

PRZEMIANY PODSTAWOWYCH FORM AZOTU i FOSFORU W ZBIORNIKU ANTROPOGENICZNYM NAKŁO-CHECHŁO

MACIEJ KOSTECKI, AGATA DOMURAD

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

Keywords: acidification, anthropogenic reservoirs, anthropopressure, eutrophication.

THE CONVERSION OF BASIC NITROGEN AND PHOSPHORUS FORMS IN THE ANTHROPOGENIC WATER RESERVOIR NAKŁO-CHECHŁO

The paper presents the conversion dynamics of basic nitrogen and phosphorus forms as main factors initiating eutrophication process in Nakło-Chechło reservoir. Limnological investigations of recreation reservoir were carried out in the period from January to December 1996. The results of chemical analyses of water samples taken in two collecting points of the reservoir and a composition of surface run-off from the basin area, have been presented.

In the light of in-force regulations, the water quality of Nakło-Chechło reservoir presents the first class of clearness for inland surface water, when taking into account the concentration of analysed indices. Nitrate nitrogen is a predominating form of nitrogen in water. a relatively high participation of organic nitrogen indicates that in the reservoir the processes of biomass production, mainly with use of nitrate form of nitrogen take place. Organic phosphorus is a predominating form of phosphorus in the reservoir water.

A participation of nitrate nitrogen is prevailing taking into consideration the total nitrogen load discharged into the reservoir with surface run-offs from the basin area. Higher average concentrations of ammonium nitrogen and organic forms of nitrogen and phosphorus – compared with concentrations inside the reservoir – confirm the importance of surface run-offs to a water ecosystem as the main source of water supplying the reservoir.

With respect to the amount of nutrients, the Nakło-Chechło reservoir can be classified as an oligotrophic lake. The index of water blooming risk, expressed as a nitrogen/phosphorus concentration ratio, was never lower than 15 during the full period of investigations. In the spring-summer season the values of this index, increased to 100, showed the phosphorus to be a factor limiting a nitrogen utilisation in processes of biomass production. This fact confirms the necessity of reducing phosphorus compounds discharged into the reservoir. The actions that aim at lowering the phosphorus release from soils of reservoir basin and bottom sediments have to be undertaken in order to preserve the high water quality of this reservoir.

Streszczenie

Przedstawiono dynamikę przemian podstawowych form azotu i fosforu jako głównych czynników inicjujących proces eutrofizacji wód zbiornika Nakło-Chechło. Badania zbiornika rekreacyjnego Nakło-Chechło zostały przeprowadzone w okresie od stycznia do grudnia 1996 roku. w opracowaniu przedstawiono wyniki analiz hydrochemicznych wody z dwóch stanowisk pomiarowo-kontrolnych zbiornika oraz skład sphywów powierzchniowych ze zlewni bezpośredniej.

W świetle obowiązujących przepisów stężenie analizowanych wskaźników utrzymuje wodę zbiornika Nakło-Chechło w I klasie czystości śródlądowych wód powierzchniowych. Dominującą formą azotu w wodzie jest azot azotanowy. Relatywnie wysoki udział azotu organicznego wskazuje, że w zbiorniku zachodzą procesy produkcji biomasy głównie w oparciu o azotanową formę azotu. Dominującą formą fosforu w wodzie zbiornika jest fosfor organiczny.

W ogólnej ilości związków azotowych, wnoszonych do zbiornika ze spływami powierzchniowymi ze zlewni bezpośredniej przeważa azot azotanowy. Wyższe – w porównaniu do wartości stężeń w zbiorniku – średnie stężenia azotu amonowego oraz organicznych form azotu i fosforu potwierdzają istotną rolę, jaką w funkcjonowaniu ekosystemu wodnego odgrywają spływy powierzchniowe, które są głównym źródłem wody zasilającej zbiornik.

Pod względem zasobności w substancje biogenne zbiornik Nakło-Chechło odpowiada cechom jeziora oligotroficznego. Wskaźnik zagrożenia zakwitami wody, wyrażany jako stosunek azotu do fosforu w badanym zbiorniku w ciągu całego okresu badań nie spadał poniżej 15. W okresie wiosenno-letnim wartości tego wskaźnika, dochodzące do 100 wskazują na rolę fosforu jako czynnika limitującego wykorzystanie azotu w procesach produkcji biomasy. Podkreśla to konieczność ograniczania dopływu związków fosforu do zbiornika oraz celowość działań zmniejszających uwalnianie fosforu z gleb zlewni i osadów dennych zbiornika dla zachowania wysokiej jakości wód tego zbiornika.

WPROWADZENIE

Degradacja ekosystemów wodnych w wyniku intensywnej eksploatacji zlewni jest proporcjonalna do zagęszczenia populacji ludzkiej oraz stopnia rozwoju rolnictwa i przemysłu. W obecnych czasach do najbardziej rozpowszechnionych form degradacji ekosystemów wodnych należą: procesy eutrofizacji wód zbiorników, zanieczyszczenie przez substancje toksyczne oraz zakwaszenie wód.

W systemie oceny jakości wód dobór wskaźników i ich normatywy zostały dostosowane do specyfiki wód. Integralną częścią obok stanu czystości stało się określenie stopnia podatności wody na degradację na podstawie wskaźników morfometrycznych, hydrograficznych i zlewniowych. Wzrost zanieczyszczenia środowiska wodnego wymusza na terenowych służbach ochrony środowiska podjęcie specjalnych programów badawczych [2, 13].

Celem rozpoznania podstawowych prawidłowości i mechanizmów, wpływających na funkcjonowanie zbiornika jako ekosystemu wodnego, zrealizowano pracę badawczą, poświęconą kompleksowej ocenie aktualnego stanu zanieczyszczenia i stopnia degradacji położonego na terenie aglomeracji śląskiej zbiornika Nakło-Chechło. Opisany wcześniej stan zakwaszenia tego zbiornika stanowi szczególnie przykład oddziaływania antropopresji na zbiornik wodny. Opublikowane wyniki mogą stanowić przyczynek do inwentaryzacji zakwaszonych wód w Polsce [3].

Celem kompleksowych badań zbiornika było stwierdzenie istniejących objawów i potencjalnych zagrożeń ze strony wymienionych wyżej, podstawowych form degradacji zbiornika wodnego oraz ocena ich wzajemnych relacji.

Przeprowadzone badania wykazały [1, 4, 5], że procesom zakwaszenia wody zbiornika nie towarzyszy zjawisko zanieczyszczenia przez substancje toksyczne w stopniu zagrażającym środowisku wodnemu zbiornika [1], natomiast analiza istniejących danych archiwalnych, udostępnionych przez zarządzającego zbiornikiem umożliwiła ustalenie przyczyny zakwaszenia wody zbiornika oraz stała się podstawą do opracowania sposobów zapobieżenia jego ujemnym skutkom [5, 7].

System troficzny wód powierzchniowych zmienia się pod wpływem czynników naturalnych i antropogenicznych, choć trudno jest wyraźnie je rozgraniczyć, gdyż dzia-

łałość ludzka ingeruje praktycznie we wszystkie zjawiska przyrodnicze występujące na ziemi.

