

**Bartłomiej NAJBAR, Andrzej JĘDRZAK\***

## **STOPIEŃ ZEUTROFIZOWANIA WÓD ZBIORNIKÓW „POJEZIERZA ANTROPOGENICZNEGO”**

### *Streszczenie*

Prześlędzono zmiany kilkunastu fizycznych i chemicznych wskaźników oraz produktywności ich wód, mierzonej przezroczystością, zawartością chlorofilu-a oraz produkcją pierwotną w profilu pionowym, 24 zbiorników „pojezierza antropogenicznego” (rys. 1-12).

Wyróżniono 3 grupy zbiorników: acidotroficzne, przejściowe i „obojętne”, różniące się przede wszystkim odczynem wody i potencjałem redoks. Grupa acidotroficzna reprezentuje zbiorniki najmłodsze (kilkudziesięcioletnie), przejściowa -wiek średni, „obojętne” zbiorniki najstarsze (powyżej 100 lat).

Wyróżniono dwa typy i dwa podtypy limnologiczne zbiorników:

- typ oligotroficzny podtyp acidotroficzny (grupa zbiorników acidotroficznych nr nr 8, 14, 15, 17 – 24),
- typ eutroficzny, podtyp stawowy (grupa zbiorników przejściowych i „obojętnych” nr nr 1-3, 4, 5, 6, 79 – 13, 16).

### **1. WSTĘP**

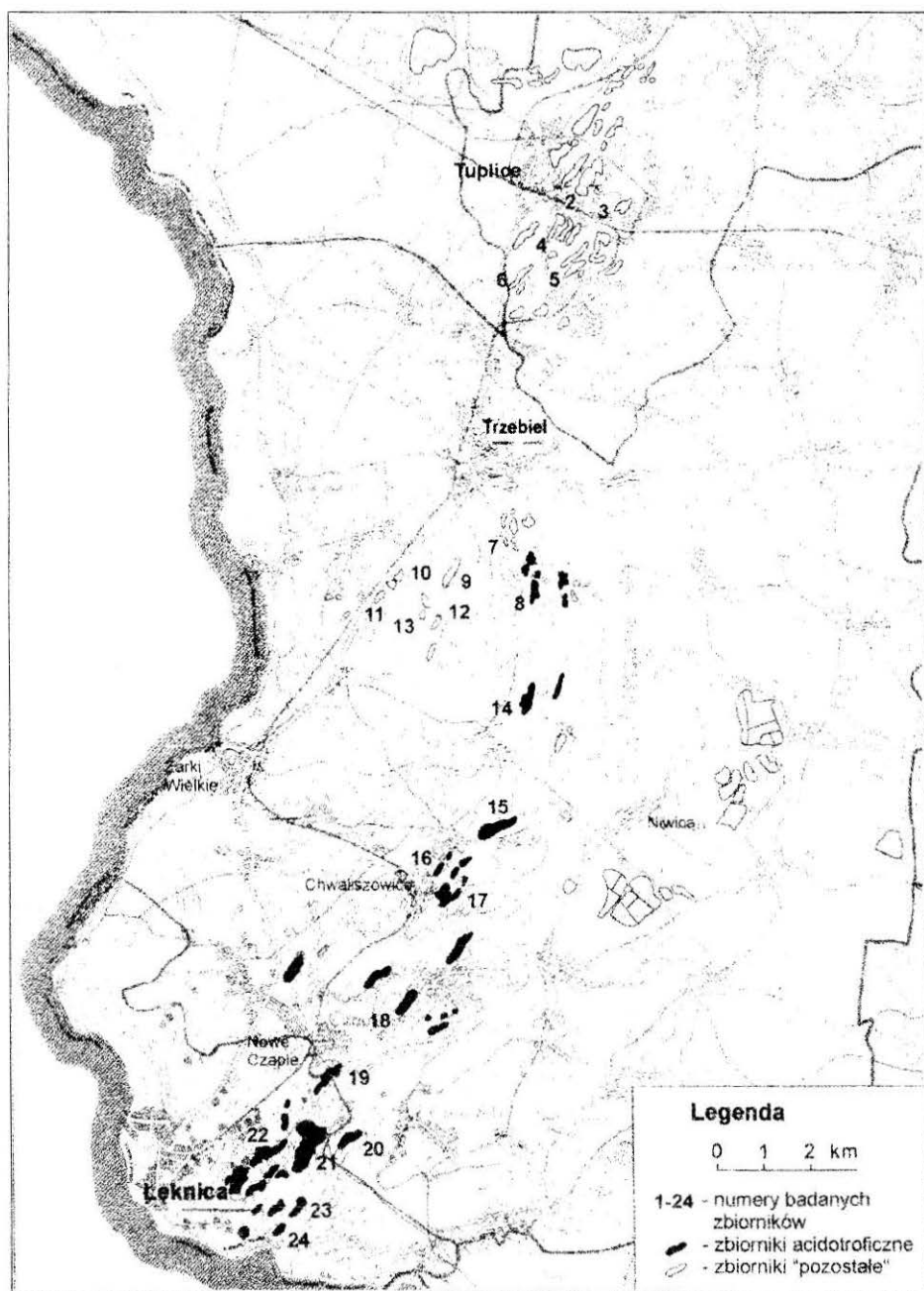
We wschodniej części Łuku Mużakowskiego, pomiędzy Tuplicami i Łęknicą (woj. zielonogórskie) znajduje się największe w kraju skupisko sztucznie utworzonych zbiorników nazwanych przez Kozackiego (1976) „pojezierzem antropogenicznym” (rys. 1).

Geneza tych zbiorników wiąże się z wydobyciem węgla brunatnego, rozpoczętym w drugiej połowie XIX w. w rejonie Tuplic a zakończonym w okolicach Łęknicy w roku 1974. Wiek tych zbiorników wynosi obecnie od 24 lat do powyżej 100. Węgiel wydobywano metodą odkrywkową i wgłębną, w związku z tym wyróżniono trzy typy zbiorników: wyrobiskowy, zapadliskowy i mieszany (Kozacki 1976).

---

\* dr hab. inż. Andrzej Jędrzak, - Zakład Technologii Wody Ścieków i Odpadów, Politechnika Zielonogórska

dr inż. Bartłomiej Najbar - Zakład Odnowy Środowiska, Politechnika Zielonogórska



Rys. 1 „Pojezierze antropogeniczne (wschodnia część Łuku Mużakowskiego)”



Pierwsze skąpe informacje o jakości wód zbiorników powyrobiskowych podają: Kozacki (1976) oraz Mendaluk i Wróbel (1977), wskazując na ich nietypowy skład chemiczny, odbiegający od przeciętnego dla wód powierzchniowych w naszym kraju. Zwrócono uwagę na obecność zbiorników o wodach kwaśnych, których odczyn nie przekraczał 4,0 pH. Matejczuk (1986), który około 10 lat później przeprowadził badania kilkunastu zbiorników o wodach kwaśnych, stwierdził występowanie wód o odczynie poniżej 3,0 pH, zawierających ogromne ilości żelaza i siarczanów.

Przyczyną zakwaszenia tych wód był towarzyszący pokładom węgla piryt, który wyniesiony na powierzchnię ulegał złożonym procesom utleniania i hydrolizy, prowadzącym do powstania kwasu siarkowego i siarczanu żelaza.

Badania wód „pojezierza antropogenicznego” w latach 80-tych i 90-tych (Solski, Jędrzak, Matejczuk 1988; Solski, Jędrzak 1990; Solski Jędrzak 1991a i b; Jędrzak 1992; Jilek, Jędrzak 1995) znacznie poszerzyły wiedzę o składzie chemicznym tych wód, jak też o procesach zachodzących w zbiornikach powyrobiskowych. Stwierdzono, że wody około połowy zbiorników były kwaśne (poniżej 4,0 pH) i zaliczono je do grupy acidotroficznej. Odczyn wód pozostałych zbiorników zbliżony był do obojętnego, co stało się w wyniku zachodzących w nich przez dziesiątki lat procesów chemicznych i biologicznych (Jędrzak 1992).

