

STOSUNKI TERMICZNO-TLENOWE  
ZBIORNIKA ZAPOROWEGO PŁAWNIOWICE  
(WOJ. ŚLĄSKIE) PO 23 LATACH EKSPLOATACJI

MACIEJ KOSTECKI

Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, ul. M. Skłodowskiej-Curie 34, 41–819 Zabrze

Keywords: dam-reservoirs, limnology, eutrofication.

THE LIMNOLOGICAL CHARACTERISTIC OF THE PŁAWNIOWICE  
DAM-RESERVOIR (UPPER SILESIA, POLAND) – THERMAL  
AND OXYGEN CONDITIONS AFTER 23 YEARS OF EXPLOITATION

Since 1975 oxygen relations in the Pławniowice dam-reservoir have gradually changed for the worse. In the summer stagnation the complete oxygen deficit at the depth of 5 m to the bottom is observed. The maximum gradient of oxycline was 9.2 mg O<sub>2</sub>/m. The oxygen saturation of epilimnion is more than 150% and comes up to 200%. The Pławniowice dam-reservoir is dimictic stable [4]. At present the average time of winter stagnation is 30–35 days, spring circulation 70–80 days, summer stagnation 175–185 days and autumn circulation 70–75 days. The range of warm epilimnion (18–20°C), metalimnion 3–5 m, and cool hypolimnion (5–8°C) is about 8 m.

The surface of litoral zone is smaller than pelagial zone. It is classified as III type of Dolgoff [2]. The reservoir has IV step in accordance to Patalas criteria [21]. The stratification is strong. Theoretical range of effective mixion is 8 m. Practically epilimnion is small. The retention time is 2–2,5 years. According to Starmach [26] this is limnic reservoir. In over-bottom water presence of H<sub>2</sub>S was observed. It is the first step to saprotrophy.

Streszczenie

Od chwili powstania w 1975 roku zbiornika pławniowickiego obserwowano systematyczne pogarszanie się stosunków tlenowych w związku z szybko postępującą eutrofizacją zbiornika. W rok po zakończeniu wypełniania wodą Potoku Toszeckiego wyrobiska po kopalni piasku, maksymalny gradient oksykliny wynosił 2,0 mg O<sub>2</sub>/m. W latach 1993–1994 stwierdzono bardzo silną stratyfikację z gradientami oksykliny 5,2 mg O<sub>2</sub>/m. W szczycie trwania stagnacji letniej miąższość epilimnionu wynosiła 5–6 m. Z czasem podział ten zaostrzał się i w latach 1997–1998 maksymalny gradient oksykliny wynosił 9 mg O<sub>2</sub>/m.

Całkowitemu wyczerpaniu tlenu w hypolimnionie towarzyszy silne przetlenienie epilimnionu. Od roku 1993 obserwowano silne przetlenienie wody przekraczające 150% natlenienia, a pod koniec wiosny 1994 nawet 200%. Taką samą sytuację stwierdzono wielokrotnie w latach 1996–1998.

Zbiornik Pławniowice jest zbiornikiem dimiktycznym, stabilnym. Dla okresu 1996–1998 czas trwania stagnacji zimowej wynosił 30–35 dni, cyrkulacji wiosennej 70–80 dni, stagnacji letniej 175–185 dni oraz cyrkulacji jesiennej 70–75 dni. Obecnie zbiornik stratyfikuje na płytki (4–5 m) epilimnion o temperaturach (18–20°C) silnie zależnych od zmian termiki powietrza, rozciągnięty, lecz zmniejszający z biegiem lat miąższość metalimnion oraz chłodny hypolimnion (5–8°C).

Powierzchnia strefy litoralnej jest mniejsza od strefy pelagicznej, co klasyfikuje go jako III typ wg Dołgoffa [2]. Pod względem mieszania zbiornik spełnia warunki IV stopnia wg Patalasa [21], jest zatem zbiornikiem silnie stratyfikującym na warstwy termicznie zróżnicowane, co ogranicza stopień wymiany pomiędzy epi- a hypolimnionem. Teoretyczny zasięg efektywnego mieszania wyliczony wg wzoru Patalasa wynosi 8 m [22]. Jest to więcej, aniżeli zasięg epilimnionu u szczytu stagnacji letnich stwierdzony podczas pomiarów w poszczególnych okresach badań. Czas retencji wody w zbiorniku wynosi 2–2,5 roku, co wg Starmacha [26] klasyfikuje go jako skrajnie limniczny.

## WSTĘP

Zbiorniki wodne są bardzo podatne na niekorzystny wpływ wzrastających ładunków substancji organicznych, a zwłaszcza mineralnych związków biogenych. Przyczyn tego zjawiska szukać trzeba w czynnikach antropogenicznych, związanych z urbanizacją, uprzemysłowieniem, rozwojem turystyki i zmianami metod uprawy ziemi oraz hodowli zwierząt na terenie zlewni. Szybkie doprowadzanie do zbiorników wodnych mineralnych związków azotu i fosforu spowodowało przyspieszenie ich naturalnego starzenia się, a w skrajnych przypadkach gwałtowną degradację [6–9, 16].

Utworzenie zbiornika wodnego powoduje wiele skutków natury przyrodniczej. Zmiana warunków hydrologicznych, a szczególnie zwolnienie przepływu wody wywiera wpływ na warunki samooczyszczania wód. Elementy te są, jak się wydaje, całkowicie pomijane na etapie projektowania i budowy zbiorników wodnych. Po początkowo korzystnym oddziaływaniu na jakość wody, szczególnie odpływającej ze zbiornika, następuje wiele zmian niekorzystnych, takich jak ubytki tlenu w hypolimnionie, uruchomienie procesu wzbogacania wewnętrznego, wzrost produkcji pierwotnej (zakwity fitoplanktonu). W rezultacie mamy do czynienia z nadmierną szybkością pogarszania się jakości wód [7, 9, 11].

Zbiornik Pławniowice powstał w 1975 roku. Pierwsze, wstępne badania jakości wody występującej na dnie wyeksploatowanego, przewidzianego do zalania wodą Potoku Toszeckiego, wyrobiska kopalni piasku przeprowadzono jeszcze przed jego zalaniem [1, 9].

Z chwilą zakończenia napełniania zbiornika przeprowadzono badania hydrobiologiczne [5]. W roku 1976 przeprowadzono pierwsze badania stosunków termiczno-tlenowych oraz podstawowych wskaźników fizyczno-chemicz-

nych jakości wody [10, 11]. W latach 1993–1994 ponownie przeprowadzono badania limnologiczne [19], które kontynuowano w latach 1997–1998 [24]. W ten sposób uzyskano materiał pozwalający na określenie zmian, jakie zaszły w ciągu 23 lat eksploatacji zbiornika.

## OBIEKT I METODYKA BADAŃ

Po wykonaniu prac ziemnych polegających na wyrównaniu terenu wokół wyrobiska, utwardzeniu skarp oraz splantowaniu dna, a także po wykonaniu umocnienia betonowego w miejscu przewidywanego ujścia wód Potoku Toszeckiego skierowano na teren wyrobiska wody Potoku płynącego dotychczas korytem zastępczym, okrążającym teren wyrobiska. Koryto to pełni obecnie rolę rowu odsiawkowego.

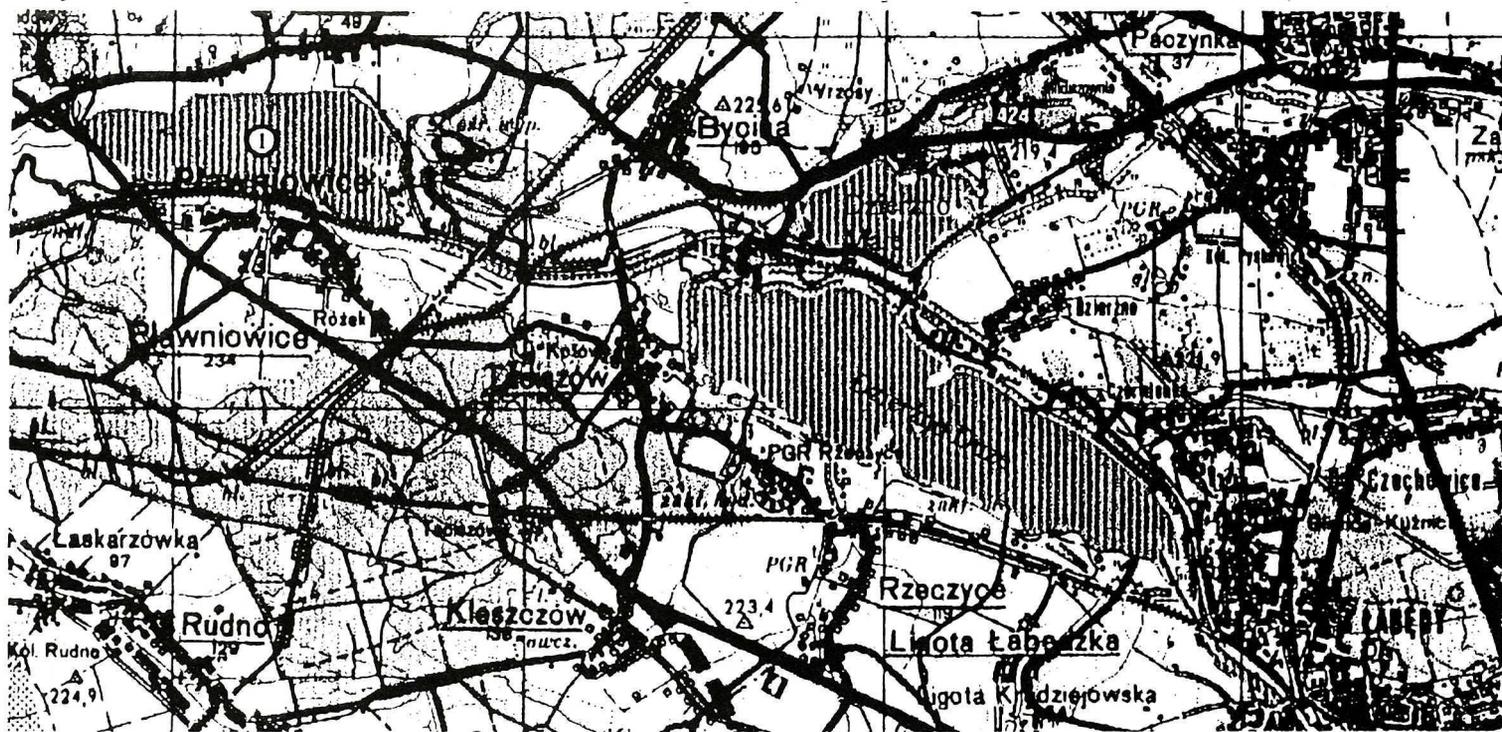
W rezultacie powstał zbiornik wodny o podłużnym kształcie, zorientowany w kierunku zachód-wschód. Odpowiada to kierunkowi najczęściej wiejących w tym rejonie wiatrów.

Zbiornik otoczony jest od strony południowej i zachodniej terenem płaskim, od strony północnej teren jest pagórkowaty (Wzgórza Widawskie, Wzniesienia Toszeckie), podobnie od strony wschodniej (Garb Laryszowski) (Rys. 1).

Brzegi zbiornika są płaskie, piaszczysto-gliniaste. Przed zalaniem wyrobiska teren wokół niego obsadzony został drzewami i krzewami, głównie topolą i olchą. Ponadto, w celu wzbogacenia gleby w azot, teren wokół zbiornika obsiano łubinem.

Zbiornik ten charakteryzuje się następującymi parametrami:

- długość linii brzegowej – 8000 m,
- maksymalna długość osi zbiornika – 3200 m,
- maksymalna szerokość zbiornika – 1200 m,
- maksymalna głębokość zbiornika – 16 m,
- średnia głębokość zbiornika – 11 m (liczona jako stosunek pojemności zbiornika do powierzchni),
- współczynnik rozwinięcia linii brzegowej – 1,5 (liczony ze wzoru:  $(\mu = L/2\sqrt{P\pi p}$  (w którym  $L$  – długość linii brzegowej,  $P$  – powierzchnia zwierciadła wody),
- efektywny zasięg mieszania wody (teoretyczny) – 8 m (liczony wg wzoru Patalasa:  $E = 4,4 \sqrt{D}$ , gdzie  $D$  – długość linii wiatru).



