

STOSUNKI TERMICZNO-TLENOWE ORAZ WYBRANE  
FIZYCZNO-CHEMICZNE WSKAŹNIKI JAKOŚCI WODY  
ZBIORNIKA NAKŁO-CHECHŁO

MACIEJ KOSTECKI, AGATA DOMURAD, ELIGIUSZ KOWALSKI,  
JERZY KOZŁOWSKI

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

Keywords: acidotrophy, anthropopressure, anthropogenic reservoirs.

THERMAL AND OXYGENIC CONDITIONS AND SELECTED  
PHYSICAL AND CHEMICAL WATER QUALITY INDICATORS  
OF THE NAKŁO-CHECHŁO RESERVOIR

In the presented work the limnological characteristics of the Reservoir Nakło-Chechło elaborated on the basis of investigations carried out in 1996 has been shown. The results of investigations on thermal and oxygenic conditions existing in the Reservoir and the change dynamics of selected physico-chemical indicators of water quality in the Reservoir Nakło-Chechło are described. The paper describes aspecific example of acidotrophy of the Nakło-Chechło Reservoir as a result of anthropopressure. The results of chemical analysis of water in the Nakło-Chechło Reservoir and evaluation of the dynamic changes of various indicators with the atmospheric precipitation quantity on the basin superficies have shown that the Reservoir is under strong hydrological and chemical influence of the precipitation, which generally is acidic and has a very low total hardness. The exceptional vulnerability for acidification due to deficiency in water buffering capacity was, however, the decisive factor. The discharged weak buffering capacity of the Reservoir water facilitates the influence of direct precipitation and through superficial run off. The results of chemical analysis show high state of water quality in the Reservoir Nakło-Chechło as regards amount of indicators which describe water mineralization degree.

STRESZCZENIE

W prezentowanej pracy przedstawiono charakterystykę limnologiczną zbiornika rekreacyjnego Nakło-Chechło, opracowaną na podstawie badań przeprowadzonych w 1996 roku. Opisano układ termiczno-tlenowy oraz omówiono dynamikę zmian wybranych wskaźników fizyczno-chemicznych, określających jakość wody w zbiorniku. Stwierdzony stan acidotrofizacji zbiornika Nakło-Chechło stanowi szczególny przykład oddziaływania antropopresji na zbiornik wodny. Wyniki analiz fizyczno-chemicznych wody zbiornika Nakło-Chechło oraz powiązanie dynamiki

zmian poszczególnych wskaźników z wielkością opadów atmosferycznych na terenie zlewni zbiornika wykazały, iż zbiornik znajduje się pod silnym hydrologicznym i hydrochemicznym wpływem opadów atmosferycznych, które z reguły mają odczyn kwaśny oraz bardzo niską twardość ogólną. Czynnikiem decydującym o wyjątkowej podatności zbiornika na proces zakwaszania jest słabe zbuforowanie wody, co ułatwia oddziaływanie na zbiornik opadów deszczu oraz oddziaływanie zlewni na spływy powierzchniowe. Wyniki analiz wykazują dobry stan jakości wody zbiornika Nakło-Chechło pod względem liczby wskaźników określających stopień mineralizacji wody.

## WPROWADZENIE

Zakwaszenie gleb i wód, któremu poświęca się tak wiele uwagi w ostatnich latach, jest obok eutrofizacji kolejnym poważnym i brzemiennym w skutki antropogenicznym zakłóceniem funkcjonowania ekosystemów wodnych. Opinia ta staje się coraz bardziej powszechna, zwłaszcza w krajach, w których rozwój przemysłu pociąga za sobą daleko idące zakłócenia w naturalnych proporcjach pierwiastków występujących w glebie i wodzie [2–4, 6, 9, 11–13].

Stwierdzony stan zakwaszenia zbiornika Nakło-Chechło stanowi szczególnie przykładowy przykład oddziaływania antropopresji na zbiornik wodny. Wyniki analiz fizyczno-chemicznych wody zbiornika Nakło-Chechło z lat 1991–1995, wykonywanych przez instytucje prowadzące kontrolę jakości wody, oraz powiązanie dynamiki zmian poszczególnych wskaźników z wielkością opadów atmosferycznych na terenie zlewni zbiornika wykazały wstępnie, iż zbiornik znajduje się pod silnym hydrologicznym i hydrochemicznym wpływem opadów atmosferycznych, które z reguły mają odczyn kwaśny oraz bardzo niską twardość. Stwierdzono, iż czynnikiem decydującym o wyjątkowej podatności zbiornika na proces zakwaszania jest brak zbuforowania wody [7, 8, 10, 14].

Analiza danych, udostępnionych przez zarządzającego zbiornikiem, umożliwiła wyjaśnienie przyczyny zaistniałych zmian oraz opis przebiegu tych procesów, a także wskazała na konieczność przeprowadzenia dłuższych badań limnologicznych na szerszą skalę, określających obecny stan jakości wody zbiornika oraz stanowiących podstawę do opracowania sposobów zapobieżenia ujemnym skutkom zakwaszenia wody [7, 10, 14].

W celu określenia istniejących i potencjalnych zagrożeń środowiska wodnego zbiornika, kolidujących z jego kompleksowym i optymalnym zagospodarowaniem, w okresie od stycznia do grudnia 1996 roku zrealizowano badania obejmujące skład fizyczno-chemiczny wody zbiornika, spływów powierzchniowych oraz analizę uwarunkowań eksploatacyjnych zbiornika z uwzględnieniem antropopresji turystycznej oraz działalności rybacko-wędkarskiej [7].

Podjęte badania zmierzały do lepszego poznania źródeł zagrożeń dla jakości wody, wnoszonych ładunków i zanieczyszczeń z nich powstających w celu opracowania zasad postępowania i odpowiednich technologii ograniczających



zanieczyszczenia wody powstałe w następstwie działalności człowieka. Pozwoliło to na uzyskanie pełnego obrazu stanu zanieczyszczenia wody i uściślenie odpowiednich działań prewencyjnych.

## CEL I ZAKRES PRACY

Niniejsza praca stanowi przyczynek do inwentaryzacji zakwaszonych wód w Polsce. Opracowanie oparto na wynikach własnych badań terenowych, prowadzonych w okresie od stycznia do grudnia 1996 roku. Badania te miały na celu przede wszystkim określenie wpływu zanieczyszczeń na jakość i wartość użytkową wody zbiornika Nakło-Chechło z częściowym odniesieniem do wyników z dawniejszych lat [10]. Tego rodzaju dane mają duże znaczenie praktyczne. Zwracają uwagę, na podstawie stosunkowo obszernego materiału badawczego, na potrzebę zapobiegania dalszemu wzrostowi zanieczyszczeń [7].

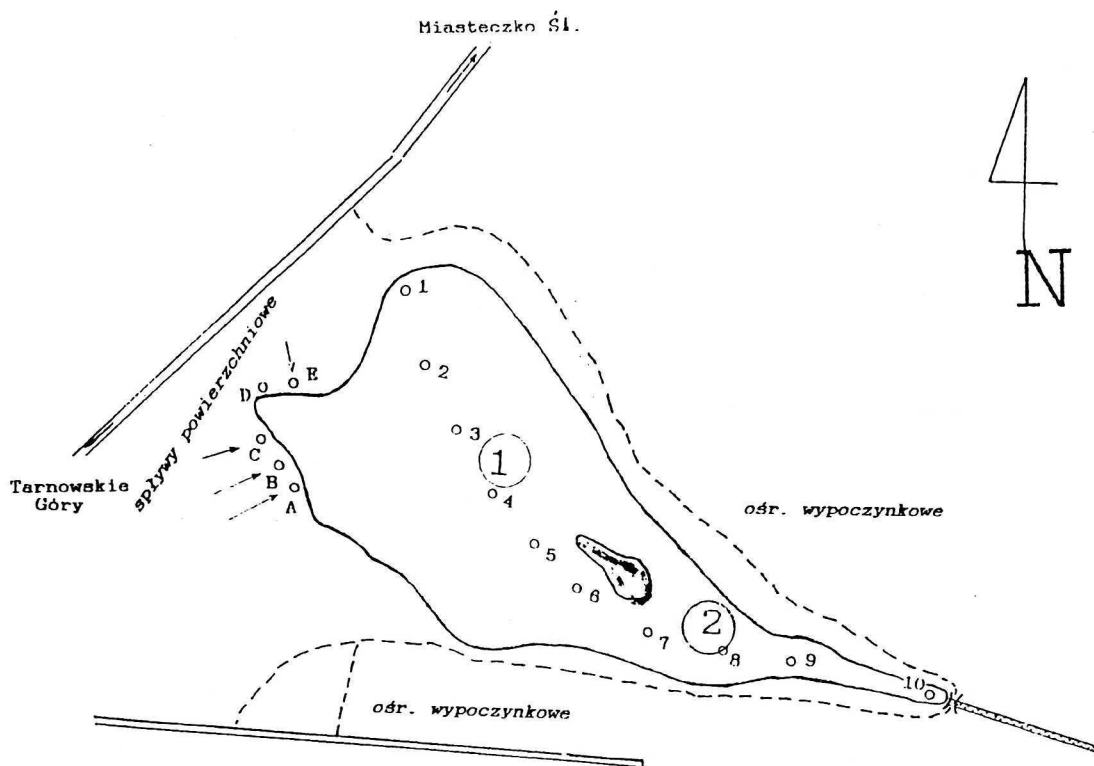
W prezentowanej pracy przedstawiono układ termiczno-tlenowy oraz omówiono dynamikę zmian podstawowych wskaźników fizyczno-chemicznych, określających jakość wody w zbiorniku. Ze względu na fakt, iż zbiornik Nakło-Chechło nie ma dopływów wody w postaci cieków wód powierzchniowych, cała masa wody wypełniająca misę zbiornika pochodzi ze spływów powierzchniowych, spływów podziemnych oraz opadów atmosferycznych bezpośrednio na powierzchnię zbiornika [1, 15]. Ze względu na położenie zbiornika na szczycie wododziału jest mało prawdopodobne, aby istniały erupcje wód podziemnych w postaci źródeł. W tej sytuacji spływy powierzchniowe, które w przypadku omawianego zbiornika pochodzą ze zlewni bezpośredniej, stanowią istotny czynnik kształtujący funkcjonowanie badanego ekosystemu. Za celowe uznano zatem zbadanie składu fizyczno-chemicznego wody spływów powierzchniowych powstających w czasie opadów deszczu oraz orientacyjne określenie ilości wybranych zanieczyszczeń w opadach śniegu.