Proces eutrofizacji dotyczy w zasadniczy sposób wód stojących (jezior, stawów, zbiorników zamkniętych itd.) mających właściwości kumulatywne. Aby móc określić, jaki jest potencjał troficzny zbiornika i jakich można się spodziewać tego konsekwencji, należy zbilansować związane z nim podstawowe związki pokarmowe. Ich zawartość w wodzie jest sumą ilości, która dopływa ze źródeł zewnętrznych i wewnętrznych, pomniejszoną o ilość, która odpływa poza zbiornik oraz ulega eliminacji z obiegu w systemie przez sedymentację lub przez kumulację w roślinności litoralnej. Dopływ wewnętrzny obejmuje uwalnianie fosforu i azotu z różnych elementów ekosystemu, natomiast podstawowym obszarem, z którego substancje nawozowe spływają z zewnątrz jest zlewnia bezpośrednia – przylegająca do danego zbiornika oraz pośrednia – nie granicząca z nim, ale przekazująca swe wody poprzez inne cieki oraz zlewnia powierzchniowa – dla spływów powierzchniowych i wgłębna – dla różnego rodzaju spływów podpowierzchniowych [11].

Zrozumienie dynamiki ekosystemów wodnych i ich zależności od otaczającego środowiska daje podstawę do modyfikacji struktury ekosystemu w celu zredukowania skutków antropopresji będących rezultatem degradacji zlewni [2, 8, 13].

CEL I ZAKRES PRACY

Celem prezentowanej pracy jest przedstawienie dynamiki przemian oraz wstępny bilans podstawowych form azotu i fosforu jako głównych czynników inicjujących proces eutrofizacji wód zbiornika.

Praca stanowi kontynuację cyklu publikacji poświęconego szczegółowej inwentaryzacji źródeł zanieczyszczeń, stanu środowiska przyrodniczego zlewni zbiornika Nakło-Chechło oraz charakterystyce jakości wody pod względem podstawowych wskaźników fizyczno-chemicznych w kontrolnych przekrojach zbiornika [1, 3, 4, 5].

Zbiornik wodny o nazwie „Nakło-Chechło” położony jest na terenie gminy Świerklaniec, w sąsiedztwie miejscowości Tarnowskie Góry, Świerklaniec i Miasteczko Śląskie (województwo śląskie). Ze względu na lokalizację w pobliżu wielkich aglomeracji miejskich spełnia ważne funkcje rekreacyjno-wypoczynkowe oraz pełni znaczącą rolę w strukturze i funkcjonowaniu krajobrazu, jako jeden z istotnych czynników klimatycznych i krajobrazowych.

Pośród czynników określanych mianem hydrologicznego reżimu zbiornika szczególnie wpływ ma charakter jego zlewni, ze względu na duże znaczenie dla uformowania się naturalnego składu chemicznego wody zbiornika oraz tworzenia się osadów dennych. w formowaniu się chemicznych właściwości wód na terenie zlewni biorą udział jej naturalne elementy składowe, to jest geologiczno-glebowa budowa podłoża i szata roślinna, a także zewnętrzne czynniki – klimat i działalność człowieka. Pośrednio na kształtowanie się składu chemicznego wód zbiornika oddziałuje sposób zasilania wodą, m.in. stosunek ilościowy wód spływów powierzchniowych do dopływu wód gruntowych [10].

Zbiornik Nakło-Chechło nie posiada dopływów w postaci cieków wód powierzchniowych. Cała masa wody wypełniająca misę zbiornika pochodzi ze spływów powierzchniowych, spływów podziemnych oraz opadów atmosferycznych bezpośrednio na powierzchnię zbiornika. z uwagi na położenie zbiornika na szczycie wododziału jest

mało prawdopodobne, aby istniały erupcje wód podziemnych w postaci źródeł. w tym przypadku spływy powierzchniowe ze zlewni bezpośredniej stanowią jeden z najważniejszych czynników kształtujących sytuację środowiskową badanego ekosystemu. Z tego względu badania składu fizyczno-chemicznego wody spływów powstających w czasie opadów deszczu stały się istotnym elementem pracy.

Szczegółowy opis warunków panujących w badanym zbiorniku oraz podstawowe parametry morfometryczne charakteryzujące zbiornik podano w pracy omawiającej przyczyny zjawiska zakwaszenia wody zbiornika Nakło-Chechło w oparciu o analizę dostępnych danych archiwalnych, charakteryzujących jakość wody omawianego zbiornika [5].

METODYKA BADAŃ

Badania limnologiczne zbiornika rekreacyjnego Nakło-Chechło zostały przeprowadzone w okresie od stycznia do grudnia 1996 roku. w opracowaniu przedstawiono wyniki analiz chemicznych prób wody, pobieranych z dwóch przekrojów pomiarowo-kontrolnych zbiornika oraz skład spływów powierzchniowych ze zlewni bezpośredniej.

Wyznaczono dwa stanowiska poboru prób do analiz, z uwzględnieniem specyfiki badanego zbiornika, a mianowicie:

- stanowisko nr 1, usytuowano w płytkiej części zbiornika na głębokości około 1 m; 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.

W tym samym zakresie co jakość wody poddano analizie zmiany wartości parametrów fizyko-chemicznych spływów powierzchniowych ze zlewni bezpośredniej. 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 pomiędzy opadami. Odległości pomiędzy punktami pobierania prób wód spływów do analizy wynosiły od 50 do 100 m.

Ogółem z pobranych prób wykonano oznaczenia następujących wskaźników chemicznych charakteryzujących skład i jakość wody, a w szczególności: azot amonowy, azotynowy, azotanowy, azot organiczny oraz ortofosforany, polifosforany i fosfor organiczny.

Analizy zostały wykonane według metod opisanych w aktualnie obowiązujących normach. Azot amonowy oznaczono metodą miareczkową po destylacji (według PN-73/C-04576/02), azot azotynowy – metodą kolorymetryczną z kwasem sulfanilowym i 1-naftyloaminą (PN-73/C-04576/06), azot azotanowy – metodą spektrometryczną z 2,6-dimetylofenolem, według normy ISO 7890-1:1986, azot organiczny – metodą miareczkową po destylacji według PN-73/C-04576/11. Oznaczenie zawartości ortofosforanów wykonano metodą kolorymetryczną molibdenianową z chlorkiem cynowym jako reduktorem zgodnie z normą PN-89/C-04537/02, polifosforany oznaczono metodą hydrolizy w środowisku kwaśnym – PN-91/C-4537/06. Fosfor organiczny wyliczono po odjęciu od fosforu ogólnego ortofosforanów i polifosforanów. Fosfor ogólny ozna-

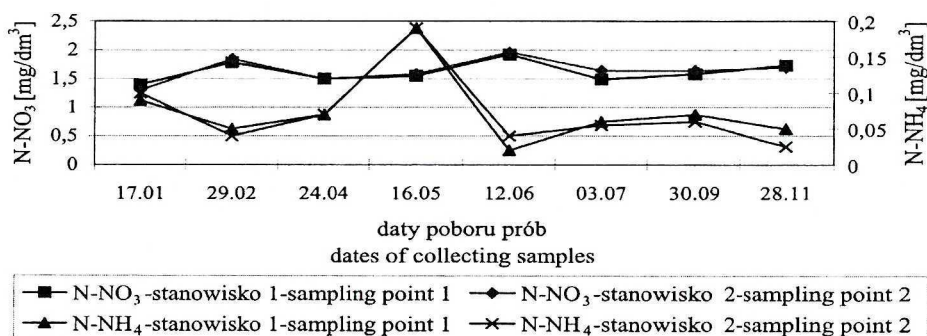
czano po mineralizacji do ortofosforanów i oznaczano je metodą kolorymetryczną – PN-91/C-04537/07.

