

Bioremediacja mikrobiologiczna zanieczyszczonych i zeutrofizowanych zbiorników wodnych: mity i fakty, za i przeciw

Prof. dr hab. Ryszard J. Chróst

Zakład Ekologii Mikroorganizmów i Biotechnologii Środowiskowej, Wydział Biologii UW
Laboratorium Ochrony i Rekultywacji Wód, Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych UW

Bioremediacja

Bioremediacja - zespół zabiegów stymulujących autochtoniczne mikroorganizmy do szybkiego degradowania niebezpiecznych zanieczyszczeń (głównie organicznych) **in situ** do poziomu bezpiecznego dla organizmów

<https://encyklopedia.pwn.pl/encyklopedia/Bioremediacja.html>

Bioremediation - treatment that uses naturally occurring organisms to break down hazardous substances into less toxic or non toxic substances. (US Environmental Protection Agency)

Bioremediacja - biologiczne oczyszczanie środowiska wodnogruntowego sposobami biologicznymi

www.ustawa-podatkowa.pl/badania-analizy/bioremediacja-biologiczne-oczyszczanie

Bioremediacja zbiorników wodnych

Bioremediacja mikrobiologiczna in situ jest w działaniu skuteczną alternatywą do klasycznych, często mało skutecznych, metod rewitalizacji i rekultywacji zbiorników wodnych.

W Polsce jest nowością, nadal niezbyt powszechną, dotychczas zastosowaną w kilkunastu niewielkich zbiornikach wodnych (stawy, jeziora) w ostatniej dekadzie.

W większości dotychczasowych zastosowań różne zabiegi bioremediacji mikrobiologicznej nie doprowadziły do oczekiwanych zmian poprawy jakości środowiska wodnego (np. jezioro Góra i Szczęśliwickie, stawy parkowe w Łazienkach w Warszawie).

OSA - zasada bioremediacji

Odnowa, **S**tymulacja i **A**kceleracja
naturalnych procesów samooczyszczania się wód poprzez
bioaugmentację zanieczyszczonego jeziora lub stawu
preparatami mikrobiologicznymi zawierającymi
wysokoaktywne metabolicznie zespoły i konsorcja
mikroorganizmów

Skutki eutrofizacji wód



Zakwit toksycznych sinic: *Planktothrix agardhii*,
Aphanizomenon gracile, *Aphanizomenon flos-aque*,
Anabaena planctonica, *Microcystis aeruginosa*, Jezioro
Suskie



Skutki eutrofizacji wód



Toksyczny zakwit *Microcystis aeruginosa* (zalew Ożanna, podkarpackie)

Skutki eutrofizacji wód

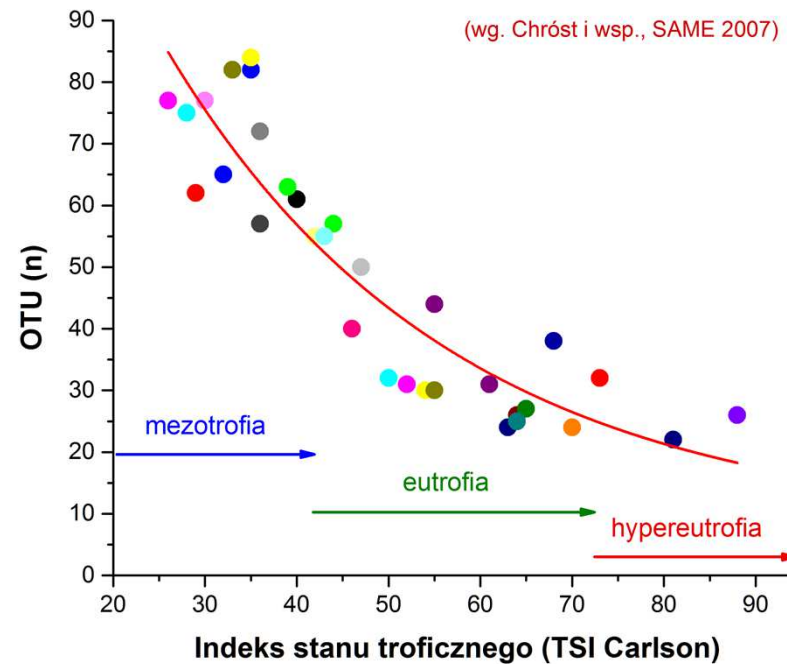
- **Wysokie stężenia N i P w wodzie** (w szczególności P mineralnego wiosną i P organicznego w okresie letnim)
- **Kumulacja biogenów w osadach dennych (głównie P i materii organicznej)**
 - „internal loading” kolumny wody biogenami z osadów dennych
- **Masowe zakwity fitoplanktonu:**
 - dominacja cyjanobakterii (sinic)
 - wytwarzanie cyjanotoksyn

Skutki eutrofizacji wód

- **Nadprodukcja materii organicznej w ekosystemie:**
 - wzrost stężenia rozpuszczonych w wodzie substancji organicznych
 - podwyższenie ilości zawiesiny organicznej w wodzie
 - wzrost zawartości materii organicznej w osadach ➡ wzrost miąższości osadów dennych ➡ wypływanie zbiornika
 - spadek przezroczystości wody
 - pogorszenie warunków fotosyntetycznego natleniania wody
- **Deficyty tlenowe w wodzie i osadach dennych**
 - spadek odczynu pH oraz redox środowiska
 - przewaga mikrobiologicznych procesów anaerobowych
 - zahamowanie mineralizacji materii organicznej
 - wzrost ilości toksycznego siarkowodoru

