

Wpłynęło 16.04.2013 r.
Zrecenzowano 07.05.2013 r.
Zaakceptowano 03.07.2013 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

PORÓWNANIE STĘŻENIA SKŁADNIKÓW CHEMICZNYCH W WODZIE ZE ŚRÓDPOLNEGO OCZKA WODNEGO ORAZ W WODZIE GRUNTOWEJ Z PRZYLEGAJĄCYCH TERENÓW ROLNICZYCH

Adam BRYSIEWICZ^{ABCDEF}, **Piotr WESOŁOWSKI**^{ABDEF},
Kacper RAWICKI^F

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Zachodniopomorski Ośrodek Badawczy w Szczecinie

Streszczenie

Badania przeprowadzono w latach 2010–2012 w okresach od kwietnia do października na śródpolnym oczku wodnym Stare Czarnowo w województwie zachodniopomorskim. Celem pracy było określenie zawartości wybranych związków chemicznych w wodzie omawianego oczka oraz w wodach gruntowych na przyległych terenach użytkowanych rolniczo.

Corocznie w okresach od IV do X włącznie w omawianym zbiorniku mierzono pH i przewodność elektrolityczną (EC) oraz pobierano z głębokości 50 cm próby wody z trzech, wcześniej losowo wyznaczonych miejsc, a od 2011 r. pobierano także wodę gruntową z piezometrów. Zebrane próby wody z oczka wodnego oraz z piezometrów przewożono do laboratorium Zachodniopomorskiego Ośrodka Badawczego w Szczecinie. Po przetransponowaniu próbek tego samego dnia wykonywano analizy chemiczne, oznaczając stężenia azotu mineralnego (N-min), fosforanów (P-PO₄) oraz azotu amonowego (N-NH₄).

Stwierdzono między innymi, że stężenia biogenów kwalifikują wodę oczka wodnego ze względu na zawartość N-min do trzeciej klasy czystości wód, natomiast pod względem zawartości P-PO₄ do czwartej klasy. Stężenie N-NH₄ pozwala zakwalifikować wodę do pierwszej klasy czystości wód. W wodach gruntowych pochodzących z piezometrów stężenia biogenów były wysokie, szczególnie fosforanów. Stwierdzono, że jakość wody w oczku wodnym Stare Czarnowo pośrednio zależy od jakości wód gruntowych zasilających wody powierzchniowe.

Słowa kluczowe: N-min, N-NH₄, oczko wodne, P-PO₄, Stare Czarnowo

Do cytowania For citation: Brysiewicz A., Wesołowski P., Rawicki K. 2013. Porównanie stężenia składników chemicznych w wodzie ze śródpolnego oczka wodnego oraz w wodzie gruntowej z przylegających terenów rolniczych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 13. Z. 2(42) s. 17–31.

WSTĘP

Często spotykanym elementem krajobrazu rolniczego w Polsce są niewielkie (0,2–1,0 ha), bezodpływowe zagłębienia, usytuowane na użytkach rolnych, zwane potocznie śródpolnymi oczkami wodnymi [FATYGA i in. 2007]. Zbiorniki te są siedliskiem wielu gatunków flory i fauny związanych z ekosystemami wód powierzchniowych. Oczka wodne są siedliskiem bytowania i rozrodu wielu przedstawicieli ichtio- i herpetofauny [BRYŚIEWICZ i in. 2012]. Pełnią one również wiele funkcji zarówno w ujęciu ekologicznym, jak i gospodarczym. Uczestniczą w obiegu materii organicznej w krajobrazach rolniczych, zatrzymując – magazynując dopływające biogeny pochodzące z przylegających do oczek wodnych terenów rolniczych [KOC, SZYPEREK 2004]. Stanowiące swoiste bogactwo przyrodnicze śródpolne oczka wodne mają również znaczenie rekreacyjne oraz edukacyjne, są walorem estetycznym w krajobrazie [ŁACHACZ 2004].

Dotychczasowe badania dotyczące śródpolnych oczek wodnych ograniczały się przeważnie do określenia składu gatunkowego lub chemicznego występującej roślinności szuwarowej [NAGENGAST, OSTAPIUK 2004] bądź przyczyn zanikania tych niewielkich zbiorników wodnych [PIEŃKOWSKI i in. 2010]. Prowadzono również badania nad chemizmem wód oraz osadów dennych w oczkach wodnych, oceniając między innymi zachowanie frakcji mineralnego fosforu w interfacie woda-osad [SIWEK 2011; SIWEK i in. 2009].

Największym zagrożeniem dla oczek wodnych jest postępująca intensyfikacja rolnictwa. Przekłada się to na proces stopniowego zanikania tych małych zbiorników wodnych, czego pośrednią przyczyną jest nadmierne stosowanie nawozów fosforowych [SIWEK 2011]. W związku ze zwiększaniem się zasobności gleb w fosfor, staje się on pierwiastkiem coraz bardziej reaktywnym i narasta zagrożenie rozpraszania się go do zasobów wodnych [SAPEK 2009].

Od 2010 r. w Zachodniopomorskim Ośrodku Badawczym ITP w Szczecinie rozpoczęto kompleksowe badania śródpolnych oczek wodnych na terenie gminy Stare Czarnowo w woj. zachodniopomorskim. W niniejszej pracy zaprezentowano wyniki badań, które odnoszą się wyłącznie do chemizmu wód.

Celem podjętych badań była ocena zawartości biogenów w wodzie powierzchniowej z oczka wodnego Stare Czarnowo oraz wód gruntowych pobieranych z piezometru zlokalizowanego w pobliżu badanego oczka. Badania miały na celu ukazanie ewentualnego wpływu intensywnie użytkowanych, przyległych terenów rolniczych, na jakość wody w oczku wodnym w Starym Czarnowie, które jest miejscem bytowania wielu cennych i chronionych przedstawicieli ichtio- i herpetofauny, a także zbiornikiem wody pitnej dla zwierzyny bytującej na otaczających oczko wodne polach uprawnych.

CHARAKTERYSTYKA BADANEGO OBIEKTU

Śródpolne oczko wodne w Starym Czarnowie o powierzchni 0,8 ha jest zbiornikiem zagłębionym w terenie, bezodpływowym, zasilanym wodami gruntowymi z sąsiednich obszarów rolniczych użytkowanych przez Zakład Doświadczalny Instytutu Zootechniki, Państwowego Instytutu Badawczego w Kołbaczu.

