

Wpłynęło 19.08.2014 r.  
Zrecenzowano 25.11.2014 r.  
Zaakceptowano 22.12.2014 r.

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

# ZMIENNOŚĆ STĘŻENIA MINERALNYCH ZWIĄZKÓW AZOTU I FOSFORU W CIEKU NA OBSZARZE ZLEWNI UŻYTKOWANEJ ROLNICZO

Kacper RAWICKI<sup>ABCDEF</sup>, Piotr BURCZYK<sup>CE</sup>, Piotr WESOŁOWSKI<sup>AF</sup>,  
Andrzej MARCINIAK<sup>DB</sup>, Adam BRYSEWICZ<sup>DF</sup>

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zachodniopomorski Ośrodek Badawczy  
w Szczecinie

## Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki dwuletnich badań (2012–2013) stężenia związków azotu i fosforu w wodach rzeki Gowienica, której zlewnia jest użytkowana typowo rolniczo. Jakość wód rzeki wpływa na stan czystości wód jeziora Miedwie, stanowiącego źródło wody pitnej dla ludności miasta Szczecin. Próbkę wody pobierano w czterech punktach badawczych od kwietnia do października każdego roku badań. Analizy chemiczne wody na obecność jonów azotanowych(V), jonów amonowych i jonów fosforanowych(V) wykonano w Laboratorium Badawczym Chemii Środowiska w Falentach. Na podstawie przeprowadzonych badań nie stwierdzono poprawy jakości wód rzeki Gowienica. Zarówno w roku 2012, jak i 2013 średnie stężenie azotu azotanowego(V) z okresu badań odpowiadało II klasie jakości wód powierzchniowych, a azotu amonowego – klasie I. Średnie stężenie fosforu fosforanowego(V) wskazywało natomiast na klasę wyższą niż I i II. Źródeł występowania wysokich stężeń azotu azotanowego(V) i azotu amonowego w niektórych miesiącach upatruje się głównie w splywach powierzchniowych z pól uprawnych i w odpływach wody z gospodarstw rolnych, zwłaszcza zajmujących się produkcją zwierzęcą. Za przyczynę wysokiego stężenia fosforu fosforanowego(V) uważa się natomiast głównie odprowadzanie ścieków bytowo-gospodarczych oraz wód z oczyszczalni ścieków bezpośrednio do koryta badanej rzeki. W pracy przedstawiono także stosunek zawartości azotu do fosforu w zależności od punktu badawczego.

**Słowa kluczowe:** azot, fosfor, jakość wód, rolnictwo, wody powierzchniowe

---

**Do cytowania For citation:** Rawicki K., Burczyk P., Wesołowski P., Marciniak A., Brysiewicz A. 2015. Zmienność stężeń mineralnych związków azotu i fosforu w cieku na obszarze zlewni użytkowanej rolniczo. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 2 (50) s. 115–125.

## WSTĘP

Na terenie Polski brak jest systematycznego monitoringu jakości wód większości niewielkich cieków, których zlewnie są zlokalizowane na obszarach wiejskich. Według dotychczasowych badań, prowadzonych przez różne jednostki badawcze, stan tych wód jest często zły, do czego przyczyniają się m.in. niewłaściwe sposoby magazynowania nawozów i konserwacji pasz oraz zagospodarowania ścieków bytowo-gospodarczych [KACA 2009]. Wśród parametrów pogarszających jakość wód często wymienia się zawartość składników nawozowych, pochodzących głównie z działalności rolniczej, tj. związków azotu i fosforu [DURKOWSKI i in. 2006]. Według SAPKA [2010] większość azotu i fosforu wnoszonego do środowiska na obszarze Polski pochodzi z nawozów mineralnych wykorzystywanych w rolnictwie. Nadmierna zawartość związków biogenych w wodzie prowadzi do znacznego przyrostu masy fitoplanktonu, co w konsekwencji powoduje m.in. zarastanie zbiorników wodnych – eutrofizację wód powierzchniowych. Może również ograniczać wykorzystanie wód do celów gospodarczych i rekreacyjnych [JASIEWICZ, BARAN 2006; KOCIOLEK-BALAWAJDER, STANISŁAWSKA 2012].

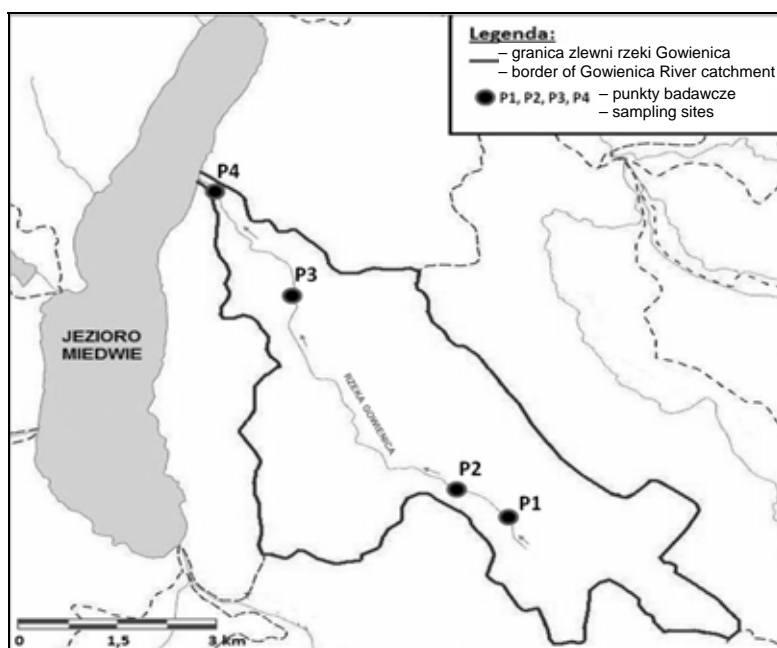
W województwie zachodniopomorskim znajduje się rzeka Gowienica, która jest jednym z głównych dopływów jeziora Miedwie, będącego piątym co do wielkości jeziorem w Polsce. Jezioro Miedwie stanowi źródło wody pitnej dla ludności Szczecina. Negatywny wpływ na jakość wód jeziora wywiera działalność gospodarza człowieka, w tym głównie rolnictwo [DURKOWSKI i in. 2004].

