

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2017), 26 (1), 55–65  
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2017), 26 (1)  
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2017), 26 (1), 55–65  
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2017), 26 (1)  
<http://iks.pn.sggw.pl>  
DOI 10.22630/PNIKS.2017.26.1.05

**Paweł WILK, Paulina ORLIŃSKA-WOŹNIAK, Joanna GĘBALA**

Sekcja Modelowania Jakości Wód Powierzchniowych, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy  
Section of Modeling Surface Water Quality, Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute

## **Zmienność stosunku stężeń azotu i fosforu dla wybranych zlewni rzek przymorza**

### **Variability of nitrogen to phosphorus concentration ratio on the example of selected coastal river basin**

**Słowa kluczowe:** azot ogólny (TN), fosfor ogólny (TP), zmienność dobowa, zmienność sezonowa, stosunek TN do TP (Tn : TP)

**Key words:** total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), daily variability, seasonal variability, TN : TP ratio

#### **Wprowadzenie**

Ostatnie 50 lat przyniosło dramatyczny wzrost ilości biogenów w wodach powierzchniowych wielu zlewni Europy, co jest wynikiem zwiększenia się ilości ścieków odprowadzanych do wód oraz intensyfikacji rolnictwa (Mainstone i Parr, 2002). Choć w ostatnim czasie zrealizowano wiele inwestycji, które wpłynęły na poprawę jakości wód, i wprowadzono bardziej restrykcyjne przepisy wodno-prawne, to w dalszym ciągu wiele zlewni charakteryzuje się nadmierną

ilością biogenów. Konsekwencją takiego stanu rzeczy jest nadmierna produkcja biologiczna zarówno w rzekach, jak i w Bałtyku, który jest odbiornikiem większości wód z obszaru Polski. Około 75% substancji azotowych i 95% substancji fosforowych dociera do Bałtyku właśnie za pośrednictwem rzek (Vierssen, 2007). Azot jest pierwiastkiem niezbędnym dla białek komórkowych, fosfor natomiast ma kluczową rolę w przemieszczaniu energii w komórce (Forsberg, 1991). Oba pierwiastki są niezbędne w różnych proporcjach uzależnionych od specyficznego zapotrzebowania różnych gatunków roślin. Taka zależność nazywana jest stosunkiem Redfielda i wynosi 16 : 1 (Redfield, 1963; Forsberg, 1991; Dodds, 2003; McGroddy i in., 2004; Hejduk, 2012). Wiedza ta pozwala opisać wzrost pobierania azotu i fosforu przez glo-

ny. To właśnie azot i fosfor są głównymi czynnikami limitującymi produkcję biologiczną w rzekach, stąd też istotna jest wiedza zarówno na temat stosunku obu pierwiastków, jak i jego zmienności w czasie, tym bardziej że powrót już zeutrofizowanego ekosystemu wodnego do stanu pierwotnego w praktyce jest niemożliwy (Duarte i in., 2008).

Celem prowadzonych badań było określenie stosunku azotu ogólnego (TN) i fosforu ogólnego (TP) w powierzchniowych wodach płynących dwóch zlewni rzek przymorza i tym samym próba odpowiedzi na pytanie, który z pierwiastków limituje produkcję biologiczną w analizowanych ekosystemach wodnych i od wody zależnych.

## **Material i metodyka**

W badaniach skupiono się na regionie przymorza. Wybrano dwie zlewnie tego regionu, Regę i Słupie, które różnią się wielkością, mają jednak podobny udział terenów użytkowanych rolniczo. Rega i Słupia, podobnie zresztą jak pozostałe rzeki przymorza, mają znaczną zasobność w wodę, wyrażającą się dużymi wartościami odpływu jednostkowego oraz dużą zdolnością retencyjną związaną z występującą na ich obszarze dużą liczbą jezior (Bogdanowicz, 2005). To właśnie zdolność retencyjna rzeki w dużej mierze decyduje o możliwościach jej samooczyszczania (Wilk, 2015). Zlewnie przymorza są bardzo istotne z punktu widzenia kształtowania się jakości wód przybrzeżnych oraz dopływu zanieczyszczeń do Bałtyku (Stachy, 1980; Bogdanowicz, 2003; Bogdanowicz, 2004; Bogdanowicz, 2005; Kaznowska i Hejduk, 2011).

