

Ewa WOJCIECHOWSKA, Karolina MATEJ-ŁUKOWICZ, Nicole NAWROT,
Magdalena GAJEWSKA, Hanna OBARSKA-PEMPKOWIAK

Politechnika Gdańska

WSTĘPNA OCENA WIELKOŚCI STĘŻEŃ ZWIĄZKÓW AZOTU I FOSFORU ODPROWADZANYCH Z WODAMI POWIERZCHNIOWYMI DO ZATOKI PUCKIEJ Z TERENU GMINY PUCK

PRELIMINARY EVALUATION OF THE CONCENTRATIONS OF NITROGEN AND
PHOSPHORUS COMPOUNDS TRANSPORTED TO THE BAY OF PUCK FROM THE
TERRITORY OF THE COMMUNITY OF PUCK

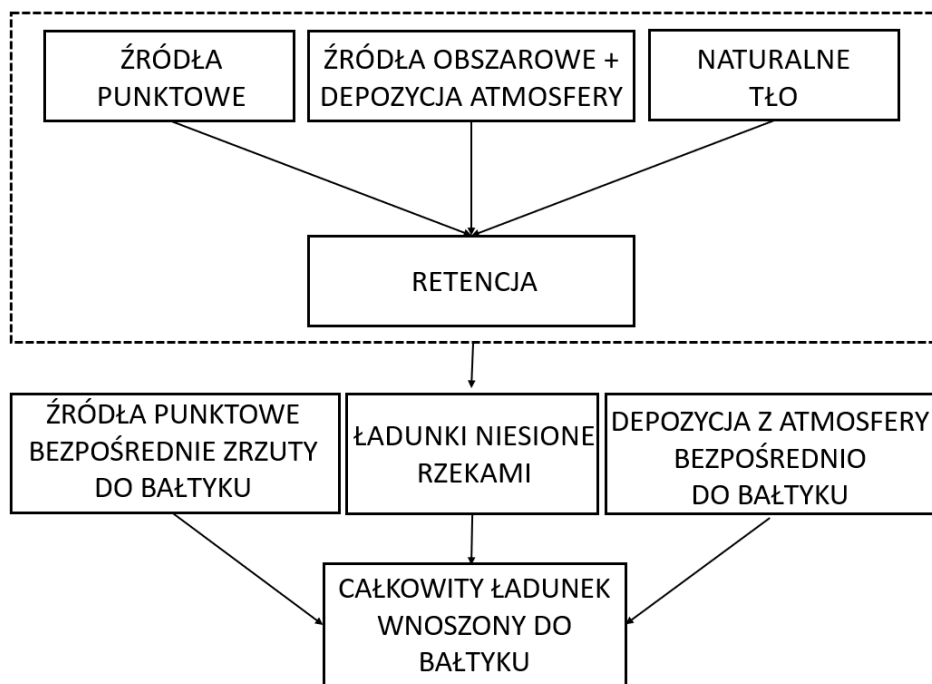
The fertilizers used in agriculture negatively affect the surface and groundwater quality. The Bay of Puck is a semi-closed part of the Gulf of Gdańsk, which is particularly vulnerable to eutrophication caused by the inflow of nutrient substances. The Bay is surrounded by the lands intensively used in agriculture. Also a number of touristic resorts is located on its coast. The streams and rivers carry the load of nitrogen and phosphorus to the sea. Within the project WaterPuck, financed by the National Centre of Research and Development in Poland (NCBiR), the quality of rivers and streams flowing through the territory of the Puck Community and discharging to the Bay of Puck is being researched. The quality of seven streams: Reda, Kanał Łyski, Kanał Mrzezino, Gizdepka, Potok Błądzikowski, Płutnica and Kanał Młyński is investigated. The researched was started in July 2017. The samples of water are collected every 3-4 weeks at sampling points located close to the streams estuaries. The concentrations of nitrogen species (ammonia, nitrate III and nitrate V) as well as total phosphorus and phosphates are measured. The regular monitoring of streams quality make it possible to assess the seasonal changes of nutrients concentrations as well as their spatial distribution. This will provide the basis for tracking the relationships between the land use and agricultural practices and the load of nutrients discharged to Bay of Puck from non-point sources of pollution. The preliminary results indicate quite significant seasonal variations of pollutants concentrations, probably associated to the time schedule of agricultural practices. The highest concentrations of nutrients were present in sampling points located on Błądzikowski Potok, Kanał Mrzezino as well as Gizdepka – all flowing through arable lands. Concentrations of nitrates V in Błądzikowski Stream varied from 2,27 to 7,55 mg NO₃/dm³, while the concentrations of total phosphorus - from 0,24 to 0,45 mg P/dm³. The next part of the research project is going to focus on

identification of areas contributing to the streams pollution. The changes of nutrients concentrations during intensive rainfalls will be evaluated. The results will provide the basis for modelling of nutrient transport with surface waters in the Puck Community.

1. Wprowadzenie

Niemal całe terytorium Polski (98% powierzchni) znajduje się w zlewni Morza Bałtyckiego. Oznacza to, że zanieczyszczenia powstające w zlewniach po pewnym czasie docierają do Bałtyku. Ze względu na swe nietypowe cechy, Morze Bałtyckie jest akwenem wyjątkowo podatnym na eutrofizację spowodowaną dopływem związków azotu i fosforu. Do cech tych należą śródlądowe położenie, niewielka głębokość (średnio 53 m), utrudniony dopływ wód oceanicznych oraz znaczny dopływ wód rzecznych i opadowych, wreszcie duża liczba mieszkańców na terenie zlewni. Szacuje się, że czas całkowitej wymiany wód przez cieśniny duńskie wynosi około 25 – 30 lat. W ciągu roku przedostaje się do Bałtyku przeciętnie 400 km^3 wód oceanicznych, a zatem ulega wymianie zaledwie 4 % całej jego objętości. Oznacza to, że zanieczyszczenia wprowadzane do Morza przebywają w nim przez lata, szczególnie jeśli nastąpi ich sedimentacja do osadów dennych. Obszar drenowania (zlewisko) Morza Bałtyckiego ma ponad 1700000 km^2 powierzchni i jest czterokrotnie większy od powierzchni samego morza (415266 km^2). Zlewnia Morza Bałtyckiego obejmuje dziewięć wysoko uprzemysłowionych państw, do których należą Dania, Estonia, Finlandia, Litwa, Łotwa, Niemcy, Polska, Rosja, Niemcy. Jednak rozpatrując stan zanieczyszczenia wód Morza Bałtyckiego często rozpatruje się całe jego zlewisko, a więc teren o powierzchni 1,73 mln km^2 , należący do 14 państw – dodatkowo są to Białoruś, Ukraina, Czechy, Słowacja i Norwegia.