Rys. 1. Zachodni Węzeł Wodny Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego  
The Western Group of Dam-Reservoirs, in the Upper Silesian Industry Region

Parametry techniczne zbiornika przedstawiają się następująco:

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| – pojemność całkowita    | – 29,1 mln m <sup>3</sup> ,              |
| – pojemność wyrównawcza  | – 6,3 mln m <sup>3</sup> ,               |
| – pojemność martwa       | – 20,4 mln m <sup>3</sup> ,              |
| – pojemność powodziowa   | – 2,4 mln m <sup>3</sup> ,               |
| – pojemność dyspozycyjna | – 5,5–8,0 mln m <sup>3</sup> ,           |
| – powierzchnia zalewu    | – przy maksymalnym piętrzeniu<br>260 ha, |
|                          | – przy normalnym piętrzeniu<br>224,5 ha; |

Rzędne piętrzenia:

- |                         |                |
|-------------------------|----------------|
| – maksymalne piętrzenie | – 194,8 m npm, |
| – normalne piętrzenie   | – 193,8 m npm, |
| – minimalne piętrzenie  | – 191,0 m npm; |

Charakterystyczne przepływy:

- |                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| – przepływ średni roczny | – 0,627 m <sup>3</sup> /s, |
| – przepływ średni niski  | – 0,200 m <sup>3</sup> /s, |
| – przepływ minimalny     | – 0,033 m <sup>3</sup> /s, |
| – wielka woda 3%         | – 58,5 m <sup>3</sup> /s,  |
| – wielka woda 1%         | – 81,3 m <sup>3</sup> /s.  |

Badania z lat 1976, 1993–1994 oraz 1996–1998, na podstawie których wykonana została niniejsza praca, prowadzone były przez autora [9–11, 19, 24]. Dane dla pozostałych okresów uzyskano z materiałów archiwalnych [1, 5, 18, 23].

Pomiary temperatury oraz stężenia tlenu w wodzie zbiornika prowadzono na stanowisku w najgłębszym miejscu zbiornika. Stanowisko wyznaczono na głębokości 16 m przy wysokim stanie wody w zbiorniku. Punkt ten znajdował się na środku linii łączącej ujście Potoku Toszeckiego do zbiornika z przelewem odprowadzającym wodę do Kanału Gliwickiego.

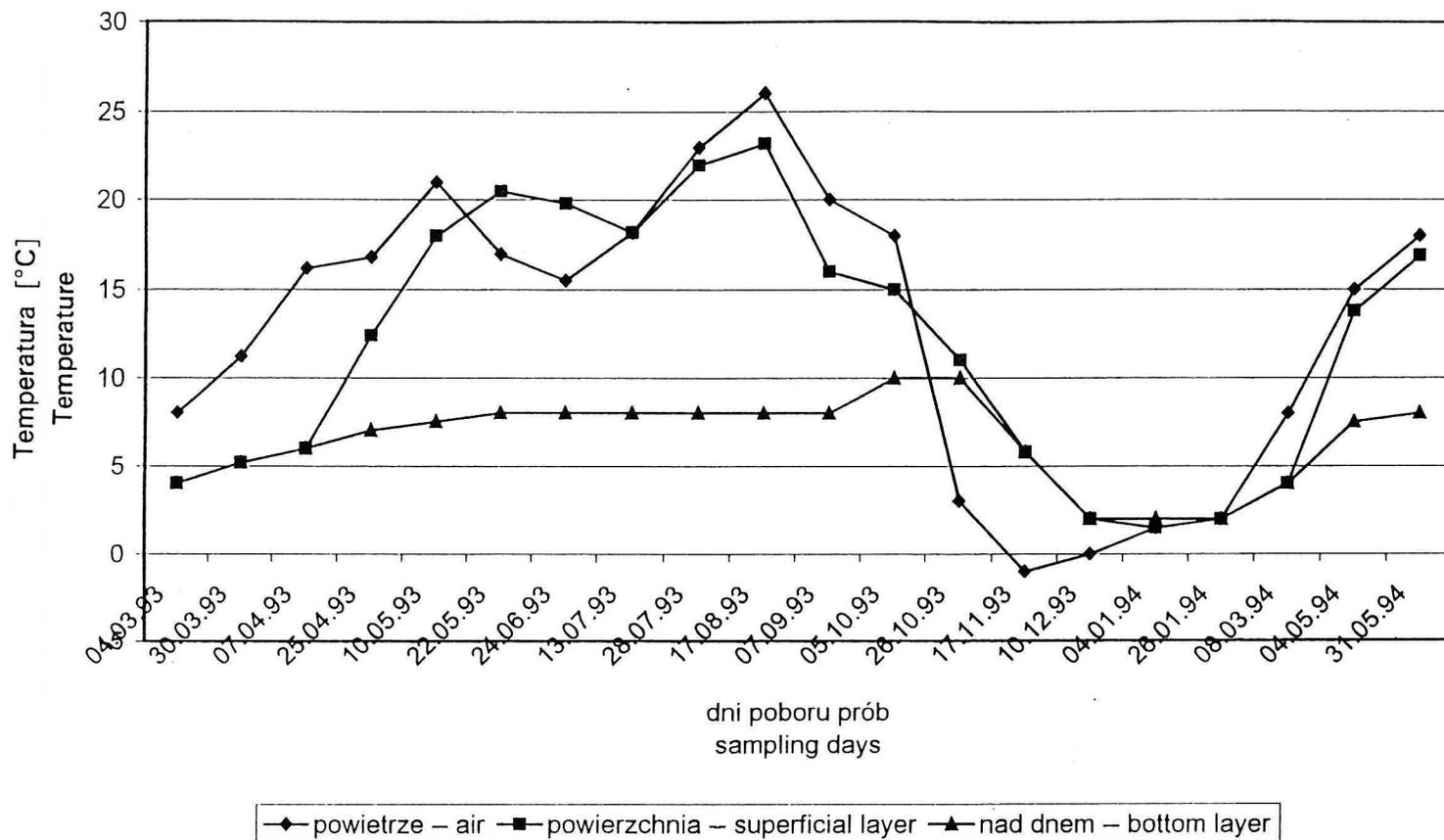
Pomiary temperatury powietrza i wody oraz stężenia tlenu wykonywano sondą tlenową (ELMETRON) z kompensacją temperatury, wyposażoną w kabel o długości 25 m, co 1 m głębokości od powierzchni do dna.

## WYNIKI BADAŃ

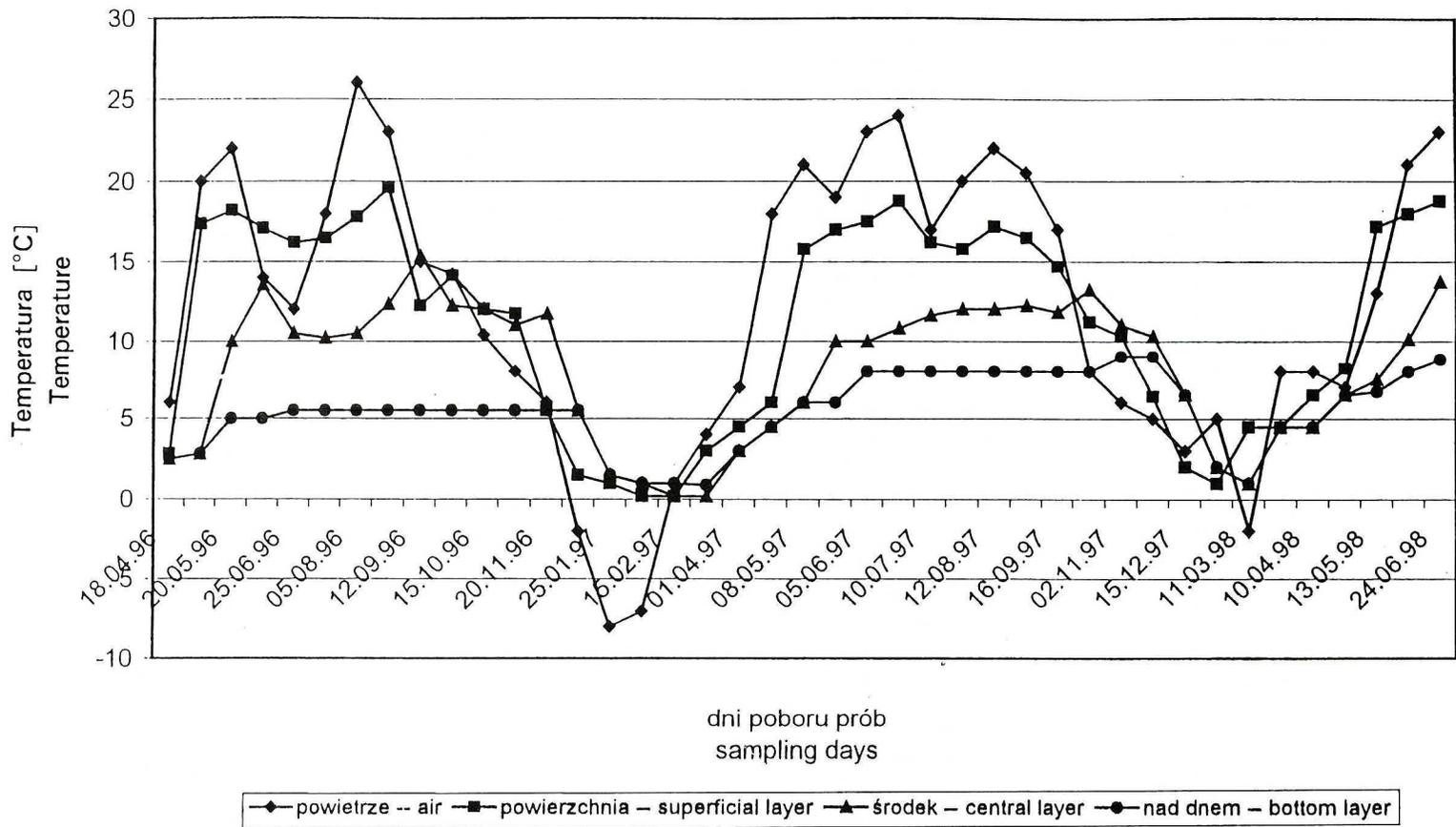
### STOSUNKI TERMICZNE

Przebieg zmian temperatury powietrza oraz powierzchniowej i przydennej warstwy wody przedstawiono na wykresach (Rys. 2 i 3).

Od maja obserwowano wzrost temperatury powietrza z około 6°C do 20°C pod koniec miesiąca, czemu towarzyszyło widoczne, szybkie podnoszenie się



Rys. 2. Zmiany temperatury powietrza i wody zbiornika Pławniowice, 1993–1994  
The air and water temperature changes on the Pławniowice dam-reservoir



Rys. 3. Zmiany temperatury powietrza i wody zbiornika Plawniowice, 1996–1998  
 The air and water temperature changes on the Plawniowice dam-reservoir

temperatury wody epilimnionu oraz w środkowej warstwie słupa wody. Najwyższe temperatury powietrza notowano w lipcu i sierpniu. Dochodziły one do 27°C.

W okresie od końca maja do połowy września 1996 r. masy wodne zbiornika reagują silnie na zmiany temperatury powietrza. Obniżenie temperatury powietrza z 22°C pod koniec czerwca 1997 r. do 12°C na początku sierpnia spowodowało niewielkie, ale widoczne obniżenie temperatury wody epi- i metalimnionu.

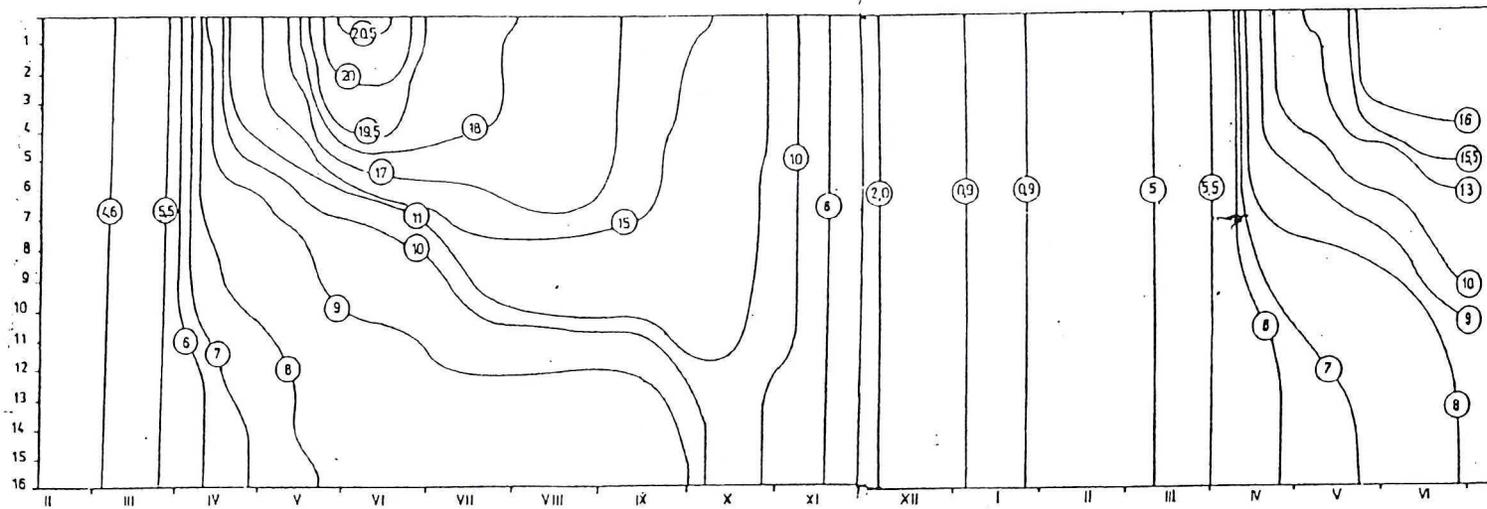
Na przedstawionych rysunkach widoczna jest zależność temperatury epilimnionu i metalimnionu od temperatury powietrza. Natomiast równie wyraźnie widać, że hypolimnion zbiornika jest chłodny i stabilny.