## **Zlewnia rzeki Regi**

Zlewnia rzeki Regi usytuowana jest w północnej części Polski, w województwie zachodniopomorskim. Powierzchnia zlewni zajmuje obszar około 2764 km<sup>2</sup> (MPHP, 2010), a długość cieków od źródła do ujścia do Morza Bałtyckiego wynosi 167,8 km (WIOŚ Szczecin, 2011). Średni odpływ miesiąca wiosennego wynosi 130–180% średniego odpływu rocznego. Od kilku lat na Redze obserwowane są letnie niżówki (Piętka, 2009). Rega jest czwartą pod względem długości, po Wiśle, Odrze i Pasłęce, rzeką w Polsce uchodzącą do Morza Bałtyckiego. O jakości jej wody decydują spływy powierzchniowe z terenów rolniczych stanowiących ponad 54% powierzchni zlewni oraz zanieczyszczenia z miast zlokalizowanych wzdłuż jej brzegu. Obszary leśne stanowią 33% powierzchni dorzecza. Zabudowa i tereny zurbanizowane to około 2% powierzchni. W zlewni zlokalizowanych jest siedem oczyszczalni ścieków (KPOŚK, 2013).

## **Zlewnia rzeki Słupi**

Zlewnia Słupi stanowi obszar o powierzchni 1623 km<sup>2</sup>. Całość jej dorzecza leży na obszarze województwa pomorskiego, w północno-zachodniej jego części. Długość głównego koryta rzeki wynosi około 139 km. Rzeka Słupia swój bieg rozpoczyna na wysokości około 200 m n.p.m., koło Sierakowskiej Huty, na Pojezierzu Kaszubskim, uchodzi zaś do Bałtyku w mieście Ustka. Wezbrania są niewielkie, zwykle w grudniu, styczniu lub marcu. Są to wezbrania równorzędne pod względem wielkości i mają charakter wezbrań roztopowych. Zdarzają się również wezbrania sztormowe związane

z wysokimi stanami na Bałtyku (IMGW, 2003). W użytkowaniu terenu dominują obszary rolnicze, które stanowią prawie 50% powierzchni dorzecza. Obszary leśne stanowią 44% powierzchni dorzecza i występują głównie w środkowej jego części. Zabudowa i tereny zantropogenizowane to około 4% powierzchni. Główne ośrodki miejskie regionu to przede wszystkim Słupsk oraz Ustka i Bytów (CLC, 2012).

Badania podzielono na trzy cykle pomiarowe. Każdy cykl obejmował inny okres w ciągu roku i trwał trzy doby, w trakcie których pobierano próby bez przerwy co dwie godziny, przy czym za początek każdej doby przyjęto godzinę 00:00, a za koniec godzinę 22:00.

- cykl 1 – w trakcie intensywnej wegetacji roślin uprawnych w czerwcu,
- cykl 2 – po zbiorze roślin uprawnych w trakcie jesiennych opadów deszczu i pierwszych przymrozków w listopadzie,
- cykl 3 – bezpośrednio po roztopach pokrywy śnieżnej (przełom lutego i marca).

Okresy trwania trzech cykli pomiarów zostały wybrane na podstawie obserwacji bezpośrednio przed wyjazdem na pomiar oraz prognoz wykonywanych w IMGW-PIB. Obecność pokrywy śnieżnej oraz jej topnienie w trakcie prowadzenia badań w cyklu 3 potwier-

dzają dane z Centralnej Bazy Danych Historycznych IMGW-PIB. Temperatura w dniach poboru prób cyklu 3 na Redzie i Słupi wahała się od 1 do 6°C i występował opad deszczu.

Analiza odpowiednio długich ciągów danych monitoringowych oraz doświadczenie w modelowaniu zanieczyszczeń w rzekach pozwoliły na zaplanowanie miesięcy, w których prowadzono badania, oraz długość każdego cyklu w eksperymencie (Gębala, 2015; Ostojski i in., 2015). W trakcie prowadzenia eksperymentu w pierwszej kolejności próby wody pobierano na cieku głównym zlewni rzeki Regi w trzech wyznaczonych profilach (tab. 1):

- Trzebiatów – most kolejowy: profil zlokalizowany bezpośrednio przed miastem, w odległości 17,1 km od ujścia rzeki;
- Trzebiatów – most drogowy: profil zlokalizowany za miastem, w odległości 14,81 km od ujścia rzeki,
- Mrzeżyno – ujście: profil zlokalizowany na moście drogowym, w porcie morskim, w odległości 720 m od ujścia rzeki do Bałtyku.

