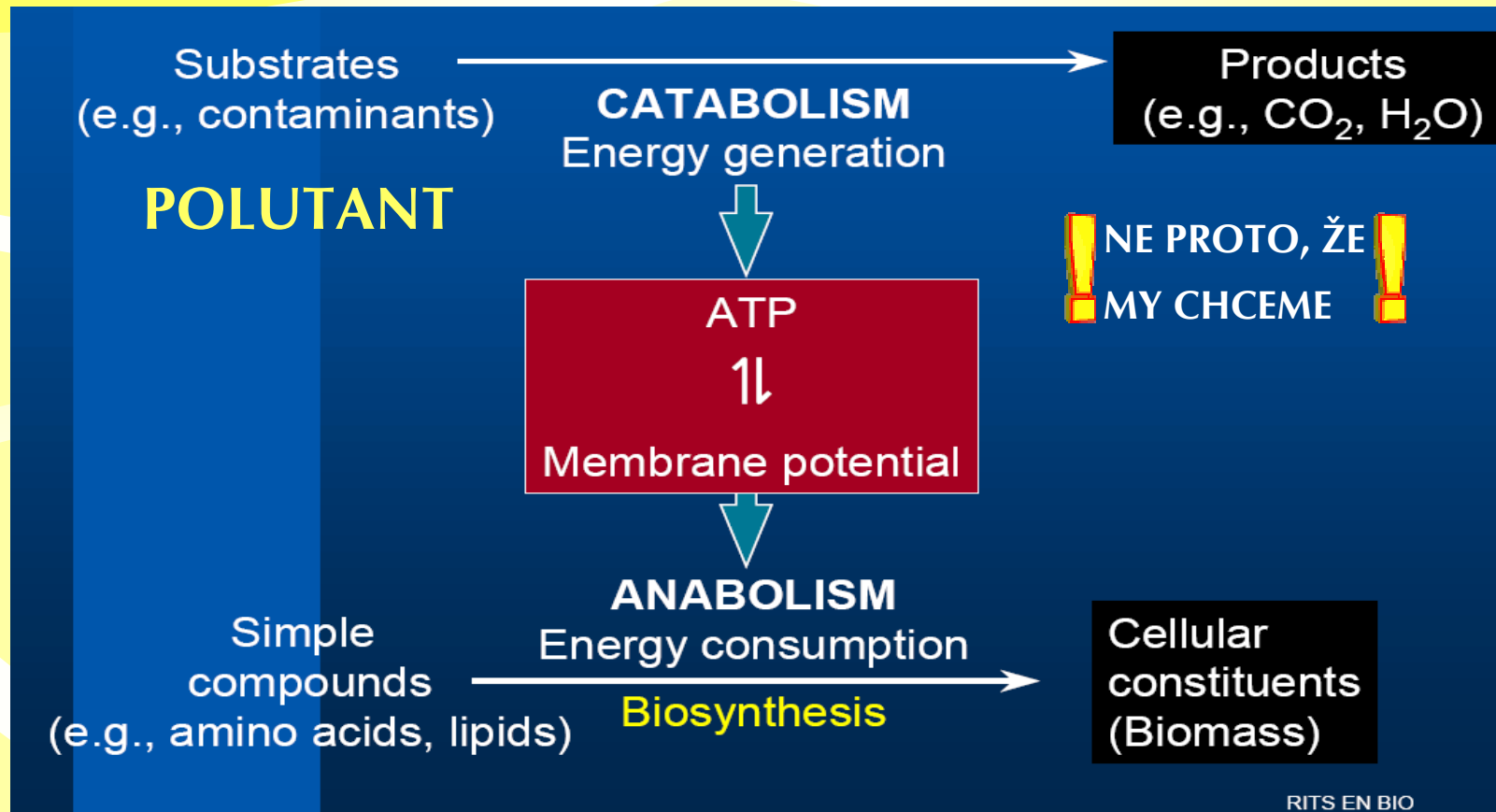
Rozklad organických látek na menší organické či anorganické molekuly (aminokyseliny, monosacharidy, tuky)

- **MINERALIZACE**

Oxidace organické látky na oxid uhličitý a vodu (za uvolnění energie a tvorby mikrobiální biomasy)

MIKROBIOLOGIE

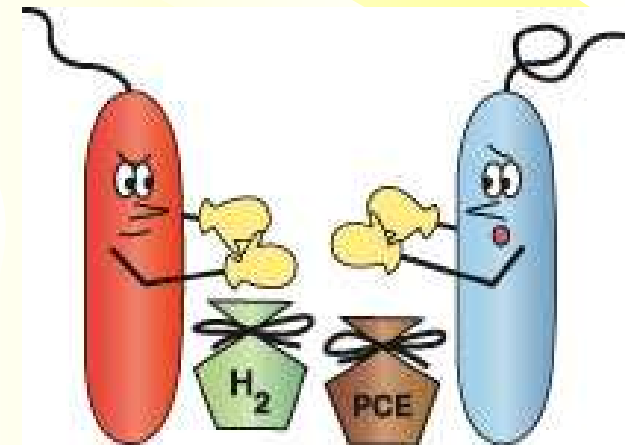
Základní mechanismy využití polutantů



MIKROBIOLOGIE

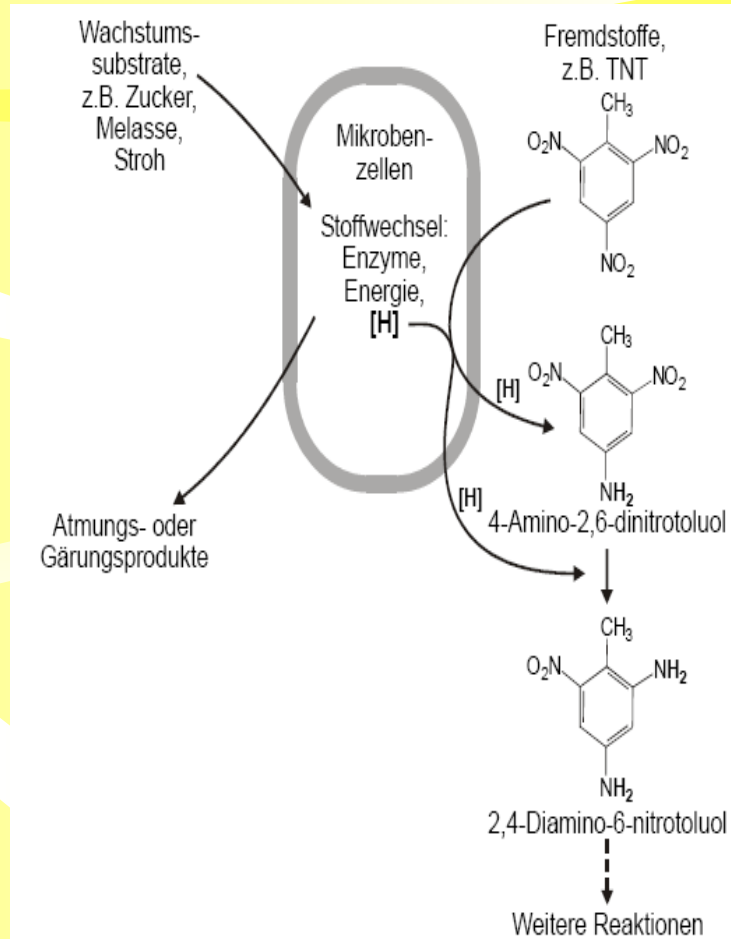
KOMETABOLISMUS

- Kometabolismus je transformace organické sloučeniny organismy, které nejsou schopné tuto látku využívat jako zdroj energie.
- Nespecifické enzymy pro jeden substrát jsou schopné využívat i jiné látky, strukturně podobné (např. monooxygenasy)



MIKROBIOLOGIE

KOMETABOLISMUS



Trichlorethylen (aerobně)

Trinitrotoluen

1,1,1-trichlorethan

MTBE

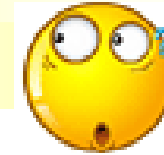
Chloroform

PCB

Polyaromatické uhlovodíky

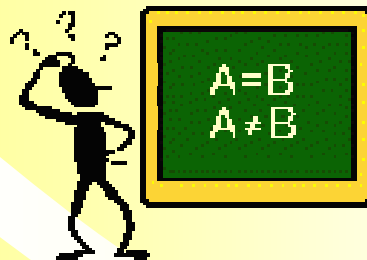
a mnoho dalších

MIKROBIOLOGIE

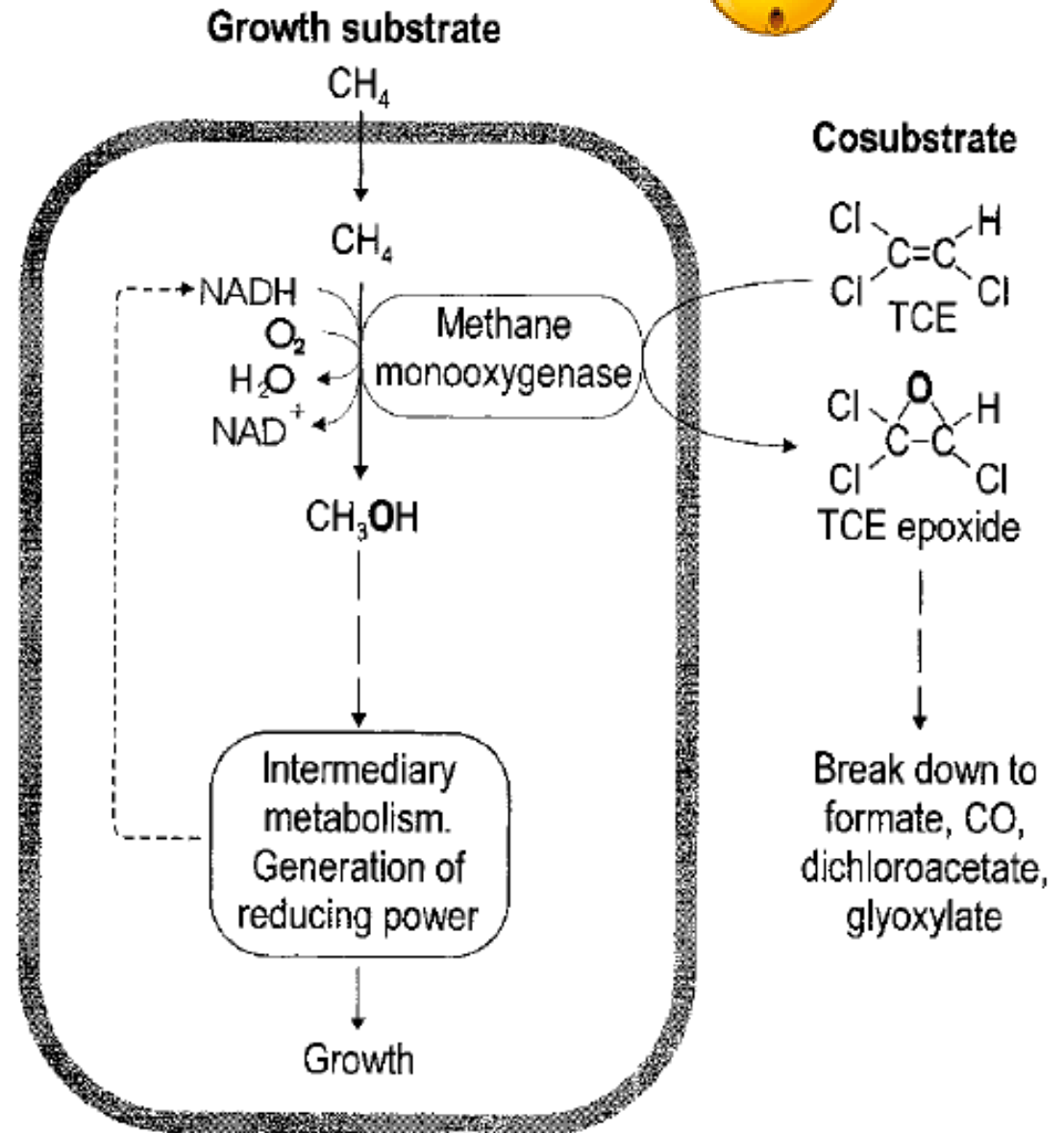


KOMETABOLISMUS

Kometabolická dehalogenace trichlorethylenu za aerobních podmínek



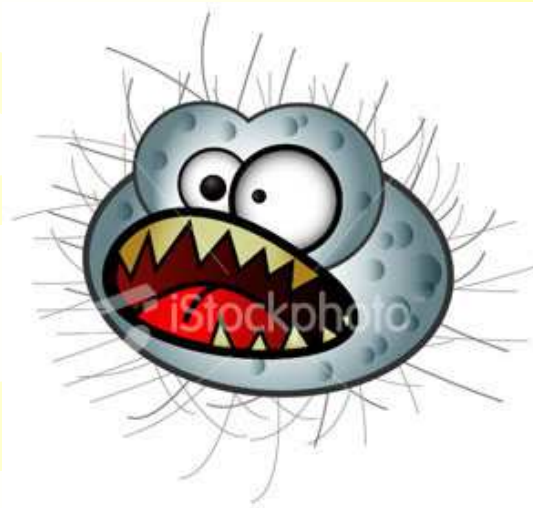
Nápr



MIKROBIOLOGIE

BAKTERIE VYUŽÍVANÉ PŘI BIOREMEDIACI

- *Pseudomonas* sp.
- *Burkholderia* sp.
- *Xanthomonas* sp.
- *Acinetobacter* sp.
- *Micrococcus* sp.
- *Rhodococcus* sp.
- *Ralstonia metallidurans*
- *Deinococcus radiodurans*
- *Arthrobacter* sp.
- *Sphingomonas aromaticivorans*
- *Nocardia* sp.
- *Comamonas* sp.



MIKROBIOLOGIE

BAKTERIE VYUŽÍVANÉ PŘI BIOREMEDIACI

Bakterie rodů *Xanthomonas* sp. a *Burkholderia* sp. jsou schopné využívat > 100 chemických sloučenin jako substrát.

Rhodococcus sp. – lipofilní složky buněčné stěny (peptydoglykan) usnadňují transport lipofilních polutantů do buňky. Vytvářejí biosurfaktant. Jsou schopné velkého množství metabolismů.

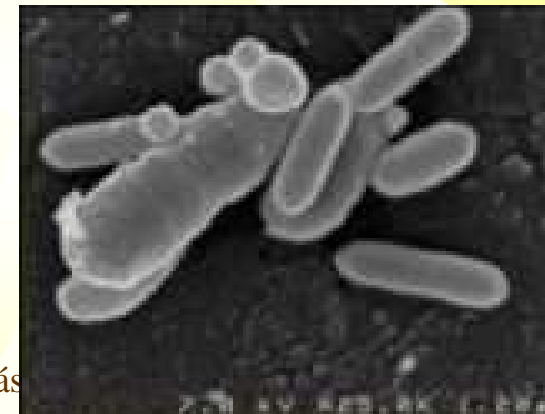


MIKROBIOLOGIE

Pro biologickou sanaci se jen výjimečně využívá jediný bakteriální kmen. Prakticky vždy se jedná o vznik bakteriálního konsorcia, které je vytvořeno vnesenými aktivními kmeny a kmeny vzniklými pod selekčním tlakem kontaminace v prostředí.

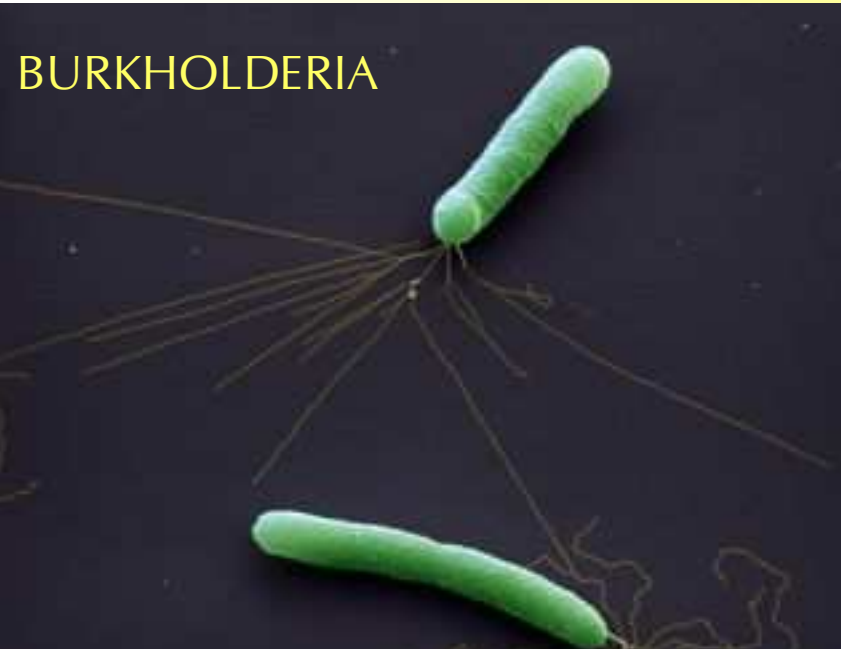
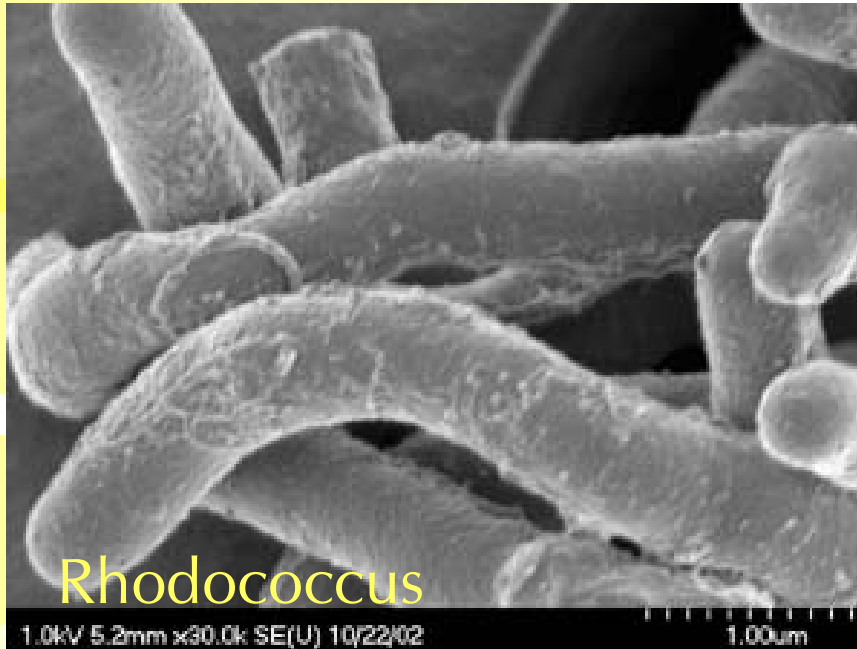
Mikrobiální konsorcium
dehalogenující
tetrachlorethan

Náprava ekolc



ás

MIKROBIOLOGIE



Xanthomonas

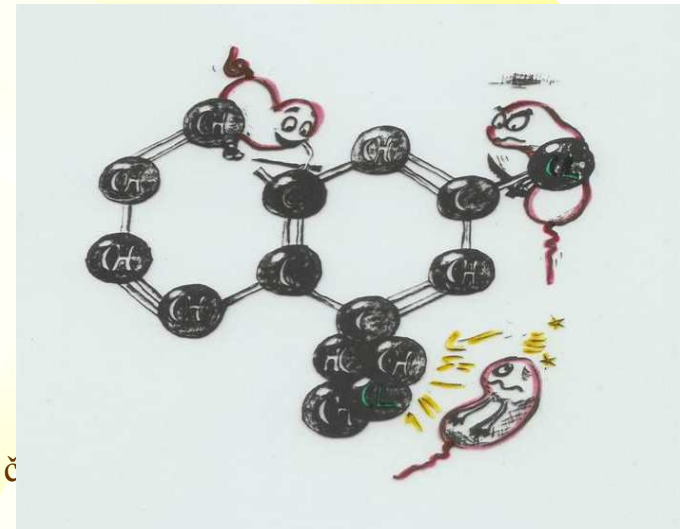


MIKROBIOLOGIE

- Pro biologický rozklad polutantů je nezbytné, aby mikroorganismy obsahovaly enzymy, které jsou schopné katalyzovat degradační či biotransformační reakce polutantu.
- Fyziologické pochody nesmí být inhibovány přítomnými polutanty
- Kontaminované prostředí nesmí působit na mikroorganismy toxicky

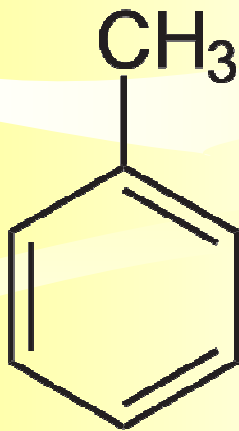
MIKROBIOLOGIE

- V prostředí je třeba zajistit dostatek makrobiotických prvků (dusík jako NH_4 a fosfor jako orthofosfát) a
- Vhodné pH, teplotu, dostatek vlhkosti (v půdě) a přítomnost finálních akceptorů elektronů

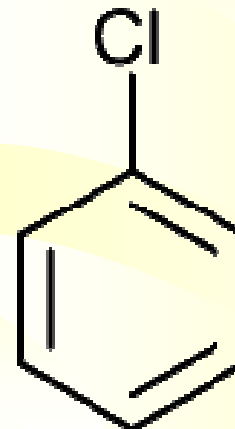


MIKROBIOLOGIE

- Některé polutanty nelze odbourávat vedle sebe, například



TOLUEN

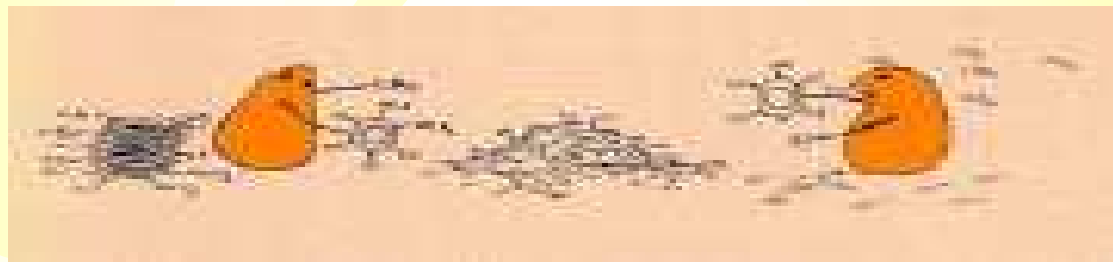


CHLORBENZEN

MIKROBIOLOGIE

OPTIMÁLNÍ PODMÍNKY - BAKTERIE

- pH 4,5 až 8,2
- Obsah vlhkosti nejméně 30 % půdní vodní kapacity
- Enzymy – oxydasy, monooxygenasy, dioxygenasy, hydrolasy, peroxidasy