Przyległe do oczka wodnego grunty (użytkowane rolniczo) o powierzchni 40,86 ha położone są na glebie brunatnej zalegającej na glinie średniej klasy IVa. W okresie badań (2010–2011) na całej powierzchni pola uprawiano rośliny rolnicze: rzepak ozimy, jęczmień ozimy i pszenżyto. Stosowano nawożenie mineralne (NPK) przedsewnie oraz pogłównie, a jesienią 2011 r., po sprzęcie jęczmienia ozimego, wprowadzono obornik kurzy w dawce $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

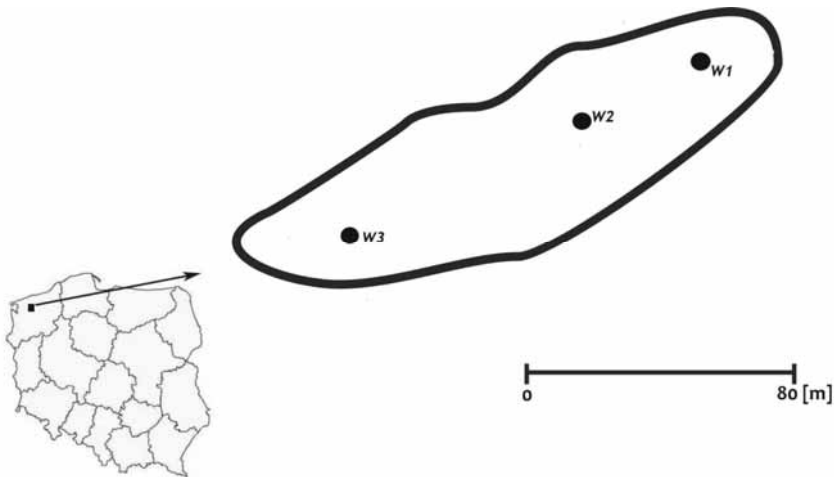
Analizowane oczko wodne charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem konfiguracji dna i występują w nim różne głębokości wypełniającej go wody. W latach 2010–2011 zmierzona głębokość zwierciadła wody na obszarze oczka wodnego wynosiła od 35 do 216 cm. W 2012 r., w warunkach niższych opadów atmosferycznych, poziom wody w omawianym zbiorniku uległ obniżeniu o kilkanaście cm.

Oczko wodne w Starym Czarnowie jest zbiornikiem wydłużonym, podsychającym, a jednocześnie porasta je roślinność szuwarowa – manna mielec (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.) jako zbiorowisko uproszczone i mające charakter jednogatunkowej agregacji. Manna mielec zaznacza swoją trwałą obecność na płytkich wodach w omawianym oczku wodnym, która utrzymuje się w granicach 23–32 cm. Na głębszych wodach, niedaleko linii brzegowej, występują dwa zbiorowiska szuwarowe jak, trzcina pospolita (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud) i pałka szerokolistna (*Typha latifolia* L.). Na skarpach omawianego oczka wodnego rosną pojedyncze drzewa, m.in. wierzba pospolita (*Salix alba* L.). Zbiornik ten pełni również wiele funkcji przyrodniczych, m.in. umożliwia bytowanie ptactwa wodnego, płazów oraz stanowi miejsce wodopoju dla dzikiej zwierzyny leśnej i występującej na użytkach rolnych.

METODY BADAŃ

Miejszem przeprowadzonych badań w latach 2010–2012 było śródpolne oczko wodne w Starym Czarnowie ($53^{\circ}16'4.47''\text{N}$, $14^{\circ}46'5.94''\text{E}$). Corocznie, w okresach od kwietnia do października włącznie, w omawianym zbiorniku pobierano próby wody z trzech, wcześniej losowo wyznaczonych miejsc (rys. 1).

Wodę z oczka wodnego pobierano z głębokości do 50 cm i zamykano ją w szczelnych polietylenowych butelkach o objętości 250 ml, wcześniej dwukrotnie przemywając butelki wodą z badanego zbiornika. Próby wody z piezometrów pobierano za pomocą pompki zanurzeniowej Whale. Przedtem usuwano z otworu piezometrycznego od 3 do 5 objętości słupa wody stagnującej w otworze. Wypom-



Rys. 1. Schemat oczka wodnego w Starym Czarnowie z zaznaczeniem punktów poboru wody (W);
źródło: opracowanie własne

Fig. 1. A scheme of midfield pond in Stare Czarnowo with marked sites for water sampling (W);
source: own elaboration

powana woda była w odległości gwarantującej nieprzesączenie się jej do otworu piezometrycznego. Pobrane próby wody z oczka wodnego oraz z piezometrów przewożono do laboratorium Zachodniopomorskiego Ośrodka Badawczego w Szczecinie. Po przetransportowaniu próbek tego samego dnia wykonywano analizy chemiczne. Pomiary pH wody wykonywano za pomocą kombinowanej elektrody pH/redoks, a przewodność elektrolityczną EC ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) oznaczano za pomocą naczynka konduktometrycznego typu Tetragon 325. Analizy chemiczne przeprowadzono za pomocą jednoparametrowego fotometru typu PC compact WTW (fosforany P- PO_4), natomiast jony amonowe ($\text{g NH}_4^+\cdot\text{m}^{-3}$) i azotany ($\text{g NO}_3^-\cdot\text{m}^{-3}$) oznaczono za pomocą wieloparametrowego fotometru typu LF300 firmy SLANDI. Azot mineralny (N-min) obliczano sumując stężenia NO_3^- z NH_4^+ . Z uzyskanych wyników chemizmu wód z trzech wyznaczonych punktów wyciągano średnią, ponieważ nie stwierdzono istotnych różnic między wynikami uzyskanymi z badanych miejsc.

Ze względu na brak rozporządzeń dotyczących jakości wód w oczkach wodnych, a obecnie obowiązujące nie pozwalają na precyzyjne określenie klas wg zawartości poszczególnych biogenów, oceny wartości analizowanych wskaźników jakości wód przeprowadzono, korzystając z metody stosowanej w przypadku jezior [KUDELSKA i in. 1994; KUDELSKA, SOSZKA 1996]. Ocenę jakości wód pochodzącej z piezometru przeprowadzono zgodnie z wymaganiami rozporządzenia Ministerstwa Środowiska [Rozporządzenie MŚ... 2008].