Badania kontynuowano na rzece Słupi, gdzie ponownie próby pobierano w trzech cyklach pomiarowych po trzy doby w okresie od 15.11.2013 roku do 21.02.2014 roku w jednym profilu we wsi Charnowo (tab. 2) – wyjątkiem jest

TABELA 1. Zestawienie cykli pomiarowych prowadzonych na rzece Redze, w profilach Trzebiatów – most kolejowy i most drogowy, oraz w profilu Mrzeżyno – ujście

TABLE 1. Comparison of measuring cycles conducted on the Rega river, profile Trzebiatów – railway and road bridge, and profile Mrzeżyno – estuary

Cykl / Cycle	Doba 1 / Day 1	Doba 2 / Day 2	Doba 3 / Day 3
1	27.06.2012	28.06.2012	29.06.2012
2	28.11.2012	29.11.2012	30.11.2012
3	13.03.2013	14.03.2013	15.03.2013

cykl 2, który obejmował tylko dwie doby z przyczyn technicznych. Profil Charnowo położony jest w dolnym odcinku biegu rzeki Słupi, w odległości 12,14 km od jej ujścia (MPHP, 2010). Profil zlokalizowany jest bezpośrednio przy moście drogowym we wsi Charnowo, około 5 km na południowy-wschód od Ustki w granicach JCWP o numerze PLRW20001947297. Jest to jednocześnie pierwszy profil wodowskazowy od ujścia, na który nie oddziałuje tzw. cofka.

ogólnego dla każdego cyklu prowadzonego na zlewni Regi i Słupi, w tabeli 3 przedstawiono wartości rozrzutu, czyli procentowego odchylenia między wartościami minimalną i maksymalną w stosunku do wartości średniej z danej doby.

Największe wartości rozrzutu uzyskano dla fosforu ogólnego, gdzie w dobie 1 cyklu 1 wyniosły nawet 109%. Fosfor ogólny generalnie w powierzchniowych wodach płynących charakteryzuje się znacznie większą zmiennością

TABELA 2. Zestawienie cykli pomiarowych prowadzonych na rzece Słupi, w profilu Charnowo  
TABLE 2. Comparison of measuring cycles conducted on the Słupia river, profile Charnowo

Cykl / Cycle	Doba 1/ Day 1	Doba 2/ Day 2	Doba 3/ Day 3
1	19.06.2014	20.06.2014	21.06.2014
2	15.11.2013	16.11.2013	–
3	27.02.2014	28.02.2014	29.02.2014

\*Na potrzeby porównania wyników między obiema rzekami zmieniono kolejność cykli dla Słupi, tak aby okresy poboru zgadzały się z tymi prowadzonymi na Redze.

Próby wody pobierano zgodnie z normami PN-EN ISO 5667-3:2013-05 i PN-ISO 5667-5:2003, a następnie po odpowiednim ich zabezpieczeniu były one transportowane do laboratorium oddziału IMGW-PIB w Gdyni, gdzie oznaczono w nich azot ogólny (TN) i fosfor ogólny (TP). Pierwiastki te oznaczono metodą wspólnego utleniania w środowisku alkalicznym. Stężenie obydwu parametrów wyliczono na podstawie krzywej kalibracyjnej. Przy każdej analizie prowadzonej w laboratorium były równolegle badane próby ślepa i kontrolna.

## Wyniki

W pierwszej kolejności przeanalizowano zmienność dobową otrzymanych wartości stężeń azotu ogólnego i fosforu

dobową niż azot ogólny (Wilk, 2015). Każdy cykl umożliwił uzyskanie łącznie 36 danych (po 12 w każdej dobie). Średnie wartości stężeń dla każdej doby poszczególnego cyklu oraz profilu przedstawiono w tabeli 4.