Ze względu na duże znaczenie dla przebiegu procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych dynamika przemian oraz bilans podstawowych form azotu i fosforu, jako głównych czynników inicjujących proces eutrofizacji wód zbiornika, będzie przedmiotem odrębnej publikacji.

## METODYKA BADAŃ

Badania jakości wody zbiornika rekreacyjnego Nakło-Chechło prowadzono w okresie od stycznia do grudnia 1996 roku. W trakcie badań wykonano 8 poborów prób wody zbiornika z dwóch stanowisk z uwzględnieniem pomiarów temperatury wody zbiornika oraz stężenia tlenu w wodzie zbiornika, od powierzchni do dna, w celu obserwacji kształtowania się stosunków termiczno-tlenowych.

Stanowiska poboru prób do analiz wyznaczono, uwzględniając specyfikę badanego zbiornika, w następujący sposób (Rys. 1):



Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych na obszarze zbiornika Nakło-Chechło (1–10 – profil pomiarów pH)

Location of sampling points in the Nakło-Chechło Reservoir (1–10 – profile of pH measurement)

– stanowisko nr 1 usytuowano w płytkiej części zbiornika, gdzie głębokość wody wynosiła około 1 m (przyjęto założenie, że stanowisko to charakteryzuje część zbiornika znajdującą się pod wpływem spływów powierzchniowych ze zlewni bezpośredniej);

– stanowisko nr 2 usytuowano w pobliżu wyspy, na głębokości około 2,8 m (przyjęto, że głębokość oraz konfiguracja dna w tej części zbiornika znajdują odbicie w składzie chemicznym wody).

W tym samym zakresie badano skład spływów powierzchniowych ze zlewni bezpośredniej. Pięciokrotnie określono pełny skład spływów. Dodatkowo badano odczyn spływów ze względu na rolę tego czynnika w funkcjonowaniu ekosystemu. Z uwagi na występowanie spływów w różnych punktach skoncentrowano się na stanowisku ich największego występowania. Stanowisko to znajdowało się w pobliżu tzw. rybacówki (siedziba Koła Polskiego Związku Wędkarstwa). Spływy występowały w różnych miejscach, w zależności od intensywności opadów oraz czasu suszy między opadami. Odległości między punktami pobierania prób wód spływów do analizy wynosiły od 50 do 100 m.



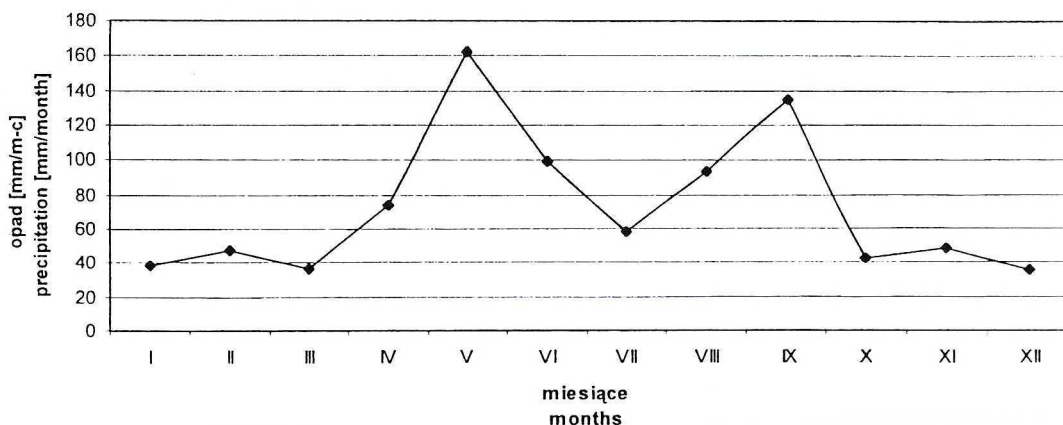
Analizy fizyczno-chemicznych wskaźników jakości wody wykonano według metod opisanych w aktualnie obowiązujących normach oraz przez Justa i Hermanowicza [5]. Temperaturę wody mierzono termometrem rtęciowym, a zawartość tlenu w wodzie sondą tlenową. Przezroczystość wody mierzono jako widzialność krążka Secchiego z dokładnością do 5 cm. Odczyn wody badano za pomocą pH-metru. Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT<sub>5</sub>) oznaczono w sapromacie firmy Voith (Niemcy), chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT) oznaczono metodą dwuchromianową (wg PN-74/C-04578/03), a chlorki metodą argentometrycznego miareczkowania (wg PN-75/C-04617/02). Metodą wagową oznaczono siarczany (wg PN-74/C-04566/09) oraz zawiesinę ogólną (wg PN-78/C-04541). Twardość ogólną (wg PN-71/C-04554/02) oraz wapń (wg PN-91/C-04551/01) oznaczono metodą miareczkową, wersenianową.

## WYNIKI BADAŃ

### FIZYCZNE CZYNNIKI ŚRODOWISKOWE (OPADY ATMOSFERYCZNE)

Rozkład wielkości miesięcznych sum opadów atmosferycznych w rejonie zbiornika Nakło-Chechło układał się w roku 1996 dość nietypowo (Rys. 2). Na ogół miesiącami o najwyższej ilości opadów na terenie Polski są czerwiec, lipiec i sierpień. W przypadku roku 1996 najwyższe sumy miesięczne zanotowano w maju i we wrześniu. Niższe, jednakże znaczące ilości opadów deszczu wystąpiły w czerwcu i sierpniu. Okresy zimowo-wiosenny oraz jesienno-zimowy charakteryzowały się wyraźnie niższymi opadami.

Wydaje się celowe zwrócić w tym miejscu uwagę na stosunkowo wysokie sumy roczne opadów atmosferycznych występujące w rejonie zbiornika Nakło-Chechło. Ilość wody doprowadzanej do miśy zbiornika bezpośrednio na jego



Rys. 2. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych w rejonie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku

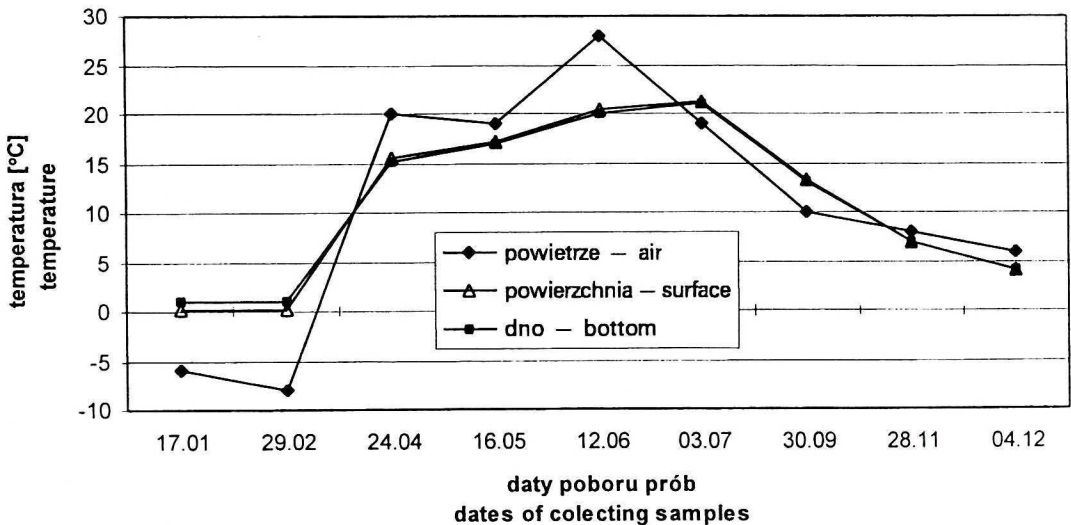
Monthly precipitation in region of the Nakło-Chechło Reservoir in the year 1996

powierzchnię wynosi ponad 35%, w latach mokrych przekracza nawet 45% [8]. Fakty te wskazują na wyjątkowe znaczenie, jakie dla jakości wody zbiornika ma czystość powietrza oraz opadów deszczu.