Celem podjętych badań była ocena zawartości bioprzyswajalnych związków azotu i fosforu w wodach rzeki Gowienica oraz wskazanie czynników mających wpływ na złą jakość wód omawianej rzeki.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badaniem objęto rzekę Gowienica (długość 15 km), która jest jednym z dopływów jeziora Miedwie. Zlewnia ciek, o powierzchni 63,65 km<sup>2</sup>, jest położona w mezoregionie Równiny Pyrzycko-Stargardzkiej. Teren zlewni obfituje w najlepsze gleby w regionie – czarne ziemie pyrzyckie, które obejmują 96% użytków rolnych, w tym: 86% gruntów ornych oraz 10% łąk i pastwisk. Obszar ten odznacza się bardzo dobrymi warunkami agroklimatycznymi do uprawy zbóż i roślin przemysłowych. Przeważa tutaj uprawa pszenicy, buraków cukrowych i rzepaku [BURCZYK, GAMRAT 2006; DURKOWSKI i in. 2007]. W gminie Warnice, położonej w przeważającej części badanej zlewni, są stosowane dawki nawożenia mineralnego wynoszące średnio 210,9 kg·ha<sup>-1</sup> NPK, w tym 126,2 kg·ha<sup>-1</sup> azotu, 36,2 kg·ha<sup>-1</sup> fosforu i 48,6 kg·ha<sup>-1</sup> potasu. Produkcja zwierzęca obejmuje głównie bydło, trzodę chlewną i drób [GUS 2010].

Na trasie badanej rzeki wyznaczono cztery punkty badawcze, w których pobierano próbki wody (rys. 1). Punkt 1. zlokalizowano w górnym odcinku cieku, w okolicach jego źródła. Teren przyległy stanowią w tym miejscu głównie pola uprawne i pastwiska. W okolicy znajdują się także dwa gospodarstwa zajmujące się chowem krów mlecznych (obydwa posiadają prawidłowo wykonane płyty obornikowe i zbiorniki na gnojówkę w odległości około 0,5 km od rzeki). Lokalizację punktu 2. wybrano ze względu na możliwość przedostawania się zanieczyszczeń bytowo-gospodarczych z pobliskiej wsi. Teren w obrębie tego punktu badawczego zajmują głównie pola uprawne. Punkt 3. umiejscowiono przy nieczynnym lotnisku, gdzie obecnie występują głównie nieużytki i nieliczne pola uprawne. Punkt 4. zlokalizowano na końcowym odcinku cieku, przed ujściem do jeziora Miedwie.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów badawczych wzdłuż rzeki Gowienica; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Distribution of sampling sites along the Gowienica River; source: own elaboration

Próbki wody pobierano co miesiąc, w okresie wegetacji (od kwietnia do października), w latach 2012 i 2013. Analizy chemiczne przeprowadzono w Laboratorium Badawczym Chemii Środowiska w Falentach. Zawartość jonów azotanowych(V), amonowych i fosforanowych w próbach wody oznaczono metodą kolorymetrii przepływowej z segmentowanym strumieniem (SFA), zgodnie z procedurą SKALARA (Breda). Otrzymane wartości przeliczono na azot azotanowy(V), azot amonowy i fosfor fosforanowy(V). Oznaczone stężenia porównano z wartościami

dopuszczalnymi poszczególnych wskaźników jakości wód powierzchniowych, odnoszących się do cieków naturalnych, tj. strugi, strumienia, potoku, kanału i rzeki [Rozporządzenie... 2011]. Do opracowania statystycznego wykorzystano program Statistica 10 – obliczono wartości średnie, wartości minimalne i maksymalne, medianę i odchylenie standardowe uzyskanych wyników, a także przeprowadzono analizę wariancji dla poszczególnych punktów poboru próbek wody.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Na podstawie wyników z dwóch lat badań (2012–2013) (tab. 1) stwierdzono zróżnicowanie stężenia związków azotu i fosforu w zależności od lokalizacji punktu badawczego, jednak istotne różnice wystąpiły jedynie w przypadku stężenia azotu azotanowego(V) (na poziomie ufności  $\alpha = 0,05$ ) i azotu amonowego (na poziomie ufności  $\alpha = 0,05$  i  $\alpha = 0,01$ ) (tab. 2). Nie stwierdzono istotnych różnic stężenia fosforu fosforanowego(V) w poszczególnych punktach badawczych.