Największe wartości stężeń fosforu ogólnego, bez względu na punkt poboru prób i zlewnię, uzyskano dla cyklu 1, czyli w okresie intensywnej wegetacji roślin. Największą średnią wartość stężenia tego pierwiastka zanotowano na Słupi w dobie 2 cyklu 1, gdzie wyniosła  $0,18 \text{ mg P}\cdot\text{l}^{-1}$ . W przypadku azotu ogólnego największe średnie wartości stężeń występują w cyklu 3, czyli w okresie bezpośrednio po roztopach, gdzie wynoszą  $2,73 \text{ mg N}\cdot\text{l}^{-1}$  w ujściu rzeki Regi i są niemal o rząd wielkości większe od wartości uzyskanych w pozostałych

TABELA 3. Zestawienie wartości rozrzutu dla azotu ogólnego i fosforu ogólnego uzyskanych na zlewniach analizowanych rzek w kolejnych cyklach pomiarowych

TABELA 3. Summary of the dispersion for total nitrogen and total phosphorus obtained in the catchment areas of the rivers analyzed in subsequent measuring cycles

Zlewnia	Cykl 1 / Cycle 1						Cykl 2 / Cycle 2						Cykl 3 / Cycle 3						
	doba 1 / day 1		doba 2 / day 2		doba 3 / day 3		doba 1 / day 1		doba 2 / day 2		doba 3 / day 3		doba 1 / day 1		doba 2 / day 2		doba 3 / day 3		
	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	
	%																		
	Trzebiatów – most kolejowy / railway bridge																		
	20	109	17	48	34	17	34	10	41	14	29	7	63	7	16	6	43	6	77
	Trzebiatów – most drogowy / road bridge																		
Rega	21	30	22	23	23	23	23	4	91	8	27	7	26	5	16	6	42	7	79
	Mrzeżyno – ujście / estuary																		
	28	30	24	37	15	35	35	8	42	10	68	9	13	8	16	5	46	8	62
	Charnowo																		
Słupia	69	61	54	51	68	124	73	32	33	41	–	–	40	61	38	91	45	95	

TABELA 4. Zestawienie średnich wartości stężeń dla azotu ogólnego i fosforu ogólnego uzyskanych na zlewniach analizowanych rzek w kolejnych cyklach pomiarowych

TABELA 4. Comparison of mean concentrations for total nitrogen and total phosphorus for river basin analyzed in measuring cycles

Zlewnia	Cykl 1 / Cycle 1						Cykl 2 / Cycle 2						Cykl 3 / Cycle 3					
	doba 1 / day 1		doba 2 / day 2		doba 3 / day 3		doba 1 / day 1		doba 2 / day 2		doba 3 / day 3		doba 1 / day 1		doba 2 / day 2		doba 3 / day 3	
	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN
	mg·l <sup>-1</sup>																	
	Trzebiatów – most kolejowy / railway bridge																	
	1,74	0,11	1,68	0,08	1,67	0,09	1,87	0,07	1,88	0,07	1,89	0,08	2,65	0,06	2,62	0,07	2,57	0,07
	Trzebiatów – most drogowy / road bridge																	
Rega	1,61	0,10	1,70	0,09	1,69	0,09	1,83	0,08	1,87	0,07	1,87	0,08	2,65	0,06	2,62	0,07	2,59	0,06
	Mrzeżyno – ujście / estuary																	
	1,64	0,10	1,65	0,08	1,62	0,09	1,88	0,07	1,85	0,07	1,92	0,08	2,73	0,06	2,62	0,07	2,64	0,07
	Charnowo																	
Słupia	1,47	0,09	1,54	0,18	1,50	0,09	1,44	0,07	1,5	0,1	–	–	1,54	0,07	1,70	0,08	1,93	0,08

cyklach. Wykorzystując uzyskane dane dotyczące stężeń biogenów, obliczono stosunek azotu ogólnego (TN) do fosforu ogólnego (TP). W tabelach 5, 6, 7 i 8 przedstawiono zarówno średnie wartości TN : TP, uzyskane wartości mak-

symalne i minimalne a także wartość mediany.

Dla trzech profili wyznaczonych na Redze najwyższe średnie wartości stosunku TN do TP uzyskano w cyklu 3, gdzie w każdym przypadku wyniki

TABELA 5. Zestawienie średnich, maksymalnych, minimalnych oraz mediany TN : TP uzyskanych na zlewni rzeki Regi w profilu Trzebiatów – most kolejowy w trzech cyklach pomiarowych

TABLE 5. A comparison of average, maximum, minimum and median ratio of TN to TP obtained in the catchment area of the Rega river, profile Trzebiatów – railway bridge in three measuring cycles