#### WARUNKI TERMICZNE

#### Temperatura powietrza

Zmiany temperatury powietrza oraz powierzchniowej i naddennej warstwy wody w okresie prowadzenia badań, tj. od stycznia do początku grudnia 1996 roku, przedstawiono na rysunku 3. Zanotowane temperatury powietrza w dniach poborów prób wahały się od  $-8,0^{\circ}\text{C}$  w lutym do  $28,0^{\circ}\text{C}$  w połowie czerwca. W czasie ciepłego okresu wiosennego temperatura powietrza szybko wzrastała i już w kwietniu zanotowano  $20^{\circ}\text{C}$ . W okresie od końca kwietnia do początku lipca w dniach poborów prób zanotowano temperatury około  $20^{\circ}\text{C}$ . Jesienią, od końca września, temperatura powietrza wynosiła od  $6^{\circ}\text{C}$  do  $10^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 3. Temperatura powietrza oraz wody zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku  
Temperature of air and of water in the Nakło-Chechło Reservoir in the year 1996

#### Temperatura wody

Ostra zima na przełomie lat 1995/96 spowodowała utrzymywanie się pokrywy lodowej na zbiorniku do końca marca 1996. Podczas poborów prób w styczniu i lutym grubość warstwy lodu wynosiła 28 cm oraz 34 cm. Silna insolacja wiosną 1996 roku spowodowała zejście pokrywy lodowej i szybkie nagrzewanie się mas wodnych. O ile w lutym temperatura słupa wody wynosiła około  $1^{\circ}\text{C}$ , to pod koniec kwietnia wzrosła aż do  $16,5^{\circ}\text{C}$  (Rys. 3). Interesująca jest nie tyle wartość temperatury, ile tempo jej wzrostu. W następnych miesiącach tempo wzrostu temperatury nie było już tak intensywne, jednak tendencja

wzrostowa utrzymywała się aż do pełni lata. Najwyższą wartość, tj. 21,3°C, zanotowano na początku lipca.

We wrześniu nastąpiło szybkie wychłodzenie słupa wody i spadek temperatury do 13°C. Dalsze miesiące cechował systematyczny spadek temperatury do 8°C w listopadzie i do 4°C w pierwszych dniach grudnia. Ostatnie dni jesieni oraz początek zimy cechowały się stosunkowo wysokimi temperaturami powietrza i wody.

Poszczególne lata różnią się często uwarunkowaniami meteorologicznymi, w tym także przebiegiem zmian temperatury. Należy jednak wskazać na silną zależność między temperaturą wody oraz powietrza. Ponadto uwagę zwraca prawie jednakowa temperatura wody przy powierzchni i nad dnem. Z punktu widzenia oddziaływania temperatury wody na procesy zachodzące wewnątrz zbiornika istotny jest szybki wzrost temperatury wody w stosunkowo krótkim czasie. Równie szybkie jest oddawanie ciepła w okresie jesiennym. Stygnięcie wody ma oczywiście związek z niewielką głębokością wody oraz ogólną jej masą. Masy wody mają małą bezwładność termiczną, która jest cechą charakterystyczną płytkich zbiorników.

#### STOSUNKI TLENOWE

Zawartość tlenu w wodzie zbiornika w warstwie powierzchniowej i nadennej przedstawiono w tabeli 1. Najwyższe nasycenie wody tlenem notowano w miesiącach zimowych podczas występowania pokrywy lodowej (wartość około 14 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>) oraz jesienią, w listopadzie i w grudniu (10,2 i 11,5 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>). W okresie od wiosny do pełni lata obserwowano stopniowe zmniejszanie się stężenia tlenu, przy czym tendencja ta utrzymywała się do początku lipca. Następnie, w czasie kolejnych pomiarów notowano wzrost stężenia tlenu.

Jak widać, zmiany stężenia tlenu w wodzie badanego zbiornika pozostają w wyraźnej zależności od temperatury wody zbiornika. Istotne jest również to, że nie zaobserwowano zmian wskazujących na zależność zawartości tlenu od procesów fotosyntezy lub rozkładu substancji organicznych.

#### NASYCENIE WODY TLENEM

Wartości nasycenia wody tlenem przedstawiono w tabeli 1. W ciągu całego okresu prowadzenia pomiarów nasycenie wody utrzymywało się w granicach od 94 do 100%. Wskaźnik ten dotyczy także okresów spadku stężenia tlenu, w obecnym stadium funkcjonowania badanego ekosystemu nie występują zatem zjawiska, których wynikiem są przetlenia bądź ubytki tlenu.

Stwierdzone wartości stężenia tlenu w wodzie, a zwłaszcza nasycenia wody tym gazem należy uznać za wyjątkowo korzystne dla badanego zbiornika. Uzyskane wyniki wskazują na brak zagrożenia ze strony zimowych ubytków tlenu.

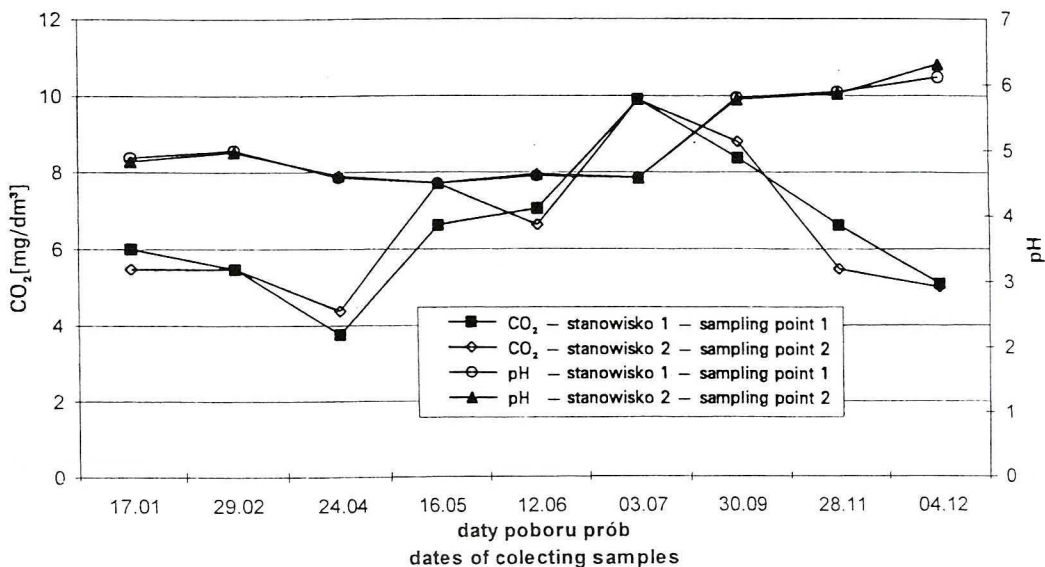


Tabela 1. Stosunki termiczno-tlenowe w zbiorniku Nakło-Chechło w 1996 roku  
 Thermal and oxygenic conditions in the Reservoir Nakło-Chechło in the year 1996

Data	17.01.	29.02.	24.04.	16.05.	12.06.	03.07.	30.09.	28.11.	04.12.
Temperatura powietrza [°C] Temperature of air	-6,0	-8,0	20,0	19,0	28,0	19,0	10,2	8,0	6,0
Temperatura wody – powierzchnia [°C] Temperature of water – surface	0,2	0,2	15,5	17,2	20,4	21,3	16,2	7,0	4,0
Temperatura wody – dno [°C] Temperature of water – bottom	1,0	1,0	15,0	17,0	20,0	21,0	16,0	7,0	4,0
Tlen – powierzchnia Oxygen – surface	14,2	14,0	9,0	9,4	7,7	8,0	9,5	10,2	11,5
Tlen – dno Oxygen – bottom	14,2	14,0	8,4	9,2	7,2	8,0	9,1	10,0	11,5
Tlen – powierzchnia [% ] Oxygen – surface	99,5	99,0	104,0	98,4	96,0	99,0	99,3	98,0	96,0
Tlen – dno [% ] Oxygen – bottom	99,5	99,0	97,2	97,0	94,0	99,0	94,3	98,0	96,0
Secchi disk [m]	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8

#### DWUTLENEK WĘGLA

Stężenie dwutlenku węgla jest czynnikiem wskazującym m.in. na przebieg intensywnej fotosyntezy (brak  $\text{CO}_2$  w czasie zakwitów glonów). Jednocześnie zawartość tego dobrze rozpuszczalnego w wodzie gazu może wpływać na warunki środowiskowe, w tym na odczyn wody [9]. Przebieg zmian stężeń  $\text{CO}_2$  na tle zmian odczynu wody zbiornika przedstawiono na rysunku 4.

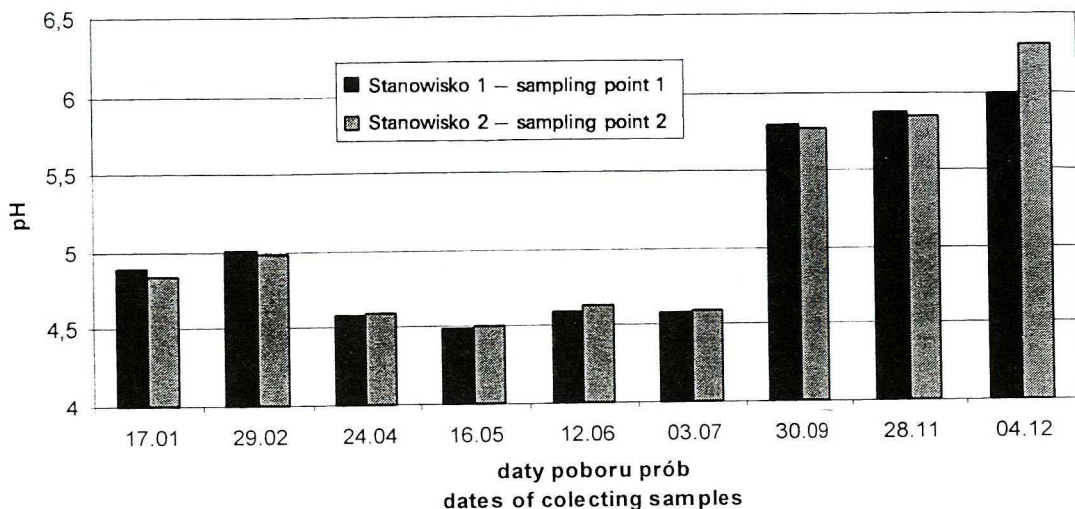


Rys. 4. Zmiany stężenia  $\text{CO}_2$  agresywnego oraz odczynu w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku  
 Changes in the content of aggressive  $\text{CO}_2$  and pH-index in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the years 1996

W sytuacji, gdy ma się do czynienia z wodą o niewielkiej zawartości substancji mineralnych, stopień rozpuszczalności dwutlenku węgla w wodzie wzrasta, a jednocześnie jego neutralizowanie przez rozpuszczone związki mineralne – wapnia i magnezu – jest ograniczone ze względu na ich niewielką ilość. W takiej sytuacji szczególnie istotne jest to, czy obecny w środowisku dwutlenek węgla występuje w postaci agresywnej. W wodzie zbiornika Nakło-Chechło oznaczano zawartość agresywnego  $\text{CO}_2$ . Zawartość agresywnego dwutlenku węgla w dość wyraźnym stopniu korelowała ze zmianami odczynu wody. Okresom najniższych wartości pH wody zbiornika odpowiadały najwyższe stężenia agresywnego dwutlenku węgla. Analizy zawartości tej formy  $\text{CO}_2$  wykazały występowanie wysokich stężeń tego gazu w formie mogącej oddziaływać zakwaszająco na wodę zbiornika.