Średnie stężenie azotu azotanowego(V) z całego okresu badań (2012–2013) wynosiło od 1,36 do 3,51 mg·dm<sup>-3</sup> w zależności od lokalizacji punktu badawczego (tab. 1). Największe stężenie tej formy azotu (12,83 mg·dm<sup>-3</sup>) zanotowano w maju 2012 r. w punkcie 1., natomiast najmniejsze (0,30 mg·dm<sup>-3</sup>) – w sierpniu 2013 r. w punkcie 3. Stężenie azotu azotanowego w wodach powierzchniowych zazwyczaj maleje w okresie wegetacji, co jest związane z rozwojem fitoplanktonu. Zależność ta może jednak zostać zaburzona przez dopływ ścieków zawierających duże ilości azotanów [DOJLIDO 1995]. Zarówno w 2012, jak i 2013 r., w poszczególnych miesiącach badań (kwiecień – październik), stwierdzono przekroczenie stężenia dopuszczalnego dla I lub II klasy jakości wód powierzchniowych (rys. 2).

W 2012 r. w punkcie 1., wyznaczonym najbliżej źródła ciek, ponadnormatywne stężenie azotu azotanowego(V) zanotowano w kwietniu – 2,84 mg·dm<sup>-3</sup> i w maju – 12,83 mg·dm<sup>-3</sup>. W tych samych miesiącach 2012 r. zanotowano podwyższone stężenie azotu azotanowego(V) również w punkcie 2. W tych dwóch miesiącach, a także w czerwcu wartości stężenia azotu azotanowego(V) w tym punkcie badawczym wynosiły od 2,92 do 4,11 mg·dm<sup>-3</sup>. W punkcie 3. nie stwierdzono przekroczenia norm stężenia azotu azotanowego(V) dopuszczalnych dla I klasy, natomiast w punkcie zlokalizowanym najbliżej ujścia rzeki do jeziora Miedwie (punkt 4.) ponadnormatywne stężenia tej formy azotu stwierdzono w maju i lipcu.

W 2013 r. notowano większe wartości stężenia azotu azotanowego(V) w wodzie niż w roku poprzednim oraz częstsze przekraczanie norm dopuszczalnych dla I i II klasy wód. Podobnie jak w roku poprzednim w punkcie 1. stwierdzono duże stężenie tej formy azotu w kwietniu (5,21 mg·dm<sup>-3</sup>) i maju (4,00 mg·dm<sup>-3</sup>). Podwyższone stężenie azotu azotanowego w wodzie na tym stanowisku zanotowano dodatkowo w lipcu (3,27 mg·dm<sup>-3</sup>) i październiku (4,85 mg·dm<sup>-3</sup>). W kwietniu

**Tabela 1.** Stężenie N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub> i P-PO<sub>4</sub> na rzece Gowienica z lat 2012 i 2013**Table 1.** Concentration of N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub> and P-PO<sub>4</sub> in the Gowienica River in the years 2012 and 2013

Punkty badawcze Sampling point	Rok Year	Wskaźnik jakości wody Water quality index	Średnia z okresu IV–X Mean for April–September	Odchylenie standardowe Standard deviation	Mediana Median	Max	Min
			mg·dm <sup>-3</sup>				
1.	2012	N-NO <sub>3</sub>	3,33	4,22	1,73	12,83	1,21
		N-NH <sub>4</sub>	0,44	0,42	0,27	1,14	0,06
		P-PO <sub>4</sub>	0,57	0,85	0,17	2,28	0,03
	2013	N-NO <sub>3</sub>	3,30	1,43	3,27	5,21	1,80
		N-NH <sub>4</sub>	0,20	0,13	0,13	0,44	0,07
		P-PO <sub>4</sub>	0,15	0,16	0,09	0,48	0,01
2.	2012	N-NO <sub>3</sub>	2,37	1,05	1,76	4,11	1,43
		N-NH <sub>4</sub>	1,21	1,24	1,04	3,75	0,21
		P-PO <sub>4</sub>	0,22	0,17	0,24	0,48	0,04
	2013	N-NO <sub>3</sub>	3,51	0,91	3,26	5,48	2,77
		N-NH <sub>4</sub>	0,69	0,74	0,50	2,17	0,15
		P-PO <sub>4</sub>	0,31	0,14	0,35	0,44	0,03
3.	2012	N-NO <sub>3</sub>	1,59	0,27	1,58	1,86	1,21
		N-NH <sub>4</sub>	0,37	0,36	0,22	1,05	0,06
		P-PO <sub>4</sub>	0,08	0,06	0,06	0,20	0,04
	2013	N-NO <sub>3</sub>	1,36	0,70	1,42	2,21	0,30
		N-NH <sub>4</sub>	0,28	0,35	0,13	0,86	0,01
		P-PO <sub>4</sub>	0,06	0,03	0,06	0,11	0,03
4.	2012	N-NO <sub>3</sub>	2,13	0,74	1,88	3,24	1,38
		N-NH <sub>4</sub>	0,34	0,37	0,16	1,05	0,08
		P-PO <sub>4</sub>	0,10	0,07	0,08	0,23	0,01
	2013	N-NO <sub>3</sub>	1,51	0,68	1,23	2,36	0,90
		N-NH <sub>4</sub>	0,10	0,03	0,11	0,14	0,06
		P-PO <sub>4</sub>	0,05	0,04	0,05	0,12	0,02

Objaśnienie: punkty badawcze 1.–4., jak na rysunku 1. Explanation: sampling sites 1–4 as in Fig. 1.

Źródło: opracowanie własne. Source: own study.

2013 r. przekroczenie norm stężenia tej formy azotu wystąpiło we wszystkich punktach badawczych – największe stężenie zanotowano w punkcie 1., a o ponad połowę mniejsze – w punktach 3. i 4. W punkcie 2. ponadnormatywne stężenie azotu azotanowego(V) stwierdzono we wszystkich miesiącach 2013 r., z tym że największe (5,48 mg·dm<sup>-3</sup>) – w czerwcu (rys. 2).

