

## Oszacowanie ładunku zanieczyszczeń biogenych transportowanych do Zatoki Gdańskiej przez Potok Oliwski

Karolina Matej-Łukowicz<sup>1\*</sup>, Nicole Nawrot<sup>1</sup>, Ewa Wojciechowska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Sanitarnej, ul. Narutowicza 11/12, 80-001 Gdańsk

\* Adres do korespondencji: karolina.lukowicz@pg.edu.pl

### STRESZCZENIE

Ciągle zmiany w środowisku wynikające z zaspokajania ciągle rosnących potrzeb ludności mają poważne konsekwencje. Coraz częstsze zjawiska powodziowe, pogorszenie jakości wód powierzchniowych i zwiększające się zanieczyszczenie mórz są w dużym stopniu skutkiem działalności człowieka. Rosnący udział powierzchni uszczelnionej przyczynia się do zwiększenia zarówno stopnia zanieczyszczenia, jak i ilości wód opadowych, a w konsekwencji ładunku zanieczyszczeń. Celem pracy było określenie szacunkowego ładunku zanieczyszczeń biogenych dopływających do Morza Bałtyckiego z obszaru zlewni Potoku Oliwskiego, jednego z cieków przepływających przez teren miasta Gdańsk. W opracowaniu przedstawiono wyniki badań jakości wody Potoku Oliwskiego, jednego z największych gdańskich odbiorników wód opadowych ze zlewnią o powierzchni prawie 29 km<sup>2</sup>. Próbkę wody pobierano w sześciu punktach (trzech w zlewni naturalnej i trzech w zurbanizowanej) podczas pogody bezopadowej i po wystąpieniu epizodu opadowego. Oznaczono stężenia i obliczono ładunki roczne związków biogenych odprowadzanych do Zatoki Gdańskiej. Największy ładunek azotanów (V) i fosforu całkowitego odprowadzany jest latem i wynosi odpowiednio 4 tony NO<sub>3</sub><sup>-</sup> w przeliczeniu na rok i prawie 2 tony P<sub>og</sub> rocznie. Ortofosforany odprowadzane są głównie jesienią, a ich roczny ładunek wprowadzany do Morza Bałtyckiego to prawie 4 tony. Większość substancji biogenych pochodzi ze zlewni zurbanizowanej, dlatego należy w tym obszarze zlokalizować i ograniczyć źródła zanieczyszczeń.

**Słowa kluczowe:** azotany (V), ortofosforany, fosfor ogólny, migracja zanieczyszczeń, Morze Bałtyckie

## Estimate load of biogenic pollutants inflowing with water of Oliwa Stream to gulf of Gdansk

### ABSTRACT

Flood events, worse condition of surface waters, and pollution of sea waters are associated with the anthropogenic changes in the environment. Increasing pollution and the amount of rainwater – raise the pollution load as a result of increasing the built-up area. The aim of the study was to investigate the pollution load coming from a catchment in Gdansk to the Baltic Sea by stream. The study presents the results of water quality tests in the Oliwa Stream. It is one of the largest rainwater receivers in Gdansk with a catchment area of almost 29 km<sup>2</sup>. Water samples were collected at six points (three in the natural catchment and three in urbanized catchment). The pollutant concentrations were obtained from the tests. On the basis of the results, the loads of biogenic compounds introduced into the Gulf of Gdansk were calculated. The largest load of nitrates (V) and total phosphorus is discharged in the summer and amounts to 4 tons NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and almost 2 tons of total phosphorus per year, respectively. Orthophosphates are discharged mainly in autumn, and their annual load is almost 4 tons. The majority of biogenic substances comes from the urbanized catchment; therefore, it is necessary to locate and limit the sources of pollution in this area.

**Keywords:** nitrates (V), orthophosphates, total phosphorus, migration of pollutants, Baltic Sea

### WSTĘP

Dopływ ścieków deszczowych przyczynia się do pogorszenia stanu odbiorników, szczególnie w zlewni zurbanizowanej. Rosnące uszczelnianie

powierzchni powoduje dwa rodzaje problemów: pierwszy z nich to przepełnienia systemu kanalizacji deszczowej, a drugi to zwiększony ładunek zanieczyszczeń transportowanych z wodami opadowymi [Liu i in. 2013; Ociepa i in. 2010].