WYNIKI BADAŃ

ZWIĄZKI AZOTOWE W WODZIE ZBIORNIKA

Azot azotanowy

Zmiany stężeń azotu azotanowego wahały się w granicach od 1,4 do 1,9 mg N-NO₃/dm³ (Rys. 1). Krzywa przebiegu zmian wskazuje wyraźnie na wyrównane stężenia azotanów. Niewielkie różnice stężeń pomiędzy kolejnymi poborami prób mogą być rezultatem wykorzystywania jonów azotanowych w procesach produkcji biomasy, jednakże te nieznaczne różnice, występujące w okresie: kwiecień – maj oraz w lipcu należy interpretować z dużą ostrożnością. Stężenie azotu azotanowego klasyfikuje wodę zbiornika w i klasie czystości.



Rys. 1. Zmiany stężeń azotu azotanowego i amonowego w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku
Changes of nitrate and ammonium nitrogen concentrations in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the 1996 year

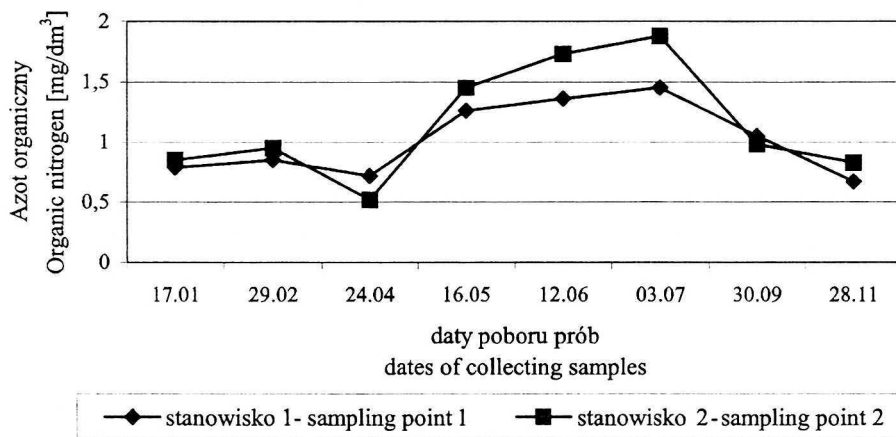
Azot amonowy

Zmiany stężeń azotu amonowego przebiegały w granicach od 0,02 do 0,19 mg N – NH₄⁺/dm³ (Rys. 1). Były to więc stężenia niewielkie. Gdyby nie nagły wzrost stężenia azotu amonowego na obu stanowiskach w połowie maja, przebieg zmian stężeń tej formy azotu wykazywałby podobną do opisaną wcześniej, tendencję spadkową podczas całego okresu prowadzenia badań.

Przebieg zmian stężeń azotu amonowego przedstawiono na tle zmian azotu azotanowego. Charakterystyczny w tym porównaniu jest silny wzrost stężenia azotu amonowego, podczas, gdy stężenie azotanów nie wzrastało, pomimo intensywnych opadów atmosferycznych w maju 1996 roku. Pozwala to na wysunięcie przypuszczenia, że zlewnia zbiornika jest mało zasobna w jony azotanowe, zaś opady deszczu powodujące występowanie większych spływów powierzchniowych, wprowadzają do zbiornika pewną ilość jonów amonowych, które mogą pochodzić z zanieczyszczenia tą formą azotu najbliższego sąsiedztwa zbiornika, lub być wmywane z powietrza atmosferycznego.

Azot organiczny ogólny

Na obu stanowiskach poboru prób przebieg zmian był podobny (Rys. 2), przy czym na stanowisku nr 2, reprezentującym głębszą część zbiornika, stężenia omawianego wskaźnika były wyższe w okresie letnim. Okres zimowo-wiosenny cechowały stężenia od 0,52 do 0,95 mg/dm³, natomiast w okresie lata zaobserwowano wzrost stężeń azotu organicznego (do maksymalnej wartości 1,88 mg/dm³), charakterystyczny dla najsilniej przebiegających w tym czasie procesów produkcji pierwotnej. Jesienią, z chwilą spadku temperatury wody, nastąpił spadek stężeń omawianego wskaźnika do wartości notowanych zimą i wczesną wiosną.



Rys. 2. Zmiany stężeń azotu organicznego w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku
Changes of organic nitrogen concentrations in the water of the Nakło-Chechło Reservoir
in the 1996 year

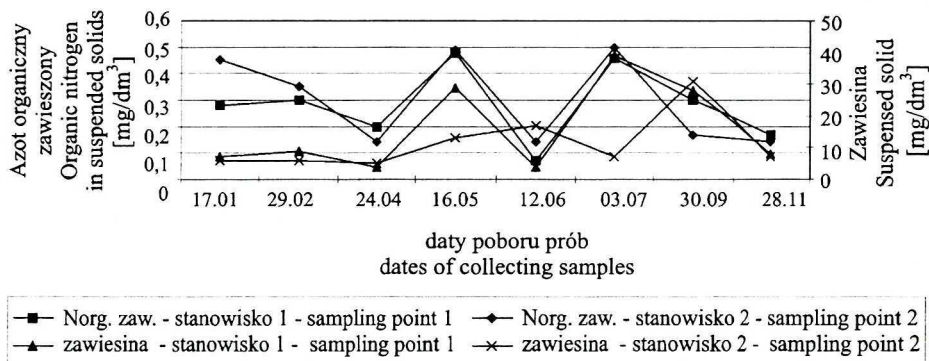
Azot organiczny zawieszony

Przebieg zmian azotu organicznego zawartego w zawieszynie cechowała silna dynamika. Odnotowano zmiany, zachodzące w granicach od 0,09 do 0,5 mg N/dm³. Przebieg zmian azotu organicznego zawieszono przedstawiono na tle zmian stężenia zawiesiny (Rys. 3). Oba wskaźniki cechuje silna korelacja. Okresowi wzrostu ilości zawiesiny towarzyszy wyraźnie wzrost stężenia omawianej formy azotu, z kolei wzrost obu wskaźników wystąpił w okresie nasilonych opadów deszczu. Intensywne opady atmosferyczne wprowadzają do zbiornika zarówno organiczne związki azotu (np. pochodzenia roślinnego), powodują także naruszenie górnej warstwy osadów dennych na dnie płytkiego zbiornika.

Udziały poszczególnych form azotu

Wielkości udziału (%) analizowanych form azotu w wodzie zbiornika Nakło-Chechło zamieszczono w tabelach 1 oraz 2. Wynika z nich wyraźnie, iż dominującą formą azotu w badanym zbiorniku jest azot azotanowy, którego udział wynosi średnio około 65%. Bardzo mały udział azotu amonowego wskazuje na korzystne warunki tlenowe w zbiorniku. Relatywnie wysokie wartości udziału azotu organicznego w obu analizowanych formach wskazują, że w zbiorniku zachodzą procesy produkcji biomasy

głównie w oparciu o azotanową formę azotu. Udział azotu organicznego zwiększa się w okresach zmniejszania się udziału azotanów. Udział azotu azotynowego jest bardzo mały, rzędu 0,03 – 0,13%, co wskazuje na małą intensywność przechodzenia formy azotanowej w amonową i odwrotnie.