W roku 1976 stwierdzono wyższe temperatury meta- i hypolimnionu niż w latach następnych. O ile w roku 1976 temperatura 17°C występowała na 8. metrze głębokości, to w roku 1993 wartość tę stwierdzono na metrze 6., a w rok później na metrze 4. W latach 1996–1998 także zauważono, że temperatura około 17°C nie występuje głębiej niż na 5.–6. metrze głębokości [10].

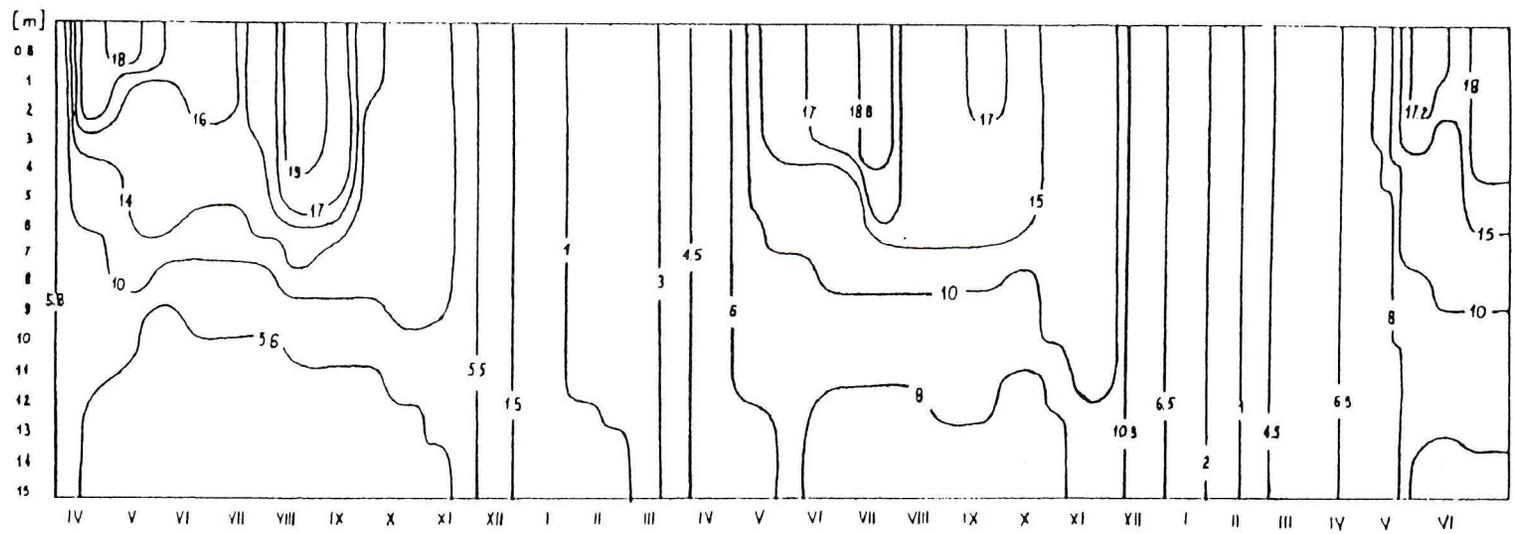
W roku 1993 w czasie cyrkulacji wiosennej temperatura wody była całkowicie wyrównana i wynosiła od powierzchni do dna 4,6°C. Całkowita homotermia utrzymywała się do końca marca. W okresie od końca marca do końca maja temperatura całego słupa wody podnosiła się jednak zdecydowanie szybciej w powierzchniowej warstwie wody. Już pod koniec kwietnia stwierdzono po raz pierwszy występowanie skoku termicznego o gradiencie 1,6°C/m pomiędzy 2. a 3. metrem głębokości (Rys. 4, 5). Od tej chwili aż do pierwszych dni września skok termiczny występował stale. Na wykresie (Rys. 6) przedstawiono gradienty oksy- i termokliny w okresie 1993–1994.

Początkowo, z chwilą zakładania się stratyfikacji letniej, skok termiczny wystąpił pomiędzy 2. a 3. metrem głębokości. Wraz ze wzrostem temperatury epilimnionu termoklina osuwała się głębiej i na początku maja występowała pomiędzy 4. a 6. metrem głębokości. W ostatnich dniach czerwca zasięg skoku termicznego zwiększył się do 7. metra głębokości. Od pierwszych dni lipca zaobserwowano, że metalimnion obniżył poziom występowania i jego zakres wynosił od 6. do 9. metra głębokości. Stan taki trwał do połowy sierpnia. Na początku września nadal obserwowano obniżanie się skoku termicznego, tj. występował on pomiędzy 7. a 10. metrem głębokości.

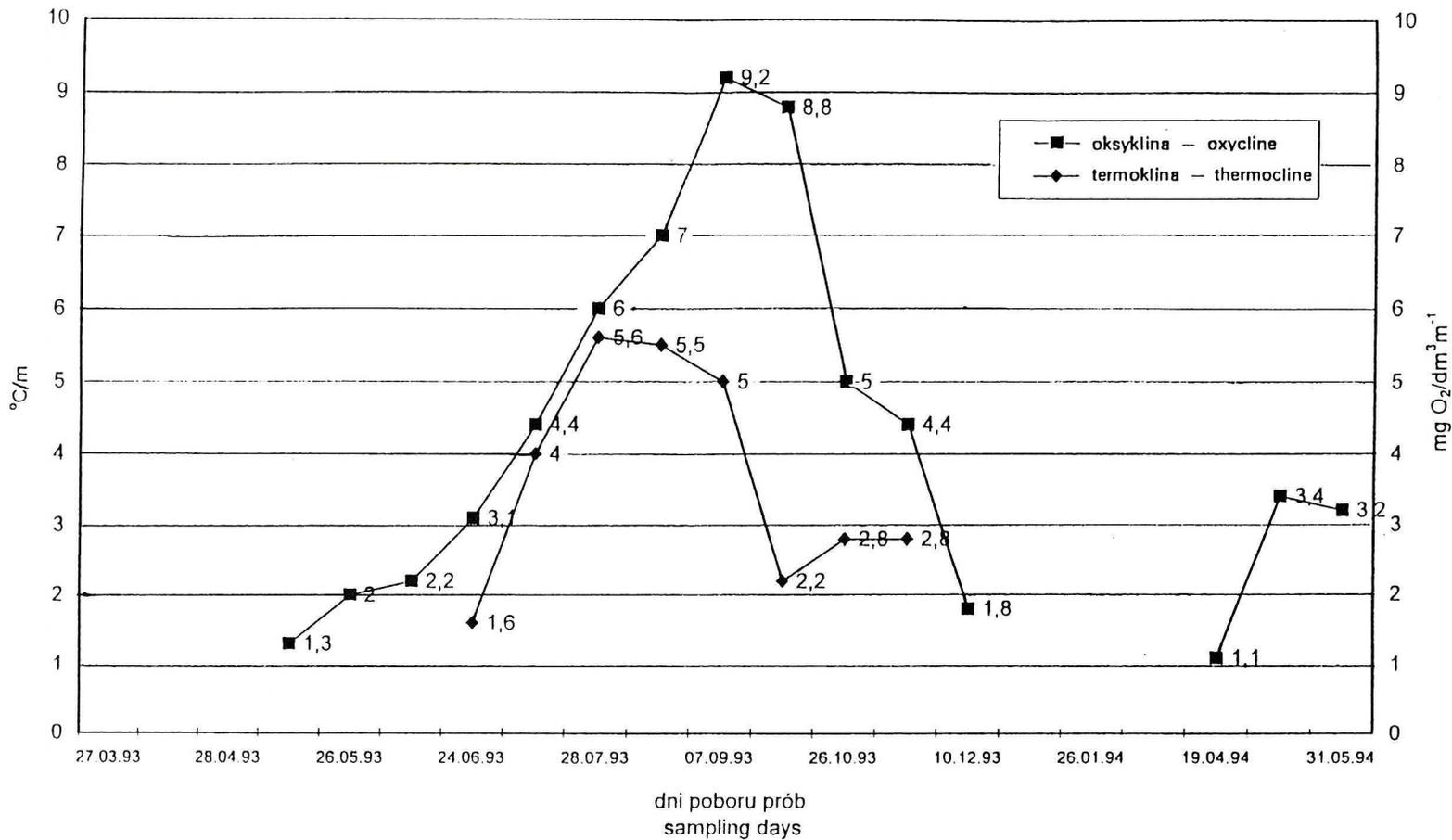
Maksymalny gradient termokliny wzrastał od 1,6°C/m w marcu do 4,0°C/m w początku maja i następnie do 6,0°C/m pod koniec maja. Był to najsilniejszy gradient zanotowany w ciągu całego okresu wykonywania pomiarów. W miarę wzrostu temperatury epilimnionu i obniżania się termokliny zmniejszał się stopniowo jej gradient maksymalny: z 6,0°C/m w maju do 5,0°C/m w czerwcu, 2,8°C/m w lipcu i sierpniu i do 1,8°C/m we wrześniu. W połowie września skończył się okres stagnacji letniej i już na początku października zanotowano wyraźne początki cyrkulacji jesiennej. Rozpoczęła się ona przy temperaturze 15,0°C w epilimnionie oraz 10,0°C w hypolimnionie. Pod koniec miesiąca nastąpiło pełne wymieszanie mas wodnych przy temperaturach odpowiednio 11 i 10°C (Rys. 7).



Rys. 4. Temperatura wody zbiornika Pławniowice, 1993–1994  
Water temperature of the Pławniowice dam-reservoir



Rys. 5. Temperatura wody zbiornika Pławniowice, 1996–1997  
Water temperature of the Pławniowice dam-reservoir



Rys. 6. Gradienty termokliny i oksykliny w wodzie zbiornika Pławniowice, 1993–1994  
 The thermo- and oxycline gradients on the Pławniowice dam-reservoir

W lutym 1994 przez około 20 dni wystąpiły zjawiska lodowe. W marcu nadal panowała pełna homotermia przy temperaturze już wzrastającej, tj. przy  $5,0^{\circ}\text{C}$ . Zakładanie się stratyfikacji termicznej w 1994 r. zanotowano nieco później niż w roku ubiegłym, bo na początku maja. Skok termiczny o miąższości 2 m i gradiencie  $1,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$  występował pomiędzy 2. a 4. metrem głębokości. W ostatnim dniu maja termoklina wystąpiła pomiędzy 4. a 7. metrem głębokości, a gradient maksymalny wynosił  $3,2^{\circ}\text{C}/\text{m}$ .

Ponieważ z chwilą rozpoczęcia badań nie zanotowano odwróconego układu termicznego (zimowego), określenie czasu trwania cyrkulacji wiosennej nie jest możliwe. Można przyjąć, że okres stagnacji letniej 1993 r., podczas którego wystąpiła stratyfikacja termiczna, trwał od końca kwietnia do początku września, czyli około 130 dni. Natomiast cyrkulacja jesienna trwała od drugiej połowy września 1993 do pierwszych dni maja 1994, czyli około 200 dni.