Uzyskane wyniki stężeń biogenów w wodzie z oczka wodnego Stare Czarnowo poddano obróbce statystycznej programem Statistica ver. 10 PL, stosując analizę

wariancji (ANOVA), a porównania wykonano za pomocą testu *t*-Studenta. W badaniach statystycznych wykorzystano wyniki pomiarów z trzech lat łącznie, z miesięcy od IV do X. Zestawione wyniki porównywano w celu stwierdzenia ewentualnego występowania różnic istotnych statystycznie. Korzystając z analizy wariancji, wykonano wykresy przedstawiające graficznie wyniki analizy statystycznej.

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Woda w badanym w latach 2010–2012 śródpolnym oczku wodnym Stare Czarnowo miała odczyn pH zbliżony do obojętnego, który wynosił 7,24 (tab. 1). Nieznacznie większe (powyżej 7) średnie miesięczne pH zanotowano w miesiącach IV, V, VII i IX, a mniejsze (poniżej 7) w VI i VIII. Ponadto, stwierdzono różnice odczynu badanej wody powierzchniowej w poszczególnych latach – większe

Tabela 1. Wybrane właściwości wody powierzchniowej w oczku wodnym Stare Czarnowo w latach 2010–2012

Table 1. Selected properties of surface water in midfield pond Stare Czarnowo in the years 2010–2012

Parametr Parameter	Miesiące Months							Średnio Mean IV–X
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2010								
pH	7,09	7,59	7,40	8,27	7,20	7,60	7,53	7,53
Przewodność elektrolityczna, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ Electrolytic conductivity, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	391	372	402	396	411	452	390	402
Stężenie N-NH ₄ , g N-NH ₄ ·m ⁻³ Concentration N-NH ₄ , g N-NH ₄ ·m ⁻³	0,10	0,25	0,14	0,12	0,11	0,14	0,32	0,17
Stężenie N-min, g·m ⁻³ Concentration N-min, g·m ⁻³	0,20	0,60	0,16	0,12	0,12	0,17	0,40	0,26
Stężenie P-PO ₄ , g P-PO ₄ ·m ⁻³ Concentration P-PO ₄ , g P-PO ₄ ·m ⁻³	0,01	0,08	0,21	0,28	0,21	0,22	0,10	0,16
2011								
pH	7,24	7,47	7,12	7,18	6,84	6,78	7,32	7,14
Przewodność elektrolityczna, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ Electrolytic conductivity, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	357	325	381	381	391	301	375	359
Stężenie N-NH ₄ , g N-NH ₄ ·m ⁻³ Concentration N-NH ₄ , g N-NH ₄ ·m ⁻³	0,13	0,10	0,11	0,21	0,09	0,04	0,10	0,11
Stężenie N-min, g·m ⁻³ Concentration N-min, g·m ⁻³	0,15	0,13	0,20	0,39	0,28	0,61	0,56	0,33
Stężenie P-PO ₄ , g P-PO ₄ ·m ⁻³ Concentration P-PO ₄ , g P-PO ₄ ·m ⁻³	0,44	0,20	0,41	0,25	0,32	0,22	0,31	0,31

cd. tab. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2012								
pH	7,65	7,49	6,41	6,90	6,61	7,49	6,88	7,06
Przewodność elektrolityczna, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	431	384	371	396	401	478	615	439
Electrolytic conductivity, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$								
Stężenie N-NH ₄ , g N-NH ₄ ·m ⁻³	0,11	0,11	0,12	0,29	0,15	0,08	0,75	0,23
Concentration N-NH ₄ , g N-NH ₄ ·m ⁻³								
Stężenie N-min, g·m ⁻³	0,21	0,13	0,12	0,39	0,58	0,11	0,80	0,34
Concentration N-min, g·m ⁻³								
Stężenie P-PO ₄ , g P-PO ₄ ·m ⁻³	0,89	0,32	0,36	0,08	0,33	0,19	0,67	0,41
Concentration P-PO ₄ , g P-PO ₄ ·m ⁻³								
Średnia z lat 2010–2012 Mean from the years 2010–2012								
pH	7,33	7,52	6,98	7,45	6,88	7,29	7,24	7,24
Przewodność elektrolityczna, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	393	360	385	391	401	410	460	400
Electrolytic conductivity, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$								
Stężenie N-NH ₄ , g N-NH ₄ ·m ⁻³	0,11	0,15	0,12	0,21	0,12	0,09	0,39	0,17
Concentration N-NH ₄ , g N-NH ₄ ·m ⁻³								
Stężenie N-min, g·m ⁻³	0,19	0,29	0,16	0,32	0,33	0,30	0,59	0,31
Concentration N-min, g·m ⁻³								
Stężenie P-PO ₄ , g P-PO ₄ ·m ⁻³	0,45	0,20	0,33	0,20	0,29	0,21	0,36	0,29
Concentration P-PO ₄ , g P-PO ₄ ·m ⁻³								

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

pH odnotowano w 2010 r. W latach 2011–2012 pH wody uległo zmniejszeniu (tab. 1). Jednocześnie należy podkreślić, że w badanym oczku wodnym miesięczne i roczne pH wody są typowe dla jezior i oczek wodnych strefy klimatycznej i zależą od intensywności procesów asymilacyjnych w warstwach trofogenicznych [TADAJEWSKI, KUBIAK 1976].