Skutki eutrofizacji wód

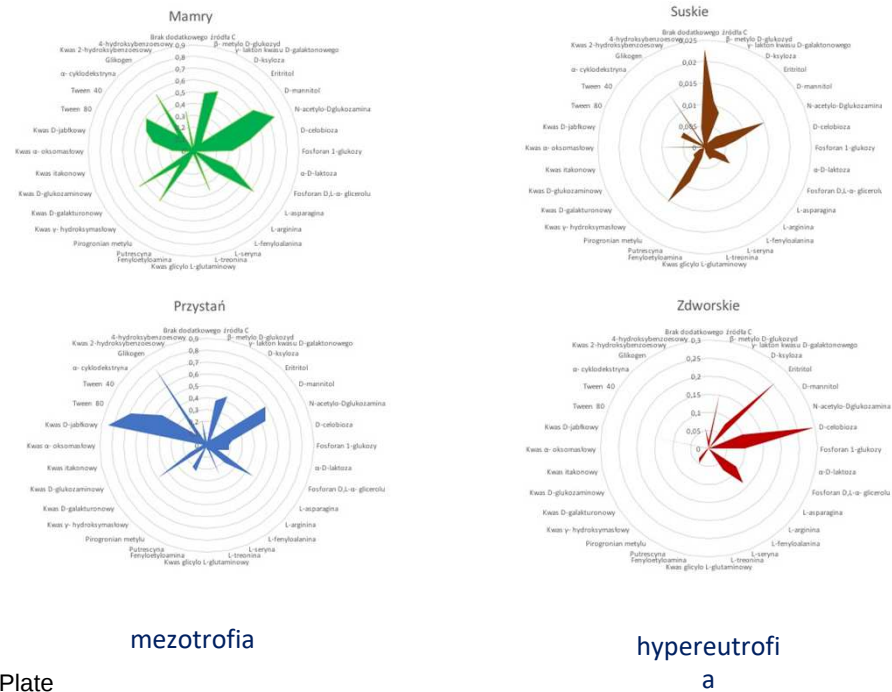
- Niekorzystne zmiany w mikrobiocenozie:
 - spadek bioróżnorodności



Metoda PCR/DGGE 16s rDNA

Skutki eutrofizacji wód

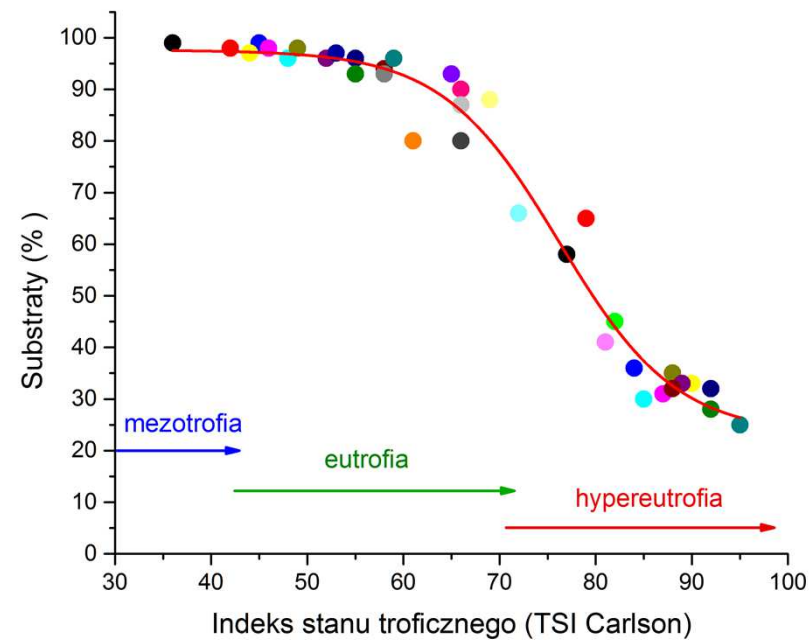
- **Niekorzystne zmiany w mikrobiocenozie:**
 - zmniejszenie bioróżnorodności funkcjonalnej



Metoda Biolog EcoPlate

Skutki eutrofizacji wód

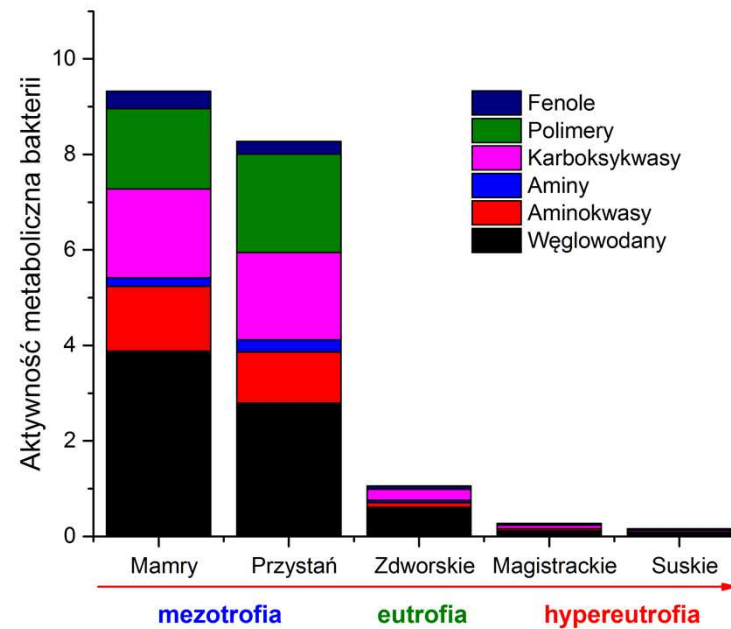
- Niekorzystne zmiany w mikrobiocenozie:
 - zmniejszenie bioróżnorodności funkcjonalnej