O ile skład chemiczny wód zbiorników acidotroficznych i zachodzące w nich procesy zostały w miarę bliżej poznane, to w przypadku grupy zbiorników o wodach zbliżonych do odczynu obojętnego, znany był tylko skład chemiczny wód warstwy powierzchniowej (Solski, Jędrzak, Matejczuk 1988; Solski, Jędrzak 1990). Badań fizyczno-chemicznych wód tych zbiorników, w profilu pionowym, dotychczas nie wykonano.

Uznano zatem za celowe przeprowadzenie takich badań, poszerzając je o wskaźniki, charakteryzujące zdolność produkcyjną zbiorników (produkcja pierwotna, zawartość chlorofilu a).

W tym celu wybrano 24 zbiorniki, rozmieszczone na całym obszarze „pojezierza antropogenicznego”, chodziło bowiem o objęcie badaniami zbiorników najstarszych (ponad 100 letnich), w wieku średnim i najmłodszych.

Z dotychczasowych badań wynika, że każdy zbiornik „pojezierza antropogenicznego” w początkowej fazie powstawania znajdował się na etapie najsilniejszego zakwaszenia wody. Z upływem czasu wody zbiorników acidotroficznych, w wyniku procesów chemicznych i biologicznych ulegały zubożeniu (Jędrzak 1992).

W zależności od indywidualnych cech poszczególnych zbiorników (geneza, wielkość, głębokość, morfometria misy, skład chemiczny wody i osadów dennych, wiek) oraz położenia (otaczające hałdy i lasy, rodzaj brzegów, zjawiska hydrogeologiczne itp.), rozwój każdego z nich mimo pewnych podobieństw, przebiegał w sposób dla niego typowy. Dochodzi do zróżnicowania w zakresie procesu zubożenia ich wód, wzbogacania w sole pokarmowe, rozwoju biocenozy, a tym samym postępu procesów eutrofizacji.

Spośród wybranych 24 zbiorników, jednaście posiadało odczyn wody silnie kwaśny (grupa acidotroficzna), kolejne jednaście - wody o odczynie obojętnym, zaś pozostałe dwa słabo kwaśnym.



Badania, które trwały dwa lata (1993/94) wykazały zatem obecność 3 grup zbiorników (acidotroficzne, przejściowe i „obojętne”) oraz dwóch typów limnologicznych (oligotroficzne i eutroficzne), różniących się:

- fizyczno chemicznymi cechami ich wód, a przede wszystkim odczynem, potencjałem redoks i zasoleniem,
- produktywnością ich wód, mierzoną przezroczystością, zawartością chlorofilu-a oraz produkcją pierwotną,
- stopniem zeutrofizowania wód (dwa typy i dwa podtypy limnologiczne).

## 2. METODY

Badano 24 zbiorniki wodne: w rejonie Trzebiela (6), Tuplic (8) i Łęknicy (10). Z braku nazw tych zbiorników oznakowano je numerami od 1 do 24 (rys. 1). Badania przeprowadzono latem 1993 roku, i objęły one: skład chemiczny wód, pomiary produkcji pierwotnej i zawartości chlorofilu-a.

Pomiary produkcji pierwotnej i zawartości chlorofilu-a wykonano w lipcu i sierpniu, w latach 1993-94.

### Analizy fizyczno - chemiczne wody

Próby wody pobrano czerpaczem Ruttnera z głębokości: 0, 1, 3, 5, 7 a następnie co dwa metry i 1 metr nad dnem. W czasie poboru prób wody mierzono sondą: temperaturę, odczyn (pH), potencjał oksydacyjno-redukcyjny. Pozostałe oznaczenia: tlen rozpuszczony, azot mineralny (amoniowy (N-NH<sub>4</sub>), azotynowy (N-NO<sub>2</sub>) i azotanowy (N-NO<sub>3</sub>)), azot organiczny, fosfor og. i o-fosforany oraz węgiel org., wykonano w laboratorium metodami opisanymi przez Hermanowicza i in. ( 1976 ).

### Pomiary przezroczystości wody

Przezroczystość wody mierzono (w metrach), posługując się krążkiem Secchiego. Jest to najprostszy sposób pomiaru rozwoju biomasy fito- i zooplanktonu i tym samym zdolności produkcyjnej wody zbiornika (Hooper, 1969).

### Oznaczenia zawartości chlorofilu-a

Próby wody do oznaczeń zawartości chlorofilu pobierano czerpaczem Ruttnera w ilościach od 30 do 50 litrów, z głębokości: 0, 1, 2, 3, 5 i 7 metrów.

Zawartość chlorofilu-a oznaczano metodą stosowaną w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie, opracowaną przez Styczyńskiego (1970).

Słężenie chlorofilu-a w próbie obliczają się wzorem:

$$\text{chlorofil-a [mg/m}^3\text{]} = 26,7 \cdot (E_{665} - E_{665a}) \cdot v / V \cdot l$$

gdzie: E<sub>665</sub> - ekstynkcja ekstraktu przy 665 nm przed zakwaszeniem,

E<sub>665a</sub> - ekstynkcja ekstraktu przy 665 nm po zakwaszeniu,

v - objętość 90 % acetonu użyta do ekstrakcji (ml),

V - objętość przefiltrowanej wody przez sączek w dm<sup>3</sup>,

l - długość drogi optycznej kuwety w cm.

### Pomiary produkcji pierwotnej

Do pomiaru produkcji pierwotnej fitoplanktonu zastosowano metodę tlenową („jasnych i ciemnych butelek”) wprowadzoną w 1927 r. przez Caardnera i Brana do badań morskich, a do badań zbiorników słodkowodnych przez Vinberga (1960). Wodę pobierano czerpaczem Ruttnera z określonej głębokości i napełniano nią pięć butelek o objętości po 200 cm<sup>3</sup>. Cztery butelki napełnione wodą (2 jasne, 2 ciemne) umieszczano parami na tej głębokości zbiornika, z której uprzednio pobrano próbę wody. Wodę w butelce 5 utrwalano natychmiast po pobraniu do oznaczenia zawartości tlenu (próba wyjściowa). Butelki jasne i ciemne eksponowano w jeziorze przez okres dnia (od świtu do zmierzchu) na głębokościach: pod lustrem wody, 1, 2, 3, 5 i 7 m. Po zakończonej ekspozycji oznaczano w próbach (butelki jasne i ciemne) zawartość tlenu. Uzyskane dane o zawartości tlenu w próbach wody posłużyły do obliczenia produkcji pierwotnej.

## 3. WYNIKI

### 3.1. Badania fizyczno chemiczne wód

Wyniki badań fizyczno-chemicznych prób wód pobranych w sierpniu 1993 r. obejmują kilkanaście wskaźników.

Na podstawie odczynu i potencjału redoks wyróżniono 3 grupy zbiorników: acidotroficzne (nr nr 8, 14, 15, 17-24), przejściowe (nr nr 4 i 7) i „obojętne” (nr nr 1, 2, 3, 5, 6, 9-13, 16). W grupie acidotroficznej stwierdzono dwa zbiorniki meromiktyczne, charakteryzujące się obecnością monimolimnionu - warstwy wody nie uczestniczącej w cyrkulacjach (wiosennej i jesiennej). Skład chemiczny wody, monimolimnionu różnił się znacznie od wód nad nią leżących (miksolimnionu), jak też od wód pozostałych zbiorników grupy acidotroficznej.