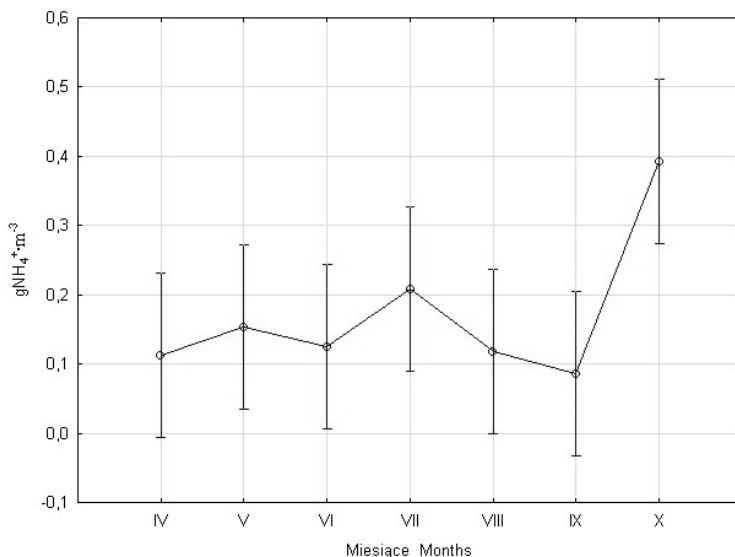
Przewodność elektrolityczna w wodzie oczka wodnego Stare Czarnowo w trzy-letnim okresie badań była zróżnicowana (tab. 1). Większą przewodność elektrolityczną w latach 2010–2012 zanotowano w miesiącach od VIII do X włącznie, która wyniosła odpowiednio: 401, 410 i 460 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, a mniejszą przewodność elektrolityczną zanotowano w miesiącach V i VI (360 i 385 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Oprócz różnic miesięcznych, stwierdzono różnice w przewodności elektrolitycznej między poszczególnymi latami. Większą przewodność elektrolityczną zanotowano w 2010 r. (402 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) i 2012 (439 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). W 2011 r. stwierdzono niższą przewodność elektrolityczną, która wynosiła średnio 359 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Uzyskane wartości omawianego parametru przekraczały 350 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, w związku z czym mieszczą się one w czwartej klasie jakości wód [KUDELSKA i in. 1994].

Stwierdzone w latach 2010–2012 średnie stężenie azotu amonowego (N-NH₄) w powierzchniowej warstwie wody omawianego oczka wodnego wyniosło 0,17 g

$\text{N-NH}_4 \cdot \text{m}^{-3}$ (tab. 1). Największe stężenie omawianego składnika odnotowano w miesiącach VII i X (odpowiednio $0,21 \text{ g N-NH}_4 \cdot \text{m}^{-3}$ oraz $0,39 \text{ g N-NH}_4 \cdot \text{m}^{-3}$). Najmniejsze średnie wartości stężenia azotu amonowego stwierdzono w miesiącach IV oraz IX i wyniosły one odpowiednio: $0,11 \text{ g N-NH}_4 \cdot \text{m}^{-3}$ i $0,09 \text{ g N-NH}_4 \cdot \text{m}^{-3}$ (tab. 1). Porównanie wyników między poszczególnymi latami również pozwoliło stwierdzić występowanie różnic. Największe stężenie azotu amonowego odnotowano w 2012 r. – $0,23 \text{ g N-NH}_4 \cdot \text{m}^{-3}$, a najmniejsze w 2011 r. – $0,11 \text{ g N-NH}_4 \cdot \text{m}^{-3}$.

Analiza statystyczna wykazała również istotne różnice między poszczególnymi miesiącami badań (rys. 2). Na podstawie analizy wariancji stwierdzono różnice między miesiącem X a miesiącami: IV, V, VI, VIII, i IX. Zestawienie uzyskanych wartości stężeń azotu amonowego i porównanie ich ze sobą (test *t*-Studenta) wykazały występowanie różnic istotnych statystycznie ($p \leq 0,05$) między miesiącami: IV–V, V–VIII i V–IX. Różnice wysoce istotne statystycznie ($p \leq 0,01$) odnotowano w zdecydowanej większości, a mianowicie między: IV–VII, IV–X, V–VI, V–X, VI–VII, VI–X, VII–VIII, VII–IX, VII–X, VIII–IX, IX–X. Między pozostałymi miesiącami nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie.

Średnie stężenie azotu mineralnego (N-min) w wodzie oczka wodnego Stare Czarnowo z lat 2010–2012 wyniosło $0,31 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ (tab. 1). W trzyletnim okresie ba-



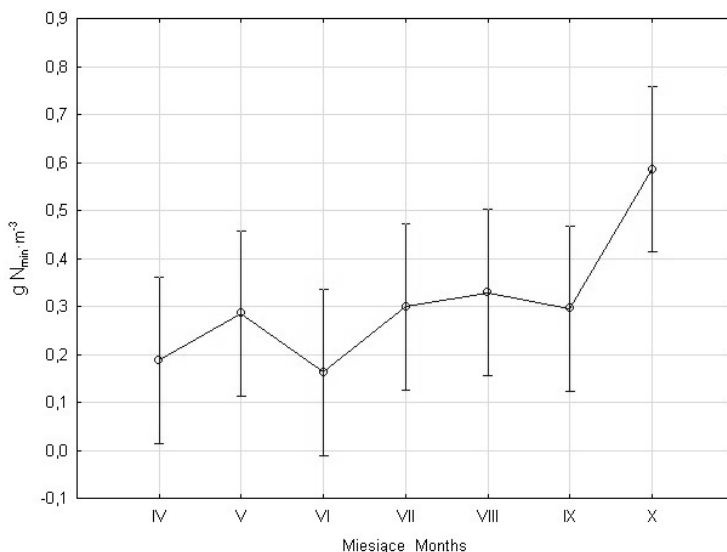
Rys. 2. Analiza wariancji (ANOVA) zawartości azotu amonowego (NH_4^+) w poszczególnych miesiącach w wodzie oczka wodnego Stare Czarnowo ($F(6,56) = 3,1434, p = 0,00999$); źródło: wyniki własne

Fig. 2. ANOVA of ammonium-nitrogen concentrations in particular months in midfield pond Stare Czarnowo ($F(6,56) = 3.1434, p = 0.00999$); source: own study

dań najmniejsze średnie stężenie omawianego azotu mineralnego stwierdzono w 2010 r. i wyniosło ono $0,26 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, a największe w następnych latach: w 2011 r. – $0,33 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ i w 2012 r. – $0,34 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$. Należy również podkreślić, że podobnie jak w przypadku azotu amonowego (N-NH_4), zanotowano występowanie różnic miesięcznych w latach 2010–2012. Największe średnie stężenia azotu mineralnego stwierdzono w miesiącach: VIII, IX i X, a najmniejsze w VI i IV.