Metoda Biolog EcoPlate

Skutki eutrofizacji wód

- Niekorzystne zmiany w mikrobiocenozie:
 - Spadek aktywności metabolicznej



Metoda Biolog EcoPlate

Skutki eutrofizacji wód

Niekorzystne zmiany w mikrobiocenozie

zmniejszenie różnorodności filogenetycznej i funkcjonalnej mikrobiocenoz



znaczne **obniżenie** lub **zahamowanie**
procesów samooczyszczania się wód

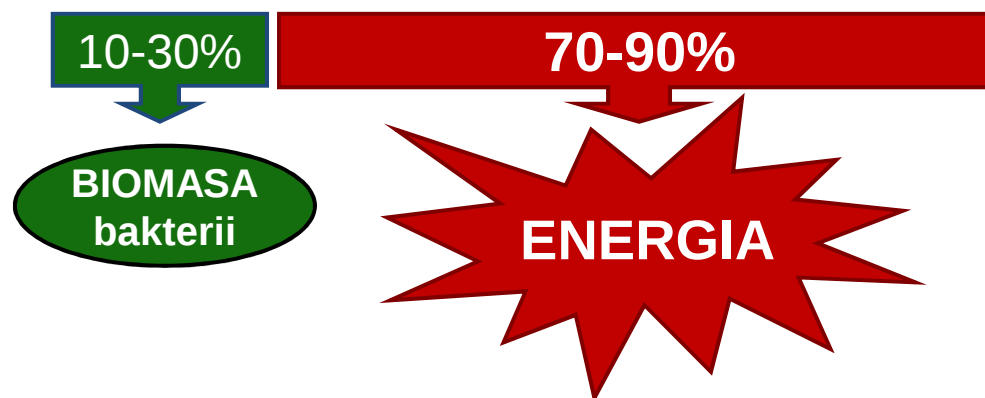
Bioremediacja mikrobiologiczna

Celem bioremediacji mikrobiologicznej, metody rekultywacji zbiorników wodnych, jest poprawa jakości ekologicznej wód i osadów dennych oraz podwyższenie lub przywrócenie utraconych walorów gospodarczych, sportowo-turystycznych i rekreacyjnych

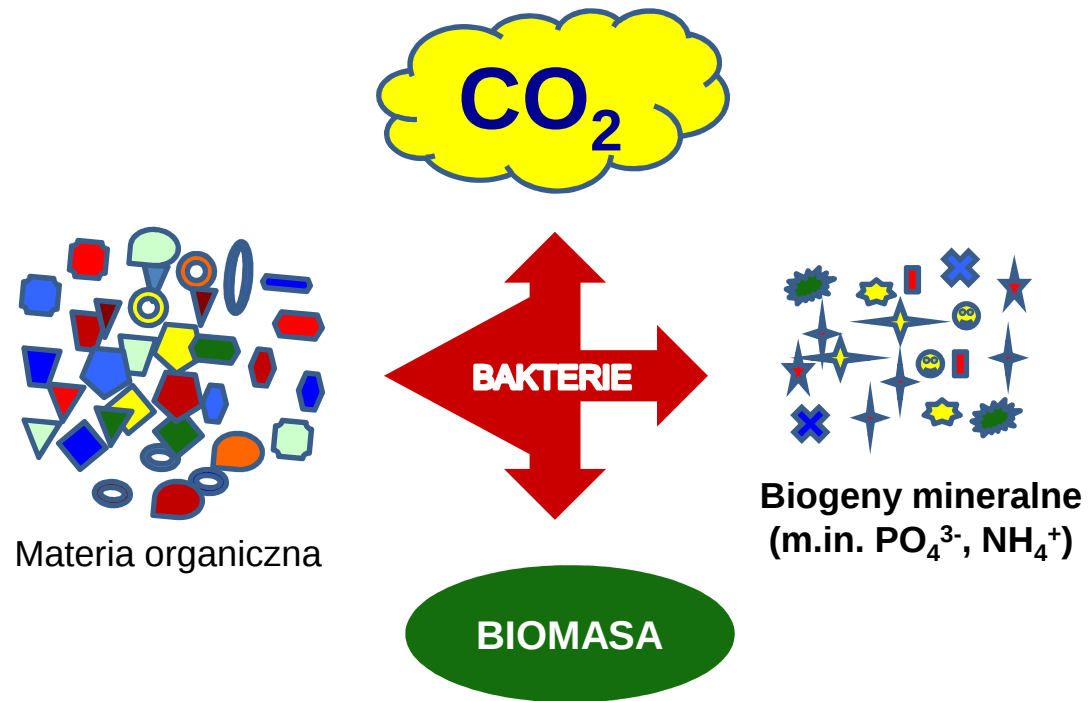
Bioremediacja mikrobiologiczna

- **Biotechnologia środowiskowa in situ oparta na wykorzystywaniu naturalnych właściwości degradatywnych zespołów mikroorganizmów o dużym potencjale biochemiczno-metabolicznym do rozkładu i wykorzystywania substancji organicznych inokulowanych w zbiorniku wodnym (bioaugmentacja)**
- **Celem bioaugmentacji jest odnowa utraconej bioróżnorodności filogenetycznej i funkcjonalnej naturalnych mikroorganizmów w ekosystemie i stymulacja naturalnych procesów samooczyszczania się wód**
- **Powoduje degradację zanieczyszczeń w wodzie i w osadach dennych**
- **Oparta na procesach i interakcjach mikrobiologicznych w ekosystemie**
- **Nieinwazyjna i bezpieczna w środowisku**