Zmiany temperatury wody badanych zbiorników latem, w profilu pionowym ilustruje rys. 2. Z wyjątkiem kilku zbiorników należących do grupy acidotroficznej (nr nr 19, 20, 22-24) temperatury wody w pozostałych zbiornikach wykazywały wyraźne pionowe zróżnicowanie, mimo niewielkich głębokości (zbiorniki nr nr 1, 2, 6, 10) (rys. 2). Na wyróżnienie zasługuje zbiornik nr 21 najgłębszy, w którym temperatura wody w monimolimnionie była wyższa od temperatury wody bezpośrednio nad nią leżącej.

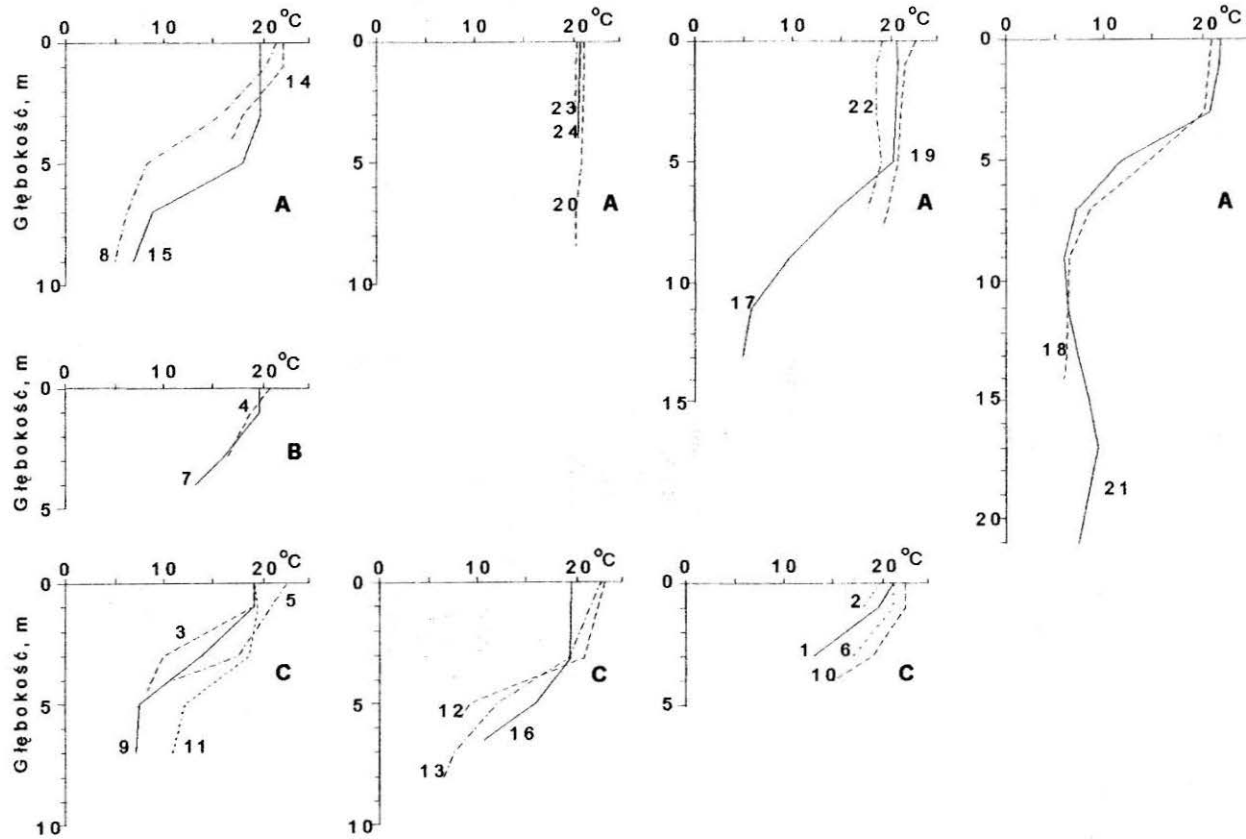
Odczyn wody wyróżnionych 3 grup zbiorników mieścił się w następujących przedziałach:

- acidotroficzne; od 2,41 do 4,0 pH,
- przejściowe; od 4,18 do 5,64 pH,
- „obojętne”; od 5,96 do 7,81 pH.

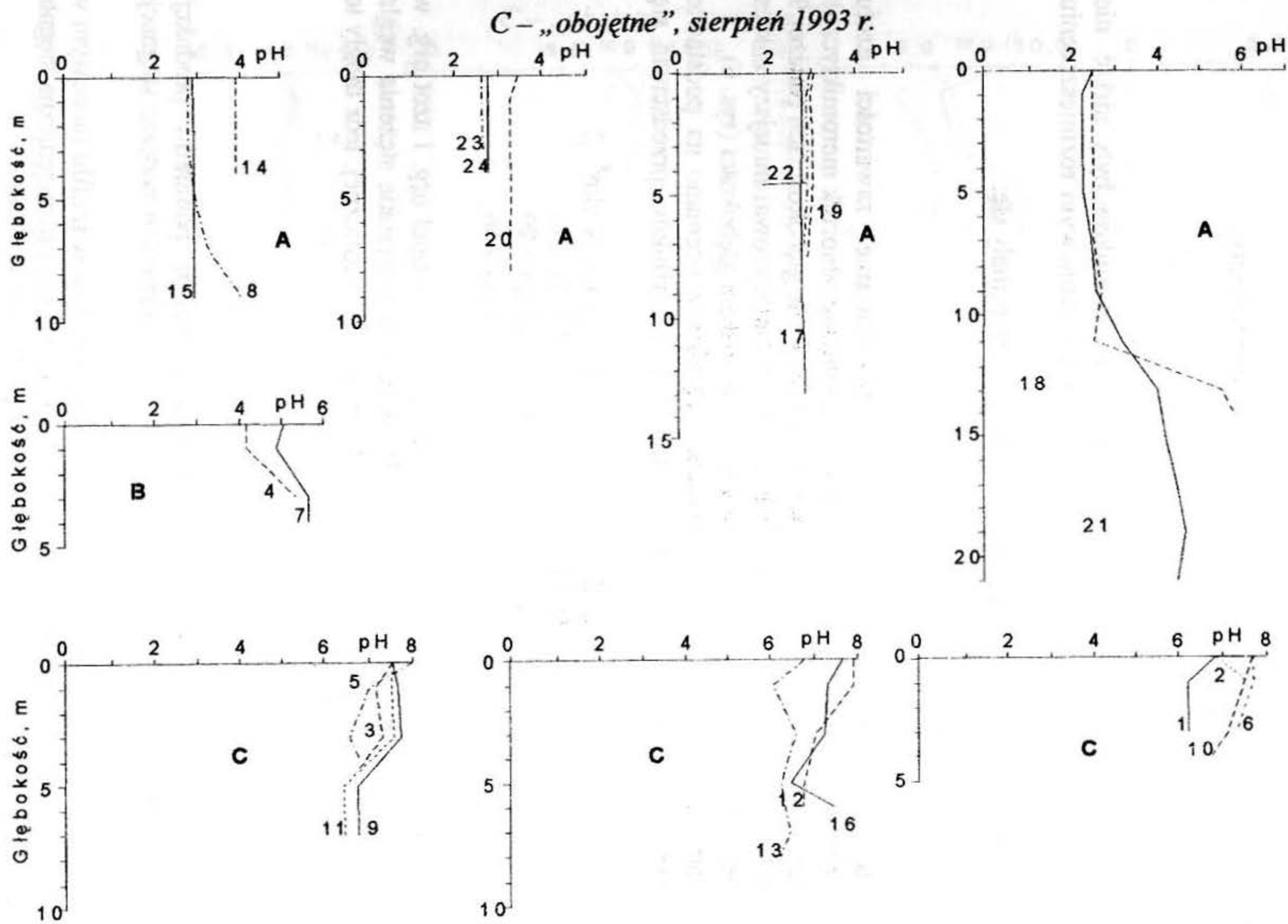
Grupę acidotroficzną, z wyjątkiem zbiorników nr nr 8, 18 i 21 charakteryzował bardzo wyrównany przebieg zmian odczynu wody w profilu pionowym. W pozostałych dwóch grupach zmiany te były wyraźne, wskazując na tendencję do wzrostu odczynu w głębszych warstwach wody (rys. 3), nie uwzględniono monimolimnionu.

