

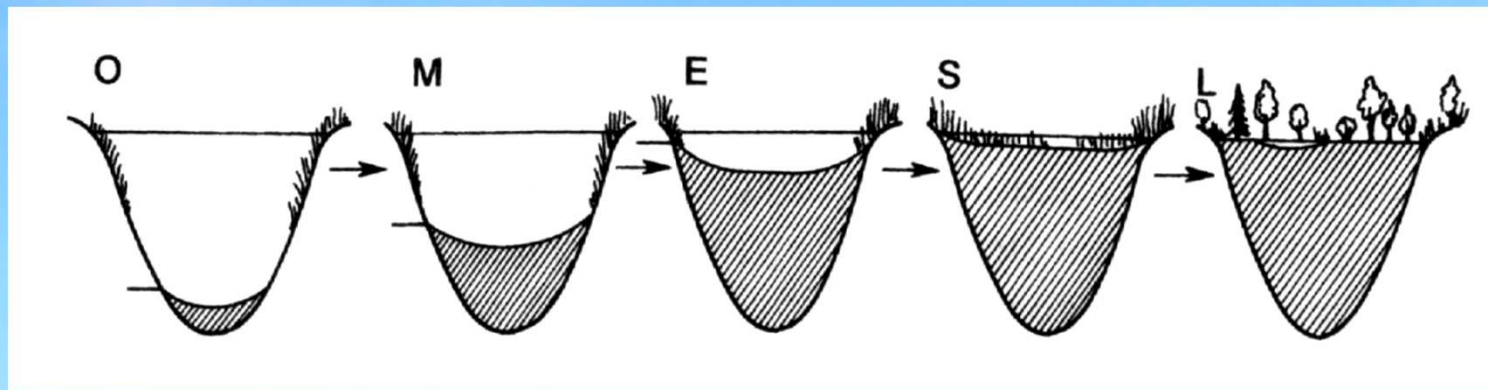


---

# *Osady jeziorne – wyzwanie w rekultywacji jezior*

*dr inż. Michał Łopata  
Katedra Inżynierii Ochrony Wód  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

**Eutrofizacja** jest procesem naturalnym, nieuchronnym dla każdego ekosystemu.



Źródło: Z. Kajak, 2001

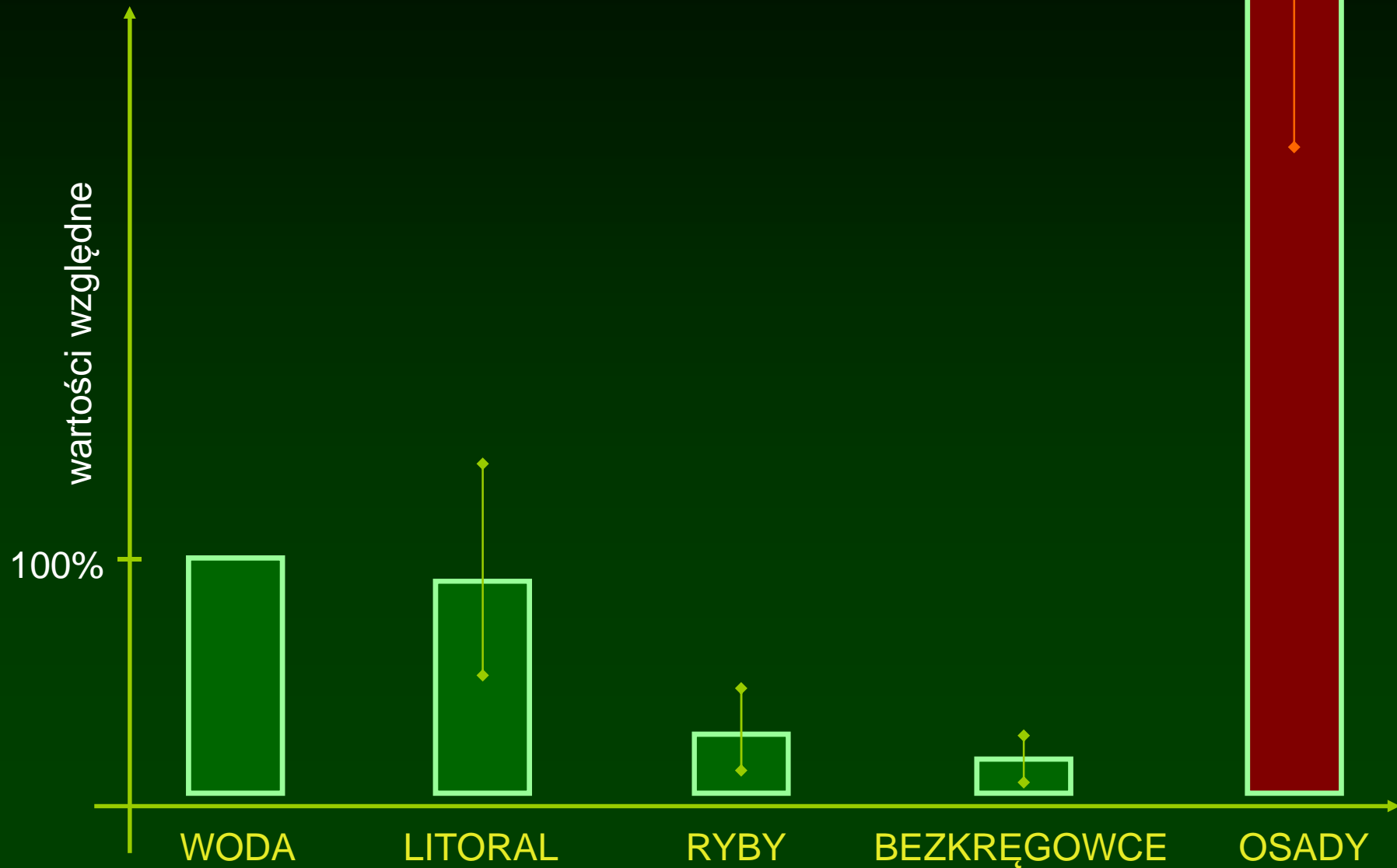


fot. I. Minkov



fot. M. Łopata

# DLACZEGO OSADY ?



# OSADY DENNE – NIEWYCZERPALNE ŹRÓDŁO BIOGENÓW



Osady jeziorne z punktu widzenia bilansowania zanieczyszczeń wód jeziornych są elementem zawierającym **wielokrotnie większą pulę substancji biogennych niż jakikolwiek inny składnik ekosystemu.**

Przyjmuje się, że przeciętnie **kilkucentymetrowa** warstwa dna akumuluje ilość fosforu równoważną tej, która znajduje się w całej masie wód, oraz organizmach zamieszkujących jezioro (glonach, skorupiakach, rybach, roślinności przybrzeżnej itp).

# Potencjał oksydoredukcyjny wody natlenionej przy pH 7,0 wynosi około 600 mV

w zakresie zmian **10,0 – 2,0 mgO<sub>2</sub>/l**  
spada jedynie do ok. **500mV**, potem skokowo:

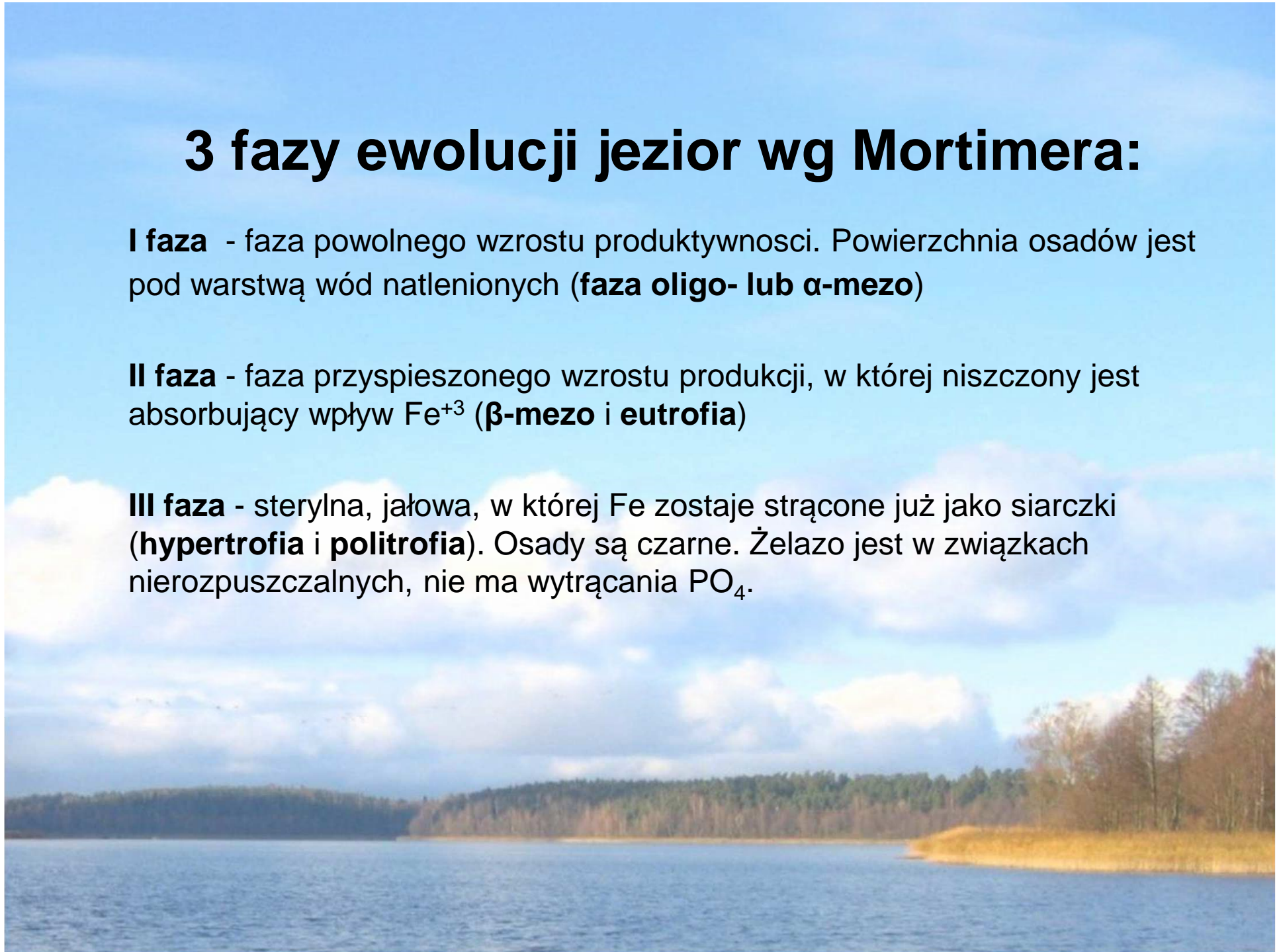
<u>Reakcje redukcji</u>	<u>Potencjał redox (mV)</u>	<u>Koncentracja (O<sub>2</sub>/l)</u>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	450 – 400	0,5
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> > NH <sub>3</sub>	400 – 350	0,4
Fe <sup>+3</sup> > Fe <sup>+2</sup>	300 – 200	0,1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > S <sup>-2</sup>	100 – 60	0,0

## 3 fazy ewolucji jezior wg Mortimera:

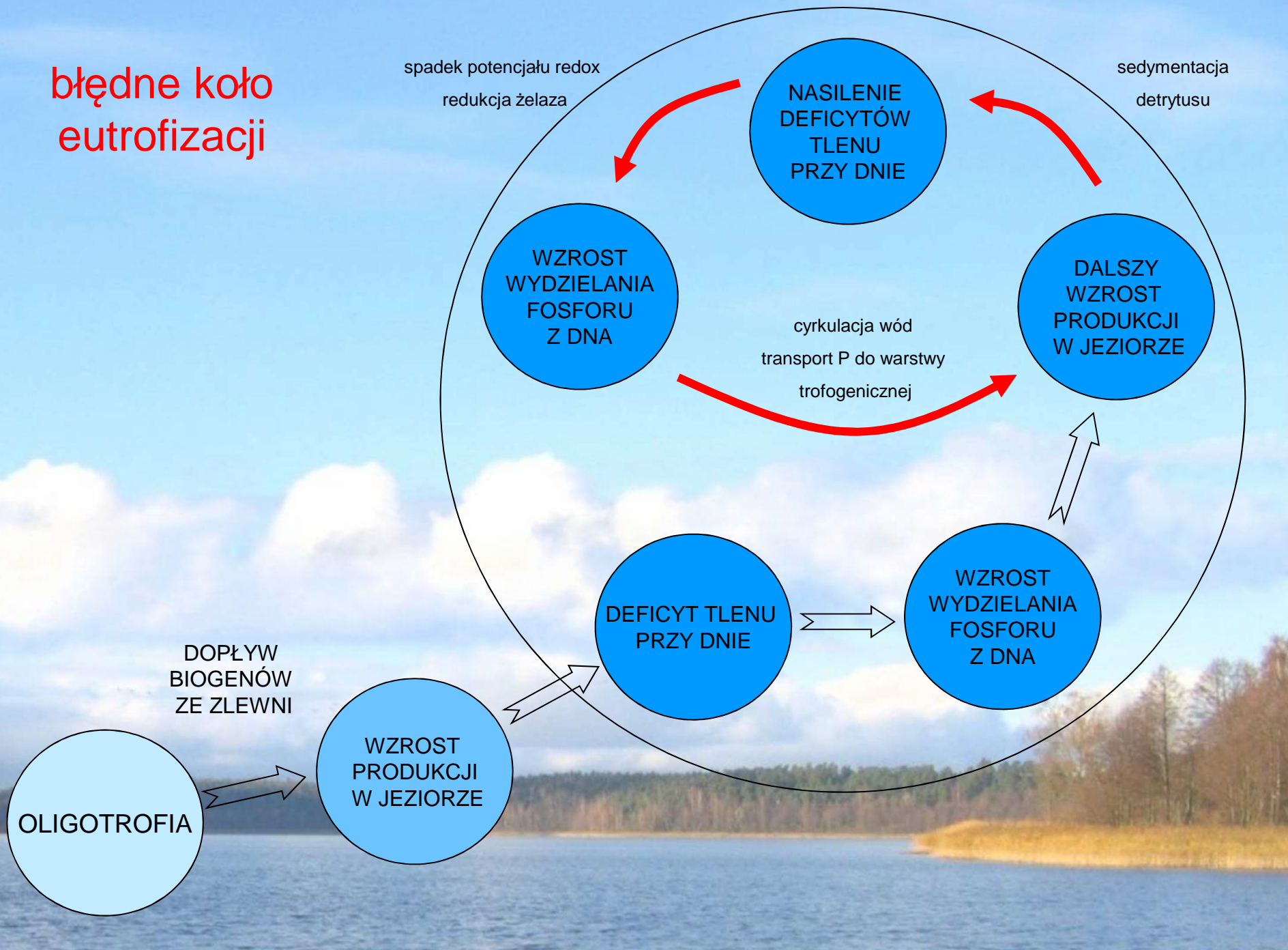
**I faza** - faza powolnego wzrostu produktywności. Powierzchnia osadów jest pod warstwą wód natlenionych (**faza oligo- lub  $\alpha$ -mezo**)

**II faza** - faza przyspieszonego wzrostu produkcji, w której niszczonego jest absorbujący wpływ  $\text{Fe}^{+3}$  ( **$\beta$ -mezo i eutrofia**)

**III faza** - sterylna, jałowa, w której Fe zostaje strącone już jako siarczki (**hypertrofia i politrofia**). Osady są czarne. Żelazo jest w związkach nierozpuszczalnych, nie ma wytrącania  $\text{PO}_4$ .



# błędne koło eutrofizacji



# Wskaźniki i objawy eutrofizacji – *błędne koło...*

---

## przyczyna:

- fosfor:  $P_{org}$ ,  $P_{PO4}$ ,  $P_{total}$
- azot:  $N_{org}$ ,  $N_{NO3}$ ,  $N_{NH4}$ ,  $N_{total}$
- węgiel C
- potas K
- wapń Ca
- słońce
- temperatura

## skutek:

- rozwój glonów, sinic, makrofitów
- ↓
- zawiesina (seston), zarastanie
- ↓
- materia organiczna (BZT<sub>5</sub>, CHZT, OWO)
- ↓
- przezroczystość wody (SC)
- ↓
- zachwiany bilans tlenowy
- ↓
- wewnętrzne wzbogacanie

# Wskaźniki i objawy eutrofizacji – błędne koło...

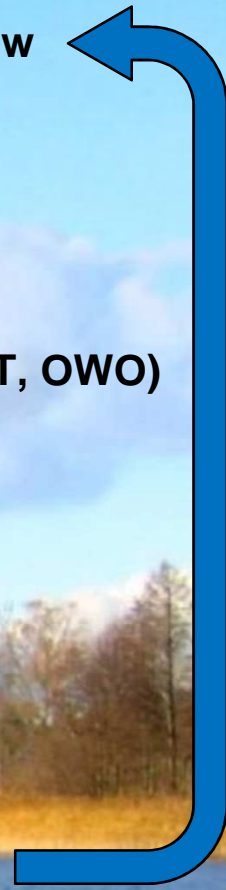
## przyczyna:

- fosfor:  $P_{org}$ ,  $P_{PO4}$ ,  $P_{total}$
- azot:  $N_{org}$ ,  $N_{NO3}$ ,  $N_{NH4}$ ,  $N_{total}$
- węgiel C
- potas K
- wapń Ca
- słońce
- temperatura

## skutek:

- rozwój glonów, sinic, makrofitów
- ↓
- zawiesina (seston), zarastanie
- ↓
- materia organiczna (BZT<sub>5</sub>, CHZT, OWO)
- ↓
- przezroczystość wody (SC)
- ↓
- zachwiany bilans tlenowy
- ↓
- wewnętrzne wzbogacanie

fosfor



# Wewnętrzne źródła zanieczyszczeń:

## Mechanizmy wydzielania fosforu z osadów dennych:

NATLENIE / REDOX

STOSUNEK FOSFORU DO ŻELAZA

RESUSPENCJA

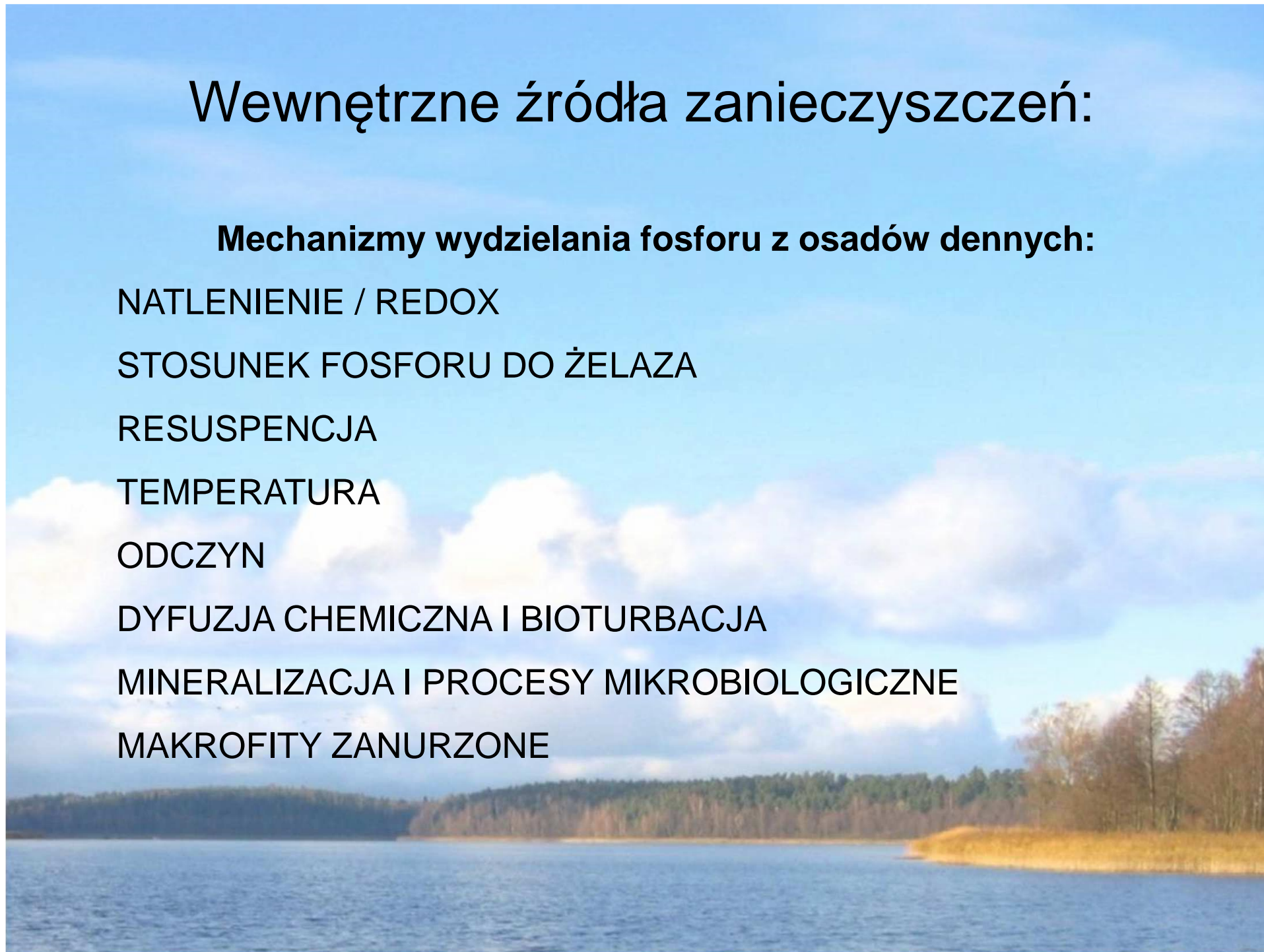
TEMPERATURA

ODCZYN

DYFUZJA CHEMICZNA I BIOTURBACJA

MINERALIZACJA I PROCESY MIKROBIOLOGICZNE

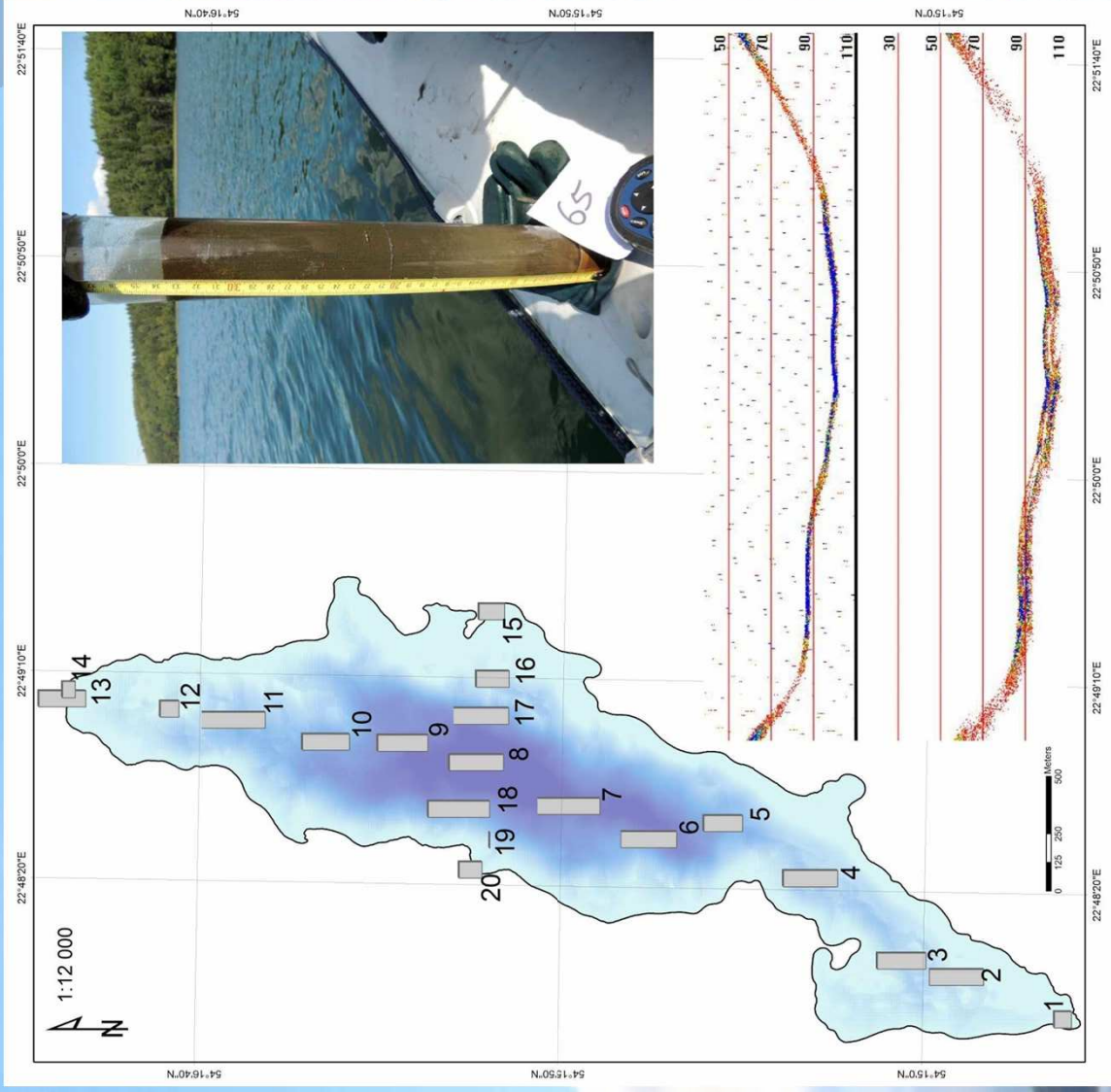
MAKROFITY ZANURZONE

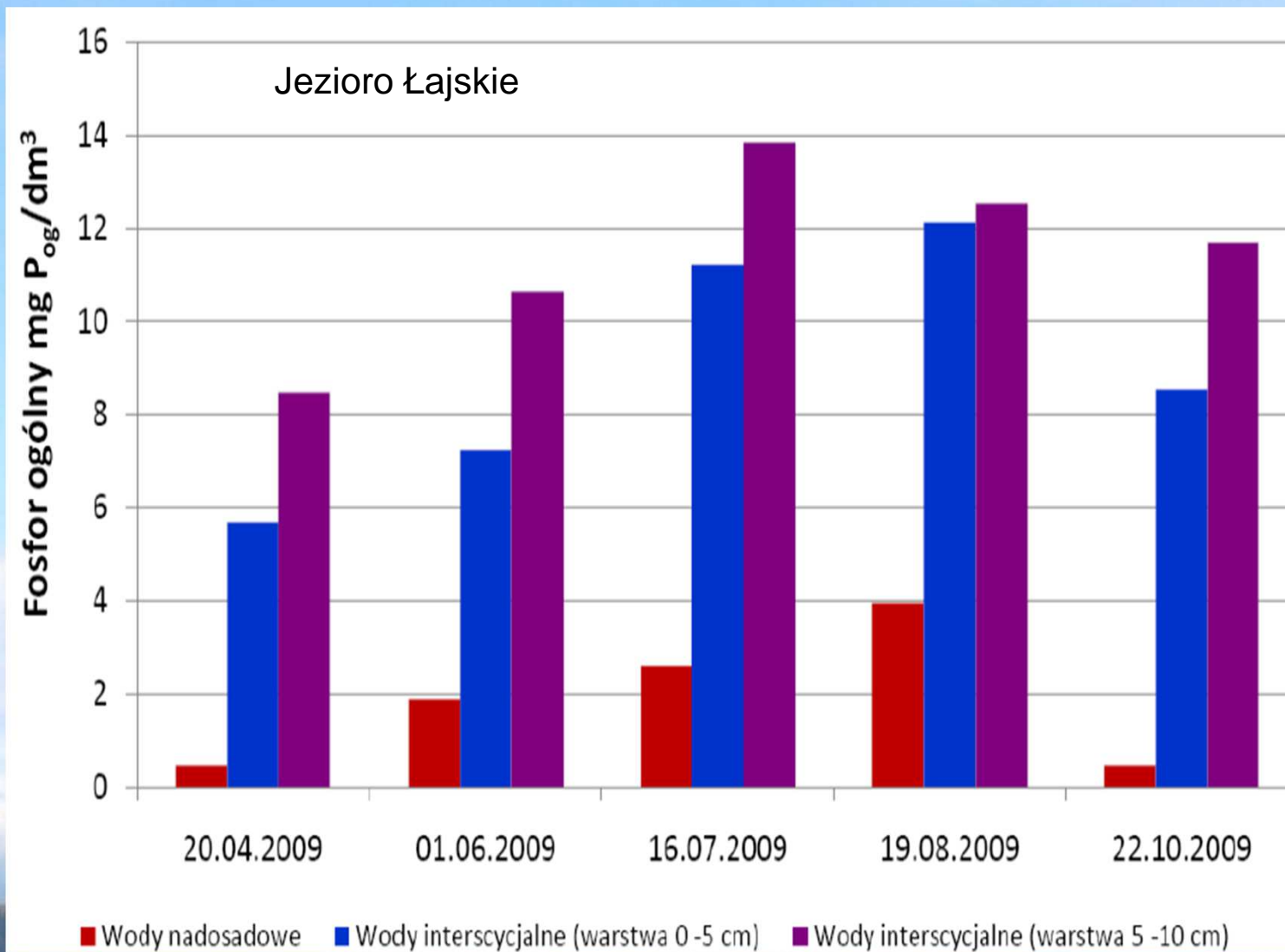


# **Skala zjawiska**

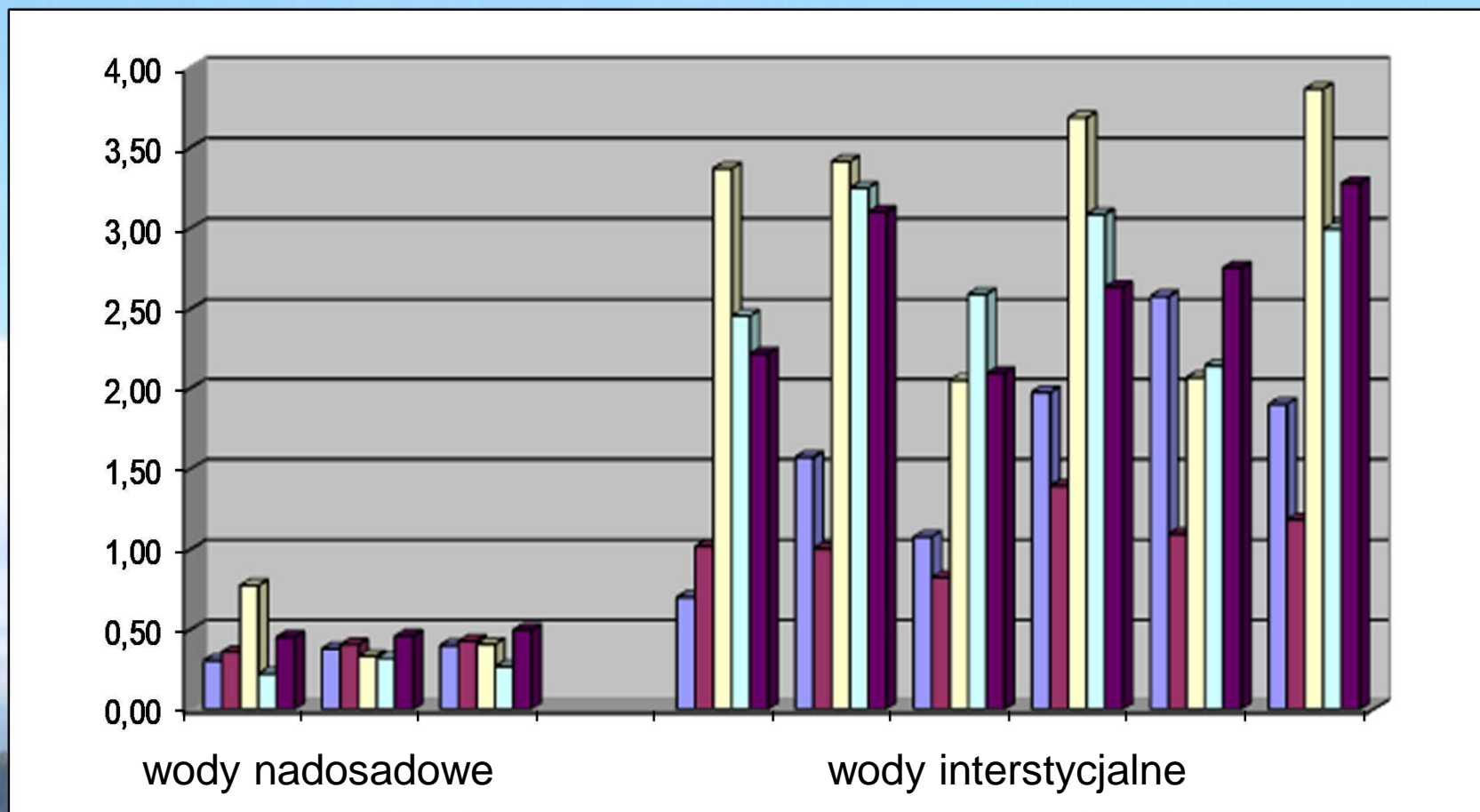
**implikacje dla procesu rekultywacji jezior**