#### ODCZYN WODY

Przebieg zmian odczynu wody zbiornika na obu stanowiskach poboru prób w 1996 roku przedstawiono na rysunku 5. W pierwszych miesiącach, tj. od stycznia do lipca 1996 roku, wartości odczynu wody były bardzo niskie i wahały się od  $\text{pH} = 4,5$  do  $\text{pH} = 5,0$ . Zmiany te wykazywały pewną tendencję do obniżania się pH z biegiem czasu. We wrześniu zanotowano na obu stanowiskach nagły wzrost odczynu do wartości  $\text{pH} = 5,8$ . Kolejne pomiary wykazały dalszy wzrost odczynu do  $\text{pH} = 5,88$  w listopadzie i  $\text{pH} = 6,3$  w grudniu.



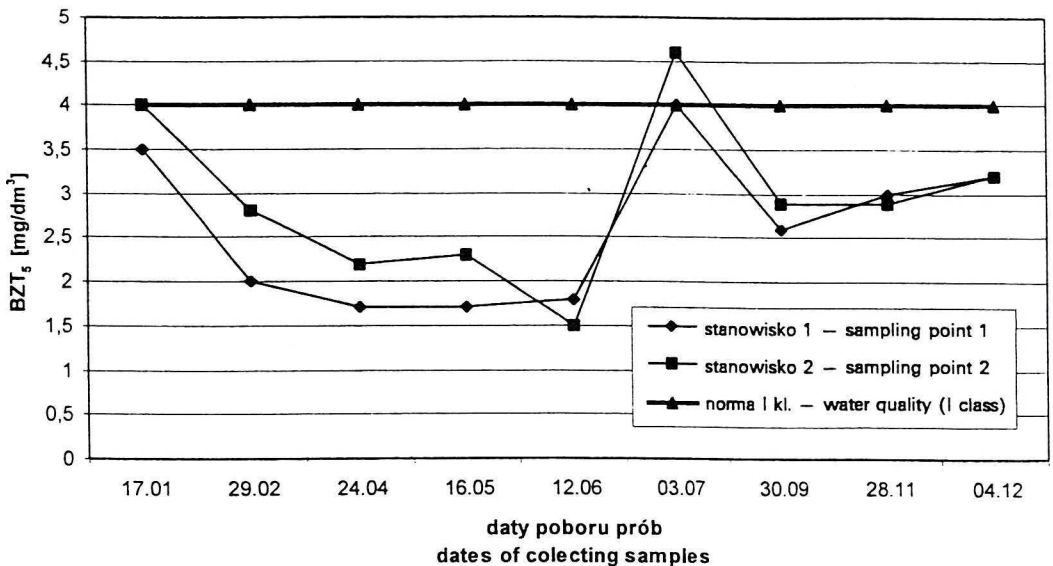
Rys. 5. Zmiany odczynu wody zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku  
Changes of pH-index in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the year 1996

#### BIOCHEMICZNE ZAPOTRZEBOWANIE TLENU

Przebieg zmian BZT<sub>5</sub> przedstawiono na rysunku 6. Zmiany wartości tego wskaźnika wahały się w niewielkich granicach – od 1,4 do 4,6 mg  $\text{O}_2/\text{dm}^3$ .

Krzywa przebiegu zmian wykazuje obniżanie się wartości omawianego wskaźnika w okresie od zimy do lata. W tym czasie nastąpiło zmniejszenie wartości  $BZT_5$  z  $4,0 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$  w styczniu do  $1,5 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$  w połowie czerwca. W pierwszych dniach lipca zanotowano najwyższą stwierdzoną wartość, wynoszącą  $4,6 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$  (stanowisko 2). Być może było to wywołane wpływem intensywnego użytkowania zbiornika w okresie wakacyjnym. Jesienią zanotowano obniżenie  $BZT_5$  do około  $3,0 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . Wartości te utrzymywały się do grudnia 1996 roku.

Notowane wartości  $BZT_5$  charakterystyczne są dla wody pozbawionej zanieczyszczeń. Nieznaczne przekroczenie wartości tego wskaźnika wystąpiło w okresie letnim – wakacyjnym, w czasie intensywnego eksploatowania zbiornika jako kąpieliska.

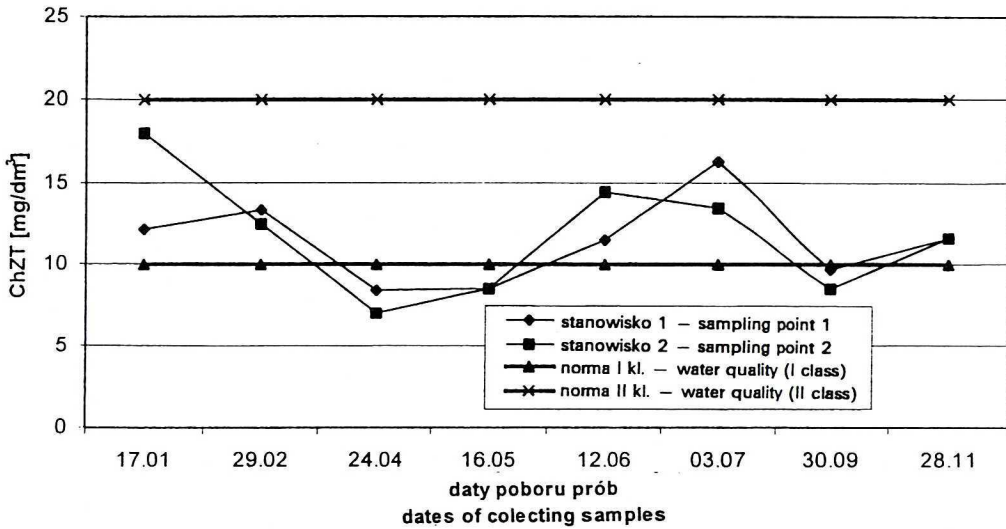


Rys. 6. Zmiany wartości  $BZT_5$  w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku  
Changes of  $BOD_5$  in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the year 1996

#### CHEMICZNE ZAPOTRZEBOWANIE TLENU

Przebieg zmian ChZT przedstawiono na rysunku 7. W okresie od stycznia do kwietnia wartość ChZT obniżyła się wyraźnie od  $18$  do  $7 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . W okresie wiosennym wartości ChZT były niskie – około  $7-8 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . Następnie od czerwca do końca września nastąpiło podwyższenie wartości do  $14,4 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$  w czerwcu i  $16,2 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$  na początku lipca. W większości przypadków wartości ChZT klasyfikują wodę zbiornika w przedziale pomiędzy I a II klasą czystości.



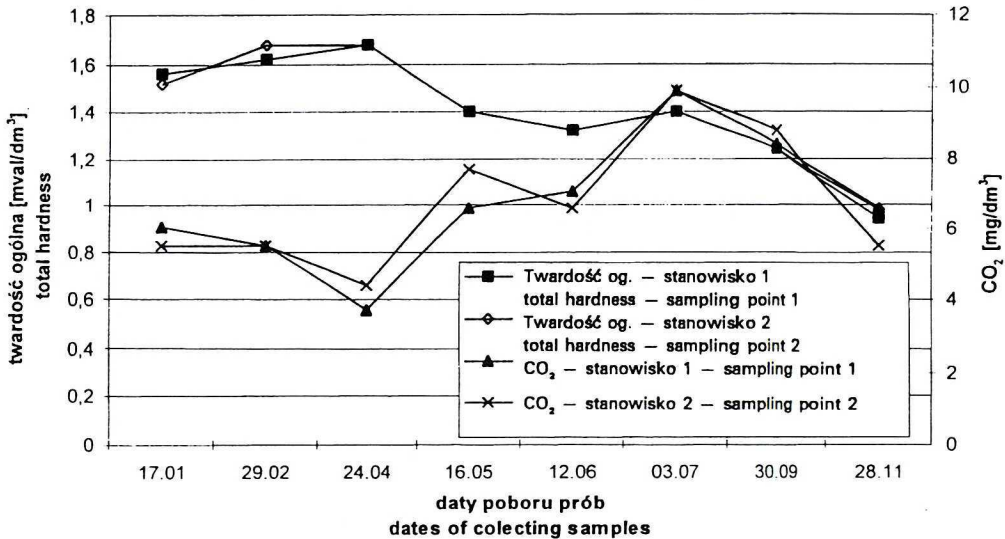


Rys. 7. Zmiany wartości ChZT w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku  
Changes of COD in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the year 1996