Zawartości tlenu w wodach wyróżnionych grup zbiorników wynosiły:

- acidotroficzne; od 5,8 do 9,2 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>,
- przejściowe; od 0,0 do 8,2 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>,
- „obojętne”; od 5,4 do 8,0 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>.



Rys. 2 Zmiany temperatury w profilu pionowym wód trzech wyróżnionych grup zbiorników: A - acidotroficzne, B - przejściowe,



**Rys. 3** Zmiany odczynu (pH) w profilu pionowym wód trzech wyróżnionych grup zbiorników: A - acidotroficzne, B - przejściowe,



W przypadku grupy acidotroficznej zmiany zawartości tlenu w profilu pionowym przebiegały w sposób bardzo zróżnicowany i w wielu przypadkach trudny do wyjaśnienia (rys. 4). Pozostałe dwie grupy to zbiorniki płytkie. O zawartości tlenu w wodach tych zbiorników w dużym stopniu decydowała zapewne obecność wyższych roślin wodnych (procesy fotosyntezy i oddychania).

Zmiany zawartości soli pokarmowych (fosforany, azot min.) w profilu pionowym ilustrują rys. 5 i 6.

Stężenia fosforanów w wyróżnionych grupach zbiorników wynosiły:

- acidotroficzne; od 0,001 do 0,067 mgPO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>,

- przejściowe; od 0,012 do 0,040 mgPO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>,

- „obojętne”; od 0,001 do 0,048 mgPO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>.

W sumie zawartości fosforanów we wszystkich grupach zbiorników były niskie, nie stwierdzono obecności jakichkolwiek prawidłowości w ich pionowym rozmieszczeniu (rys. 5).

Stężenia azotu mineralnego w wodach badanych zbiorników wahały się:

- acidotroficzne; od 0,01 do 88,9 mg N/dm<sup>3</sup>,

- przejściowe; od 0,04 do 0,10 mg N/dm<sup>3</sup>,

- „obojętne”; od 0,01 do 1,66 mg N/dm<sup>3</sup>.

W grupie acidotroficznej stwierdzono duże zróżnicowanie zawartości azotu mineralnego w układzie pionowym. Na wyróżnienie zasługuje zbiornik meromiktyczny (nr 21) ze względu na ogromne stężenia azotu mineralnego na głębokościach poniżej 9 m w monimolimnionie (rys. 6). Pozostałe dwie grupy charakteryzował mniejszy zakres stężeń azotu min. oraz wzrost tej formy azotu wraz ze wzrostem głębokości (rys. 6).

Zasobność wód badanych zbiorników w związki organiczne oceniano na podstawie zawartości węgla org. i azotu org. Zakres zmian tych wskaźników przedstawia się następująco:

	C org., mg/dm <sup>3</sup>	azot org., mg N /dm <sup>3</sup>
- acidotroficzne;	od 1,07 do 18,18	od 0,003 do 2,96
- przejściowe;	od 1,89 do 8,33	od 0,048 do 0,99
- „obojętne”;	od 5,47 do 18,36	od 0,034 do 4,56.

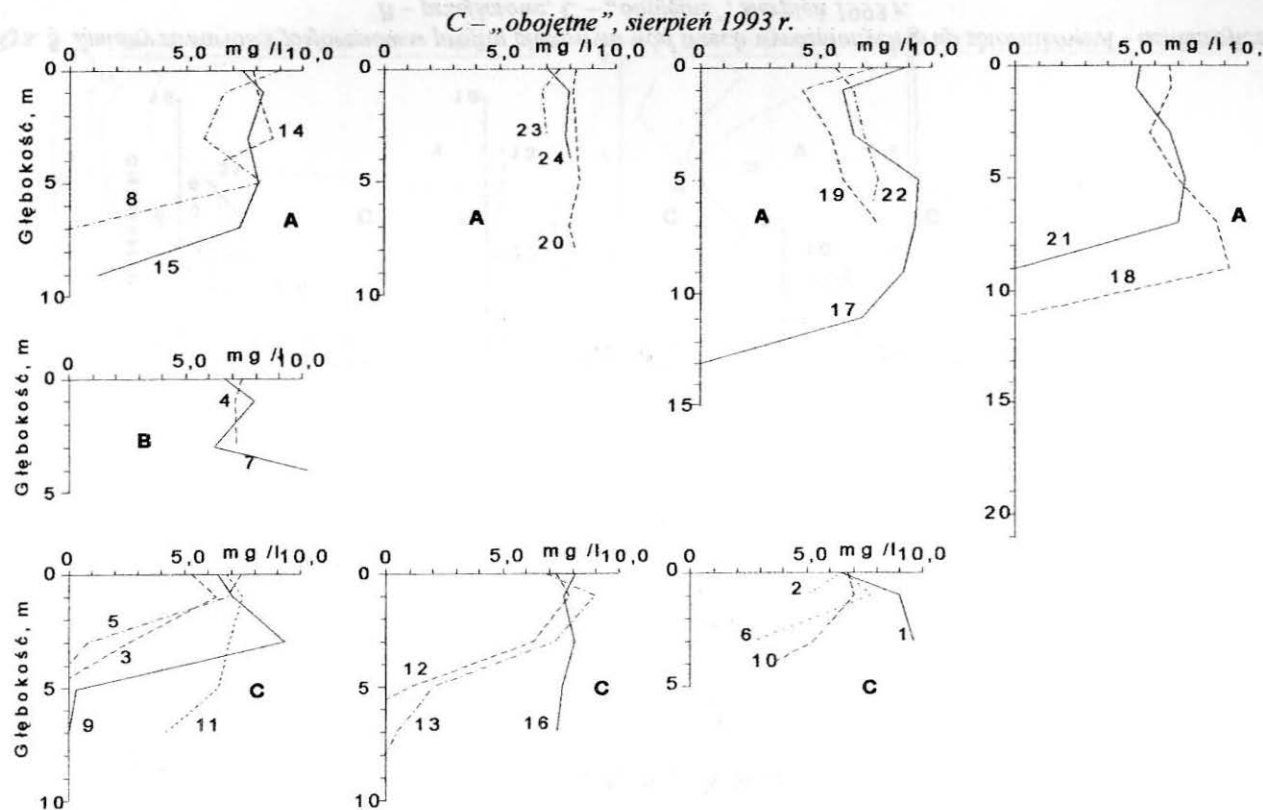
Wody zbiorników grupy „obojętnej” okazały się bogatsze w węgiel org. i azot org. w porównaniu do grupy acidotroficznej (rys. 7 i 8). Wprawdzie wysokie stężenia węgla org. wystąpiły w dwóch zbiornikach (nr nr 18 i 21) grupy acidotroficznej, lecz mogły to być zawiesiny węgla brunatnego.