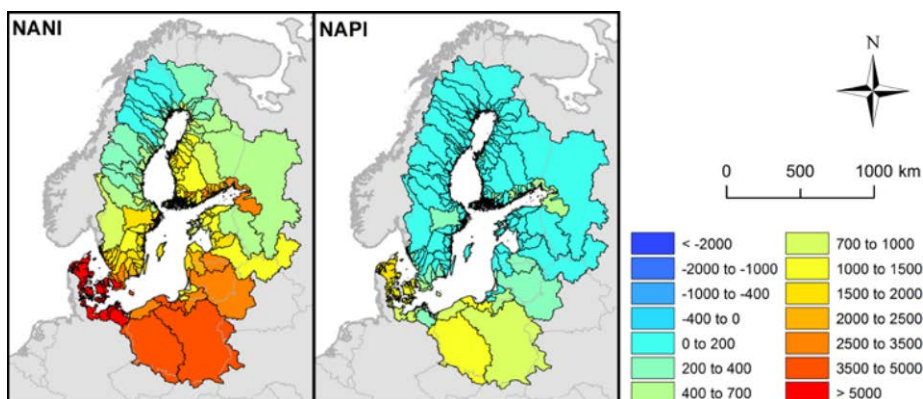
Obciążenie powierzchniowe związkami azotu i fosforu dopływającymi do Morza Bałtyckiego, liczone w $[\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}]$, znacząco wzrosło w ostatnich dziesięcioleciach. Obciążenie azotem wzrosło pod koniec XX wieku 1,5 – 4,5 krotnie w porównaniu do okresu, gdy wpływ człowieka był pomijalnie mały. W przypadku fosforu w tym samym okresie referencyjnym, nastąpił 2,0 – 6,0 krotny wzrost obciążenia powierzchniowego [2]. Głównymi źródłami związków azotu są dopływy rzeczne, szczególnie w południowej i południowo-wschodniej części Morza. Drugie, pod względem wielkości, źródło związków azotu stanowią opady atmosferyczne [1, 3, 11] (Rys. 1). Największe rzeki wpadające do Morza Bałtyckiego to: Dźwina, Newa, Pregoła, Niemen, Odra, Wisła, Pastęka, Radunia, Reda, Łeba, Słupia, Wieprza, Parsęta, Rega, Peene, Warnow, Trave. Z całej zlewni do Morza Bałtyckiego dopływa $17698 \text{ m}^3/\text{s}$ wody, z tego $2880 \text{ m}^3/\text{s}$ z terenu Polski przez Wisłę, Odrę oraz 43 rzeki i potoki pobraża bałtyckiego. Całkowity ładunek azotu odprowadzany do Bałtyku to 976941 ton/rok (301565 t/rok, tj. ok. 30 % z obszaru Polski), a fosforu 38255 t/rok (14 845 t/rok, tj. ok. 39 % z Polski) [15].



Rys. 1. Źródła związków biogenych w zlewni Morza Bałtyckiego.

Fig. 1. The sources of nutrients in the Baltic Sea catchment

Wartości powierzchniowego ładunku zanieczyszczeń (określanego, jak iloraz ładunku zanieczyszczeń na jednostkę powierzchni) pochodzącego z działalności człowieka według Hong i in. [5] przedstawiono na Rys.2. Wartości wskaźników NANI – Net Anthropogenic Nitrogen Input (suma ładunku azotu pochodzącego z depozycji atmosferycznej, nawozów, rolnictwa, żywności i pasz) oraz NAPI - Net Anthropogenic Phosphorus Input (suma fosforu z nawozów, żywności i pasz oraz fosforu niezwiązanego z żywności, np. w detergentach) są miarą odpowiednio antropogenicznego źródła azotu i fosforu. Są to wskaźniki powierzchniowe wyrażane w $\text{kg}/(\text{km}^2 \cdot \text{rok})$.



Rys. 2. Powierzchniowe ładunki zanieczyszczenia pochodzące z działalności antropogenicznej $\text{kg}/(\text{km}^2 \cdot \text{rok})$ azotem (po lewej – NANI) i fosforem (po prawej – NAPI) ze zlewni Morza Bałtyckiego [5].

Fig. 2. The surface loads of anthropogenic pollutants $\text{kg}/(\text{km}^2 \cdot \text{rok})$ nitrogen (left – NANI) and phosphorus (right – NAPI) in the Baltic Sea catchment [5].

Polska jest krajem regionu bałtyckiego odprowadzającym największy łączny ładunek związków biogenych. Z kolei, jeśli wziąć pod uwagę ładunek przeliczony na mieszkańca, zarówno pod względem fosforu jak i azotu Polska zajmuje dopiero piąte miejsce wśród państw zlewni Morza Bałtyckiego [5] (Rys. 2).

Wzmożony dopływ substancji odżywczych z terenu zlewni i niewielka wymiana wody powodują, że Bałtyk ulega eutrofizacji – następuje intensywny rozwój fitoplanktonu trwający od wczesnej wiosny do późnej jesieni. Konsekwencje tych zjawisk to deficyty tlenu w warstwie przydennej, zwiększenie stężenia chlorofilu, zmniejszona głębokość penetracji promieniowania słonecznego oraz wzrost produkcji pierwotnej.