Rosnące stężenia związków biogennych, materii organicznej, zawiesiny czy metali stanowią zagrożenie zarówno dla wód powierzchniowych, jak i roślin i organizmów wodnych [Cieśliński i Pietruszyński 2016; Newcombe i Jensesn 1996; Stachowski 2017; Wojciechowska i in. 2017; Zawilski i Sakson 2013]. Uwagę zwracają szczególnie substancje, które przyczyniają się do procesu eutrofizacji. Zgodnie z Ustawą Prawo wodne eutrofizacja definiowana jest jako wzbogacenie wód biogenami, w szczególności związkami azotu i fosforu, powodującymi przyspieszony wzrost glonów oraz wyższych form życia roślinnego, w wyniku którego zakłócony jest biologiczny stosunek w środowisku wodnym i pogorszona jest jakość wód [Dz.U. 2017 poz. 1566].

Dopływ związków azotu i fosforu może charakteryzować się pewną sezonowością, na co wskazują na przykład badania stężenia związków biogennych prowadzone dla Jeziora Dobra zlokalizowanego w Polsce północnej. Wraz ze ściekami deszczowymi ze zlewni zagospodarowanej przez rolnictwo dopływało tam 1,5÷40 kg azotu mineralnego (azotany (V) i azot amonowy) i do 1,5 kg fosforu, przy czym najwięcej azotanów (V) dopływało w okresie wiosennym, a ortofosforanów latem [Jarosiewicz 2012]. Natomiast do Potoku Oruńskiego, odbierającego wody opadowe z dolnej części Gdańska najwięcej azotanów (V) dopływa wiosną [Cieśliński i Pietruszyński 2016]. Badania przeprowadzone w zbiornikach na Podlasiu, o zlewni rolniczej i porośniętej lasami wskazują, że fosfor ogólny dopływa głównie w okresie jesienno-zimowym, a ortofosforany w zależności od zbiornika: Otapy-Kiersnowek – jesienią, Bachmaty – wiosną, Repczyce – w okresie jesień-zima [Szczykowska i in. 2016]. Badania samego opadu atmosferycznego wskazują największe stężenia azotanów (V) w okresie zimowo-wiosennym [Sapek i in. 2003]. Oprócz pory roku na ładunek zanieczyszczeń wpływ ma również rodzaj zagospodarowania zlewni. Z badań przeprowadzonych w zlewniach zurbanizowanych w Australii wynika, że najwięcej azotu ogólnego pochodzi z obszarów przemysłowych, fosforu całkowitego i zawiesiny z mieszkalnictwa, a materii organicznej z obszarów usługowych [Liu i in. 2013].

Celem badań jest analiza stężenia związków biogennych i wyznaczenie ich ładunku w sześciu punktach Potoku Oliwskiego, będącego jednym z największych cieków w Gdańsku. Przeanalizowano stężenia związków biogen-

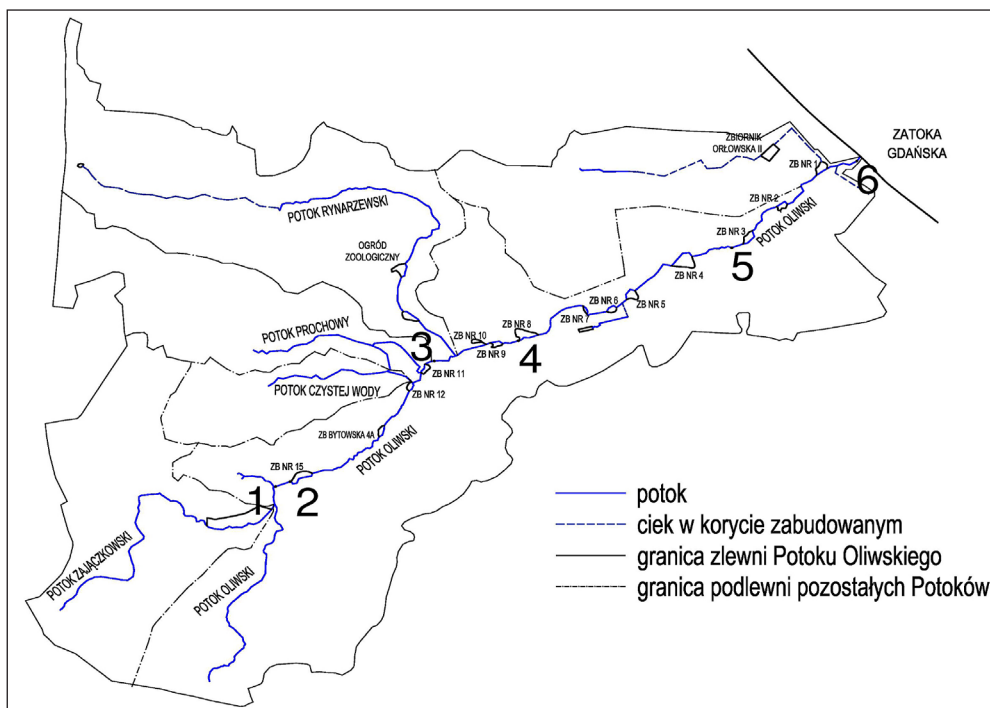
nych, które warunkują proces eutrofizacji, ze względu na bliskość i zagrożenie Morza Bałtyckiego [Forsberg 1991]. Badania te są kontynuacją wcześniej opublikowanych wyników analiz stężeń związków azotu [Matej-Łukowicz i Wojciechowska 2017].