MIKROBIOLOGIE

BIOLOGICKÝ ROZKLAD POLUTANTŮ

AEROBNÍ - v přítomnosti kyslíku (alifatické uhlovodíky, některé chlorované ethyleny, aromatické uhlovodíky, fenoly), kyslík je finální akceptor elektronů

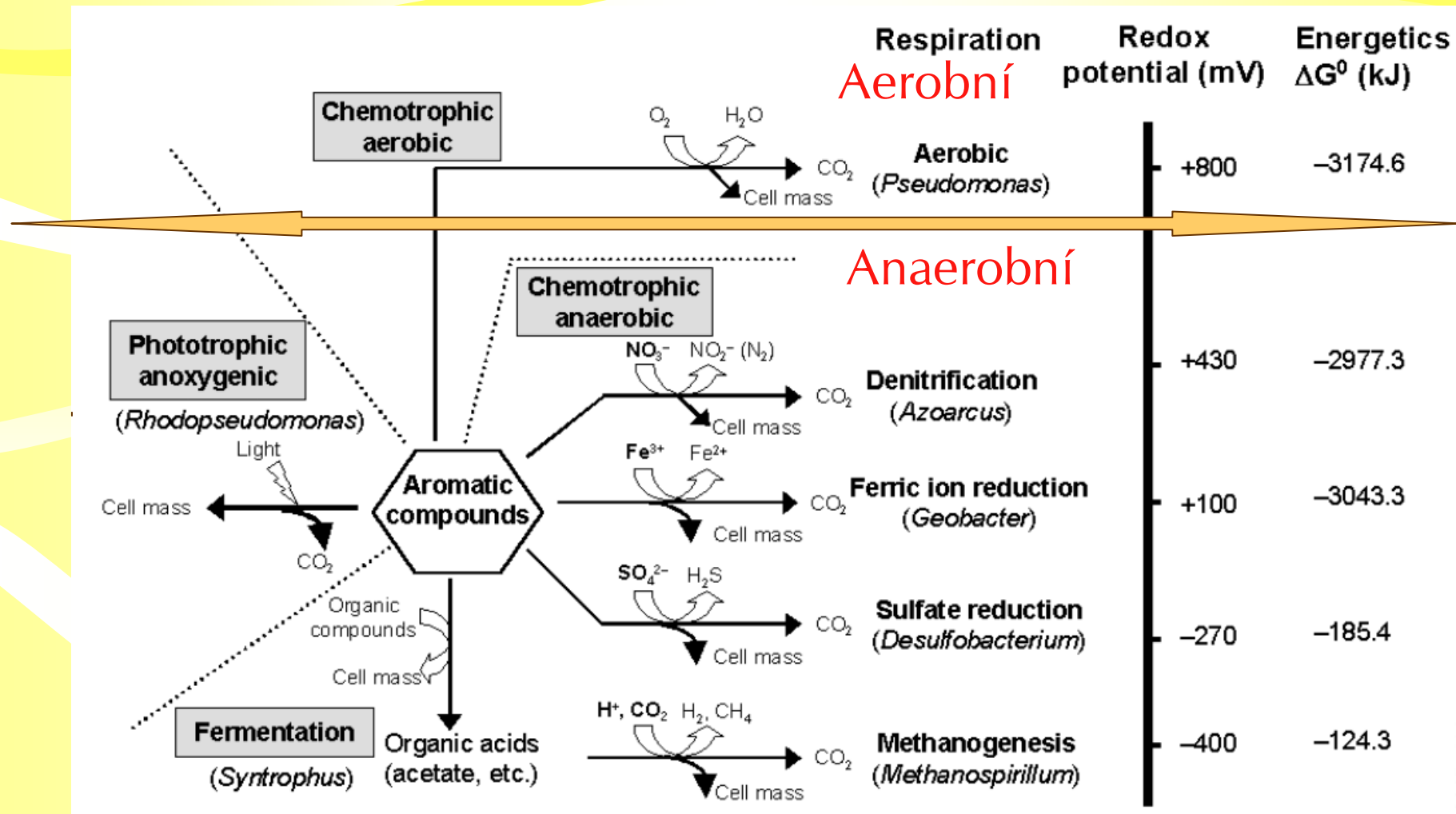
ANAEROBNÍ – bez přítomnosti kyslíku (pentachlorfenol, tetrachlorethylen, aromatické uhlovodíky, organické kyseliny, nitroaromatické sloučeniny – TNT, RDX, HRX – finální akceptor elektronů jiný než kyslík

MIKROBIOLOGIE

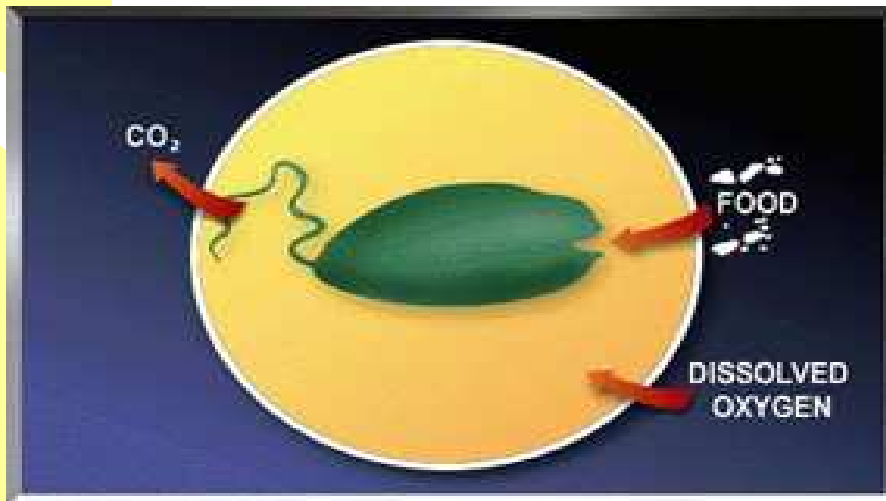
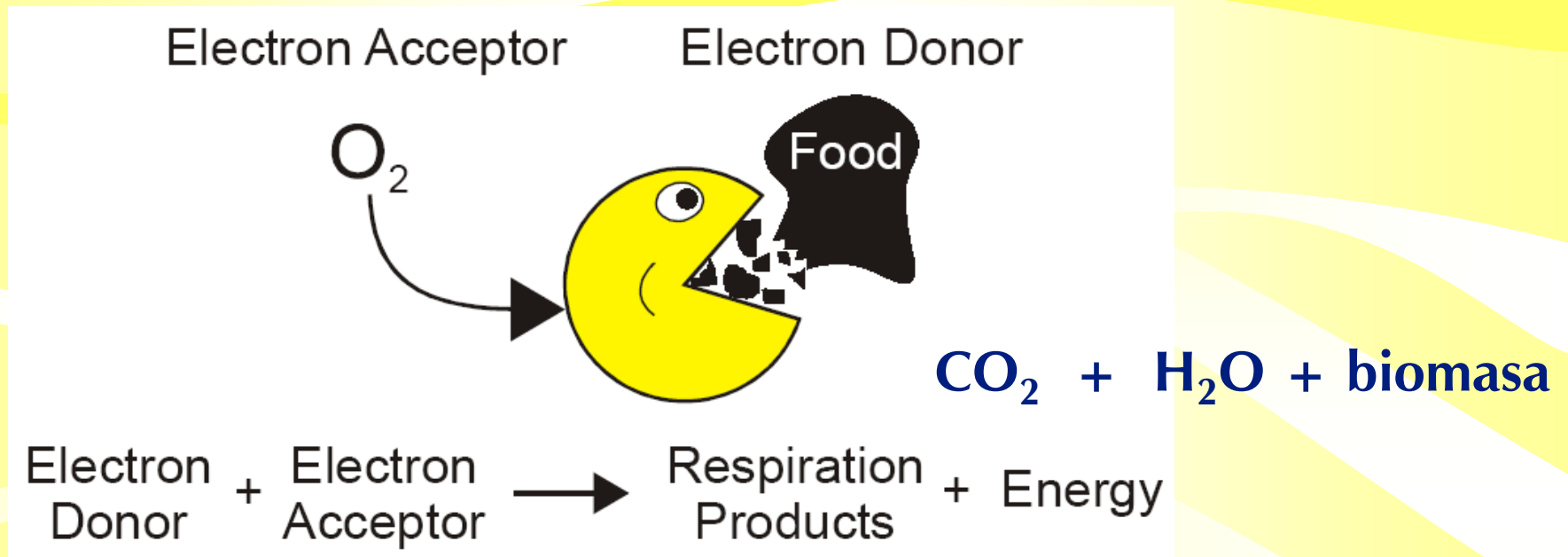
- **AUTOCHTONNÍ:** vyskytují se v horninovém, optimalizace podmínek
- **ALOCHTONNÍ:** bioaugmentace, selektované kmeny podle vlastností, příprava na lokalitě (kultivace za selekčních tlaků), vyředění plasmidů – **ztráta aktivity**

MIKROBIOLOGIE

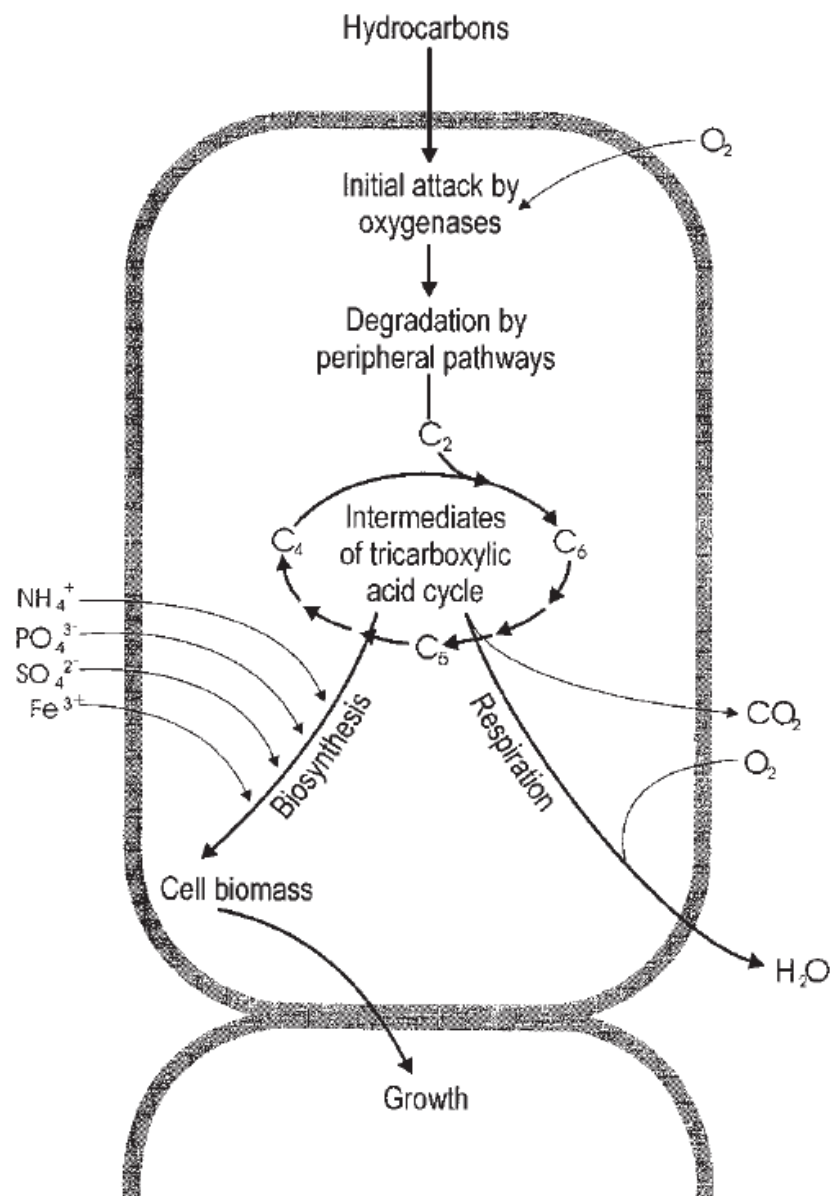
FINÁLNÍ AKCEPTORY ELEKTRONŮ



AEROBNÍ METABOLISMUM



AEROBNÍ METABOLISMUM

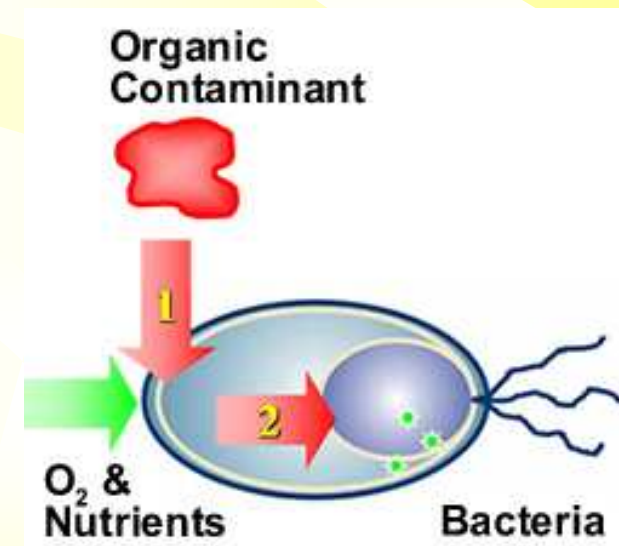


Hlavní principy aerobní
degradace uhlovodíků
Proces spojený s růstem

STECHEMIOMETRIE AEROBNÍHO ROZKLADU UHLOVODÍKŮ

- **Oxidační reakce:** $\text{C}_6\text{H}_6 + 12 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 30 \text{H}^+ + 30 \text{e}^-$
- **Redukční reakce:** $7.5 \text{O}_2 + 30 \text{H}^+ + 30 \text{e}^- \rightarrow 15 \text{H}_2\text{O}$

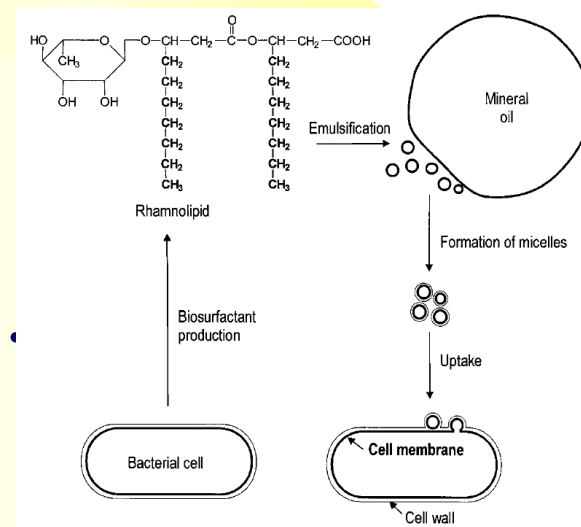
- **1 g C_6H_6 potřebuje na úplnou oxidaci 3 g O_2**



AEROBNÍ METABOLISMUM

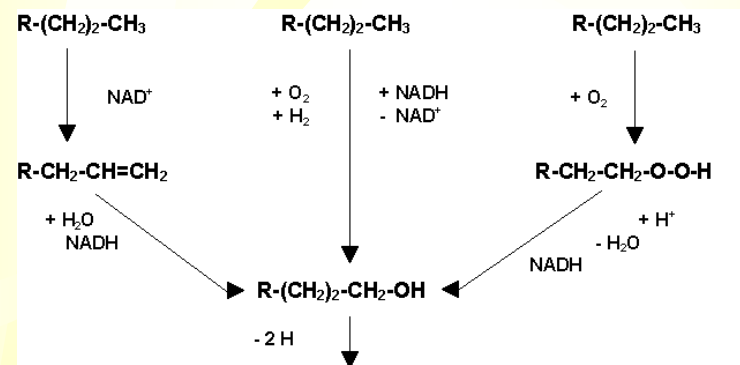
1. Metabolické procesy pro zlepšení kontaktu mezi bakteriální buňkou a organickým polutantem. Molekuly polutantu musí být dopraveny do buňky, protože bakterie nemají exoenzymy pro degradaci polutantů.

Například syntéza biologických surfaktantů.



AEROBNÍ METABOLISMUM

2. Počáteční atak organického polutantu začíná oxidačním procesem, aktivací kyslíku a inkorporací kyslíku do molekuly polutantu. Všechny reakce jsou katalyzovány enzymy oxygenasami a peroxidasami.

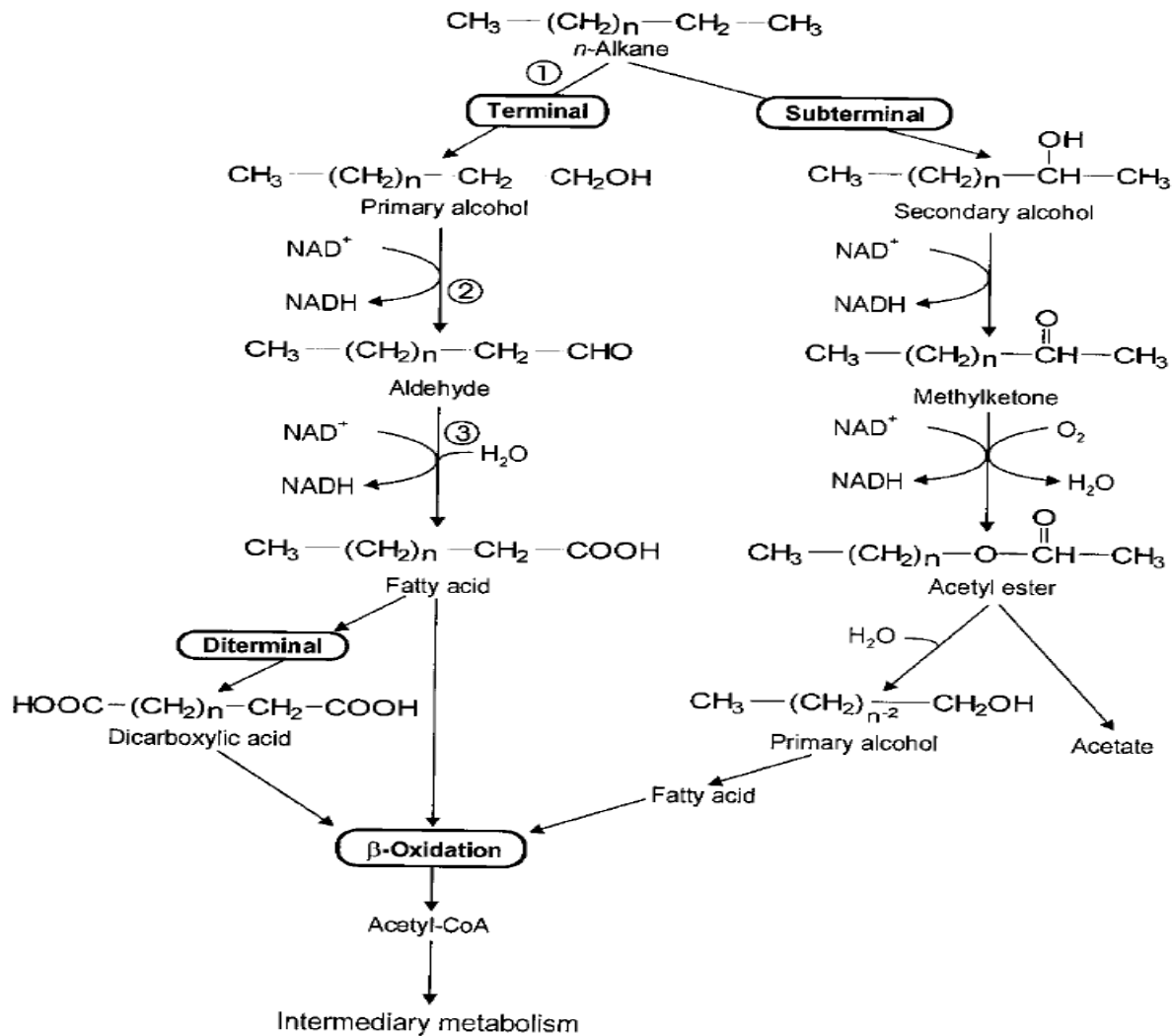


AEROBNÍ METABOLISMUM

3. Periferní degradační cesta převádí organický polutant krok za krokem na meziprodukty centrálního metabolismu, například na trikarboxylové kyseliny.
4. Biosyntéza buněčné hmoty z prekurzorů vzniklých v centrálním metabolismu, např. acetylCoA, sukcinát, pyruvát. Cukry se syntetizují glukoneogenezí (syntéza glukosy v buňce *de novo*).