WSKAŹNIKI STOPNIA ZMINERALIZOWANIA WODY

Twardość ogólna

Przebieg zmian twardości ogólnej wody zbiornika przedstawiono na rysunku 8. Wartości tego wskaźnika wykazywały w ciągu okresu prowadzenia badań tendencję spadkową. Twardość wody obniżała się od 1,7 mval/dm<sup>3</sup> w lu-



Rys. 8. Zmiany stężeń twardości ogólnej i CO<sub>2</sub> agresywnego w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku

Changes in the content of total hardness and aggressive CO<sub>2</sub> in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the year 1996

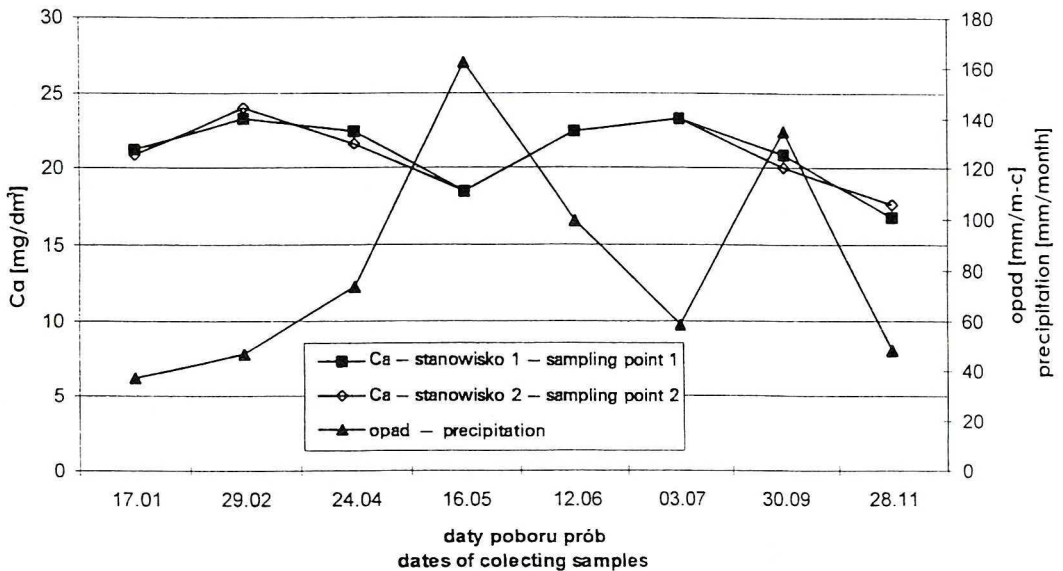
tym i kwietniu 1996 roku do  $1,0 \text{ mval/dm}^3$  pod koniec listopada. Jednocześnie wszystkie uzyskane wyniki analiz określają wodę jako bardzo miękką (poniżej  $1,8 \text{ mval/dm}^3$ ).

Na rysunku 8 przedstawiono przebieg zmian twardości wody na tle zmian stężenia agresywnego dwutlenku węgla. Na ogół niższym stężeniom agresywnego dwutlenku węgla odpowiadają wyższe wartości twardości ogólnej. Jednak w okresie od lipca do grudnia zanotowano jednoczesny spadek zarówno ilości  $\text{CO}_2$  agresywnego, jak i twardości wody.

### Wapń

Przebieg zmian stężenia wapnia przedstawiono na rysunku 9. W okresie od końca kwietnia do połowy maja stężenie wapnia w wodzie zbiornika zmniejszyło się z 23 do  $18 \text{ mg Ca/dm}^3$ . Następnie w czerwcu i lipcu wzrosło do poprzednich wartości.

Przebieg zmian stężenia wapnia przedstawiono na tle miesięcznych sum opadów atmosferycznych. Omawiany rysunek uwidacznia jakby lustrzane odbicie przebiegu zmian obu tych wskaźników. Pozwala to doszukiwać się przyczyn zmian stężenia wapnia w ilości wody opadowej.



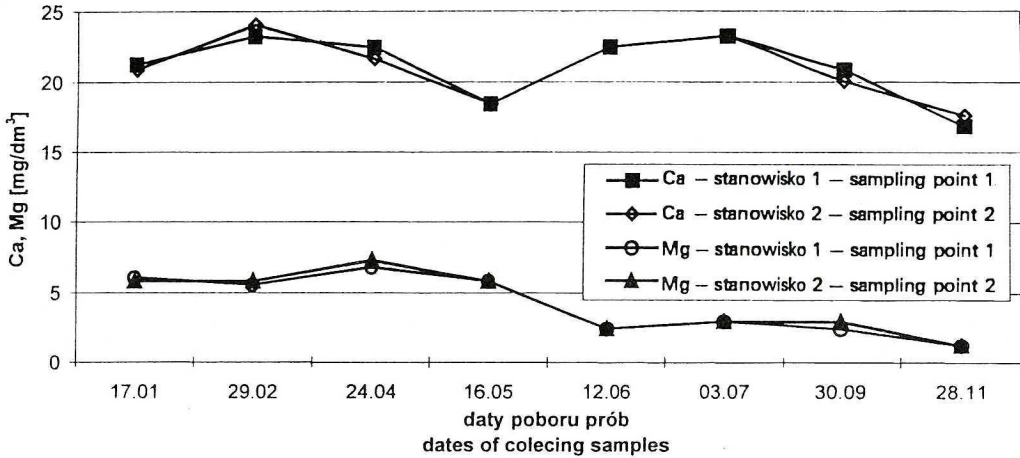
Rys. 9. Zmiany stężenia wapnia w wodzie zbiornika Nakło-Chechło na tle miesięcznych sum opadów w 1996 roku

Changes in the content of calcium in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the year 1996

### Magnez

Stężenie magnezu w wodzie zbiornika w okresie prowadzenia badań było niewielkie. Zmieniało się ono w granicach od  $7 \text{ mg Mg/dm}^3$  do  $1,5 \text{ mg Mg/dm}^3$ .

Przedstawiony na rysunku 10 przebieg zmian wskazuje na tendencję spadkową stężenia magnezu, utrzymującą się w ciągu całego okresu prowadzenia

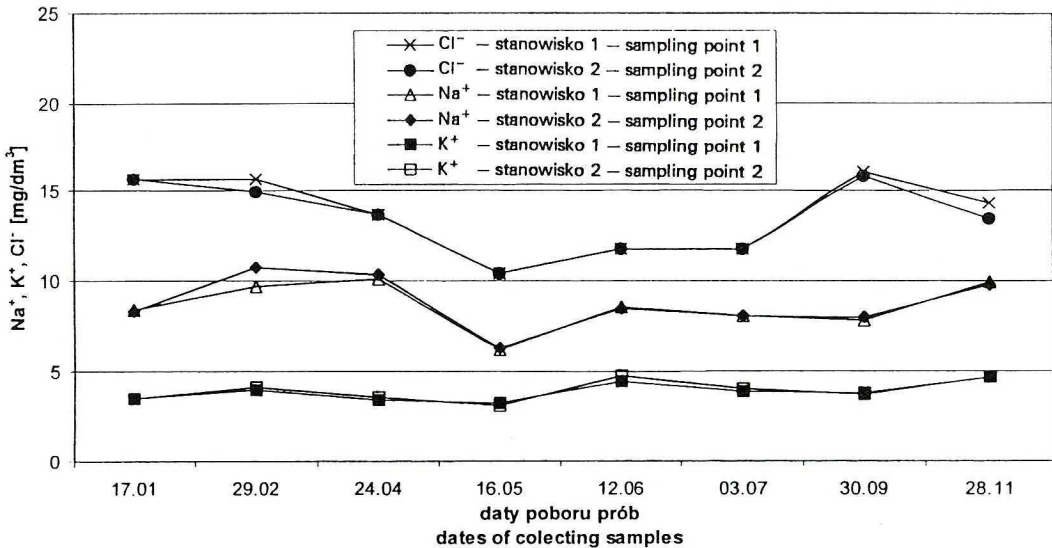


Rys. 10. Zmiany stężenia wapnia i magnezu w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku  
Changes in the content of calcium and magnesium in the the Nakło-Chechło Reservoir in the year 1996

badan. Dodatkowo stwierdzono występowanie niższych stężeń magnezu w drugiej połowie roku. Podobnie jak w przypadku twardości ogólnej i stężenia wapnia, również w przypadku magnezu można zaobserwować charakterystyczny przebieg zmian krzywej w trakcie i po okresie najwyższych opadów deszczu, które wystąpiły w maju 1996 roku.

#### Sód i potas

Zmiany stężenia sodu w wodzie zbiornika przebiegały w granicach od 6 mg Na/dm<sup>3</sup> do 10,74 mg Na/dm<sup>3</sup> (Rys. 11). Okres zimowo-wiosenny cechował się



Rys. 11. Zmiany stężeń sodu, potasu oraz chlorków w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku  
Changes in the content of sodium, potassium and chlorides in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the year 1996



niewo wyższymi stężeniami sodu aniżeli okres letnio-jesienny. Charakterystyczne zmniejszenie stężenia zanotowano w połowie maja, po nasilonych opadach atmosferycznych. Ogólnie przebieg zmian wskazuje raczej na tendencję do utrzymywania się stabilnych wartości stężeń sodu.

Stężenia potasu w wodzie zbiornika były bardzo niskie (Rys. 11). Zmiany stężeń zachodziły w granicach od 3,2 mg K/dm<sup>3</sup> do 4,78 mg K/dm<sup>3</sup>. Jednocześnie krzywa przebiegu zmian wskazuje na wyraźne wyrównanie wartości w całym okresie prowadzenia badań.