## METODOLOGIA

Próbki wody pobierano w okresie V 2016 – VIII 2017 z Potoku Oliwskiego w Gdańsku. Łącznie pobrano 66 próbek, 36 z nich w czasie bezopadowym, a 30 po opadzie o wysokości minimum 5 mm. Miejscem poboru był Potok Oliwski – największy pod względem natężenia przepływu potok w Gdańsku, mający ujście bezpośrednio do Zatoki Gdańskiej. Wytypowano 6 punktów wzdłuż Potoku – reprezentatywnych pod względem zagospodarowania terenu. Punkty zaznaczono na rysunku 1. Trzy pierwsze punkty położone były w zlewni naturalnej, gdzie udział powierzchni uszczelnionej nie przekraczał 16%, natomiast trzy kolejne punkty znajdowały się w zlewni w pełni zurbanizowanej, gdzie powierzchnia uszczelniona stanowiła od 60% (na obszarze podzlewni znajduje się Park Oliwski o powierzchni 11,3 ha) do 95%. Łączna powierzchnia zlewni wynosi 28,92 km<sup>2</sup>. Obszar uszczelniony to 12,38 km<sup>2</sup>.

W pobranych próbkach badano stężenia azotanów (V) oraz ortofosforanów i fosforu ogólnego. Analizy wykonano z wykorzystaniem testów kuwetowych Hach Lange i spektrofotometru VIS DR3900 Hach. Stężenia fosforu ogólnego i ortofosforanów oznaczano metodą błękitu fosfomolibdenowego – zgodnie z Normą EN ISO 6878, natomiast stężenia azotanów (V) metodą 2,6-dimetylofeonolową – zgodnie z Normą EN 38405 D-2.

Ładunek zanieczyszczeń obliczono jako iloczyn stężenia średniego dla danej pory roku i średniego natężenia przepływu. Potok Oliwski, charakteryzuje się dużą zmiennością wielkości koryta ciek, a dodatkowo na jego długości znajduje się 13 zbiorników retencyjnych, regulujących natężenie przepływu. W związku z tym obliczenia ładunku zanieczyszczeń należy uznać za szacunkowe, a w obliczeniach przyjęto uproszczenie w postaci stałego średniego natężenia przepływu równego 0,2 dm<sup>3</sup>/s [Kasterka i in. 2011]. Trwają jednak prace nad modelem hydrodynamicznym umożliwiającym sprawdzenie natężenia przepływu po każdym opadzie.



Rys. 1. Lokalizacja punktów poboru próbek

Fig. 1. Location of sampling points

Następnie wykonano analizę rocznego ładunku zanieczyszczeń, z uwzględnieniem liczby dni bez opadu (BO) i liczby dni deszczowych (PO) w kolejnych porach roku. Podział przedstawiono w tabeli 1. Całkowity ładunek obliczono jako iloczyn liczby dni i ładunku w punkcie zamykającym zlewnię.

## WYNIKI BADAŃ

Wyniki uzyskanych badań podzielono na cztery okresy, analogicznie do czterech pór roku. Jest to związane ze zmianami, jakie zachodzą w zlewni w wyniku zmian temperatury i wilgotności powietrza i gruntu. Analiza w kolejnych porach roku pozwala uwzględnić też zmiany związane z roślinnością, wysokością i rodzajem opadów, co bezpośrednio ma wpływ na rozmieszczenie stężeń zanieczyszczeń wzdłuż Potoku. Wyniki pokazane na rysunkach 2–4 przedstawiają przebieg zmian ładunku azotanów (V), ortofosforanów i fosforu ogólnego w zlewni. Łącznie pokazano zmienność wiosenną i jesienną, ze względu na podobny rozkład temperatur i podobne wysokości opadów. Najmniejszą zmiennością charakteryzują się stężenia azotanów (V). W badaniach stężeń ortofosforanów zauważa się znaczący wzrost w punktach 4, 5 i 6, szczególnie przed jesiennym

