

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa

**Materiały uzupełniające do przedmiotu *Melioracje*
dla kierunku Rolnictwo**

**Od czego zależy stan jezior?
Czy proste systemy oceny jakościowej pozwalają na jego trafne
diagnozowanie?**

dr hab. inż. Andrzej Skwierawski

Katedra Gospodarki Wodnej, Klimatologii i Kształtowania Środowiska
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
andrzej.skwierawski@uwm.edu.pl

Projekt RID pt.: Innowacyjna żywność wysokiej jakości dla zdrowia społeczeństwa i zrównoważonego rozwoju – zintegrowany program rozwoju badań naukowych i innowacji w zakresie nauk rolniczych i nauk weterynaryjnych na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie.

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą "Regionalna Inicjatywa Doskonałości" w latach 2019-2022, nr projektu 010/RID/2018/19, kwota finansowania 12.000.000 złotych.

Funkcje hydrologiczne

- wpływ na bilanse wodne zlewni
- oddziaływanie na przepływy rzek – retencja, zmniejszenie wahań przepływów
- miejsca zasilania wód gruntowych i podziemnych.



Funkcje biocenotyczne

- siedlisko zwierząt i roślin, wśród nich gatunków chronionych
- jeziora w krajobrazie tworzą wyspy ekologiczne, odróżniające się od otoczenia (różnorodność biologiczna)



Jeziora w krajobrazie



- urozmaicenie krajobrazu, wzbogacanie walorów i estetyki terenu
- wpływają na poprawę postrzegania krajobrazu w kategoriach jego naturalności
- oddziaływanie na mikroklimat.

Funkcje fizjograficzne

- rozwój cywilizacji – lokalizacja osadnictwa
- woda do celów przemysłowych, rolniczych lub komunalnych
- drogi wodne
- rola rekreacyjna
- wykorzystanie rybactwie.

Funkcje gospodarcze



Jeziorność Polski wynosi **0,90%** powierzchni kraju. Składa się na nią **7081** jezior o powierzchni >1 ha.

Jeziorność różnych regionów:

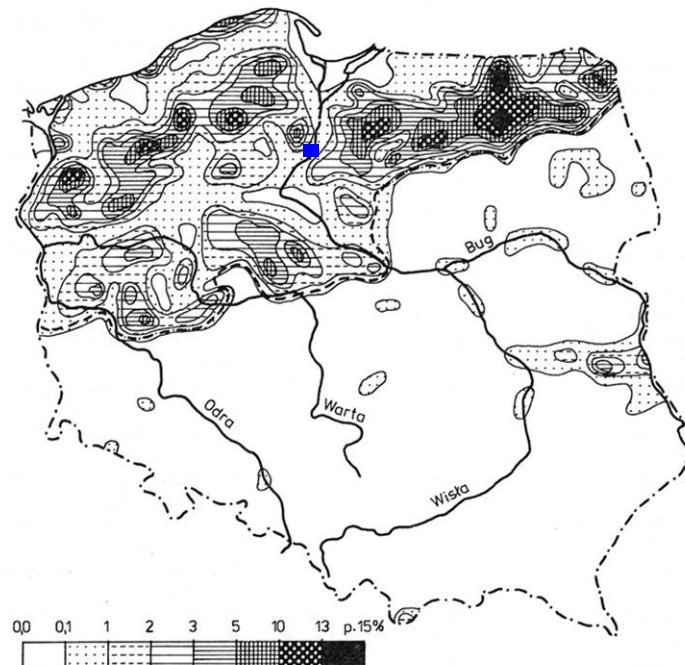
Strefa pojezierzy północnej Polski – **2,39%**

Środkowa i południowa część kraju – **0,02%**

Pojezierze Mazurskie – 3,05% (w tym: zlewnia Węgorapy – Wielkie Jeziora Mazurskie – 24%)

Pojezierze Pomorskie – 2,0%

Pojezierze Wielkopolskie – 1,2%





Polska – Pojezierza Bałtyckie

Jezióra w poszczególnych klasach wielkości wg Katalogu jezior Polski

Klasa wielkości	Liczba jezior		Powierzchnia	
	szt.	% ogółu	ha	% ogółu
1-5	3112	44,0	7117	2,5
5-10	945	13,3	6508	2,3
10-20	1047	14,8	14287	5,1
20-50	981	13,9	31183	11,1
50-100	492	7,0	33875	12,0
100-1000	476	6,7	116615	41,5
>1000	28	0,4	71791	25,5
Razem	7081	100,0	281377	100,0

86%

21%

Typy miktyczne jezior Polski

W naszej strefie klimatycznej ogromną większość stanowią 2 podtypy jezior 3. poziomu klasyfikacji:

→ **jeziora miktyczne** *ulegające mieszaniu*

→ **jeziora holomiktyczne** *okresowo całkowicie mieszane do dna*

→ **jeziora dimiktyczne**

mieszają się 2 razy w ciągu roku. W ich cyklu rocznym występują 2 okresy cyrkulacji (wiosną i jesienią) oraz 2 okresy stagnacji (letnia i zimowa)

→ **jeziora polimiktyczne**

mieszane wielokrotnie w ciągu roku, zimą zamarzają.

„Cztery pory roku” w jeziorach dimiktycznych

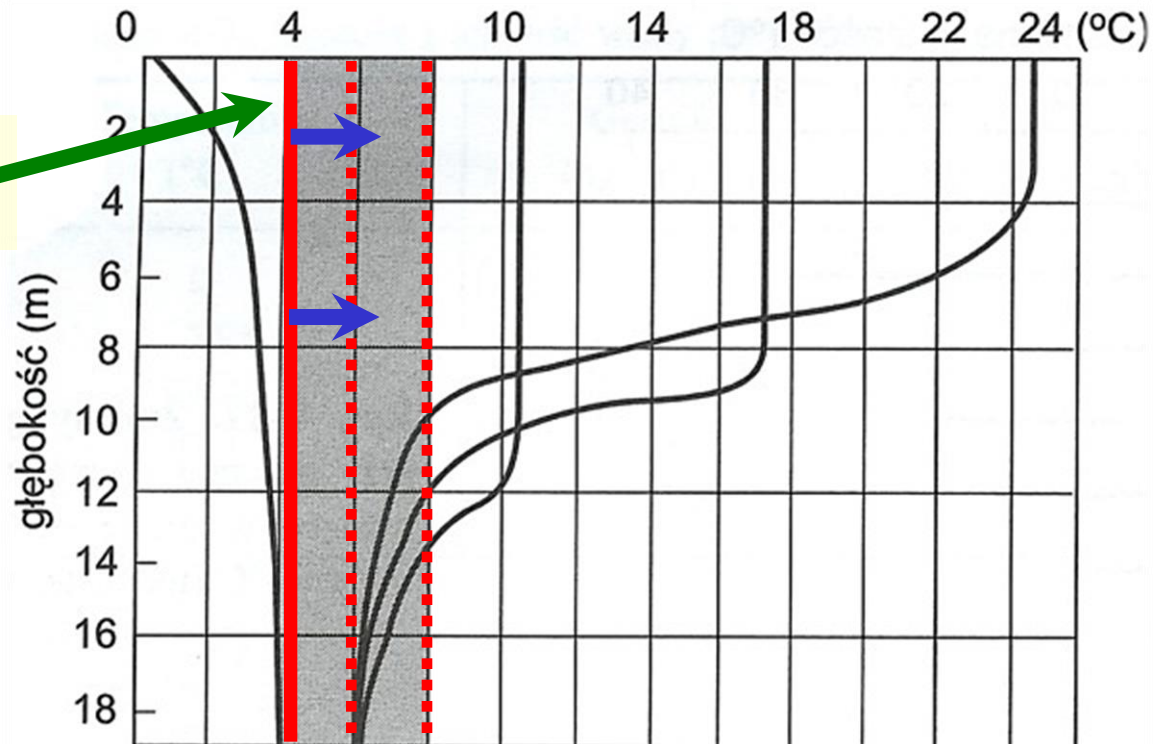
1. **Okres stagnacji zimowej.** Jeziora strefy umiarkowanej zwykle zamarzają zimą. Tworzy się w nich w tym okresie tzw. **stratyfikacja odwrócona**, tzn. przy powierzchni (pod lodem) temperatura jest zbliżona do 0°C i wzrasta z głębokością (z reguły do ok. 4°C przy dnie – woda o większej gęstości).