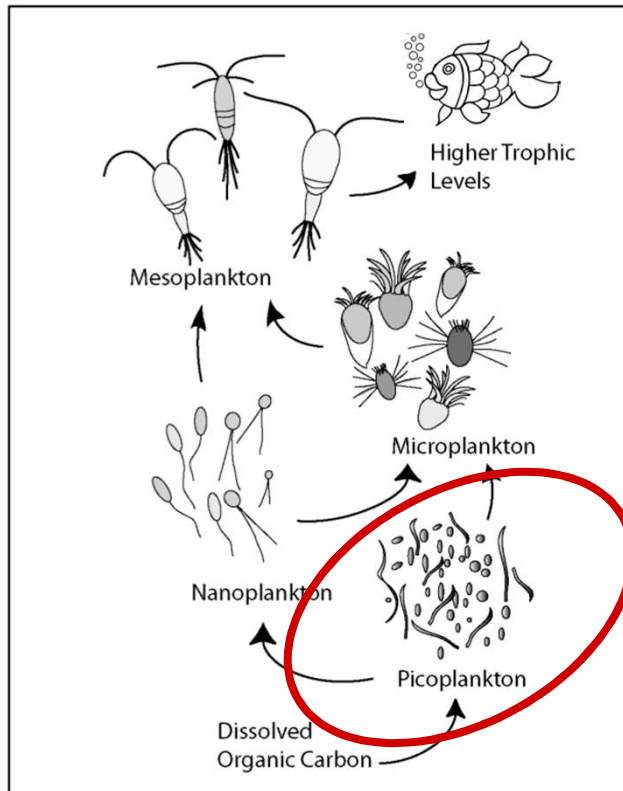
Asymilacja materii organicznej



Jak działają bakterie w jeziorze?



Losy biomasy w zbiornikach wodnych



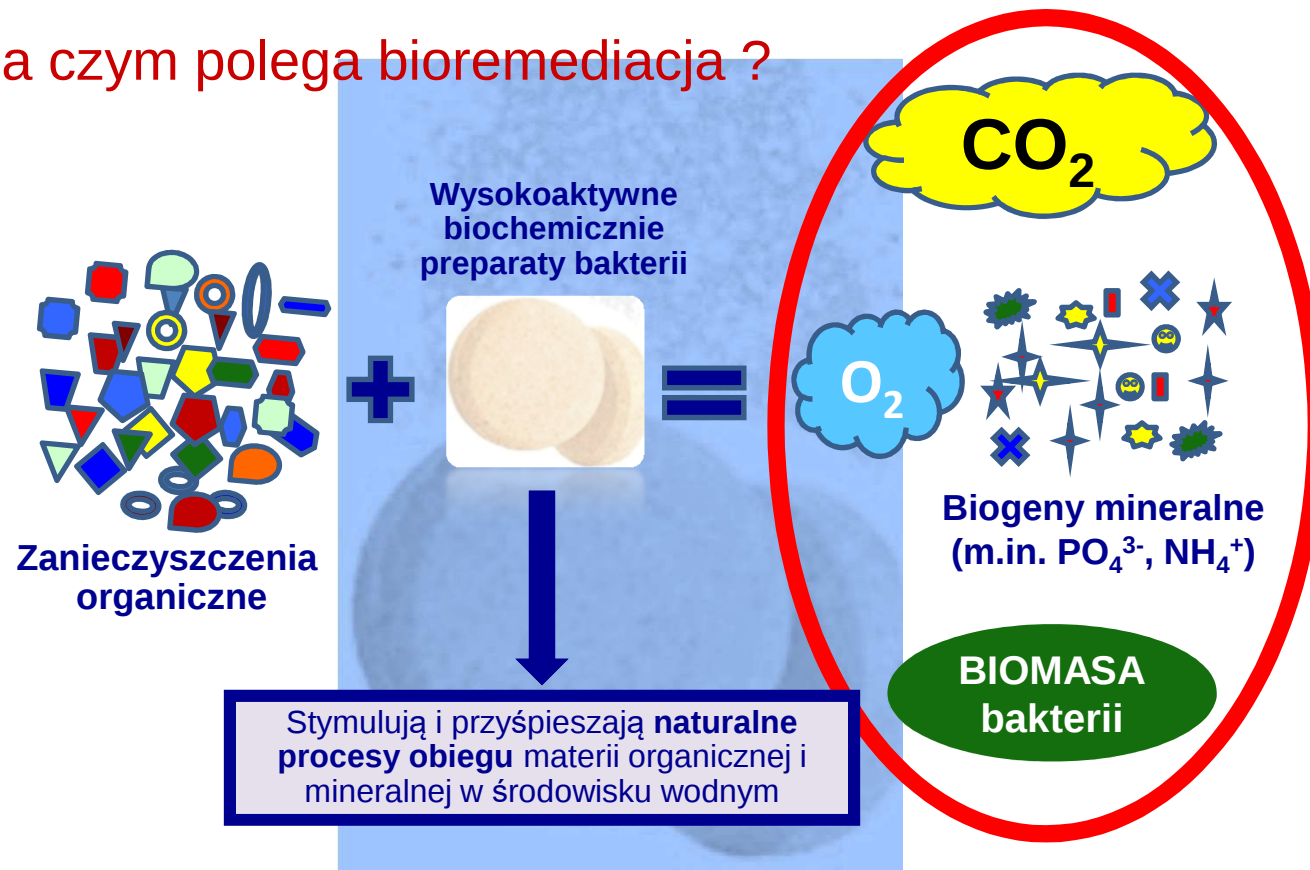
- ① Konsumpcja rozpuszczonej w wodzie materii organicznej (DOC) przez mikroorganizmy pikoplanktonowe (głównie bakterie) inicjuje transfer cząstkowej materii organicznej w obrębie sieci pokarmowych do wyższych poziomów troficznych.
- ② Najważniejszym etapem w tym procesie jest biotransformacja rozpuszczonej w wodzie materii organicznej (DOC) do cząstkowej (partykularnej) materii organicznej POM wyłącznie przeprowadzana przez bakterie heterotroficzne i wytworzenie ich biomasy.