Rys. 3. Zmiany stężeń azotu organicznego zawieszonego oraz zawiesiny w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku

Changes of organic nitrogen in suspended solids concentrations and in suspended solids in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the 1996 year

Tabela 1. Udział podstawowych form azotu w całkowitej jego zawartości w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku (stanowisko nr 1)

The participation of basic nitrogen forms in his total contents in the water of Nakło-Chechło Reservoir in the 1996 year (sampling point 1)

Wskaźnik Parameter	17.01.	29.02.	24.04.	16.05.	12.06.	03.07.	30.09.	28.11.
Azot amonowy Ammonium nitrogen	3,9%	1,9%	3,05%	6,3%	0,67%	2,0%	2,6%	2,0%
Azot azotynowy Nitrite nitrogen	0,13%	0,07%	0,09%	0,10%	0,07%	0,07%	0,07%	0,08%
Azot azotanowy Nitrate nitrogen	61,3%	66,4%	65,4%	51,6%	64,6%	49,6%	58,5%	70,5%
Azot organiczny rozp. Dissolved organic nitrogen	22,3%	20,5%	22,7%	26,0%	32,3%	33,0%	27,8%	20,4%
Azot organiczny zaw. Organic nitrogen in suspended solids	12,3%	11,2%	8,7%	16,0%	2,4%	15,3%	11,1%	6,9%
Azot całkowity Total nitrogen [mg/dm ³]	2,283	2,682	2,292	3,003	2,972	3,002	2,702	2,452

Tabela 2. Udział podstawowych form azotu w całkowitej jego zawartości w wodzie zbiornika Nakło-Chechło, w 1996 roku (stanowisko nr 2)

The participation of basic nitrogen forms in his total contents in the water of Nakło-Chechło Reservoir in the 1996 year (sampling point 2)

Wskaźnik Parameter	17.01.	29.02.	24.04.	16.05.	12.06.	03.07.	30.09.	28.11.
Azot amonowy Ammonium nitrogen	4,4%	1,4%	3,35%	5,9%	1,1%	1,5%	2,2%	1,0%
Azot azotynowy Nitrite nitrogen	0,13%	0,04%	0,19%	0,06%	0,03%	0,03%	0,04%	0,08%
Azot azotanowy Nitrate nitrogen	57,7%	65,0%	71,6%	49,0%	52,5%	45,9%	61,2%	66,9%
Azot organiczny rozp. Dissolved organic nitrogen	17,7%	21,2%	18,1%	29,8%	42,6%	38,6%	30,2%	26,5%
Azot organiczny zaw. Organic nitrogen in suspended solids	20,0%	12,4%	6,7%	15,2%	3,8%	14,0%	6,31%	5,5%
Azot całkowity Total nitrogen [mg N/dm ³]	2,253	2,831	2,094	3,222	3,731	3,576	2,681	2,527

ZWIĄZKI FOSFORU W WODZIE ZBIORNIKA

Ortofosforany

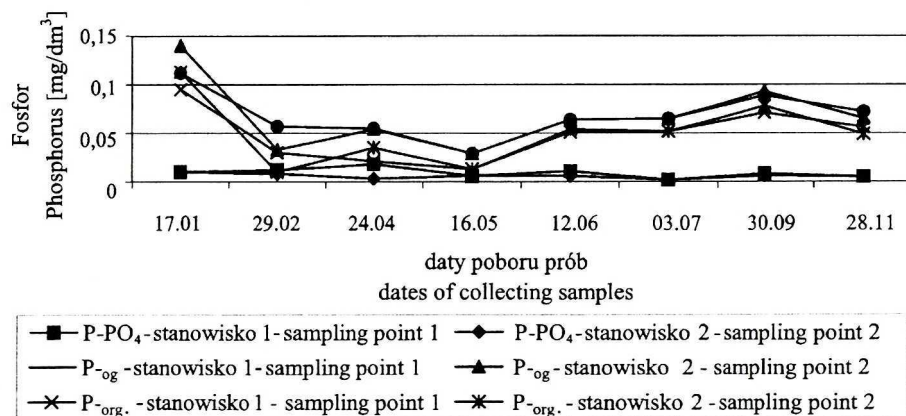
Stężenie ortofosforanów w wodzie zbiornika zmieniało się w granicach od 0,002 do 0,021 mg P - PO₄⁻³/dm³ (Rys. 4). Były to zatem stężenia bardzo niskie, charakterystyczne dla wód oligotroficznych. Pomimo, iż stężenia ortofosforanów były bardzo niskie oraz ich zmiany zachodziły w stosunkowo niewielkim zakresie, można zauważyć, że każdorazowo spadkowi stężeń ortofosforanów odpowiadał wzrost stężenia azotu organicznego, natomiast wzrostowi stężenia – spadek stężenia azotu organicznego. Podkreśla to rolę ortofosforanów i fosforu w ogólności jako czynnika limitującego wykorzystanie azotu w procesie produkcji biomasy.

Fosfor ogólny i organiczny

Stężenie fosforu ogólnego w wodzie badanego zbiornika na obu stanowiskach pomiarowych zmieniało się w zakresie od 0,029 do 0,14 mg P/dm³ (Rys. 4). Wartość przekraczającą 0,1 mg P/dm³ stwierdzono w styczniu, w czasie występowania pokrywy lodowej. Przekroczenie tej wartości właśnie w okresie zimy, pod lodem, przy silnym natlenieniu wody, każe dokładniej przyjrzeć się temu faktowi. Okazuje się, że w tym czasie o ilości fosforu ogólnego decydowała w największym stopniu forma organiczna fosforu. Pozwala to przypuszczać, że pod lodem mogą występować organizmy wykorzystujące ortofosforany w procesach produkcji biomasy.

Praktycznie brak jest różnic pomiędzy stężeniami poszczególnych form fosforu na obu stanowiskach pomiarowych. Ponadto uwagę zwraca uderzające podobieństwo dynamiki zmian fosforu ogólnego oraz organicznego. Okres od stycznia do połowy maja cechował się obniżaniem stężeń obu form fosforu w miarę upływu czasu. Następn-

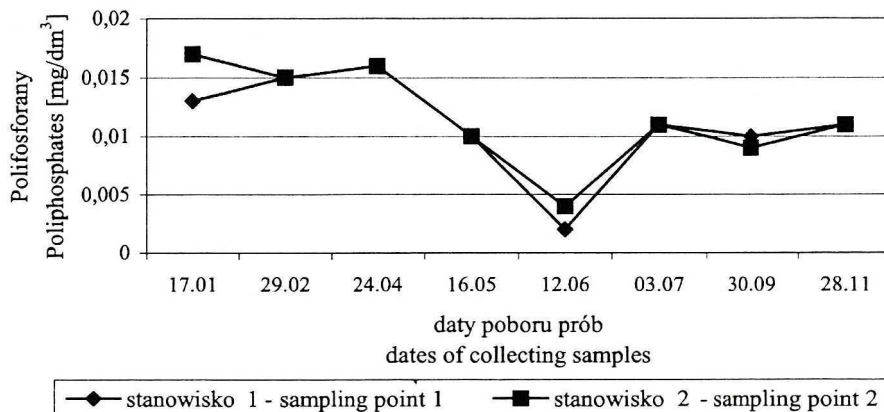
nie od maja do września obserwowano stopniowy wzrost fosforu organicznego oraz ogólnej jego ilości.