Zimowy profil
temperatury w jeziorze

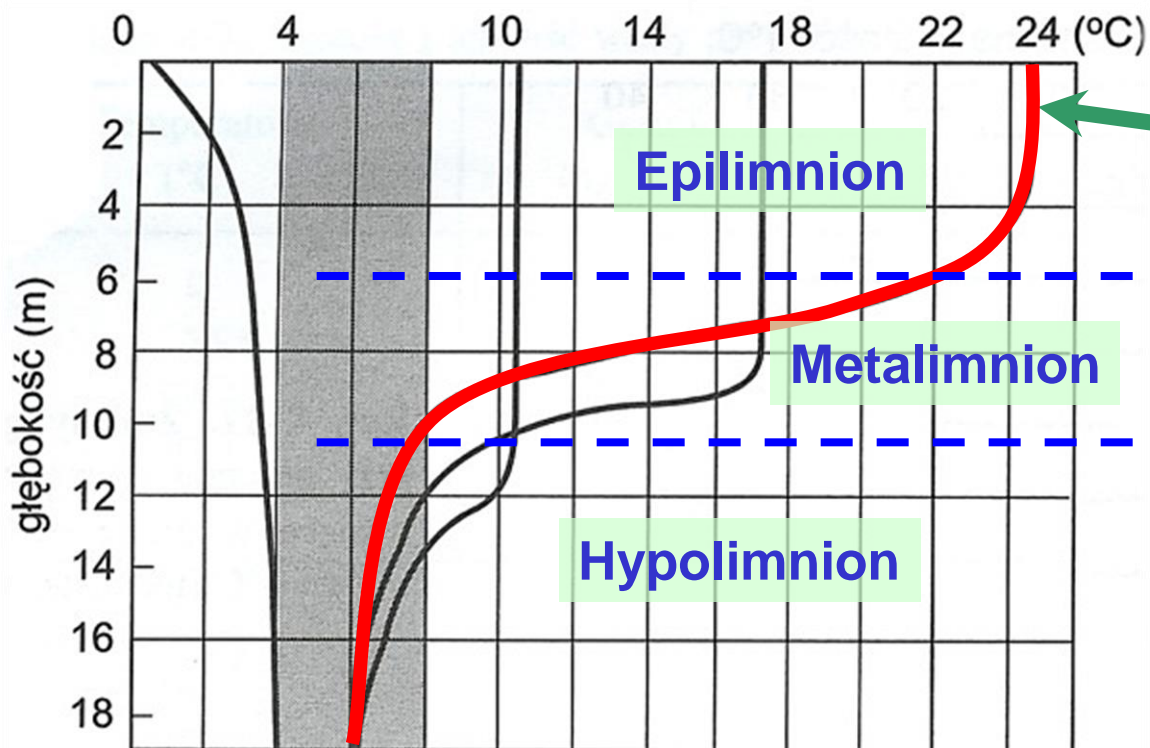


2. Okres cyrkulacji wiosennej. Po stopieniu lodu następuje podwyższenie temperatury powierzchniowej warstwy wody. Gdy osiągnie ona 4°C , gęstość wody staje się jednakowa, dzięki czemu pod wpływem wiatru dochodzi do wymieszania całej objętości jeziora. Okres ten nazywany jest **homotermią**.

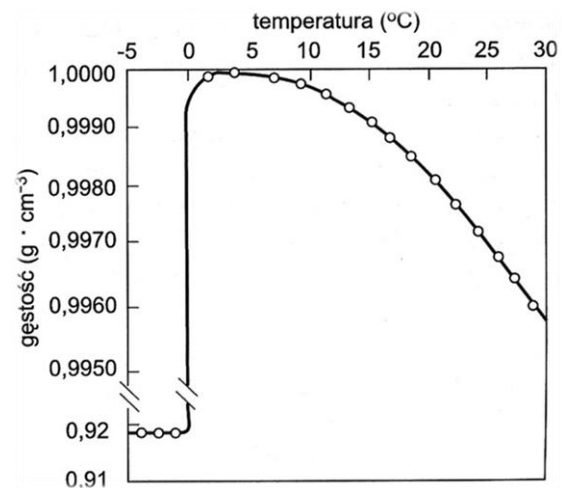
Okres wiosennej
homotermii



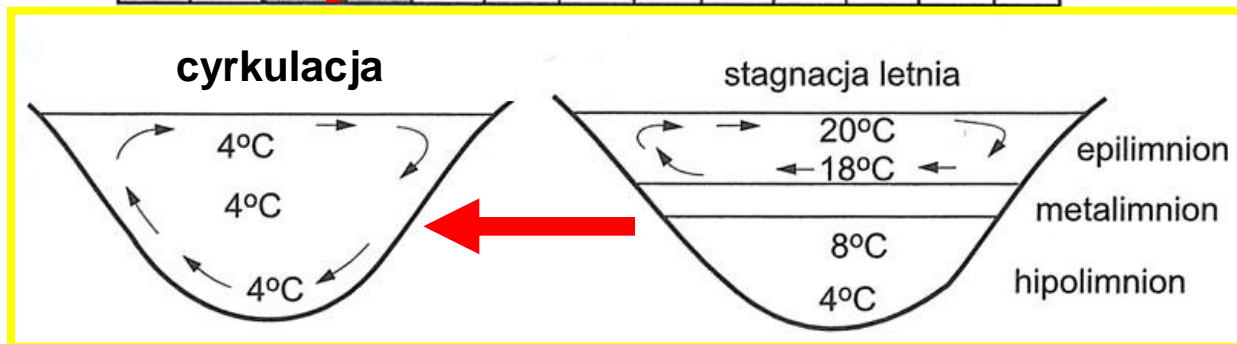
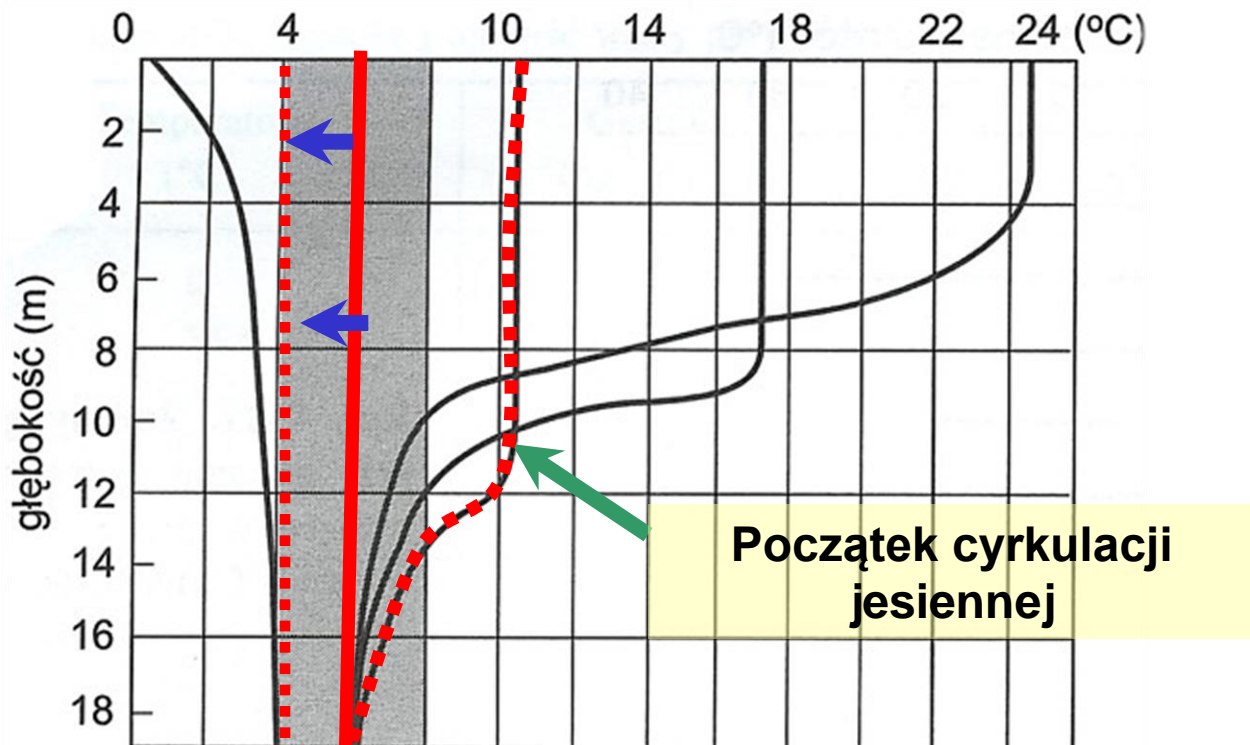
3. Stagnacja letnia. Wraz z ogrzewaniem się wody utrzymanie cyrkulacji wiosennej staje się coraz trudniejsze ze względu na spadek gęstości ogrzewających się przy powierzchni warstw wody. Następuje zawiązanie się letniego uwarstwienia termicznego – wytworzenie warstwy powierzchniowej ulegającej mieszaniu (**epilimnion**), warstwy przejściowej – skoku termicznego (**metalimnion**) i warstwy naddennej (**hypolimnion**).



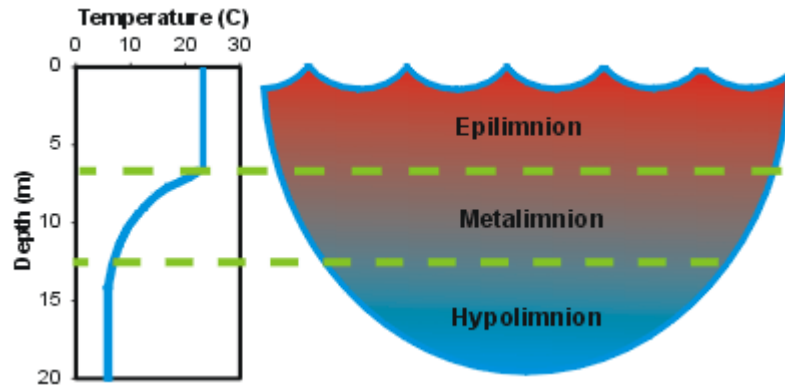
Rozkład temperatury w szczycie stagnacji letniej



4. Cyrkulacja jesienna. Jesienią następuje obniżenie temperatury epilimnionu i po zrównaniu temperatury zachodzi proces wymieszania całej masy wody w zbiorniku. Cyrkulacja i stopniowe obniżanie się temperatury wody w całej jej objętości zachodzi do momentu zamarznięcia jeziora.