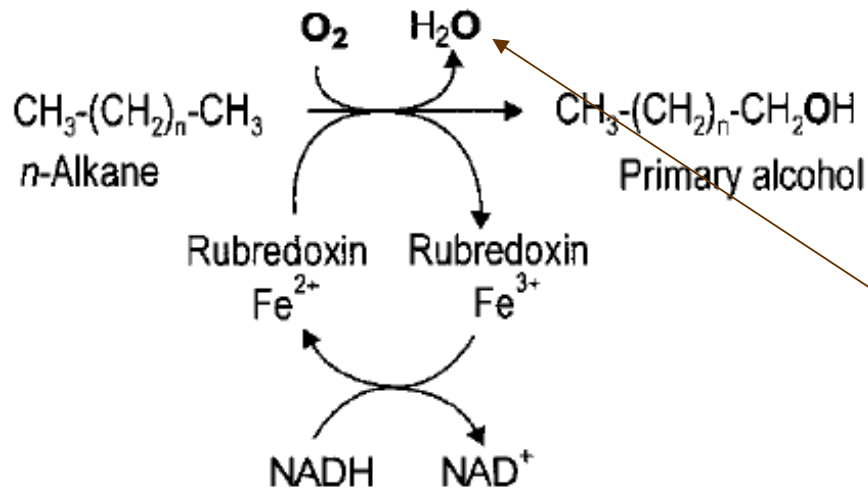
AEROBNÍ METABOLISMUM

AEROBNÍ DEGRADACE *n*-ALKÁNŮ

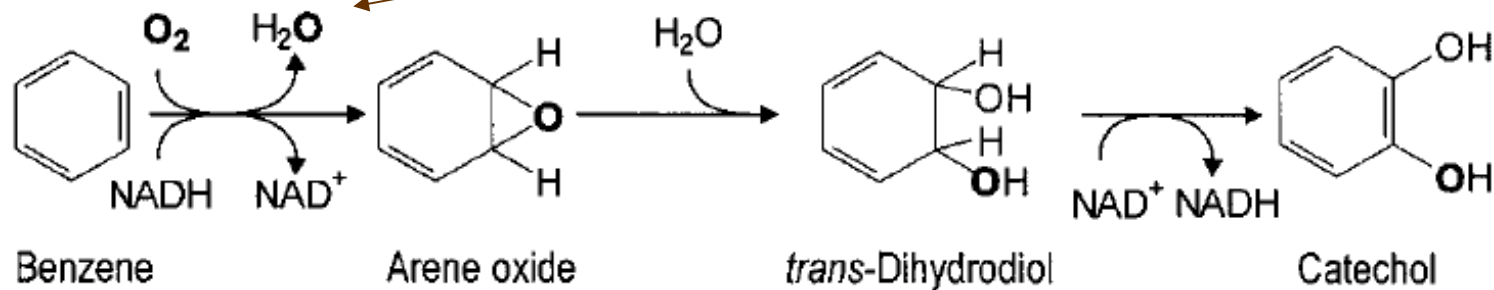


AEROBNÍ METABOLISMUM

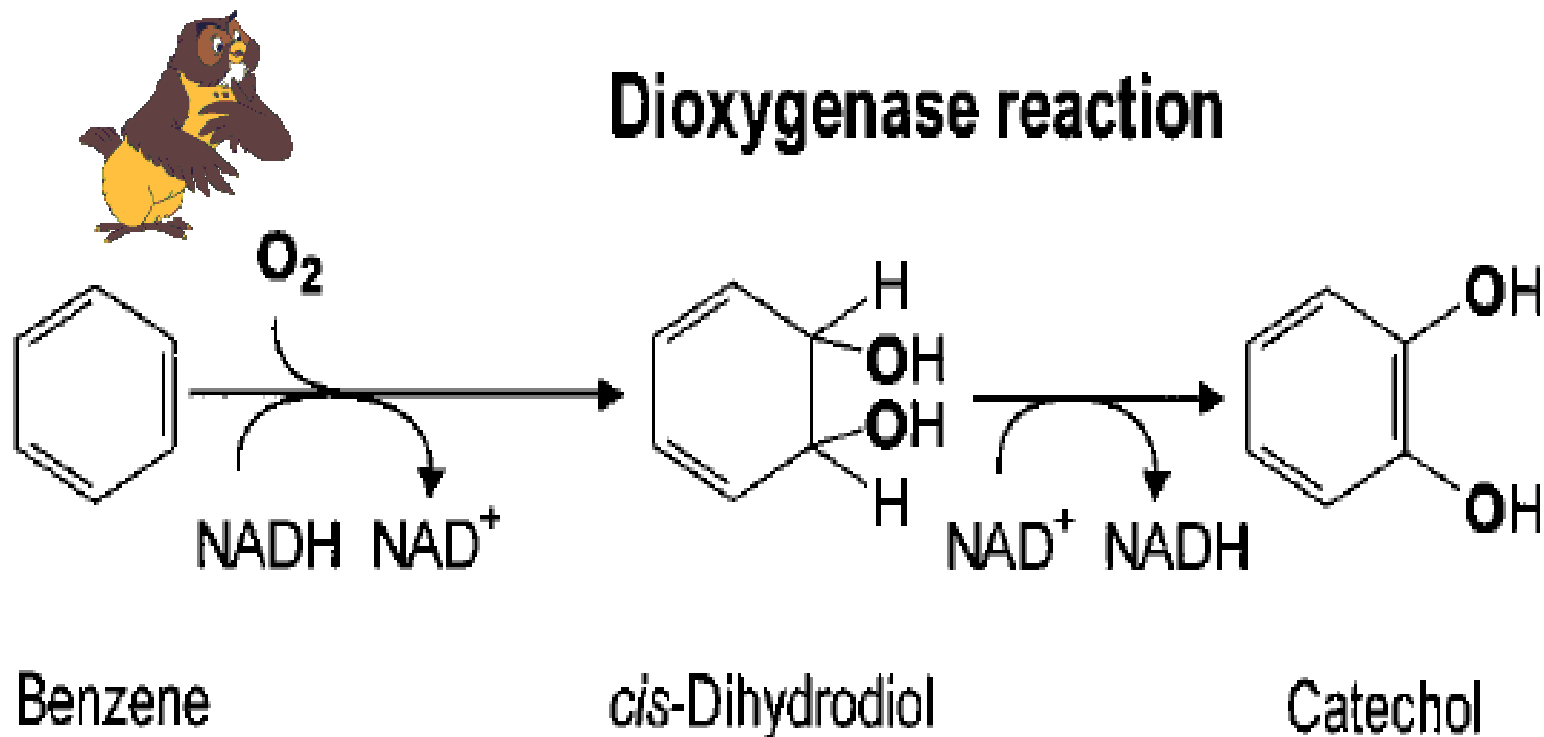
Monooxygenase reactions



Monooxygenasa do substrátu inkorporuje 1 atom kyslíku, druhý se redukuje na H_2O

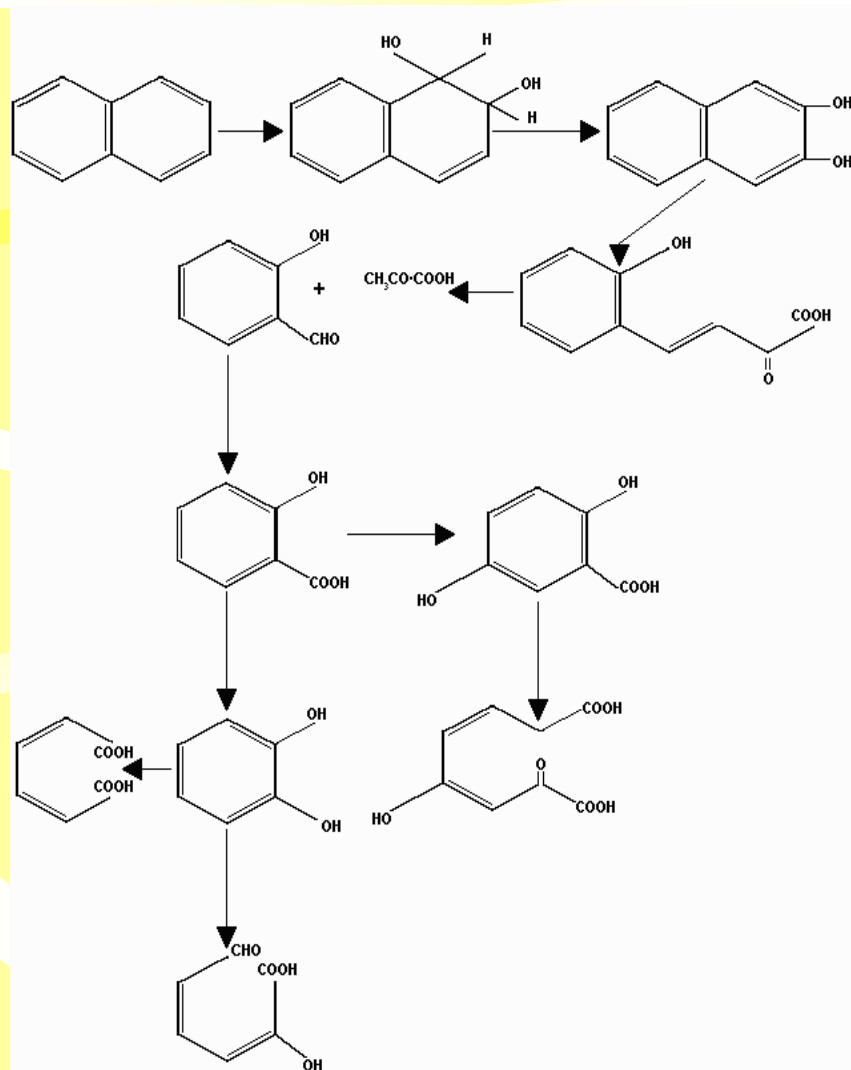


AEROBNÍ METABOLISMUM



Dioxygenasa inkorporuje do molekuly substrátu
2 molekuly kyslíku

AEROBNÍ METABOLISMUM



obr. č. 2 Bakteriální katabolická degradace naftalenu

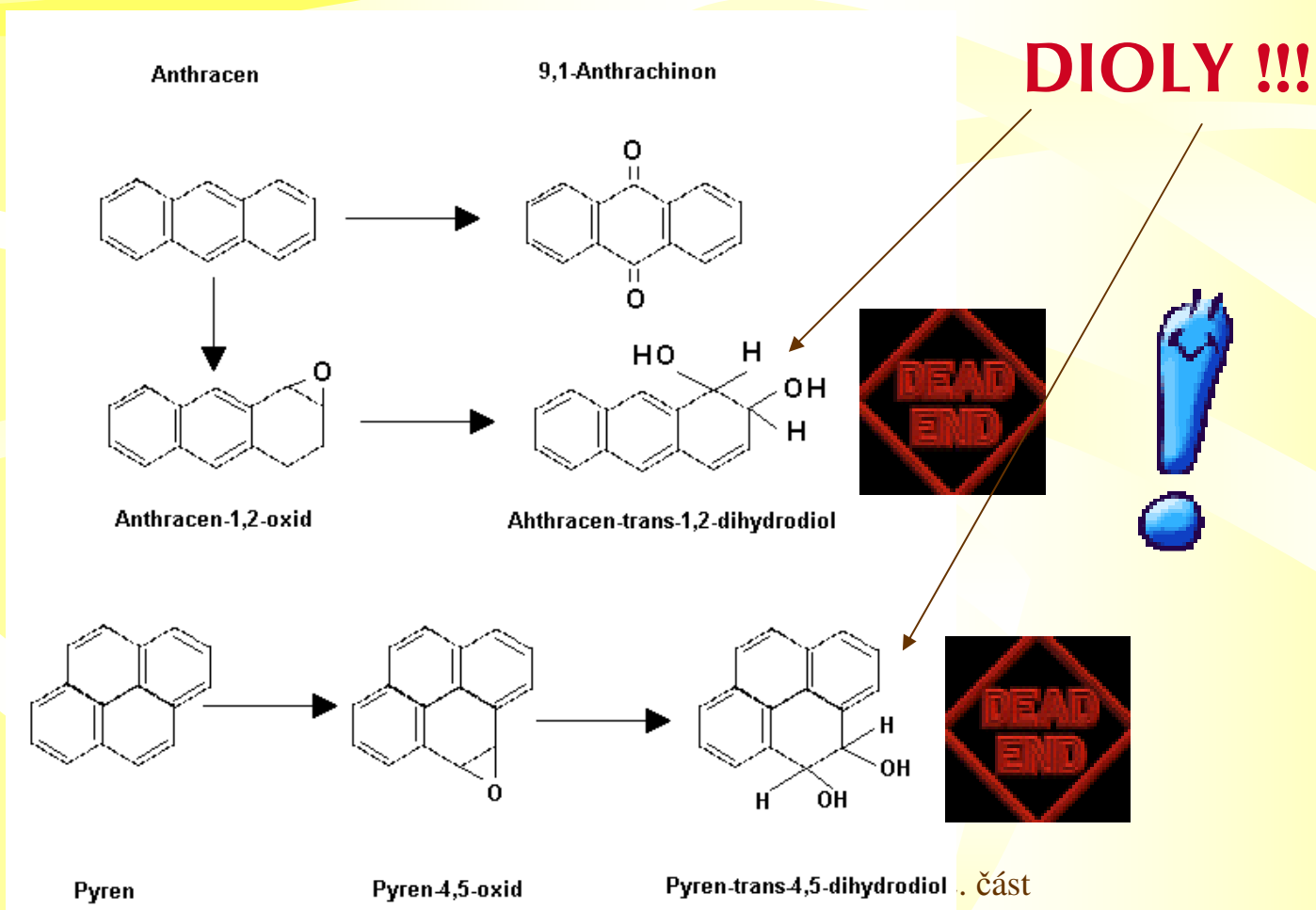
Prvním krokem je dioxygenasou katalyzovaný přenos dvou atomů kyslíku do molekuly naftalenu následovaný štěpením aromatického kruhu.

U polyaromatických uhlovodíků s více aromatickými jádry to však funguje trochu jinak. Důvodem jsou termodynamické vlastnosti molekuly

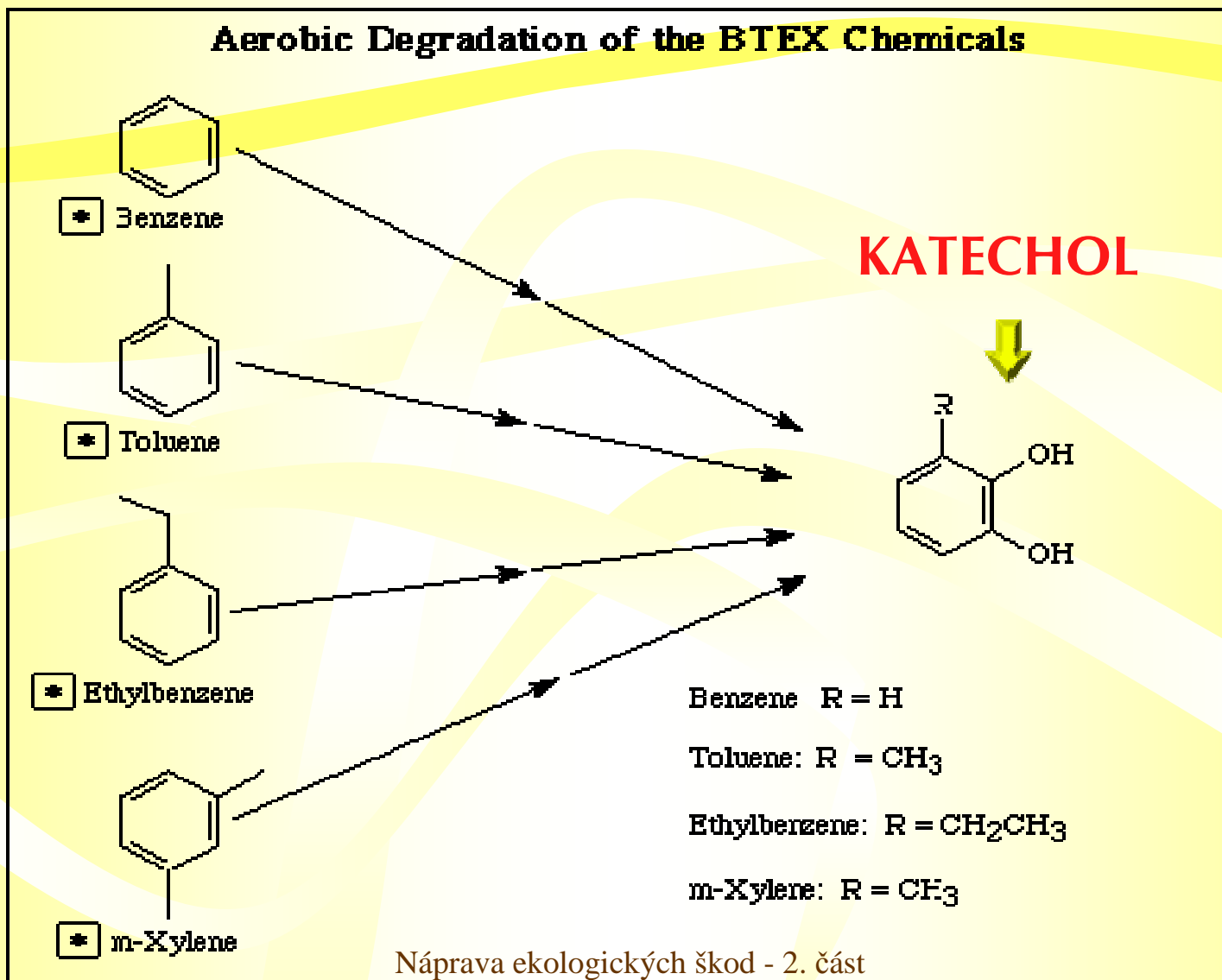


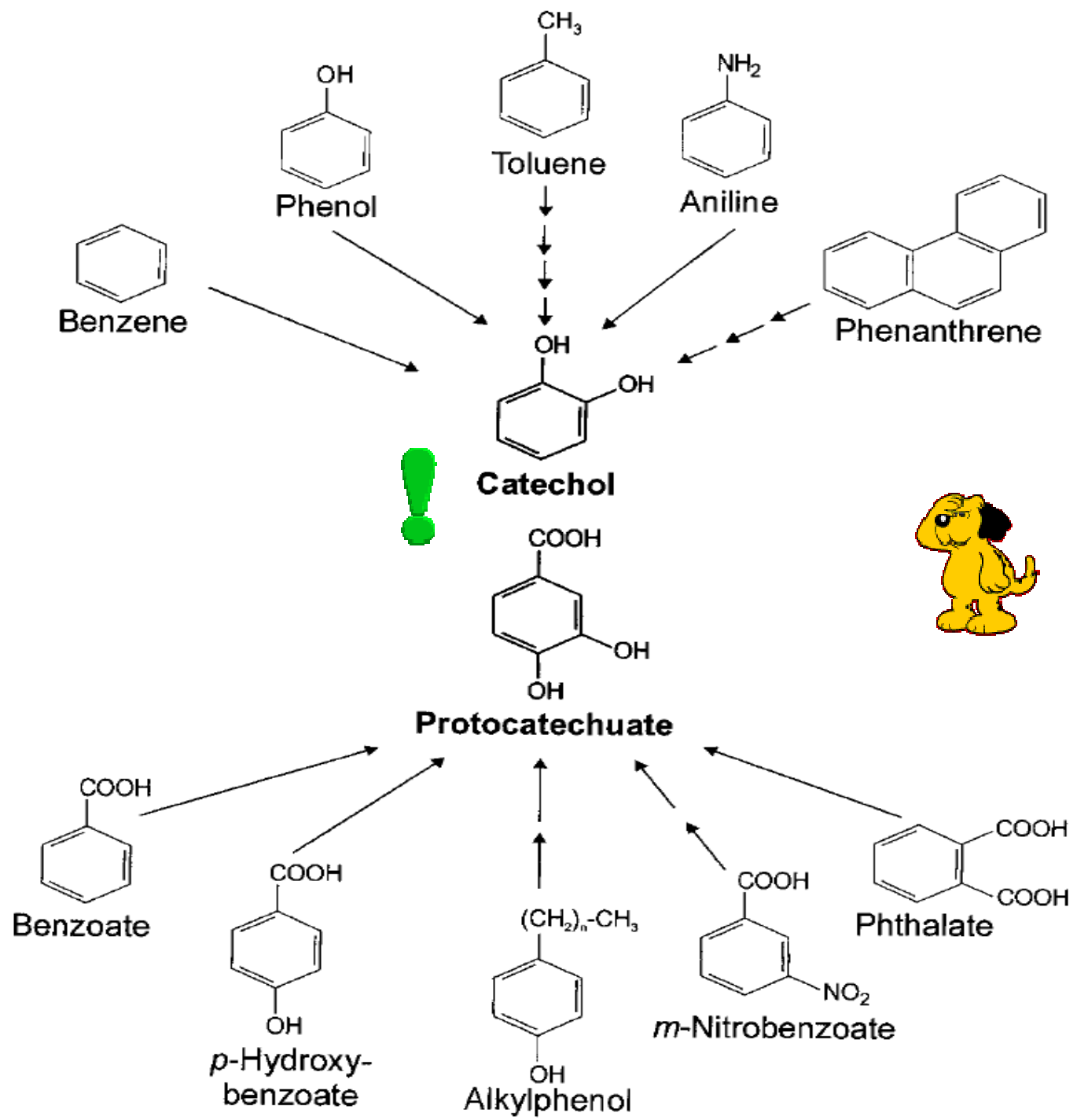
AEROBNÍ METABOLISMUM

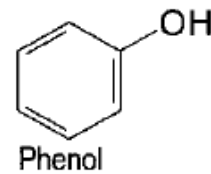
AEROBNÍ DEGRADACE POLYAROMATICKÝCH UHLOVODÍKŮ



AEROBNÍ DEGRADACE MONOAROMATICKÝCH UHLOVODÍKŮ

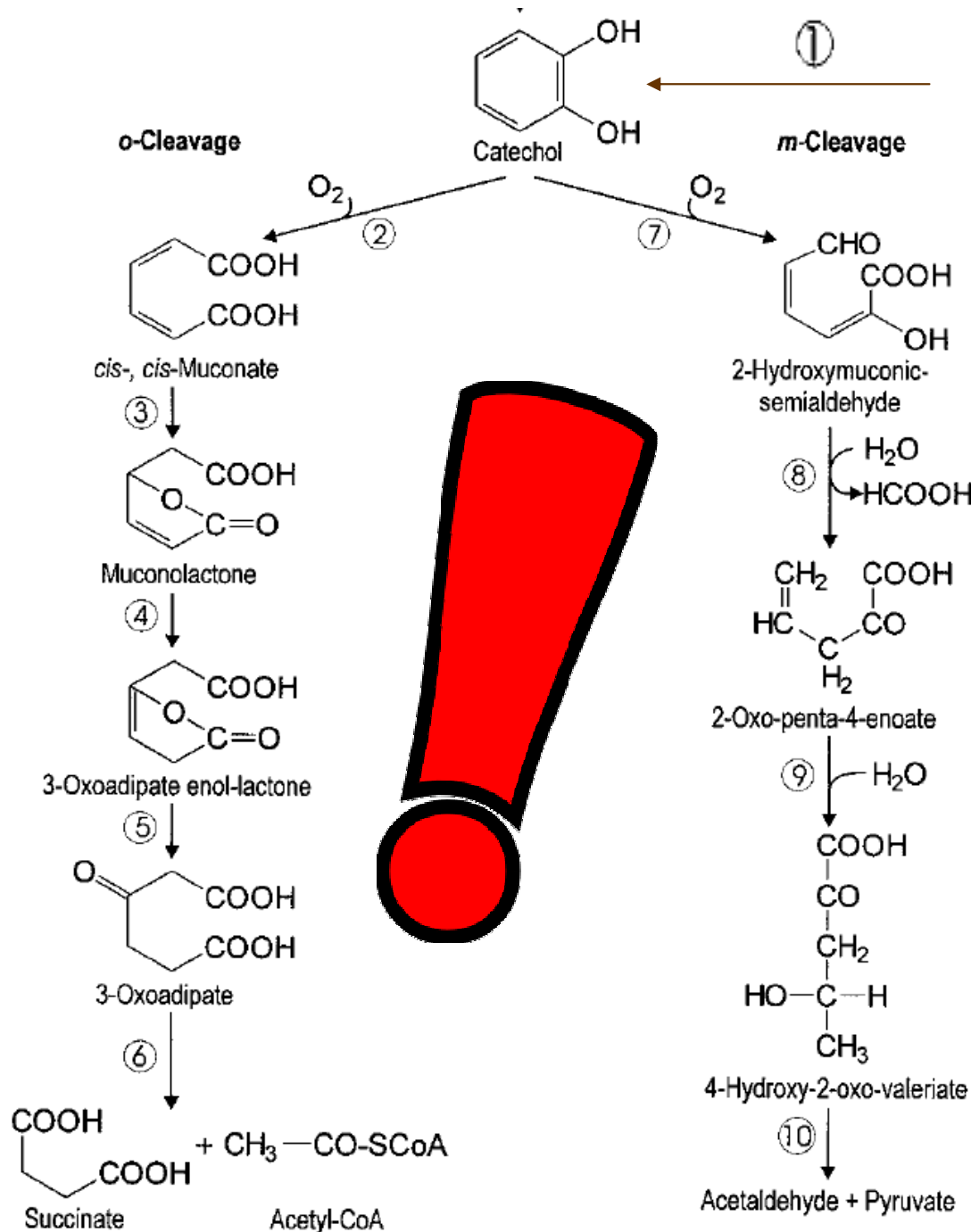






AEROBNÍ ROZKLAD

ORTHO a META ŠTĚPENÍ KATECHOLU ZA AEROBNÍCH PODMÍNEK JE NEJČASTĚJŠÍ FINÁLNÍ METABOLICKÁ CESTA DEGRADACE AROMATICÝCH UHLOVODÍKŮ