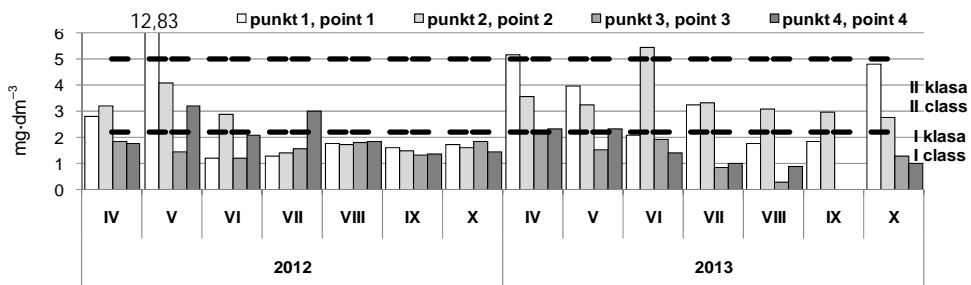
**Tabela 2.** Istotność różnic wartości wskaźników jakości wody**Table 2.** The significance of differences between the values of water quality indices

Wskaźnik jakości wody Water quality index	Statystyka <i>F</i> <i>F</i> distribution	Poziom istotności <i>p</i> Probability <i>p</i>	Istotność Significance
	mg dm <sup>-3</sup>		
N-NO <sub>3</sub>	3,53	0,021	*
N-NH <sub>4</sub>	4,39	0,008	**
P-PO <sub>4</sub>	2,46	0,074	n.i.

Objaśnienia: poziomy istotności: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ .

Explanations: level of significance: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ .

Źródło: opracowanie własne. Source: own study.



Rys. 2. Wartości stężenia N-NO<sub>3</sub> w punktach badawczych; oznaczenia, jak pod tabelą 1.; źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Concentrations of N-NO<sub>3</sub> at sampling sites; explanations as in Table 1; source: own study

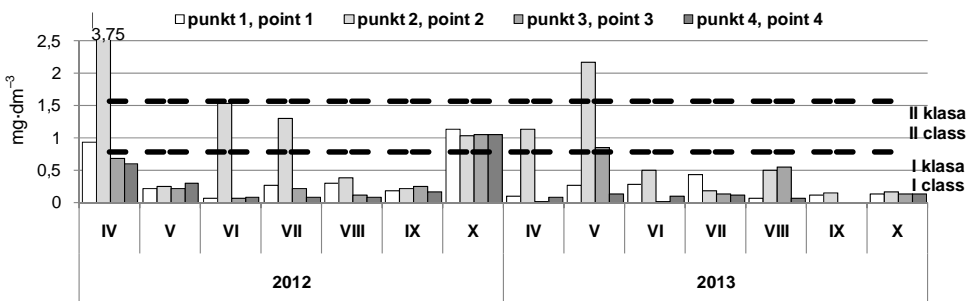
Ponadnormatywne stężenie azotu azotanowego(V) w ekosystemach wodnych może doprowadzić m.in. do ograniczenia różnorodności biologicznej w wyniku zanikania gatunków roślin siedlisk ubogich [JASIEWICZ, BARAN 2006]. Przyczyn dużego stężenia azotu azotanowego(V) w punktach 1. i 2. upatruje się w spływach powierzchniowych z pól uprawnych. W obrębie tych dwóch punktów badawczych znajduje się rozbudowana sieć rowów melioracyjnych odprowadzających wody z sieci drenarskich bezpośrednio do rzeki Gowienica. PULIKOWSKI i in. [2012], badając zawartość azotu azotanowego w wodach odpływających ze zlewni użytkowanych rolniczo, wykazali, że średnie roczne stężenie azotu azotanowego(V) w wodzie z rowów melioracyjnych odprowadzanej z sieci drenarskich, wynosiło średnio od 7,0 do 14,6 mg-dm<sup>-3</sup>. KOC, SOLARSKI [2006] natomiast, badając przemieszczanie się składników chemicznych w dwóch zlewniach rolniczych, zanotowali podobne średnie z wielolecia stężenie azotu azotanowego(V) w wodach odprowadzanych rowem melioracyjnym i drenami (średnie z okresu maj–październik równe 0,737 mg-dm<sup>-3</sup>). Wpływ na podwyższone stężenie azotu azotanowego(V) mogły mieć również opady atmosferyczne. DURKOWSKI i KORYBUT WORONIECKI [2009], badając chemizm opadów atmosferycznych na terenie zlewni jeziora Mie-

dwie, do której należy zlewnia badanej rzeki, stwierdzili duże ilości jonów azotanowych w wodzie opadowej – najczęściej od 2,0 do 5,0 mg·dm<sup>-3</sup>.

Uzyskane wyniki stężenia azotu azotanowego(V) oznaczonego w poszczególnych miesiącach w Gowienicy są zbliżone do wyników badań cieków położonych na terenach rolniczych. Na przykład IGNATOWICZ i STRUK-SOKOŁOWSKA [2004] stwierdziły, że stężenie azotu azotanowego(V) w rzece Narew, przepływającej przez tereny typowo rolnicze, w okresie od kwietnia do września wynosiły od 0,3 do 1,6 mg·dm<sup>-3</sup>. POLICHT-LATAWIEC [2013], po przeprowadzeniu analiz właściwości fizyko-chemicznych wody rzek Wierzbiak i Kałużnik, przepływających przez tereny użytkowane rolniczo, stwierdziła że maksymalne stężenie tej formy azotu w okresie od kwietnia do listopada 2012 r. było równe odpowiednio: 5,26 i 14,78 mg·dm<sup>-3</sup>.