Rys. 4. Zmiany stężeń podstawowych form fosforu w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku
Changes of phosphorus forms concentrations in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the 1996 year

Polifosforany

Przebieg zmian stężeń polifosforanów w wodzie zbiornika przedstawiono na rysunku 5. Od stycznia do połowy czerwca 1996 roku stężenie tej formy fosforu zmniejszyło się z 0,017 do 0,002 mg P-PO₄³/dm³. w lecie nieznacznie wzrosło i do zakończenia badań było wyrównane. Podkreślić należy niskie stężenia tego wskaźnika w badanym zbiorniku.



Rys. 5. Zmiany stężeń polifosforanów w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku
Changes of polyphosphates concentrations in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the 1996 year

Udziały poszczególnych form fosforu

Dominującą formą fosforu w wodzie zbiornika jest fosfor organiczny (Tab. 3 i 4). Frakcja organiczna stanowi średnio do ok. 67% ogólnej zawartości fosforu. Świad-

czy to o maksymalnym wykorzystaniu ortofosforanów w procesach produkcji (ich udział w ogólnej zawartości tego pierwiastka był najniższy), oraz o ważnej roli, jaką spełnia fosfor, a w przypadku badanego zbiornika raczej jego brak, w funkcjonowaniu tego ekosystemu.

Tabela 3. Udział podstawowych form fosforu w całkowitej jego zawartości w wodzie zbiornika Nakło-Chechło, w 1996 roku (stanowisko nr 1)

The participation of basic phosphorus forms in his total contents in the water of Nakło-Chechło Reservoir in the 1996 year (sampling point 1)

Wskaźnik Parameter	17.01.	29.02.	24.04.	16.05.	12.06.	03.07.	30.09.	28.11.
Ortofosforany Ortophosphates	8,5%	21,05 %	32,7%	20,7%	17,2%	3,1%	9,0%	6,9%
Polifosforany Poliphosphates	11,0%	26,3%	29,1%	34,5%	3,1% %	16,9%	11,2%	15,3%
Fosfor organiczny Organic phosphorus	80,5%	52,6%	38,2%	44,8%	79,7%	80,0%	79,8%	77,8%
Fosfor całkowity Total phosphorus [mg P/dm ³]	0,118	0,057	0,055	0,029	0,064	0,065	0,089	0,072

Tabela 4. Udział podstawowych form fosforu w całkowitej jego zawartości w wodzie zbiornika Nakło-Chechło, w 1996 roku (stanowisko nr 2)

The participation of basic phosphorus forms in his total contents in the water of Nakło-Chechło Reservoir in the 1996 year (sampling point 2)

Wskaźnik Parameter	17.01.	29.02.	24.04.	16.05.	12.06.	03.07.	30.09.	28.11.
Ortofosforany Ortophosphates	7,1%	24,25 %	5,6%	20,7%	9,4%	3,1%	6,5%	7,7%
Polifosforany Poliphosphates	12,2%	45,5%	29,6%	34,5%	6,3%	16,9%	9,7%	16,9%
Fosfor organiczny Organic phosphorus	80,7%	30,3%	64,8%	44,8%	84,4%	80,0%	83,9%	75,4%
Fosfor całkowity Total phosphorus [mg P/dm ³]	0,14	0,033	0,054	0,029	0,064	0,065	0,093	0,065

Niskie stężenia oznaczanych form fosforu klasyfikują wodę zbiornika Nakło-Chechło w I klasie czystości śródlądowych wód powierzchniowych (na podstawie Rozporządzenia MOŚŻNL z dnia 5 listopada 1991 r.).

SPLYWY POWIERZCHNIOWE WÓD OPADOWYCH

Splywy obszarowe wnoszą do wód zbiornika substancje wymywane z gleby, głównie materię organiczną, związki azotu i fosforu z nawozów sztucznych i środków ochrony roślin stosowanych w rolnictwie i leśnictwie. Wymywanie substancji nawozowych z gleb zachodzi głównie dwiema drogami: przez rozpuszczanie i spływ z wodami powierzchniowymi i przesiąkanie do wód gruntowych oraz przez spływ cząsteczek gleby z warstwy powierzchniowej [11].

Mechanizm powstawania spływów powierzchniowych zależy jest wielu różnych czynników, a forma spływu przybierać może różne postaci (wysięk z powierzchni gruntu, zabagnienie brzegów zbiornika, postać okresowego cieku). Niektóre partie zlewni zachowują zdolność do odprowadzania wód spływów rowkami denudacyjnymi. w przypadku mniej intensywnych opadów deszczu spływ nie przybiera formy cieku, lecz ma postać utrzymujących się w zagłębieniach terenu kałuż, z których woda stopniowo odpływa do strefy brzegowej zbiornika.

Proces kształtowania się spływów wpływa nie tylko na skład chemiczny wody, ale także na trudności przy pobieraniu prób. Dokonywano starań, aby wodę spływów pobierać możliwie w tym samym miejscu. z przyczyn niezależnych nie zawsze było to możliwe, w związku z tym określono średnie stężenia analizowanych wskaźników, które odzwierciedlają stan jakości tych wód (Tab. 5).

Tabela 5. 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 1996 year

Wskaźnik Parameter	Jednostki Units	16.05.	12.06.	03.07.	30.09.	28.11	Zakres Range	Średnia Average
Azot amonowy Ammonium nitrogen	mg N-NH ₄ ⁺ /dm ³	0,13	0,21	0,24	0,91	0,35	0,13–0,91	0,368
Azot azotynowy Nitrite nitrogen	mg N-NO ₂ ⁻ /dm ³	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002–0,002	0,002
Azot azotanowy Nitrate nitrogen	mg N-NO ₃ ⁻ /dm ³	1,77	1,2	1,4	1,36	1,24	1,2–1,77	1,394
Azot organiczny rozp. Dissolved organic nitrogen	mg N _{org.} /dm ³	2,33	2,8	2,5	3,61	2,71	2,5–3,61	2,79
Azot organiczny zaw. Organic nitrogen in suspended solids	mg N _{org.} /dm ³	0,53	0,4	0,42	0,6	0,5	0,4–0,6	0,49
Węgiel organiczny Organic carbon	mg C _{org.} /dm ³	20,24	14,1	12,6	14,36	11,22	11,22–20,24	14,50
Ortofosforany Orthophosphates	mg P-PO ₄ ⁻³ /dm ³	0,006	0,005	0,006	0,008	0,006	0,005–0,008	0,0062
Polifosforany Poliphosphates	mg P-PO ₄ ⁻³ /dm ³	0,010	0,008	0,008	0,008	0,007	0,007–0,010	0,0096
Fosfor organiczny Organic phosphorus	mg P _{org.} /dm ³	0,014	0,008	0,009	0,114	0,121	0,008–0,114	0,0532

Związki azotu trafiają ze zlewni do wód przede wszystkim w formie rozpuszczonej. w ogólnej ilości związków azotowych wnoszonych wraz ze spływami powierzchniowymi zaznacza się przewaga zawartości azotu azotanowego (55%) w stosunku do ogólnej ilości wnoszonego azotu.