Uzyskane wyniki badań zawartości związków azotu mineralnego poddano analizie statystycznej, pozwalającej stwierdzić występowanie różnic istotnych statystycznie (rys. 3). Analiza wariancji wykazała występowanie różnic między poszczególnymi miesiącami, a wysoce istotne różnice odnotowano między miesiącami IV a X. Test *t*-Studenta wykazał występowanie różnic istotnych statystycznie między miesiącami VII a VIII. Różnice wysoce istotne statystycznie ($p \leq 0,01$) odnotowano między miesiącami: IV–V, IV–VII, IV–VIII, IV–IX, IV–X, V–VI, VI–VII, VI–VIII, VI–IX, VI–X. Porównując pozostałe miesiące ze sobą nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie.

Średnie wartości stężeń fosforanów (P-PO_4) w latach 2010–2012 były zróżnicowane (tab. 1). Największe średnie miesięczne stężenie omawianego składnika z lat 2010–2012 zanotowano w miesiącu IV ($0,45 \text{ g P-PO}_4 \cdot \text{m}^{-3}$), a najmniejsze w miesiącach V i VII ($0,20 \text{ g P-PO}_4 \cdot \text{m}^{-3}$) oraz w IX ($0,21 \text{ g P-PO}_4 \cdot \text{m}^{-3}$). Z porównania wyników z poszczególnych lat wynika, że występują między nimi różnice.

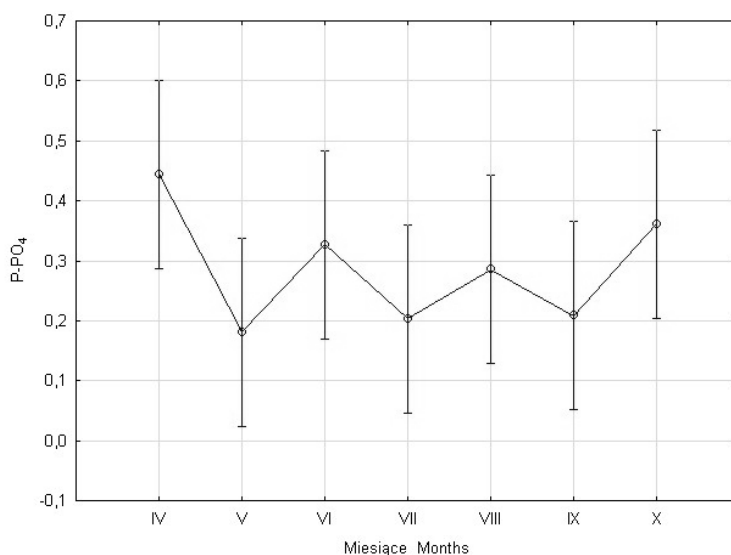


Rys. 3. Analiza wariancji (ANOVA) zawartości azotu mineralnego (N-min) w poszczególnych miesiącach w wodzie oczka wodnego Stare Czarnowo ($F(6,56) = 2,5587$, $p = 0,02923$); źródło: wyniki własne

Fig. 3. ANOVA of inorganic nitrogen concentrations in particular months in midfield pond Stare Czarnowo ($F(6.56) = 2.5587$, $p = 0.02923$); source: own study

Najmniejsze średnie miesięczne stężenie P-PO₄ odnotowano w 2010 r. i wyniosło ono 0,16 g P-PO₄·m⁻³, a w pozostałych latach średnie wartości stężeń fosforanów zwiększyły się znacznie i wynosiły: w 2011 r. – 0,31 g P-PO₄·m⁻³, a w 2012 r. – 0,41 g P-PO₄·m⁻³.

Analiza wariancji wykazała występowanie zmian wartości stężeń fosforanów w poszczególnych miesiącach (rys. 4). Odnotowano istotne statystycznie różnice między miesiącami V–VI oraz VI–VII. Ocena statystyczna za pomocą testu *t*-Studenta wykazała występowanie wysoce istotnych statystycznie różnic między kwietniem (IV) a miesiącami wiosenno-letnimi (od V do IX). Różnice wysoce istotne statystycznie stwierdzono również między miesiącem X a miesiącami VI, VII, VIII i IX. Porównanie pozostałych miesięcy ze sobą nie wykazało różnic istotnych statystycznie.



Rys. 4. Analiza wariancji (ANOVA) zawartości fosforanów (P-PO₄) w poszczególnych miesiącach w wodzie oczka wodnego Stare Czarnowo ($F(6,56) = 1,5315$, $p = 0,18485$); źródło: wyniki własne

Fig. 4. ANOVA of phosphates concentrations in particular months in midfield pond Stare Czarnowo ($F(6.56) = 1.5315$, $p = 0.18485$); source: own study

Reasumując, stwierdzono, że stężenie biogenów w wodzie śródpolnego oczka wodnego Stare Czarnowo, począwszy od pierwszego roku badań, corocznie wzrastało. Średnie wartości stężeń z trzech lat kwalifikują wodę (ze względu na stężenia azotu amonowego i azotu mineralnego) do pierwszej i trzeciej klasy czystości wód powierzchniowych, a ze względu na duże wartości stężeń fosforanów, powyżej czwartej klasy [KUDELSKA i in. 1994; KUDELSKA, SOSZKA 1996].

Należy również podkreślić, że jakość wody w omawianym oczku wodnym zależy przede wszystkim od poziomu stężenia składników biogenych w wodach gruntowych (z piezometrów) zasilających badany śródpolny ekosystem.

Wykonane w latach 2011–2012 analizy chemiczne wody z piezometrów na zawartość azotu amonowego (N-NH_4) pozwoliły stwierdzić, że średnie stężenie omawianego jonu wyniosło $0,81 \text{ g N-NH}_4 \cdot \text{m}^{-3}$. Większe wartości stężeń azotu amonowego odnotowano w miesiącach VI i VII, a mniejsze w IV oraz IX (tab. 2). Dwuletnie badania wykazały, że w 2011 r. średnie stężenie azotu amonowego było mniejsze ($0,61 \text{ g N-NH}_4 \cdot \text{m}^{-3}$) niż w 2012 r. – ($1,00 \text{ g N-NH}_4 \cdot \text{m}^{-3}$) (tab. 2).