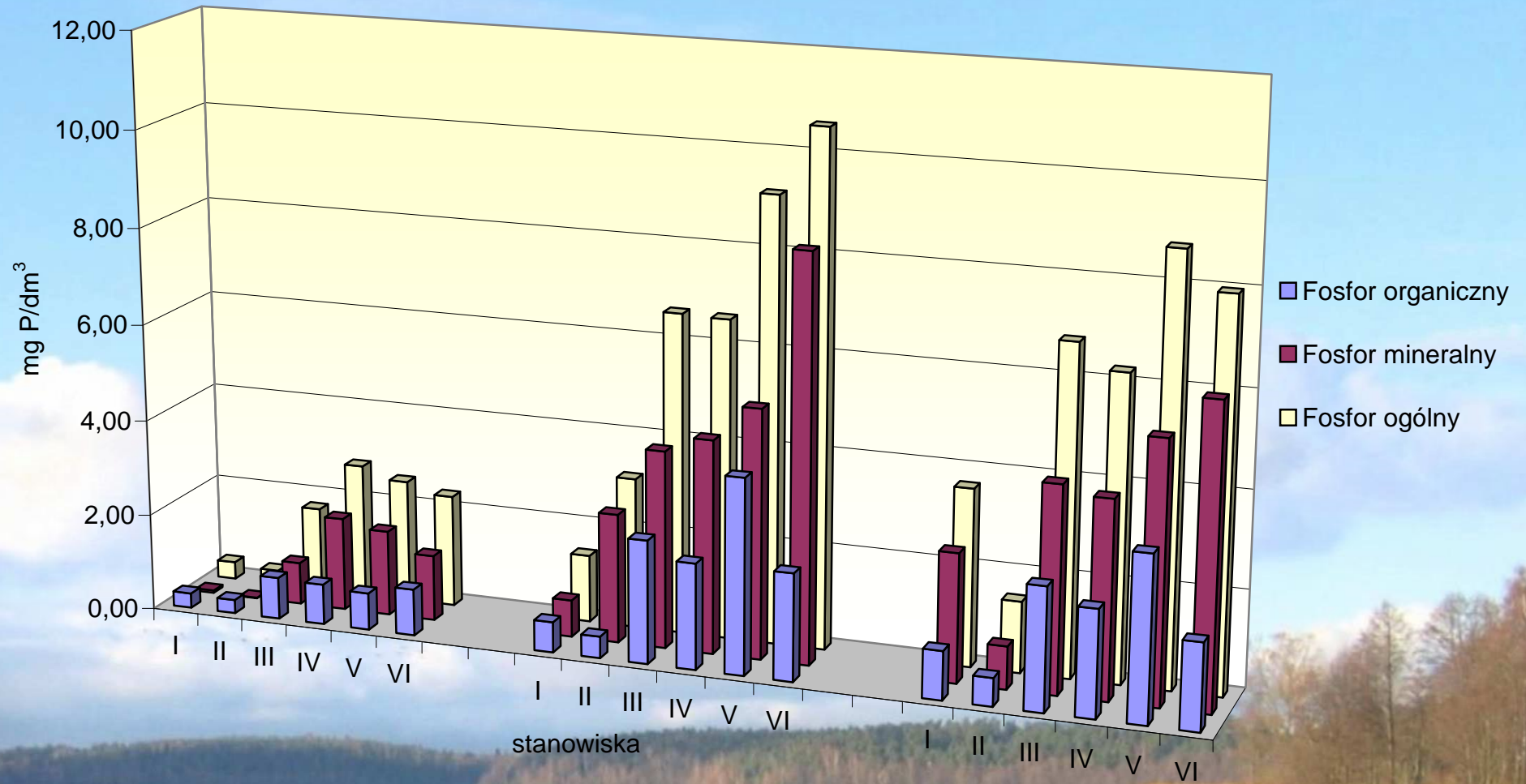




## Zawartość fosforu w wodach osadowych Jeziora Dolskiego Wielkiego



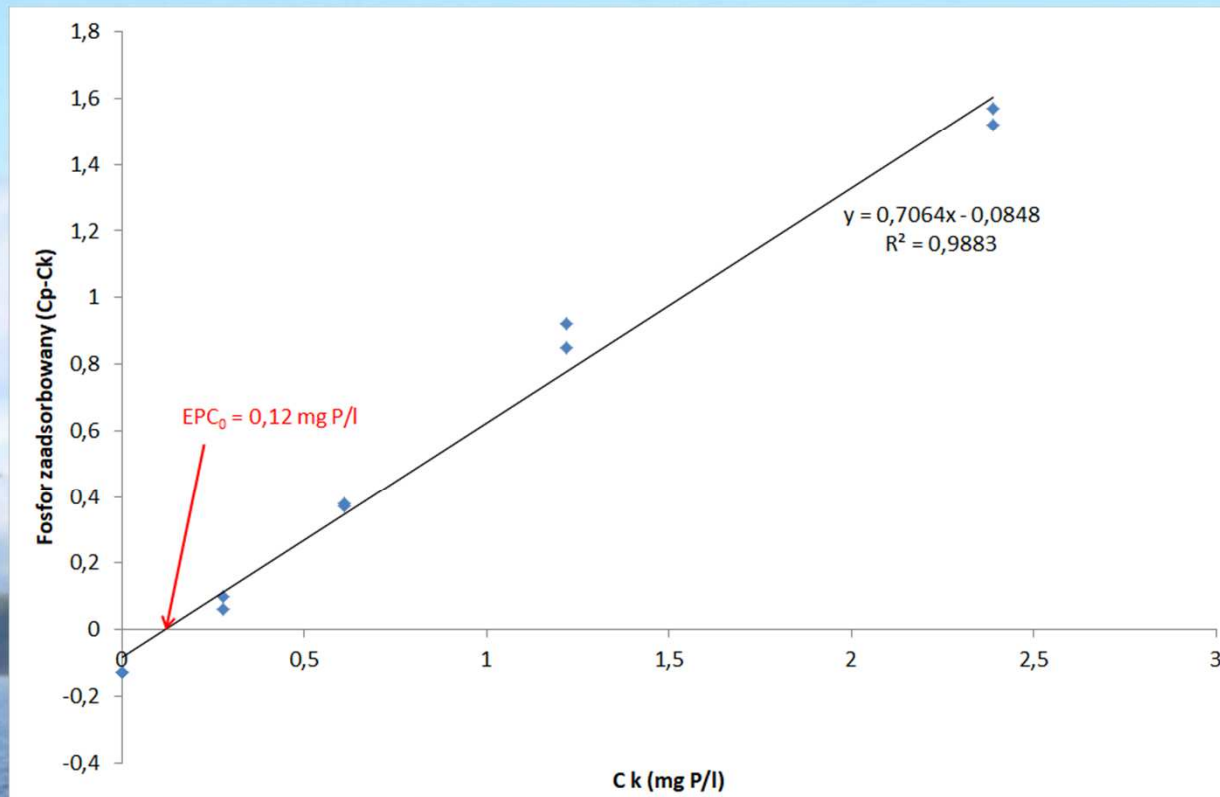
# Jeziro Rudnickie Wielkie



**Wartość równowagowego stężenia fosforanów ( $EPC_0$ )** wyznacza granicę pomiędzy warunkami sorpcji i desorpcji fosforu mineralnego przez osady denne.

Jeżeli stężenie fosforanów w otaczającej cząstki osadu wodzie jest poniżej tej wartości granicznej, wówczas będzie zachodzić desorpcja zaadsorbowanego wcześniej w osadach fosforu – osad będzie uwalniał fosforany.

Jeżeli stężenie fosforanów w wodzie kontaktującej się cząstkami osadu dennego jest wyższe od wartości  $EPC_0$ , wówczas osad będzie adsorbował fosforany z otaczającego roztworu, do momentu wysycenia fosforanami tzw. miejsc aktywnych sorpcji.



**Co możemy zrobić?**



# **USUWANIE OSADÓW DENNYCH**



## I metoda

Odwodnienie zbiornika i usunięcie osadów przy użyciu koparek zgarniakowych lub spycharek.



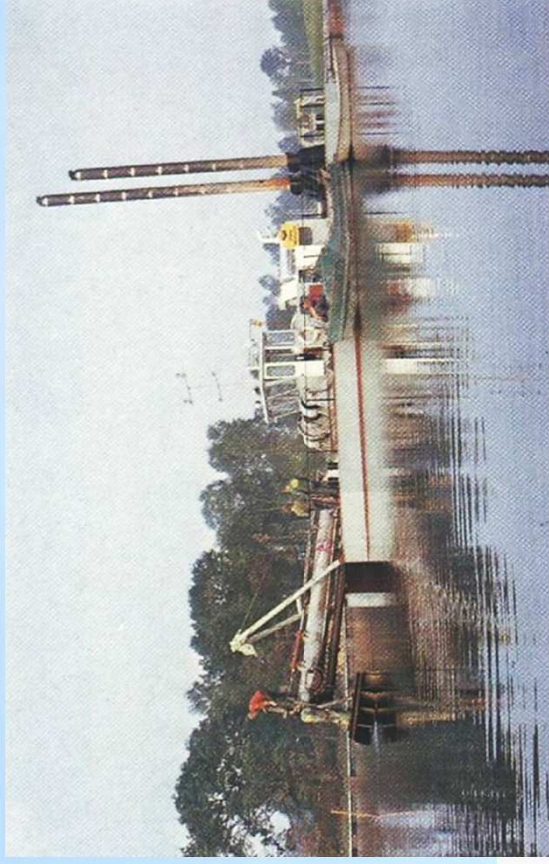
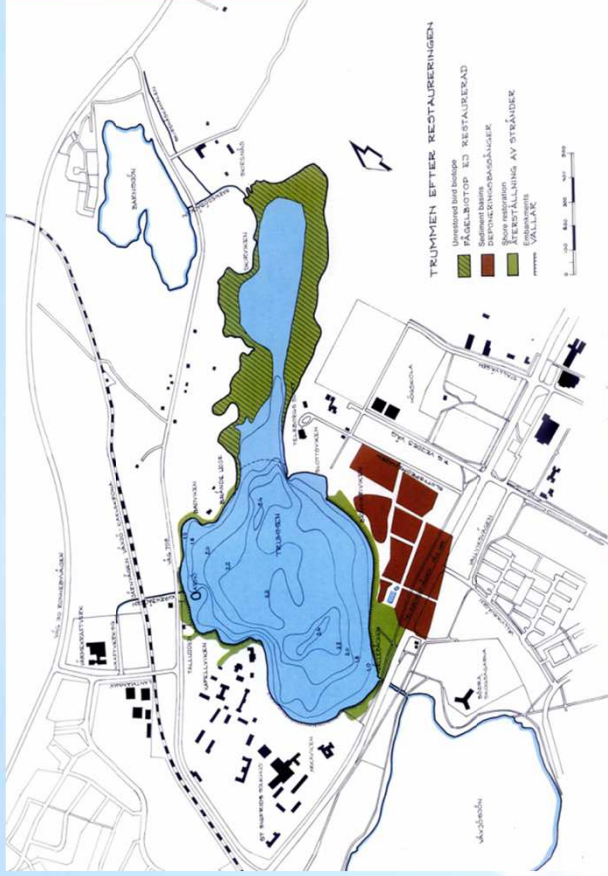
## II metoda