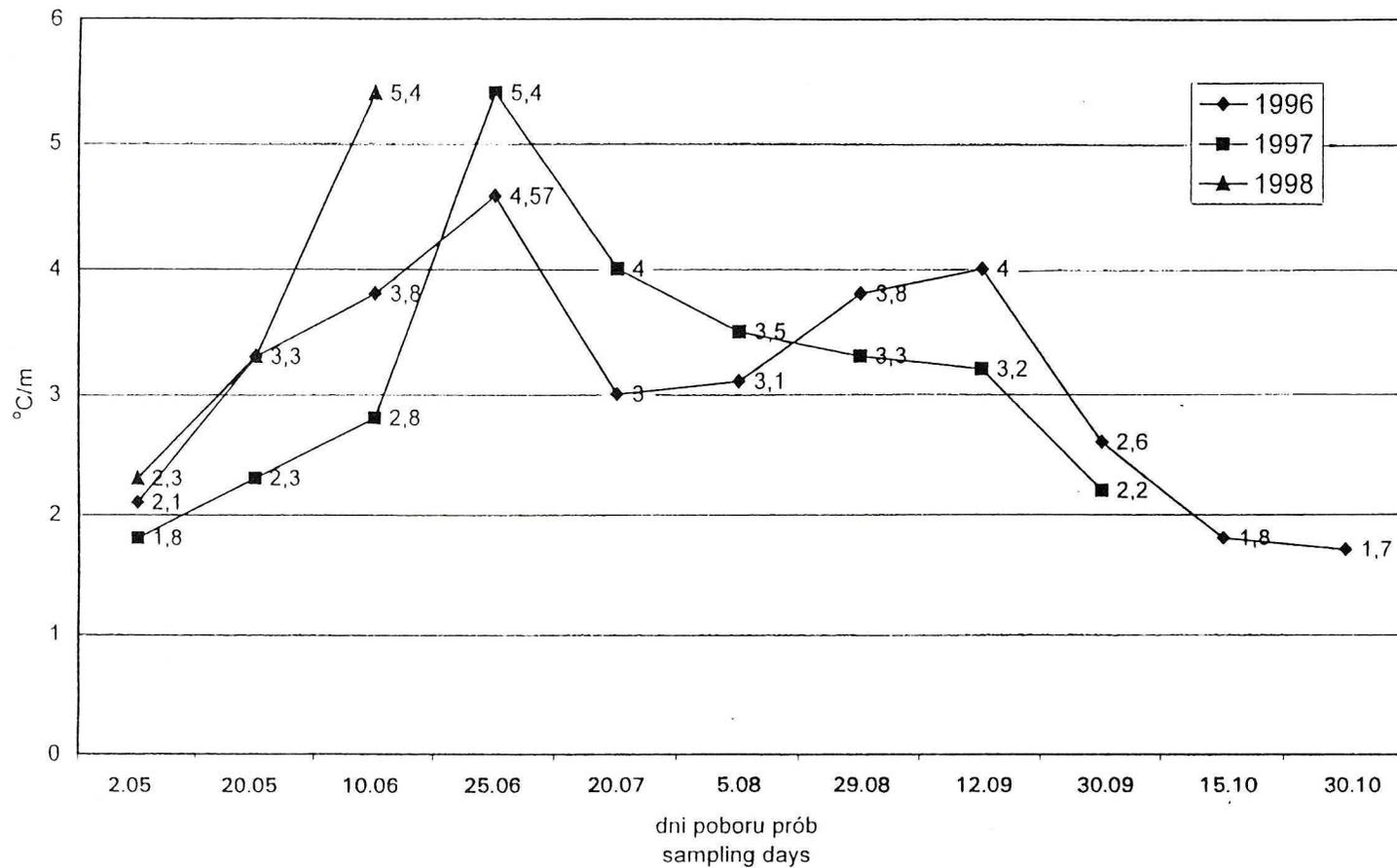
Okres stagnacji letniej charakteryzował się stałym występowaniem termokliny o dość dużej miąższości i wysokim gradiencie, dzielącym masy wody zbiornika na ciepły epilimnion oraz meta-stabilny, niezbyt chłodny ( $8-11^{\circ}\text{C}$ ) hypolimnion.

Od momentu rozpoczęcia badań, w kwietniu 1996 r. stwierdzono pełne wymieszanie wody i homotermię. Temperatura całego słupa wody wynosiła  $5,8^{\circ}\text{C}$ . W pierwszej połowie maja zaobserwowano wyraźną, silną stratyfikację termiczną. Płytki epilimnion o miąższości 2 m i temperaturze  $17,4^{\circ}\text{C}$  przechodził rozciągniętą warstwą skoku termicznego o miąższości 4 m i maksymalnym gradiencie  $3,3^{\circ}\text{C}/\text{m}$  w zimny ( $5^{\circ}\text{C}$ ) hypolimnion (Rys. 4 i 5).

Pod koniec maja temperatura epilimnionu wzrosła do  $18,2^{\circ}\text{C}$ . W tym czasie zaobserwowano podwójny skok termiczny, pomiędzy powierzchnią wody a pierwszym metrem głębokości (odpowiednio  $18,2$  i  $15,2^{\circ}\text{C}$ ) oraz między 7. a 11. metrem, gdzie maksymalny gradient wynosił  $3,8^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Podwójny skok termiczny wystąpił także w czerwcu, między 2. a 3. oraz 5. i 9. metrem głębokości. Także w lipcu stwierdzono podobną sytuację między 2. a 3. oraz między 5. a 9. metrem głębokości. Należy zwrócić uwagę na obniżenie w tym okresie temperatury epilimnionu spowodowane niskimi temperaturami powietrza.

Na początku sierpnia skok termiczny był już jeden i występował między 5. a 9. metrem głębokości. Maksymalny gradient wynosił  $3,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Pod koniec miesiąca skok termiczny zaostrizył się. Występował między 5. a 11. metrem, a jego maksymalny gradient wynosił  $3,8^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . W pierwszej dekadzie września zanotowano miąższość epilimnionu, wynoszącą 6 m. Temperatura epilimnionu wynosiła w tym czasie  $18,8^{\circ}\text{C}$ . Metalimnion o miąższości 4 m miał największy gradient:  $4^{\circ}\text{C}/\text{m}$  (Rys. 7).

Podczas rozpoczęcia schładzania mas wodnych zbiornika stwierdzono, że poziom warstwy skoku termicznego obniża się stopniowo. Pod koniec sierpnia górny pułap termokliny usytuowany był na 5. metrze głębokości, pod koniec września znajdował się na 8. metrze, a pod koniec października obniżył się do 10. metra głębokości.



Rys. 7. Maksymalne gradienty termokliny [°C/m] w zbiorniku Pławniowice, 1996–1998  
The maximum values of thermocline gradients on the Plawniowice dam-reservoir

W połowie października temperatura wody epilimnionu obniżyła się do 12°C i ta wartość utrzymywała się do 6. metra głębokości. Jeszcze w ostatnich dniach października stwierdzono skok termiczny między 10. a 14. metrem głębokości. Jego maksymalny gradient wynosił 1,7°C/m.

W 1996 roku hypolimnion charakteryzował się wyjątkowo niską temperaturą wynoszącą przez cały okres stagnacji letniej 5°C.

W trzeciej dekadzie listopada obserwowano pełną homotermię. Temperatura wody od powierzchni do dna wynosiła 5,5°C. W 1996 roku pełną homotermię obserwowano od połowy listopada do końca stycznia. Na początku lutego zanotowano zimowy układ odwrócony. Od powierzchni do 11. metra głębokości temperatura wody wynosiła 0,2°C. Poniżej tej głębokości temperatura wody wynosiła 1,0°C. Podobny układ obserwowano w połowie lutego, po czym rozpoczęło się mieszanie wiosenne 1997 roku.

W połowie marca 1997 roku stwierdzono pełną homotermię. Temperatura całego słupa wody wynosiła 3°C. Przez cały kwiecień ten stan utrzymywał się, przy czym temperatura całego słupa wody wzrastała, osiągając pod koniec miesiąca 6,0°C.

W wyniku silnej insolacji w maju temperatura powierzchniowej warstwy wody szybko wzrosła, osiągając w pierwszej dekadzie miesiąca 15,8°C. W tym czasie stwierdzono stratyfikację termiczną. Pierwszy skok termiczny wystąpił między 3. a 6. metrem głębokości, drugi – między 8. a 9. metrem. Maksymalny gradient termokliny wynosił 1,8°C/m. Pod koniec maja miąższość epilimnionu o temperaturze 17°C wynosiła 2 m. Między 2. a 5. metrem głębokości występowała termoklina o maksymalnym gradiencie 2,3°C/m.

W pierwszych dniach czerwca zasięg epilimnionu zwiększył się do 3 m. Jego temperatura wynosiła 17,5°C. Warstwa skoku termicznego występowała między 3. a 6. metrem głębokości. Gradient maksymalny termokliny wynosił 2,8°C/m. Najostrzejszy podział na warstwy zróżnicowane termicznie stwierdzono – w 1997 roku – pod koniec czerwca. Epilimnion o temperaturze 18,8°C miał miąższość 4 m. Poniżej ukształtowała się warstwa termokliny sięgająca od 4. do 8. metra głębokości. W tym czasie zanotowano najwyższy gradient termokliny, wynoszący 5,4°C/m.

Od lipca do sierpnia obserwowano stopniowe zwiększanie się zasięgu epilimnionu. Warstwa skoku termicznego rozciągała się od 6. do 8. metra głębokości. Maksymalny gradient obniżył się w porównaniu do stwierdzonego po koniec czerwca i wynosił 4°C/m i 3,5°C/m. W sierpniu zasięg epilimnionu nadal wynosił 6 m. Warstwa skoku termicznego występowała nadal między 6. a 8. metrem głębokości. Gradient termokliny nadal zmniejszał się, osiągając pod koniec miesiąca wartość 3,2°C/m.

W połowie września epilimnion zwiększył zasięg do 9 metrów. Nadal utrzymywała się termoklina, której warstwa o miąższości 2 m występowała między 9. a 11. metrem głębokości. Malejący gradient wynosił 2,2°C/m.

W połowie października stwierdzono homotermię. Temperatura powierzchniowej warstwy wody wynosiła 11,2°C, nad dnem zaś 10,6°C. Pełną

homotermię ponownie stwierdzono w pierwszych dniach listopada, przy temperaturze wody 10,3°C. W ciągu następnych tygodni temperatura całego słupa wody obniżała się. W 1997 roku nie zaobserwowano zimą odwrotnego układu termicznego.

Cyrkulacja wiosenna w 1998 roku zaczęła się w pierwszej dekadzie marca. W tym czasie stwierdzono pełną homotermię. Temperatura całego słupa wody wynosiła 4,5°C. Pod koniec kwietnia nadal występowała homotermia przy układzie 8,2–7,0°C. W połowie maja, podobnie jak w latach poprzednich, stwierdzono stratyfikację termiczną. Epilimnion o miąższości 2 m i temperaturze 17,2°C graniczył z warstwą skoku termicznego sięgającą od 2. do 6. m głębokości. Gradient termokliny wynosił 2,3°C/m.

Intensywna insolacja w następnych tygodniach spowodowała szybki wzrost temperatury epilimnionu do 18,8°C. Pod koniec czerwca miąższość epilimnionu wynosiła 4 m. Warstwa skoku termicznego rozciągała się między 4. a 8. metrem głębokości. Gradient maksymalny termokliny osiągnął wartość identyczną jak w roku 1997, tj. 5,4°C/m.

W poniższych tabelach (Tab. 1–3) przedstawiono kształtowanie się stratyfikacji termicznej zbiornika Pławniowice.

Tabela 1. Stratyfikacja termiczna zbiornika Pławniowice w 1996 roku  
Thermal stratification on the Pławniowice dam-reservoir

Warstwa Layer	02.05	20.05	10.06	25.06	20.07	05.08	29.08	12.09	30.09	15.10	30.10
Epilimnion [m]	2	3	2	2	2	5	5	6	8	10	10
Metalimnion [m]	2–7	7–11	2–3 6–9	2–3 5–9	2–3 5–9	5–9	5–11	6–10	8–11	10–12	10–14
Gradient max. [°C/m]	2,1	3,3	3,8	2,9	3	3,1	3,8	4	2,6	1,8	1,7
Gradient max. [m]	3	7	7	8	5	7	8	8	8	10	13
Hypolimnion [m]	9	5	7	7	7	7	5	6	5	4	2

Tabela 2. Stratyfikacja termiczna zbiornika Pławniowice w 1997 roku  
Thermal stratification on the Pławniowice dam-reservoir

Warstwa Layer	08.05	27.05	05.06	25.06	10.07	28.07	12.08	29.08	16.09
Epilimnion [m]	3	2	3	4	6	6	6	6	9
Metalimnion [m]	3–6 8–9	2–5	3–6	4–8	6–8	6–8	6–8	6–8	9–11
Gradient max. [°C/m]	1,8	2,3	2,8	5,4	4	3,5	3,3	3,2	2,2
Gradient max. [m]	3	3	3	6	6	6	6	6	6
Hypolimnion [m]	7	11	10	8	8	8	8	8	5

Tabela 3. Stratyfikacja termiczna zbiornika Pławniowice w 1998 roku  
 Thermal stratification on the Pławniowice dam-reservoir

Warstwa Layer	13.05	27.05	24.06
Epilimnion [m]	2	7	4
Metalimnion [m]	2–6	7–8	4–8
Gradient max. [°C/m]	2,3	3,3	5,4
Gradient max. [m]	3	6	6
Hypolimnion [m]	10	9	8

Powyższe zestawienia potwierdzają spostrzeżenie, że początkowo miąższość epilimnionu jest mała (4 m), w miarę upływu okresu stagnacji letniej jego zasięg wzrasta.