Cykl Cycle	Pomiar Measurement	TN : TP	Maks. – Max. TN : TP	Min. TN : TP	Mediana Median
1	doba 1 / day 1	16,6	20,1	9,2	17,5
	doba 2 / day 2	20,1	22,1	16,4	20,3
	doba 3 / day 3	19,2	22,3	16,8	19,2
2	doba 1 / day 1	26,2	33,3	20,1	26,4
	doba 2 / day 2	26,9	31,3	23,0	26,3
	doba 3 / day 3	24,1	27,3	15,8	24,2
3	doba 1 / day 1	42,1	45,5	37,4	43,2
	doba 2 / day 2	38,5	54,4	32,3	37,4
	doba 3 / day 3	42,0	84,3	31,5	37,6

TABELA 6. Zestawienie średnich, maksymalnych, minimalnych oraz mediany stosunku TN dla TP uzyskanych na zlewni rzeki Regi w profilu Trzebiatów – most drogowy w trzech cyklach pomiarowych

TABLE 6. A comparison of average, maximum, minimum and median ratio of TN to TP obtained in the catchment area of the Rega river, profile Trzebiatów – road bridge in three measuring cycles

Cykl Cycle	Pomiar Measurement	TN : TP	Maks. – Max. TN : TP	Min. TN : TP	Mediana Median
1	doba 1 / day 1	16,2	19,1	13,2	16,1
	doba 2 / day 2	19,6	22,8	14,8	20,2
	doba 3 / day 3	19,8	24,0	17,1	20,1
2	doba 1 / day 1	24,7	30,5	14,0	25,9
	doba 2 / day 2	25,7	28,1	21,2	26,3
	doba 3 / day 3	24,6	27,3	21,4	23,7
3	doba 1 / day 1	41,5	45,5	37,3	43,3
	doba 2 / day 2	37,4	43,0	29,4	37,5
	doba 3 / day 3	43,2	86,0	32,5	39,9

TABELA 7. Zestawienie średnich, maksymalnych, minimalnych oraz mediany TN : TP uzyskanych na zlewni rzeki Regi w profilu Mrzeżyno – ujście w trzech cyklach pomiarowych

TABLE 7. A comparison of average, maximum, minimum and median of TN : TP ratio obtained in the catchment area of the Rega river, profile Mrzeżyno – estuary in three measuring cycles

Cykl Cycle	Pomiar Measurement	TN : TP	Maks. – Max. TN : TP	Min. TN : TP	Mediana Median
1	doba 1 / day 1	16,5	19,5	13,6	16,5
	doba 2 / day 2	20,4	27,3	17,1	20,2
	doba 3 / day 3	19,2	22,3	15,7	19,6
2	doba 1 / day 1	27,1	32,8	21,6	27,4
	doba 2 / day 2	25,9	31,8	16,8	26,3
	doba 3 / day 3	25,7	28,9	23,8	25,5
3	doba 1 / day 1	42,8	47,7	37,7	44,8
	doba 2 / day 2	41,4	66,0	36,6	37,9
	doba 3 / day 3	41,7	64,5	34,8	38,4

TABELA 8. Zestawienie średnich, maksymalnych, minimalnych oraz mediany TN : TP uzyskanych na zlewni rzeki Słupia w profilu Charnowo w trzech cyklach pomiarowych

TABLE 8. A comparison of average, maximum, minimum and median of TN : TP ratio obtained in the catchment area of the Słupia river, profile Charnowo village in three measuring cycles

Cykl Cycle	Pomiar Measurement	TN : TP	Maks. – Max. TN : TP	Min. TN : TP	Mediana Median
1	doba 1 / day 1	16,8	23,8	12,1	16,2
	doba 2 / day 2	8,9	16,6	6,7	8,5
	doba 3 / day 3	17,5	25,2	10,2	17,1
2	doba 1 / day 1	21,4	30,7	13,4	20,6
	doba 2 / day 2	20,4	25,8	15,3	19,9
	doba 3 / day 3	–	–	–	–
3	doba 1 / day 1	23,5	33,8	14,0	22,3
	doba 2 / day 2	22,2	33,7	15,6	22,6
	doba 3 / day 3	26,9	34,6	14,5	28,3

oscylowały w granicach 40 (tab. 5, 6, 7). Z kolei mniejsze średnie wartości uzyskano dla cyklu 1, gdzie wartości oscylowały w granicach 20. Podobne wyniki uzyskano na zlewni rzeki Słupia, gdzie cykl 3 charakteryzował się największymi średnimi wartościami TN : TP dochodzącymi do 27 (tab. 8). Najmniej-

sze wartości ponownie zaobserwowano w cyklu 1.