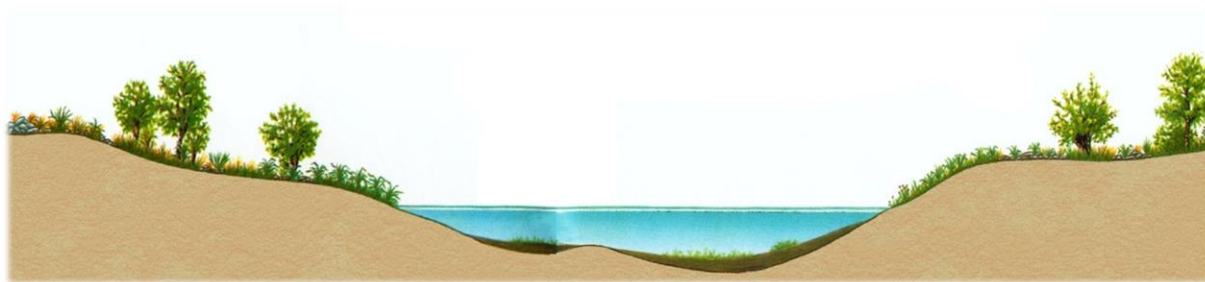
„Podręcznikowy” schemat jeziora



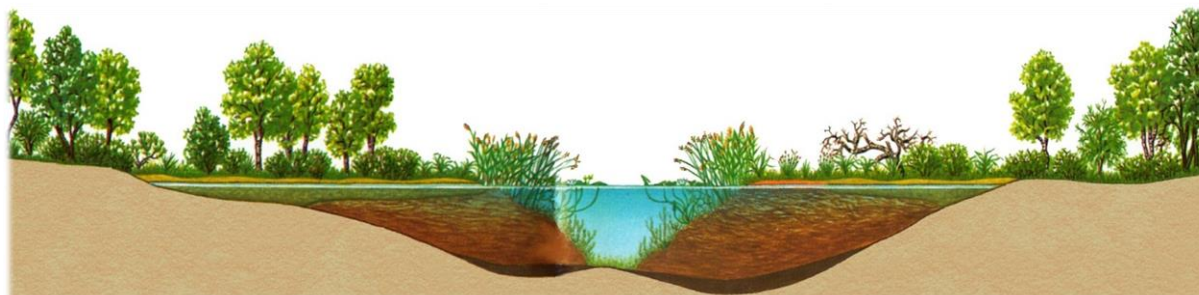
Eutrofizacja jezior jest procesem ewolucji, polegającym na wzroście żyzności wód, wynikającej ze zwiększania się ilości składników biogennych dostępnych dla producentów pierwotnych. Podstawowe znaczenie w procesie eutrofizacji mają 2 składniki – **fosfor i azot**.

Eutrofizacja jest zjawiskiem naturalnym, powodującym powolną ewolucję jezior:

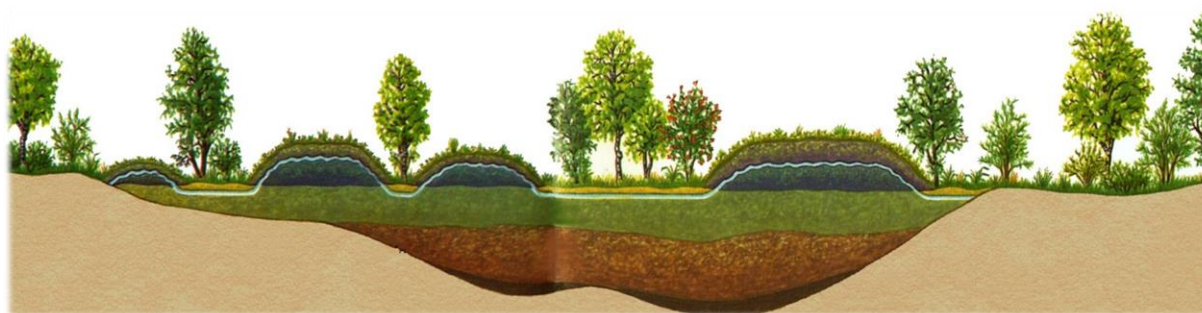




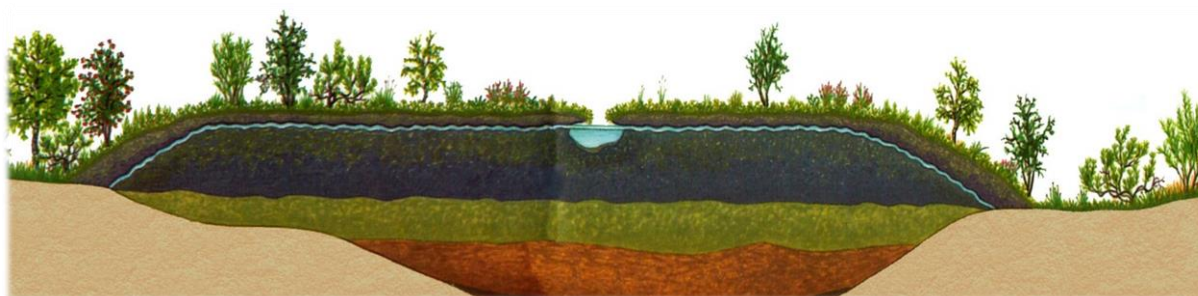
10 000 lat BP



5 000 lat BP

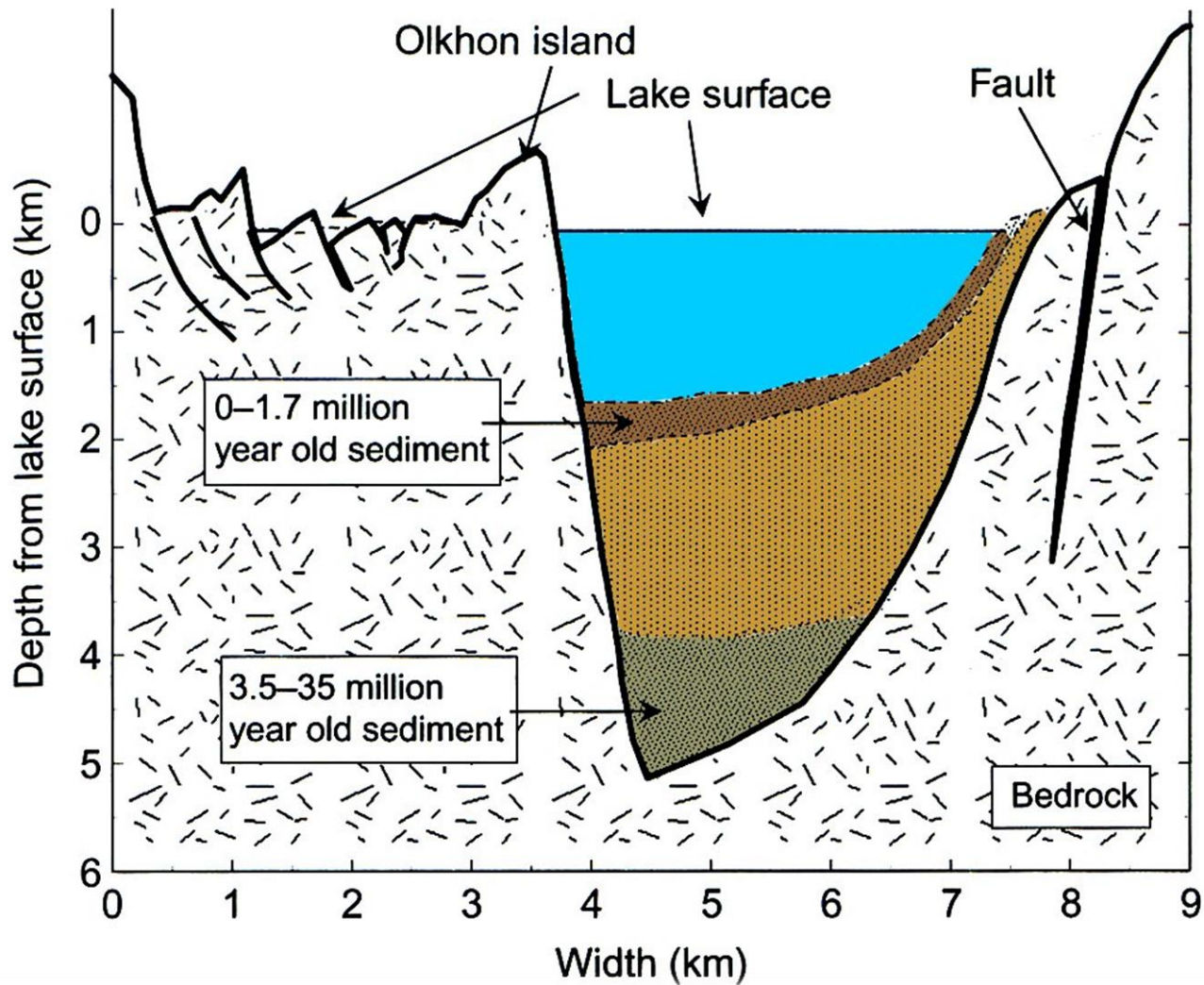


3 000 lat BP



stan
obecny

Przekształcanie się jeziora w torfowisko wysokie

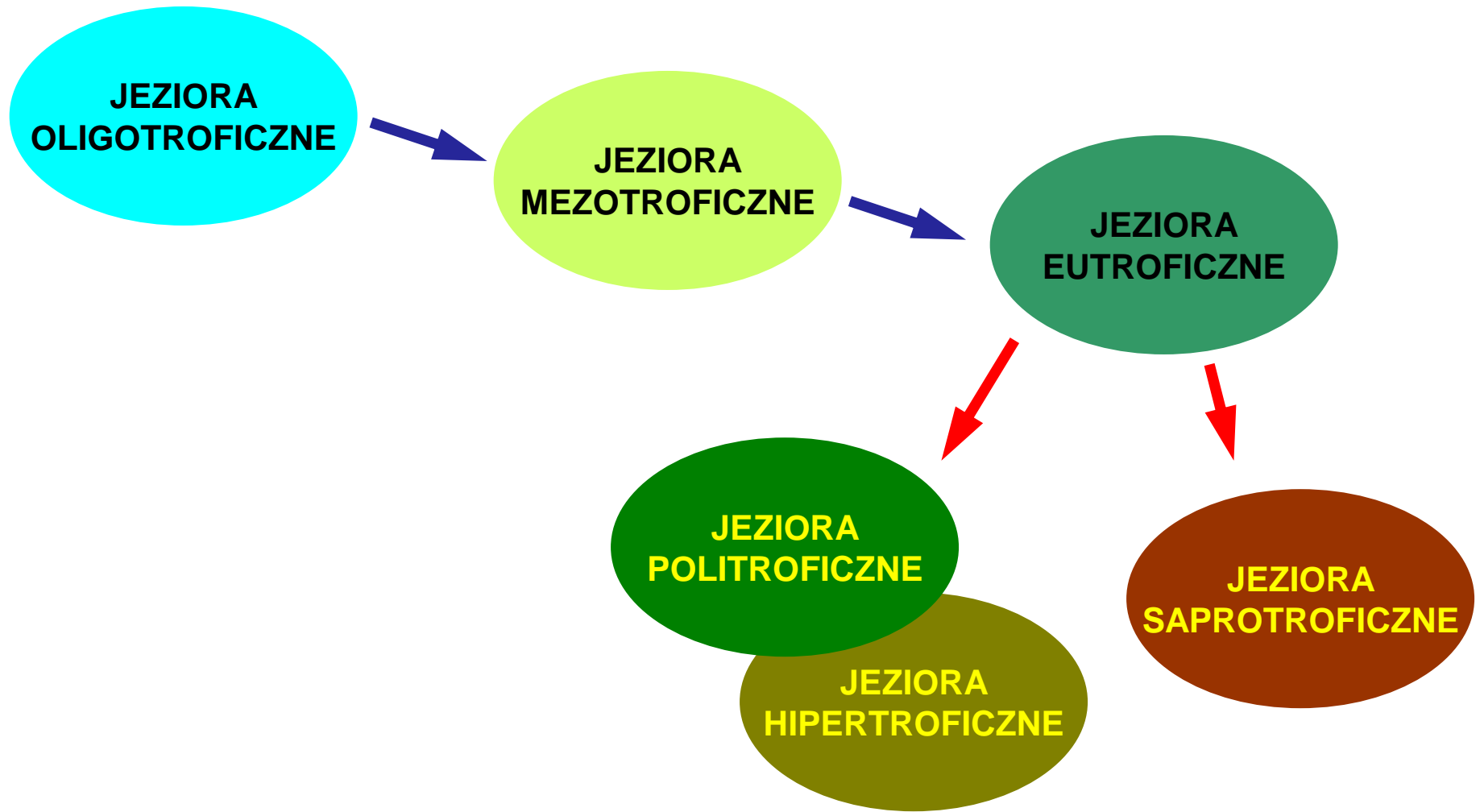


Przekrój misy jeziora Bajkał w regionie największej głębokości (1637 m)

Wyraźny **wzrost żyzności zbiorników wodnych** nastąpił już w okresie średniowiecza. Spowodowany został wycinką lasów, rozwojem osadnictwa (miast) i produkcji rolniczej.



Od XIX wieku wzrost liczby ludności, odprowadzanie ścieków, rozwój rolnictwa i inne czynniki spowodowały, że **proces eutrofizacji nasilił się lawinowo**, powodując degradację ekosystemów jezior i powstanie nie występujących wcześniej typów jezior – przeżyźnionych lub wręcz zdegradowanych.



Typy jezior zdegradowanych

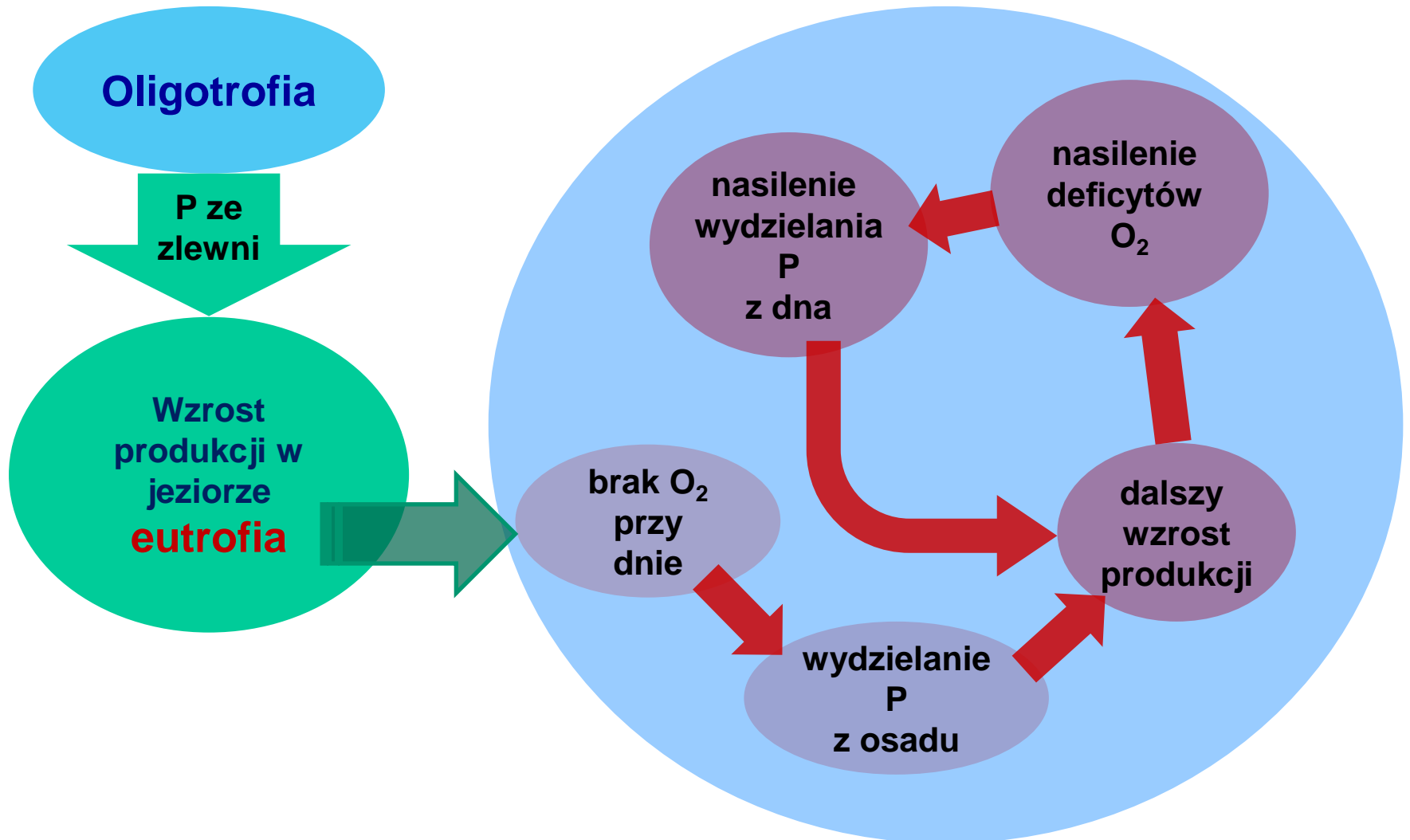
Bezpośredni dopływ zanieczyszczeń do jezior odbywa się ze źródeł:

- **punktowych** – dostawy biogenów w formie skoncentrowanej, najczęściej utożsamiane ze zrzutem ścieków;
- **obszarowych** – spływy z całej powierzchni zlewni, zarówno po powierzchni terenu (spływ powierzchniowy), jak i pod powierzchnią (spływ podskórny);
- **rozproszonych** – spływy z nieskanalizowanych terenów zabudowanych;
- **liniowych** – spływy z tras komunikacyjnych: ulic, dróg, linii kolejowych.