Średnie z całego okresu badań (2012–2013) stężenie azotu amonowego wynosiło od 0,10 do 1,21 mg·dm<sup>-3</sup> w zależności od lokalizacji punktu badawczego (tab. 1). W sezonie letnim, wraz ze wzrostem temperatury wody, jest obserwowane zmniejszenie stężenia azotu amonowego, spowodowane wzmożonym wykorzystaniem tego pierwiastka przez rośliny, a także przez bakterie w procesie nitrifikacji. W warunkach spadku temperatury wody stężenie azotu amonowego wzrasta, m.in. w wyniku zanikania życia biologicznego [DOJLIDO 1995]. Największe stężenie tej formy azotu (3,75 mg·dm<sup>-3</sup>) stwierdzono w kwietniu 2012 r. w punkcie 2., najmniejsze natomiast (0,01 mg·dm<sup>-3</sup>) – w kwietniu i czerwcu 2013 r. w punkcie 3. W obu latach badań zanotowano zmniejszenie stężenia azotu amonowego w wodzie w ciągu okresu wegetacyjnego, a następnie jego zwiększenie we wrześniu i październiku. Mimo tego stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych norm jakości wód powierzchniowych w poszczególnych miesiącach badań.

W 2012 r. w punkcie 1. podwyższone stężenie azotu amonowego zanotowano w kwietniu i październiku – odpowiednio: 0,94 i 1,14 mg·dm<sup>-3</sup> (rys. 3). W tym samym roku duże stężenie tej formy azotu stwierdzono również w punkcie 2.:



Rys. 3. Wartości stężenia N-NH<sub>4</sub> w punktach badawczych; oznaczenia jak pod tabelą 1.; źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Concentrations of N-NH<sub>4</sub> at sampling sites; explanations as in Table 1; source: own study

w kwietniu –  $3,75 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , czerwcu –  $1,54 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , lipcu –  $1,31 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  i październiku –  $1,04 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . W punkcie 3. i 4. ponadnormatywne wartości stężenia azotu amonowego zanotowano jedynie w październiku –  $1,05 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

W drugim roku badań (2013) największe stężenie azotu amonowego w wodzie stwierdzono, tak jak w roku poprzednim, w punkcie 2. w kwietniu –  $1,14 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  i maju –  $2,17 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . W maju ponadnormatywne stężenie azotu amonowego stwierdzono również w punkcie 3. –  $0,86 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . W punkcie 1. i 4. nie zanotowano przekroczenia norm zawartości azotu amonowego w wodzie w żadnym terminie badań 2013 r. (rys. 3).

Zbyt wysokie stężenie azotu amonowego wpływa negatywnie na środowisko wodne, pogarszając jakość wód powierzchniowych i powodując zatrucie organizmów wodnych [DOJLIDO 1995]. GRABIŃSKA i in. [2005] wskazują, że wielkość odpływu azotu amonowego w wodach cieków w dużym stopniu zależy od struktury użytkowania zlewni – w zlewniach z dużym udziałem gruntów ornych, gdzie uprawiano głównie zboża i rośliny okopowe, odpływ azotu amonowego był mniejszy ( $0,05$  i  $0,1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) niż w zlewniach, gdzie dużą część obszaru zajmowały łąki i pastwiska ( $2,8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Badając zawartość azotu amonowego w wodach powierzchniowych autorzy ci stwierdzili, że średnie sezonowe stężenie tej formy azotu w rzekach Orz, Ruż, Rozoga o zlewniach rolniczych, w zależności od sezonu, wynosiły: wiosną – od  $0,11$  do  $0,69 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , latem – od  $0,06$  do  $0,60 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  i jesienią – od  $0,12$  do  $0,55 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . W rzece Gowienica w okresie badań, oprócz miesięcy, w których zanotowano ponadnormatywne stężenie azotu amonowego, wystąpiły zbliżone wartości stężenia tej formy azotu. Podwyższone stężenie azotu amonowego wystąpiło głównie w punktach 1. i 2. Bezpośrednią przyczyną dużych wartości tej formy azotu w tych miejscach było prawdopodobnie przedostawanie się do wód rzeki zanieczyszczeń z obszarów zabudowy wiejskiej, zwłaszcza z gospodarstw prowadzących produkcję zwierzęcą. W czasie badań w dwóch gospodarstwach położonych między tymi punktami badawczymi zaobserwowano brak odpowiedniej dbałości o otoczenie płyt obornikowych oraz – w jednym z nich – składowanie obornika na niezabezpieczonym gruncie obok płyty obornikowej. Badania ROSSY [2006], prezentujące poziom stężenia zanieczyszczeń w ciekach powierzchniowych po przepłynięciu przez obszary wiejskie, potwierdzają że oprócz użytkowania zlewni i jej warunków fizjograficznych najbardziej znaczącym czynnikiem, od którego zależy stężenie azotu amonowego jest chów bydła i trzody oraz niewłaściwa gospodarka nawozami naturalnymi.