Źródła związków biogenych odprowadzanych do Morza Bałtyckiego można podzielić na punktowe (np. ścieki odprowadzane przez zakłady przemysłowe oraz odpływy z oczyszczalni ścieków komunalnych) oraz obszarowe (inaczej nazywane rozproszonymi). O ile w przypadku źródeł punktowych możliwa jest dość dokładna lokalizacja oraz kontrola, to w przypadku źródeł obszarowych, takich jak spływy z pól uprawnych, terenów zurbanizowanych, ulic i dróg szybkiego ruchu czy też depozycja atmosferyczna, zadanie jest o wiele bardziej skomplikowane, głównie z powodu skomplikowanych zależności dotyczących opadów atmosferycznych, charakterystyk zlewni oraz wypłukiwania zanieczyszczeń [9, 14]. Zanieczyszczenia z terenu zlewni trafiają do wód powierzchniowych i wraz z wodami cieków odprowadzane są do Morza.

Jakość wód powierzchniowych jest bez wątpienia zależna od sposobu użytkowania terenu. Jednak z uwagi na dużą liczbę parametrów do oszacowania, ich zmienność czasową i przestrzenną oraz złożoność procesów wypłukiwania, transportu i transformacji zanieczyszczeń, faktyczne zależności dla konkretnej zlewni są bardzo złożone. Czynniki silnie oddziałujące na jakość wód zarówno powierzchniowych jak i podziemnych to w szczególności rodzaj roślinności, rodzaj gruntu, intensywność użytkowania gruntów oraz rozmieszczenie osiedli [16]. Dotychczasowe badania zależności pomiędzy jakością wód a sposobem użytkowania terenu wykazały m.in., że stężenia azotanów w klimacie wilgotnym są silnie związane z gruntami ornymi [12]. Według Kersebauma i in. [7] udział rolnictwa w zanieczyszczeniu obszarowym odprowadzanym do wód powierzchniowych w krajach Unii Europejskiej wynosi około 55 %. Niewłaściwe praktyki rolne mogą w sposób istotny przyczynić się do zwiększenia ładunku substancji biogenych odprowadzanych do wód powierzchniowych [10, 17]. Z kolei na przykład obecność buforowych stref roślinności wzdłuż brzegów cieków znacznie ogranicza dopływający ładunek zanieczyszczeń obszarowych [8, 13].



Rys. 3. Położenie Zatoki Puckiej [6].

Fig. 3. Location of the Bay of Puck [6]

Akwenem szczególnie wrażliwym na dopływ biogenów i zagrożonym eutrofizacją jest Zatoka Pucka, stanowiąca zachodnią część Zatoki Gdańskiej (Rys. 3). Zatoka Pucka oddzielona jest od Zatoki Gdańskiej podwodnym piaszczystym wałem Mielizny Rybitwiej. Powierzchnia Zatoki Puckiej wynosi 356 km², a maksymalna głębokość to 55 m. Jest to naj płytsza część Zatoki Gdańskiej. Okoliczność ta w połączeniu ze śródlądowym położeniem powoduje szczególną podatność wód Zatoki Puckiej na zanieczyszczenie oraz eutrofizację. Tereny położone nad Zatoką są intensywnie użytkowane rolniczo oraz turystycznie. Rzeki i potoki dopływające do Zatoki Puckiej transportują związki azotu i fosforu spływające z pól. W ramach projektu WaterPuck dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, systematycznie badana jest jakość siedmiu cieków dopływających do Zatoki Puckiej, do których należą rzeka Reda, Kanał Łyski, Kanał Mrzezino, Gizdepka, Potok Bładzikowski oraz rzeka Płutnica wraz z dopływem – Kanałem Młyńskim. Badania rozpoczęto w lipcu 2017 i prowadzone są na terenie Gminy Puck. Próbkę wody pobierano w 3 – 4 tygodniowych odstępach czasu w kilku punktach pomiarowych zlokalizowanych w odcinkach ujściowych cieków. W pobranych próbkach wody oznaczano stężenia związków azotu (azot amonowy, azotany III i azotany V) oraz fosforu (ortofosforany, fosfor ogólny). Celem pracy była ocena wielkości ładunków zanieczyszczeń odprowadzanych do Zatoki Puckiej z terenu Gminy Puck przez poszczególne ciekę w kolejnych porach roku.

2. Metodyka badań

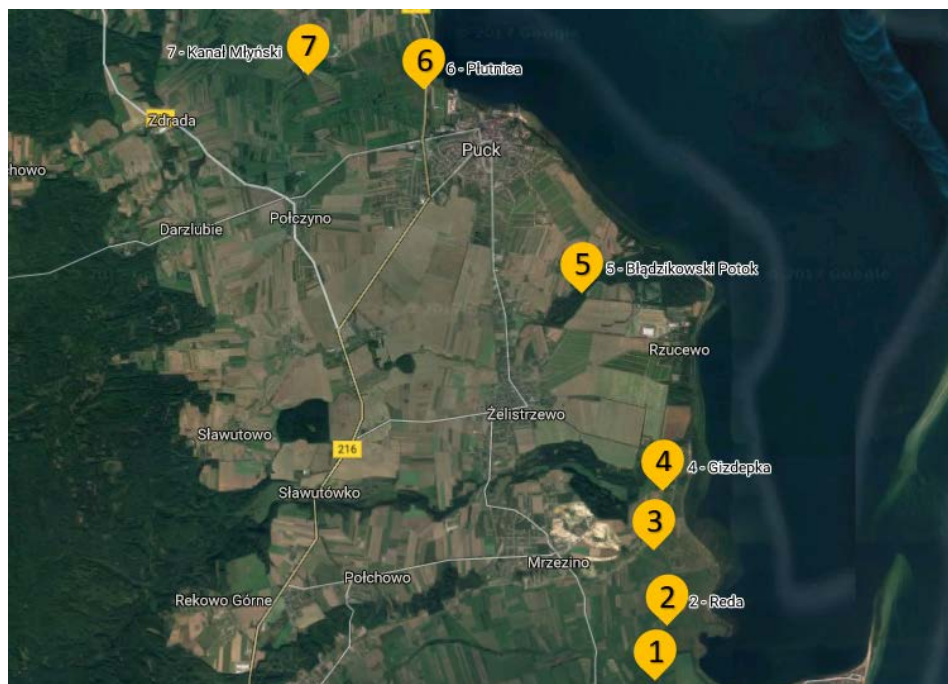
2.1. Lokalizacja punktów poboru próbek wód powierzchniowych

Lokalizacja punktów poboru próbek została wykonana na podstawie analizy map topograficznych i zagospodarowania terenu oraz szczegółowych wizji terenowych, które odbyły się w pierwszej połowie lipca 2018 r. Podczas lokalizacji punktów brano pod

uwagę ich reprezentatywność dla analizowanej zlewni, łatwość dostępu, możliwość dojazdu (również w okresie jesienno-zimowym), możliwość instalacji przepływomierzy. W rezultacie zlokalizowano wstępnie 7 punktów stałego monitoringu, które w okresie marzec-wrzesień mogą zostać uzupełnione o dodatkowe punkty, pozwalające uzyskać pełniejsze dane dotyczące zmienności stężeń analizowanych zanieczyszczeń.