Do szczytu stagnacji letniej – przypadającego na okres od końca czerwca do początku września – wzrasta gradient maksymalny termokliny. W okresie lata pogłębia się podział mas wodnych na warstwy termicznie zróżnicowane. Miąższość epilimnionu w szczycie stagnacji letniej wynosi od 2 do 6 metrów. Poniżej kształtuje się warstwa skoku termicznego o miąższości od 3 do 5 metrów. Zasięg hypolimnionu ocenia się na 6 do 8 metrów.

Na podstawie wyników pomiarów temperatury wody określono czas trwania poszczególnych okresów limnologicznych, tj. stagnacji zimowej i letniej oraz cyrkulacji wiosennej i jesiennej. Dla zbiornika Pławniowice, w latach 1996–1998 okresy te przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Czas trwania cyklu limnologicznego w zbiorniku Pławniowice dla okresu 1996–1998  
 The limnological cycle on the Pławniowice dam-reservoir

Okres Period	Stagnacja zimowa The winter stagnation	Cyrkulacja wiosenna The spring cyrclulation	Stagnacja letnia The summer stagnation	Cyrkulacja jesienna The autumn cyrclulation
Czas trwania [doba] Time [day]	30–35	70–80	175–185	70–75

#### ZJAWISKA LODOWE NA ZBIORNIKU

Cechą charakterystyczną, jak się wydaje, badanego zbiornika jest stosunkowo późne zamarzanie wody oraz szybkie zejście pokrywy lodowej. Na przełomie lat 1993–1994 pokrywa lodowa pojawiła się dopiero pod koniec stycznia i utrzymywała się do pierwszych dni marca – około 40 dni. Na przełomie lat 1996–1997 pokrywa lodowa pojawiła się w połowie grudnia i utrzymywała się do pierwszych dni marca – około 80 dni. Zimą natomiast na

przełomie lat 1997 – 1998 pokrywa lodowa nie wystąpiła. Stosunkowo krótka, jak wykazały badania, stagnacja zimowa sprzyja przedłużaniu cyrkulacji jesiennej oraz wcześniejszemu rozpoczynaniu mieszania wiosennego, co z punktu widzenia bilansu tlenowego należy uznać za wybitnie korzystne.

#### NATLENIE WODY

W roku 1976, w marcu obserwowano homooksygenię przy stężeniach 13,0 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. W czasie cyrkulacji wiosennej, w ostatnich dniach maja stwierdzono wysokie stężenie tlenu w powierzchniowej warstwie wody (12,8 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>), a jednocześnie nad dnem wyraźnie niższe (9,4 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>). Wysokie stężenia tlenu w całym słupie wody utrzymywały się aż do pierwszych dni lipca [10].

W czasie stagnacji letniej stężenie tlenu stopniowo zmniejszało się, a szczególnie widoczne było to w hypolimnionie. Jakkolwiek nie doszło do całkowitego wyczerpania tlenu w naddennych warstwach wody, najniższe stężenie tlenu (1,0 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>) zanotowano w ostatnich dniach stagnacji letniej, na przełomie sierpnia i września.

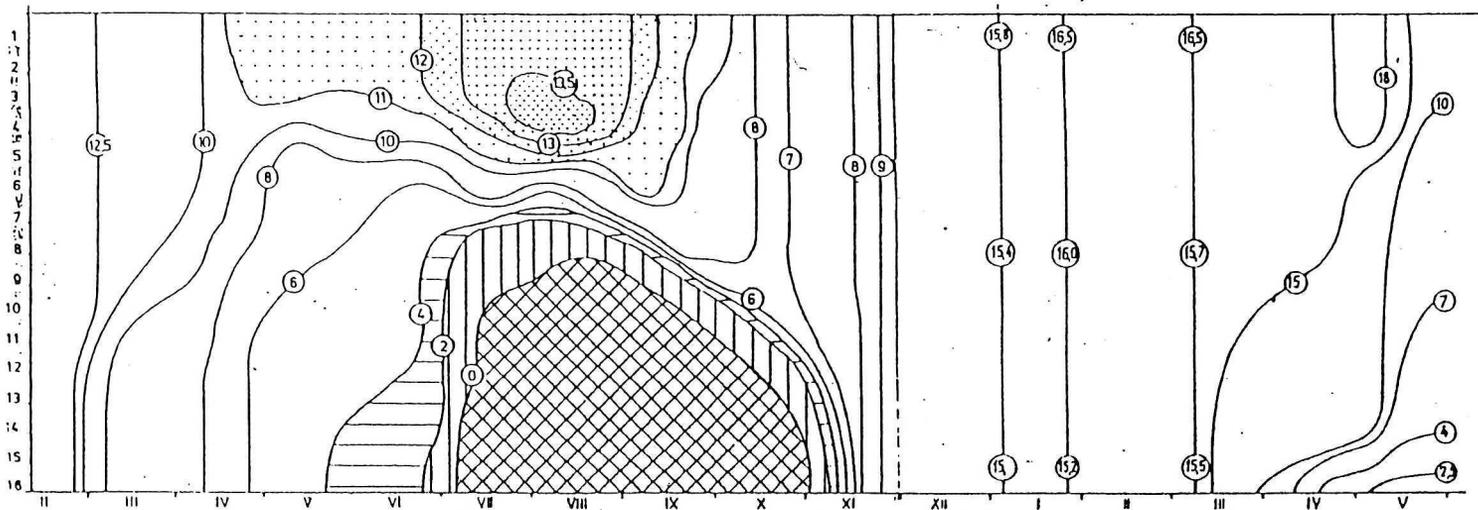
Cyrkulacja jesienna rozpoczęła się na początku września. Na początku października zanotowano układ tlenowy 10,0 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> – 9,0 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. W 1976 roku nie obserwowano charakterystycznego dla stanu eutrofii przetlenienia wody epilimnionu w czasie stagnacji letniej. Nasycenie tlenem nie przekraczało 100%.

Zawartość tlenu w wodzie zbiornika w latach 1993 – 1994 przedstawiono na rysunkach 8 i 9.

Z chwilą rozpoczęcia badań w 1993 roku stwierdzono pełną homooksygenię całego słupa wody. Czas trwania mieszania wiosennego trwał do końca marca, natomiast już w pierwszych dniach kwietnia zanotowano postępujący od dna ku powierzchni spadek stężenia tlenu. Spadek ten objął warstwę sześciometrową od dna do 9. metra głębokości. Kwiecień 1993 roku, mimo iż nie stwierdzono występowania oksykliny, należy zaliczyć do okresu stratyfikacji tlenowej. Już wtedy bowiem stwierdzono wyraźnie początki postępujących ubytków tlenu w hypolimnionie. Cyrkulacja wiosenna zakończyła się w chwili, kiedy stężenie tlenu w całym słupie wody, tj. od powierzchni do dna miało układ 12,5 – 10,0 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. Początki stratyfikacji tlenowej miały układ powierzchnia – dno 12,0 – 8,0 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>.

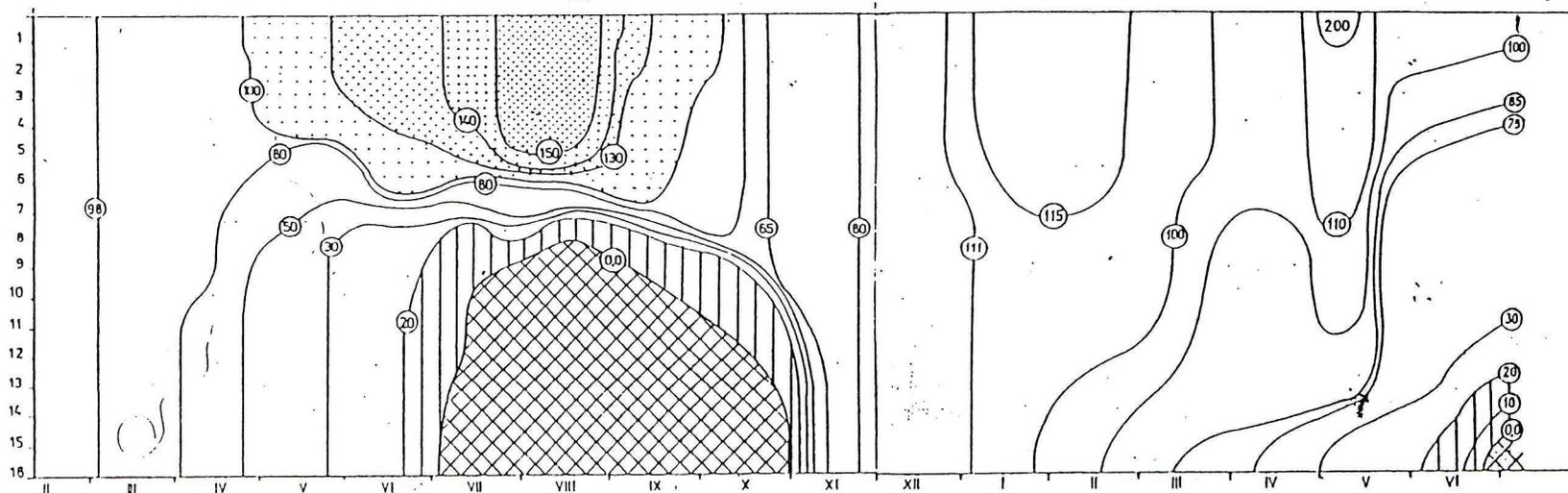
Skok tlenowy zaobserwowano po raz pierwszy na początku maja. Oksykлина, występująca początkowo w wyższych warstwach wody, zwiększała zakres występowania z 1 m w maju do 2 m w czerwcu, a następnie 4 m w lipcu i sierpniu. Podczas miesięcy jesiennych obserwowano obniżanie się poziomu oksykliny w głębsze warstwy wody, a także zawężanie się jej zasięgu z 4 metrów w sierpniu do 2 metrów w październiku.

W 1993 roku podczas całego okresu stagnacji letniej w warstwie epilimnionu występowało bardzo wysokie nasycenie wody tlenem, zawsze wyższe od



Rys. 8. Stężenie tlenu w wodzie zbiornika Pławniowice, 1993–1994

The oxygen concentration of the Plawniowices dam-reservoir water



Rys. 9. Nasylenie (%) tlenem wody zbiornika Pławniowice, 1993–1994

The oxygen saturation (%) of the Plawniowices dam-reservoir water

125%, a czasami przekraczające 150%. Zimą 1993/1994 nie stwierdzono występowania ubytków tlenu ani oksykliny.

Ponownie oksyklina pojawiła się wiosną 1994 r., w maju. Stwierdzono charakterystyczne kształtowanie się gradientu oksykliny w miarę postępowania ubytków tlenu w hypolimnionie. Polegało ono na stopniowym wzroście gradientu. W chwili, kiedy po raz pierwszy stwierdzono skok tlenowy, jego gradient wynosił 1,3 mg O<sub>2</sub>/m. Podczas kolejnych poborów zanotowano jego wzrost do 2,0 mg O<sub>2</sub>/m w końcu maja, 3,1 mg O<sub>2</sub>/m w czerwcu, 5,6 mg O<sub>2</sub>/m w lipcu, 7,0 mg O<sub>2</sub>/m w sierpniu oraz aż 9,2 mg O<sub>2</sub>/m we wrześniu.