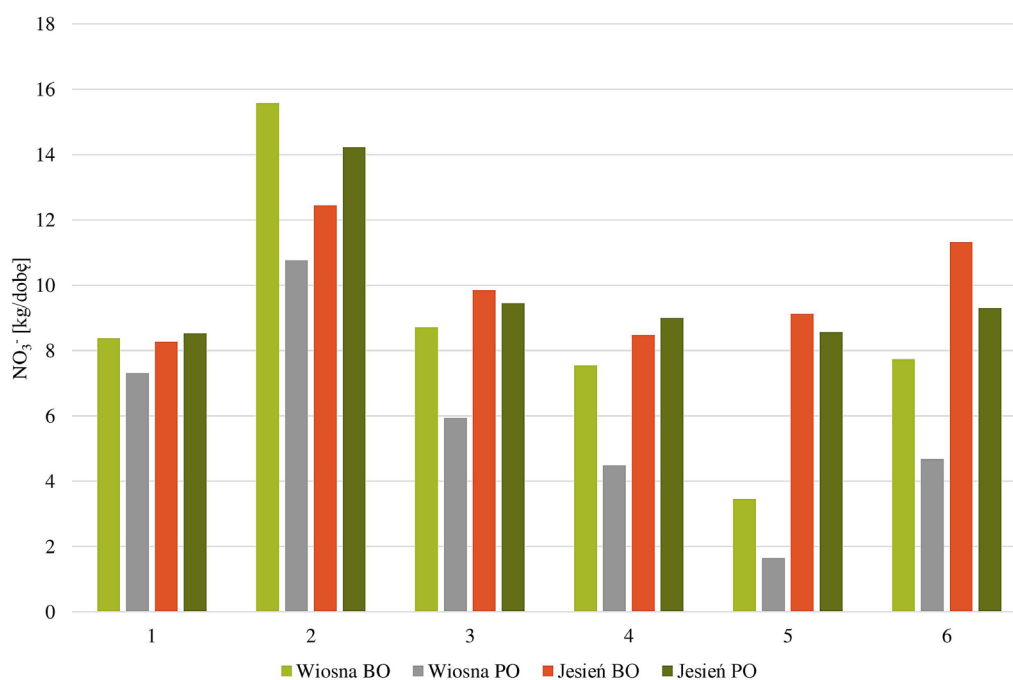
**Tabela 1.** Liczba dni bezopadowych (BO) i z opadami (PO) w kolejnych porach roku w Gdańsku [Olechnowicz-Bobrowska 1970]

**Table 1.** The number of days without precipitation (BO) and precipitation (PO) in four seasons in Gdańsk

| Pora roku | Pogoda | Liczba dni |
|-----------|--------|------------|
| Wiosna    | BO     | 59         |
|           | PO     | 35         |
| Lato      | BO     | 52         |
|           | PO     | 40         |
| Jesień    | BO     | 51         |
|           | PO     | 39         |
| Zima      | BO     | 44         |
|           | PO     | 45         |