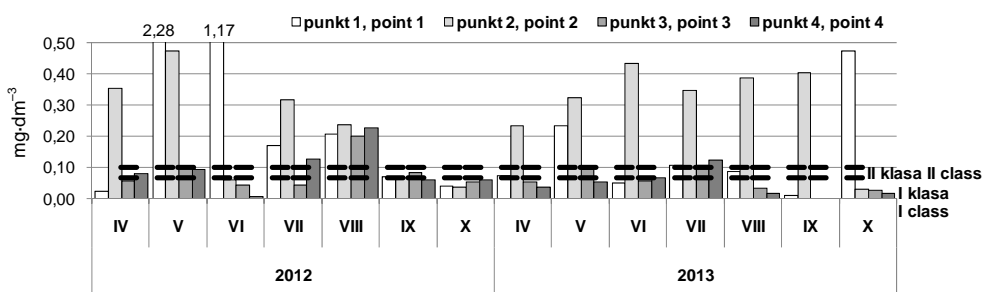
W obu latach badań (2012–2013) we wszystkich punktach poboru prób wody notowano duże stężenie fosforu fosforanowego(V) – średnie ze wszystkich terminów badań stężenie tego składnika wynosiło od  $0,05$  do  $0,57 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  w zależności od punktu badawczego. Największe stężenie stwierdzono w maju w 2012 r. w punkcie 1. ( $2,28 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), natomiast najmniejsze ( $0,01 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) – w czerwcu w 2012 r. w punkcie 4. i we wrześniu 2013 r. w punkcie 1. W ciągu roku, w okresie letnim, wraz z rozwojem fitoplanktonu, następuje zmniejszenie stężenia fosforu



fosforanowego(V) w wodach powierzchniowych, w okresie jesiennym i zimowym natomiast – jego zwiększenie w wyniku rozkładu obumarłego planktonu. Cykliczne zmiany stężenia fosforu fosforanowego(V) mogą być jednak zakłócone poprzez dopływ do wód ścieków zawierających duże ilości tego pierwiastka [DOJLIDO 1995]. W okresie badań w większości badanych prób wody stwierdzono przekroczenie norm stężenia fosforu fosforanowego(V) dopuszczalnych dla I i II klasy jakości wód.

W 2012 r. w punkcie badawczym położonym najbliżej źródła rzeki (punkt 1.) od maja do sierpnia notowano ponadnormatywne wartości stężenia fosforu fosforanowego(V) ( $0,17\text{--}2,28\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ). W punkcie 2., od kwietnia do sierpnia, oprócz czerwca, notowano równie wysokie stężenie tego pierwiastka. Duże wartości stężenia stwierdzono również w punktach 3. i 4. – w punkcie 3. zwłaszcza w sierpniu ( $0,20\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), a w punkcie 4. – w lipcu ( $0,13\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) i sierpniu ( $0,23\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ). Podwyższone stężenie fosforu fosforanowego(V) stwierdzono także w punktach 1., 2. i 3. we wrześniu (rys. 4).

W drugim roku badań (2013) również zanotowano przekroczenia norm stężenia fosforu fosforanowego(V) dopuszczalnych dla I i II klasy jakości wód. W punkcie 1. ponadnormatywne stężenie tego pierwiastka wystąpiło w kwietniu –  $0,08\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , maju –  $0,23\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , lipcu –  $0,11\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , sierpniu –  $0,09\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  i październiku –  $0,48\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , natomiast w punkcie 2. – we wszystkich miesiącach od kwietnia do września włącznie ( $0,24\text{--}0,44\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ). W punktach badawczych położonych bliżej ujścia cieku do jeziora Miedwie (punkty 3. i 4.) stwierdzono mniejsze wartości stężeń fosforu fosforanowego(V). Zarówno w punkcie 3., jak i punkcie 4. największe stężenie fosforanów wystąpiło w lipcu – odpowiednio:  $0,11$  i  $0,12\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  (rys. 4).



Rys. 4. Wartości stężenia P-PO<sub>4</sub> w punktach badawczych; oznaczenia, jak pod tabelą 1.; źródło: opracowanie własne

Fig. 4. Concentrations of P-PO<sub>4</sub> at sampling sites; explanations as in Table 1; source: own study

Prawdopodobnie przyczyną wystąpienia dużego stężenia fosforu fosforanowego(V) w punkcie 2. w każdym miesiącu drugiego roku badań oraz w większości pierwszego był dopływ zanieczyszczeń bytowo-gospodarczych z zagród wiejskich.

Na podwyższone stężenie tego pierwiastka mógł mieć także wpływ bezpośredni dopływ wody z pobliskich biologicznych oczyszczalni ścieków, których odpływy znajdują się między punktami 1. a 2. Przeciętny dobowy ładunek azotu ogólnego i fosforu ogólnego odprowadzany do rzeki z oczyszczalni Barnim wynosi odpowiednio: 113 mg N·dm<sup>-3</sup> i 14 mg P·dm, a z oczyszczalni Wójcin – 136 mg N·dm<sup>-3</sup> i 18 mg P·dm<sup>-3</sup> [KURZAWA, KOCHANKA 2012]. DĄBROWSKA [2008], analizując zawartość związków azotu i fosforu w wodach rzeki Trzemna, również wskazuje na negatywny wpływ oczyszczalni ścieków na jakość wód. Z prezentowanych przez tę autorkę badań wynika, że w punkcie poboru wody zlokalizowanym za oczyszczalnią stężenie fosforanów gwałtownie wzrastało, aż do poziomu 14 mg PO<sub>4</sub>·dm<sup>-3</sup>.