### 3.2. Pomiary produktywności wód

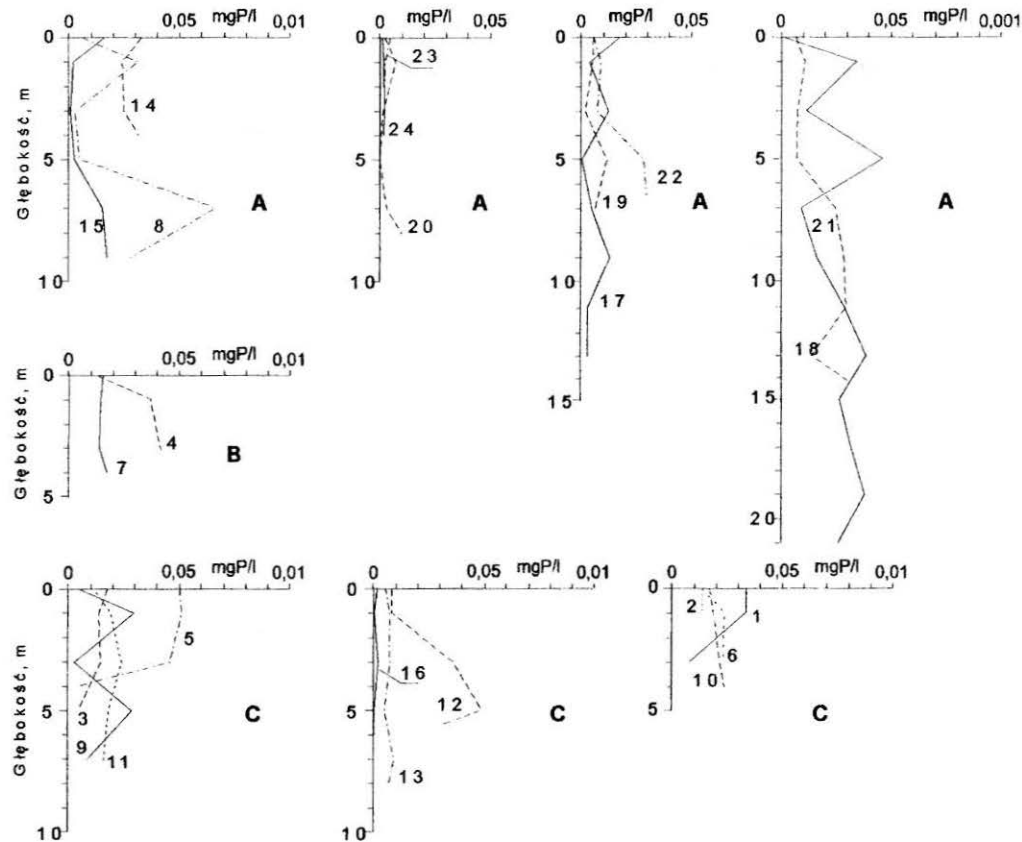
Produkcyjność badanych zbiorników określono na podstawie pomiarów produkcji pierwotnej, chlorofilu-a i przezroczystości wody, przeprowadzonych podczas stagnacji letniej, w latach 1993/94.

Wyniki pomiarów produkcji pierwotnej i zawartości chlorofilu-a w profilu pionowym w czerwcu 1994 r. przedstawiono na rys. 9 i 10. Jak widać warstwa trofogeniczna sięgała głębokości ok. 10 m (zb. nr 15), naogół nie przekraczała głębokości 7 m.



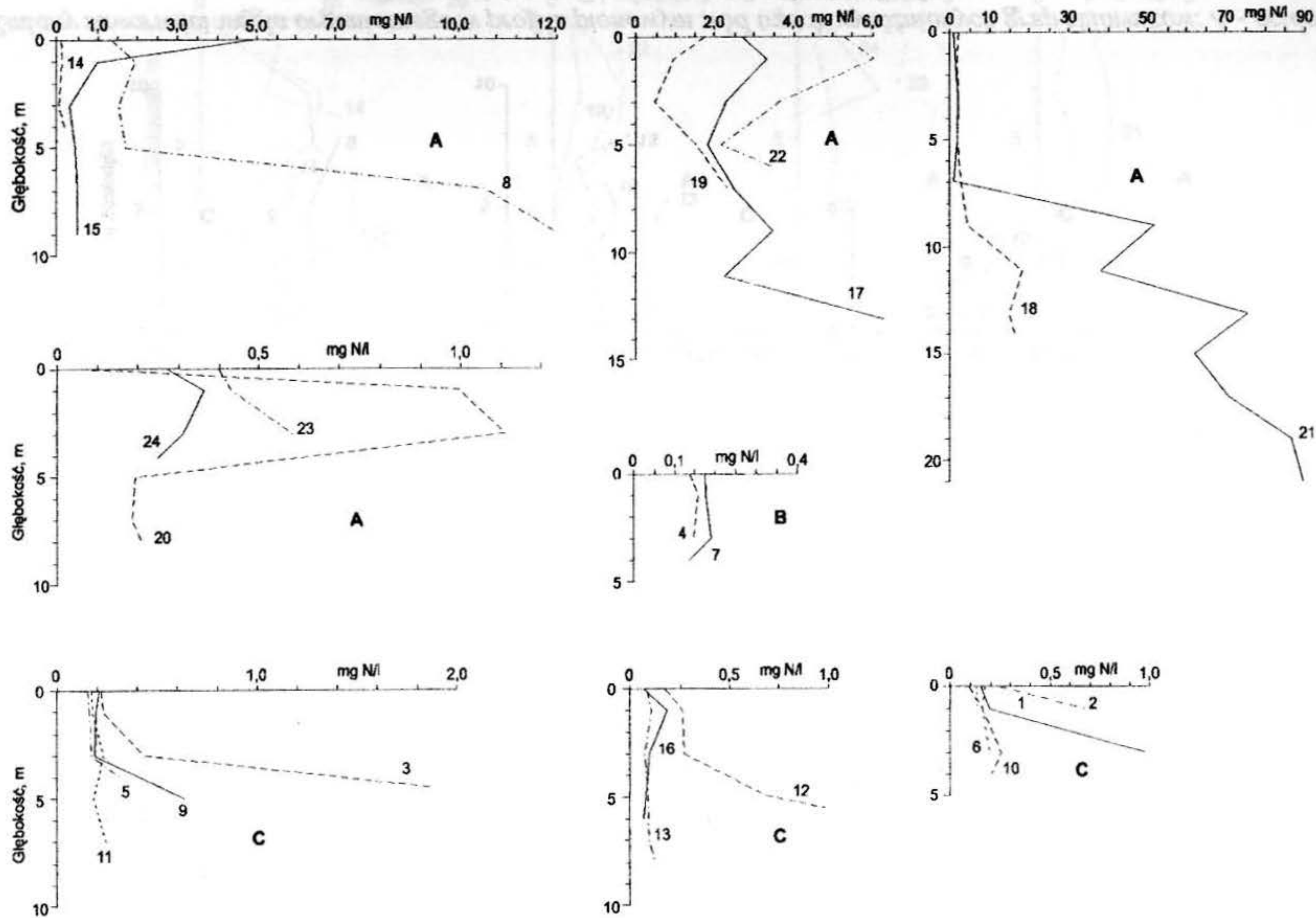


**Rys. 4** Zmiany zawartości tlenu rozpuszczonego w profilu pionowym wód trzech wyróżnionych grup zbiorników: A - acidotroficzne, B - przejściowe, C - „obojętne”, sierpień 1993 r.