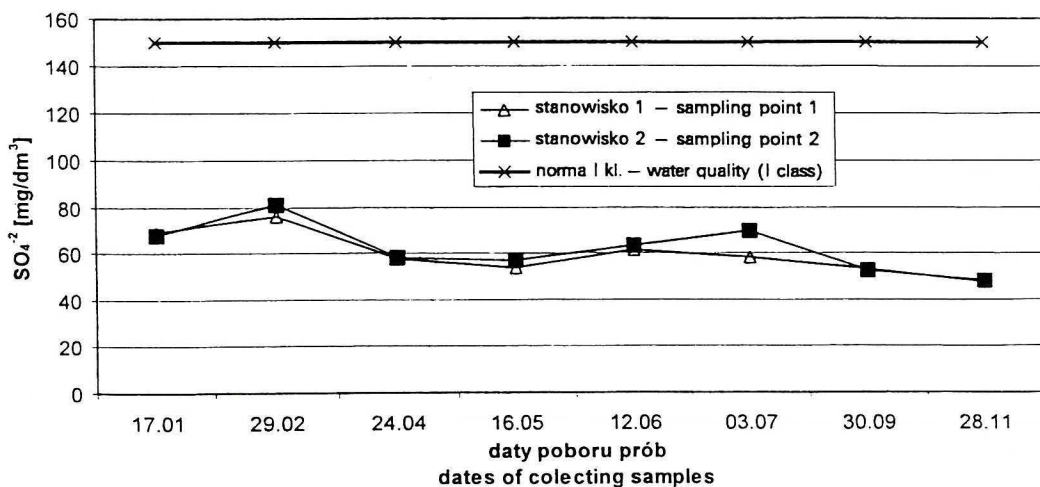
### Chlorki

Zmiany stężeń chlorków przedstawiono na rysunku 11. Przebiegały one w granicach od 10,36 mg Cl/dm<sup>3</sup> do 16,07 mg Cl/dm<sup>3</sup>. Są to stężenia niskie, charakteryzujące wody o bardzo niskim zasoleniu. Od stycznia do maja obserwowano zmniejszanie się stężenia chlorków. W maju zanotowano najniższe stężenie tego wskaźnika. Od maja do lipca, tj. w okresie nasilonych opadów atmosferycznych, stężenia chlorków były najniższe. Świadczy to o rozcieńczeniu wody zbiornika. Wzrost stężenia chlorków zanotowano ponownie jesienią – we wrześniu i pod koniec listopada.

### Siarczany

Przebieg zmian stężeń siarczanów zilustrowano na rysunku 12. Zmiany te zachodziły w granicach od 48 do 80 mg SO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>. Różnice stężeń siarczanów między stanowiskiem 1 i 2 były nieistotne z analitycznego punktu widzenia.

Krzywa zmian wykazywała tendencję spadkową dla całego okresu prowadzenia badań. W lutym stwierdzono najwyższe stężenie omawianego wskaźnika, tj. 80,3 mg SO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>, natomiast podczas ostatniego poboru prób – pod koniec listopada – 48 mg SO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>. Należy zaznaczyć, że pewne obniżenie



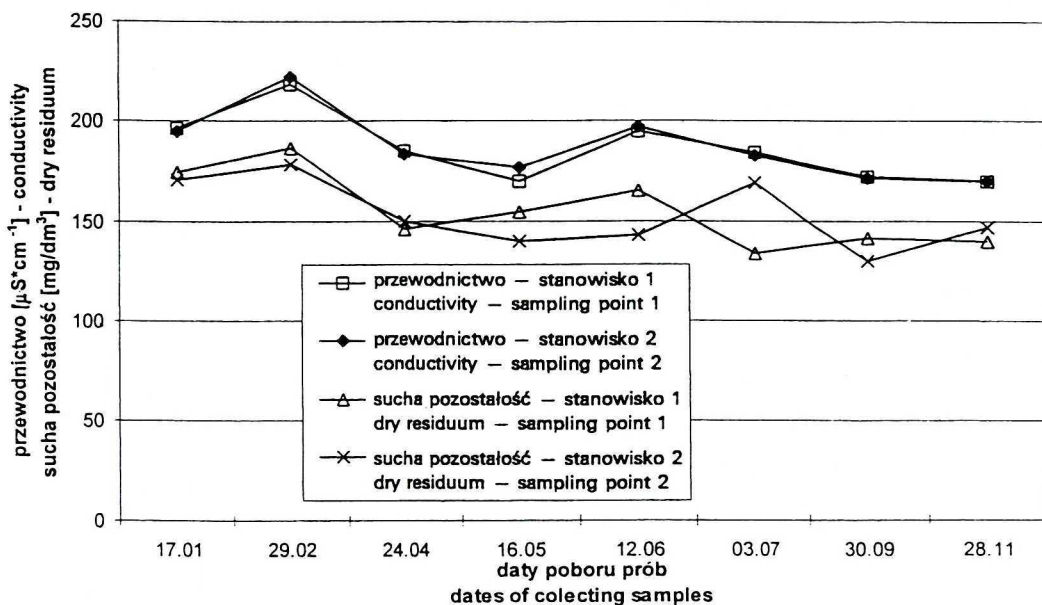
Rys. 12. Zmiany stężenia siarczanów w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku  
Changes in the content of sulphates in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the year 1996

stężenia nastąpiło w maju, w czasie najsilniejszych opadów deszczu. W czerwcu zanotowano pewien wzrost, po czym stężenie jonów siarczanowych systematycznie się obniżało do końca prowadzenia prac.

### Sucha pozostałość

Zmiany suchej pozostałości w wodzie zbiornika zachodziły w granicach od 145 do 180 mg/dm<sup>3</sup> (Rys. 13). Jednocześnie, podobnie jak w przypadku siarczanów, stwierdzono wyraźną tendencję spadku wartości omawianego wskaźnika, utrzymującą się w ciągu całego okresu prowadzenia badań. Najwyższe wartości zanotowano na początku badań, w lutym, najniższe zaś pod koniec listopada 1996 roku.

Jakkolwiek na wykresie, dla lepszej czytelności rysunku przedstawiono zmiany suchej pozostałości w temperaturze 105°C, jednakże opisana tendencja dotyczy pozostałych wskaźników, tj. suchej pozostałości w temperaturze 550°C oraz strat przy prażeniu.



Rys. 13. Zmiany przewodnictwa właściwego oraz suchej pozostałości w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku

Changes in the content of conductivity and dry residuum in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the year 1996

### PRZEWODNICTWO ELEKTROLITYCZNE

Podobnie jak w przypadku pozostałych wskaźników stopnia zmineralizowania wody, również w przypadku zmian przewodnictwa właściwego zauważa się tendencję spadkową stężenia w całym okresie prowadzenia badań (Rys. 13).

Podkreślić należy niskie wartości omawianego wskaźnika, charakterystyczne dla wód bardzo czystych. Opisane zmiany zachodziły w granicach od 175 do 220  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ .

#### ZAWIESINA

Zakres zmian ilości zawiesiny w wodzie zbiornika wynosił od 5 do 39  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . Między dwoma stanowiskami poboru prób wystąpiły pewne różnice w dynamice zmian. Charakterystyczny jest wzrost ilości zawiesiny w wodzie zbiornika w okresach nasilonych opadów deszczu, czego wspomniany wzrost jest konsekwencją. Wyższe stężenia zawiesiny obserwowano w okresie lata. Okresy zimowy i jesienny cechowały wartości wyraźnie niższe.

#### SPLYWY POWIERZCHNIOWE

Powstawanie spływów powierzchniowych zależne jest m.in. od intensywności opadów deszczu, czasu trwania opadów, czasu suszy między okresami opadów, temperatury powietrza w czasie trwania suszy oraz innych czynników. Forma spływu może przybierać różne postacie. Może to być spływ z powierzchni gruntu, który może spowodować silne zawilgocenie (prowadzące do zabagnienia) brzegów zbiornika, może także przybrać postać okresowego ciek. Niektóre partie zlewni zachowują zdolność do odprowadzania wód spływów tymi samymi drogami, najczęściej rowkami denudacyjnymi. W przypadku mniej intensywnych opadów deszczu, spływ nie przybiera formy ciek, lecz ma postać utrzymujących się w zagłębieniach terenu kałuż, z których woda stopniowo przepływa coraz niżej, aż trafia do strefy brzegowej zbiornika.

Powyżej opisany ogólnie mechanizm kształtowania się spływów wpływa na skład chemiczny wody, a także na sposób pobierania prób. Polega to na zmianie miejsc występowania spływu, w związku z tym nie można znaleźć spływu zawsze w tym samym miejscu.

W przypadku przedstawionych wyników analiz (Tab. 2) należy dodać, iż dołożono starań, aby spływającą wodę pobierać możliwie w tym samym miejscu. Ponieważ nie zawsze było to możliwe, określono średnie stężenia analizowanych wskaźników. Odzwierciedlają one stan jakości tych wód.

Zdaniem autorów opracowania, porównanie średnich wartości stężeń wskaźników jakości wody w wodzie zbiornika Nakło-Chechło oraz w spływach powierzchniowych ze zlewni bezpośredniej przedstawia się bardzo interesująco (Tab. 3). Poniżej omówiono uzyskane wyniki oraz wynikające z ich analizy spostrzeżenia.