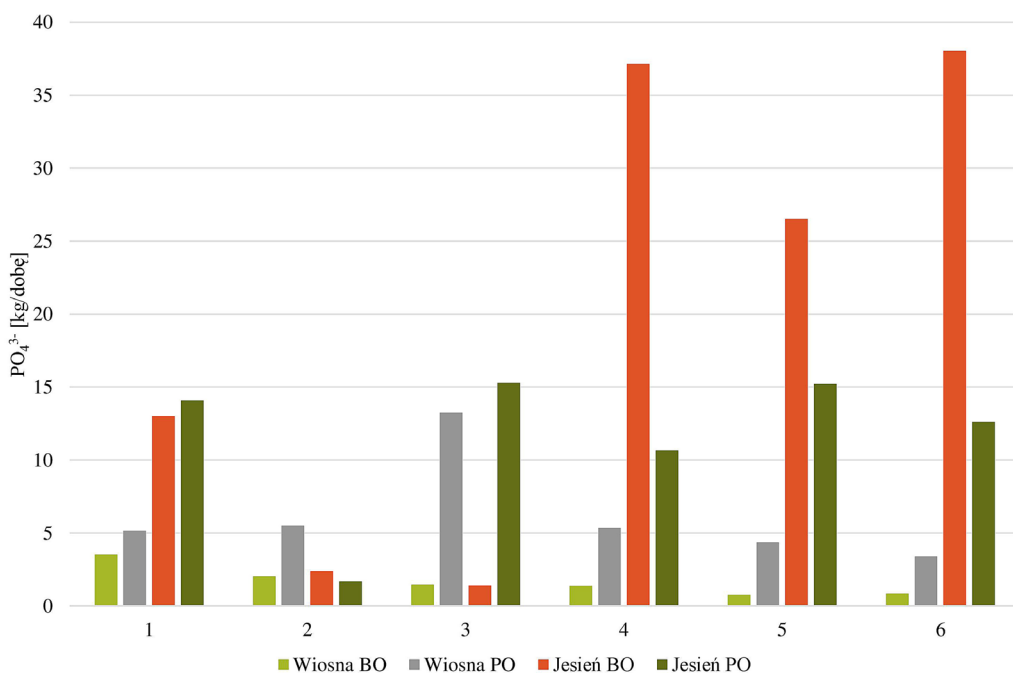
opadem. Najwyższe stężenia fosforu ogólnego zarejestrowano po jesiennym opadzie.

Na rysunkach 5–7 przedstawiono zmienność stężeń lub ładunków związków biogenych w okresie letnim i zimowym. Porównanie tych pór roku daje, w przypadku analizowanego cieku o zlewni zurbanizowanej, najlepszy pogląd na zmienność roczną ładunków związków biogenych. Rozkład stężenia azotanów (V) w całym roku charakteryzuje się najmniejszą amplitudą. Szczególnie zauważalny jest spadek ładunku azotanów (V) po zimowych opadach we wszyst-



**Rys. 2.** Ładunek azotanów (V) wiosną i jesienią w reprezentatywnych sześciu punktach Potoku Oliwskiego (BO – okres bezopadowy, PO – okres po opadzie)

**Fig. 2.** The load of nitrates (V) in spring and autumn in the representative six points of the Oliwa Stream (BO – period without rain, PO – after rainfall)

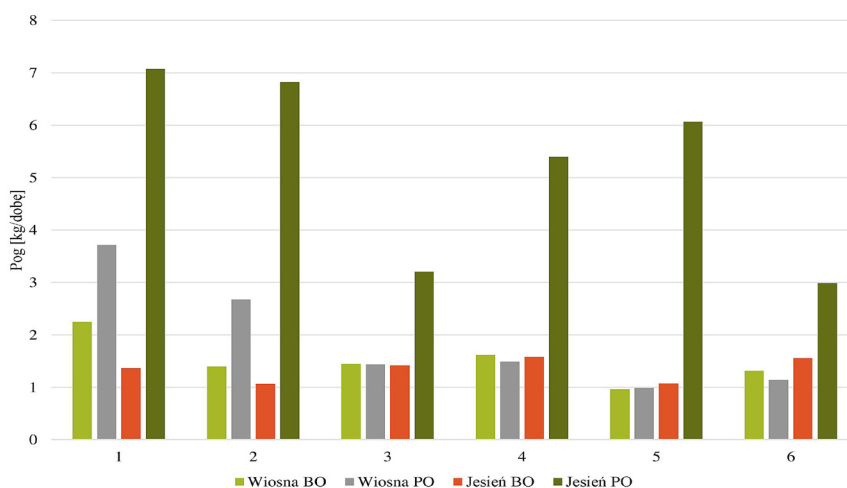


**Rys. 3.** Ładunek ortofosforanów wiosną i jesienią w reprezentatywnych sześciu punktach Potoku Oliwskiego (BO – okres bezopadowy, PO – okres po opadzie)

**Fig. 3.** Load of orthophosphates in the spring and autumn in the representative six points on the Oliwski Stream (BO – period without rain, PO – after rainfall)