1. Fenol monooxygenasa
2. katechol-1,2-dioxygenasa
3. Laktonizační enzym
4. Isomereasa mukonolaktonu
5. Oxoadipát enollakton hydrolasa
6. Oxoadipát sukcinylCoA transferasa
7. Katechol 2,3-dioxygenasa
8. Hydrolasa semialdehydu kyseliny mukonové
9. Hydrolasa oxopentoové kyseliny
10. Aldolasa 4-hydroxy-2oxovalerové kyseliny

- 2. část

AEROBNÍ METABOLISMUM

POLUTANTY, KTERÉ LZE BIOLOGICKY ODBOURÁVAT ZA AEROBNÍCH PODMÍNEK:

- *n*-alkany
- alkeny
- MTBE
- organické kyseliny
- aldehydy
- alkoholy alifatické
- fenoly
- katechol (dvojsytné fenoly)
- trichloethen
- dichloethyleny
- vinylchlorid
- monoaromatické uhlovodíky
(benzen, toluen, ethylbenzen a
xyleny)
- substituované alkany
- neutrální tuky
- kresol
- polyaromatické uhlovodíky do 4
až 5 kondenzovaných
aromatických jader
- topný olej
- letecký petrolej
- chlorbenzeny
- aniliny
- substituované aniliny
- a další

Náprava ekologických škod - 2. část

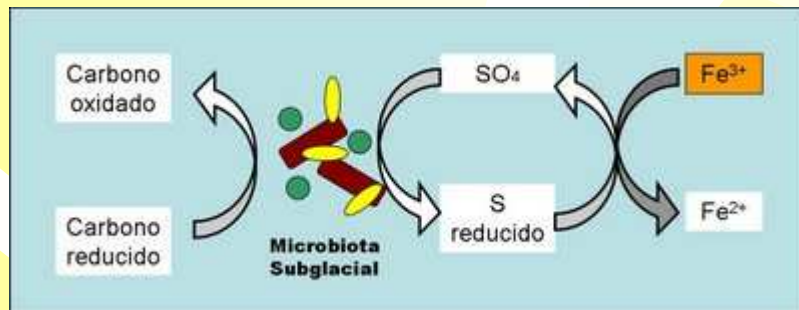


ANAEROBNÍ METABOLISMUM

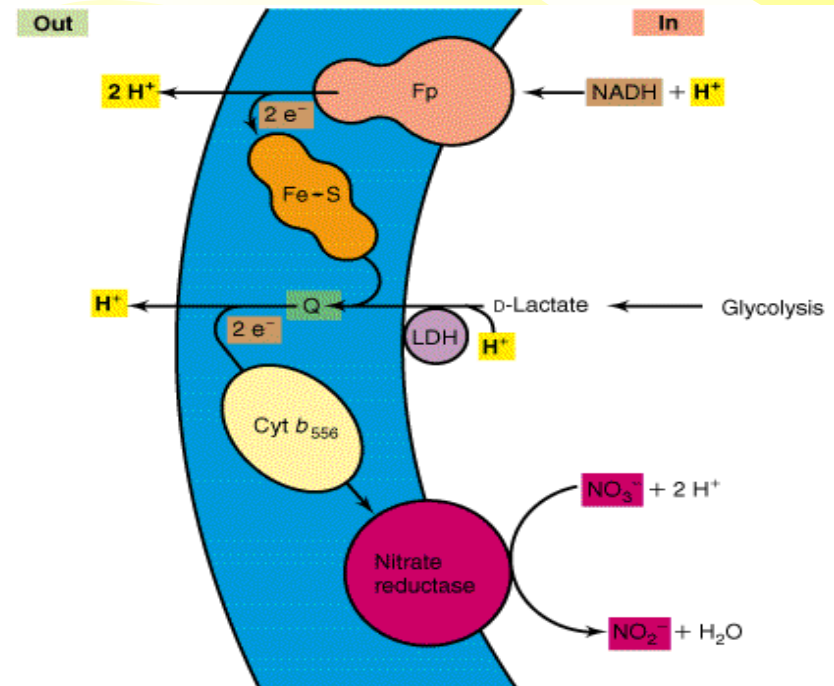
Finální akceptor elektronů je jiný než kyslík: dusičnan, sulfát, Fe^{3+} , vodík, oxid uhličitý, Mn^{4+} ...

Anaerobní procesy jsou výrazně pomalejší než aerobní.

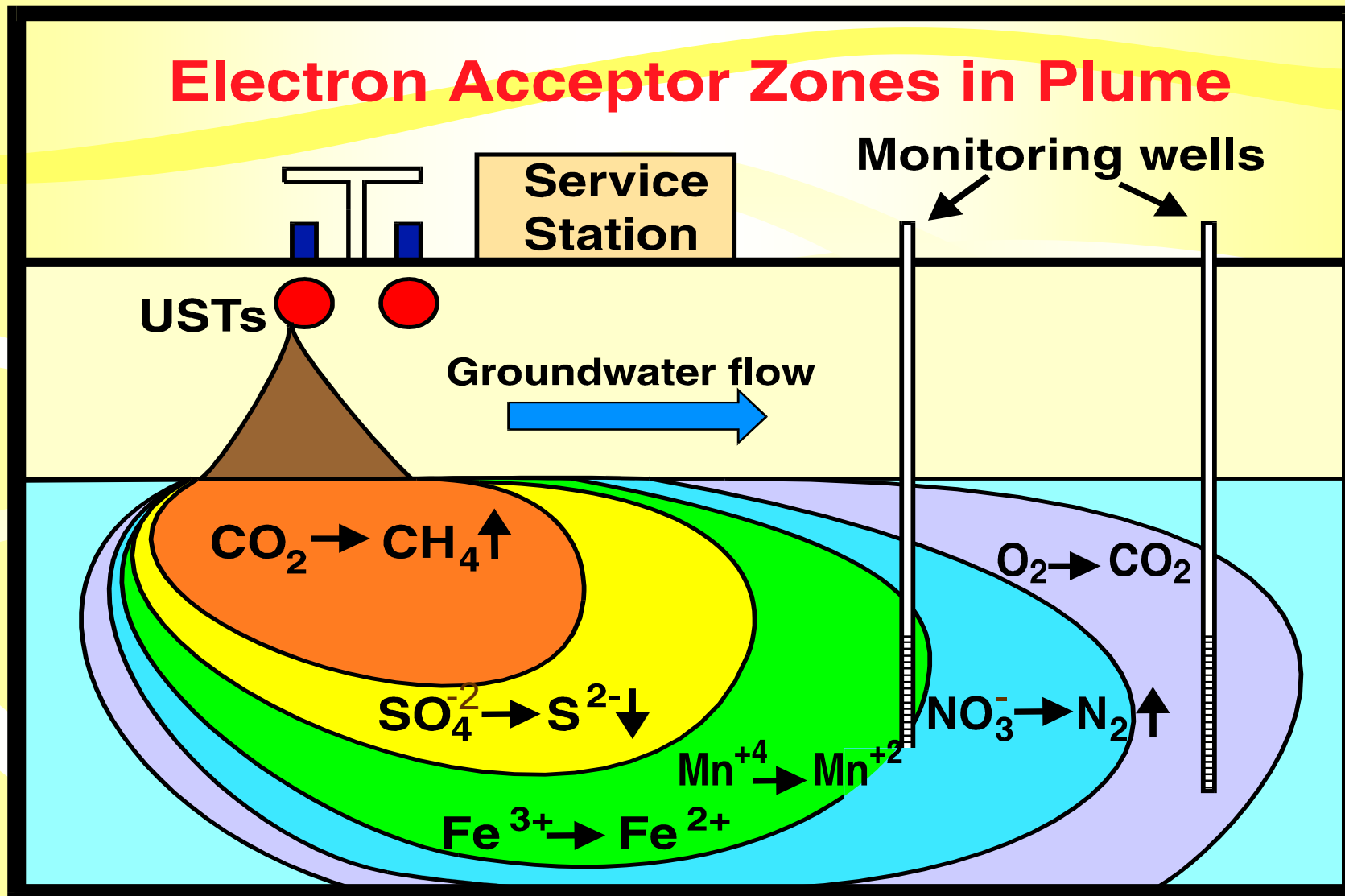
Vzniká většinou mnohem větší množství vedlejších produktů (některé mohou být toxické) než při aerobním procesu



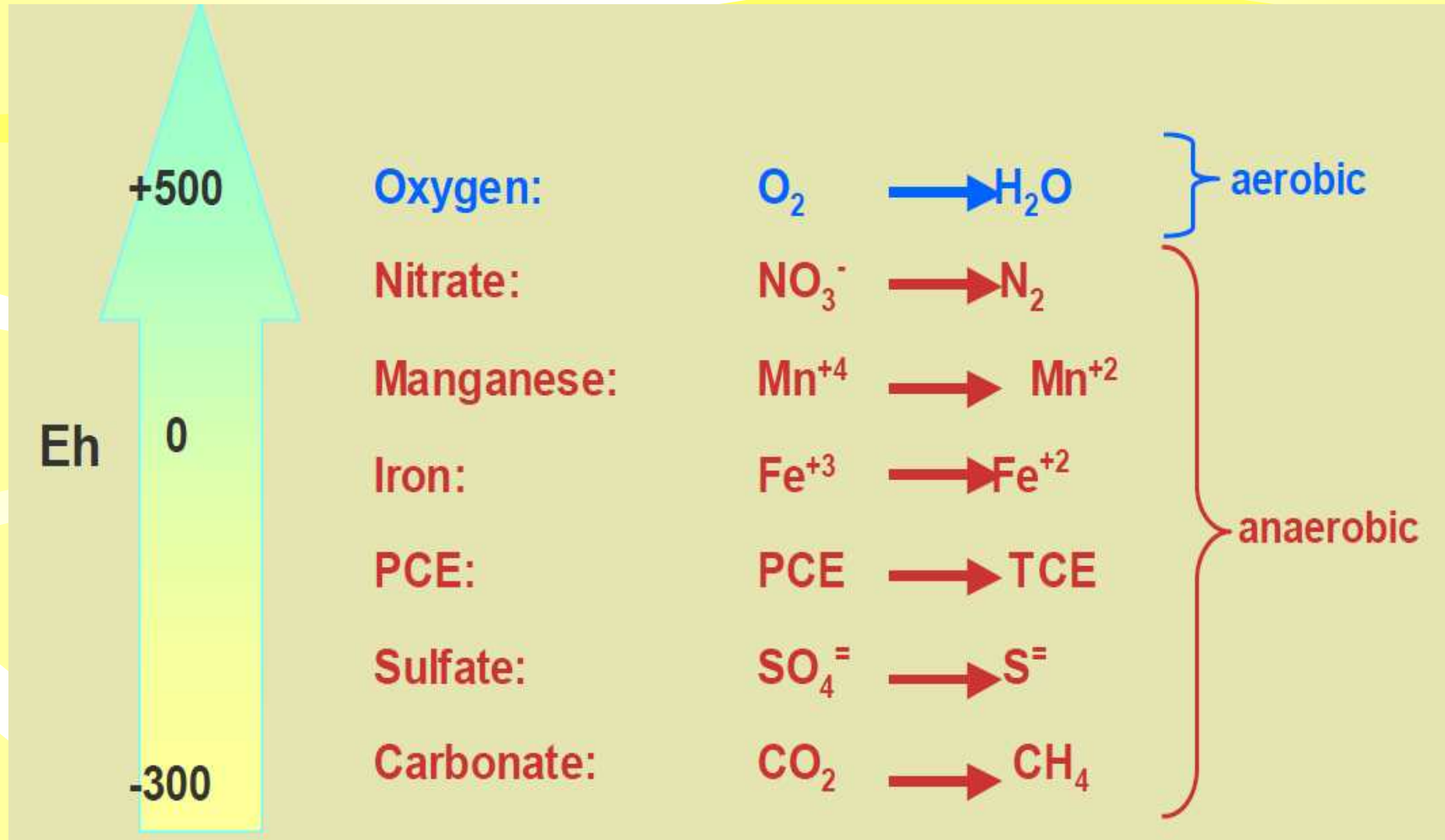
Náprava ekologický



FINÁLNÍ AKCEPTORY ELEKTRONŮ



FINÁLNÍ AKCEPTORY ELEKTRONŮ



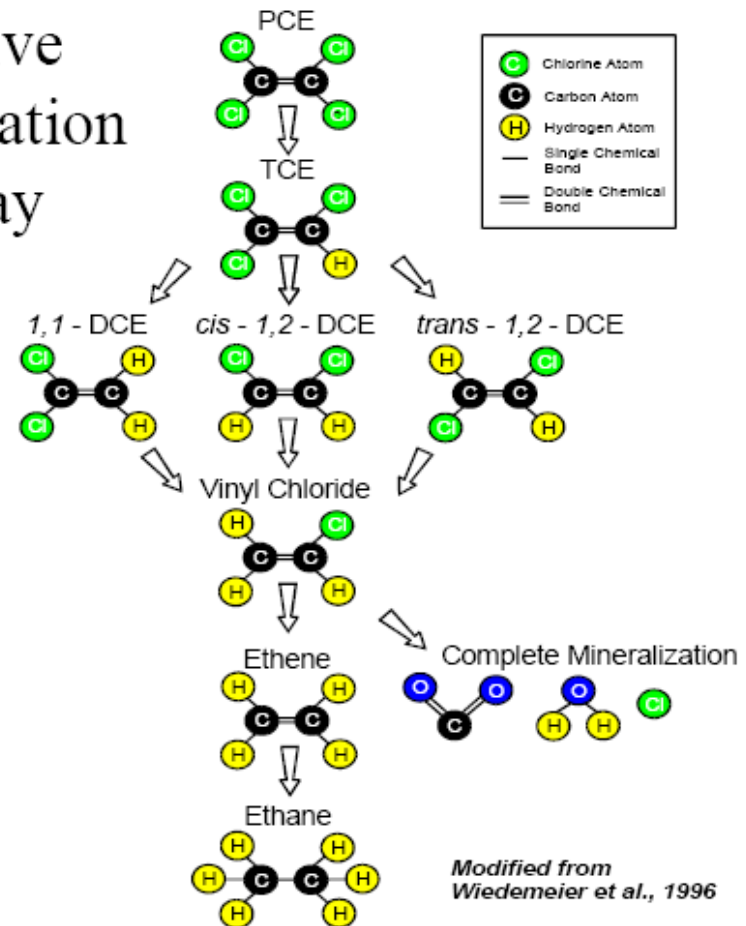
ANAEROBNÍ METABOLISMUM

Prakticky se využívá při dehalogenaci substituovaných uhlovodíků a chlorovaných organických sloučenin.

Nejznámější je reduktivní dechlorace

perchlorethylenu, který má uhlík v maximálním oxidačním Stupni, takže ho oxidačně nelze rozkládat.

Reductive Dechlorination Pathway

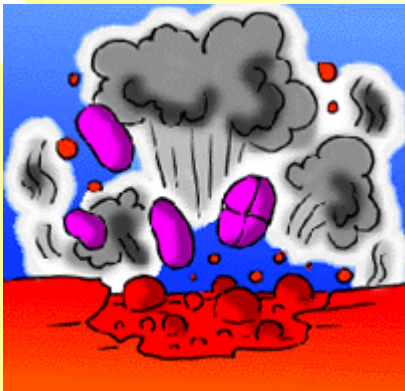
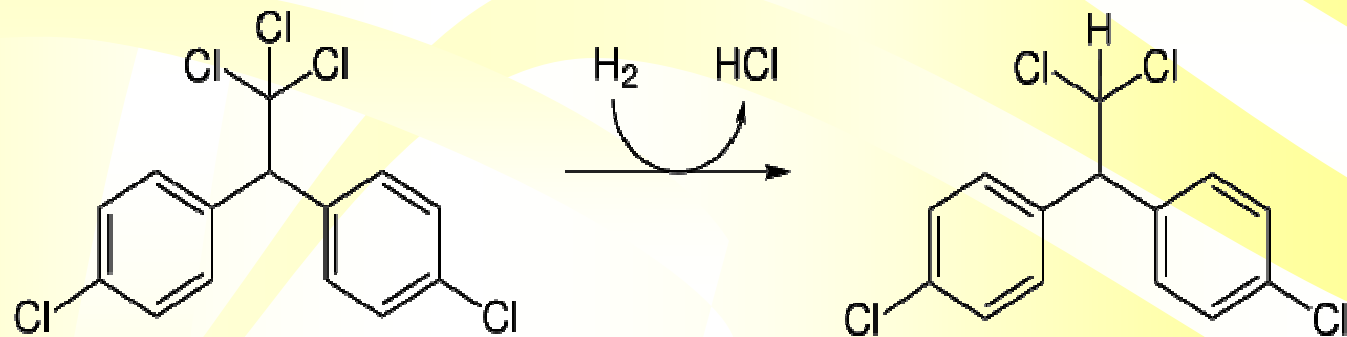


Nápr:

ANAEROBNÍ METABOLISMUM

Anaerobní procesy se hojně využívají jako předúprava při ošetřování kontaminace polyhalogenovanými sloučeninami, například DDT, polychlorované dioxiny, PCB, chlorované pesticidy, polybromovaná zhašedla či TNT, RDX, HRX apod.

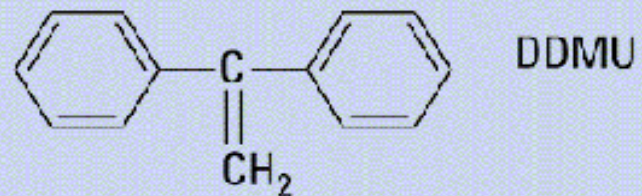
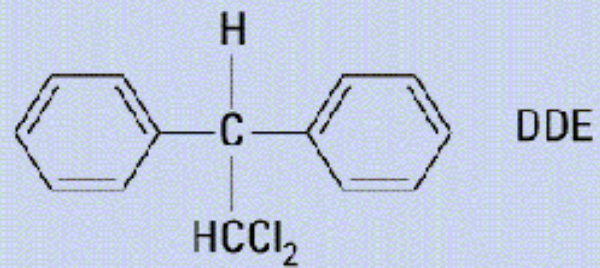
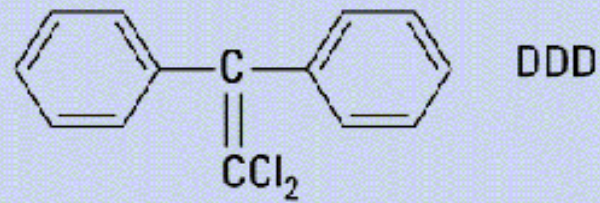
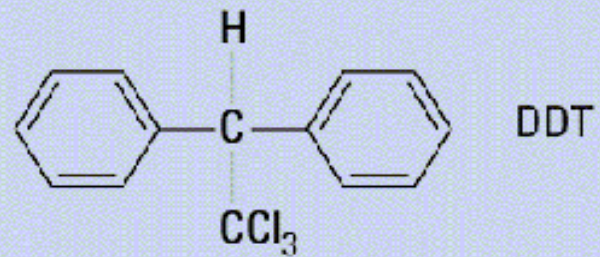
DDT



Náprava ekologických šk



ANAEROBNÍ METABOLISMUM



ANAEROBNÍ METABOLISMUM

- Reduktivní dehalogenací dojde ke změně molekuly, která je potom snáze biologicky odbouratelná.
- Samotné biologické čištění polyhalogenovaných sloučenin se proto provádí v sekvencích: anaerobní fáze – aerobní fáze

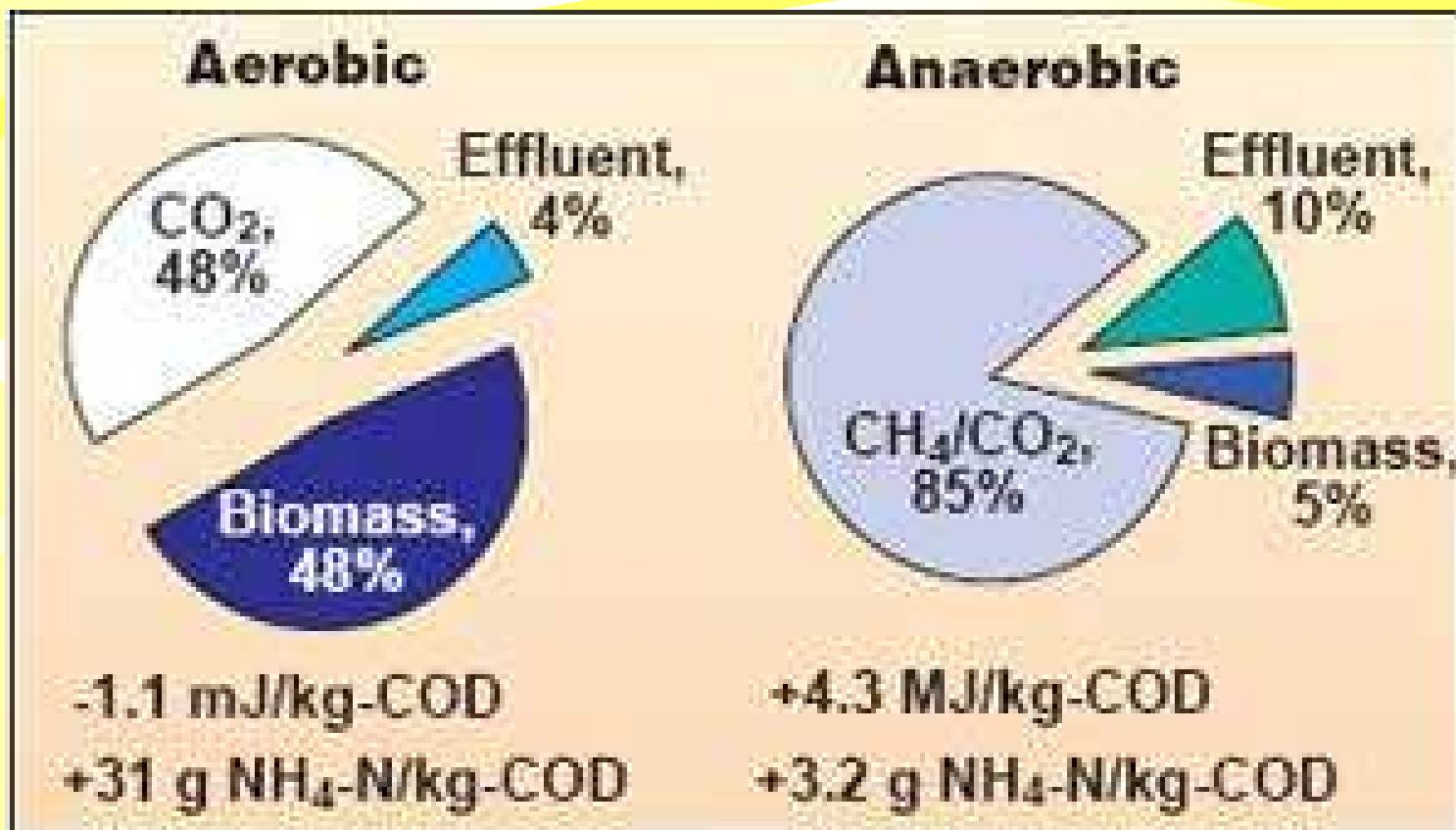


ANAEROBNÍ METABOLISMUM

- Anaerobní rozklad n -alkanů a dalších alifatických uhlovodíků je možný, ale je tak pomalý, že nenašel praktického využití. Podmínky, za kterých může probíhat, se dosahují jen obtížně. Náklady na anaerobní čištění materiálů kontaminovaných ropnými uhlovodíky by byly velmi vysoké a trvaly by neúnosně dlouho.