## Dyskusja wyników

Przeprowadzone w latach 2012–2014 analizy stężeń azotu ogólnego i fosforu ogólnego w Redze i Słupia wy-

kazały dużą zmienność zarówno dobową, jak i sezonową tych pierwiastków w wybranych profilach. Otrzymane wyniki wskazały prawdopodobne okresy występowania najwyższych stężeń biogenów w analizowanych ciekach (tab. 3). Na przełomie lutego i marca (cykl 3) nastąpiło topnienie pokrywy śnieżnej na polach, co dodatkowo spowodowało wymywanie z gleby znacznych ilości pozostałych w niej azotanów nagromadzonych w profilu glebowym w okresie pozawegetacyjnym. Miało to bezpośrednie przełożenie na wzrost stężenia biogenów w analizowanych rzekach (Kopiński i Tujaka, 2009; Starostwo Powiatowe w Gryficach 2009; Sapek 2014). Stosunek TN do TP określony dla każdego wykonanego poboru prób umożliwia wskazanie czynnika limitującego produkcję biomasy na wybranym obszarze. Ze stanem równowagi w środowisku wodnym mamy do czynienia, gdy stosunek TN do TP wynosi około 16 : 1. Tym samym, gdy ten stosunek jest większy od 16, czynnikiem limitującym produkcję biomasy jest fosfor, a gdy stosunek ten jest mniejszy od 16, azot staje się czynnikiem limitującym. Mała wartość TN : TP (poniżej 16) stymuluje przyrost biomasy sinic i wzmacnia ich przewagę nad innymi organizmami fitoplanktonowymi, podczas gdy duża wartość TN : TP (powyżej 16) sprzyja rozwojowi innych grup organizmów. Otrzymane wyniki wskazują, że zarówno w zlewni rzeki Regi, jak i Słupi to fosfor ogólny jest czynnikiem ograniczającym produkcję biomasy. Niemal we wszystkich przypadkach obserwowano duże wartości TN : TP (tab. 4, 5, 6, 7). Jedynym wyjątkiem jest doba 2, w cyklu 1 na rzece Słupi, gdzie TN : TP

wyniósł 8,9 (tab. 7). Takie wyniki mogą być efektem charakteru obu zlewni i generalnie całego obszaru przymorza, gdzie rolnictwo stanowi dominującą funkcję gospodarczą (Kopiński i in., 2009; Strategia rozwoju województwa zachodniopomorskiego, 2010). Należy przy tym pamiętać, że analizowane wyniki opracowano tylko dla zawartości azotu ogólnego i fosforu ogólnego, a tym samym obliczając stosunek azotu do fosforu, pod uwagę brano zarówno formy organiczne, jak i nieorganiczne tych pierwiastków, co może czasem powodować błędy w interpretacji wyników związane z różnym zachowaniem się form organicznych i nieorganicznych biogenów w środowisku. W związku z tym otrzymane wyniki stosunku TN do TP i idące za tym wnioski należy traktować jako przybliżony obraz faktycznej sytuacji w analizowanych zlewniach, a kolejnym etapem badań powinna być analiza stężeń samych azotanów i fosforanów (Smith, 1983; Reddy i in., 1999; Rokosz, 2013).

## Wnioski

- Największe wartości stężeń azotu ogólnego wystąpiły w Redze i Słupi w okresie wczesnowiosennym, bezpośrednio po roztopach, z kolei największe wartości stężeń fosforu ogólnego wystąpiły w miesiącach letnich.
- Podczas całego okresu prowadzonych badań obserwowano duże zmienności stężenia fosforu, zarówno dobowe, jak i sezonowe.
- Największe wartości TN : TP zaobserwowano w okresach wczesno-



wiosennych, a najmniejsze w okresie letnim. W 97% przypadków TN : TP był większy niż 16. Taka relacja może sugerować, że to fosfor ogólny był pierwiastkiem limitującym wzrost biomasy w analizowanych profilach Regi i Słupi.

- Wzajemne relacje między TN i TP są ściśle związane ze stężeniami azotu i fosforu w poszczególnych profilach pomiarowych i charakteryzują się zmiennością zarówno w czasie, jak i na długości cieku.
- Istnieje duże prawdopodobieństwo, że na wysokie stężenia azotu ogólnego uzyskane w badaniach mają wpływ głównie sploty powierzchniowe z obszarów użytkowanych rolniczo, które dominują na obydwu zlewniach.
- W kolejnych etapach badań analizie powinny być poddane stężenia azotanów i fosforanów.