Aktywny metabolizm bakterii w procesach asymilacji i mineralizacji materii organicznej doprowadza do:

- produkcji biomasy bakterii, w której związane zostały znaczne ilości związków organicznych i biogennych (C, N, P, S)
- szybkiej konsumpcji wytworzonej biomasy przez bakteriożerców i organizmy zwierzęce z wyższych poziomów troficznych, których końcowymi ogniwami są gatunki o komercyjnym znaczeniu w gospodarce człowieka zasobami wodnymi (duże bezkręgowce, ryby, ptaki, ssaki).
- eksploatacja gatunków komercyjnych doprowadza do wyniesienia z ekosystemu dużej porcji materii organicznej w postaci odławianej biomasy
- **zasadnicza część (70-90%) asymilowanej przez bakterie wodne materii organicznej jest mineralizowana w warunkach tlenowej respiracji do dwutlenku węgla (CO₂), soli mineralnych N, P, S**

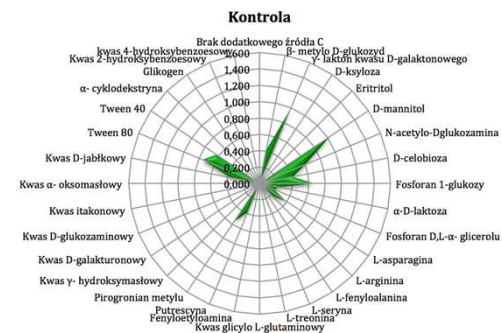
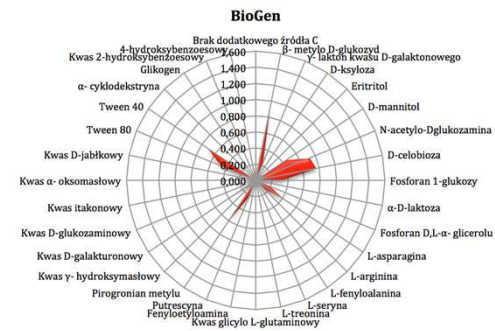
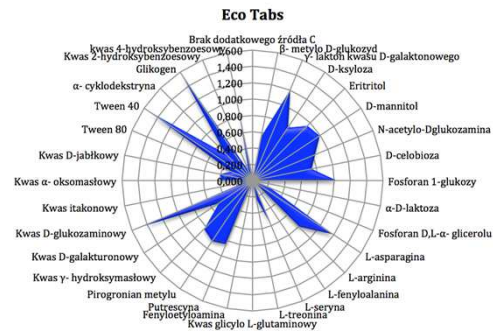
Bioremediacja mikrobiologiczna

Na czym polega bioremediacja ?



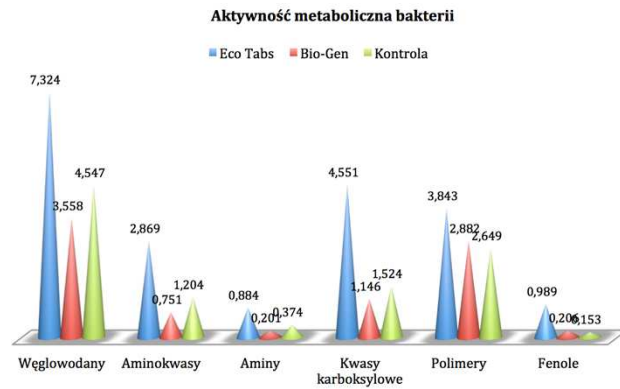
Bioaugmentacja mikrobiologiczna

Powodzenie bioremediacji najbardziej zależy od aktywności preparatów mikrobiologicznych użytych w bioaugmentacji

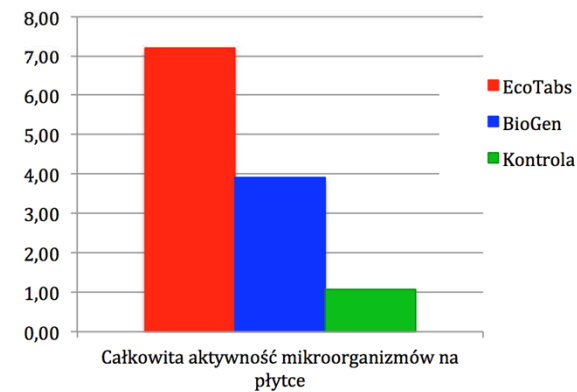


Profile metaboliczne mikrobiocenozy jeziora Zdwońskiego bioaugmentowanej preparatami mikrobiologicznymi po 3 miesiącach (metoda Biolog EcoPlate)