Duże stężenie związków biogenych w środowisku wodnym stanowi główny czynnik prowadzący do zwiększenia żyzności wód [JASIEWICZ, BARAN 2006]. Podczas badań zaobserwowano wzmożony proces eutrofizacji, zwłaszcza w górnym odcinku rzeki. Stosunek zapotrzebowania roślin na azot i fosfor równa się 7:1. Przyjmuje się, że gdy zawartość jednego z tych pierwiastków jest znacznie mniejsza niż wynika to z tej proporcji, to limituje on rozwój niektórych glonów. Na podstawie wieloletnich badań monitoringowych za wysoką przyjmuje się wartość stosunku azotu mineralnego do fosforu fosforanowego(V) (N:P) w wodzie przekraczającą 20 [RAWICKI, SIWEK 2014; WHITE 1989]. Ze stosunku zawartości azotu mineralnego do fosforu fosforanowego(V) w wodzie rzeki Gowienica wynika, że w obu latach badań (2012 i 2013) we wszystkich punktach badawczych pierwiastkiem ograniczającym rozwój biomasy fitoplanktonu był fosfor (tab. 3).

**Tabela 3.** Stosunek stężenia azotu mineralnego do fosforu fosforanowego(V) w punktach badawczych z okresu badań

**Table 3.** The ratio of nitrogen to phosphorus mineral phosphate(V) on research points from the study period

Punkty badawcze Sampling points	Rok Year	Stosunek Nmin:P Ratio Nmin:P			Odchylenie standardowe Standard deviation
		średni mean	max	min	
1	2012	37,9	145,4	1,1	52,6
	2013	56,9	198,0	10,4	65,4
2	2012	30,7	74,3	8,6	28,5
	2013	24,7	94,8	7,8	31,3
3	2012	30,1	53,7	9,7	16,3
	2013	30,3	51,1	9,2	14,4
4	2012	68,0	311,4	8,6	107,9
	2013	41,7	62,6	9,1	21,7

Objaśnienie: oznaczenia jak pod tabelą 1. Explanations as in Table 1.

Źródło: opracowanie własne. Source: own study.

Podsumowując, na podstawie przedstawionej analizy wyników stwierdza się, że w obu latach badań (2012–2013) średnie stężenie azotu azotanowego(V) klasyfikuje wody rzeki Gowienica do II klasy jakości wód powierzchniowych (norma:  $>2,2 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ,  $\leq 5,0 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), a stężenie azotu amonowego do klasy I (norma:  $\leq 0,78 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ). Stężenie fosforu fosforanowego(V) odpowiada klasom jakości wyższej niż I i II (norma:  $>0,101 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ). Stwierdzono różnice stężenia wymienionych pierwiastków w poszczególnych punktach badawczych. Wykazano ponadnormatywne stężenia związków azotu i fosforu zarówno w punktach zlokalizowanych bliżej źródła rzeki (punkty 1. i 2.), jak i jej ujścia do jeziora Miedwie (punkty 3. i 4.). Przyczyn wysokich stężeń azotu azotanowego(V), azotu amonowego i fosforu fosforanowego(V), zwłaszcza w górnym odcinku rzeki, upatruje się głównie w spływach powierzchniowych z pól uprawnych i możliwości przedostawania się zanieczyszczeń z gospodarstw zajmujących się produkcją zwierzęcą, a także w odprowadzeniu do rzeki wód z oczyszczalni ścieków bytowo-gospodarczych. We wszystkich punktach badawczych stężenie azotu mineralnego było większe niż fosforu fosforanowego(V).

## WNIOSKI

1. Na podstawie badań prowadzonych w latach 2012–2013 stwierdzono, że stężenie azotu azotanowego(V) klasyfikuje wody rzeki Gowienica do II klasy jakości wód powierzchniowych, azotu amonowego – do klasy I, a fosforu fosforanowego(V) – do klas wyższych niż I i II.

2. Jako główne przyczyny złej jakości wód w rzece, spowodowanej ponadnormatywnymi wartościami stężenia bioprzyswajalnych związków azotu i fosforu, wskazuje się spływy powierzchniowe z pól uprawnych, zanieczyszczenia przedostające się z gospodarstw zajmujących się produkcją zwierzęcą i odpływy ładunków zanieczyszczeń z oczyszczalni ścieków bytowo-gospodarczych.

3. Stosunek zawartości azotu do fosforu wskazuje, że pierwiastkiem limitującym rozwój glonów w rzece jest fosfor.

Badania wykonano w ramach programu wieloletniego – działanie 1.3., realizowanego przez Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach.

## LITERATURA

- BURCZYK P., GAMRAT R. 2006. Assessment of Agricultural Land Development Influence on Concentration of Phosphorus and Potassium Compounds in Soil and Ground Waters. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 15. No. 5d s. 419–423.
- DĄBROWSKA J. 2008. Ocena zawartości związków azotu i fosforu w wodach rzeki Trzemny. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 7 s. 57–68.