## Literatura

- Bogdanowicz, R. (2003). Stan zanieczyszczenia wody związkami azotu w profilach ujściowych rzek Polski w świetle dostosowywania prawa polskiego do dyrektyw Unii Europejskiej. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 10, 326-328.
- Bogdanowicz, R. (2004). *Hydrologiczne uwarunkowania transportu wybranych związków azotu i fosforu Odrą i Wisłą oraz rzekami Przymorza do Bałtyku*. Gdańsk: Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.
- Bogdanowicz, R. (2005). Zanieczyszczenie rzek Przymorza związkami azotu. *Gospodarka Wodna*, 8, 323-328.
- CLC (2012). Corine Land Cover.
- Dodds, W.K. (2003). Misuse of inorganic N and soluble reactive P concentrations to indicate nutrient status of surface waters. *Journal of the North American Benthological Society*, 22(2), 171-181.
- Duarte, C. M., Conley, D. J., Carstensen, J. i Sánchez-Camacho, M. (2009). Return to Neverland: shifting baselines affect eutrophication restoration targets. *Estuaries and Coasts*, 32(1), 29-36.
- Forsberg, C. (1991). Eutrofizacja Morza Bałtyckiego. *Środowisko Morza Bałtyckiego, Eutrophication of the Baltic Sea, Environment of the Baltic Sea*, 3.
- Gębala, J. (2015). *Metoda oceny wpływu antropopresji rolniczej na jakość wód powierzchniowych* (rozprawa doktorska). Warszawa: IMGW.
- Hejduk, L. (2012). Sezonowa zmienność stosunku azotu do fosforu w górnej części zlewni rzeki Zagożdżonki. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 21(1), 27-37.
- IMGW-PIB (2003). Wyznaczanie granic bezpośredniego zagrożenia powodzią w celu uzasadnionego odtworzenia terenów zalewowych.
- Kaznowska, E. i Hejduk, L. (2011). Ocena wybranych charakterystyk ilościowych i jakościowych okresów bezwzembraniowych w rzece Zagożdżonke. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 20(2), 108-118.
- Kopiński, J. i Tujaka, A. (2009). Bilans azotu i fosforu w rolnictwie polskim. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, 9, 103-116.
- KPOŚK (2013). *Krajowy program oczyszczania ścieków komunalnych*. Warszawa.
- Mainstone, C.P. i Parr, W. (2002). Phosphorus in rivers – ecology and management. *Science of the Total Environment*, 282, 25-47.
- McGroddy, M.E., Daufresne, T. i Hedin, L.O. (2004). Scaling of C : N : P stoichiometry in forests worldwide: Implications of terrestrial redfield-type ratios. *Ecology*, 85(9), 2390-2401.
- MPHP (2010). *Mapa podziału hydrograficznego Polski w skali 1: 10000*. Warszawa: IMGW.
- Ostojski, M., Wilk, P., Gębala, J. i Orlinska-Wozniak, P. (2015). Godzinowa zmienność stężeń fosforu ogólnego na przykładzie zlewni rzeki Słupi. *Polish Journal of Agronomy*, 22, 33-41.
- Piętka, I. (2009). Wieloletnia zmienność wiosennego odpływu rzek polskich. *Prace i Studia Geograficzne*, 43, 81-95.