Bioaugmentacja mikrobiologiczna



Porównanie aktywności metabolicznej
mikrobiocenozy w wodzie jeziora
Zdrowskiego bioaugmentowanej
preparatami mikrobiologicznymi EcoTabs
i BioGen Remediant



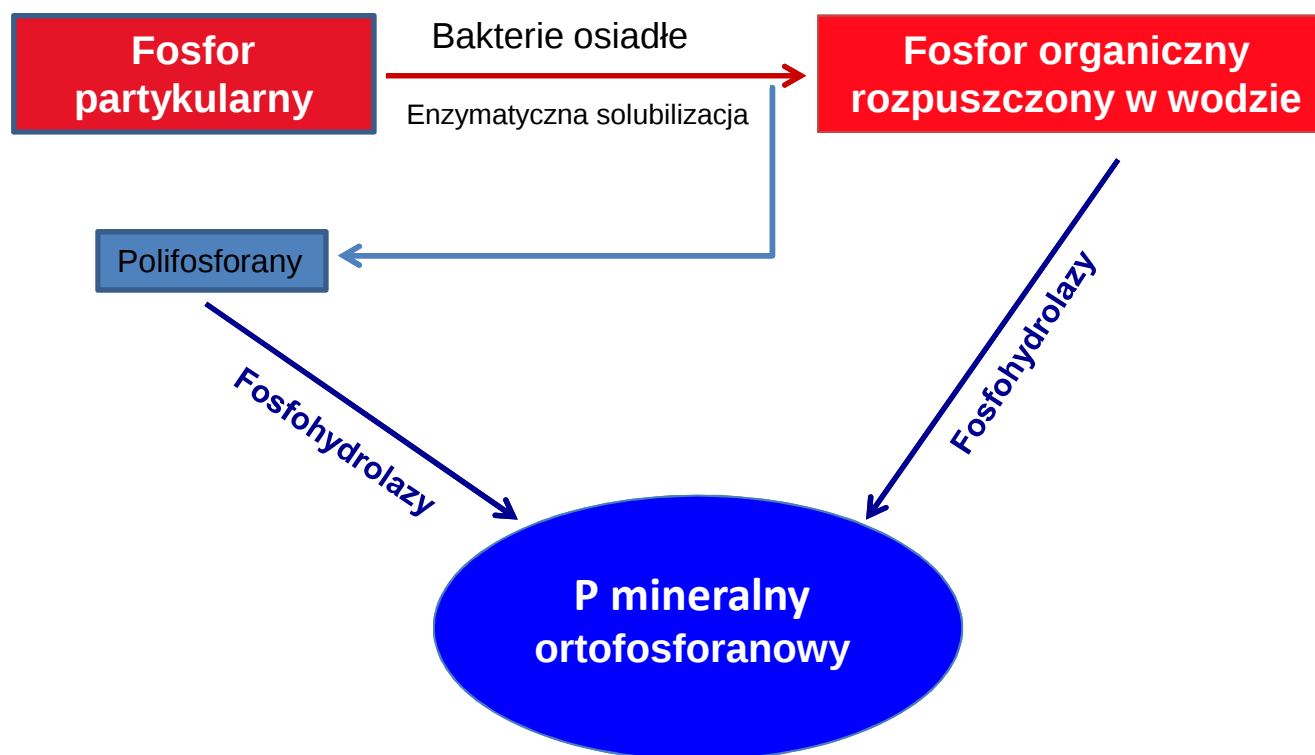
Całkowita aktywność metaboliczna mikroorganizmów na płytkach
inokulowanych preparatem EcoTabs i BioGen oraz w wodzie zagrody kontrolnej

Bioremediacja mikrobiologiczna

Mineralizacja materii organicznej w procesach bioremediacji mikrobiologicznej doprowadza do uwolnienia znacznych ilości fosforu mineralnego ortofosforanowego, który stymuluje niepożądany rozwój biomasy fitoplanktonu i wzrost produkcji pierwotnej ekosystem wodnego

(z tego powodu wiele zabiegów bioremediacji zbiorników wodnych kończy się niepowodzeniem lub skutkuje krótko-okresową poprawą jakości wody)

Przemiany fosforu organicznego podczas bioremediacji mikrobiologicznej



Bioremediacja mikrobiologiczna

**W roku 2015 zastrzeżono patentowo biotechnologię
Kompleksowej Bioremediacji Mikrobiologicznej
zbiorników wodnych (KOBLOMIK), opracowaną
przez zespół naukowy Zakładu Ekologii
Mikroorganizmów i Biotechnologii Środowiskowej
we współpracy z firmą Biorem Ekoservis i Eco Life
Systems**

**oraz wspomagający technologię KOBLOMIK
preparat CYANOXIDE i metodę do zwalczania
zakwitów sinic.**

U.P. R.P.: P.414135 i P.414134

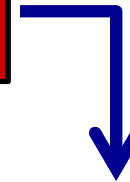
Kompleksowa Bioremediacja Mikrobiologiczna