W ogólnej zawartości fosforu dominuje frakcja organiczna, która stanowi średnio ok. 78%. Rozpuszczalność, a więc i wymywanie fosforu z gleb zlewni zależy od odczynu gleby. Najintensywniej zachodzi przy wartościach pH = 6–7. Przy niższych wartościach fosfor powiązany jest głównie z glinem, manganem, żelazem, przy wyższych – w coraz większym stopniu wiąże się z wapniem [11].

DYSKUSJA WYNIKÓW

Ze względu na dominującą rolę spływów powierzchniowych ze zlewni bezpośredniej w bilansie wodnym zbiornika porównano jakość wód spływających do zbiornika z wodą wypełniającą zbiornik (Tab. 6).

Tabela 6. Średnie stężenia wskaźników jakości wody w wodzie zbiornika Nakło-Chechło i spływów powierzchniowych ze zlewni bezpośredniej w 1996 roku
Average concentrations of water quality parameters in the Nakło-Chechło Reservoir and in surface run off from the basin area in the 1996 year

Wskaźnik Parametr	Jednostki Units	Stanowisko 1 Sampling point 1	Stanowisko 2 Sampling point 2	Spływy pow. Surface run off
Azot amonowy Ammonium nitrogen	mg N-NH ₄ ⁺ /dm ³	0,075	0,07	0,368
Azot azotynowy Nitrite nitrogen	mg N-NO ₂ ⁻ /dm ³	0,002	0,002	0,002
Azot azotanowy Nitrate nitrogen	mg N-NO ₃ ⁻ /dm ³	1,62	1,64	1,394
Azot organiczny rozp. Dissolved organic nitrogen	mg N _{org} /dm ³	0,69	0,85	0,279
Azot organiczny zaw. Organic nitrogen in suspended solids	mg N _{org} /dm ³	0,28	0,30	0,49
Węgiel organiczny Organic carbon	mg C _{org} /dm ³	7,10	7,19	14,50
Ortofosforany Orthophosphates	mg P-PO ₄ ⁻³ /dm ³	0,009	0,006	0,006
Polifosforany Poliphosphates	mg P-PO ₄ ⁻³ /dm ³	0,011	0,012	0,009
Fosfor organiczny Organic phosphorus	mg P _{org} /dm ³	0,049	0,050	0,0532

Uwagę zwraca bardzo duży zakres stężeń azotu amonowego. O ile w wodzie zbiornika średnie stężenie azotu amonowego (wyliczone dla 8 prób) wyniosło zaledwie 0,075 mg N-NH₄/dm³, o tyle wartość tego wskaźnika dla spływów powierzchniowych wyniosła (dla 5 prób) 0,368 mg N-NH₄/dm³. Przyjmując, że uzyskane wyniki odzwierciedlają sytuację w zlewni zbiornika, stwierdzoną różnicę można wytłumaczyć wymywaniem tej formy azotu z gleby i ściółki leśnej w wyniku rozkładu resztek roślinnych oraz spłukiwaniem zanieczyszczeń zawierających związki azotowe.

W przypadku azotu azotanowego różnica pomiędzy średnim stężeniem w wodzie zbiornika a średnim stężeniem w spływach powierzchniowych jest daleko mniej uderzająca, jednocześnie mniejszą wartość stwierdzono dla spływów.

Fakt, że średnie stężenie formy azotu organicznego zawieszono jest wyższe w spływach powierzchniowych niż w zbiorniku, jest, podobnie jak w przypadku azotu amonowego, konsekwencją transportu wraz z wodami spływów – organicznych resztek roślinności i bakterii pochodzących z gleb i ściółki zlewni.

Zarówno w przypadku orto- jak i polifosforanów średnie wartości stężeń dla zbiornika i spływów są podobne. Świadczy to korzystnie o uwarunkowaniach środowiskowych, jako że notowane stężenia są niskie, unikalne w stosunku do obecnie panującej tendencji odnośnie wód powierzchniowych.

Również wartość średniego stężenia fosforu organicznego w spływach powierzchniowych nie odbiega od wartości w wodzie zbiornika na obu stanowiskach. Obumarłe szczątki roślinne spływające ze zlewni zawierają niewielkie ilości fosforu. Zatem stwierdzone ilości fosforu organicznego mogą pochodzić z wymywanych ze zlewni zanieczyszczeń typu sanitarnego.

Podwyższone – w stosunku do wartości stężeń w zbiorniku – średnie stężenia azotu amonowego, organicznych form azotu i fosforu, czy też stwierdzone i opisane we wcześniejszej pracy wartości ChZT i węgla organicznego [4], wskazują na istotną rolę, jaką w funkcjonowaniu ekosystemu wodnego odgrywają spływy powierzchniowe, zwłaszcza, kiedy są jednym z głównych źródeł wody zasilającej zbiornik. Ponad dwukrotnie wyższa wartość ChZT wody spływów powierzchniowych od wartości zanotowanych w wodzie zbiornika wskazuje na obecność w spływach substancji organicznej trudno rozkładalnej i upostaciowionej (szczątki liści, traw itp.).

Przypomnieć należy również o odczynie wody jako czynnika bardzo istotnym dla obecności w wodach powierzchniowych różnych zanieczyszczeń; był on nieco niższy w spływach aniżeli w zbiorniku. Wskazuje to – co potwierdzają analizy – na wpływ odczynu jako czynnika zwiększającego stopień wymywania niektórych substancji ze zlewni [4, 5].

Okresowość dopływu substancji pożywkowych ma również istotny wpływ na czystość wody. Spływ z ośrodków rekreacyjnych, campingowych itp. zazwyczaj jest większy latem niż w innych okresach. w tym przypadku istotnym czynnikiem jest temperatura wody sprzyjająca intensywności przemian. w przypadku spływów z gleb, łąk i pól uprawnych należy wyróżnić sezonową zmienność opadów deszczu a także okres tajania śniegu. w klimacie umiarkowanym znaczna część spływu azotu i fosforu ze zlewni rolniczych ma miejsce wiosną [11].

Pierwsze spływy powstają podczas roztopów wiosennych i odprowadzają nagromadzone w śniegu zanieczyszczenia, co znalazło odbicie w wynikach analiz [1, 4]. w przypadku zbiornika Nakło-Chechło spływy powierzchniowe stanowią szlak transportowy, doprowadzający do zbiornika związki azotu i fosforu oraz węgiel organiczny, będące podstawą łańcucha pokarmowego i mogące zapoczątkować procesy eutrofizacji.

Podkreślić należy, że stwierdzone ilości określonych substancji zawierały wody spływów przed dotarciem do zbiornika. Być może odnotowane stężenia ulegają zmianie na odcinku powyżej zbiornika a poniżej stanowisk poboru prób. w przypadku badanego zbiornika odległości te wynosiły około 50–100 m.

Ogólnie rzecz biorąc, ilości zanieczyszczeń doprowadzanych do zbiornika ze zlewni przez spływy są niewielkie. Np. dla azotu amonowego, przy założeniu współczynnika spływu 0,1 obliczony spływ jednostkowy wynosi 0,33 kgN/ha. Odpowiada to ładunkowi równemu 330 kg N z 1000 ha zlewni.