Usuwanie osadów spod wody przy użyciu pogłębiarek mechanicznych i hydraulicznych.

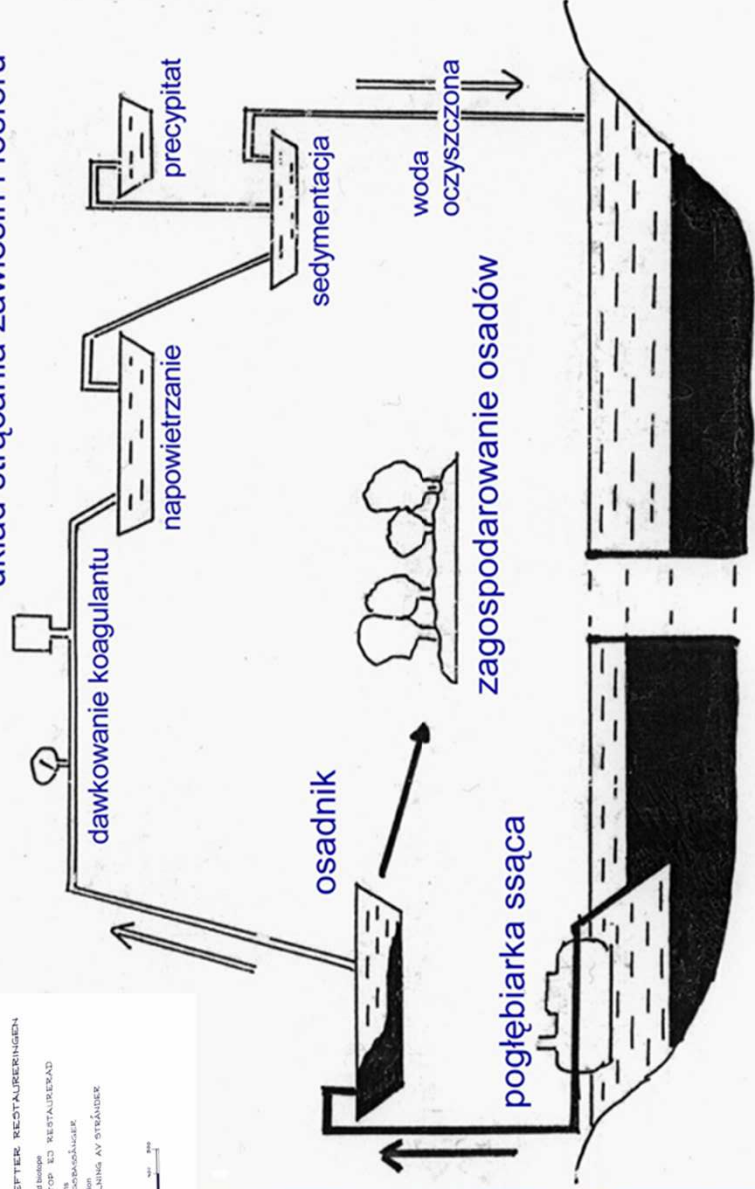


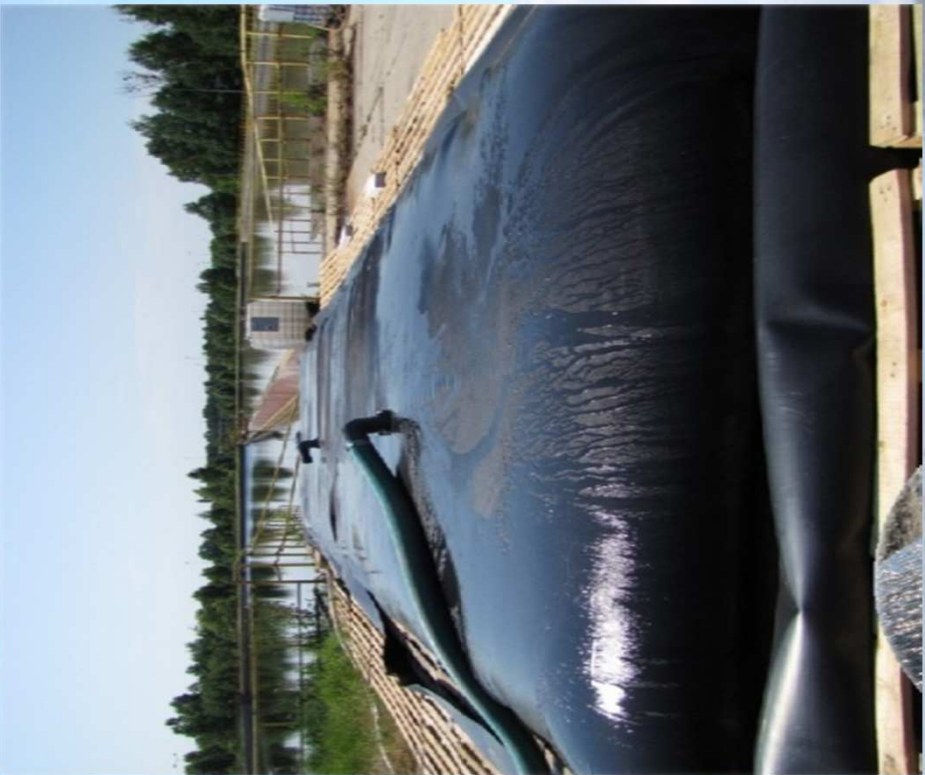
Silnie uwodnione (80–90% wody) osady są wypompowywane poza zbiornik, gdzie muszą być poddane utylizacji.