Poniżej zamieszczono szczegółowy opis punktów poboru próbek, natomiast lokalizację punktów przedstawiono na Rys.4:

- Kanał Łyski (54.63505N, 18.45612E), ciek uchodzący do rzeki Reda w miejscowości Reda i stanowiący wraz z Kanałem Mrzezino kanał ulgi dla rzeki Reda. Jego zadaniem jest odprowadzenie wody z torfowisk pradolinowych i nawodnienie pól rolniczych. Punkt poboru próbek zlokalizowany jest około 1 km od ujścia cieku do Zatoki Puckiej, na granicy Rezerwatu Przyrody „Beka”, w miejscu gdzie koryto jest szerokie, a brzegi porośnięte roślinnością trawiastą.
- Reda (54.64303N, 18.45959E) – największa rzeka znajdująca się częściowo w Gminie Puck. Powierzchnia całej zlewni to 485,5 km², a długość cieku to 45 km. Średnie roczne natężenie przepływu w granicach 4,44 – 5,71 m³/s. Punkt poboru próbek znajduje się około 1,1 km od ujścia rzeki do Zatoki Puckiej w Rezerwacie Przyrody „Beka”. W tym miejscu koryto szerokie o brzegach porośniętych roślinnością trawiastą.
- Kanał Mrzezino (54.65496N, 18.45544E) Podobnie jak Kanał Łyski, stanowi kanał ulgi dla rzeki Reda, który odwadnia torfowiska i nawadnia pola uprawne. Natężenie przepływu dla tego kanału jest większe niż dla Kanału Łyskiego. Punkt poboru próbek zlokalizowany jest około 0,75 km od ujścia do Zatoki Puckiej. W miejscu poboru próbki gromadzi się rzęsa wodna. Koryto porośnięte roślinnością trawiastą.
- Gizdepka (54.66441N, 18.45897E) – ciek o powierzchni zlewni równej 37,2 km². Średnie roczne natężenie przepływu w granicach 0,16 – 0,19 m³/s. Punkt poboru próbek znajduje się około 0,60 km od ujścia do Zatoki Puckiej. Koryto w tym miejscu wąskie i porośnięte roślinnością trawiastą.
- Potok Błądzikowski (54.69582N, 18.43652E) – ciek o powierzchni zlewni równej 23,0 km². Średnie roczne natężenie przepływu około 0,04 m³/s. W miejscu poboru próbek koryto silnie zarośnięte, wąskie. Punkt poboru próbek znajduje się około 1,50 km od ujścia do Zatoki Puckiej.
- Płutnica (54.72772N, 18.3931E) – ciek o powierzchni zlewni równej 84,0 km² i długości 9,0 km. Średnie roczne natężenie przepływu w granicach 0,45 – 0,70 m³/s. Punkt poboru próbek znajduje się około 0,45 km od ujścia do Zatoki Puckiej, bezpośrednio za mostem przy drodze nr 216. Koryto w tym miejscu rozszerza się i porośnięte jest roślinnością krzewistą i trawiastą.
- Kanał Młyński (54.72911N, 18.35889E) – prawy dopływ rzeki Płutnicy zlokalizowany ok. 2,75 km od ujścia do Zatoki Puckiej. Punkt poboru próbek znajduje się około 60 m od ujścia do Płutnicy. Kanał w tym miejscu wąski, silnie porośnięty roślinnością trawiastą



Rys.4. Lokalizacja punktów poboru próbek wód powierzchniowych w Gminie Puck
 Fig. 4. Location of sampling points at Municipality of Puck

2.2. Metodyka poboru próbek oraz wykonywanych oznaczeń

Próbki pobierano w okresie VII-XII 2017 r. z siedmiu cieków w Gminie Puck. Łącznie pobrano 42 próbki, które w warunkach chłodniczych transportowano w butelkach z tworzywa sztucznego do laboratorium Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej, gdzie przeprowadzono analizy. Probki pobierano ze środkowego strumienia, wykorzystując w tym celu czerpak. W pobranych próbkach wykonano analizy związków azotu: azotany (III) i azotany (V) oraz azot amonowy oraz fosforu w postaci ortofosforanów i fosforu ogólnego. Badania wykonano z wykorzystaniem testów kuwetowych Hach Lange, bezpośrednio po dostarczeniu próbek do laboratorium. Wszystkie oznaczenia powtórzono trzykrotnie, a końcowy wynik jest średnią arytmetyczną. Stężenie azotanów (III) oznaczono spektrofotometrycznie metodą diazowania, zgodnie z Normą EN ISO 26777. W kwaśnym roztworze azotyny reagują z pierwszorzędowymi aminami aromatycznymi, tworząc sole dwaazoniowe. Sole te tworzą z kolei ze związkami aromatycznymi, zawierającymi grupę aminową lub hydroksylową - barwniki azowe o intensywnej barwie, która stanowi podstawę do spektrofotometrycznego oznaczenia azotanów (III). Oznaczenie azotanów (V) wykonano spektrofotometrycznie metodą 2.6-dimetylofenolową, zgodnie z Normą EN 38405 D-2. Jony azotanowe reagują w roztworze kwasu siarkowego tworząc kwas azotanowy. Następnie po dodaniu kwasu fosforowego z 2.6-dwumetylofenolem, tworzą 4-nitro-2.6-dwumetylofenol, który oznaczany jest fotometrycznie. Stężenie azotu amonowego oznaczono spektrofotometrycznie metodą błękitu indofenolowego, zgodnie z normami