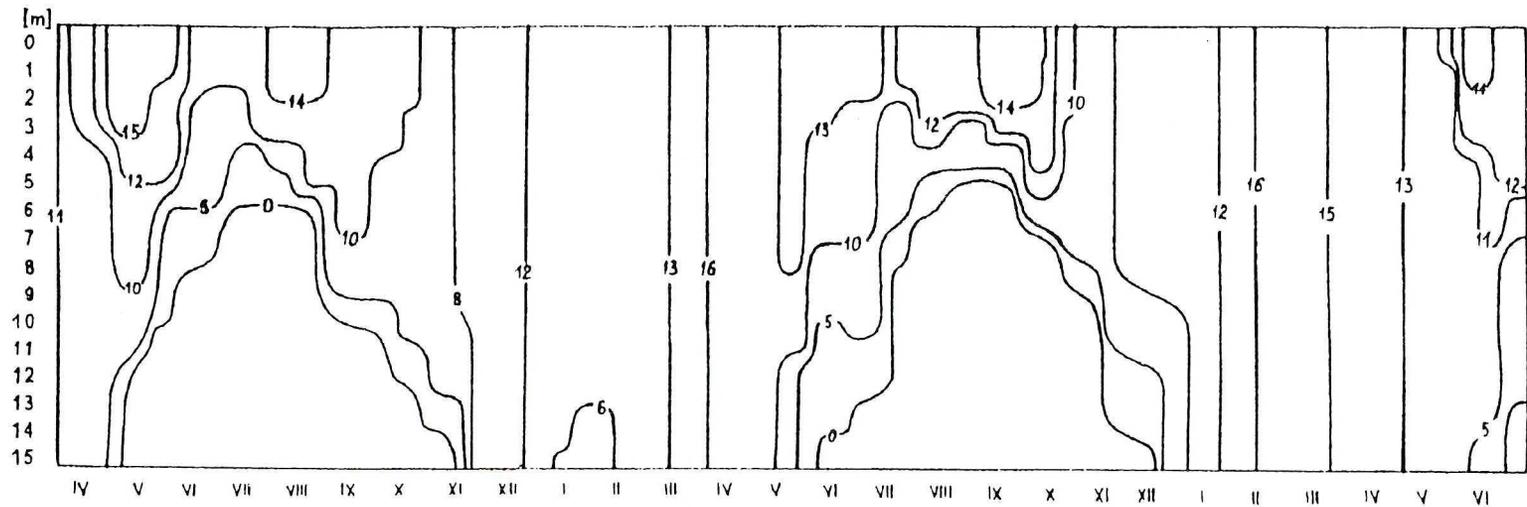
Poniżej oksykliny o wysokim gradiencie zalegał hypolimnion, w wodzie którego od pierwszych dni kwietnia obserwowano początki ubytków tlenowych. Z początkiem lipca stwierdzono, że od 8. metra głębokości aż do dna, w wodzie zbiornika tlen został całkowicie wyczerpany. Stężenie tlenu w epilimnionie wynosiło w tym czasie 13,2 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> przy powierzchni oraz 11,9 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> na górnym poziomie oksykliny, natomiast poniżej skoku tlenowego, tj. od 10. metra głębokości aż do dna, woda była całkowicie pozbawiona tlenu. W połowie sierpnia sytuacja pogorszyła się jeszcze i w tym czasie, kiedy w epilimnionie nasycenie wody przekroczyło 150%, w hypolimnionie nie stwierdzono obecności tlenu poniżej 8. metra głębokości.

Na początku maja 1994 r. stwierdzono, że w krótkim czasie stopień nasycenia wody tlenem wzrósł w 2-metrowej warstwie epilimnionu do 200%. Następnie do ponad 150% w warstwie do 5. metra głębokości. Jednocześnie nad dnem zanotowano początki silnych ubytków tlenu, do 1,5 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, tj. 28% nasycenia. W krótkim czasie nastąpił zanik tlenu w hypolimnionie.

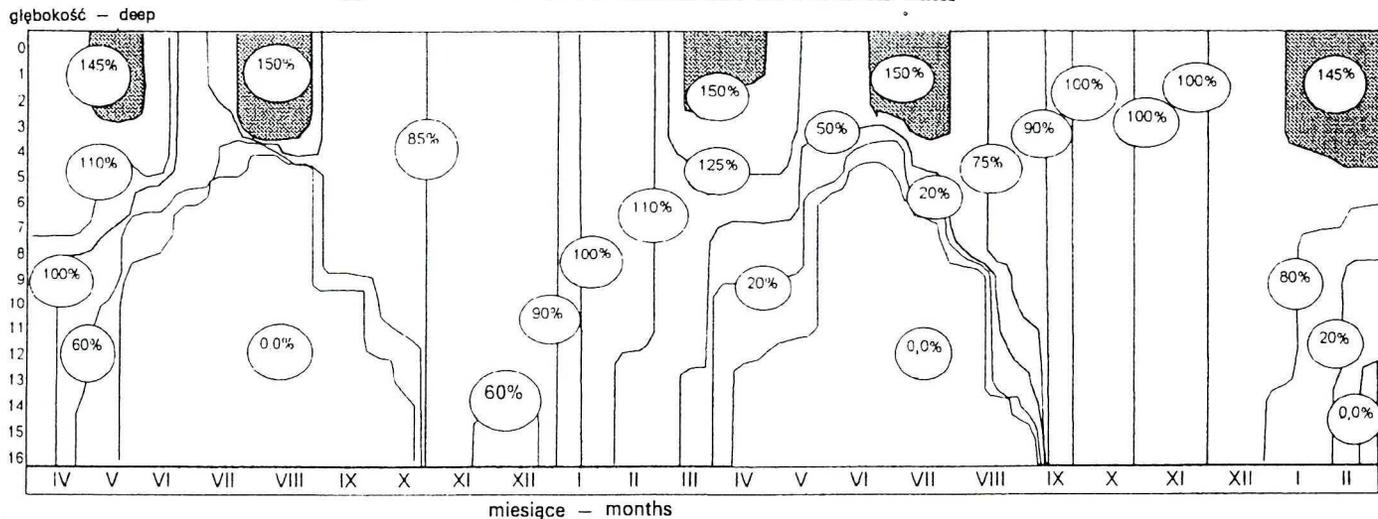
Sytuacja, kiedy w wodzie hypolimnionu obserwowano całkowite wyczerpanie tlenu, a jego deficyt wynosił 100%, utrzymywała się od pierwszych dni lipca do początków listopada. W tym okresie masy wody zbiornika stratyfikowały na warstwy silnie zróżnicowane pod względem zawartości tlenu. Bardzo silnie natleniony epilimnion (od 135% do 200%) w trakcie stagnacji letniej oddzielony był od całkowicie odtlenionego hypolimnionu oksykliną o wysokim gradiencie (przeciętnie 5,6 mg O<sub>2</sub>/m).

Z chwilą rozpoczęcia się okresu mieszania jesiennego stężenie tlenu w epilimnionie spadło do 7,0 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. Było to najprawdopodobniej skutkiem wymieszania natlenionej wody epilimnionu z wodą odtlenioną z głębszych warstw.

Na wykresach (Rys. 10 i 11) przedstawiono zmiany stosunków tlenowych w wodzie zbiornika w latach 1996–1998. Od momentu ukształtowania się stratyfikacji termicznej następował podział mas wodnych zbiornika na warstwy zróżnicowane pod względem ilości rozpuszczonego tlenu. Na podstawie wykonanych pomiarów obliczono, że w roku 1996, od maja do sierpnia w ciągu 7 dni następowało odtlenienie 1-metrowej warstwy wody, począwszy od dna, w kierunku powierzchni. Całkowity deficyt tlenu doszedł po około 80 dniach do 4. metra pod powierzchnią. W tym samym roku tempo natlenienia wody w czasie cyrkulacji jesiennej było podobne. W okresie od największego



Rys. 10. Stężenie tlenu w wodzie zbiornika Pławniowice 1996–1998  
The oxygen concentration of the Pławniowices dam-reservoir water



Rys. 11. Nasycenie (%) tlenem wody zbiornika Pławniowice 1996–1998 roku  
The oxygen saturation (%) of the Pławniowices dam-reservoir water

deficytu tlenowego (koniec sierpnia) do pełnej homooksygenii (druga dekada listopada), w ciągu około 7 dni następowało natlenienie 1-metrowej warstwy wody, począwszy od warstw przypowierzchniowych, do dna.

W roku 1997 szybkość wyczerpywania tlenu była większa. Odtlenienie 1-metrowej warstwy wody następowało w czasie około 5 dni. Natomiast natlenianie 1-metrowej warstwy wody w czasie mieszania jesiennego trwało dłużej, bo około 8 dni/1 m.

Z przedstawionych rysunków obrazujących stosunki tlenowe w zbiorniku widać wyraźnie, że sytuacja tlenowa jest katastrofalna. Silnemu przetlenieniu epilimnionu towarzyszy całkowite wyczerpanie tlenu już od 5. metra głębokości.

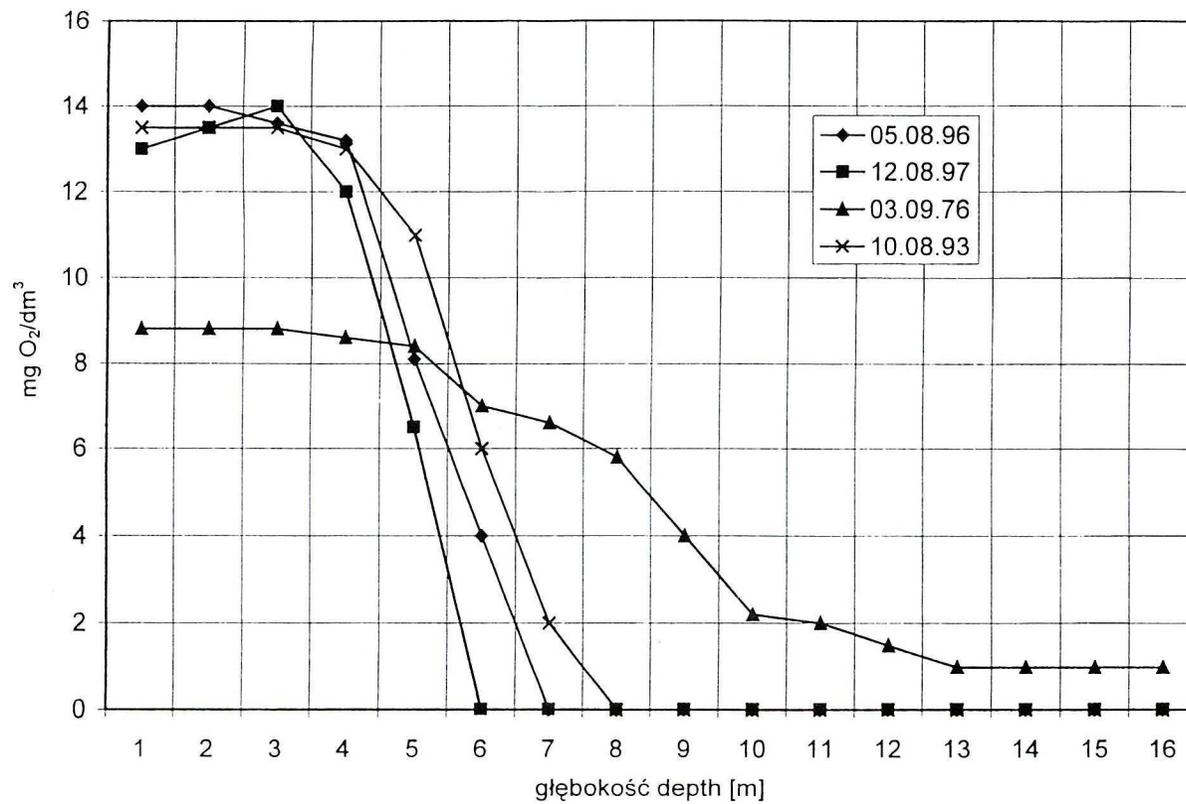
## DYSKUSJA WYNIKÓW

Stosunki tlenowe są odzwierciedleniem stopnia zeutrofizowania zbiornika wywołanego nadmiernym dopływem mineralnych związków azotu i fosforu [6, 7, 11, 25]. W przypadku zlewni o charakterze rolniczym substancje te są to w znacznej części wymywane z gleb zlewni nawozy mineralne oraz pochodzące ze ścieków bytowo-gospodarczych [16, 17]. Dopływ związków azotu i fosforu w ilościach przekraczających obciążenie dopuszczalne [7, 8, 13–15] wywołuje tak dużą produkcję pierwotną w jeziorze, że na jej rozkład nie wystarcza tlenu zawartego w wodzie poniżej epilimnionu.

W miarę upływu czasu obserwowano tendencję do zaostrzenia podziału termicznego. Znalazło to wyraz we wzroście gradientów termokliny. Jak widać (Rys. 6 i 7), maksymalne gradienty występują regularnie w czerwcu. Po osiągnięciu przez górne warstwy wody wyższych temperatur (około 17–20°C) wartość maksymalna gradientów obniża się i stabilizuje w zakresie około 3–4 °C/m. Stwierdzono także, że zakładająca się wczesną wiosną na 8–9. metrze głębokości warstwa skoku termicznego początkowo rozciąga się między 5. a 11. metrem. W miarę upływu okresu wiosenno-letniego jego miąższość zmniejsza się, a jednocześnie poziom występowania przemieszcza się ku powierzchni zbiornika.