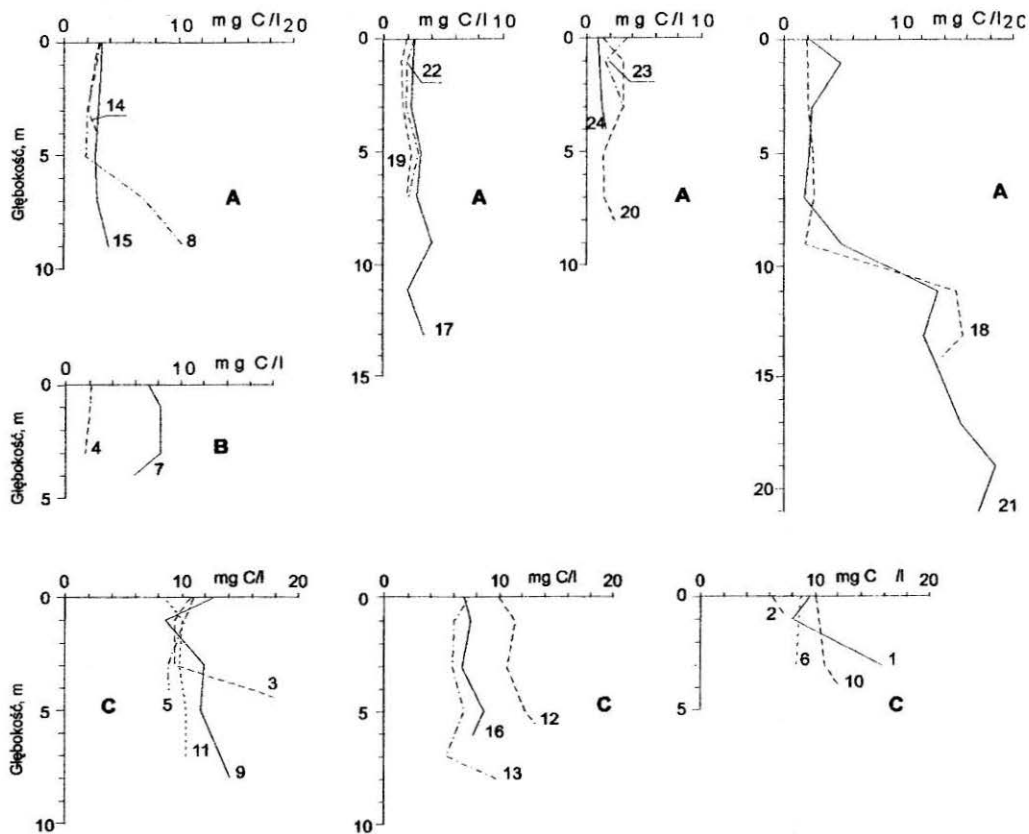


**Rys. 5** Zmiany zawartości fosforanów w profilu pionowym wód trzech wyróżnionych grup zbiorników: *A* - acidotroficzne, *B* - przejściowe, *C* - „obojętne”, sierpień 1993 r.



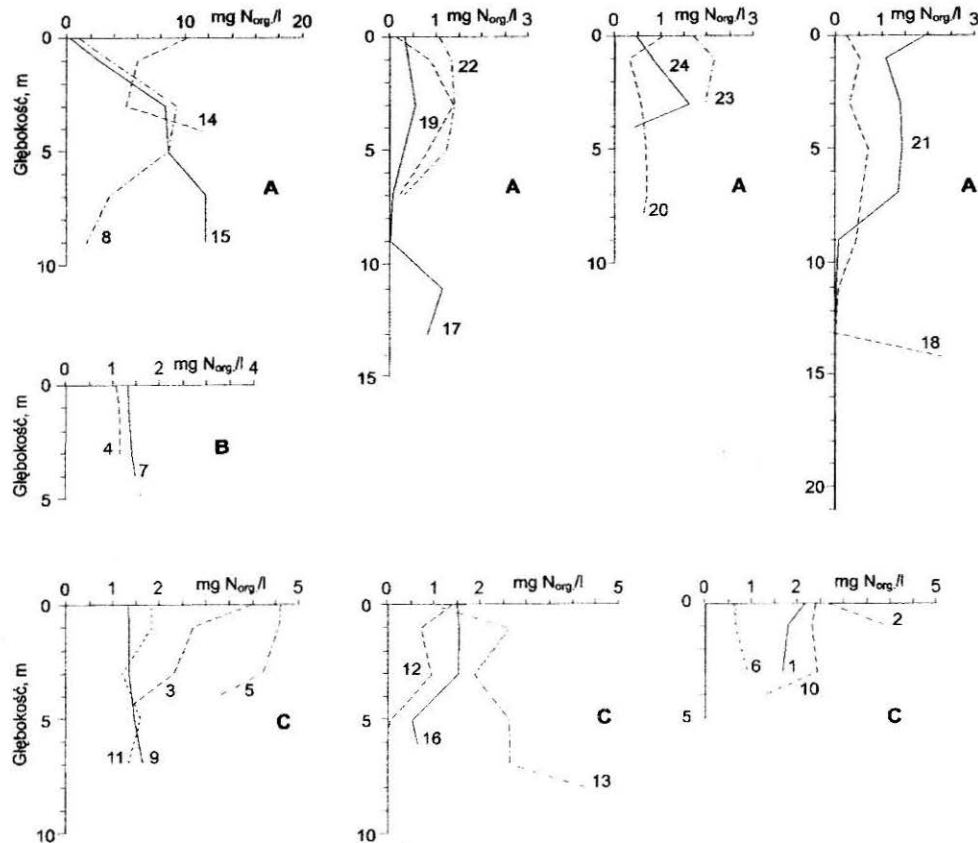


**Rys. 6** Zmiany zawartości azotu mineralnego (amonowy + azotanowy) w profilu pionowym wód trzech wyróżnionych grup zbiorników: A - acidotroficzne, B - przejściowe, C - „obojętne”, sierpień 1993 r.

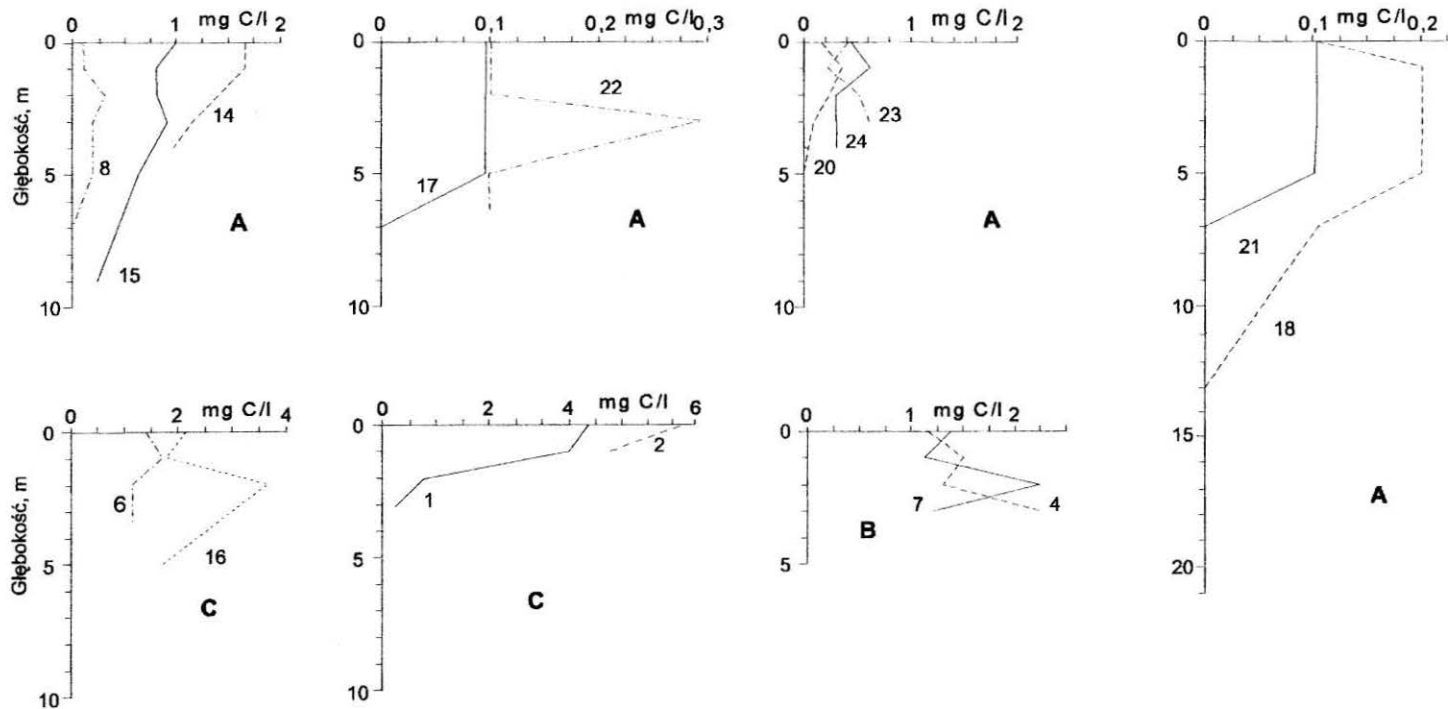


**Rys. 7** Zmiany zawartości węgla organicznego w profilu pionowym wód trzech wyróżnionych grup zbiorników: A - acidotroficzne, B - przejściowe, C - „obojętne”, sierpień 1993 r.