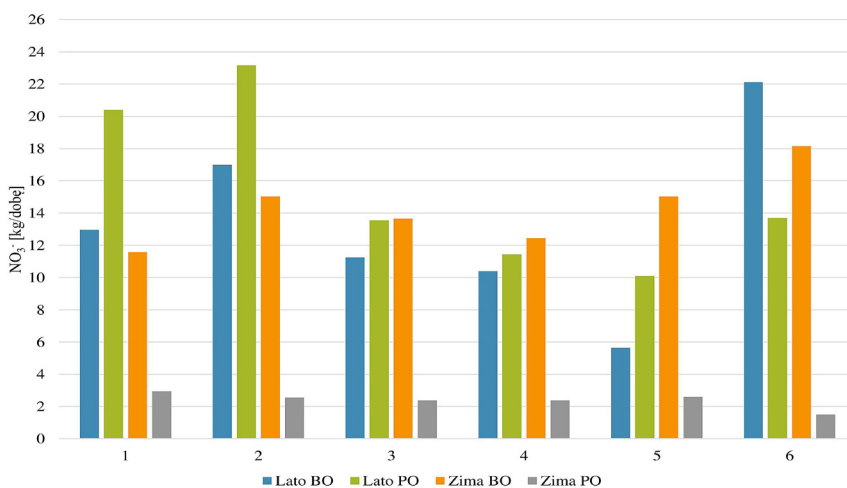
kich punktach. Ładunek ortofosforanów był najwyższy po zimowych opadach, szczególnie w punkcie 1. Opad letni wywołał również znaczący wzrost ładunku fosforu ogólnego, a wartość maksymalna wystąpiła także w punkcie 1.

W celu sprawdzenia, w której porze występuje największe zanieczyszczenie związkami biogennymi w rejonie ujścia Potoku przeprowadzono analizy zmienności zanieczyszczeń. Wyniki przedstawiają rysunki 8–10.



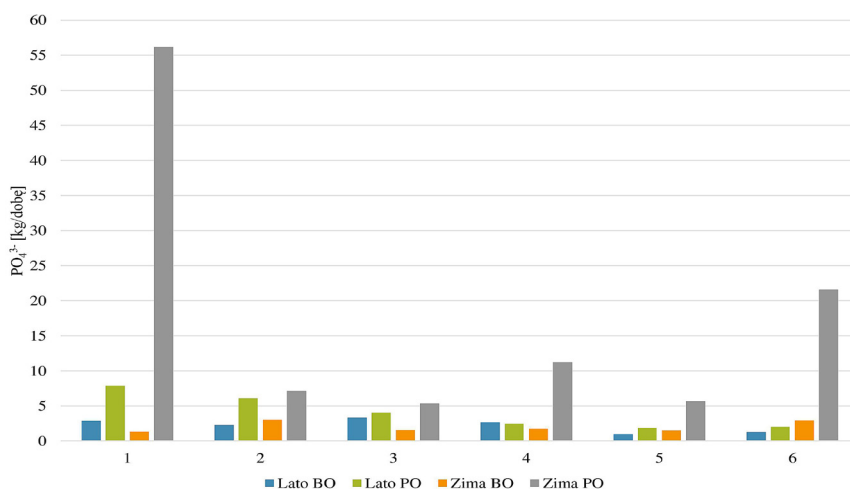
**Rys. 4.** Ładunek fosforu ogólnego wiosną i jesienią w reprezentatywnych sześciu punktach Potoku Oliwskiego (BO – okres bezopadowy, PO –okres po opadzie)

**Fig. 4.** Load of total phosphorus in the spring and autumn in the representative six points of the Oliwski Stream (BO – period without rain, PO – after rainfall)