W pełni stagnacji letniej zasięg epilimnionu jest płytki i wynosi 4–5 m. Pod nim zalega cienki metalimnion, a poniżej chłodny, o wyrównanych temperaturach, hypolimnion.

Na uwagę zasługuje występowanie zmiennych, różnych w poszczególnych latach, temperatur hypolimnionu. W roku 1996 temperatury były niższe aniżeli w latach następnych. Świadczy to o zmienności warunków klimatycznych [8, 20]. Warunki termiczne rzutują na przebieg procesów przemiany materii, a dokładniej procesy redukcyjne w trofolitycznej strefie zbiornika [3, 13, 15, 21]. Należy przypuszczać, że w latach, w których warunki meteorologiczne (np. pokrywa chmur, niższe temperatury w okresie kwiecień–czerwiec, nasilone opady) sprzyjają będą utrzymaniu niższych temperatur hypolimnionu, procesy



Rys. 12. Stężenie tlenu w szczycie stagnacji letniej, w zbiorniku Pławniowice  
The oxygen concentration of summer stagnation on the Pławniowice dam-reservoir

biochemiczne i biologiczne zachodzące w naddennych warstwach wody przebiegać będą wolniej. Z kolei w latach ciepłych, w których wystąpią podwyższone temperatury hypolimnionu, procesy te będą intensywne.

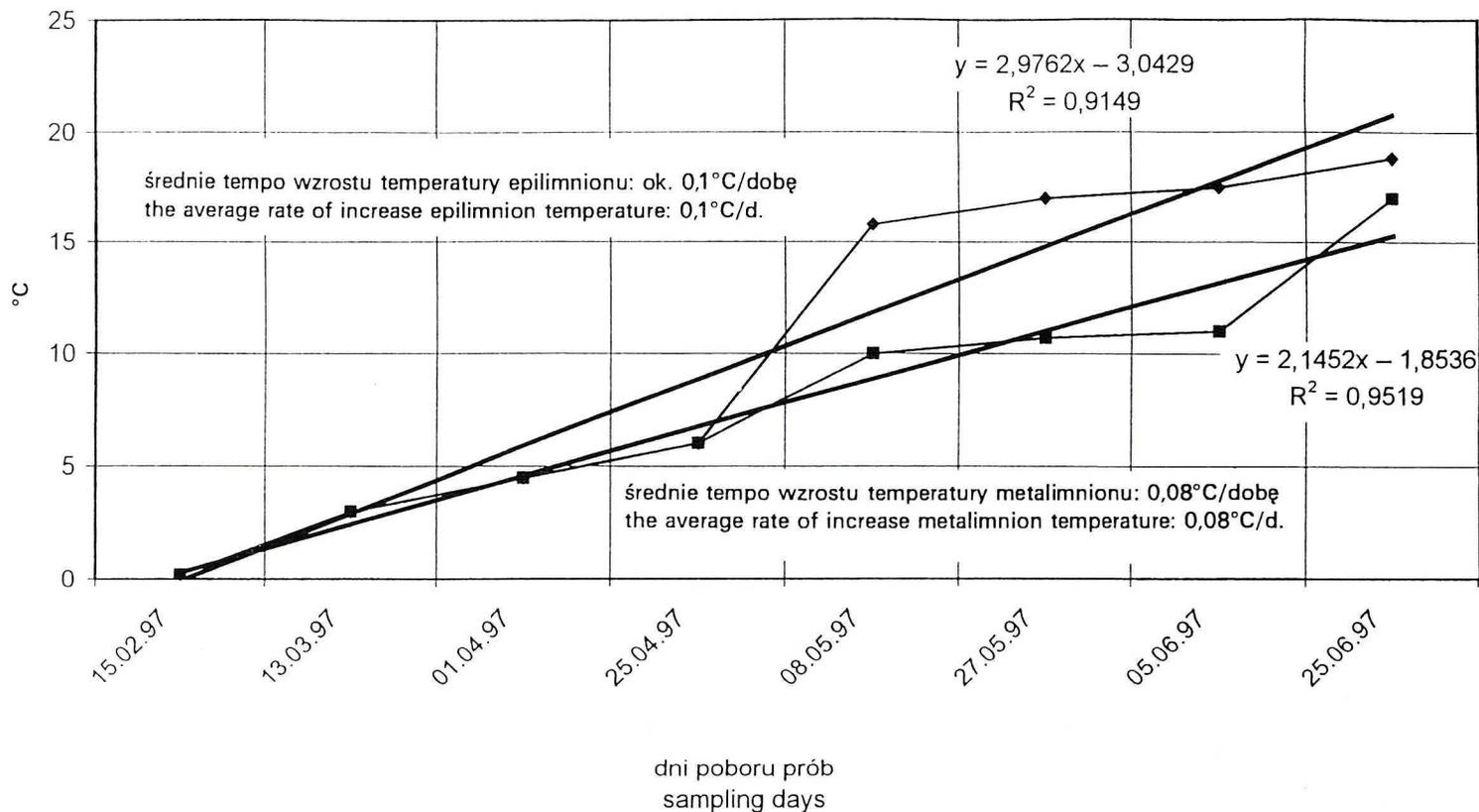
Szybkość ochładzania wody epi-, meta- i hypolimnionu, w 1996 roku wynosząca około  $0,1^{\circ}\text{C}/\text{dobę}$ , była równa szybkości nagrzewania się w roku następnym. Szybkość spadku temperatury metalimnionu wynosiła  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{m}$ , była więc taka sama, jak dla metalimnionu w roku 1997. Szybkość nagrzewania się powierzchniowych warstw wody badanego zbiornika w 1997 roku przedstawiono na rysunku 13. Średni dobowy wzrost temperatury epilimnionu wynosił około  $0,1^{\circ}\text{C}/\text{dobę}$ . W tym czasie temperatura metalimnionu wzrastała z szybkością około  $0,08^{\circ}\text{C}/\text{dobę}$ . Szybkość obniżania się temperatury wody w czasie mieszania jesienno 1997 roku w hypolimnionie oszacowano na około  $0,09^{\circ}\text{C}/\text{dobę}$ , w metalimnionie wskaźnik ten wynosił  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{dobę}$  (Rys. 14). Widać więc, że zbiornik Pławniowice szybko się nagrzewa, a następnie w ciągu dłuższego czasu oddaje temperaturę, stanowiąc „magazyn ciepła”.

Obserwacje zmian temperatury wody hypolimnionu charakteryzuje pozioma linia trendu. Analiza szybkości nagrzewania i ochładzania mas wodnych zbiornika wskazuje, że z uwagi na wpływ temperatury na procesy wewnętrz-zbiornikowe, można zakładać ich regularność.

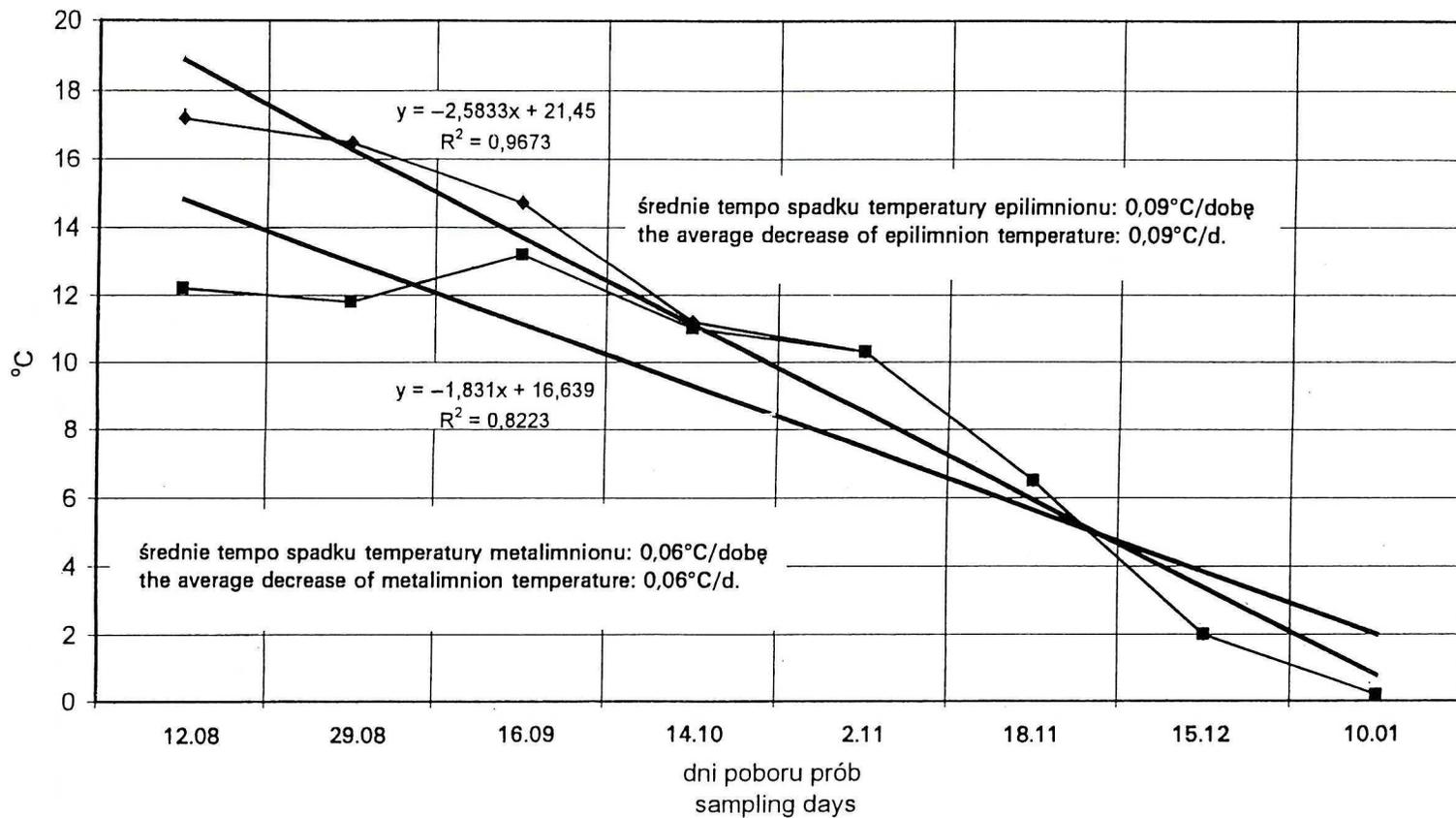
Objawami zachwiania równowagi pomiędzy procesami produkcji i rozkładu w zbiornikach wodnych są: zmiany jakości wody, gwałtowny rozwój niektórych gatunków fitoplanktonu i będące jego konsekwencją postępujące odtlenienie hypolimnionu w okresie stagnacji letniej i zimowej. Powoduje to stopniowe uruchomienie tzw. wewnętrznego wzbogacania wód w pierwiastki biogenne, odkładane uprzednio w osadach dennych, i nowego, odmiennego etapu eutrofizacji jezior [14].

Wieloletnie obserwacje stosunków termicznych wykazały, że badany zbiornik cechuje obecnie silna stratyfikacja termiczna i tlenowa w okresie stagnacji letniej. W tym czasie masy wodne zbiornika podzielone są na warstwy termicznie i tlenowo zróżnicowane, co ogranicza stopień wymiany pomiędzy epi – a hypolimnionem oraz utrudnia wymieszanie wody w czasie cyrkulacji jesiennej. Porównanie stosunków termicznych mas wody panujących w zbiorniku w roku 1976 z warunkami z lat 1993–1994 oraz 1997–1998 wykazuje podobieństwo w zakresie wysokości temperatury wody w poszczególnych okresach roku. Różnice stwierdzono w poziomie występowaniu termokliny oraz jej gradiencie, a także w czasie zakładania się stratyfikacji termicznej, co pozostaje w związku z warunkami klimatycznymi w danym roku.

Z punktu widzenia zmian jakości wody w zbiorniku oraz procesów wewnątrz-zbiornikowych istotna jest wielkość gradientu termokliny, jako czynnika stanowiącego barierę dla zasięgu efektywnego mieszania wody [8, 13–15]. Porównanie kolejnych okresów badawczych pozwala stwierdzić, że na przestrzeni lat, w przypadku termokliny wzrosła ostrość podziału na warstwy termicznie zróżnicowane, co wyraża się:



Rys. 13. Tempo wzrostu temperatury epi- i metalimnionu zbiornika Pławniowice, 1997  
The increase of epi- and metalimnion temperature



Rys. 14. Schładzanie wody epi- i metalimnionu zbiornika Pławniowice, 1997  
The decrease of epi- and metalimnion temperature

- znacznym wzrostem wartości gradientów (z max. 2,5 do max. 5,6°C/m),
- zawężeniem zasięgu występowania gradientów termicznych.