- DOJLIDO J.R. 1995. Chemia wód powierzchniowych. Białystok. Wydaw. Ekonomia i Środowisko. ISBN 83-855792-22-8 ss. 324.
- DURKOWSKI T., BURCZYK P., KRÓLAK B. 2006. Ocena odpływu składników nawozowych ze zlewni rolniczych jeziora Miedwie w okresie restrukturyzacji rolnictwa. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 6. Z. 2(18) s. 51–63.
- DURKOWSKI T., BURCZYK P., KRÓLAK B. 2007. Stężenie wybranych składników chemicznych w wodach gruntowych i roztworze glebowym w małej zlewni rolniczej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 7. Z. 1(19) s. 5–15.
- DURKOWSKI T., KORYBUT WORONIECKI T. 2009. Dynamika wybranych składników chemicznych w opadach atmosferycznych w zlewni jeziora Miedwie. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 9. Z. 2(26) s. 19–32.
- DURKOWKI T., WESOŁOWSKI P., WORONIECKI T., PAWLIK-DOBROWOLSKI J., PIECZYŃSKI L. 2004. Dopyływ zanieczyszczeń do Jeziora Miedwie z jego bezpośredniej zlewni oraz możliwości ich ograniczenia. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISBN 83-88763-44-X ss. 106.
- GUS 2010. Powszechny spis rolny 2010. Baza danych lokalnych [online]. [Dostęp 19.08.2014]. Dostępny w Internecie: <http://stat.gov.pl/spisy-powszechnne/powszechny-spis-rolny-2010/>
- GRABIŃSKA B., KOC J., SKWIERAWSKI A., RAFAŁOWSKA M., SOBECZYŃSKA-WÓJCIK K. 2005. Stężenia i odpływ azotu amonowego z wodami rzecznyymi ze zlewni o zróżnicowanym użytkowaniu. Inżynieria Ekologiczna. Nr 13 s. 81–86.
- IGNATOWICZ K., STRUK-SOKOŁOWSKA J. 2004. Sezonowe wahania zanieczyszczeń agrotechnicznych w rzece Narwi ze szczególnym uwzględnieniem herbicydów fenoksyoctowych. Rocznik Ochrony Środowiska. T. 6 s. 189–205.
- JASIEWICZ CZ., BARAN A. 2006. Rolnicze źródła zanieczyszczenia wód – biogeny. Journal of Elementology. T. 11. Nr 3 s. 367–377.
- KACA E. 2009. Jakość wód powierzchniowych i podziemnych. W: Woda na obszarach wiejskich. Pr. zbior. Red. W. Mioduszewski, W. Dembek. Falenty. Wydaw. IMUZ s. 396–402.
- KOC J., SOLARSKI K. 2006. Wpływ systemów melioracyjnych na wymywanie związków azotu i fosforu ze zlewni użytkowanych rolniczo. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 6. Z. 1(16) s. 195–205.
- KOCIOLEK-BALAWEJDER E., STANISŁAWSKA E. 2012. Chemia środowiska. Wrocław. Wydaw. UE. ISBN 978-83-7695-138-6 ss. 429.
- KURZAWA J., KOCHANKA K. 2012. Program Ochrony Środowiska Powiatu Pyrzyckiego na lata 2012–2015 z perspektywą do roku 2017. Poznań. BBF Sp. z o.o. ss. 185.
- POLICHT-LATAWIEC A. 2013. Assessment of water inflowing, stored and flowing away from Mściwojów Reservoir. Geomatics, Land Management and Landscape. No. 1 s. 107–115.
- PULIKOWSKI K., CZYŻYK F., PAWĘSKA K., STRZELCZYK M. 2012. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 3/I s. 155–165.
- RAWICKI K., SIWEK H. 2014. Wstępna ocena poziomu stężenia mineralnych związków azotu i fosforu w wodach powierzchniowych zlewni jeziora Świdwie. Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica. Z. 309(29) s. 101–114.
- ROSSA L. 2006. Odpływ wybranych substancji z obszarów zabudowy wiejskiej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 6. Z. 1(16) s. 335–347.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. Dz. U. 2011 Nr 257, poz. 1545.
- SAPEK A. 2010. Rolnictwo polskie a ochrona jakości wody, zwłaszcza wody Bałtyku. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 10. Z. 1(29) s. 175–200.

WHITE E. 1989. Utility of relationships between lake phosphorus and chlorophyll a as predictive tools in eutrophication control studies. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. Vol. 23 s. 35–41.

*Kacper RAWICKI, Piotr BURCZYK, Piotr WESOŁOWSKI,  
Andrzej MARCINIAK, Adam BRYSEWICZ*

**VARIABILITY OF CONCENTRATION  
OF INORGANIC NITROGEN AND PHOSPHORUS  
IN A STREAM FROM TYPICALLY AGRICULTURAL CATCHMENT**

**Key words:** *agriculture, nitrogen, phosphorus, surface water, water quality*

**S u m m a r y**

The paper presents results of a two-year study (2012-2013) of nitrogen and phosphorus concentrations in waters of the Gowienica River with typically agricultural catchment basin. Water quality of the river affects the waters of Lake Miedwie, which is a source of drinking water for the population of the city of Szczecin. Water samples were collected at four sites from April to October each study year. Chemical analyses of nitrate, ammonium and phosphate ions in water were performed in the Research Laboratory of Environmental Chemistry in Falenty. Obtained results showed no improvement in water quality of the Gowienica River. In both 2012 and 2013 mean concentration of nitrate-nitrogen classified river water to the second quality class and mean concentration of ammonium-nitrogen to the first class. Mean concentrations of phosphate phosphorus were out of class of river water quality. High monthly concentrations of nitrate- and ammonium-nitrogen originated in the surface run-off from agricultural fields and drain water from farms, especially those with animal production. The main reason of high concentrations of phosphate-phosphorus was the direct discharge of sewage waters and waters from municipal wastewater treatment plant to the river. The paper also presents the ratio of nitrogen to phosphorus, depending on the location of sampling sites. Research has been done within the Multiannual Programme – Action 1.3, conducted by the Institute of Technology and Life Sciences in Falenty.

**Adres do korespondencji:** mgr inż. K. Rawicki, Zachodniopomorski Ośrodek Badawczy ITP w Szczecinie, ul. Czesława 9, 71-504 Szczecin; tel. +48 91 423-19-08 e-mail: K.Rawicki@itp.edu.pl