ISO 7150-1, DIN 38406 E5-1, UNI 11669:2017. Jony amonowe reagują w pH 12.6 z jonami podchlorynowymi oraz jonami salicylowymi w obecności nitroprusydku sodowego jako katalizatora, tworząc błękit indofenolowy. Oznaczenie ortofosforanów i fosforu ogólnego wykonano metodą błękitu fosforomolibdenowego, zgodnie z normami ISO 6878-1-1986, DIN 38405 D11-4. Jony ortofosforanowe tworzą z molibdenianem amonu w kwaśnym środowisku kwas molibdenofosforanowy o żółtym zabarwieniu. W wyniku redukcji tego kwasu powstaje błękit fosforomolibdenowy, który oznaczany jest fotometrycznie. W celu oznaczenia fosforu ogólnego próbki dodatkowo poddaje się mineralizacji, w celu przekształcenia wszystkich połączeń fosforu w ortofosforany.

3. Wyniki i dyskusja

Stężenia analizowanych związków biogenych w próbkach wód powierzchniowych pobranych w punktach pomiarowych zlokalizowanych na ciekach Gminy Puck przedstawiono w Tabeli 1 oraz na Rys 5 – 9 . Na Rys. 5 – 9 pokazano również wartości I i II klasy czystości cieków według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2016 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. 2016 poz. 1187).

Tabela 1. Stężenia związków biogenych oraz ChZT w analizowanych punktach pomiarowych na terenie Gminy Puck

Table 1. Concentration of nutrients and COD in analyzed measurement points at Municipality of Puck

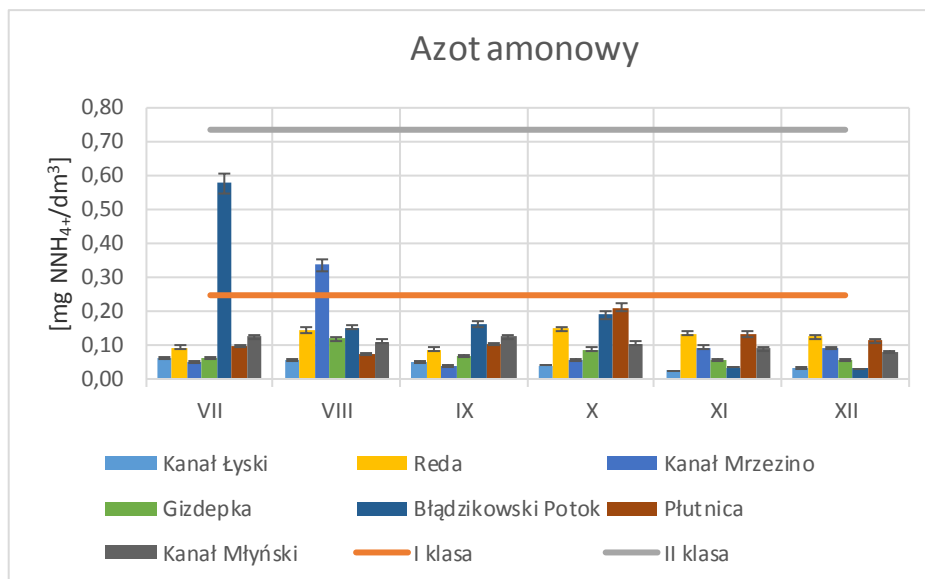
Wskaźnik zanieczyszczeń	Azotany (III)					
	[mg NO ₂ /dm ³]					
Miesiąc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I klasa	0.01					
II klasa	0.03					
Kanał Łyski	0.04	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01
Reda	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
Kanał Mrzezino	0.02	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01
Gizdepka	0.03	0.04	0.05	0.05	0.02	0.02
Błądzikowski Potok	0.13	0.04	0.08	0.05	0.02	0.01
Płutnica	0.01	0.02	0.05	0.01	0.01	0.01
Kanał Młyński	0.06	0.04	0.06	0.03	0.01	0.01
Wskaźnik zanieczyszczeń	Azotany (V)					
	[mg NO ₃ /dm ³]					
Miesiąc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I klasa	2.20					
II klasa	3.40					

Kanał Łyski	1.08	1.17	1.43	1.21	1.02	1.01
Reda	0.88	0.95	1.46	0.48	0.41	0.38
Kanał Mrzezino	0.91	1.22	1.96	1.70	0.98	0.79
Gizdepka	0.67	1.07	2.88	1.44	0.58	0.49
Błądzikowski Potok	2.27	3.82	7.55	1.28	0.89	0.77
Płutnica	0.40	0.76	2.37	1.75	0.87	0.84
Kanał Młyński	1.23	1.26	3.38	2.50	1.80	1.40
Wskaźnik zanieczyszczeń	Azot amonowy					
	[mg NNH_{4+} /dm ³]					
Miesiąc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I klasa	0.25					
II klasa	0.74					
Kanał Łyski	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
Reda	0.09	0.14	0.09	0.15	0.14	0.13
Kanał Mrzezino	0.05	0.34	0.04	0.06	0.09	0.09
Gizdepka	0.06	0.12	0.07	0.09	0.06	0.06
Błądzikowski Potok	0.58	0.15	0.16	0.19	0.04	0.03
Płutnica	0.10	0.07	0.10	0.21	0.13	0.11
Kanał Młyński	0.13	0.11	0.13	0.10	0.09	0.08
Wskaźnik zanieczyszczeń	Ortofosforany					
	[mg PO_4^{3-} /dm ³]					
Miesiąc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I klasa	0.07					
II klasa	0.10					
Kanał Łyski	0.08	0.11	0.08	0.06	0.03	0.03
Reda	0.08	1.16	0.08	0.06	0.05	0.03
Kanał Mrzezino	0.04	0.50	0.06	0.04	0.03	0.02
Gizdepka	0.15	0.90	0.17	0.17	0.15	0.11
Błądzikowski Potok	0.20	1.89	0.18	0.19	0.11	0.10
Płutnica	0.15	0.25	0.15	0.06	0.05	0.04
Kanał Młyński	0.16	1.51	0.14	0.10	0.06	0.07
Wskaźnik zanieczyszczeń	Fosfor ogólny					
	[mg P/dm ³]					
Miesiąc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I klasa	0.20					
II klasa	0.30					
Kanał Łyski	0.14	0.11	0.12	0.17	0.16	0.14