„Błędne koło” eutrofizacji

- proces zasilania wewnętrznego

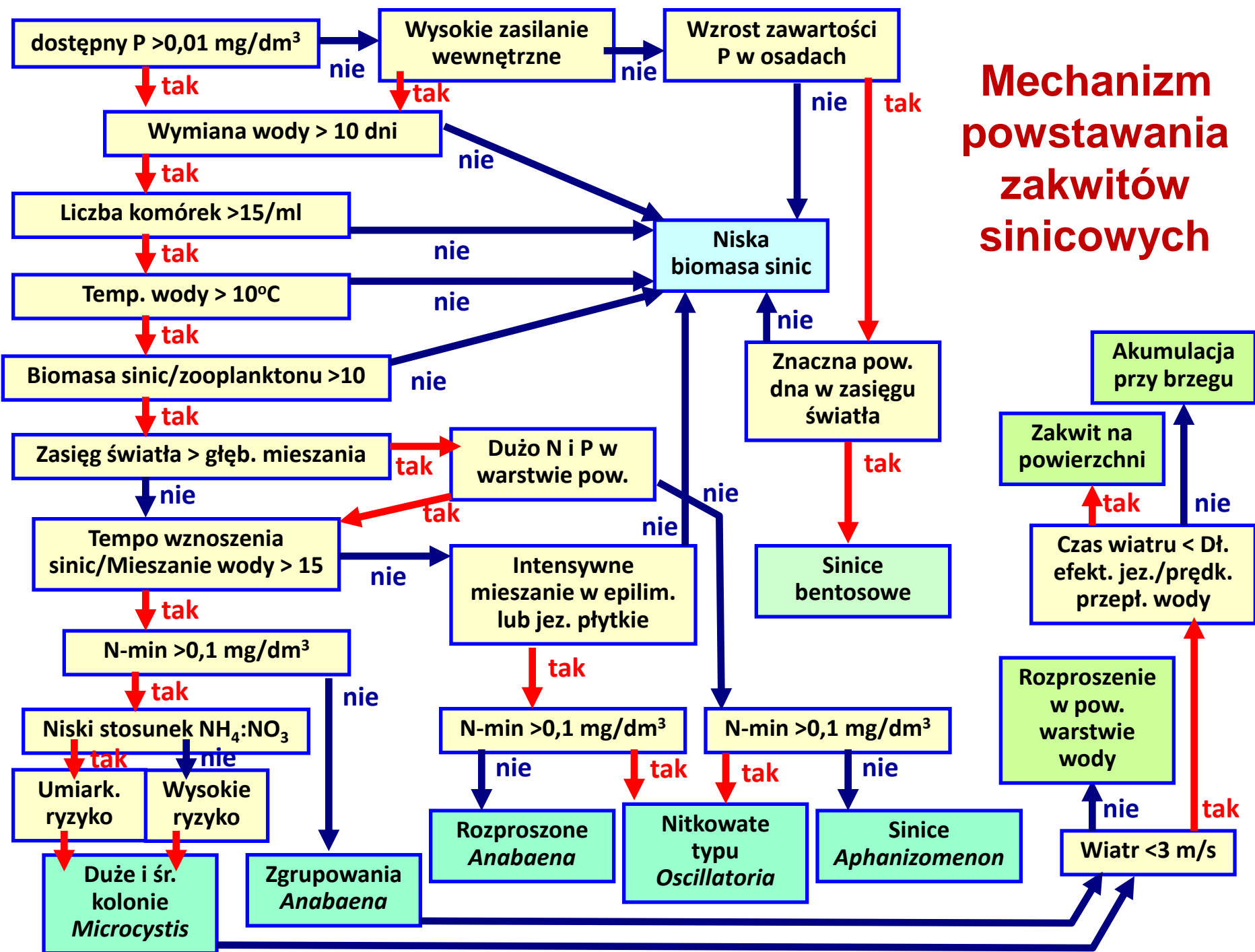


Skutki eutrofizacji wód

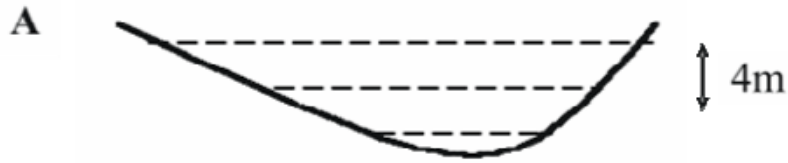
1. Początkowo – umiarkowany wzrost produkcji biologicznej, w tym pożądanej produkcji ryb (*źródłosłów terminu eutrofizacja*),
2. Nadmierny wzrost produkcji biomasy: „zakwity wody” i „zarastanie jezior”. Efekty: pogorszenie warunków środowiskowych i jakości wody, toksyny sinicowe, ekstremalne warunki tlenowych (przetlenienie / deficyty).



Mechanizm powstawania zakwitów sinicowych



Średni poziom zagrożenia

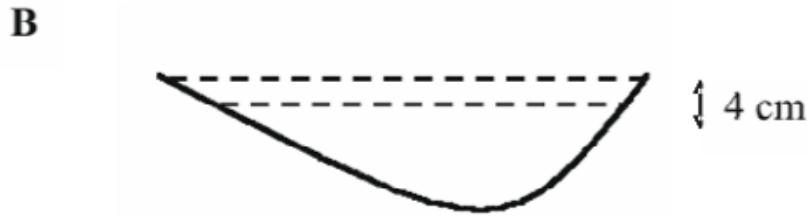


- stężenie chlorofilu a: $50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$
- lub 100 000 komórek sinic/ml
- możliwe $20 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ mikrocytyny w górnej 4 m warstwie wody

Powyżej tych wartości WHO zaleca wprowadzenie zakazu kąpieli

Wysoki poziom zagrożenia

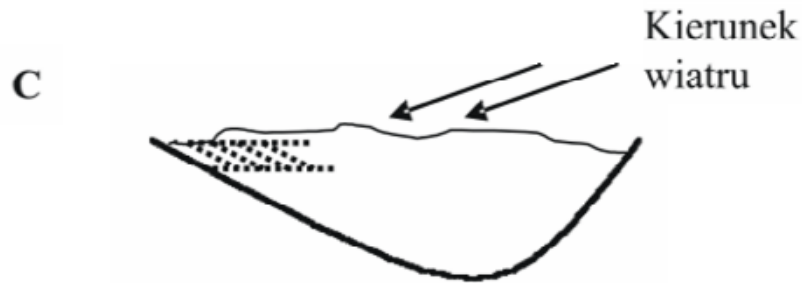
100-krotna akumulacja zakwitów przy powierzchni



- stężenie chlorofilu a: $5\,000 \mu\text{g}/\text{dm}^3$
- lub 10 000 000 komórek sinic/ml
- możliwe $2\,000 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ mikrocytyny w górnej 4 cm warstwie wody

Bardzo wysoki poziom zagrożenia

1000-krotna akumulacja zakwitów przy brzegu nawietrznym



- stężenie chlorofilu a: $50\,000 \mu\text{g}/\text{dm}^3$
- lub 100 000 000 komórek sinic/ml
- możliwe $20\,000 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ mikrocytyny w zatokach nawietrznych

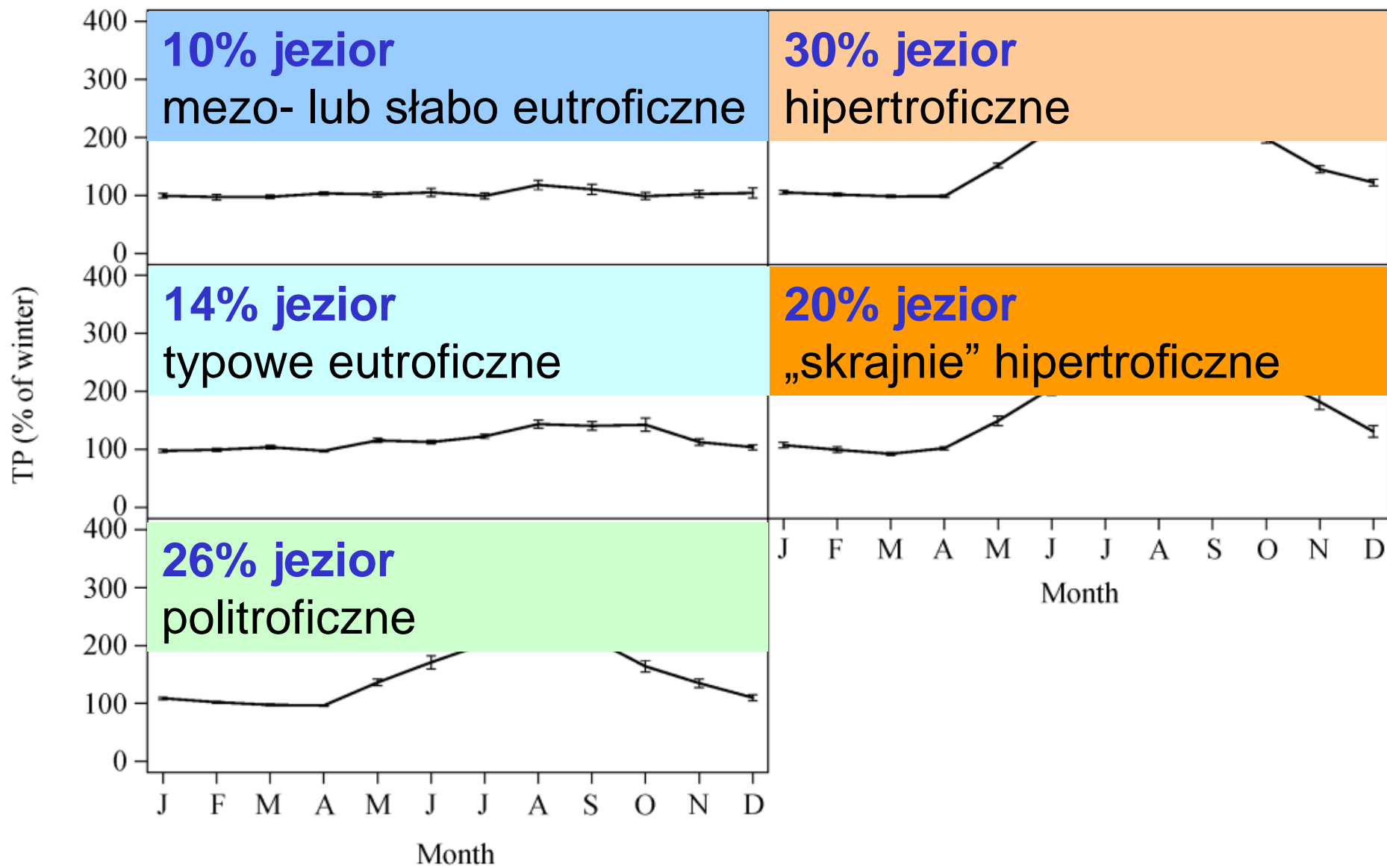
Poziomy zagrożenia toksycznymi zakwitami sinic związane z ich kumulacją w zależności od warunków meteorologicznych