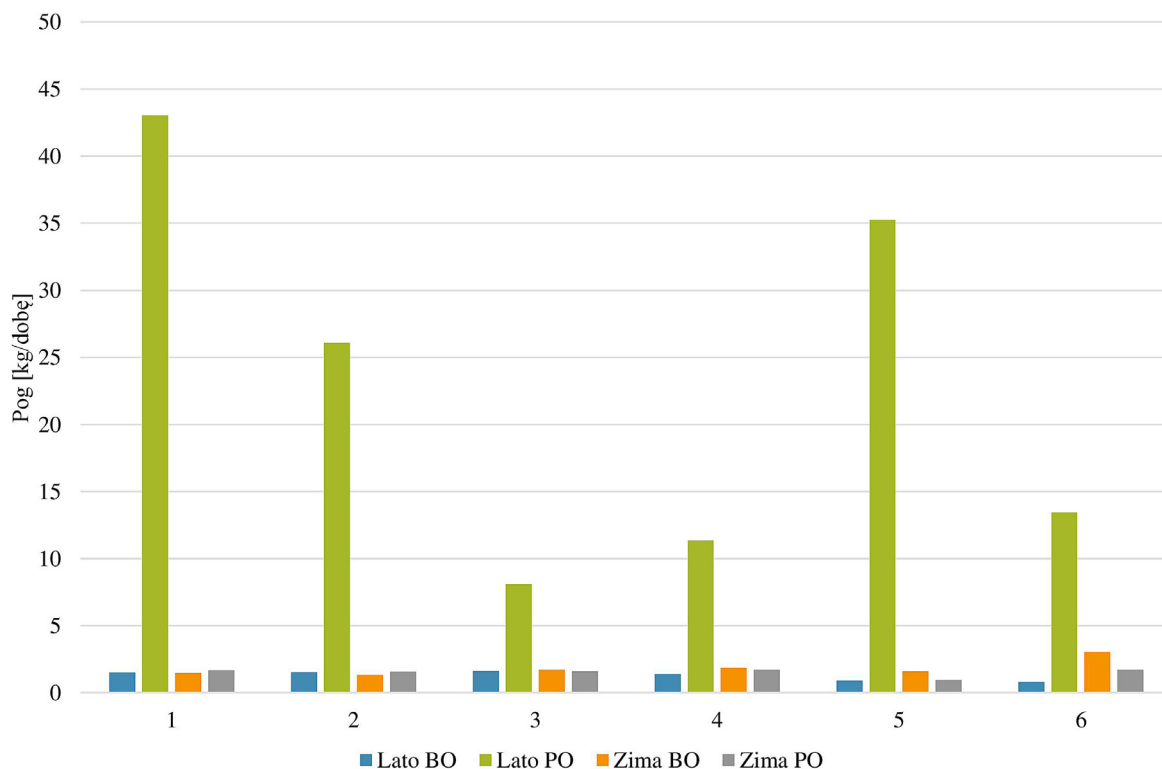
**Rys. 5.** Ładunek azotanów (V) latem i zimą w reprezentatywnych sześciu punktach Potoku Oliwskiego (BO – okres bezopadowy, PO – okres po opadzie)

**Fig. 5.** The load of nitrates (V) in summer and winter in the representative six points of the Oliwa Stream (BO – period without rain, PO – after rainfall)



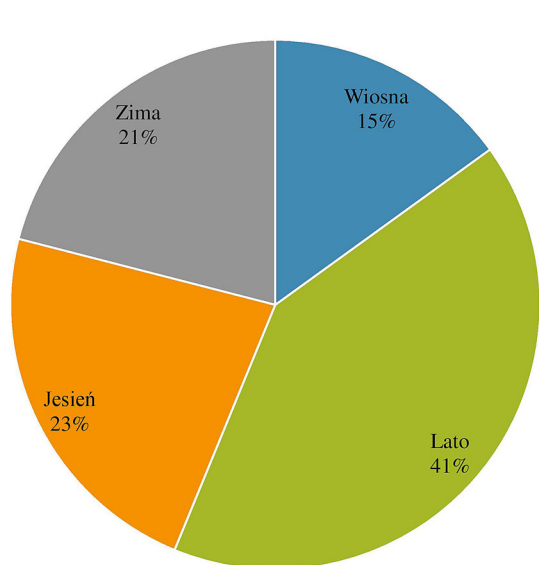
**Rys. 6.** Ładunek ortofosforanów latem i zimą w reprezentatywnych sześciu punktach Potoku Oliwskiego (BO – okres bezopadowy, PO – okres po opadzie)

**Fig. 6.** Load of orthophosphates in summer and winter in the representative six points of the Oliwski Stream (BO – period without rain, PO – after rainfall)



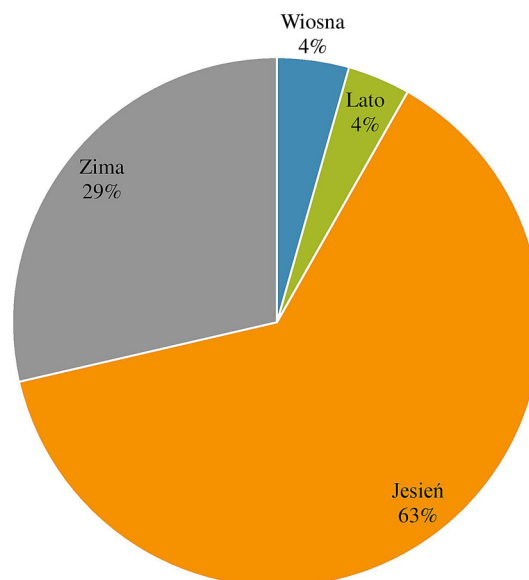
**Rys. 7.** Ładunek fosforu ogólnego latem i zimą w reprezentatywnych sześciu punktach Potoku Oliwskiego (BO – okres bezopadowy, PO – okres po opadzie)