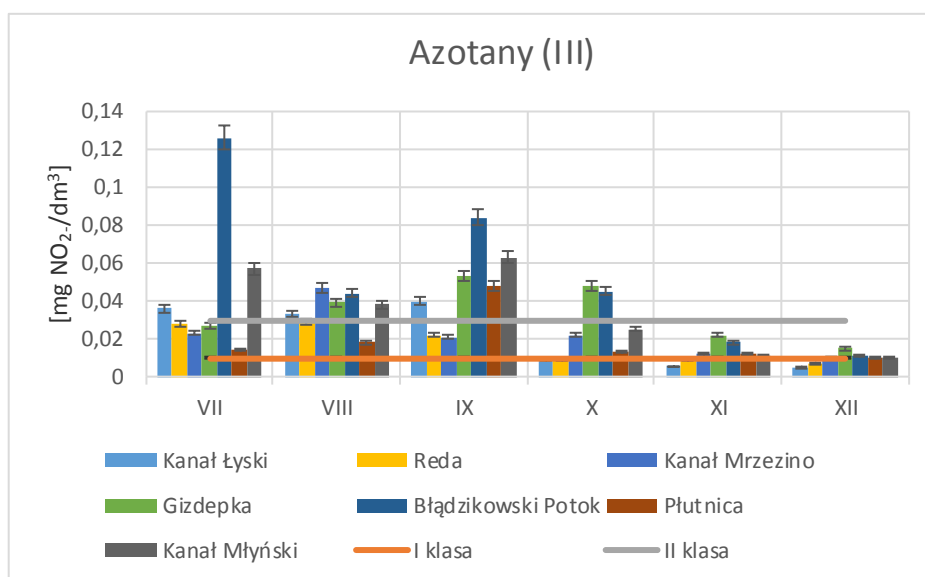
Reda	0.13	0.24	0.12	0.16	0.14	0.14
Kanał Mrzezino	0.08	0.07	0.09	0.07	0.05	0.04
Gizdepka	0.22	0.19	0.21	0.13	0.19	0.12
Bładzikowski Potok	0.39	0.45	0.24	0.11	0.18	0.17
Płutnica	0.18	0.20	0.21	0.18	0.14	0.12
Kanał Młyński	0.19	0.23	0.20	0.16	0.13	0.11

Stężenia związków biogenych w analizowanych ciekach podlegają wyraźnym zmianom sezonowym. Najwyższe stężenia zanieczyszczeń stwierdzono w miesiącu wrześniu, co było najprawdopodobniej spowodowane prowadzonymi w tym okresie pracami rolnymi, które polegały na nawożeniu gruntów ornych pod uprawę zbóż ozimych. Spowodowało to wyraźny wzrost stężeń azotanów (V) widoczny przede wszystkim w punktach pomiarowych zlokalizowanych na Potoku Bładzikowskim i Kanale Młyńskim, jak również na Gizdepcie. Z kolei w próbkach wód powierzchniowych pobranych w drugiej połowie sierpnia odnotowano podwyższone stężenia ortofosforanów oraz fosforu ogólnego (Rys. 8 – 9). Stężenia ortofosforanów we wszystkich analizowanych ciekach wyraźnie przekroczyły wartości odpowiadające II klasie czystości ($0,1 \text{ mg PO}_4^{3-} / \text{dm}^3$). Największe przekroczenia dotyczyły Redy, Kanału Młyńskiego oraz Kanału Mrzezino. Natomiast stężenia fosforu ogólnego przekraczały wartości odpowiadające II klasie czystości w przypadku Potoku Bładzikowskiego, zaś w przypadku Redy oraz Kanału Młyńskiego przekraczały dopuszczalną wartość dla I klasy czystości. Wysokie stężenia ortofosforanów zmierzone w sierpniu odpowiadały pod względem czasowym okresowi po zakończeniu żniw. W tym czasie, po zebraniu upraw, odsłonięta zostaje powierzchnia gruntu, co sprzyja wzmożonej erozji i wypłukiwaniu związków fosforu z gleby. Deszczowe lato 2017, w szczególności intensywne opady w drugiej połowie sierpnia, dodatkowo sprzyjały wypłukiwaniu składników nawozowych z gleby.

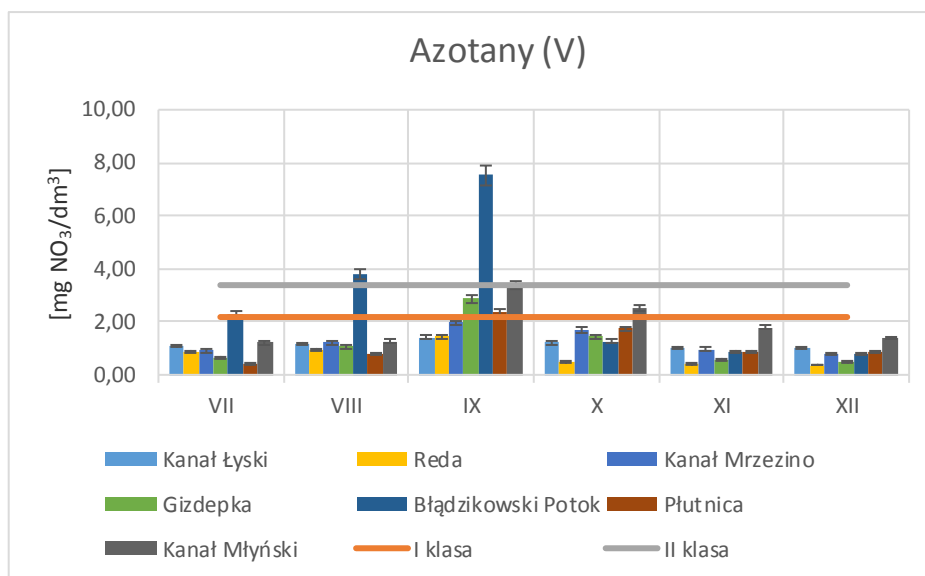
Najniższe stężenia analizowanych biogenów odnotowano w grudniu, w okresie po zakończeniu prac rolnych. Stężenia związków biogenych w kolejnych miesiącach wskazują wyraźnie na występowanie zależności sezonowych, wynikających z kalendarza prac rolnych, nawożenia gruntu, żniw i pozostałych praktyk rolniczych.