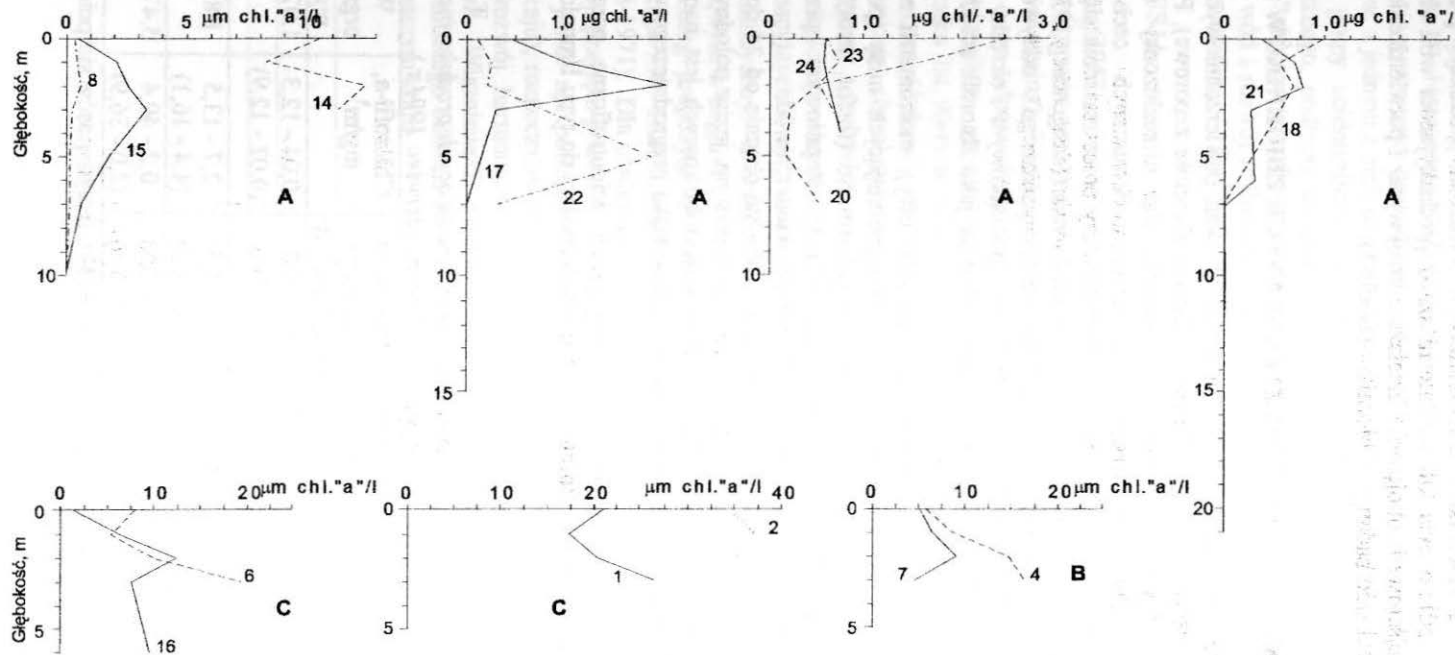


**Rys. 8** Zmiany zawartości azotu organicznego w profilu pionowym wód trzech wyróżnionych grup zbiorników: A - acidotroficzne, B - przejściowe, C - „obojętne”, sierpień 1993 r.



**Rys. 9** Zmiany produkcji pierwotnej w profilu pionowym wód trzech wyróżnionych grup zbiorników: A - acidotroficzne, B - przejściowe, C - „obojętne”, sierpień 1993 r.





**Rys. 10** Zmiany zawartości chlorofilu-a w profilu pionowym wód trzech wyróżnionych grup zbiorników: A - acidotroficzne, B - przejściowe, C - „obojętne”, sierpień 1993 r.

Produkcyjność wód zbiorników acidotroficznycy wyrażona produkcją pierwotną i zawartością chlorofilu-a była kilkakrotnie niższa od produkcyjności wód zbiorników pozostałych (przejściowe i „obojętne”). Znalazło to swój wyraz i potwierdzenie również w przezroczystości wód badanych zbiorników (tabela 1).

#### 4. KLASYFIKACJA LIMNOLOGICZNA BADANYCH ZBIORNIKÓW

Z pojęciem eutrofizacji wiąże się wzrost zasobności wód powierzchniowych w sole pokarmowe, zwłaszcza wód stojących (stawy, jeziora, zbiorniki zaporowe). Proces ten prowadzi do przeżyźnienia wód, nagromadzenia się nierozłożonej substancji organicznej, stopniowego pogarszania się fizyczno-chemicznych cech wód i niekorzystnych zmian biocenotycznych. Jest to naturalny proces starzenia się każdego jeziora, kończący się jego zanikiem i powstaniem torfowiska (Stangenberg 1936).

Powstanie i rozwój zbiorników „pojezierza antropogenicznego” odbywał się w szczególnych warunkach. Każdy z nich w początkowym okresie rozwoju ontogenicznego przechodził etap zakwaszenia, rodził się jako zbiornik acidotroficzny, którego odczyn wynosił około 3,0 pH.

W zależności od genezy (typ wyrobiskowy, zapadliskowy), morfometrii misy i jej głębokości, otoczenia (lasy, hałdy), rodzaju wód wypełniających misę (podziemne, powierzchniowe), zasobności tych wód w sole pokarmowe (fosfor, azot), wapni i magnez oraz dostępności pirytu, zbiorniki ulegały stopniowym przemianom chemicznym i biologicznym, prowadzącym do zobojętniania ich wód.

Wiek zbiorników „pojezierza antropogenicznego” waha się obecnie od 24 do powyżej 100 lat. Jest to okres bardzo krótki w porównaniu do wieku np. jezior polodowcowych. Przyczyną przyspieszonego rozwoju zbiorników powyrobiskowych jest naogół mała powierzchnia i głębokość oraz zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego wywołane rozwojem cywilizacji.

Dokonany podział badanych zbiorników na trzy grupy: acidotroficzne, przejściowe i „obojętne” pozostaje w pełnej korelacji z ich przynależnością do typu limnologicznego (tabela 1).

TABELA 1

*Zakresy zmian wskaźników fizyczno-chemicznych określających produkcyjność wód badanych zbiorników (sierpień - 1993 r., czerwiec 1994 r.)*

Typ limnologiczny	Zbiorniki (grupa)	Przezroczystość, m	Produkcja pierwotna, mgC/dm <sup>3</sup> · d	Chlorofil-a, mg/m <sup>3</sup>	Węgiel organiczny, mgC/dm <sup>3</sup>
Oligotroficzny	Acidotroficzne (A)	3,0 - 6,7	0,1 - 0,7 (0,1-1,6)	0,04 - 12,3 (0,02 - 12,9)	1,07 - 18,18
Eutroficzny	Przejściowe (B)	1,2 - 1,4	0,1 - 1,3 (1,2 - 2,3)	2,7 - 13,5 (4,4 - 16,1)	1,85 - 8,33
	„Obojętne” (C)	0,6 - 2,1	0,1 - 4,8 (0,2 - 5,6)	0,2 - 49,4 (2,0 - 36,9)	5,47 - 18,36

( ) liczby w nawiasach dotyczą badań z czerwca 1994 r., bez nawiasów sierpnia 1993 r.