Podstawy biotechnologii KOBIOBIOMIK

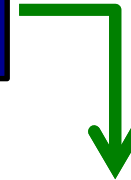
1. Wstępna inaktywacja fosforu mineralnego w wodzie w celu zahamowania nadmiernego rozwoju fitoplanktonu wiosennego,
2. Inokulacja toni wodnej i osadów dennych wysokoaktywnymi biochemicznie preparatami bakterii izolowanych ze środowisk naturalnych doprowadza do stymulacji mikrobiologicznych procesów rozkładu, transformacji i mineralizacji zanieczyszczeń organicznych w jeziorze,
3. Związki fosforu organicznego zawarte w wodzie, osadach dennych oraz w detritusie („obumarła biomasa”) na skutek defosforylacji przez fosfohydrolazy mikroorganizmów (głównie fosfatazy, nukleotydazy) zostają przekształcone w mineralny fosfor ortofosforanowy
4. Uwolniony w procesach mikrobiologicznych fosfor mineralny zostaje trwale inaktywowany w postaci długotrwale nierozpuszczalnych w wodzie kompleksów rabdofanowych i zdeponowany na powierzchni osadów dennych jeziora

Kompleksowa Bioremediacja Mikrobiologiczna - KOBIO MIK (Etapy wstępne)

Rozpoznanie i określenie zewnętrznych źródeł biogenów i zanieczyszczeń dopływających do zbiornika wodnego



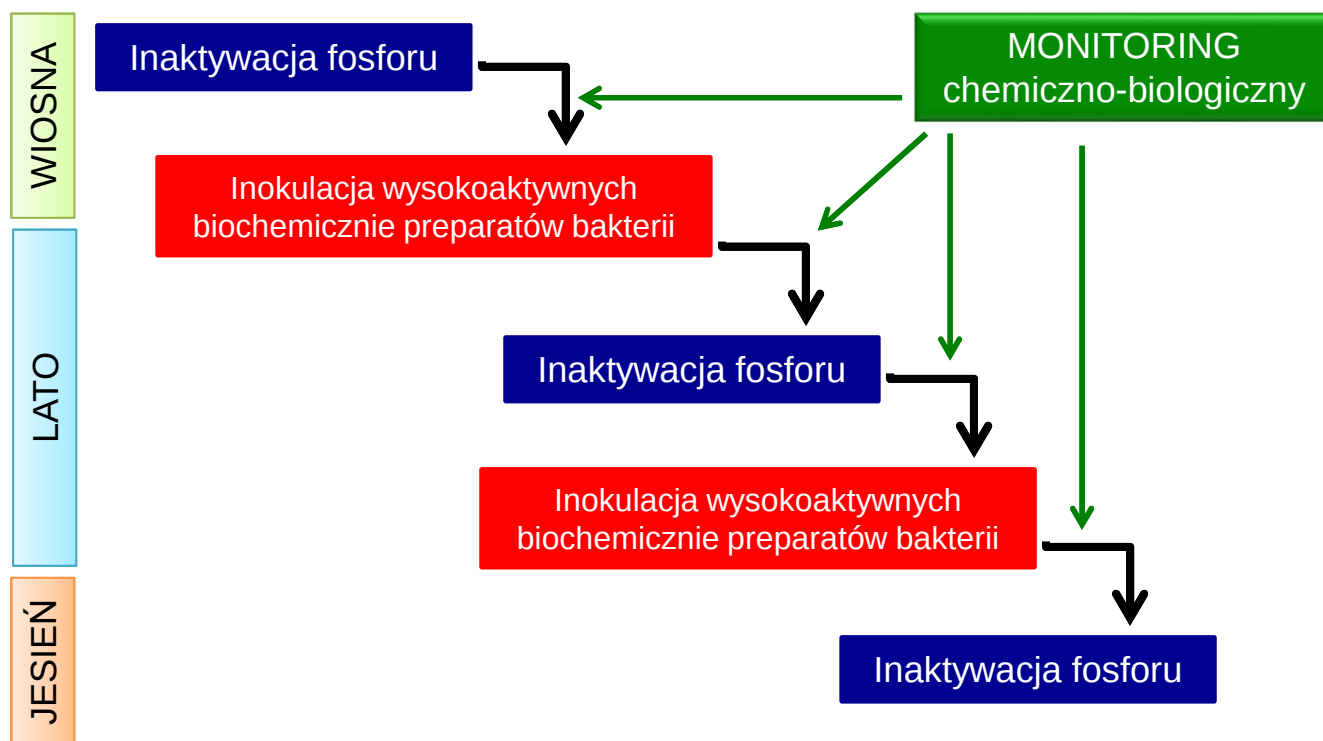
Analiza dynamiki zmian sezonowych podstawowych parametrów fizyko-chemicznych, biologicznych i mikrobiologicznych wody i osadów dennych



Kalibracja zbiornika w skali mikrokosmosu w celu optymalizacji zabiegów kompleksowej bioremediacji mikrobiologicznej

Kompleksowa Bioremediacja Mikrobiologiczna

- KOBIOBIOMIK (Etap 1)



Czy bioremediacja mikrobiologiczna jest skuteczna w stawach?

Staw kolmatacyjny w Radomiu (2014)



Przed zabiegiem bioremediacji, 02.07.2014 r.



W trakcie zabiegu bioremediacji, 18.08.2014 r.

Czy bioremediacja mikrobiologiczna jest skuteczna w jeziorze?

Jeziro Suskie (2015)

Procentowa zmiana wartości analizowanych parametrów jakości wody
w porównaniu ze stanem początkowym (100% w dniu 06.08.2014 r.)