# Jezioro Trummen

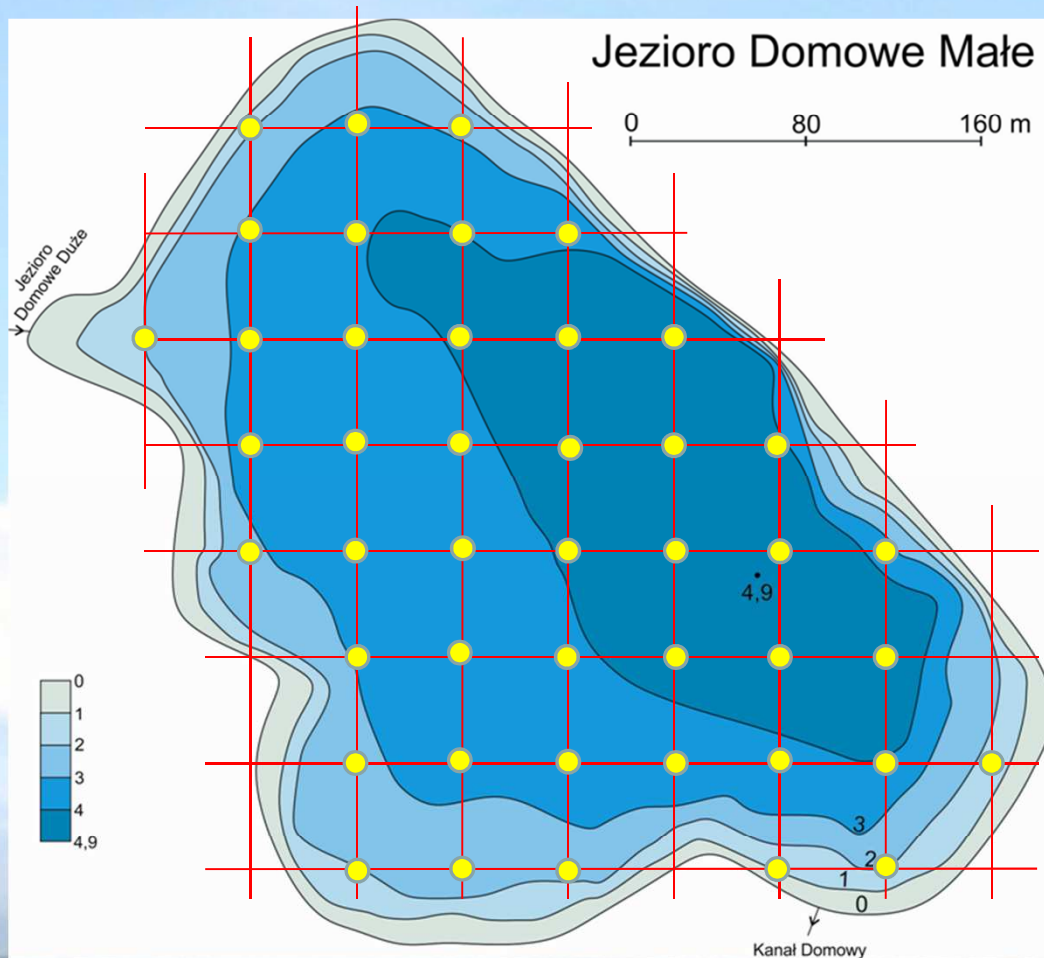


układ strącania zawieszin i fosforu

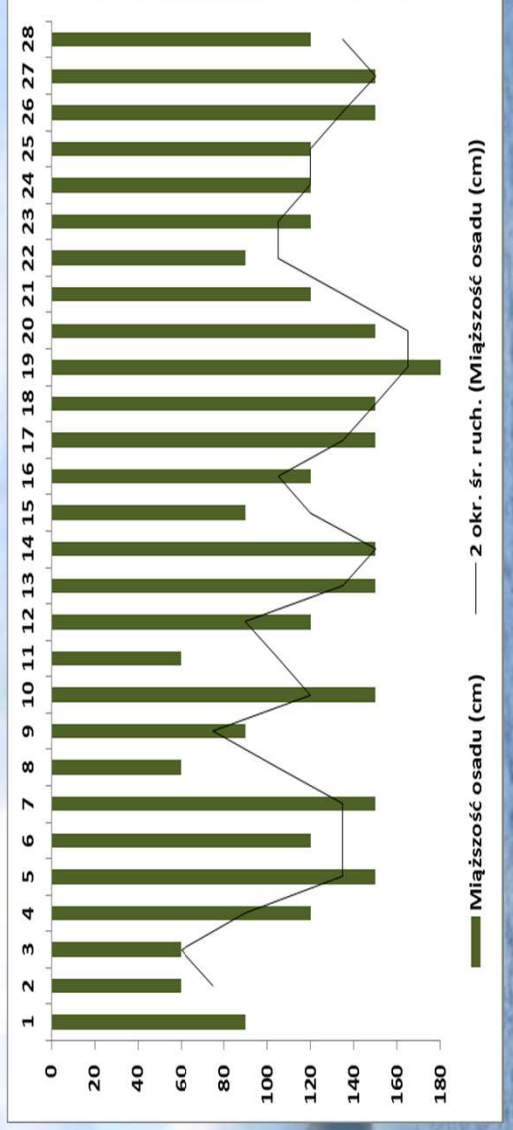
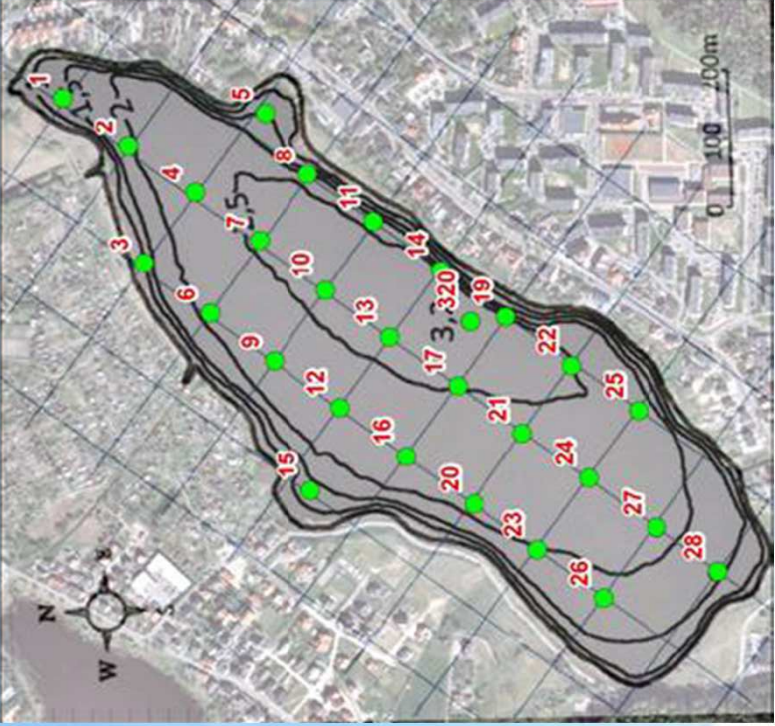




## Przygotowanie projektu usuwania osadów dennych – dokładne badania przestrzenne



- ✓ obliczenia masowe
- ✓ miąższość osadu
- ✓ rozkład biogenów w rdzeniach
- ✓ formy fosforu – nie wszystkie są mobilne!
- ✓ nachylenie stoków
- ✓ właściwości osadu odsłoniętego



# Ustawa o odpadach klasyfikuje osady denne jako **odpad**.

Urobek z pogłębiania zbiorników wodnych może stanowić odpad niebezpieczny (kod 17 05 05) jeśli przekroczone są normy:

## 1. Metale:

- 1) arsen – w stężeniu niższym od 30 mg/kg suchej masy;
- 2) chrom – w stężeniu niższym od 200 mg/kg suchej masy;
- 3) cynk – w stężeniu niższym od 1000 mg/kg suchej masy;
- 4) kadm – w stężeniu niższym od 7,5 mg/kg suchej masy;
- 5) miedź – w stężeniu niższym od 150 mg/kg suchej masy;
- 6) nikiel – w stężeniu niższym od 75 mg/kg suchej masy;
- 7) ołów – w stężeniu niższym od 200 mg/kg suchej masy;
- 8) rtęć – w stężeniu niższym od 1 mg/kg suchej masy.

## 2. Związki organiczne:

### 1) wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA):

- a) benzo(a)antracen – w stężeniu niższym od 1,5 mg/kg suchej masy,
- b) benzo(b)fluoranten – w stężeniu niższym od 1,5 mg/kg suchej masy,
- c) benzo(k)fluoranten – w stężeniu niższym od 1,5 mg/kg suchej masy,
- d) benzo(ghi)perylene – w stężeniu niższym od 1,0 mg/kg suchej masy,
- e) benzo(a)piren – w stężeniu niższym od 1,0 mg/kg suchej masy,
- f) dibenzo(a,h)antracen – w stężeniu niższym od 1,0 mg/kg suchej masy,
- g) indeno(1,2,3-c,d)piren – w stężeniu niższym od 1,0 mg/kg suchej masy;

### 2) polichlorowane bifenylo (PCB).

Suma kongenerów PCB 28,52,101,118,138,153 i 180 – w stężeniu niższym od 0,3 mg/kg s.m.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz. U. 2015, poz. 796)

## Uwarunkowania stosowania metody

- ✓ Występowanie **zjawiska zasilania wewnętrznego** odgrywającego istotną rolę w bilansie biogenów jeziora.
- ✓ Bardzo dobrze rozpoznany skład osadów i przestrzenne rozmieszczenie zanieczyszczeń w nich zawartych – co pozwala na dokładne i ekonomicznie uzasadnione zaplanowanie robót. Wiąże się to z koniecznością wykonania **precyzyjnych i kosztochłonnych badań.**
- ✓ **Możliwości techniczne** składowania osadów na brzegu akwenu i opracowane kierunki dalszego ich wykorzystania.
- ✓ Dostępna technologia **neutralizacji wód osadowych** odciekających z przyzm osadów dennych.
- ✓ Utrzymanie przynajmniej części litoralu i sublitoralu w celu **zapewnienia ciągłości biologicznej ekosystemu.**

# **INAKTYWACJA FOSFORU**



# MECHANIZM

- **Sorpcja** jonów fosforanowych na powierzchni amorficznych kłaczków wodorotlenków metali
- **Współstrącanie sestonu** zawierającego nierozpuszczony fosfor mineralny i organiczny
- **Chemiczne strącenie** fosforanów (np.  $AlPO_4 \downarrow$ )