POROVNÁNÍ



ANOXICKÝ STRES

- Přejechod mezi aerobním a anaerobním metabolismem tvoří anoxické podmínky (koncentrace rozpuštěného kyslíku v podzemní vodě $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ až $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$).

Při nízkých koncentracích kyslíku v prostředí vzniká tzv. anoxický stres, který způsobuje m.j. zvyšování specifické spotřeby kyslíku na odbourání jednotkového množství organického substrátu (až 10násobně). Tím se výrazně zvyšují náklady na eliminaci organických látek například při čištění odpadních vod ale i při sanacích.



KDE ZÍSKAT INFORMACE

<http://umbbd.msi.umn.edu/>
University of Manitoba Biocatalysis/
Biodegradation Database -

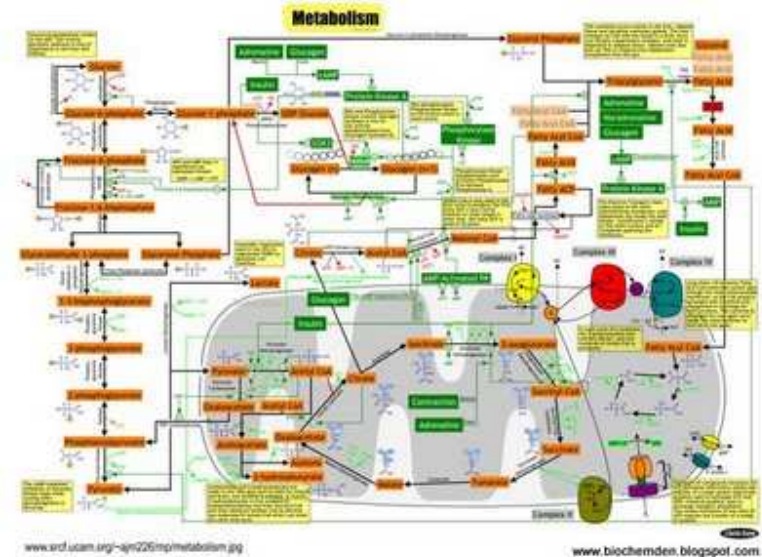
UM - BBD

1. 203 metabolických cest
2. 1405 reakcí
3. 1301 látek
4. 920 enzymů
5. 510 mikroorganismů
6. 246 biotransformačních pravidel
7. 50 organických funkčních skupin
8. 76 reakcí naftalen 1,2-dioxygenasy
9. 109 reakcí toluendioxygenasy

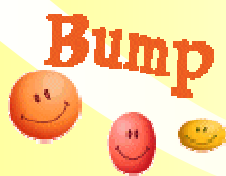
21.8.2011



UNIVERSITY
OF MANITOBA



BIOLOGICKÉ SANAČNÍ METODY



BIOLOGICKÉ SANAČNÍ METODY

ANORGANICKÉ POLUTANTY

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

ORGANICKÉ POLUTANTY

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

ZPŮSOB APLIKACE

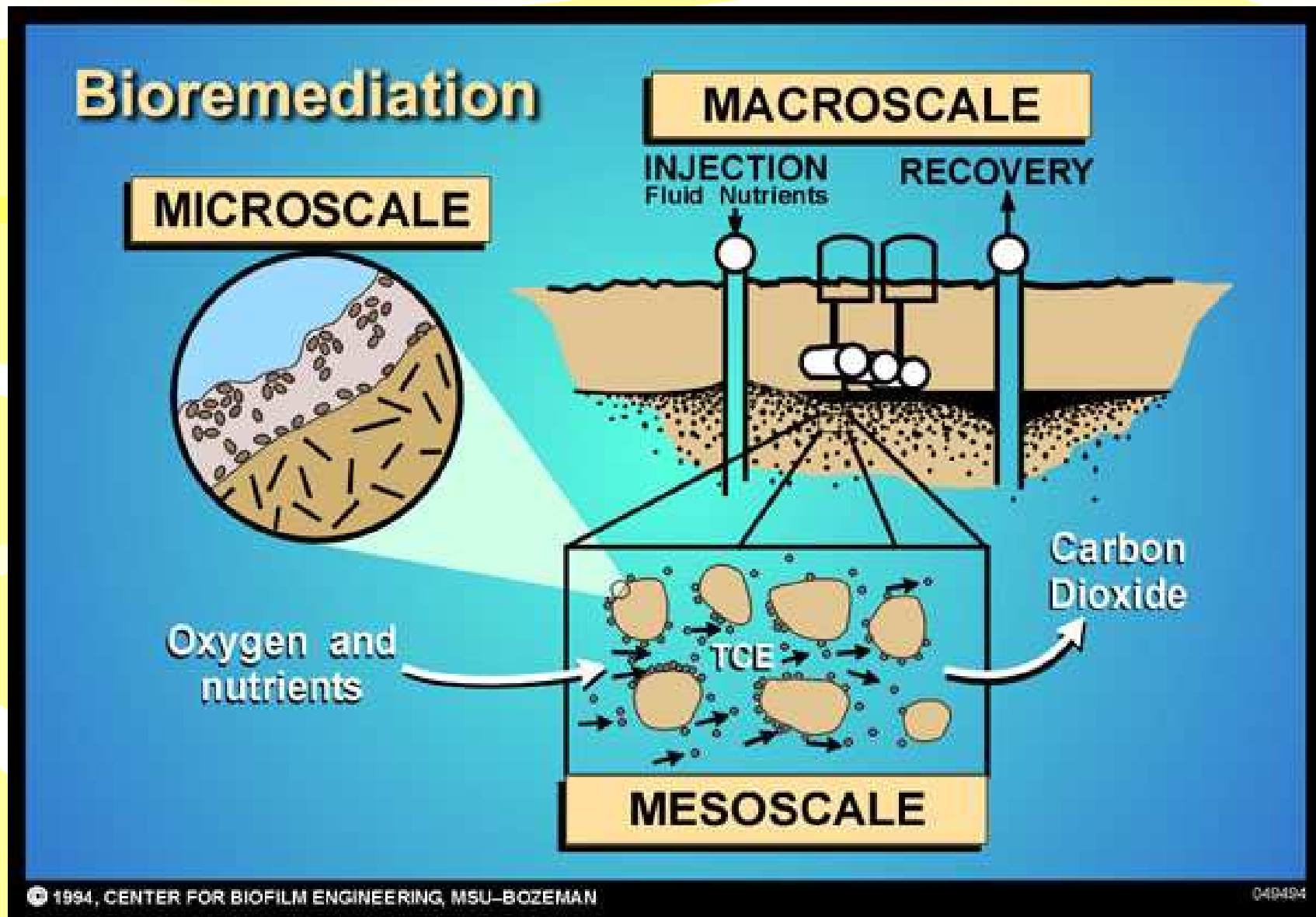
- **IN-SITU** – na místě bez těžby pevných materiálů, bez čerpání vyčerpávání podzemní vody
- **EX-SITU** – po vytěžení pevných materiálů nebo vyčerpání podzemní vody a přemístění z kontaminované lokality
- **ON-SITE** – po vytěžení nebo vyčerpání na kontaminované lokalitě
- **OFF-SITE** – po vytěžení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

BIOREMEDIACE *IN-SITU*

- **DEFINICE** bioremediace *in-situ* : Využití přirozených nebo vnesených mikroorganismů k tomu, aby transformovaly, rozložily nebo imobilizovaly polutant přítomný v saturované či nesaturované zóně
- **CÍL**: Odstranit nebezpečné vlastnosti polutantu(ů) tak, aby vzniklé látky již nepůsobily nebezpečí pro lidské zdraví a životní prostředí



OBEČNÉ SCHÉMA REMEDIACE *IN SITU*



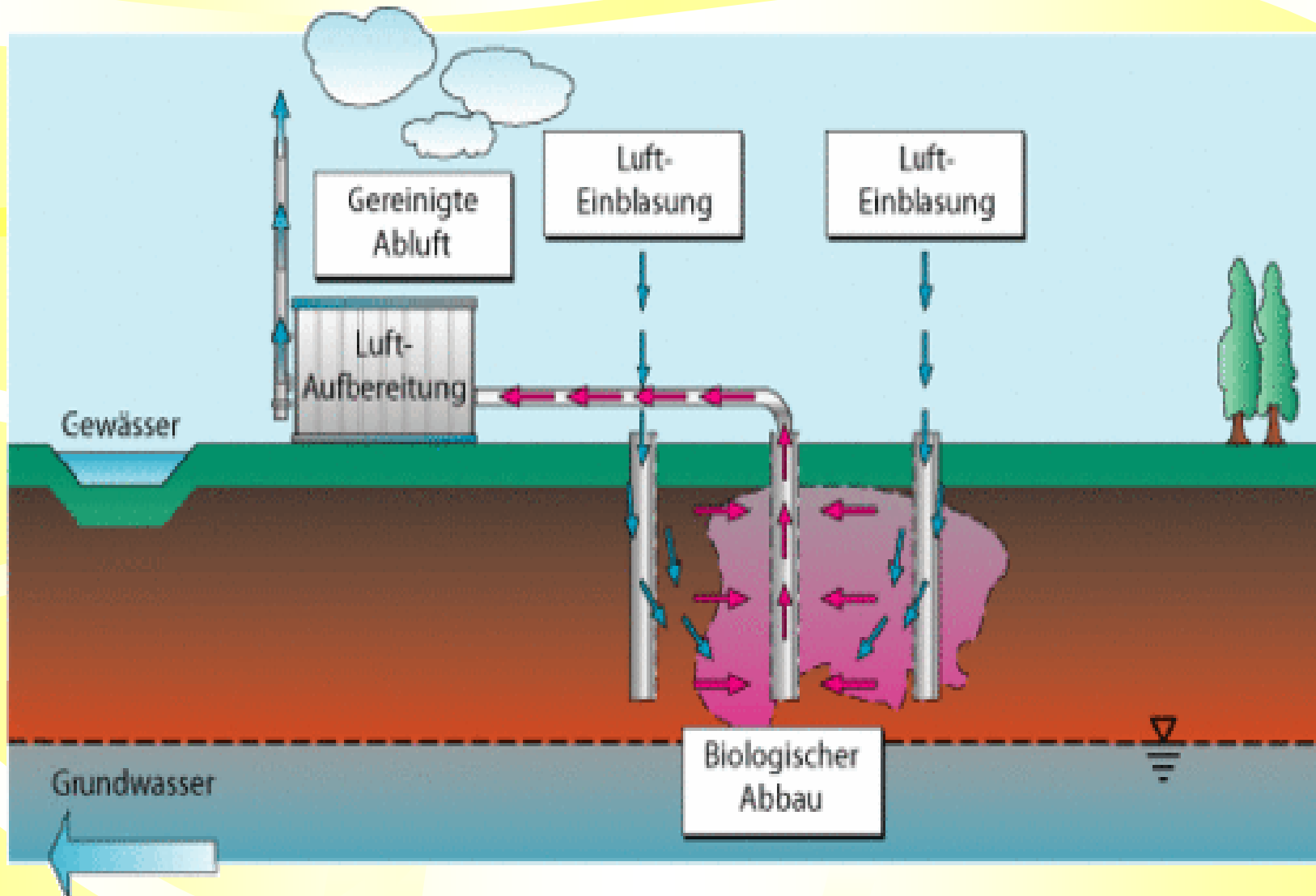
OPTIMÁLNÍ PODMÍNKY

Environmental Factor	Optimum conditions
Available soil moisture	25-85% water holding capacity
Oxygen	>0.2 mg/L DO, >10% air-filled pore space for aerobic degradation
Redox potential	Eh > 50 millivolts
Nutrients	C:N:P = 120:10:1 molar ratio
pH	5.5 to 8.5
Temperature	15-45°C

BIOVENTING

- Princip metody: do nenasycené zóny zapravit dostatek kyslíku pro biologický rozklad polutantů. Účelem není využívat fyzikálních a fyzikálněchemických principů k odstraňování těkavých polutantů jako je to při ventingu (odsávání půdního vzduchu).
- Podstatně menší náklady na odstranění jednotkového množství znečištění ve srovnání s ventingem.

BIOVENTING



BIOVENTING

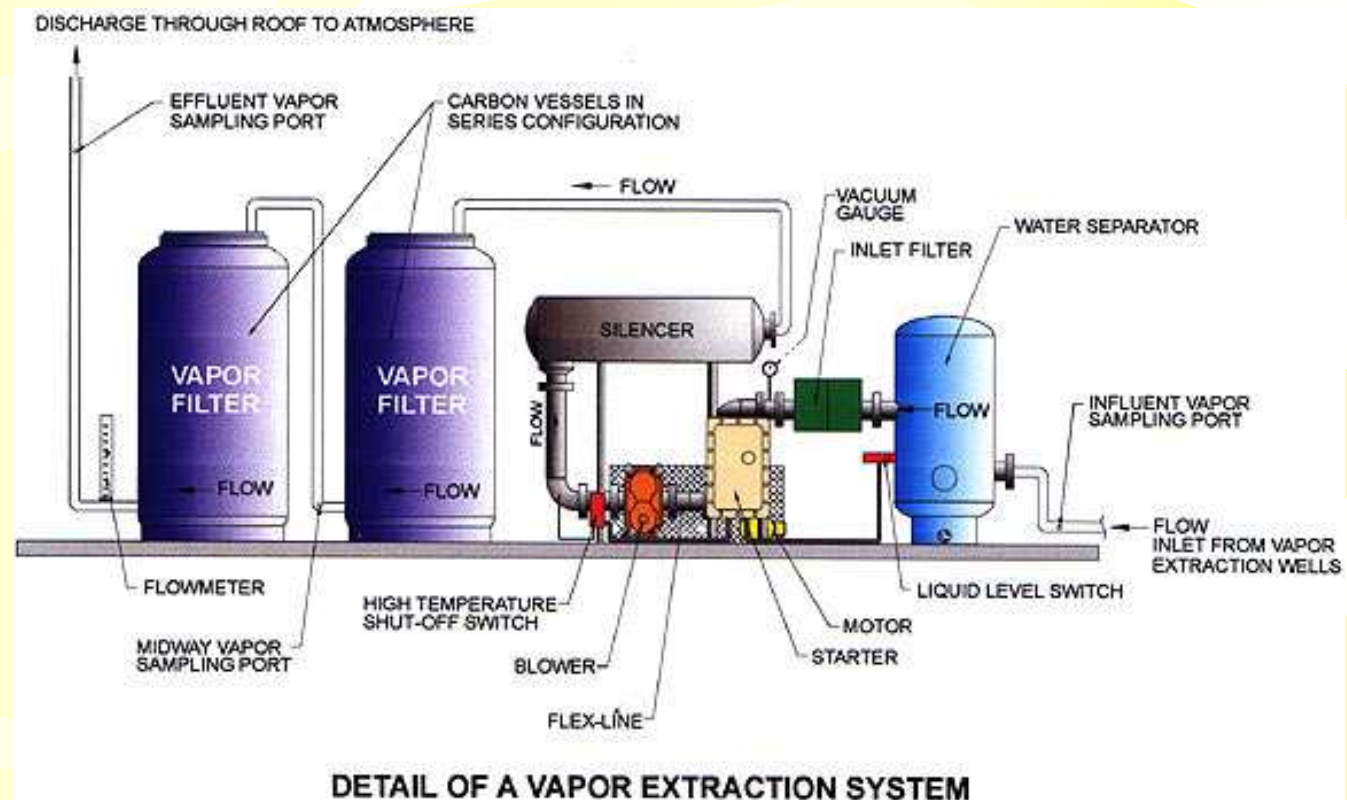
- Většinou se půdní vzduch extrahuje, nikoli vtlačí
- Rychlost vtlačení vzduchu je pomalá, většinou se vtlačí přetržitě. Rychlost vtlačení se určuje podle rychlosti spotřeby kyslíku bakteriemi.
- Respirační test slouží ke zjištění rychlosti spotřeby kyslíku bakteriemi ($10 \text{ mg.kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) a podle jeho výsledků se navrhuje sanační systém.

BIOVENTING

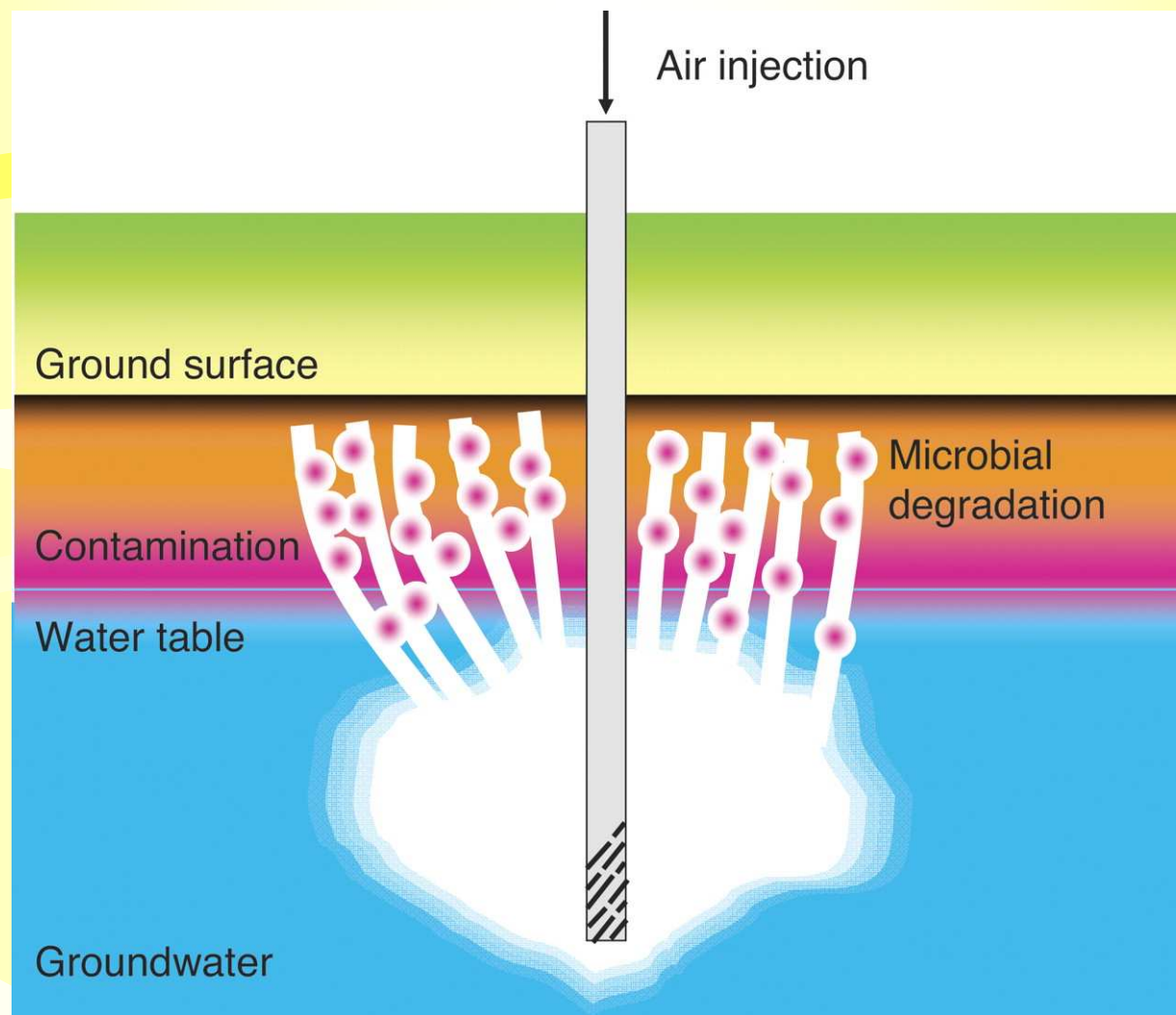
- Stanovení průměru vlivu ventingového vrtu ➔ vzdálenost vrtů od sebe a jejich počet v kontaminované ploše.
- Ošetření extrahovaného půdního vzduchu například biofiltrací či katalytickou oxidací (podle koncentrace znečištění v půdním vzduchu)