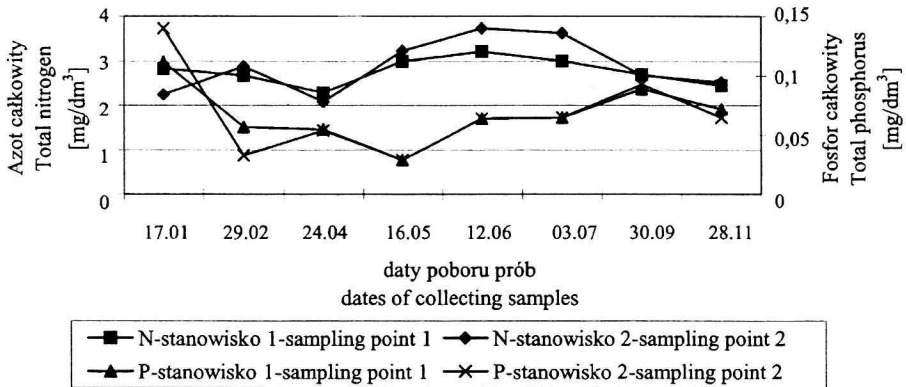
Sporządzenie szczegółowego bilansu doprowadzanych do zbiornika zanieczyszczeń wymaga dodatkowych informacji dotyczących charakteru gleb zlewni, składu opadów atmosferycznych oraz dynamiki zmian opadów atmosferycznych z uwzględnieniem dobowych sum opadów.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania pozwoliły na wstępne określenie obciążenia zbiornika Nakło-Chechło dopływem związków biogennych decydujących o jego troficzności oraz

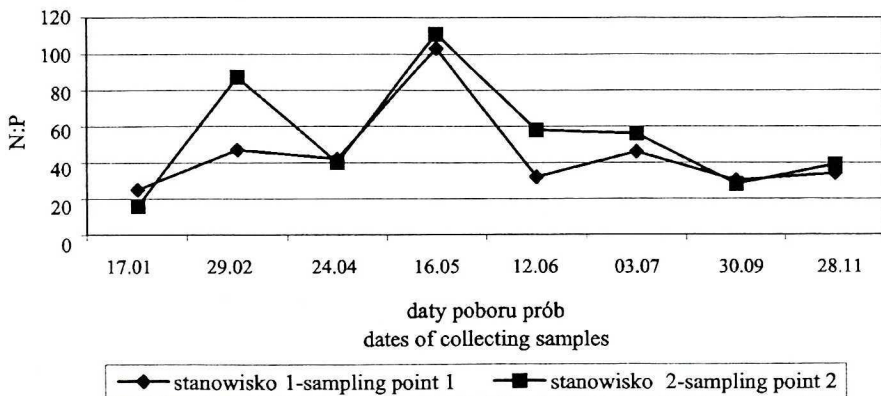
określenie wartości podstawowych wskaźników fizyko-chemicznych wody, wpływających na kierunek zmian zachodzących w zbiorniku.

Przebieg zmian całkowitej zawartości azotu i fosforu w wodzie analizowanego zbiornika przedstawiono na rysunku 6. Widoczne zmniejszenie stężenia fosforu w okresie wiosenno-letnim z jednoczesnym wzrostem stężenia azotu organicznego wskazuje na wykorzystywanie fosforu w procesach produkcji biomasy.



Rys. 6. Zmiany stężeń azotu całkowitego i fosforu w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku
Changes of total nitrogen and phosphorus concentrations in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the 1996 year

Wskaźnik zagrożenia zakwitami wody wyrażany jako stosunek N:P w badanym zbiorniku kształtował się korzystnie i w ciągu całego okresu prowadzenia badań nie spadał poniżej 15 (Rys. 7). w okresie wiosenno-letnim wysokie wartości tego wskaźnika, dochodzące do 100 wskazują na rolę fosforu jako czynnika limitującego wykorzystanie azotu w procesach produkcji biomasy. Podkreśla to konieczność ograniczania dopływu związków fosforu do zbiornika oraz celowość działań zmniejszających uwalnianie fosforu z gleb zlewni i osadów dennych zbiornika.



Rys. 7. Stosunek N:P w wodzie zbiornika Nakło-Chechło w 1996 roku
Proportion N:P in the water of the Nakło-Chechło Reservoir in the 1996 year

Gospodarowanie wodami w dużej mierze zależy od właściciela dążącego z reguły do jak największej efektywności np. rybackiej czy turystycznej. Element rekreacji, jaki stanowi uprawianie wędkarstwa jest czynnikiem mogącym również zwiększyć żyzność zbiornika z uwagi na rolę ichtiofauny (a zwłaszcza bentofagów) w przyspieszaniu obiegu fosforu.

Istotnym czynnikiem mogącym wywierać wpływ na jakość środowiska wodnego jest bilans wodno-ściekowy istniejących ośrodków rekreacyjnych. Rozbieżność w ilości zużywanej wody i ilości ścieków nasuwa podejrzenie, iż część ścieków może dostawać się do zbiornika drogą infiltracji (nieszczelne szamba). Są to przypuszczenia wymagające dokładnego sprawdzenia, gdyż rozbieżności te mogą wynikać z niekompletnej dokumentacji. Wyraźny wzrost stężenia azotu amonowego w wodzie zbiornika po intensywnych opadach deszczu w maju 1996 roku, przy jednoczesnym braku wzrostu stężenia azotanów potwierdza te przypuszczenia. Za infiltracyjną drogą przedostawania się zanieczyszczeń z terenów ośrodków do zbiornika przemawia charakter zbiornika tzn. utworzenie go w wyrobisku popiaskowym oraz piaszczysta zlewnia bezpośrednia.

Zlewnia, w obrębie której istnieją duże powierzchnie lasów iglastych, oddziałuje na spływające wody zakwaszająco, co w przypadku słabego zbuforowania wody zbiornika poskutkowało obniżeniem odczynu wody. Mała zawartość substancji buforujących, głównie węglanów wapnia i magnezu, jest czynnikiem decydującym o podatności zbiornika na zakwaszający wpływ opadów atmosferycznych oraz na wpływ zlewni na spływy powierzchniowe i podziemne, co w konsekwencji wywołało opisane zjawisko zakwaszenia wody [5].

Sytuacja, w której czynniki środowiskowe powodują zakwaszenie wody wywierając wpływ na procesy produkcji pierwotnej oraz intensywność procesów przemiany materii stanowi interesujący przykład antropopresji na zbiornik wodny [9, 12].

Intensywność produkcji czy też procesów spowodowanych życiową działalnością organizmów zależy od ciągłego dopływu substancji biogenicznych. w ten sposób, w badanym zbiorniku przy małym dopływie substancji biogenicznych obserwuje się słaby rozwój fitoplanktonu, małą produkcję pierwotną, co pociąga za sobą szereg następstw, jak dużą przezroczystość wody, małe zużycie tlenu, małą ilość osadów na dnie. w zbiorniku nie zdarzają się „zakwity wody”. Mało jest też roślinności, której rozwój jest skutecznie ograniczany brakiem związków biogennych. Obecność tlenu w całej objętości wody eliminuje procesy gnilne zachodzące w osadach dennych. Odpowiada to cechom jezior oligotroficzych [10].