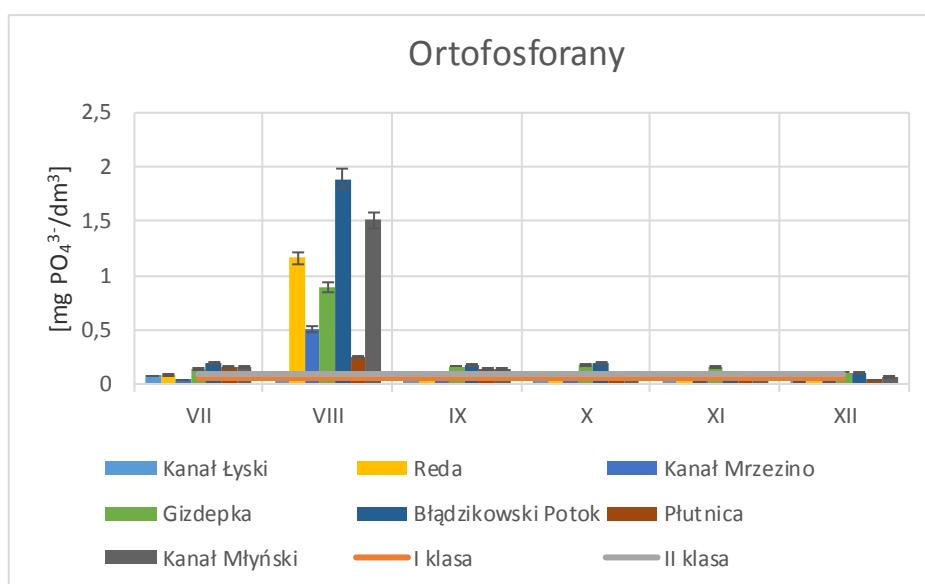
Rys. 5. Stężenia azotu amonowego w analizowanych ciekach w okresie VII – XII 2017.
 Fig. 5. Concentrations of ammonia nitrogen in the analyzed streams in the period VII – XII 2017.



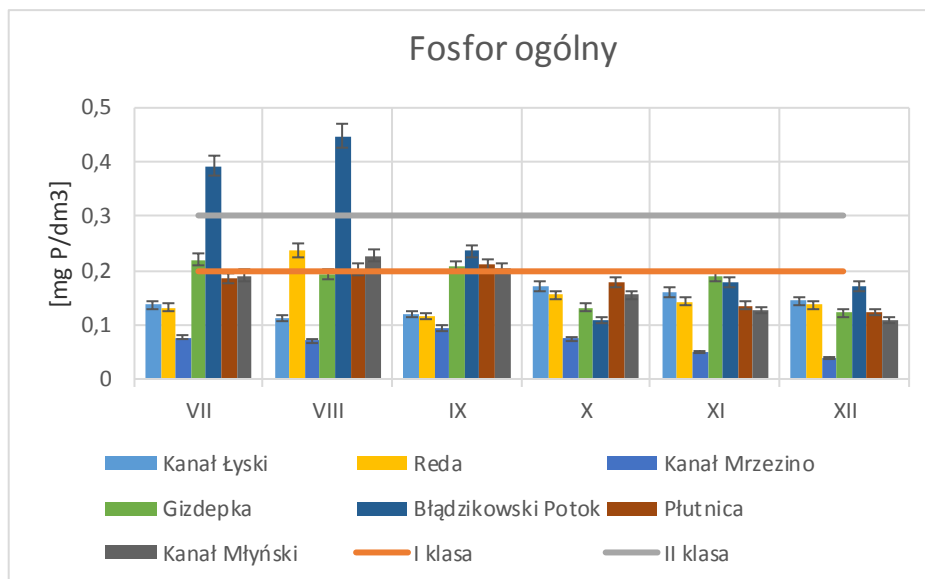
Rys. 6. Stężenia azotanów (III) w analizowanych ciekach w okresie VII – XII 2017.
 Fig. 6. Concentrations of nitrates (III) in the analyzed streams in the period VII – XII 2017.



Rys. 7. Stężenia azotanów (V) w analizowanych ciekach w okresie VII – XII 2017.
 Fig. 7. Concentrations of nitrates (V) in the analyzed streams in the period VII –XII 2017.



Rys. 8. Stężenia ortofosforanów w analizowanych ciekach w okresie VII – XII 2017.
 Fig. 6. Concentrations of phosphates in the analyzed streams in the period VII –XII 2017.



Rys. 9. Stężenia fosforu ogólnego w analizowanych ciekach w okresie VII – XII 2017.

Fig. 6. Concentrations of total phosphorus in the analyzed streams in the period VII –XII 2017.

W niektórych spośród analizowanych cieków nie stwierdzono lub stwierdzono jedynie sporadycznie przekroczenia I i II klasy czystości według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2016 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. Punkty, w których w całym okresie pomiarowym stwierdzano najniższe stężenia analizowanych związków zlokalizowane były na Kanale Łyskim oraz rzece Redzie, na odcinkach, gdzie oba ciekі przepływają przez rezerwat Beka, a zatem nie są narażone na dopływ zanieczyszczeń z pól uprawnych. Dodatkowo ich brzegi są porośnięte roślinnością wodolubną, między innymi trzcina pospolitą, manną mielec i pałką wodną, które tworzą rodzaj stref buforowych. W licznych opracowaniach zwraca się uwagę na dużą zdolność tego typu stref do przechwytywania zanieczyszczeń spływających z terenów przylegających do cieków [4,8].