BIOVENTING

- Alternativou bioventingu je venting (odsávání půdního vzduchu) – vše je založeno na fyzikálněchemických principech

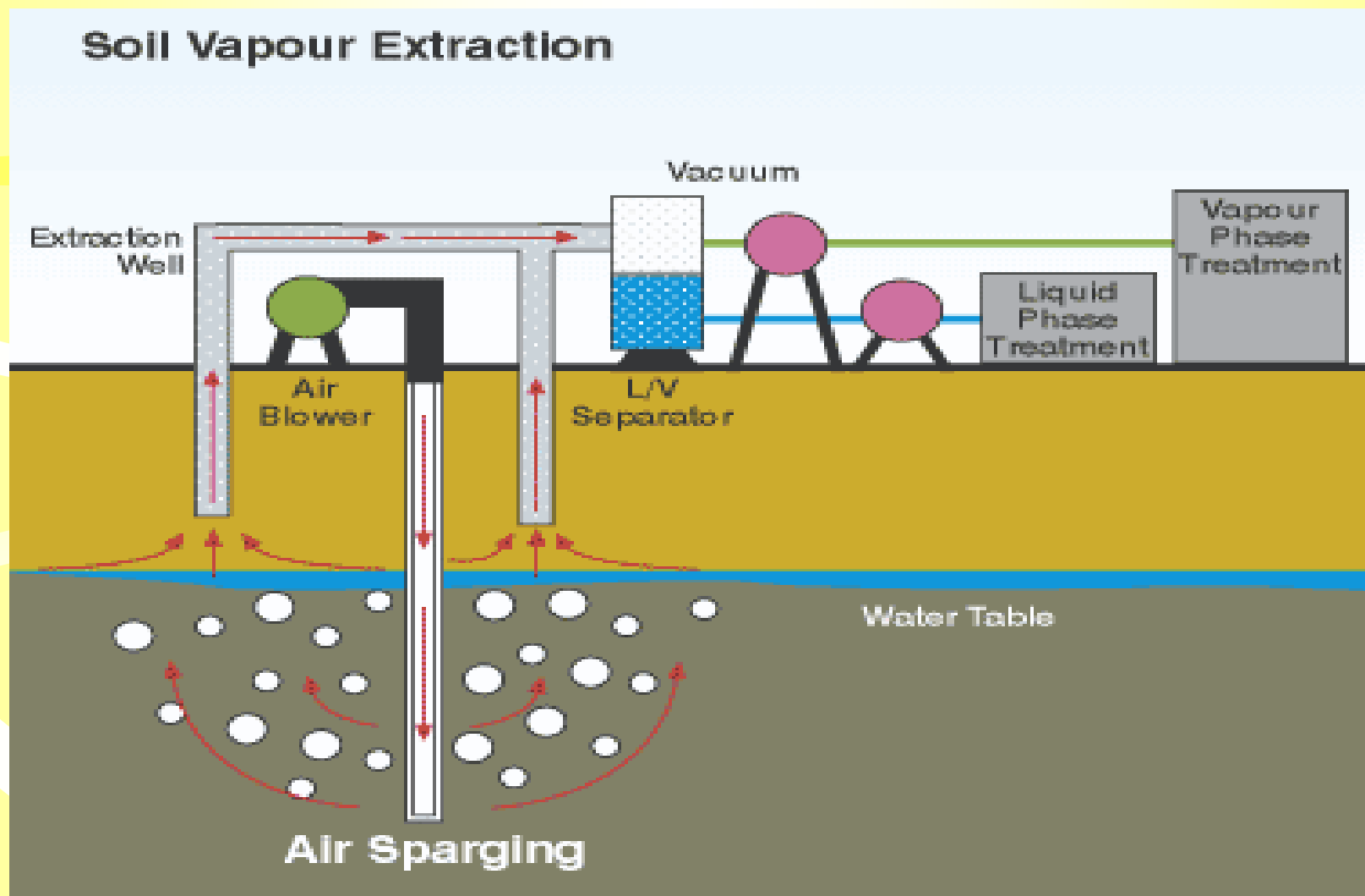


BIOSPARGING



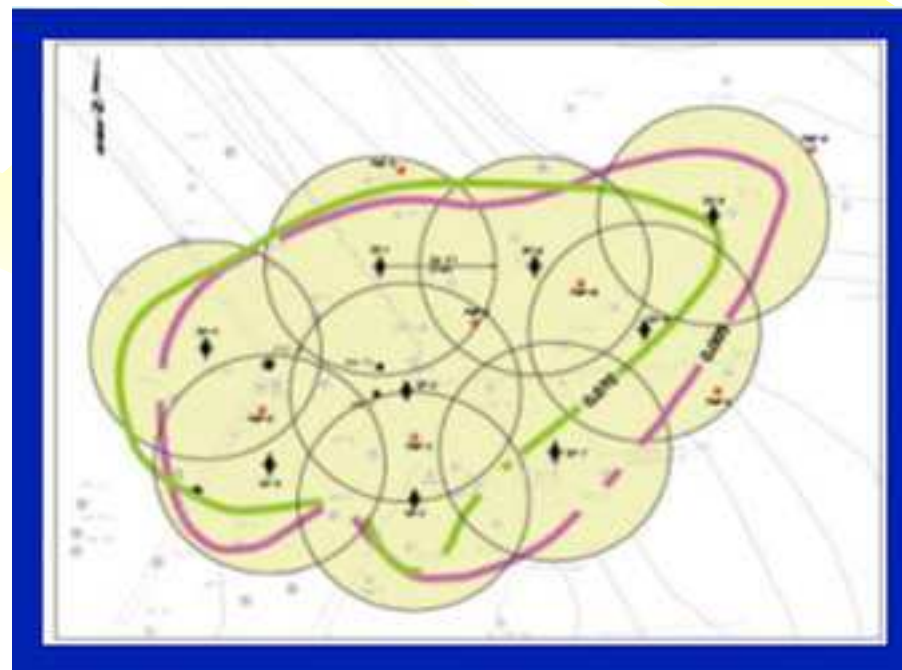
Náprava ekologických škod - 2. část

BIOSPARGING



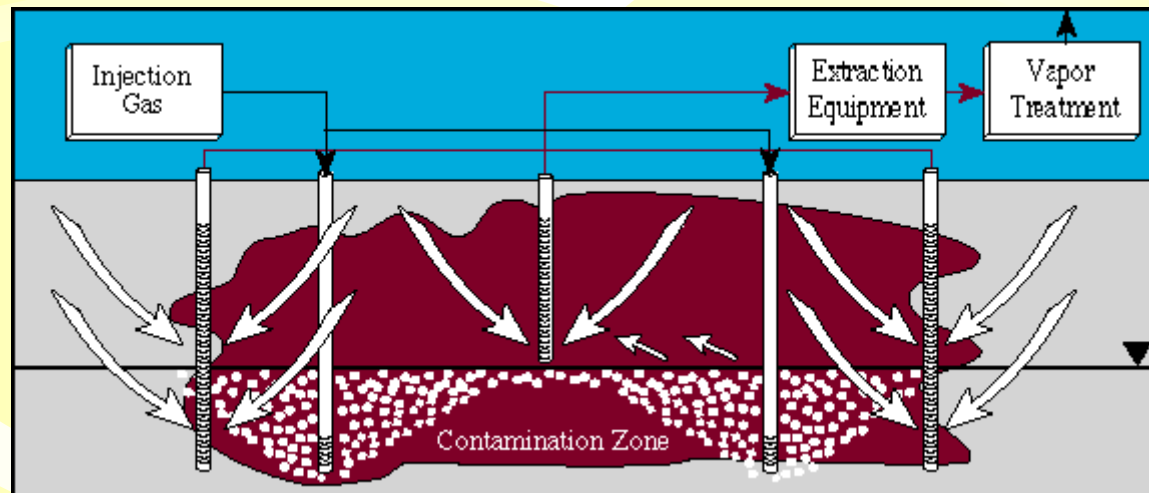
BIOSPARGING

- Pilotní test:
 - průměr vlivu air spargingového vrtu,
 - rychlost spotřeby kyslíku v podzemní vodě (výpočet biodegradační rychlosti)

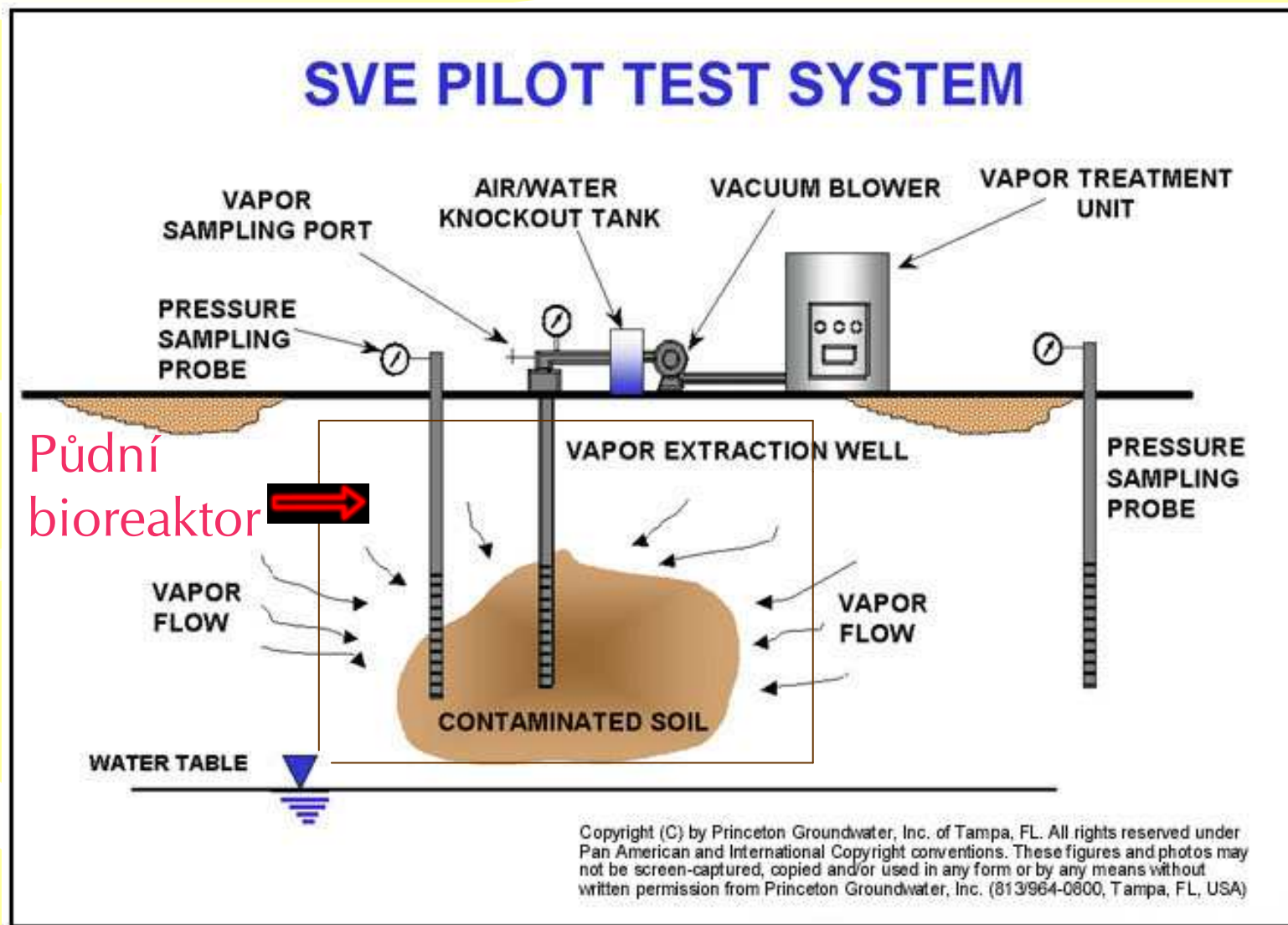


BIOSPARGING

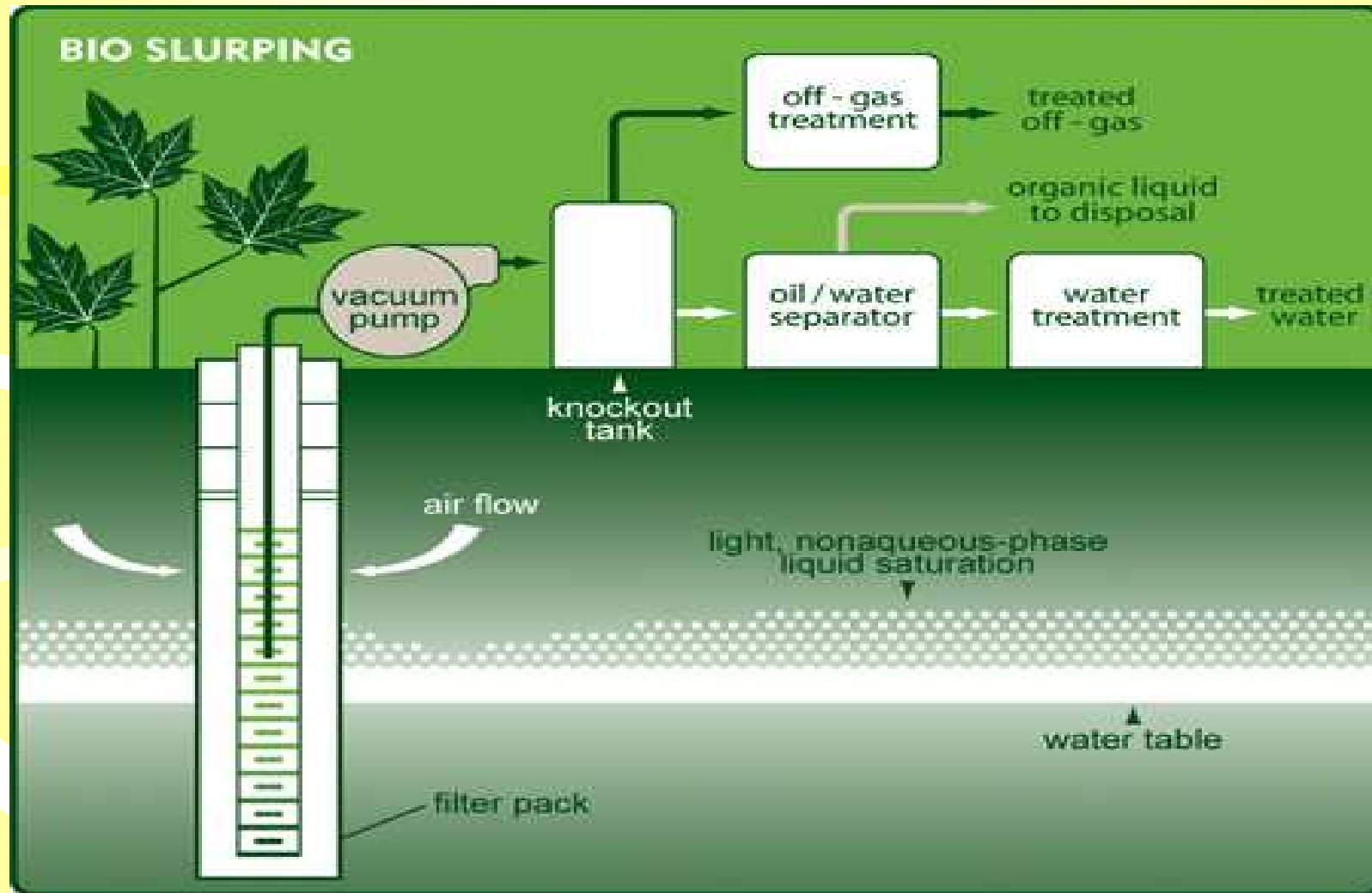
- Alternativa biospargingu je Air Sparging – fyzikálněchemická metoda spojuje stripping podzemní vody s podporou biologické degradace v nenasurované zóně



PŮDNÍ BIOREAKTOR

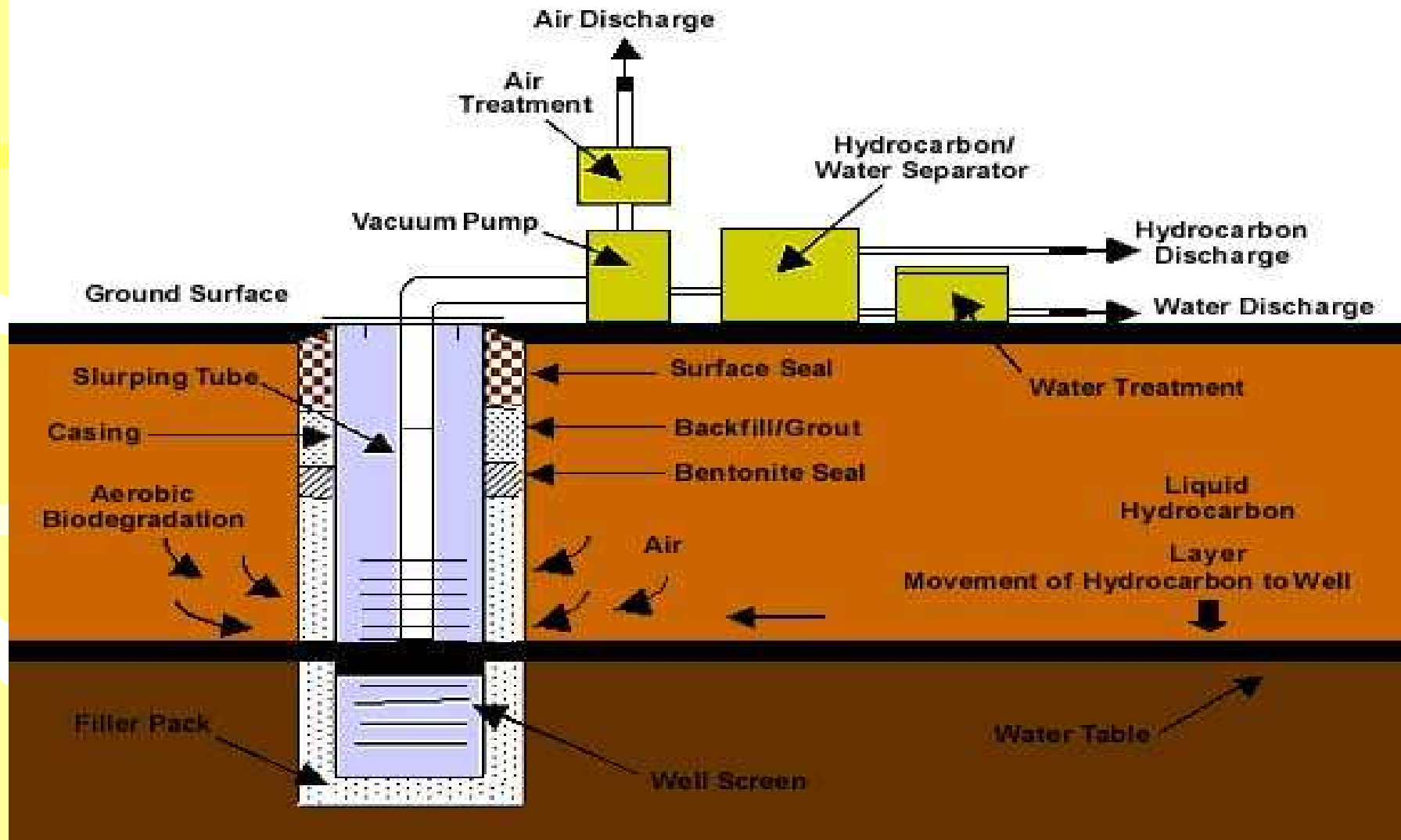


BIOSLURPING



Náprava ekologických škod - 2. část

BIOSLURPING



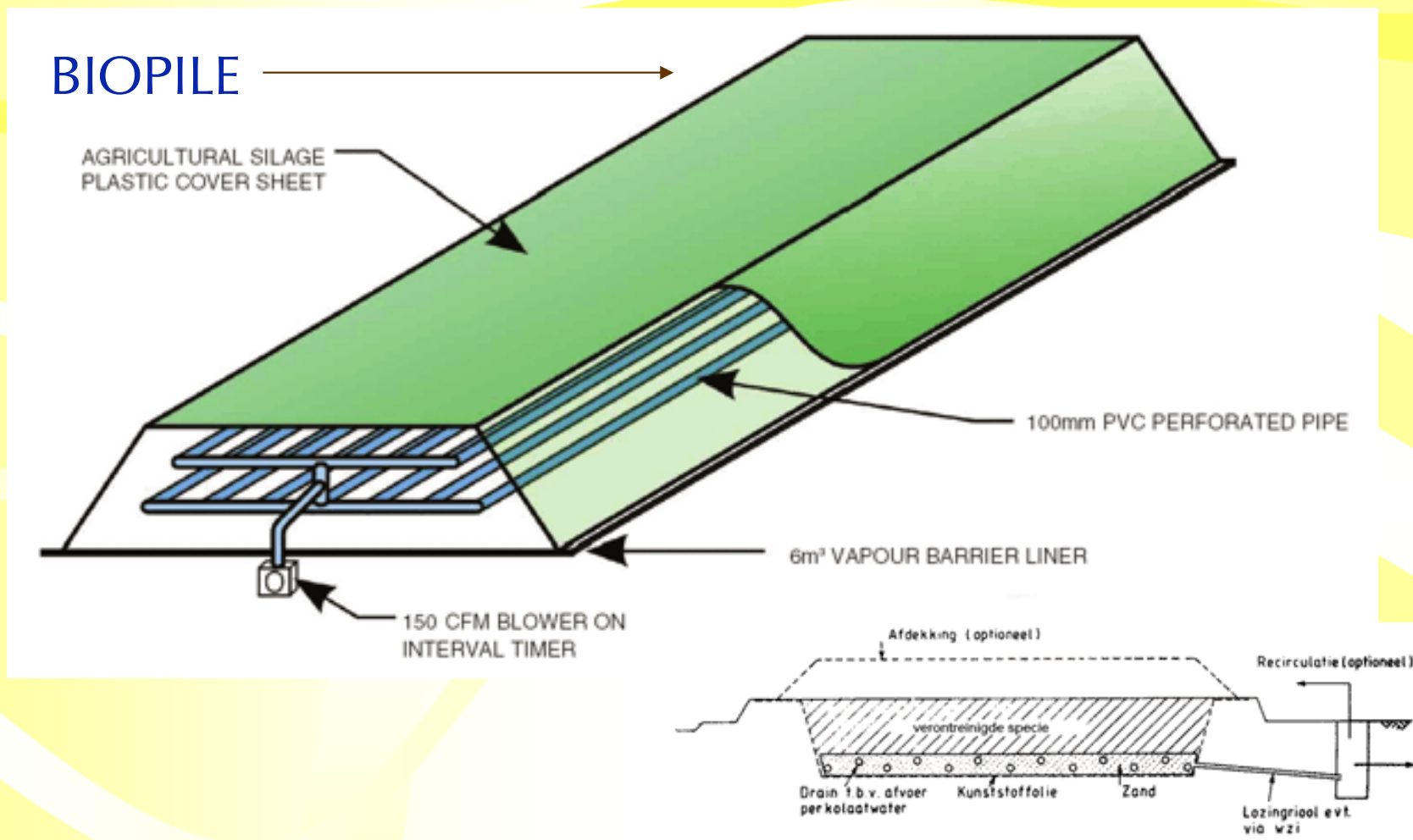
EX SITU BIOREMEDIATION



Řízení procesu + dodávka vody, makrobiotických prvků,
Reinokulace, kontrola eliminace polutantů