Parametr	JEZIORO				KĄPIELISKO			
	06.08.	18.08.	03.09.	02.10.	06.08.	18.08.	03.09.*	02.10.
Chlorofil _a	100	82,4	40,9	45,2	100	50,3	36,4	24,1
Fosfor całkowity	100	87,0	64,7	69,2	100	56,5	50,6	34,6
Fosfor organiczny	100	94,3	68,9	74,0	100	58,3	42,4	37,3
Fosfor mineralny	100	8,3	5,5	0,0	100	5,5	2,8	0,0
Azot amonowy	100	89,1	50,7	28,8	100	10,9	17,0	15,6
Mętność wody	100	78,4	83,8	86,5	74	35,1	47,3	56,7

* częściowe uszkodzenie przegrody spowodowało dopływ wody z jeziora do zagrody eksperymentalnej

Czy bioremediacja mikrobiologiczna jest skuteczna w jeziorze?

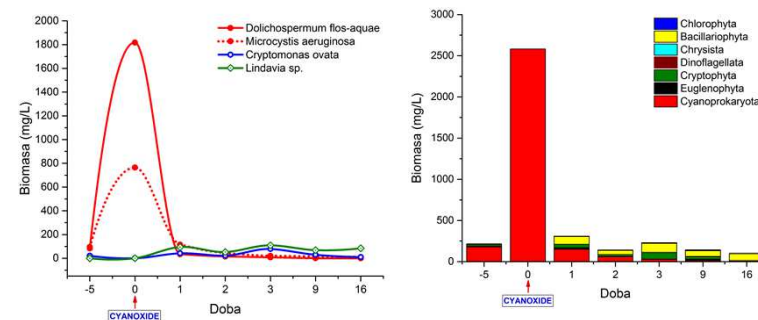
Jezioro Magistrackie (2016)



Zakwit sinic

Secchi dysk = 0,15 m
Chlorofil_a = 765 µg/L
DOC = 22 mg C/L
Mikrocystyny = 5,8 µg/L

Dolichospermum flos-aquae
Microcystis aeruginosa



Efekt CYANOXIDE po 3 dobach od zakwitu

Kompleksowa Bioremediacja Mikrobiologiczna KOBIO MIK

Skutkiem naprzemiennego zastosowania procesów mikrobiologicznego rozkładu i defosforylacji zanieczyszczeń organicznych (bioremediacja) oraz inaktywacji fosforu mineralnego w wodzie i osadach dennych jeziora w wyniku zastosowania technologii KOBIO MIK dochodzi do:

1. Drastycznego spadku dostępności biologicznej zasobów fosforu w ekosystemie;
2. Poprawy jakości parametrów fizycznych, chemicznych i biologicznych wody i osadów dennych
3. Wzrostu przezroczystości i natlenienia wody
4. Oczyszczenia jeziora z nadmiernej ilości zgromadzonych zanieczyszczeń organicznych i mineralnych (de-eutrofizacja jeziora)
5. Wzrostu walorów przyrodniczych, rekreacyjnych i gospodarczych jeziora

Bioremediacja – fakty i mity

1. **Bioremediacja jest procesem długim, zwykle wymaga 2-3 lat zastosowania w celu uzyskania efektu.**
2. Bioremediacja polegająca wyłącznie na bioaugmentacji wód i osadów dennych preparatami mikrobiologicznymi jest mało skuteczna w de-eutrofizacji zbiorników wodnych i poprawie ich jakości ekologicznej.
3. Skuteczność bioremediacji mikrobiologicznej zależy przede wszystkim od charakterystyki inokulum mikrobiologicznego użytego do bioaugmentacji, najważniejsze:
 - Ilość komórek i różnorodność metaboliczna mikroorganizmów
 - Zdolność do namnażania się w środowisku naturalnym
 - Przeżywalność w środowisku naturalnym
 - Tolerancja na czynniki środowiskowe (tlen, pH, zasolenie, temperatura)
4. Trwałość efektów bioremediacji zależy od dodatkowych zabiegów wspomagających w trakcie i po zakończeniu bioremediacji.

Bioremediacja mikrobiologiczna

Dlaczego stosować kompleksową bioremediację mikrobiologiczną?

- ★ Podstawy bioremediacji mikrobiologicznej oparte są na naturalnych procesach samooczyszczania się wód
- ★ Jest skuteczna w jeziorach i stawach
- ★ Biotechnologia kompleksowej bioremediacji mikrobiologicznej jest bezpieczna dla środowiska i jego użytkowników, nie wprowadza do środowiska naturalnego mikroorganizmów patogennych i genetycznie zmodyfikowanych. Preparaty mikrobiologiczne zawierają bakterie stymulujące i przyspieszające przebieg naturalnych procesów samorzutnie zachodzących w środowiskach wodnych
- ★ Kompleksowa bioremediacja mikrobiologiczna zbiorników wodnych nie powoduje niepożądanych skutków ubocznych dla środowiska naturalnego
- ★ Wprowadzenie wspomagających technologii podczas kompleksowej bioremediacji mikrobiologicznej wyzwala synergistyczny dodatni efekt końcowy i wydłuża trwałość skutków rekultywacji jeziora (polepszenie jakości ekologicznej wód, wzrost atrakcyjności turystycznej i użytkowej, itp.)

Gdzie stosować bioremediację mikrobiologiczną KOBIOMIK

- ★ Płytkie jeziora i zbiorniki wodne
- ★ Płytkie zatoki dużych jezior
- ★ Stawy rybne i hodowlane
- ★ Stawy miejskie i rekreacyjne
- ★ Laguny w oczyszczalniach ścieków
- ★ Starorzecza o niewielkim przepływie wód

Dziękuję za uwagę!