Na podstawie przeprowadzonych badań dokonano klasyfikacji zbiornika Nakłó-Chechło pod względem troficzności według klasyfikacji limnologicznych. Według wstępnej charakterystyki limnologicznej jest to zbiornik polimiktyczny, niestabilny [4]. Harmonijność zbiornika została zachwiana; stał się on zbiornikiem, w którym niski odczyn wody ogranicza rodzaj i przebieg procesów wewnątrz zbiornika. Jak wykazano, zostało to spowodowane synergicznym oddziaływaniem zespołu czynników. Szczególną rolę odgrywają opady atmosferyczne (w aspekcie hydrologicznym i hydrochemicznym). Znajduje to odzwierciedlenie w bilansie wodnym zbiornika oraz stanie hydrochemicznej jakości wody zbiornika, kształtującej się także pod wpływem jego zlewni [3–5].

Przeciwdziałanie degradacji zbiorników wodnych wymaga zastosowania odpowiednich rozwiązań organizacyjnych i technicznych. Wszystkie działania muszą być ze

sobą odpowiednio powiązane, bowiem ich celem jest uzyskanie odczuwalnej poprawy jakości wody w danym zbiorniku.

Po przeanalizowaniu wszelkich możliwych aspektów zanieczyszczeń zbiornika [1, 4, 5], w celu podniesienia pojemności buforowej wprowadzono do wody skałę dolomitową, zachowującą się aktywnie w stosunku do pojawiających się w wodzie protonów, powodujących zakwaszenie i neutralizującą je w chwili kontaktu tej substancji z jonem H^+ , pozostającą jednocześnie w formie nierozpuszczalnej w przypadku braku protonów [6, 12].

Wstępne zabiegi rekultywacyjne w postaci dolomitowania dna zbiornika oraz miejsc spływów spowodowały osiągnięcie zamierzonego efektu ekologicznego w postaci podniesienia odczynu wody. Zastosowany grys dolomitowy reaguje z pojawiającymi się jonami wodorowymi utrzymując odczyn na wyrównanym poziomie $pH = 6,3-7$. Pozwoliło to zachować specyfikę zbiornika, którego cechą charakterystyczną jest niski odczyn wody ograniczający procesy produkcji pierwotnej [3].

Wskazuje się na konieczność prowadzenia dalszych badań limnologicznych zbiornika, umożliwiających obserwację procesów i zjawisk decydujących o kształtowaniu się równowagi hydrochemicznej i biologicznej zbiornika i stanowiących rodzaj kontroli, istotnej dla zachowania wysokiej czystości jego zasobów wodnych.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- 1) Zbiornik Nakło-Chechło pod względem zawartości nutrientów jest zbiornikiem oligotroficznym, co jest ewenementem na terenie województwa śląskiego.
- 2) Pod względem limnologicznym jest to zbiornik polimiktyczny, niestabilny. Harmonijność zbiornika została zachwiana w wyniku zakwaszającego oddziaływania opadów atmosferycznych i spływów powierzchniowych ze zlewni bezpośredniej.
- 3) W zbiorniku niski odczyn wody ogranicza rodzaj i przebieg procesów biologicznych.
- 4) Stosunek N:P w zbiorniku kształtował się korzystnie i w ciągu całego okresu prowadzenia badań nie spadał poniżej 15. w okresie wiosenno-letnim wysokie wartości tego wskaźnika, dochodzące do 100 wskazują na rolę fosforu jako czynnika limitującego wykorzystanie azotu w procesach produkcji biomasy.
- 5) Podkreśla to konieczność ograniczania dopływu związków fosforu do zbiornika oraz celowość działań zmniejszających uwalnianie fosforu z gleb zlewni i osadów dennych zbiornika.
- 6) Spływy powierzchniowe powstające podczas roztopów wiosennych wprowadzają do zbiornika nagromadzone w śniegu zanieczyszczenia. Stanowią one szlak transportowy, doprowadzający do zbiornika związki azotu i fosforu oraz węgiel organiczny, będące podstawą łańcucha pokarmowego i mogące zapoczątkować procesy eutrofizacji.
- 7) Zbiornik Nakło-Chechło, w którym czynniki środowiskowe powodują zakwaszenie wody, stanowi interesujący przykład oddziaływania antropopresji na zbiornik wodny.

Praca została zrealizowana w oparciu o środki Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach, na zlecenie Urzędu Gminy w Świerkłańcu.

LITERATURA

- [1] Domurad A., M. Kostecki: *Metale ciężkie w sphywach powierzchniowych ze zlewni bezpośredniej oraz w wodzie zbiornika Nakło-Chechło*, Archiwum Ochrony Środowiska, **2**, 81–95 (2001).
- [2] Gromiec M.J.: *Badania zbiorników wodnych na obszarze Centralnego Regionu Wodno-Gospodarczego w ramach programu PONT*, Materiały Konferencji Naukowej: *Problemy ochrony, zagospodarowania i rekultywacji antropogenicznych zbiorników wodnych*, Zabrze 15–16 listopada 1995.
- [3] 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 acidotrofi*, Praca IPIŚ PAN, Zabrze 1996 (niepublikowana).
- [4] Kostecki M., A. Domurad, E. Kowalski, J. Kozłowski: *Stosunki termiczno-tilenowe oraz wybrane fizyczno-chemiczne wskaźniki jakości wody zbiornika Nakło-Chechło*, Archiwum Ochrony Środowiska, **3**, 101–123 (2000).
- [5] Kostecki M., A. Domurad, E. Kowalski, J. Kozłowski: *Zakwaszenie wody zbiornika Nakło-Chechło (gmina Świerklaniec) – próba wyjaśnienia przyczyn*, Archiwum Ochrony Środowiska, **4**, 65–80 (1999).
- [6] Lampert W., U. Sommer: *Ekologia wód śródlądowych*, PWN, Warszawa 1996.
- [7] 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 Świerklańcu).
- [8] Rapport D.J., H.A. Regier, T.C. Hutchinson: *Ecosystem behavior under stress*, American Naturalist, **125**, 617–640 (1985).
- [9] Schnoor J. L., W. Stumm: *Acidification of aquatic and terrestrial systems*, [in:] ed. Stumm W. *Chemical Processes in Lakes*, Wiley Interscience, London 1985.
- [10] Starmach K., S. Wróbel, K. Pasternak: *Hydrobiologia. Limnologia*, PWN, Warszawa 1976.
- [11] Wolborska A., K. Pilecka-Bujnowicz: *Eutrofizacja zbiorników wodnych, Przyczyny, skutki, metody zapobiegania i zwalczania*, Materiały IV Konferencji Naukowej: *Zapobieganie Zanieczyszczeniu środowiska*, Ustroń, listopad 1996.
- [12] Wróbel S., B. Szczęsny: *Zakwaszenie wód w Polsce i próby ich neutralizacji*, [w:] red. Kajak Z.: *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.
- [13] Wyniki rozszerzonych analiz fizyczno-chemicznych wody zbiornika „Nakło-Chechło” k/Tarnowskich Gór, IPIŚ–PAN Zabrze, wrzesień 1995.
- [14] Zalewski M., P. Frankiewicz, M. Tarczyńska, B. Bis: *Zastosowanie metod biokontroli w ochronie i rekultywacji zbiorników zaporowych*, [w:] Materiały Konferencji Naukowej: *Problemy ochrony, zagospodarowania i rekultywacji antropogenicznych zbiorników wodnych*, Zabrze 15–16 listopada 1995.