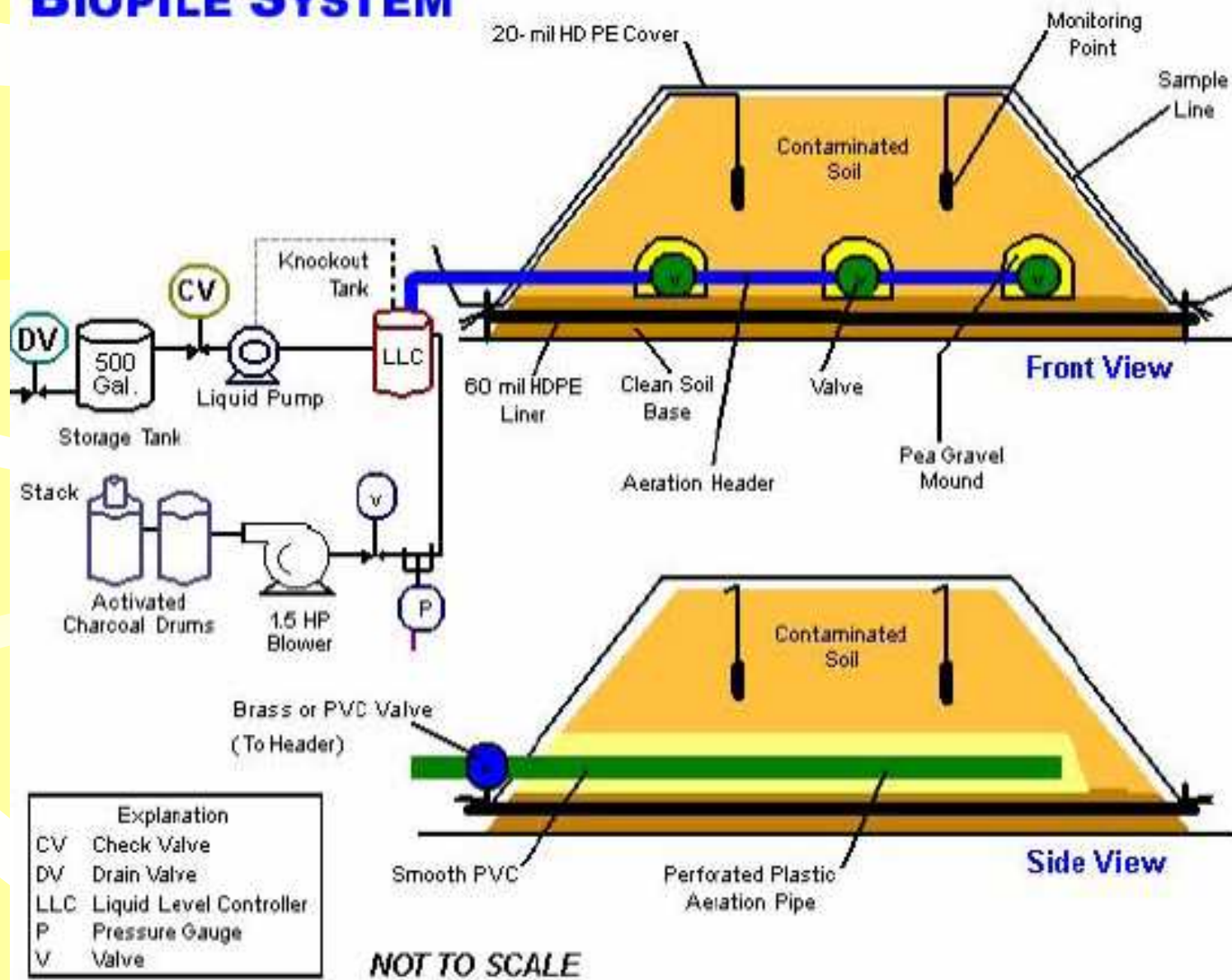


EX SITU BIOREMEDIATION



Náprava ekologických škod - 2. část

BIOPILE SYSTEM



Náprava ekologických škod - 2. část

LANDFARMING

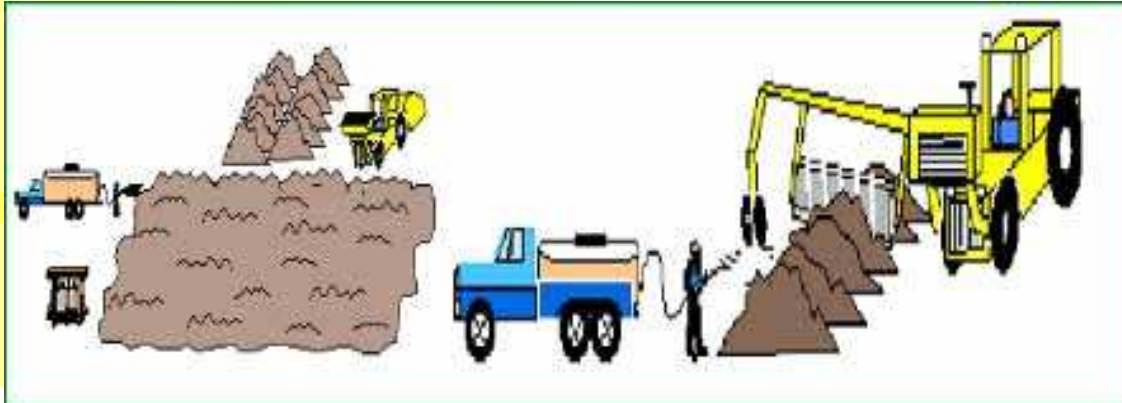
- Nejjednodušší metoda, nejlevnější. Provádí se i na nezabezpečených plochách.
- Využívá se v Austrálii, USA, Brazílii a některých dalších zemích zejména pro úpravu a snižování obsahu ropných látek v kalech z těžby ropy.



oprava ekologických škod - 2. část



LANDFARMING

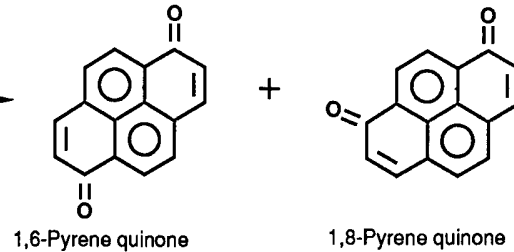
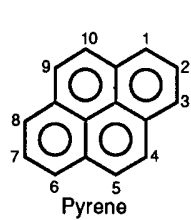


Náprava ekologických škod - 2. část

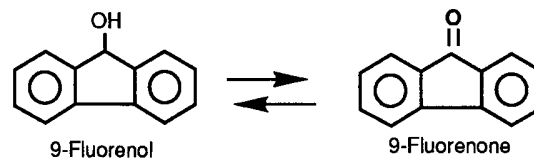
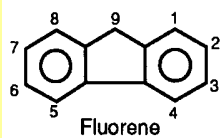
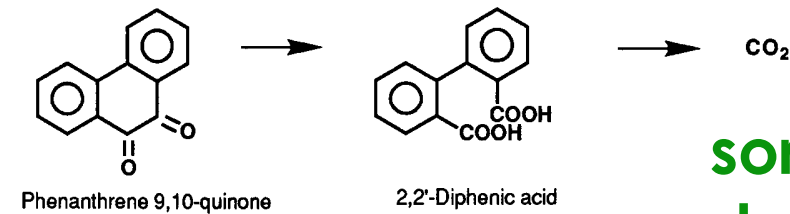
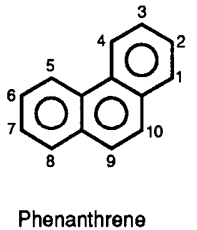
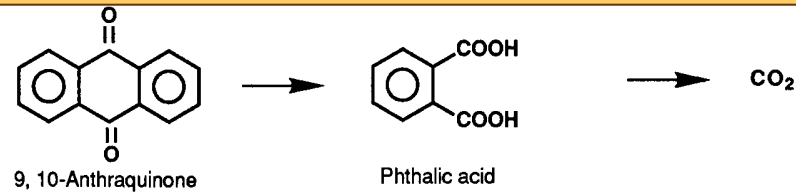
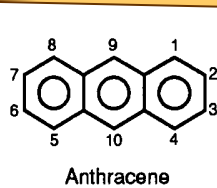
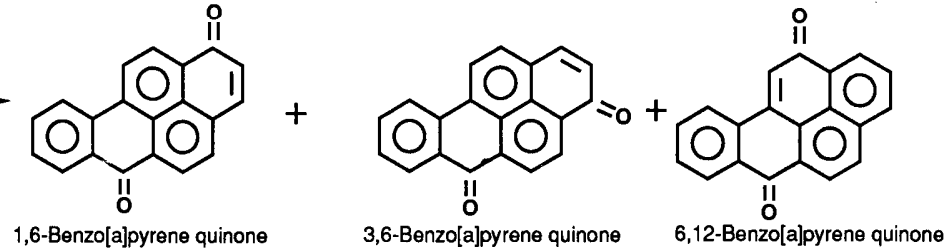
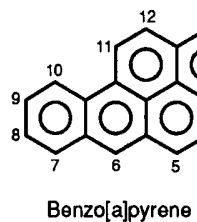
BIOIMOBILIZACE, BIOSTABILIZACE

- **Bioimobilizace:** nejprve biotransformace těžko odbouratelné molekuly (PAU, chlorované a halogenované pesticidy, některé výbušniny). Hlavním cílem biotransformace je změnit polaritu molekuly (například redukční dehalogenací a vnesením hydroxylových skupin)
- Funkční skupiny umožňují mnohem pevnější vazby například do huminových látek a vytvoření komplexních molekul bez negativních účinků na životní prostředí. Vazba je ireverzibilní

BIOIMOBILIZACE



BIOTRANSFORMACE
Následovaná

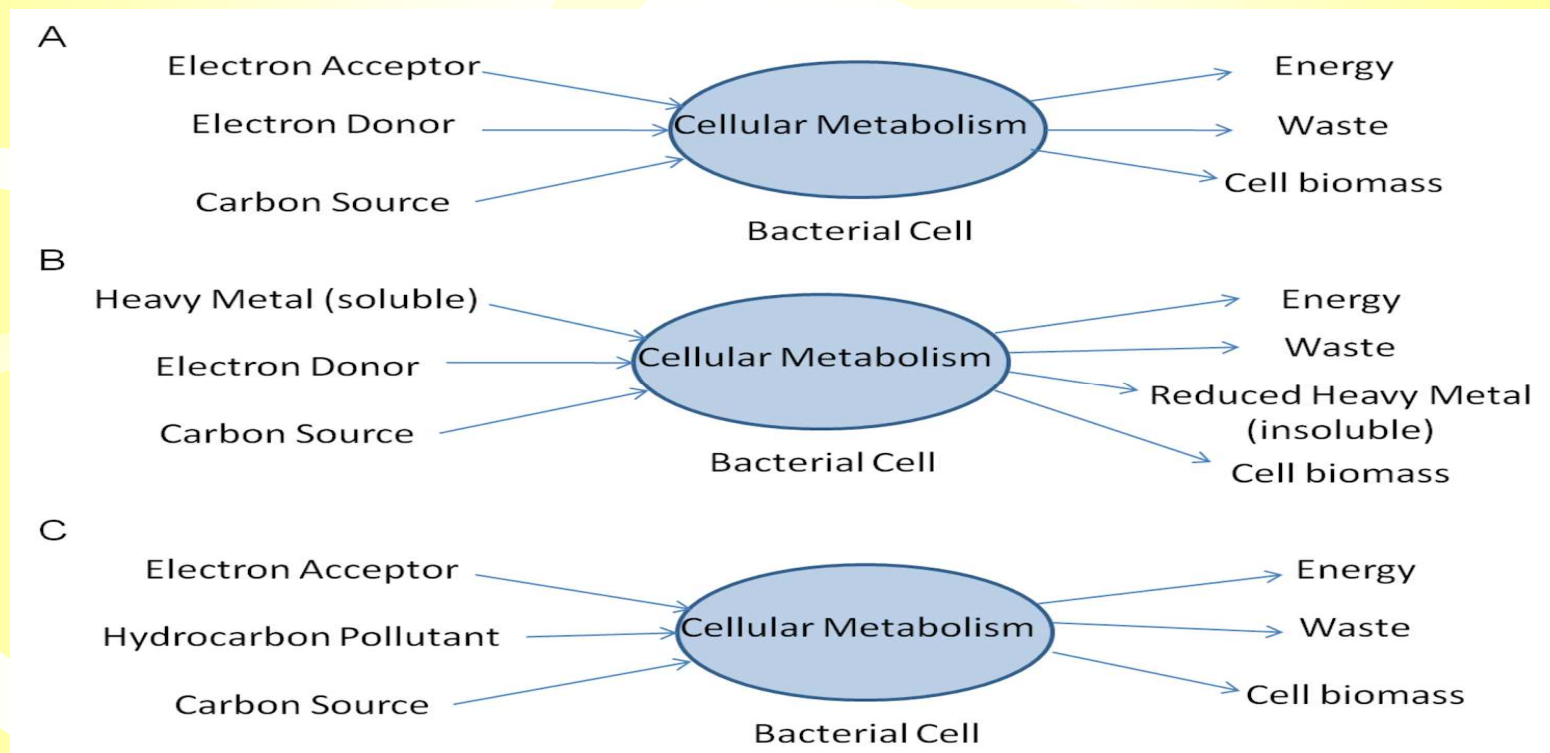


sorpcí například
do huminových
látek

Naprava ekologických škod - 2. část

BIOSTABILIZACE

- **Biostabilizace:** Převod například rozpustných solí na nerozpustné redukcí (oxidací) kovů či radionuklidů.

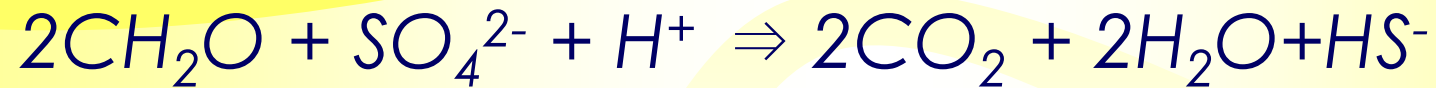


BIOSTABILIZACE KOVŮ

- i) srážení a imobilizace (srážení sulfidů)
- ii) redukce na nerozpustný nižší oxidační stupeň kovu
- iii) sorpce na mikrobiální biomasu a biopolymery
- iv) vazba do složek prostředí, imobilizace a snížení nebezpečnosti

REDUKCE A SRÁŽENÍ KOVŮ

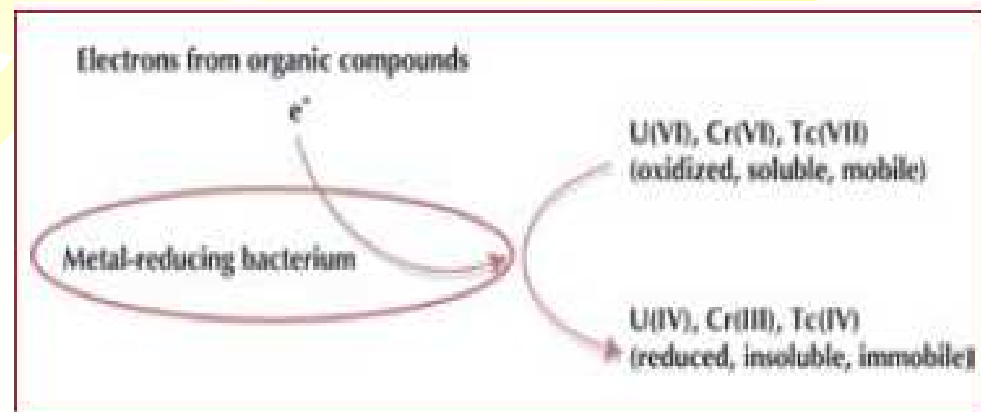
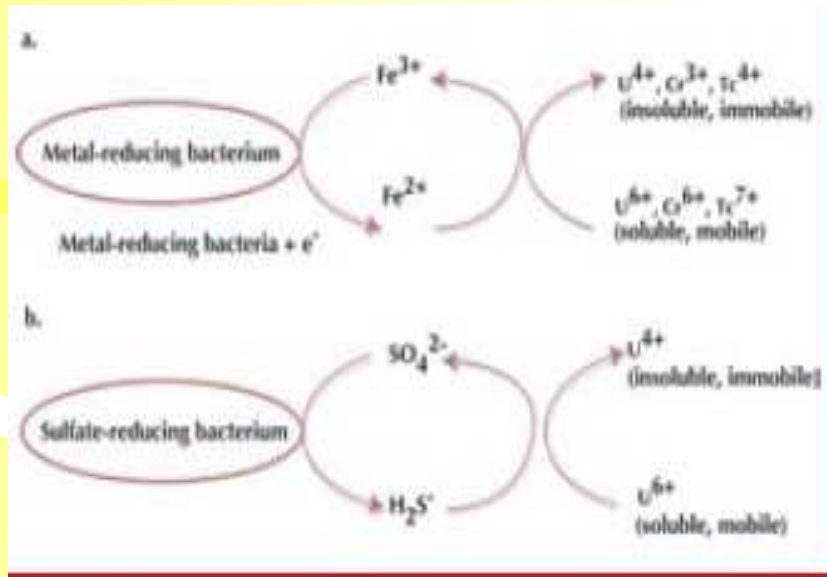
Redukce síranu na sulfid



Srážení siričků kovů

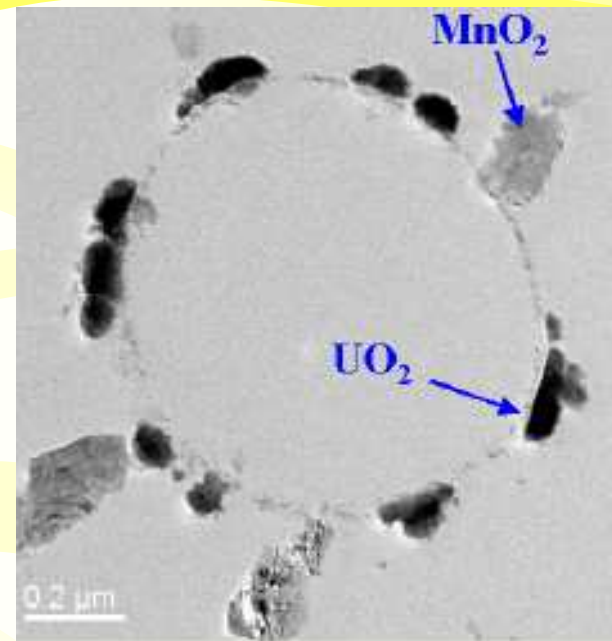


REDUKCE

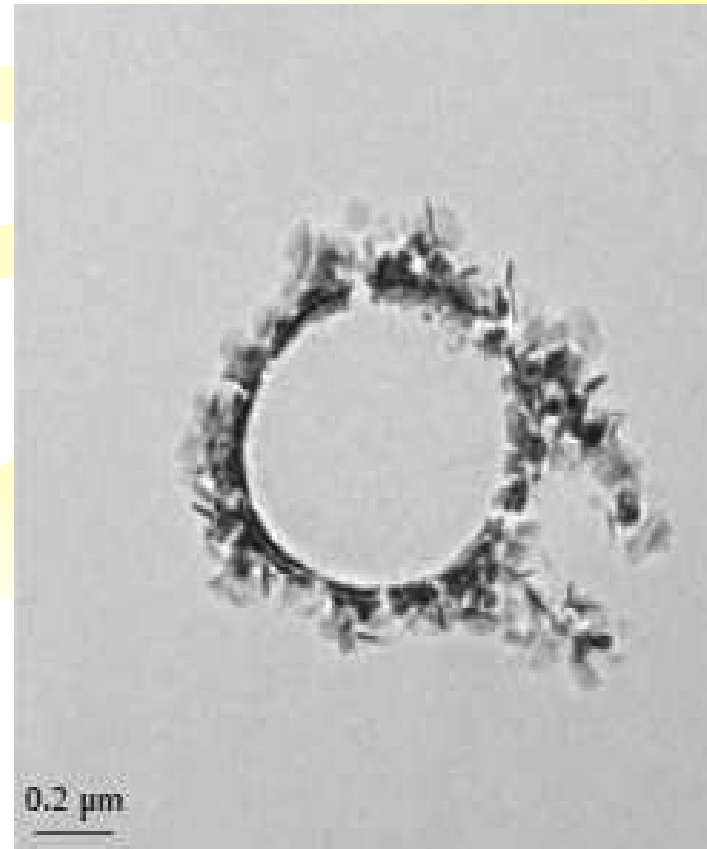


REDUKCE

- *Shewanella oneidensis* - redukce UO_2 ,
- další kovy Mn, Fe,
- současně redukuje i organické látky