Skutki eutrofizacji wód

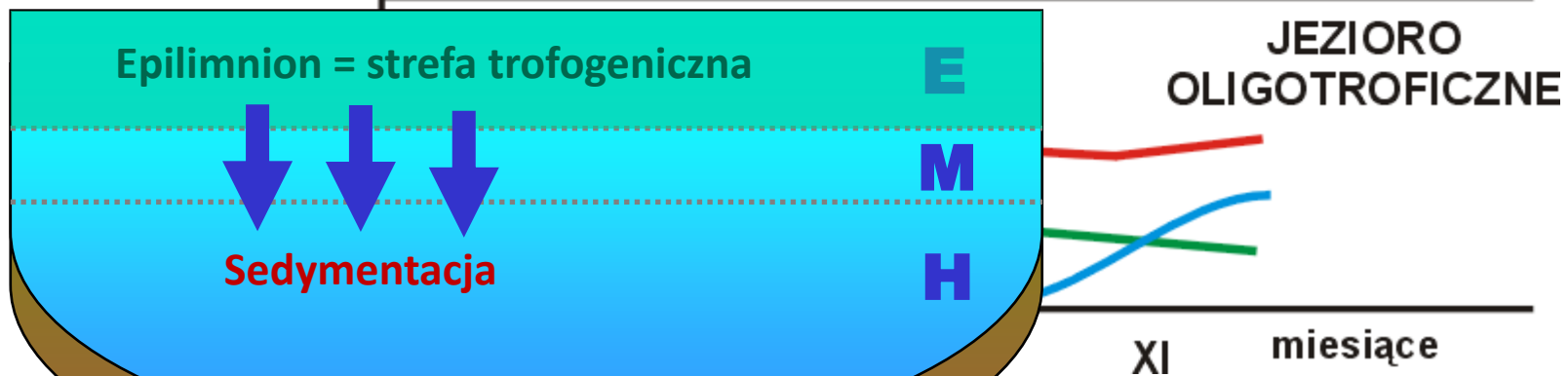
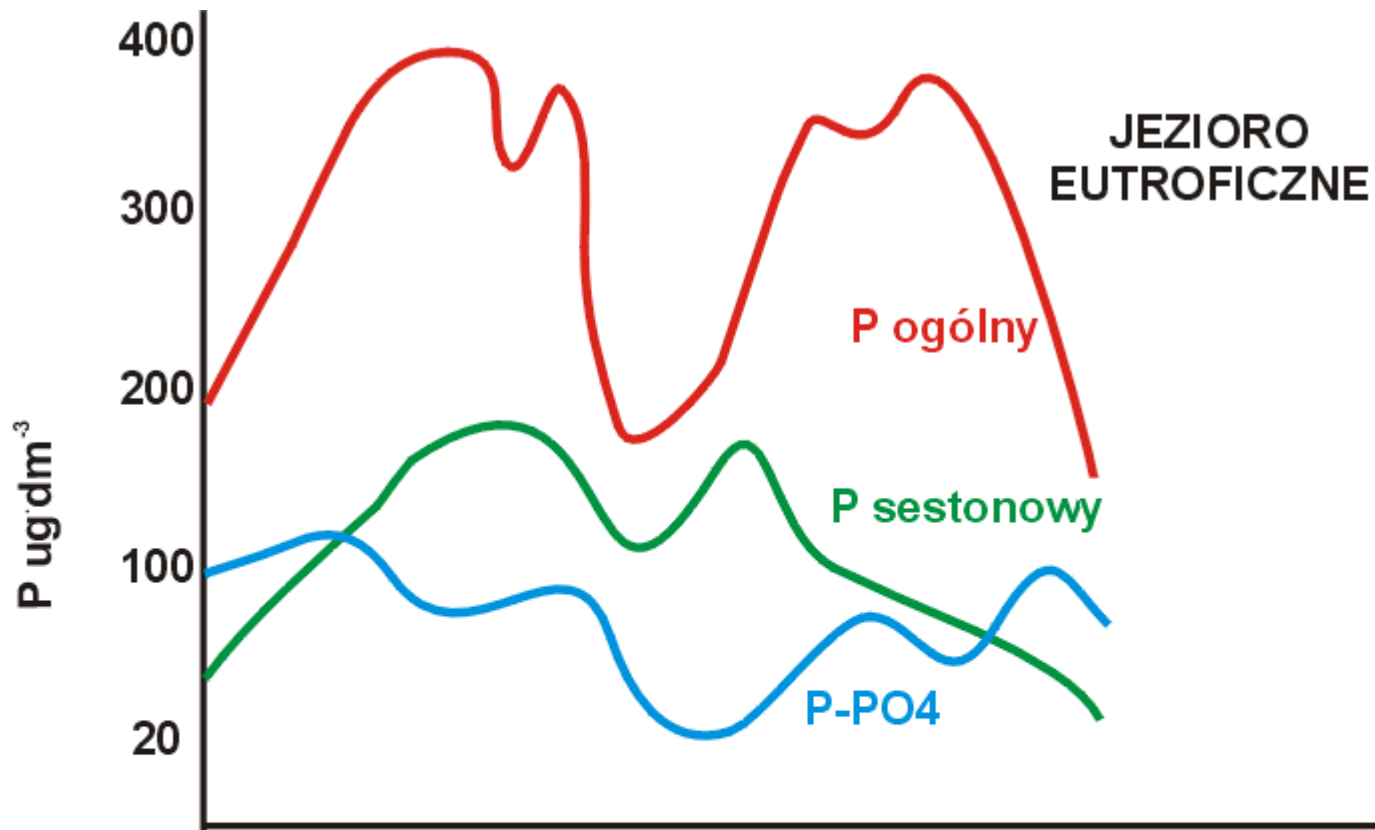


Skrajny przypadek zbiornika makrofitowego – jezioro zanikające

Eutrofizacja płytkich jezior

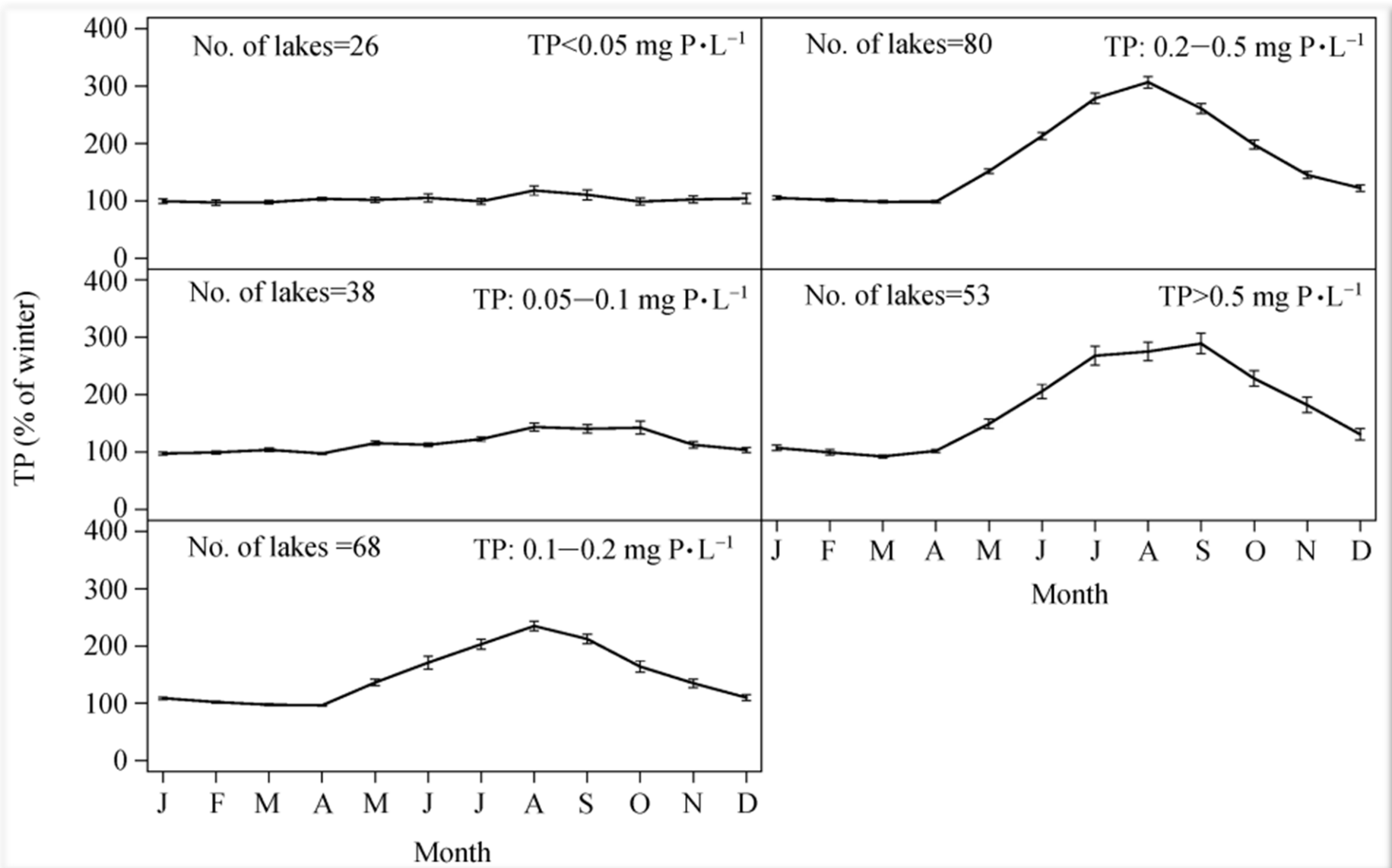


Koncentracja fosforu w wodzie płytkich jezior
(wyniki z 256 zbiorników na terenie Danii)



Zimna warstwa Hypolimnionie jezior oligo- i eutroficznych w ciągu roku

Eutrofizacja płytkich jezior



Koncentracja fosforu w wodzie płytkich jezior
(wyniki z 256 zbiorników na terenie Danii)

4. Pogorszenie warunków tlenowych w zbiorniku:

- **przesycenie tlenem warstw powierzchniowych**
wysokie pH wody → toksyczność amoniaku.
- **powstawanie stref beztlenowych:**
latem w hypolimnionie
→ zagłada organizmów tlenolubnych w głębszych strefach jezior,
→ uwalnianie biogenów z osadów dennych,
zjawisko „przyduchy” w okresie zimowym
→ wymieranie (śnięcia) ryb.

5. Zmniejszanie się zasobów ilościowych, zanik jezior

Liczba i powierzchnia jezior w Polsce

Rok	Liczba jezior	Powierzchnia [ha]
1957	9296	316 614
1992	7081	280 997
Różnica	2215 (23,8%)	35 637 (11,62%)

STAN TROFICZNY JEZIOR

Stan troficzny jest wyznacznikiem stopnia zaawansowania procesu eutrofizacji jezior. Informuje o rzeczywistym lub potencjalnym poziomie produkcji biologicznej jeziora, lub zależnościach pomiędzy procesami produkcji i rozkładu materii organicznej.