Średnie miesięczne stężenie azotu mineralnego (N-min) z lat 2011–2012 wyniosło $7,83 \text{ g N-min}$ (tab. 2). Porównując średnie wartości stężeń z dwóch lat, stwierdzono większe wartości stężenia azotu mineralnego w 2011 r., które wyniosło $11,60 \text{ g N-NO}_3 \cdot \text{m}^{-3}$. W 2012 r. było ono mniejsze i wyniosło $3,05 \text{ g N-NO}_3 \cdot \text{m}^{-3}$ (tab. 2).

Średnie stężenie fosforanów (P-PO_4) w wodzie gruntowej pochodzącej z piezometru obok oczka wodnego Stare Czarnowo było w latach 2011–2012 dość wysokie i wynosiło $0,39 \text{ g P-PO}_4 \cdot \text{m}^{-3}$. Stwierdzono następujące różnice między miesiącami – największe wartości stężeń P-PO_4 odnotowano w miesiącach VI, VIII i X, i wyniosły one odpowiednio: $0,56$, $0,53$ i $0,51 \text{ g P-PO}_4 \cdot \text{m}^{-3}$, a najmniejsze stwierdzono w miesiącu IV ($0,24 \text{ g P-PO}_4 \cdot \text{m}^{-3}$).

Ogólnie stwierdzono, że zanotowane średnie wartości stężeń biogenów w wodach gruntowych okolic oczka wodnego Stare Czarnowo kwalifikują badaną wodę (ze względu na poziom stężenia azotu amonowego, azotu mineralnego oraz fosforanów) do czwartej klasy jakości wód podziemnych [Rozporządzenie MŚ... 2008]. Jednocześnie należy podkreślić, że analizowane wody gruntowe na użytkowanych terenach położonych na glinie średniej wokół oczka wodnego odznaczają się wysokimi stężeniami biogenów, głównie fosforanów, które zasilają badany zbiornik Stare Czarnowo. W związku z tym jakość wody w oczku wodnym jest zależna między innymi od wartości stężeń badanych biogenów w wodach gruntowych oraz ze spływów powierzchniowych z przyległych terenów użytkowanych rolniczo.

Porównując wyniki analiz chemicznych wody powierzchniowej oczka wodnego z wodą pochodzącą ze zlokalizowanego obok piezometru stwierdzono pewne zależności i podobieństwa, które omówiono poniżej. We wszystkich badanych przypadkach odnotowano większe wartości stężeń związków chemicznych w wodzie pochodzącej z piezometru, niż w wodzie z oczka wodnego. W celu zobrazowania graficznego wartości stężeń związków chemicznych zestawiono wyniki z wód powierzchniowych i gruntowych z lat 2011–2012 (rys. 5–7).

Zestawiając wyniki badań stężenia azotu amonowego (N-NH_4) w latach 2011–2012 z wody powierzchniowej i gruntowej zaobserwowano wyraźne podobieństwa (rys. 5). Obserwowany od miesiąca VI do VII wzrost stężeń w wodzie pochodzącej z piezometru stwierdzono także w wodzie pochodzącej z oczka wodnego. Na wykresie, począwszy od miesiąca IX, odnotowano również wyraźny wzrost wartości

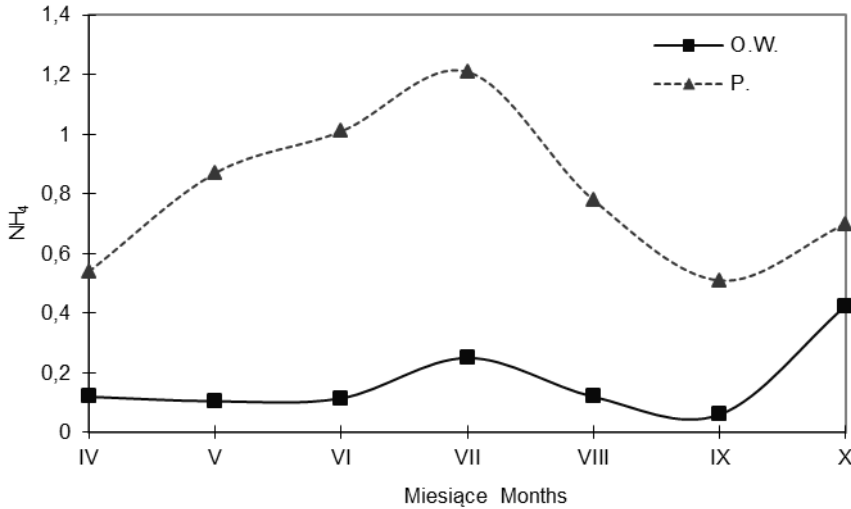
Tabela 2. Wybrane właściwości wód gruntowych z piezometru zlokalizowanego przy oczku wodnym Stare Czarnowo w latach 2011–2012**Table 2.** Selected properties of ground water in midfield pond Stare Czarnowo in the years 2010–2012

Parametr Parameter	Miesiące Months							Średnio Mean IV–X
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
2011								
pH	–	7,11	6,75	6,64	6,61	6,79	6,68	6,76
Przewodność elektrolityczna, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	–	485	578	586	826	517	608	600
Stężenie N-NH ₄ , g N-NH ₄ ·m ⁻³	–	0,81	1,00	1,35	0,23	0,06	0,18	0,61
Stężenie N-min, g·m ⁻³	–	5,02	6,96	6,31	12,11	15,72	23,45	11,60
Stężenie P-PO ₄ , g P-PO ₄ ·m ⁻³	–	0,31	0,36	0,12	0,45	0,36	0,93	0,42
2012								
pH	6,71	7,21	6,79	6,72	6,67	6,83	6,76	6,81
Przewodność elektrolityczna, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	619	567	638	631	799	726	803	683
Stężenie N-NH ₄ , g N-NH ₄ ·m ⁻³	0,54	0,93	1,01	1,07	1,32	0,95	1,21	1,00
Stężenie N-min, g·m ⁻³	11,73	0,95	3,53	1,30	2,62	1,23	7,01	4,05
Stężenie P-PO ₄ , g P-PO ₄ ·m ⁻³	0,24	0,29	0,74	0,39	0,61	0,17	0,09	0,36
Średnie z lat 2011–2012 Mean from the years 2011–2012								
pH	6,71	7,16	6,77	6,68	6,64	6,81	6,72	6,78
Przewodność elektrolityczna, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	619	526	608	609	813	622	706	642
Stężenie N-NH ₄ , g N-NH ₄ ·m ⁻³	0,54	0,87	1,01	1,21	0,78	0,51	0,70	0,81
Stężenie N-min, g·m ⁻³	11,73	2,99	5,25	3,81	7,37	8,48	15,23	7,83
Stężenie P-PO ₄ , g P-PO ₄ ·m ⁻³	0,24	0,30	0,55	0,26	0,53	0,27	0,51	0,39