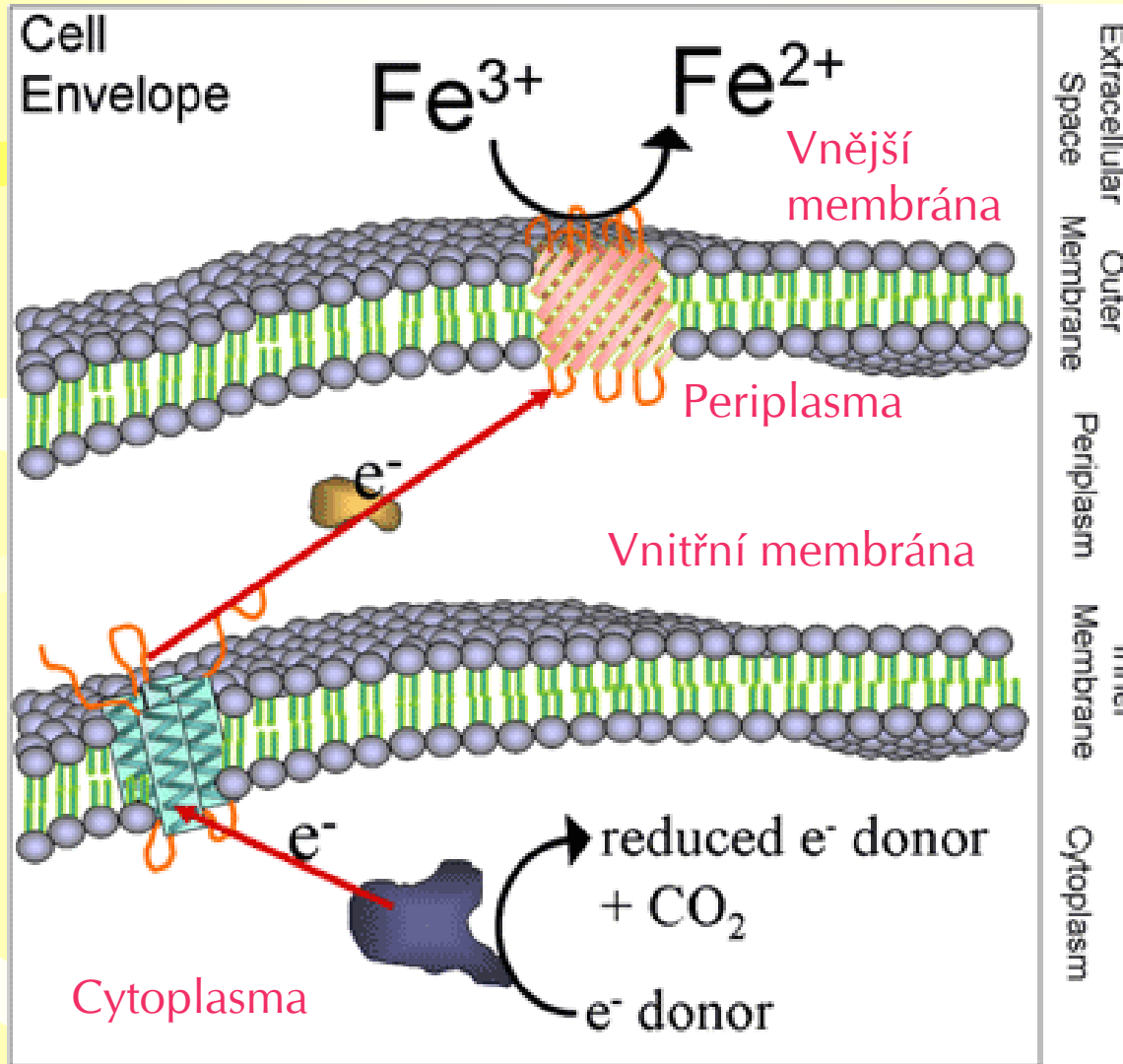


REDUKCE

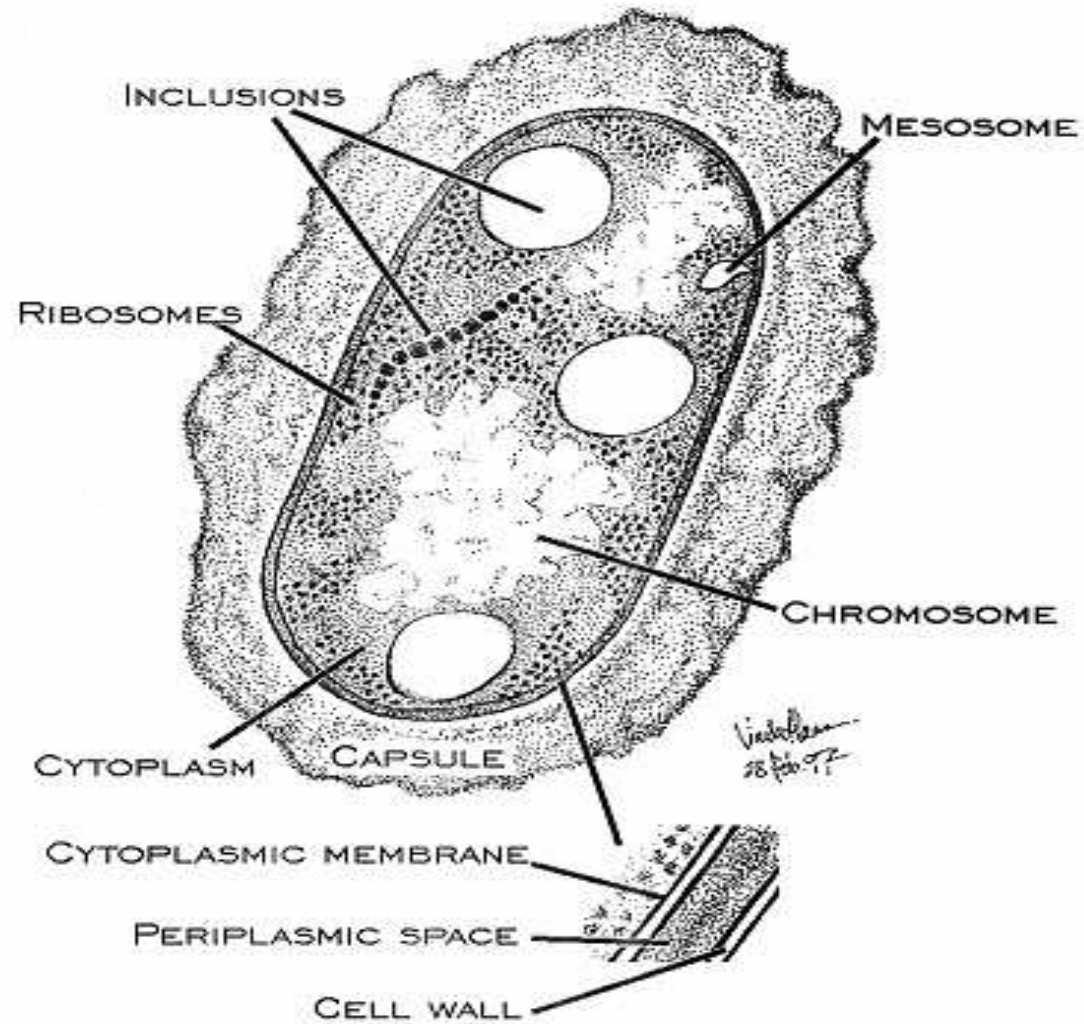


Náprava ekologických škod - 2. část

SCHEMA REDUKCE



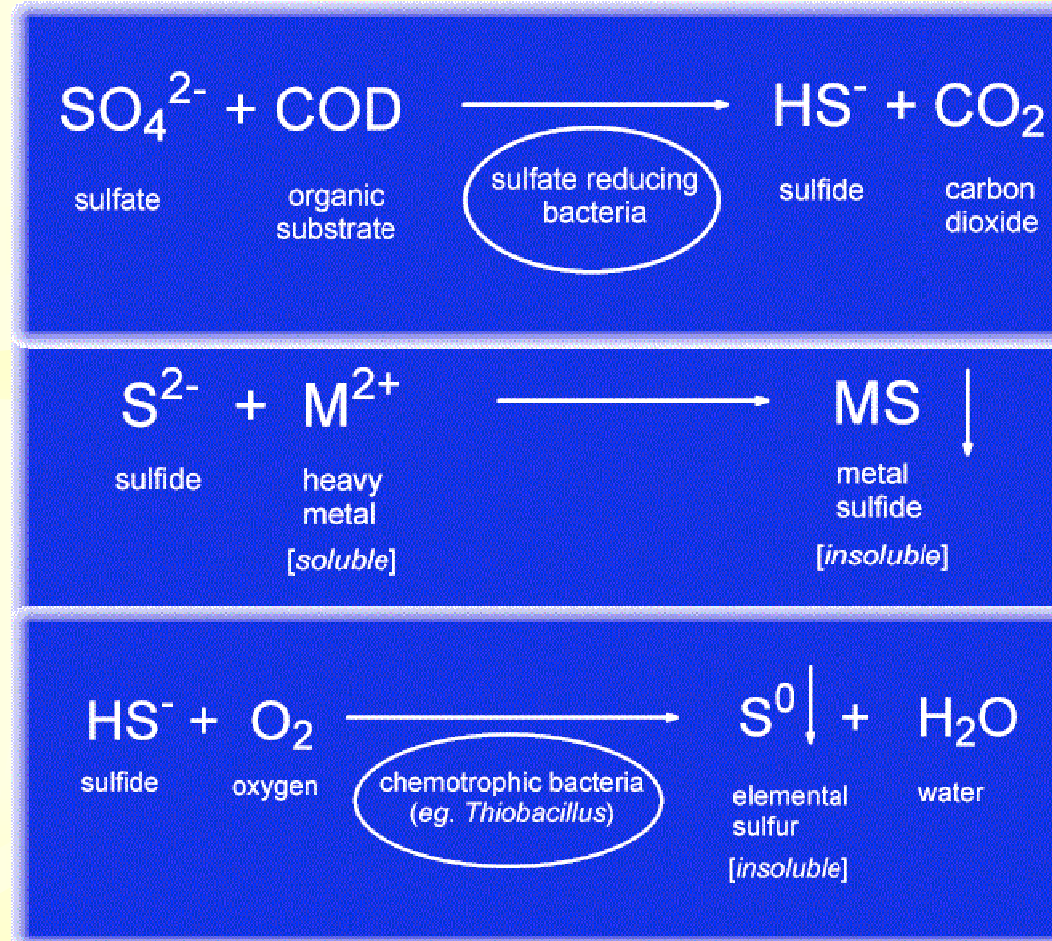
STAVBA BAKTERIÁLNÍ BUŇKY



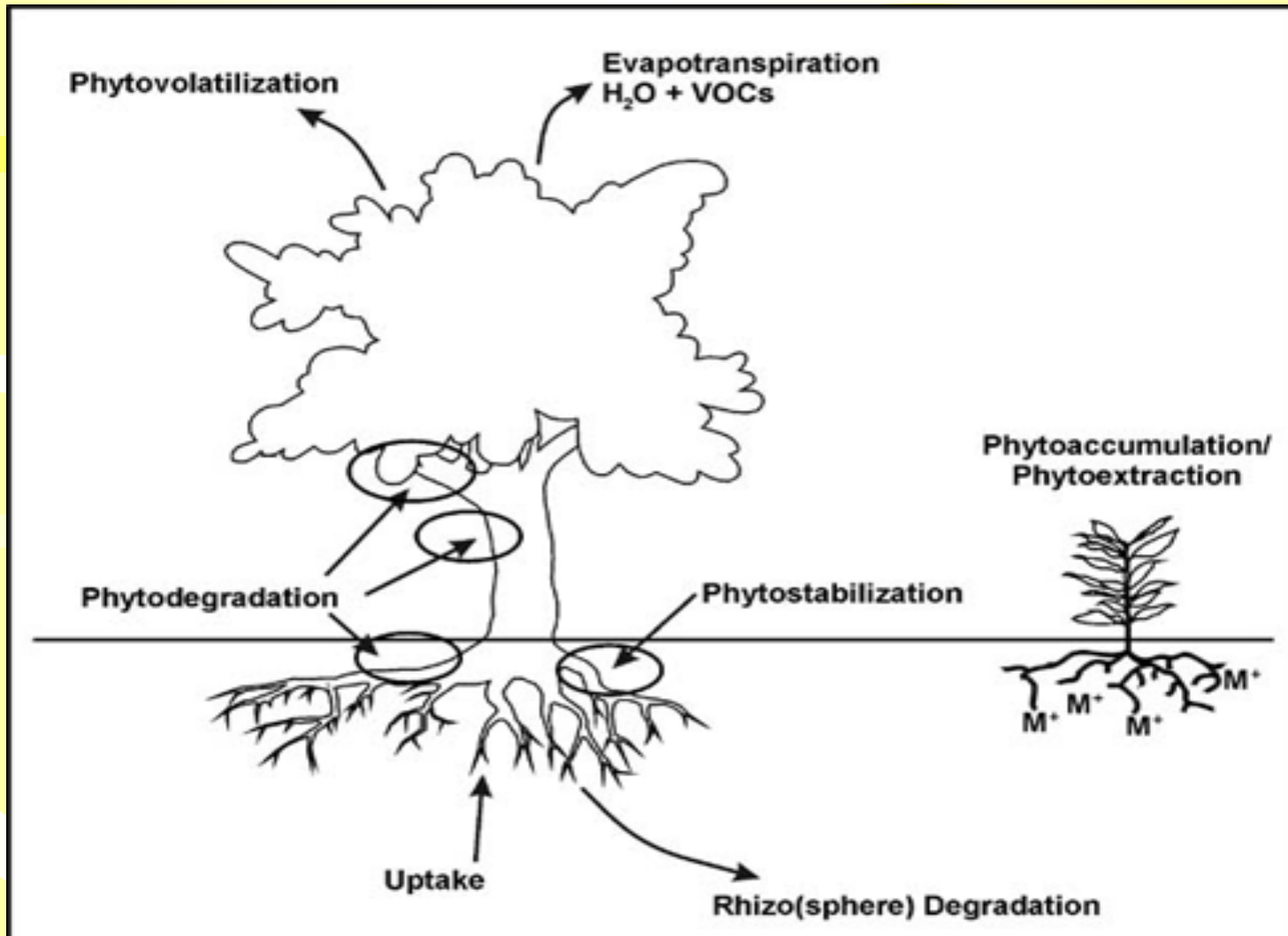
Náprava ekologických škod - 2. část

BIOIMOBILIZACE, BIOSTABILIZACE

- **Biostabilizace:** Uvedení prostředí do redukčního stavu (sulfátredukující podmínky)



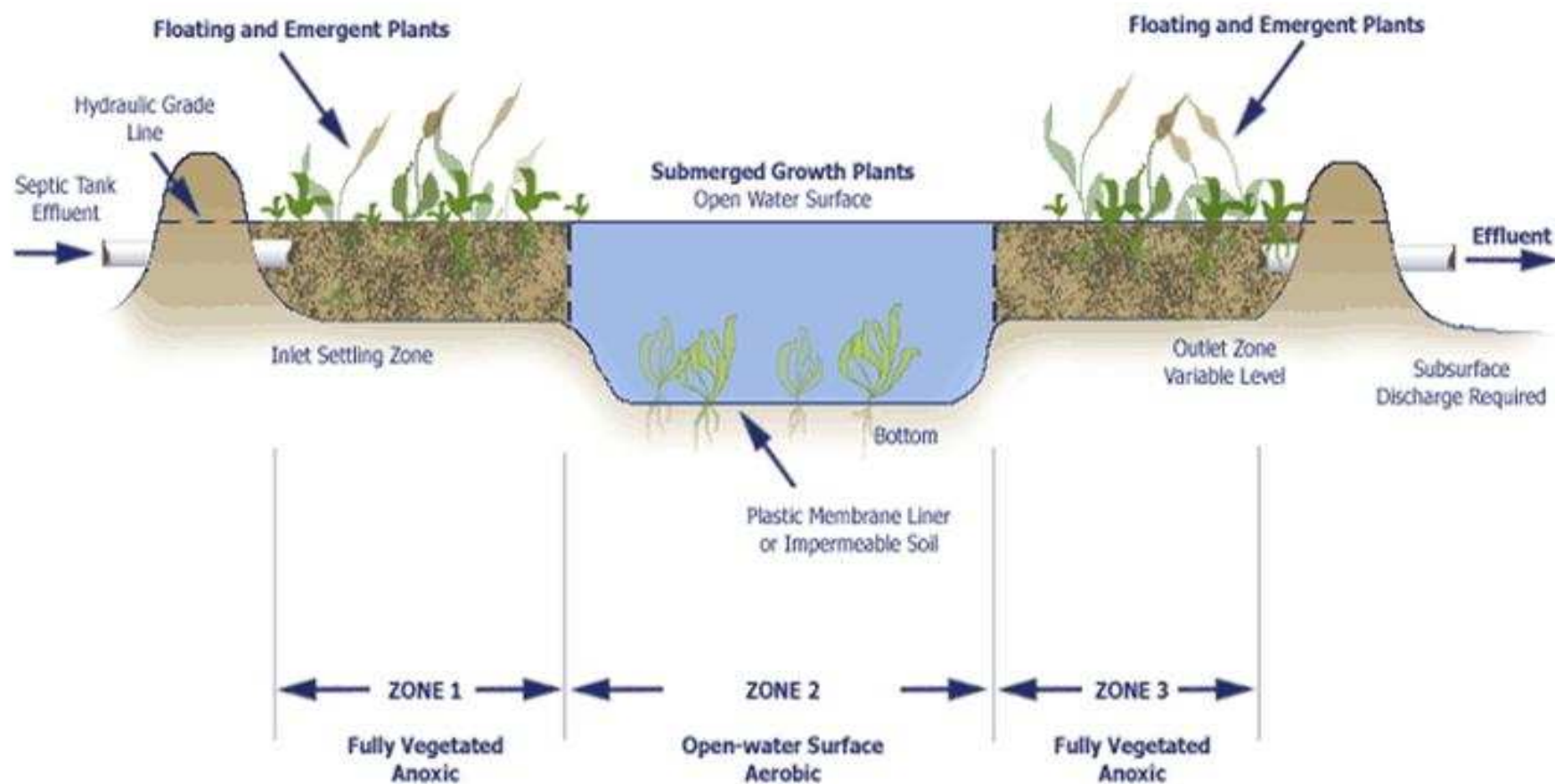
FYTOREMEDIACE



Náprava ekologických škod - 2. část

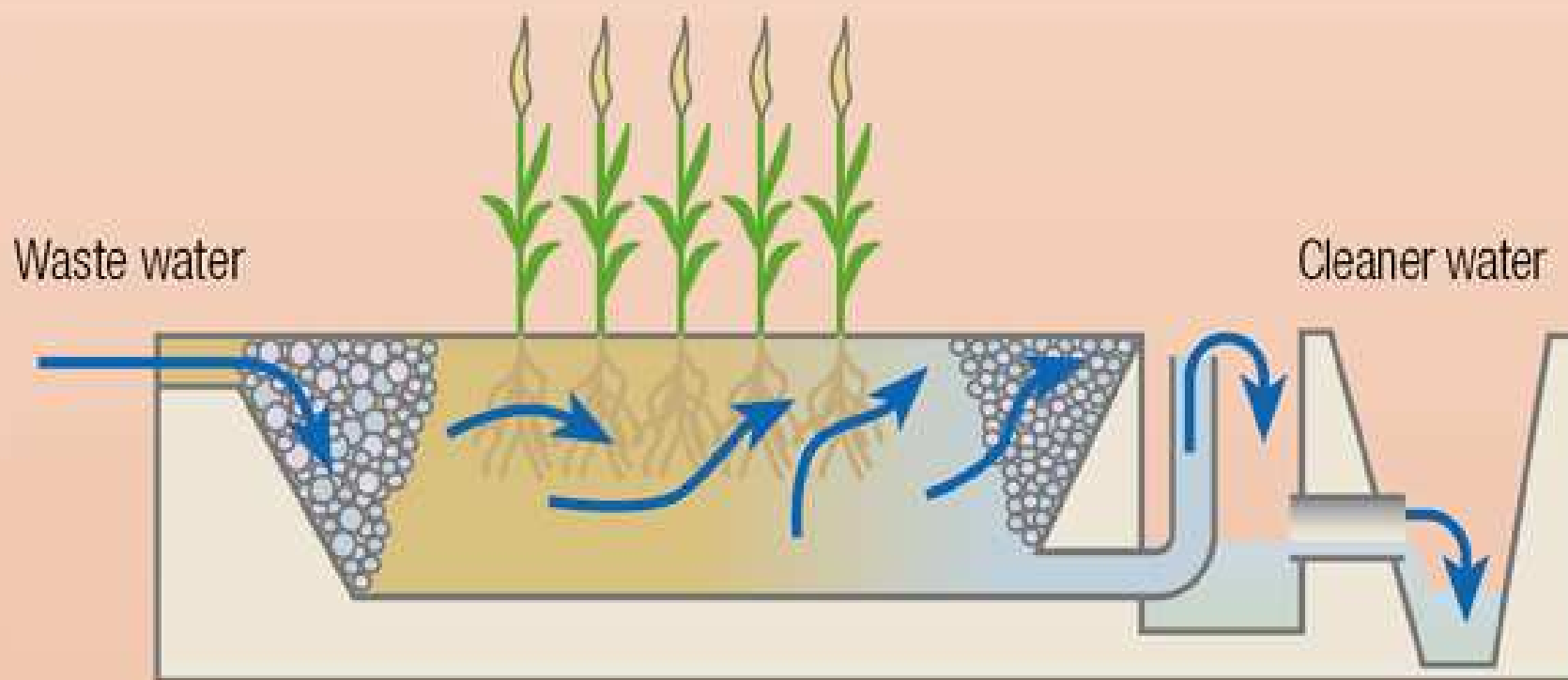
FYTOREMEDIACE - MOKŘADY

Čištění odpadních vod komunálních ???

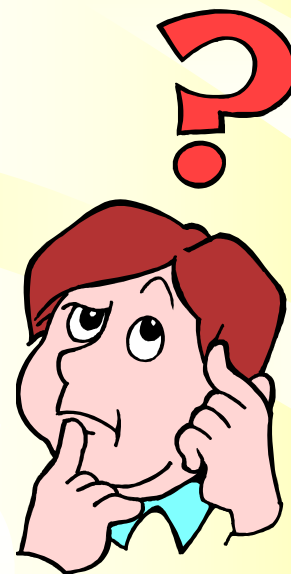


FYTOREMEDIACE - MOKŘADY

Čištění průmyslových odpadních vod v Evropě je možné celoročně!!!



OTÁZKY ?



DĚKUJI



VÁM ZA

POZORNOST !