W przeciwieństwie do **abstrakcyjnego pojęcia eutrofizacji**, „stan troficzny” wyraża się w postaci klas (oligotrofia, mezotrofia, eutrofia, hipertrofia) lub odpowiadającego im rezultatu liczbowego.

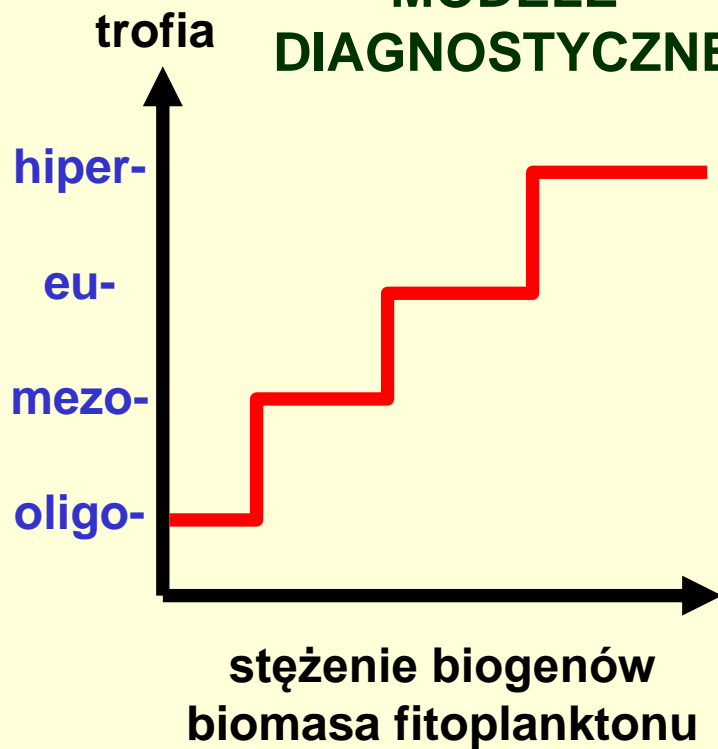


Granice stanów troficznych na podstawie stężeń azotu, fosforu i chlorofilu a

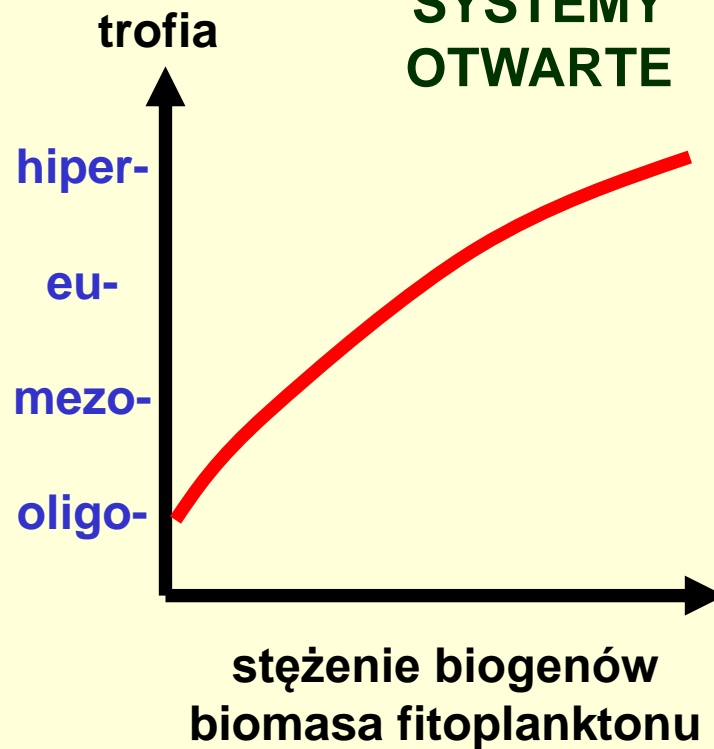
(model diagnostyczny)

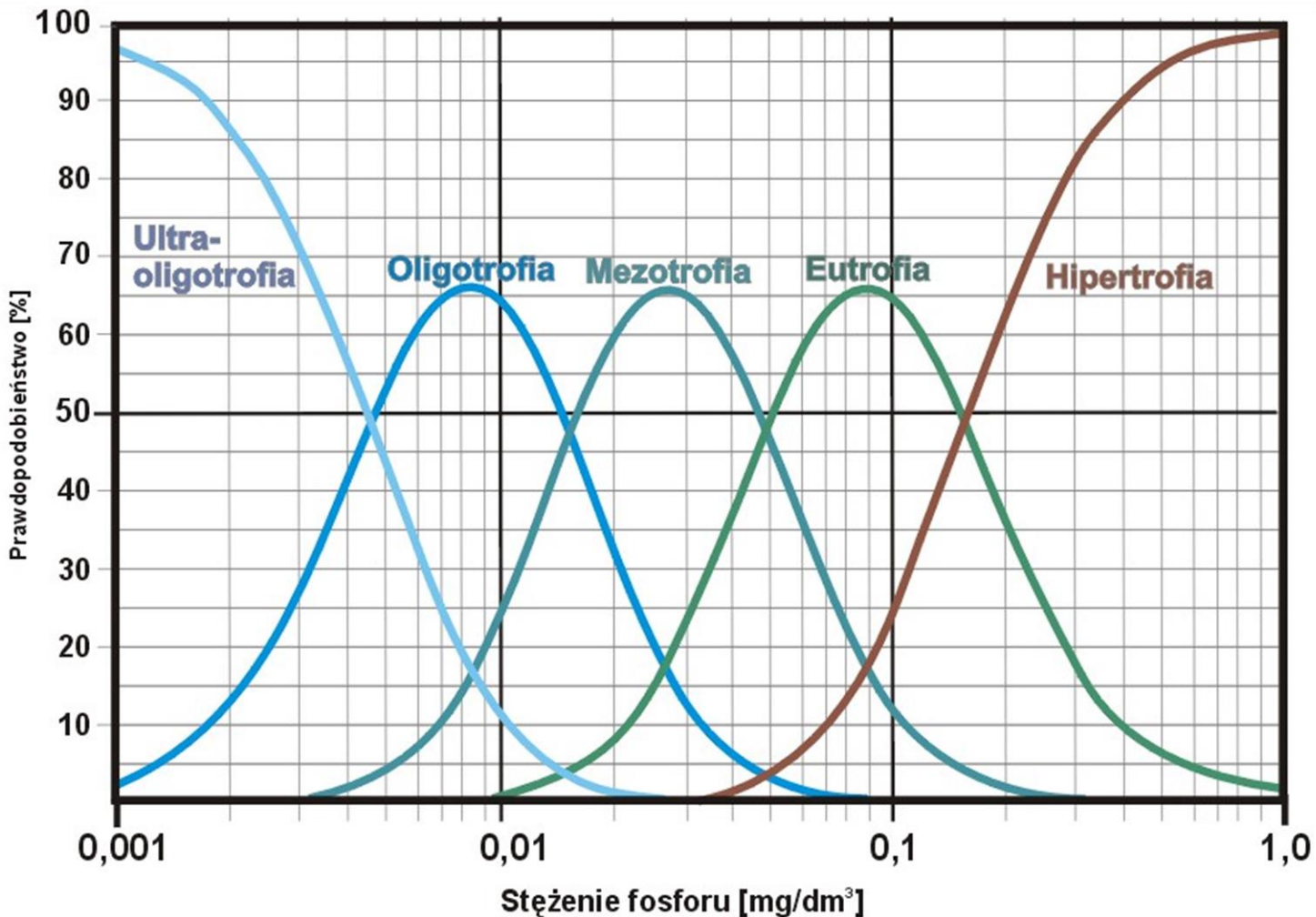
Stan	Stężenie N _{og} (wiosna)	Stężenie P _{og} (wiosna)	Chlorofil a (śr.)	Chlorofil a (max)
	mg/dm ³	mg/dm ³	µg/dm ³	µg/dm ³
Ultraoligotrofia	≤ 0,15	≤ 0,004	≤ 1,0	≤ 2,5
Oligotrofia	≤ 0,40	≤ 0,01	≤ 2,5	≤ 8,0
Mezotrofia	0,40 ÷ 0,65	0,01 ÷ 0,03	2,5 ÷ 8,0	8,0 ÷ 25,0
Eutrofia	0,65 ÷ 1,50	0,03 ÷ 0,10	8,0 ÷ 25,0	25,0 ÷ 75,0
Politrofia	> 1,50	> 0,10	> 25,0	> 75,0

MODELE DIAGNOSTYCZNE



SYSTEMY OTWARTE





Prawdopodobieństwo wystąpienia poszczególnych stanów troficznych w zależności od ilości **fosforu** w wodzie

(przykład systemu otwartego, metoda wg. OECD 2008)

SYSTEM OCENY JAKOŚCI JEZIOR (SOJJ)

Założenia **metody oceny stanu jezior dostosowanej do warunków Polski** zostały opracowane przez Instytut Ochrony Środowiska w latach 80. XX w.

Metoda została opublikowana w formie książkowej:

Kudelska D., Cydzik D., Soszka H., 1994. Wytyczne monitoringu podstawowego jezior. PIOŚ, Bibl. Monitoringu Środowiska, Warszawa, s. 52.

SOJJ był podstawą państwowego monitoringu jezior prowadzonego przez WIOŚ do roku 2006, kiedy został zastąpiony przez **metodę oceny stanu ekologicznego jednolitych części wód**, zgodną z wymogami *Ramowej Dyrektywy Wodnej*.