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

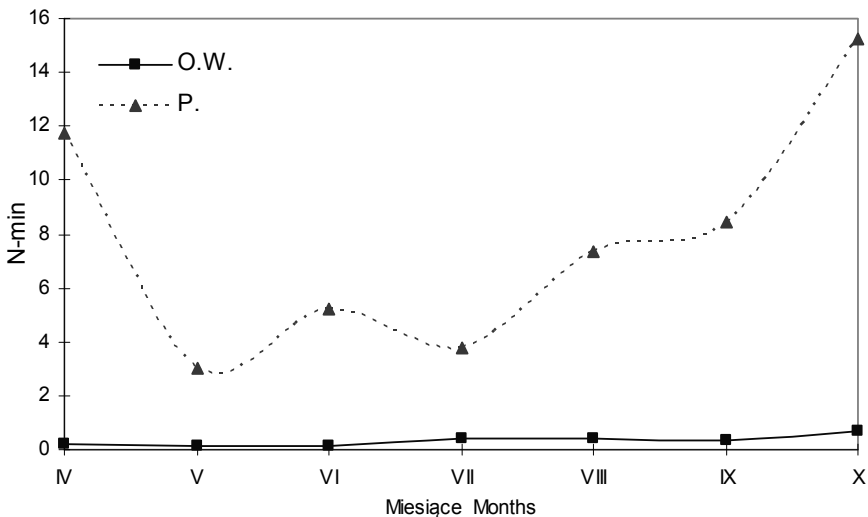
stężenia azotu amonowego w wodach powierzchniowych i gruntowych (rys. 5). Krzywe obrazujące rozkład stężeń w obu przypadkach układały się bardzo podobnie.

Wyniki analiz stężenia azotu mineralnego (N-min) nie były już tak wyraźne, ale również zaobserwowano pewne podobieństwa (rys. 6). Od miesiąca VII do X włącznie stwierdzono wzrost stężenia N-min w wodzie gruntowej. Znacznie mniej-



Rys. 5. Porównanie wartości stężeń azotu amonowego (N-NH_4) w wodach powierzchniowych z oczka wodnego (O.W.) oraz wodach gruntowych pochodzących z piezometru (P.); źródło: wyniki własne

Fig. 5. Comparison of the concentration of ammonium-nitrogen in surface pond water (O.W.) and in ground water from piezometer (P); source: own study

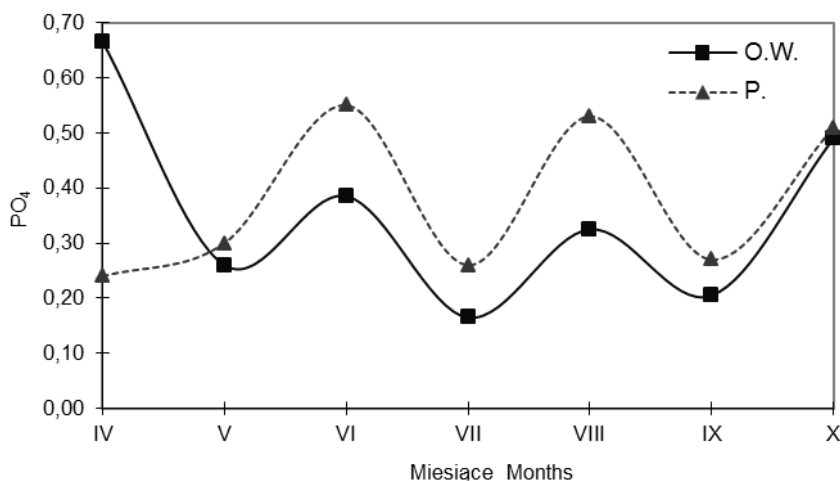


Rys. 6. Porównanie wartości stężeń azotu mineralnego (N-min) w wodach powierzchniowych z oczka wodnego (O.W.) oraz wodach gruntowych pochodzących z piezometru (P.); źródło: wyniki własne

Fig. 6. Comparison of the concentration of inorganic nitrogen in surface pond water (O.W.) and in ground water from piezometer (P); source: own study

sze wartości stężeń odnotowano w wodzie z oczka wodnego, jednak na wykresie widać również tendencję wzrostu od miesiąca VII (rys. 6).

Największe podobieństwa zaobserwowano, analizując wartości stężeń fosforanów ($P-PO_4$) (rys. 7). Na wykresie widać bardzo wyraźnie, że wraz ze wzrostem tych wartości w wodzie gruntowej, zwiększały się one również w wodzie pochodzącej z oczka wodnego i odwrotnie, gdy notowano mniejsze wartości PO_4 , to zmniejszały się one również w wodzie gruntowej oraz w wodzie z oczka wodnego (rys. 7).



Rys. 7. Porównanie wartości stężeń fosforanów ($P-PO_4$) w wodach powierzchniowych z oczka wodnego (O.W.) oraz w wodach gruntowych pochodzących z piezometru (P.); źródło: wyniki własne

Fig. 7. Comparison of the concentration of phosphates in surface pond water (O.W.) and in ground water from piezometer (P); source: own study

Powyższe podobieństwa w zawartości wybranych związków chemicznych pozwalają przypuszczać o zależnościach i wpływie wód gruntowych na jakość wody w badanym oczku wodnym. Powszechnie wiadomo, że bezodpływowe zbiorniki wodne są zasilane głównie wodami gruntowymi na przyległych terenach. Jak wcześniej wspomniano, śródpolne oczko wodne w Starym Czarnowie jest otoczone intensywnie użytkowanymi gruntami ornymi. Uzyskane wyniki pozwalają przypuszczać, że jakość wody w oczku wodnym pośrednio zależy od jakości wód gruntowych, w których w wyniku intensywnego użytkowania pól uprawnych otaczających zbiornik, sezonowo zwiększają się wartości stężeń wybranych związków chemicznych w badanych wodach.