Tabela 2. Jakość wody spływów powierzchniowych ze zlewni zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku

Water quality of surface run off from the Nakło-Chechło Reservoir basin area in the year 1996

Wskaźnik Parameter	Jednostka Unit	16.05.	12.06.	03.07.	30.09.	28.11	Średnia Average
BZT <sub>5</sub> BOD <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	2,1	2,0	2,3	2,2	2,3	2,18
ChZT COD	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	39,20	28,2	25,1	29,90	27,50	29,98
Chlorki Chlorides	mg Cl/dm <sup>3</sup>	5,41	11,4	6,3	14,29	12,39	9,958
Siarczany Sulphates	mg SO <sub>4</sub> /dm <sup>3</sup>	43,81	44,2	41,6	42,78	44,12	43,302
Sód Sodium	mg Na/dm <sup>3</sup>	2,84	4,6	3,1	6,21	4,24	4,198
Potas Potassium	mg K/dm <sup>3</sup>	7,52	5,4	4,2	3,81	3,22	4,83
Twardość og. Total hardness	mval/dm <sup>3</sup>	1,32	1,1	1,2	1,12	1,10	1,168
Wapń Calcium	mg Ca/dm <sup>3</sup>	15,23	14,3	15,1	16,83	14,34	15,16
Magnez Magnesium	mg Mg/dm <sup>3</sup>	6,81	4,81	3,12	3,40	4,10	4,448
pH		5,01	4,95	5,10	5,34	5,10	5,10
Zasadowość Zp Alkalinity	mval/dm <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zasadowość Zm Alkalinity	mval/dm <sup>3</sup>	0,40	0,35	0,40	0,20	0,20	0,31
Przewodnictwo Conductivity	μS/cm	133	128	131	137	129	132
Sucha pozostałość 105°C Dry residuum 105°C	mg/dm <sup>3</sup>	141	140	120	116	120	127
Sucha pozostałość 550°C Dry residuum 550°C	mg/dm <sup>3</sup>	78	70	62	40	50	60
Straty prażenia Losses of roasting	mg/dm <sup>3</sup>	63	70	58	76	76	69
Zawiesina Suspended solids	mg/dm <sup>3</sup>	12	20	16	14	12	15

Tabela 3. Średnie stężenia wybranych wskaźników jakości wody zbiornika Nakło-Chechło i spływów powierzchniowych ze zlewni bezpośredniej w 1996 roku

Average concentrations of selected parameters of water quality in the Nakło-Chechło Reservoir and in surface run off from the basin area in the year 1996

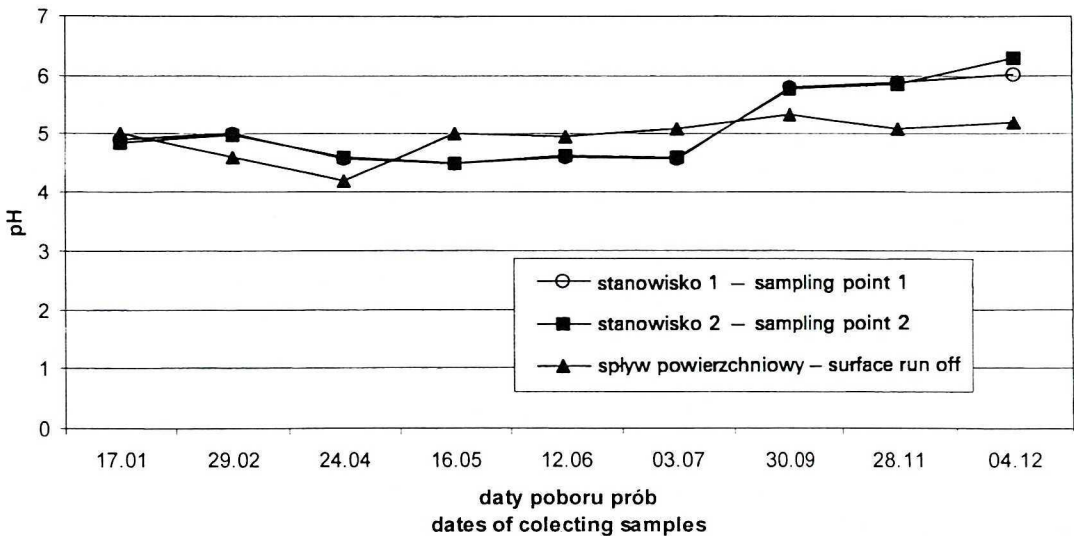
Wskaźnik Parameter	Jednostka Unit	Stanowisko 1 Sampling point nr 1	Stanowisko 2 Sampling point nr 2	Spływy powierzchniowe Surface run off
BZT <sub>5</sub> BOD <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	2,50	2,90	2,18
ChZT COD	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	11,47	11,79	29,98
Chlorki Chlorides	mg Cl/dm <sup>3</sup>	14,03	14,14	9,96
Siarczany Sulphates	mg SO <sub>4</sub> /dm <sup>3</sup>	59,79	62,20	43,30
Sód Sodium	mg Na/dm <sup>3</sup>	8,57	9,61	4,20
Potas Potassium	mg K/dm <sup>3</sup>	3,91	3,97	4,83
Twardość og. Total hardness	mval/dm <sup>3</sup>	1,39	1,40	1,17
Wapń Calcium	mg Ca/dm <sup>3</sup>	21,09	21,04	15,16
Magnez Magnesium	mg Mg/dm <sup>3</sup>	4,16	4,28	4,45
pH		4,98	4,97	4,48
Zasadowość Zp Alkalinity	mval/dm <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00
Zasadowość Zm Alkalinity	mval/dm <sup>3</sup>	0,12	0,12	0,31
Przewodnictwo Conductivity	μS/cm	186	187	132
Sucha pozostałość 105°C Dry residuum 105°C	mg/dm <sup>3</sup>	155	153	127
Sucha pozostałość 550°C Dry residuum 550°C	mg/dm <sup>3</sup>	109	112	60
Straty prażenia Losses of roasting	mg/dm <sup>3</sup>	46	42	69
Zawiesina Suspended solids	mg/dm <sup>3</sup>	16	11	15

BZT<sub>5</sub> i ChZT

Średnia wartość BZT<sub>5</sub> wody spływów powierzchniowych była nieznacznie niższa od BZT<sub>5</sub> wody zbiornika, przy czym należy podkreślić, iż wartości omawianego wskaźnika były niskie. Jednocześnie ChZT wody spływów było ponad dwukrotnie wyższe, co wskazuje na obecność w spływach substancji organicznej trudno rozkładalnej, a już na pewno upostaciowionej (szczątki liści, traw itp.).

## Odczyn wody spływów powierzchniowych

Wartości odczynu spływów powierzchniowych ze zlewni bezpośredniej były niskie. Kształtowały się one w granicach od pH = 4,95 do pH = 5,34. Przebieg zmian wartości pH spływów w ciągu roku przedstawiono na rysunku 14.



Rys. 14. Zmiany odczynu wody zbiornika Nakło-Chechło i spływów powierzchniowych w 1996 roku

Changes of pH-index in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the year 1996

Odczyn wody, jako istotny czynnik warunkujący występowanie w wodach powierzchniowych różnego rodzaju zanieczyszczeń, był nieco niższy w spływach aniżeli w zbiorniku. Wskazuje to – co potwierdzają analizy – na wpływ odczynu jako czynnika zwiększającego stopień wymywania niektórych substancji ze zlewni.

Podwyższone – w stosunku do wartości stężeń w zbiorniku – średnie stężenia niektórych wskaźników jakości wody w spływach wskazują na istotną rolę, jaką w funkcjonowaniu ekosystemu jeziornego mogą odgrywać spływy powierzchniowe, zwłaszcza gdy są jednym z głównych źródeł wody zasilającej zbiornik. Pierwsze spływy powstają podczas roztopów wiosennych i odprowadzają nagromadzone w czasie zimy zanieczyszczenia, co znajduje odbicie w wynikach analiz śniegu.



Podkreślić należy, że stwierdzone ilości określonych substancji zawarte są w wodach spływów przed dotarciem do zbiornika. Być może odnotowane stężenia zmieniają się na odcinku powyżej zbiornika, a poniżej stanowisk poboru prób. W przypadku badanego zbiornika odległości te wynosiły około 50–100 m. Ogólnie biorąc, ilości zanieczyszczeń doprowadzanych do zbiornika ze zlewni przez spływy są niewielkie.

Sporządzenie bilansu doprowadzanych do zbiornika zanieczyszczeń będzie przedmiotem odrębnych badań. Praca ta wymaga dodatkowych informacji, dotyczących charakteru gleb zlewni, składu opadów atmosferycznych oraz dynamiki zmian opadów atmosferycznych z uwzględnieniem dobowych sum opadów.

#### OPADY ŚNIEGU

Próby śniegu z powierzchni zbiornika pobrano dwukrotnie – w styczniu i w lutym 1996 roku. W próbkach śniegu oznaczono kilka wybranych wskaźników w celu ogólnego zorientowania się co do roli opadów śniegu jako czynnika potencjalnie mającego zdolność akumulowania zanieczyszczeń.

Przedstawione w tabeli 4 wyniki dwukrotnych analiz śniegu wskazują na zmienność stopnia zanieczyszczenia powietrza w rejonie zbiornika, a także na rolę opadów śniegu jako czynnika skutecznie usuwającego zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, zwłaszcza pyłowe.

Otrzymane wyniki dla poszczególnych wskaźników korespondują ze sobą. Wyższemu odczynowi wody w śniegu w styczniu ( $\text{pH} = 7,6$ ) odpowiada podwyższone stężenie wapnia ( $5 \text{ mg Ca/dm}^3$ ) i magnezu ( $2 \text{ mg Mg/dm}^3$ ), podczas gdy w lutym odczynowi o wartości  $\text{pH} = 4,8$  odpowiadały niższe wartości stężeń wapnia i magnezu. Podobnie układała się zależność odczynu od przewodnictwa właściwego.