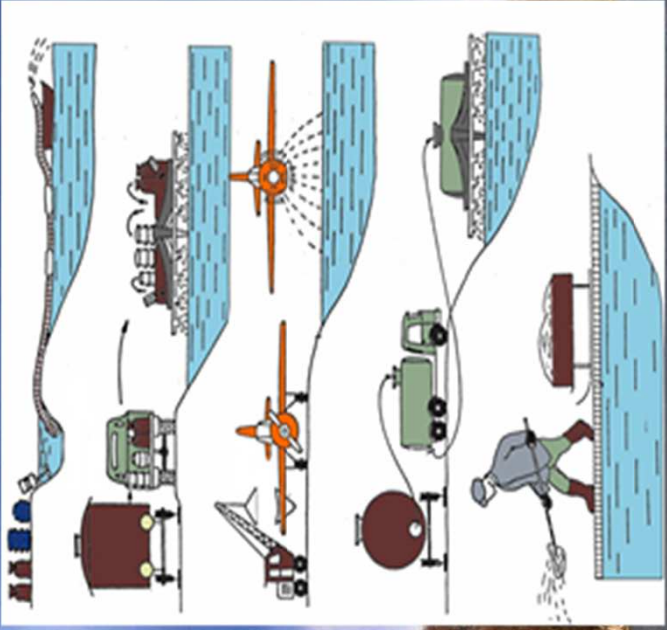
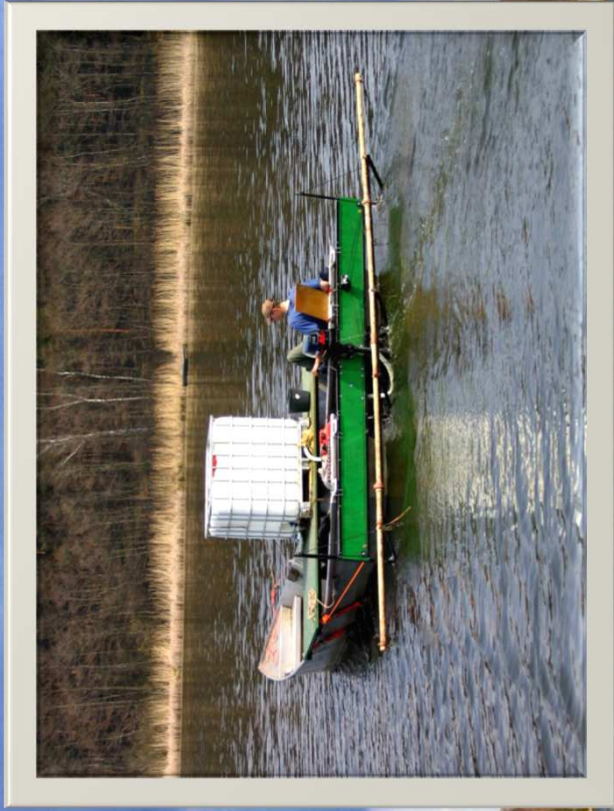


*Inny mechanizm działania mają preparaty na bazie sorbentów stałych:*

*nośnik + substancja aktywna*

*fosfor wnika do wewnątrz mikrostruktur nośnika (np. bentonitu) i tam łączy się trwale z substancją aktywną (np. lantanem)*





# **OBRÓBKA OSADÓW DENNYCH, KONSOLIDACJA**



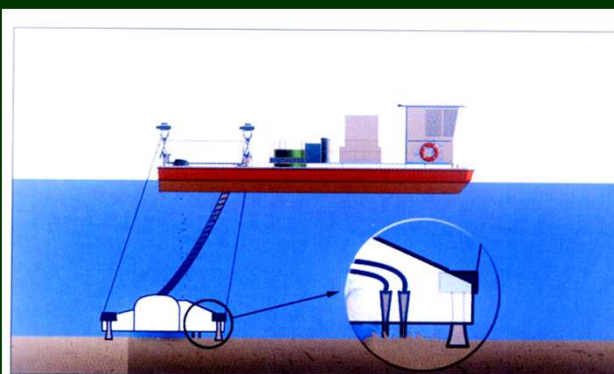
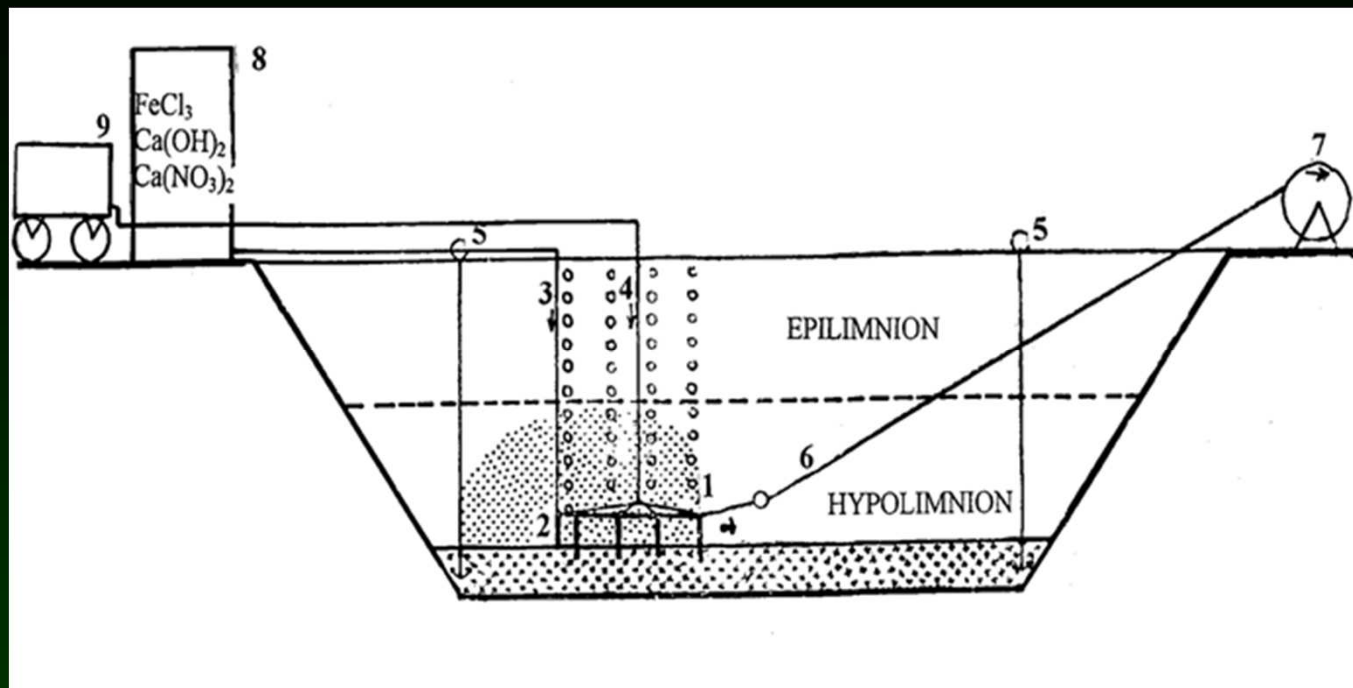
## ***Obróbka osadów dennych – metoda Ripla***

### ***Cel:***

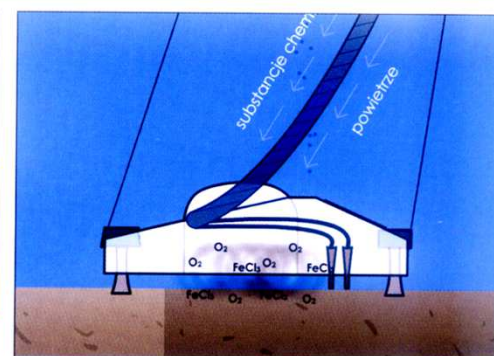
*Podwyższenie potencjału oksydo-redukcyjnego i zmniejszenie uwalniania z osadów dennych do wody.*

***Zasada:*** *Obróbka mechaniczna osadów i wprowadzenie związków chemicznych, napowietrzenie i koagulacja. Utlenienie związków chemicznie zredukowanych i związanie fosforu.*

*$FeCl_3$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $Ca(NO_3)_2$*



Rys.6. Wizualizacja modułów jednostki pływającej – powierzchniowego (nadrzędny) i podwodnego realizującego bezpośrednio pracę w osadach



Rys.7. Wizualizacja modułu podwodnego z widocznymi czujnikami osadu oraz dyszami tłoczącymi powietrze i wybrany koagulant.

# Metody biologiczne

- ✓ **biomanipulacje rybackie**
- ✓ **bioremediacja mikrobiologiczna**
- ✓ **biofiltracja**