Stwierdzone, dość wysokie stężenie biogenów w wodach gruntowych należy tłumaczyć między innymi tym, że dawne PGR-y w Polsce do 1990 r. stosowały na użytkach rolnych duże dawki nawozów mineralnych, w tym nawozów fosforo-

wych, które przez lata przemieszczały się z wierzchniej warstwy gleby (korzeniowej) w głąb profilu glebowego do wód podziemnych.

WNIOSKI

1. Stwierdzono, że w okresie badań 2011–2012 wartości stężeń badanych związków chemicznych w wodzie powierzchniowej z omawianego oczka wodnego były mniejsze w porównaniu z wodami gruntowymi (z piezometru).

2. Wysokie stężenie biogenów w wodach gruntowych (z piezometru) należy tłumaczyć między innymi tym, że na przyległych do oczka wodnego gruntach systematycznie stosuje się pełne nawożenie mineralne (NPK) i nawozy naturalne pod uprawiane rośliny rolnicze.

3. Jakość wód powierzchniowych w oczku wodnym Stare Czarnowo, oprócz wody opadowej i spływu powierzchniowego, w dużej mierze zależy od dopływu biogenów zawartych w wodach gruntowych, zasilających badany zbiornik wodny.

LITERATURA

- BRYSEWICZ A., WESOŁOWSKI P., POTKAŃSKI Ł. 2012. Połowy ryb w śródpolnych oczkach wodnych w gminie Stare Czarnowo na tle warunków tlenowych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 12. Z. 1(37) s. 37–48.
- FATYGA J., GÓRECKI A., HELIS M. 2007. Małe zbiorniki wodne na obszarze Powiatu Wrocławskiego ziemskiego. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 7. Z. 2a(20) s. 107–126.
- KOC J., SZYPEREK U. 2004. Skuteczność barier biogeochemicznych w ograniczaniu spływu azotu w środowisku rolniczym. *Annales UMCS. Sec. E. Vol. 59. Iss. 1* s. 93–100.
- KUDELSKA D., CYDZIK D., SOSZKA H. 1994. Wytyczne monitoringu podstawowego jezior. Warszawa. PIOŚ ss. 42.
- KUDELSKA D., SOSZKA H. 1996. Przegląd stosowanych w różnych krajach sposobów oceny i klasyfikacji wód powierzchniowych. Warszawa. PIOŚ ss. 83.
- ŁACHACZ A. 2004. Mokradła w krajobrazie – wybrane pojęcia. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 4. Z. 2a(11) s. 295–301.
- NAGENGAST B., OSTAPIUK J. 2004. Roślinność i bagienna drobnych zbiorników śródpolnych okolic Tarnowa Podgórnego. *Roczniki AR w Poznaniu* 363. Bot. 7 s. 209–229.
- PIEŃKOWSKI P., PODLASIŃSKI M., KARAŚ K. 2010. Próba oceny wpływu położenia oczek wodnych w rzeźbie terenu na tempo ich zanikania. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 10. Z. 1 s. 167–174.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobów oceny stanu wód podziemnych. *Dz.U.* 2008. Nr 143 poz. 896.
- SAPEK A. 2009. Fosfor w łańcuchu pokarmowym człowieka a środowisko w Polsce. *Inżynieria Ekologiczna*. Nr 21 s. 62–72.
- SIWEK H. 2011. Zachowanie się frakcji mineralnego fosforu w interfacie osad-woda małych zbiorników wodnych na obszarach wiejskich. *Rozprawa habilitacyjna*. Maszynopis. Szczecin. Wydaw. Uczel. ZUT s. 1–90.

- SIWEK H., WŁODARCZYK M., BRZOSTOWSKA-ŻELECHOWSKA D., WACHOWIAK M. 2009. Wpływ wybranych parametrów fizyczno-chemicznych osadu na zawartość nieorganicznych form fosforu w osadach dennych małych zbiorników polimiktycznych. *Acta Agrophysica*. Vol. 13 (2) s. 497–503.
- TADAJEWSKI A., KUBIAK J. 1976. Wstępna ocena stopnia zeutrofizowanych wód strefy przybrzeżnej w rejonie ujść niektórych rzek Pomorza Zachodniego. *Studia i Materiały Oceanologiczne*. Nr 15 s. 91–108.

Adam BRYSIEWICZ, Piotr WESOŁOWSKI, Kacper RAWICKI

**CONCENTRATIONS OF CHEMICAL COMPONENTS
IN WATER FROM MIDFIELD POND
AND IN GROUND WATER FROM ADJACENT AGRICULTURAL AREAS
– A COMPARISON**

Key words: *N-NH₄, N-min, midfield pond, P-PO₄, Stare Czarnowo*

S u m m a r y

Studies were carried out in 2010-2012 in a midfield pond Stare Czarnowo in Zachodniopomorskie Province. The aim was to determine the content of selected chemical compounds in pond water and in ground waters in adjacent agricultural areas.

Every year since April till October, pH and electrolytic conductivity was measured in the pond and water was collected from a depth of 50 cm in three randomly chosen sites. Since the year 2011 ground water was also collected from piezometers. Collected samples were transported to the laboratory of the Zachodniopomorski Research Centre in Szczecin. On the same day, concentrations of dissolved inorganic nitrogen (N-min), phosphates (P-PO₄) and ammonium-nitrogen (N-NH₄) were determined.

Nutrient concentrations qualified pond water to the third class of water quality in regard to N-min concentrations and to the fourth class in regard to P-PO₄ concentrations. Concentrations of N-NH₄ allowed us to qualify water to the first class. Nutrient concentrations, especially those of phosphates, in ground water from piezometers were high. Water quality in Stare Czarnowo pond was found to depend indirectly on the quality of ground waters that feed surface waters.

Adres do korespondencji: dr inż. A. Brysiewicz, Zachodniopomorski Ośrodek Badawczy ITP w Szczecinie, ul. Czesława 9, 71-504 Szczecin; tel. +48 91 423-19-08, e-mail: A.Brysiewicz@itep.edu.pl