Na temat procesu eutrofizacji jezior, ich klasyfikacji wypowiedało się wielu badaczy (patrz rozdz. 5). Naumann (1932) ustalił dwa typy jezior: eutroficzne i oligotroficzne. Opierając się o parametry hydrochemiczne wyróżnił on w grupie jezior oligotroficznych 6 podtypów, a jednym z nich są jeziora acidotroficzne.

Zbiorniki grupy acidotroficznej zakwalifikowano za Naumannem (1932) do typu oligotroficznego, podtypu acidotroficznego, natomiast zbiorniki grupy przejściowej i „obojętnej” do typu eutroficznego. Ze względu na małą głębokość, fizyczno-chemiczne cechy ich wód i rozwój roślinności wyższej, zbiorniki grupy „obojętnej” zaliczono do podtypu „stawowego” (Stangenberg 1936).

## 5. Dyskusja

Hutchinson (1957) analizując pochodzenie jezior, jako podstawę ich klasyfikacji przyjął trzy procesy (czynniki): budowę (building), drażnienie (excavation) i tworzenie przegród (damming). Wyróżnione przez autora 11 grup i 76 typów jezior należałoby poszerzyć o typ, odpowiadający genezie zbiorników „pojezierza antropogenicznego”.

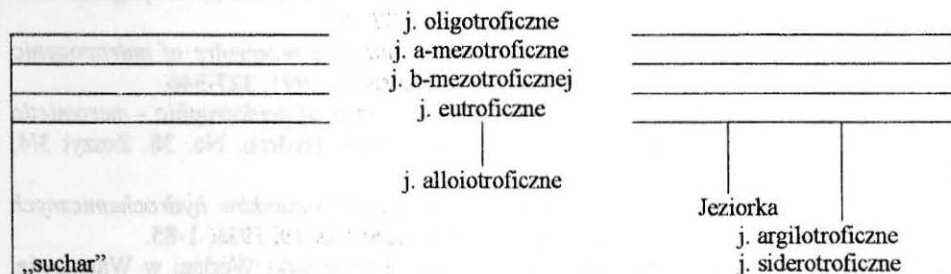
Badania zbiorników „pojezierza antropogenicznego” przeprowadzone w latach 80-tych i na początku lat 90-tych, a dotyczące termiki i dynamiki wód w cyklu rocznym, wykazały obecność dwóch ich typów:

- meromiktyczny, charakteryzujący się obecnością monimolimnionu (zb. nr nr 18, 21),  
- holomiktyczny z podziałem na dwa podtypy:

- Dimiktyczny, charakteryzuje go obecność dwóch okresów cyrkulacyjnych i stagnacyjnych w ciągu roku (zb. nr nr 1, 3-17, 19);
- polimiktyczny, charakteryzuje go wielokrotne mieszanie wód w profilu pionowym w ciągu roku (zb. nr nr 2, 20, 22, 23, 24).

Istnieje szereg propozycji podziału jezior na typy limnologiczne (Naumann-1932, Stangenberg-1936, Hutchinson-1969, Wiszniewski-1953, Elster-1958, Thomas-1969, Olszewski-1971). Dla zbiorników „pojezierza antropogenicznego” za podstawę ich klasyfikacji przyjęto podział proponowany przez Naumanna (1932).

Ewolucja jezior np. pochodzenia polodowcowego (zdecydowana większość jezior w naszym kraju), rozpoczyna się od oligotrofii i poprzez a - i b - mezotrofię zmierza do eutrofii (rozwój harmoniczny). Poszerzony i bardziej szczegółowy rozwój jezior przedstawił Wiszniewski (1953) (rys. 11). Ewolucja zbiorników „pojezierza antropogenicznego odbiega od przedstawionego wyżej klasycznego schematu rozwoju jezior w naszym kraju.



Rys. 11 Rozwój jezior według Wiszniewskiego



## 6. LITERATURA

- [1] ELSTER H. J.: *Das limnologische Seentypenlehre*. Rückblick und Ausblick. Verein. Internat. Verh. Limnol., 13., 1958, 101-120.
- [2] HERMANOWICZ W., Dołżańska W., Dojlido J., Kozirowski B: *Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków*. Warszawa, Arkady, 1976.
- [3] HOOPER F. F.: *Eutrophication indices and their relation to other indices of ecosystem change*. Eutrophication, Proceedings of a Symposium, National Academy of Sciences, Washington, D. C. 1969, 225-235.
- [4] HUTCHINSON G. E.: *A treatise on limnology*. Vol. I. New York, John Wiley and Sons, Inc., London, Chapman and Hall, Ltd, 1957, 1-1015 p.
- [5] HUTCHINSON G. E.: *Eutrophication, past and present*. Eutrophication. Proceedings of a Symposium, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1969, 17-26.
- [6] JĘDRCZAK A.: *Skład chemiczny wód pojezierza antropogenicznego w Łuku Mużakowskim*. Wyd. WSI. Zielona Góra 1992.
- [7] JILEK B., Jędrszak A.: *Chemical composition of waters of 24 brown coal mining reservoirs in the district Łęknica - Trzebiel*. IV Kolokwium „Monitoring antropogenicznych krajobrazów w środkowej i wschodniej Europie”. Wyd. Biblioteki Monitoringu Środowiska, Warszawa 1995, ss. 259-281.
- [8] KOZACKI L., i in.: *Inwentaryzacja szkód górniczych po eksploatacji węgla brunatnego na terenie województwa zielonogórskiego*, Poznań AM (maszynopis), 1978.
- [9] MATEJCZUK W.: *Charakterystyka ekologiczna zbiorników wodnych w wyrobiskach poeksploatacyjnych węgla brunatnego*. Rozprawa doktorska. PWr., Wrocław, 1986.
- [10] MENDALUK J., Wróbel I.: *Sztuczne pojezierze w rejonie Łęknicy*. Aura 3, 1977, 10-12.
- [11] NAUMANN E.: *Grundzüge der regionalen Limnologie*. Binnengewässer XI. Schweizerbarth., Stuttgart, 1932.
- [12] OLSZEWSKI P.: *Trofia i saprobia*. Zesz. Nauk WSR. Olsztyn, seria C. Sup. 1. 3, 1971, 1-14.
- [13] SOLSKI A., Jędrszak A., Matejczuk W.: *Skład chemiczny wód zbiorników „pojezierza antropogenicznego” w rejonie Tuplice-Łęknica*. Zesz. Nauk. WSI. Zielona Góra, nr. 84. Inż. Środ. Nr 4, 1988, 65-92.
- [14] SOLSKI A., Jędrszak A.: *Ionic composition of waters of the „antropogenic lake district”*. Pol. Arch. Hydrob. No. 37/3, 1990, 371-382.
- [15] SOLSKI A., Jędrszak A.: *Meromixis in acidotrophic reservoirs of antropogenic lake district*. Pol. Arch. Hydrob., No. 38. Zesz. 3/4, 1991, 327-346.
- [16] SOLSKI A., Jędrszak A. b: *Forms of iron in waters of acidotrophic - meromictic reservoirs of antropogenic lake district*. Pol. Arch. Hydrob. No. 38. Zesz. 3/4, 1991, 315-326.
- [17] STANGENBERG M.: *Szkic limnologiczny na tle stosunków hydrochemicznych pojezierza suwalskiego*. Inst. Bad. Leśn. Prace Ser. A., 19, 1936, 1-85.
- [18] STYCZYŃSKI W.: *Mat. Inst. Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie*, 1970.

- [19] THOMAS E. A.: *The process of eutrophication in central european lakes.* Proceedings of Symposium National Academy of Sciences. Washington, D.C., 1969, 29-49.
- [20] WISZNIEWSKI J.: *Uwagi w sprawie typologii jezior polskich.* Pol. Arch. Hydrobiol., I (XIV), 1953, 11-23.
- [21] VINBERG G.: *Pervicnaja produkcija vodojemov.* Mińsk. Izd. Akad. Nauk BSSR, 1960.