- PN-EN ISO 5667-3:2013-05. *Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 3: Wytyczne dotyczące utrwalania i postępowania z próbkami wody.*
- PN-ISO 5667-5:2003. *Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 5: Wytyczne dotyczące pobierania próbek wody do picia i wody używanej do produkcji żywności i napojów.*
- Reddy, K.R., O'Connor, G.A. i Schelske, C.L. (1999). Symposium overview and synthesis. W: *Phosphorus Biogeochemistry in Subtropical Ecosystems* (s. 3–11). Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Redfield, A.C. (1963). The influence of organisms on the composition of sea-water. *The Sea*, 26-77.
- Rokosz, R. (2013). Stan troficzny zbiornika zaporowego Rzeszów. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, 60(3), 279-291.
- Sapek, B. (2014). Nagromadzanie i uwalnianie fosforu w glebach – źródła, procesy, przyczyny. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, 14, 1(45), 77-100.
- Smith, V.H. (1983). Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science (Washington)*, 221(4611), 669-671.
- Stachý, J. (1980). Odpływy rzek Przymorza na tle odpływu z terenu całej Polski. W: *Stosunki wodne w zlewniach rzek Przymorza i dorzecza Dolnej Wisły ze szczególnym uwzględnieniem gospodarki wodnej jeziora*. Sesja naukowo-techniczna. Słupsk: IMGW.
- Starostwo Powiatowe w Gryficach (2009). *Program ochrony środowiska dla powiatu gryfickiego na lata 2009–2011 z uwzględnieniem lat 2012–2015*.
- Strategia rozwoju województwa zachodniopomorskiego do roku 2020*. (2010).
- Wilk, P. (2015). *Metoda obliczania chłonności rzeki jako narzędzie do oceny stanu fizykochemicznego powierzchniowych wód płynących* (rozprawa doktorska). Warszawa: IMGW.
- Wilk, P., Gębała, J., Orlińska-Woźniak, P. i Ostoj-ski, M. (2016). The importance of hourly nutrient concentration variability in terms of assessment of the surface water state in Słupia Pilot River. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*, 4(1), 13-24.
- WIOŚ Szczecin (2011). *Raport o stanie środowiska w województwie zachodniopomorskim w latach 2008–2009*. Cz. VI.
- Vierssen, W. (2007). *Ocena wyznaczonych w Polsce stref wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu*. Kontrakt 2006/441164/MAR/B1 Wdrażanie Dyrektywy Azotanowej (91/676/EWG). Zadanie 3, Alterra. Nauki Przyrodnicze. Uniwersytet i Ośrodek Badawczy Wageningen.

## Streszczenie

**Zmienność stosunku stężeń azotu i fosforu dla wybranych zlewni rzek przy-morza.** Wciąż aktualny problem nadmiernej eutrofizacji wód powierzchniowych, w tym Morza Bałtyckiego, sprawia, że istotne staje się nie tylko określenie samych stężeń związków biogennych w wybranych profilach rzecznych, ale również próba odpowiedzi na pytanie, który z pierwiastków jest czynnikiem limitującym wzrost biomasy. Produkcja biologiczna w wodach powierzchniowych jest zależna od wielu czynników, w tym od wzajemnych stosunków między azotem i fosforem w czasie fotosyntezy. Badania, których wyniki zaprezentowano w artykule, prowadzono w latach 2012–2014 na dwóch zlewniach rzek przy-morza, Redze i Słupi, w trzech cyklach w ciągu roku obejmujących okres wegetacji roślin, okres po usunięciu roślin uprawnych z pól oraz okres wczesnowiosenny bezpośrednio po roztopach. Na podstawie otrzymanych wyników przeanalizowano zmienności dobowe i sezonowe stężeń związków biogennych oraz określono, który z pierwiastków limituje przyrost biomasy na wybranych zlewniach, korzystając z zależności, jaka występuje między azotem i fosforem w wodach powierzchniowych, zwanej stosunkiem Redfielda.

## Summary

**Variability of nitrogen to phosphorus concentration ratio on the example of selected coastal river basin.** Due to the ever present problem of excessive eutrophication of both surface waters and their main receiver, i.e. Baltic Sea, it becomes important to determine not only the concentration of nutrients in selected river profiles, but also an attempt to answer the question of which of the elements is a factor limiting the growth of biomass. Biological production in surface area is dependent on a number of factors including the relations between the nitrogen and phosphorus during photosynthesis. The study, whose results were presented in the article, was conducted in 2012–2014 on two littoral river basins, Rega and Słupia, in three cycles throughout the year including both ve-

getation period, the period after the removal of crops from the fields and the period of early spring, immediately after the thaw snow. On the basis of the results were analyzed variability of daily and seasonal concentrations of biogenic compounds and on the basis determined which of the elements limits the increase in biomass in selected catchments using the dependence that exists between the nitrogen and phosphorus in surface waters called Redfield ratio.

### Authors' address:

Paweł Wilk, Paulina Orlińska-Woźniak,  
Joanna Gębała  
IMGW-PIB  
Sekcja Modelowania Jakości Wód  
Powierzchniowych  
ul. Podleśna 61, 01-673 Warszawa, Poland  
e-mail: pawel.wilk@imgw.pl