Tabela 4. Stężenia wybranych wskaźników w śniegu z powierzchni zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku

Concentrations of selected parameters in snow from the surface of the Nakło-Chechło Reservoir in the year 1996

Wskaźnik Parameter	Jednostka Unit	17.01.	29.02.
Twardość ogólna Total hardness	mval/dm <sup>3</sup>	0,33	0,28
Wapń Calcium	mg Ca/dm <sup>3</sup>	5,0	3,11
Magnez Magnesium	mg Mg/dm <sup>3</sup>	2,12	1,46
pH		7,63	4,87
Przewodnictwo Conductivity	μS/cm	41,7	30,1

## PODSUMOWANIE

Przeprowadzone w okresie od stycznia do grudnia 1996 roku badania składu fizyczno-chemicznego wody zbiornika Nakło-Chechło oraz spływów powierzchniowych w rejonie zbiornika pozwoliły na poznanie podstawowych prawidłowości i mechanizmów, określających funkcjonowanie zbiornika jako ekosystemu wodnego.

Na podstawie uzyskanych wyników badań dokonano wstępnej charakterystyki limnologicznej zbiornika Nakło-Chechło. Zbiornik jest polimiktyczny, niestabilny. Woda nie wykazuje stratyfikacji termicznej i tlenowej; mieszanie wody pod wpływem wiatru odbywa się w okresie wiosenno-jesiennym, z wyjątkiem okresu występowania pokrywy lodowej. Wynika to m.in. z faktu usytuowania zbiornika o wydłużonym kształcie zgodnie z najkorzystniejszą różną wiatrów (zachód – wschód), niewielkiej głębokości zbiornika zapewniającej (teoretycznie) ciągle mieszanie wody od powierzchni do dna.

Stan chemiczny badanego zbiornika jest kształtowany przez podłoże samego zbiornika i jego zlewni oraz przez opady. Ten pogląd jest poparty analizami wody z pobranego śniegu.

Czynnikiem decydującym o wyjątkowej podatności zbiornika na zakwaszenie wody jest brak zbuforowania wody. Woda zbiornika, jak wykazano we wcześniejszej publikacji [8] poświęconej temu zagadnieniu, nie posiada wystarczającej ilości jonów  $\text{OH}^-$ , mogących neutralizować pojawiające się, czy to w opadach atmosferycznych, czy w spływach ze zlewni, jonów  $\text{H}^+$ . Wyniki przeprowadzonych analiz wykluczają zrzuty ścieków kwaśnych.

Na podstawie wyników analiz nie stwierdzono wzrostu stężenia chlorków i siarczanów w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w czasie prowadzenia badań. Kwaśny odczyn wody stwierdzony w zbiorniku Nakło-Chechło oddziałuje niekorzystnie na skrzelą ryb i fizjologię oddychania.

Kolejnym elementem, który prawdopodobnie odegrał istotną rolę w zmniejszeniu odporności zbiornika na czynniki sprzyjające zakwaszeniu, mogło być poprawienie stanu czystości powietrza atmosferycznego. W składzie zanieczyszczeń powietrza oprócz rodników kwasowych występują także liczne pyły, zawierające m.in. duże ilości wapnia. Z chwilą, kiedy pod wpływem opadów deszczu do zbiornika przestają dopływać związki wapnia oraz magnezu zmniejsza się zbuforowanie, a w następstwie odczyn wody gwałtownie się obniża. Zastosowanie zabiegów rekultywacyjnych przy użyciu dolomitu wydaje się w świetle wykonanych badań, trafnym rozwiązaniem.

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania chemiczne zbiornika Nakło-Chechło oraz analiza istniejących danych pozwalają na sformułowanie poniższych wniosków:

1. Wyniki analiz wykazują dobry stan jakości wody zbiornika Nakło-Chechło pod względem liczby wskaźników określających stopień mineralizacji wo-



dy. Tak dobra jakość stanowi zjawisko niepowtarzalne na terenie województwa śląskiego i w związku z tym zbiornik, spełniający zadania przyrodotwórcze i będący jednocześnie intensywnie użytkowanym ośrodkiem rekreacyjnym, wymaga stałej kontroli i ochrony.

2. Harmonijność zbiornika jest zachwiana, jest to zbiornik acidotroficzny. Kwaśny odczyn wody wynika z dużej ilości rozpuszczonego agresywnego dwutlenku węgla.

3. Zbiornik znajduje się pod silnym hydrologicznym i hydrochemicznym wpływem opadów atmosferycznych. Spływy powierzchniowe ze zlewni piaszczystej nie dostarczają do zbiornika większej ilości związków wapnia, magnezu i potasu, mogących stworzyć lepsze zbuforowanie wody. Specyfika zbiornika, zwłaszcza jego uzależnienie od wielkości i składu opadów atmosferycznych oraz spływów powierzchniowych ze zlewni, utrudnia dokładne przewidywanie funkcjonowania tego ekosystemu. Analizując materiały archiwalne oraz wyniki analiz własnych stwierdzono, że podatność wody zbiornika na zakwaszenie wynika z małej zawartości substancji buforujących, głównie węglanów wapnia i magnezu [7, 10]. Słabe zbuforowanie wody ułatwia oddziaływanie na zbiornik opadów deszczu oraz spływów powierzchniowych i podziemnych, co w konsekwencji powoduje zwiększenie ilości jonów wodorowych.

4. Celowe jest prowadzenie badań limnologicznych zbiornika w ciągu dłuższego przedziału czasu. Umożliwiłoby to obserwację procesów i zjawisk decydujących o kształtowaniu się równowagi hydrochemicznej i biologicznej zbiornika, mogłoby zarazem stanowić rodzaj kontroli, istotnej dla zachowania wysokiej czystości jego wody.

## LITERATURA

- [1] Bombówna M.: *Ecology of some waters in the forest-agricultural basin of the River Brynica near the Upper Silesian Industrial Region. 2. Chemical composition of water and atmospheric precipitation*, Acta Hydrobiol., **27**, 433–450 (1985).
- [2] Camarero L., J. Catalan: *A simple model of regional acidification for high mountain lakes: application to the Pyrenean lakes (north-east Spain)*, Wat. Res., **32**, 1126–1136 (1998).
- [3] Catalan J., E. Ballesteros, E. Gacia, A. Palau, L. Camarero: *Chemical composition of disturbed and undisturbed high mountain lakes in the Pyrenees: a reference for acidified sites*, Wat. Res., **27** (1), 133–141 (1993).
- [4] Henriksen A., L. Lien, T.S. Traaen, I.S. Sevaldrud, D.F. Brakke: *Lake acidification in Norway – present and predicted chemical status*, Ambio, **17**, 259–266 (1988).
- [5] Just J., W. Hermanowicz, W. Dożanska, J. Dojlido, B. Koziorowski: *Fizyczno-chemiczne metody badania wody i ścieków*, PZWL, Warszawa 1976.
- [6] Jüttner I., J. Lintemann, B. Michalke, R. Winkler, Ch.E.W. Steinberg, A. Kettrup: *The acidification of the Herrenwieser See, Black Forest, Germany, before and during industrialisation*, Wat. Res., **31**, 1194–1206 (1997).
- [7] Kostecki M., A. Domurad, E. Kowalski, J. Kozłowski, I. Łuczak, H. Brylski, Ł. Rychlewska: *Ocena stanu jakości wody zbiornika rekreacyjnego Nakło-Chechło, ustalenie przyczyn katastrofalnego zakwaszenia wody oraz opracowanie sposobu ustalenia równowagi jonowej w celu zapobieżenia ujemnym skutkom acidotrofii*, IPIŚ PAN, Zabrze 1996.



- [8] Kostecki M., A. Domurad, E. Kowalski, J. Kozłowski: *Zakwaszenie wody zbiornika Nakło-Chechło (gmina Świerklaniec) – próba wyjaśnienia przyczyn*, Arch. Ochr. Środ. (w druku).
- [9] Kratz T.K., R.B. Cook, C.J. Bowser, P.L. Brezonik: *Winter and spring pH depressions in Northern Wisconsin lakes caused by increases in pCO<sub>2</sub>*, Can. J. Fish. Aquat. Sci., **44**, 1082–1088 (1987).
- [10] Materiały źródłowe – wyniki analiz fizyczno-chemicznych oraz mikrobiologicznych wody zbiornika, wykonywane w latach 1991–1995 przez Stację SANEPID-u w Bytomiu, OBKiŚ w Katowicach oraz WZWET – ZHW w Katowicach (do wglądu w Urzędzie Gminy w Świerkłańcu).
- [11] Nriagu J.O., D.A. Holdway, R.D. Coker: *Biogenic sulfur and the acidity of rainfall in remote areas of Canada*, Science, **237**, 1189–1192 (1987).
- [12] Schnoor J. L., W. Stumm: *Acidification of aquatic and terrestrial systems*, [w:] *Chemical Processes in Lakes* (edited by Stumm W.), Wiley Interscience, London 1985.
- [13] Wróbel S., B. Szczęsny: *Zakwaszenie wód w Polsce i próby ich neutralizacji*, [w:] Kajak Z. (red. nauk.): *Funkcjonowanie ekosystemów wodnych, ich ochrona i rekultywacja, Część II. Ekologia jezior, ich ochrona i rekultywacja. Eksperymenty na ekosystemach (Centralny Program Badań Podstawowych 04.10.08)*, Wydawnictwo SGGW–AR, Warszawa 1990.
- [14] *Wyniki rozszerzonych analiz fizyczno-chemicznych wody zbiornika „Nakło-Chechło” k. Tarnowskich Gór*, IPIŚ – PAN Zabrze, 1995.
- [15] Zięba J.: *Ecology of some waters in the forest-agricultural basin of the River Brynica near the Upper Silesian Industrial Region. 1. Range and aims of the investigation with a description of the environment*, Acta Hydrobiol., **27**, 423–432 (1985).

Wpłynęło: 22 listopada 1999, zaakceptowano do druku: 20 marca 2000.