Pierwsze badania wykazały także [1, 9–11, 18, 19, 23, 24] stopniowe pogarszanie się stosunków tlenowych. Ma to związek z szybko postępującą eutrofizacją zbiornika, na co wpływa niewątpliwie rolniczy charakter zlewni. Stratyfikację tlenową wód zbiornika stwierdzono już w rok po wypełnieniu wodą Potoku Toszeckiego wyrobiska po kopalni piasku. W 1976 roku maksymalny gradient oksykliny wynosił 2,0 mg O<sub>2</sub>/m. W latach 1993–1994 stwierdzono bardzo silną stratyfikację z gradientami oksykliny 5,2 mg O<sub>2</sub>/m. Z czasem podział ten zaostrzał się i w latach 1997–1998 maksymalny gradient oksykliny wynosił 9 mg O<sub>2</sub>/m.

Lossow [13,14] zwraca uwagę na skutki nierównomiernego rozmieszczenia tlenu w czasie stratyfikacji, szczególnie na przetlenienie epilimnionu oraz ubytki w hypolimnionie. Intensywnie przebiegające w zbiorniku procesy produkcji pierwotnej powodują, że w czasie stagnacji letniej, w epilimnionie (o miąższości 4–6 m) badanego zbiornika nasycenie wody tlenem przekracza 150% i dochodzi okresami do 200%. Towarzyszy temu także wzrastający na przestrzeni lat odczyn wody epilimnionu w czasie stagnacji letniej (Rys. 14), będący wynikiem intensywnych procesów fotosyntezy, w okresie lata, którym towarzyszy silne zmniejszenie przezroczystości wody (do 0,8 m) oraz wysoki odczyn [12, 25]. W roku 1976 najwyższa wartość odczynu wody w hypolimnionie wynosiła pH = 8,4. W roku 1993 zanotowano pH = 9,6, w roku 1998 zaś pH = 10,7. Poniżej metalimnionu występuje absolutny deficyt tlenowy, tj. całkowity brak tlenu od 4. metra głębokości aż do dna. W tej warstwie odczyn wody w szczycie stagnacji letniej wynosi 6,5.

Należy podkreślić, że skok tlenowy pojawia się wcześniej niż termoklina. Wskazuje to na bardzo intensywne procesy zużywania tlenu w hypolimnionie (Rys. 12).

Obecnie oksykлина występuje już od połowy maja. W czasie stagnacji letniej zwiększa swój zasięg, wzrastają także jej gradienty. W szczycie stagnacji letniej 1998 r. gradient maksymalny wynosił 9,2 mg O<sub>2</sub>/m. Widać, że deficyt tlenu obejmuje coraz wyższe warstwy wody.

Wykonane badania pozwoliły na obliczenie, że w roku 1996, w okresie od maja do sierpnia, odtlenienie 1-metrowej warstwy wody następowało w ciągu 7 dni, począwszy od dna, w kierunku powierzchni. Całkowity deficyt tlenu doszedł po około 80 dniach do 4 metra pod powierzchnią (Rys. 12). Tempo natlenienia wody w czasie cyrkulacji jesiennej było podobne. W okresie od największego deficytu tlenowego (koniec sierpnia) do pełnej homooksygenii (druga dekada listopada), w ciągu około 7 dni następowało natlenienie 1-metrowej warstwy wody, począwszy od warstw przypowierzchniowych do dna.

W roku 1997 szybkość wyczerpywania tlenu była jeszcze większa. Odtlenienie 1-metrowej warstwy wody następowało w czasie około 5 dni. Natomiast natlenianie 1-metrowej warstwy wody w czasie mieszania jesienno-trwało dłużej, bo około 8 dni.

Z przedstawionych rysunków obrazujących stosunki tlenowe w zbiorniku widać wyraźnie, że sytuacja tlenowa systematycznie pogarsza się. Silnemu przetlenieniu epilimnionu (200%) towarzyszy całkowite wyczerpanie tlenu już od 4. metra głębokości. W zmniejszającym na przestrzeni lat swą miąższość metalimnionie od wiosny do końca lata następuje stopniowy wzrost gradientów oksykliny.

## WNIOSKI

W czasie 23 lat istnienia, w stosunkach termiczno-tlenowych zbiornika pławniowickiego zaszły duże zmiany. Dotyczą one przede wszystkim uwarstwienia mas wodnych oraz zawartości tlenu.

Obecnie zbiornik stratyfikuje na płytki (4 m) epilimnion o temperaturach (18–20°C) silnie zależnych od zmian termiki powietrza, początkowo rozciągnięty, lecz zmniejszający w czasie stagnacji letniej miąższość metalimnion, oraz chłodny (5–8°C) hypolimnion.

Położenie termokliny oraz temperatury hypolimnionu wskazują na eumiksję zbiornika [19]. Obserwowany w niektórych latach brak pokrywy lodowej lub jej krótkotrwałe występowanie stwarzają korzystne warunki do występowania przedłużonej cyrkulacji jesiennej.

Dla okresu 1996–1998 czas trwania stagnacji zimowej wynosił 30–35 dni, cyrkulacji wiosennej 70–80 dni, stagnacji letniej 175–185 dni oraz cyrkulacji jesiennej 70–75 dni.

Teoretyczny zasięg efektywnego mieszania wyliczony wg wzoru Patalasa wynosi 8 m. Jest to więcej, aniżeli zasięg epilimnionu u szczytu stagnacji letnich stwierdzony podczas pomiarów w poszczególnych okresach badań. Wynika z tego, że zaostrzenie się termicznej stratyfikacji jest czynnikiem ograniczającym napowietrzanie wód zbiornika.

Opisane stosunki tlenowe wyrażające się silnym przetlenieniem epilimnionu oraz całkowitym brakiem tlenu w hypolimnionie, a także występowanie w naddennej 2-metrowej warstwie wody siarkowodoru, wskazują na osiągnięcie przez zbiornik stanu hipertrofii.

Zbiornik Pławniowice jest zbiornikiem dimiktycznym, stabilnym [4]. W okresie 23 lat istnienia zbiornika zaszły niewielkie zmiany w kształcie i nachyleniu stoku dna strefy litoralnej. Pod względem mieszania zbiornik spełnia warunki IV stopnia wg Patalasa [21, 22], jest zatem zbiornikiem silnie stratyfikującym na warstwy termicznie zróżnicowane, co ogranicza stopień wymiany pomiędzy epi- a hypolimnionem. Zbiornik ma powierzchnię strefy litoralnej mniejszą od strefy pelagicznej, co klasyfikuje go jako III typ wg Dołgoffa [2]. Czas retencji wody w zbiorniku wynosi 2–2,5 roku, co wg Starmacha [24] klasyfikuje go jako skrajnie limniczny.

Stan zbiornika oraz szybkość zachodzących zmian wskazuje, że konieczne jest objęcie zbiornika pławniowickiego szczególną ochroną lub poddanie

zbiornika zabiegom rekultywacyjnym. Pozostawienie zbiornika bez ochrony spowoduje w krótkim czasie jego całkowitą degradację i uniemożliwi wykorzystywanie go zarówno jako źródła wody przemysłowej, jak i miejsca rekreacji.

Badania przedstawione w niniejszej pracy zostały sfinansowane ze środków Śląskiego Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach.

## LITERATURA

- [1] *Charakterystyka niewielkich zbiorników powierzchniowych na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego i możliwości ich wykorzystania* Mat. Zakładu Badań Naukowych PAN, Zabrze 1966 (nie publ.).
- [2] Dołgoff G.J.: *Morfologia zbiornika wodnego jako czynnik zarastania makrofitami i zakwitów wody*. Wyd. AN ZSRR, Leningrad 1948.
- [3] Eberly W.R.: *The use of oxygen deficit measurement as an index of eutrophication in temperate dimictic lakes*, Werh. Internat. Verein. Limnol., **19** (1), 439–441 (1975).
- [4] Hutchinson G.E.: *A treatise of limnology*, V.1, New York 1957.
- [5] *Hydrobiologiczna charakterystyka rekreacyjnych zbiorników Leśnego Pasa Ochronnego Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego*, Uniwersytet Śląski, Wyższa Szkoła Wychowania Fizycznego, Katowice 1976 (nie publ.).
- [6] Januszkiewicz T.: *Zagadnienie fosforu w eutrofizacji i ochronie wód*, Gosp. Wod., **2**, 8–12 (1975).
- [7] Januszkiewicz T.: *Jezióra jako odbiorniki ścieków – skutki zanieczyszczenia i sposoby ochrony*, Wiad. Ekol. **18** (2), 141–147 (1972).
- [8] Kajak Z.: *Hydrobiologia-Limnologia, ekosystemy wód śródlądowych*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1998, 1–355.
- [9] Kostecki M.: *Jakość wody w niewielkich zbiornikach pochodzenia poprzemysłowego na terenie GOP-u*, Gosp. Wod., **10**, 4–7, (1974).
- [10] Kostecki M.: *Chemizm wody oraz podstawowe wskaźniki określające intensywność krążenia materii w zbiorniku zaporowym w Pławniowicach*, Ochr. Środow., **3–4**, 163–182 (1977).
- [11] Kostecki M.: *Dynamika przemian oraz wstępny bilans podstawowych form azotu i fosforu w zbiorniku zaporowym w Pławniowicach*, Arch. Ochr. Środow., **1** (1978).
- [12] Leuven S.E.W., G.van der Velde, H.L.M. Kersten: *Interrelation between pH and other physico-chemical factors of Dutch soft water*, Arch. Hydrobiol., **126**, 1, 27–51 (1992).
- [13] Lossow K.: *Wpływ sztucznej destryfikacji na układy fizyczno-chemiczne wód Jez. Starodworskiego*, Zesz. Nauk. ART Olsztyn, **11**, 3–66 (1980).
- [14] Lossow K.: *Metody ochrony i rekultywacji zbiorników wodnych*, Mat. Konf. Ochrona Środowiska Człowieka ze Szczególnym Uwzględnieniem Rekreacji, 147–160 (1972).
- [15] Lossow K., H. Drozd, Cz. Mientki: *Termika i układy tlenowe w Jeziorze Długim, w Olsztynie*, Zesz. Nauk. ART Olsztyn, **9**, 3–15 (1979).
- [16] Ohle W.: *Phosphor als initial Faktor der Gewassereutrophierung*, Vom Wasser., **20**, 1–83 (1953).
- [17] Ohle W.: *Nährstoffanreicherung der Gewässer durch Düngemittel und Meliorationen*, Munchner Beitrage, **12**, 1–83 (1965).
- [18] *Określenie jakości wód powierzchniowych na terenie Leśnego Pasa Ochronnego GOP i możliwości ich wykorzystania do celów rekreacji*, Mat. Zakładu Badań Naukowych PAN, Zabrze 1970 (nie publ.).
- [19] *Określenie zmian jakości wód oraz ocena stopnia zagrożenia środowiska wodnego w rejonie zbiornika zaporowego „Pławniowice” po 18-letnim okresie eksploatacji*, Praca IPIŚ–PAN, Zabrze 1994 (nie publ.).

- [20] Olszewski P.: *Stopnie nasilenia wpływu wiatru na jeziora*, Zesz. Nauk. WSR Olsztyn, **4**, 1–83, 1959.
- [21] Patalas K.: *Stosunki termiczne i tlenowe oraz przezroczystość wody w 44 jeziorach okolic Węgorzewa*, Roczniki Nauk Rolniczych, **77-B-1**, 105–222 (1960).
- [22] Patalas K.: *Mieszanie wody jako czynnik określający intensywność krążenia materii w różnych morfologicznie jeziorach okolic Węgorzewa*, Roczniki Nauk Rolniczych, **T-77-B-1** (1960).
- [23] *Prognozowanie zakwitu glonów i określenie metod przeciwdziałania temu procesowi w zbiorniku Pławniowice*, IOŚ, Wrocław 1987.
- [24] *Raport końcowy z wykonania prac badawczo-rozwojowych. Projekt celowy: Badania limnologiczne zbiornika zaporowego w Pławniowicach*, Prace IPIŚ–PAN, Zabrze 1998 (nie publ.).
- [25] Starmach K.: *Wody śródlądowe. Hydrobiologiczne podstawy użytkowania przez wodociągi wód płytkich zbiorników zaporowych*, Skrypt WSR Olsztyn, 1954.

Wpłynęło: 18 kwietnia 2000, zaakceptowano do druku: 11 października 2000.