Natomiast w przypadku niektórych cieków systematycznie odnotowywano przekroczenia wartości dopuszczalnych dla I a nawet II klasy czystości. Dotyczyło to przede wszystkim Potoku Błądzikowskiego oraz Kanału Młyńskiego, a także Gizdepki. Wymienione ciekі przepływają przez tereny intensywnie użytkowane rolniczo, co wskazuje na wyłukiwanie związków nawozowych z pól uprawnych. Dodatkowo Potok Błądzikowski płynie w wąskiej dolinie głęboko wciętej w otaczający teren. Strome nachylenie zboczy sprzyja intensyfikacji spływu powierzchniowego, erozji gruntu oraz wymywaniu składników pokarmowych z gleby.

4. Podsumowanie i wnioski

Analizy stężeń związków biogennych prowadzone na terenie gminy Puck w okresie lipiec – grudzień 2017 potwierdzają występowanie korelacji pomiędzy sposobem użytkowania terenu a stężeniami związków biogennych na terenie zlewni analizowanych cieków. Stwierdzono, że najwyższe stężenie zanieczyszczeń związków azotu i fosforu występowały w Potoku Bładzikowskim, Gizdepce oraz Kanale Młyńskim, których zlewnie są intensywnie użytkowane rolniczo. Z kolei cieki przepływające przez teren rezerwatu Beka charakteryzowały się wyraźnie niższymi stężeniami zanieczyszczeń – stwierdzono tu tylko jednokrotne przekroczenie granicznych stężeń II klasy czystości dla ortofosforanów. Miało to miejsce w sierpniu, po żniwach oraz wysokich opadach, które występowały w okresie letnim 2017 r. Analiza wyników pomiarów wskazuje również na występowanie sezonowych zmian stężeń związków biogennych, związanych czynnościami rolniczymi. Dalsze prace prowadzone w ramach projektu Water Puck będą miały na celu dokładne określenie sposobu użytkowania zlewni poszczególnych cieków oraz oszacowanie dawek stosowanych przez rolników nawozów mineralnych. Przewiduje się również analizy zmienności stężeń związków azotu i fosforu podczas pogody suchej oraz podczas epizodów opadowych. Wyniki będą stanowiły dane wejściowe do modelu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w analizowanych ciekach oraz ich wpływu na stan czystości Zatoki Puckiej.

Podziękowania

Praca została wykonana w ramach projektu finansowanego przez NCBiR w ramach Programów Strategicznych – BIOSTRATEG III.

Bibliografia

- [1] Bartnicki J, Semeena VS, Fagerli H. Atmospheric deposition of nitrogen to the Baltic Sea in the period 1995–2006. *Atmospheric Chem Phys*. 4 październik 2011;11(19):10057–69.
- [2] Conley DJ. Biogeochemical nutrient cycles and nutrient management strategies. W: *Man and River Systems* [Internet]. Springer; 1999 [cytowane 12 czerwiec 2017]. s. 87–96. Dostępne na: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2163-9_10
- [3] Eggert A, Schneider B. A nitrogen source in spring in the surface mixed-layer of the Baltic Sea: Evidence from total nitrogen and total phosphorus data. *J Mar Syst*. sierpień 2015;148:39–47.
- [4] Fernandes J.D.F., de Souza A.L., Tanaka M.O. Can the structure of a riparian forest remnant influence stream water quality? A tropical case study. *Hydrobiologia* 724 (2014): 175-185.
- [5] Hong B, Swaney DP, Mörth C-M, Smedberg E, Eriksson Hägg H, Humborg C, i in. Evaluating regional variation of net anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs (NANI/NAPI), major drivers, nutrient retention pattern and management implications in the multinational areas of Baltic Sea basin. *Ecol Model*. luty 2012;227:117–35.

- [6] https://pl.wikipedia.org/wiki/Zatoka_Pucka [dostęp 2.03.2018]
- [7] Kersebaum K.C., Stiedl J., Bauer O., Piorr H-P. Modelling scenarios to assess the effects of different agricultural management and land use options to reduce diffuse nitrogen pollution into the river Elbe. *Phys. Chem. Earth* 28 (2010): 537-545.
- [8] Kiedrzyńska E., Józwiak A., Kiedrzyński M., Zalewski M. (2014). Hierarchy of factors exerting an impact on nutrient load of the Baltic Sea and sustainable management of its drainage basin. *Marine Pollution Bulletin*. 10.1016/j.marpolbul.2014.09.010.
- [9] Liu R., Xu F., Zhang P., Yu W., Men C. Identifying non-point source critical source areas based on multi-factors at a basin scale with SWAT. *J. Hydrol.* 533 (2016):379-388.
- [10] Pacheco F.A.L., Fernandes L.S. Environmental land use conflicts in catchments: a major cause of amplified nitrate in river water. *Sci. Total Environ.* 548 (2016):173-188.
- [11] Rahm L, Danielsson Å. Spatial heterogeneity of nutrients in the Baltic Proper, Baltic Sea. *Estuar Coast Shelf Sci.* czerwiec 2007;73(1-2):268-78.
- [12] Rothwell J.J., Dise N.B., Taylor K.G., Allott T.E.H., Scholefield P., Davies H., Neal C. Predicting river water quality across North West England using catchment characteristics. *J. Hydrol.* 395 (2010): 153-162.
- [13] Santos R.M.B., Fernandes L.S., Pereira M.G., Cortes R.M.V., Pacheco F.A.L. A framework model for investigating the export of phosphorus to surface waters in forested watersheds: implications to management. *Sci. Total Environ.* 526 (2015): 295-305.
- [14] Shi P., Zhang Y., Li Z., Li P., Xu G. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. *Catena* 152 (2017):182-190.
- [15] Svendsen LM, Bartnicki J, Boutrup S, Gustafsson B, Jarosiński W, Knuuttila S, i in. Updated Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-5.5). Helsinki: HELCOM; 2015 s. 143. Report No.: 145.
- [16] Tu J. Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression. *Appl. Geogr.* 31 (2011): 376-392.
- [17] Valle Junior R.F., Varandas S.G.P., Fernandes L.S., Pacheco F.A.L. Groundwater quality in rural watersheds with environmental land use conflicts. *Sci. Total Environ.* 492 (2014): 812-827.