SOJJ nie był wprowadzony w życie poprzez akt prawny, więc nie podlega uchynieniu (jak np. klasyfikacje w Rozporządzeniach MŚ: 1991, 2002, 2004)

SYSTEM OCENY JAKOŚCI JEZIOR (SOJJ)

Klasyfikacja składa się z 2 części:

- 1. Ocena jakości wody** – 4 klasy: I, II, III oraz wynik pozaklasowy (p.k.)
- 2. Ocena podatności jeziora na degradację** – analiza cech morfometrycznych, hydrograficznych i zlewniowych (4 kategorie)

Zestawienie jakości wód jeziora i podatności na degradację pozwala na wyciągnięcie ogólnych wniosków dotyczących użytkowania, ochrony i rekultywacji jezior.

OCENA JAKOŚCI WODY JEZIOR

Jakość wody określa się na podstawie analiz wskaźników fizykochemicznych i wskaźników dodatkowych.

Przeprowadzenie klasyfikacji wymaga wykonania dwóch cykli poboru próbek do analiz:

- 1) **wiosną w czasie cyrkulacji** – pobór z warstwy powierzchniowej (standardowo 1 m pod powierzchnią),
- 2) **w okresie stagnacji letniej** – w okolicach głęboczka – z warstw: epilimnionu i hypolimnionu (1 m pod powierzchnią i 1 m nad dnem); dodatkowo konieczne jest wykonanie w jeziorze profilu termicznego i tlenowego.

Aparat Ruttnera służący do poboru próbek wody z określonej głębokości




OCENA JAKOŚCI WODY JEZIOR

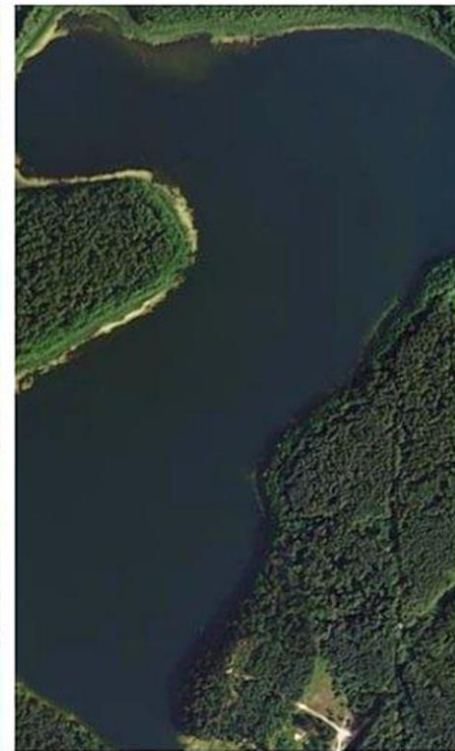
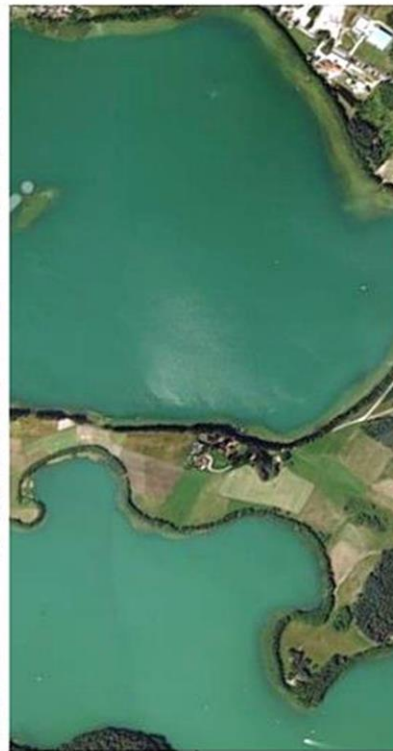
Wartości wskaźników dla poszczególnych klas jakości wody w SOJJ (fragment: związki fosforu i azotu)

Wskaźnik	Okres i miejsce poboru próbek	Klasa jakości		
		I	II	III
Fosforany (j.s. + j.ns.) mgP/dm ³	wiosna, warstwa powierzchniowa	≤ 0,02	≤ 0,04	≤ 0,08
Fosforany (j.s.) mgP/dm ³	lato, warstwa naddenna	≤ 0,02	≤ 0,04	≤ 0,08
Fosfor całkowity (j.s.) mgP/dm ³	lato, warstwa naddenna	≤ 0,06	≤ 0,15	≤ 0,60
Fosfor całkowity (j.s. + j.ns.) mgP/dm ³	wiosna i lato (śr.), warstwa powierzchniowa	≤ 0,05	≤ 0,10	≤ 0,20

Wynik oceny jakości wody w SOJJ w odniesieniu do stanu troficznego jezior:

Klasa jakości wody	Typ troficzny
KLASA I 	jeziora oligotroficzne, mezotroficzne i slabo eutroficzne
KLASA II	jeziora umiarkowanie eutroficzne
KLASA III	jeziora silnie eutroficzne , na granicy politrofii
KLASA IV (p.k.)	jeziora przeżyźnione – politroficzne i hipertroficzne

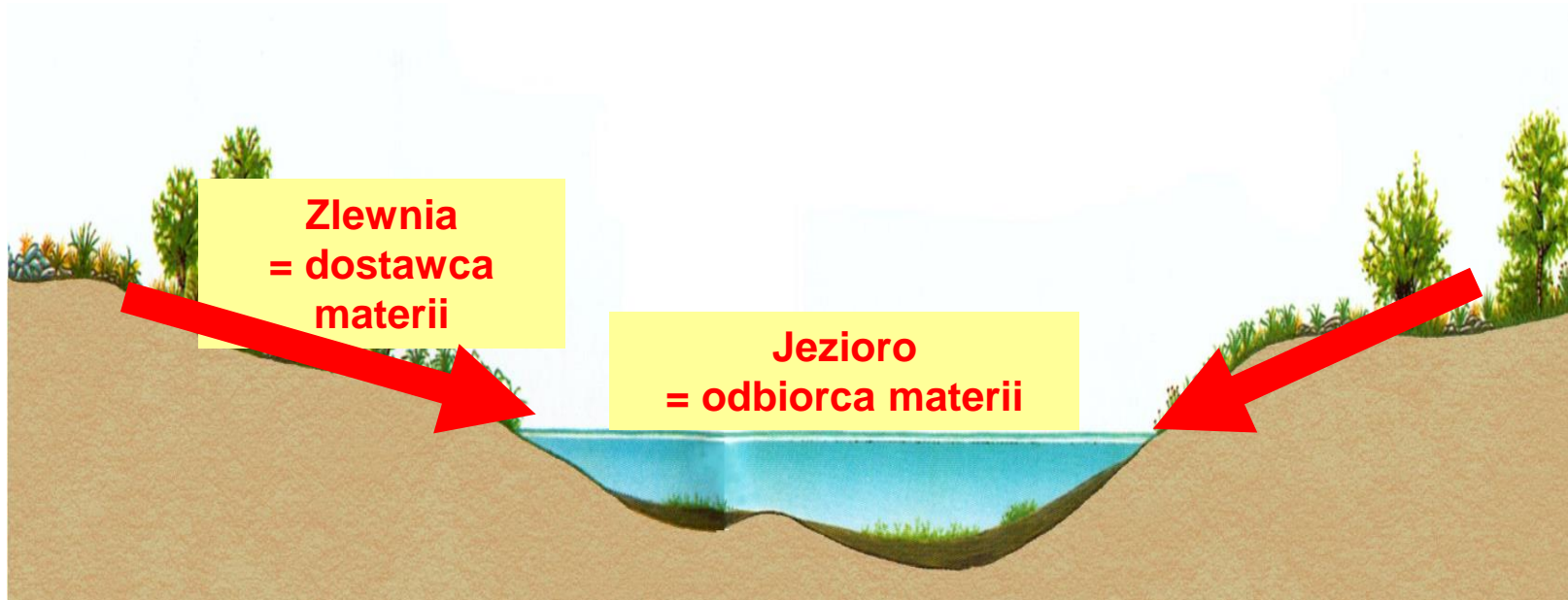
Trzy jeziora:
Kortowskie, Ukiel i
Redykajny
...wyraźnie różne, a
jednak wszystkie
mieszczą się w
kategorii: eutroficzne



OKREŚLANIE PODATNOŚCI JEZIOR NA DEGRADACJĘ

Wyznaczenie **podatności jezior na degradację** opiera się na założeniu, że zarówno tempo naturalnej eutrofizacji jezior, jak i degradacji antropogenicznej zależą od charakteru zlewni (dostawa materii), jak i od samego jeziora (akumulacja materii).

Ocena polega na ustaleniu wartości kategorii i punktacji dla 7 parametrów morfometrycznych i zlewniowych.



WYTYCZNE OKREŚLANIA PODATNOŚCI JEZIOR NA DEGRADACJĘ

Wskaźnik	Kategoria podatności na degradację		
	I	II	III
Głębokość średnia (m)	≥ 10	≥ 5	≥ 3
$\frac{V \text{ jeziora (tys. m}^3\text{)}}{L \text{ jeziora (m)}}$	≥ 4,0	≥ 2,0	≥ 0,8
% stratyfikacji wód	≥ 35	≥ 20	≥ 10
$\frac{P \text{ dna czynnego (m}^2\text{)}}{V \text{ epilim. (m}^3\text{)}}$	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 0,30
% wymiany wody w roku	≤ 30	≤ 200	≤ 1000
$\frac{P \text{ zlewni} + P \text{ jeziora (m}^2\text{)}}{V \text{ jeziora (m}^3\text{)}}$	≤ 2	≤ 10	≤ 50
sposób zagospodarowania zlewni bezpośrednioj w % jej powierzchni	≥ 60% lasów	< 60% lasów < 60% gruntów ornych	≥ 60% gruntów ornych