**Fig. 7.** Load of total phosphorus in summer and winter in the representative six points of the Oliwski Stream (BO – period without rain, PO – after rainfall)



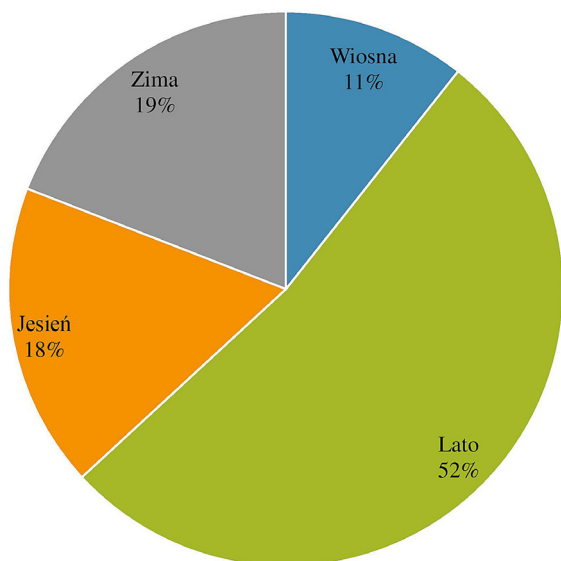
**Rys. 8.** Rozkład ładunku azotanów (V) odprowadzanych wodami Potoku Oliwskiego do Morza Bałtyckiego według pór roku

**Fig. 8.** Distribution of the load of nitrates (V) discharged by the Oliwa Pipeline to the Baltic Sea according to the seasons



**Rys. 9.** Rozkład ładunku ortofosforanów odprowadzanych wodami Potoku Oliwskiego do Morza Bałtyckiego według pór roku

**Fig. 9.** Distribution of the load of discharged by the Oliwa Pipeline to the Baltic Sea according to the seasons



**Rys. 10.** Rozkład ładunku fosforu całkowitego odprowadzanych wodami Potoku Oliwskiego do Morza Bałtyckiego według pór roku

**Fig. 10.** Distribution of the load of total phosphorus discharged by the Oliwa Pipeline to the Baltic Sea according to the seasons

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Ładunek azotanów (V) wahał się w granicach  $1,50 \div 23,16$  kg/dobę, przy czym najwyższa wartość wystąpiła w punkcie 2 po letnich opadach. Stężenia tego związku w analizowanych próbkach nie przekraczały wartości granicznej dla I klasy czystości. Do Morza Bałtyckiego ze zlewni Potoku Oliwskiego dopływa rocznie 4 125 kg azotanów (V), a najwięcej w miesiącach letnich. W przeliczeniu na powierzchnię jest to  $1,43$  kg  $\text{NO}_3^-$ /rok ha, co w porównaniu do zlewni rolniczej w Szwecji gdzie przyjmuje się 80 kg N/rok ha stanowi niewielkie zanieczyszczenie zlewni [Forsberg 1991].

Stężenie ortofosforanów w badanych punktach wielokrotnie przekraczało graniczne wartości I i II klasy czystości [Dz.U. 2016 poz. 1187], szczególnie w okresie jesienno-zimowym, podobnie jak dla dwóch zbiorników na Podlasiu [Szczykowska et al. 2016]. Skutkiem tego ładunek mieścił się w przedziale od  $0,75$  kg/dobę do  $56,16$  kg/dobę. Najwyższą wartość stężenia i ładunku ortofosforanów odnotowano zimą w punkcie 1 – gdzie większa część powierzchni zlewni to obszar leśny. Zauważono, że we wszystkich punktach w zlewni zurbanizowanej po jesiennym opadzie nastąpił większy niż w innych porach roku spadek stęże-

nia ortofosforanów (w punkcie 4 o 71%, 5 – 43%, 6 – 67%), a w konsekwencji ładunku ortofosforanów w Potoku. Roczny ładunek ortofosforanów odprowadzanych do Zatoki Gdańskiej wodami Potoku Oliwskiego był równy 3849 kg, a prawie połowa z niego została dostarczona po jesiennych opadach, podobnie jak w zbiorniku Otapy-Kiersnowek [Szczykowska et al. 2016].

Badania stężeń i ładunków fosforu całkowitego wykazały, że największy dopływ ma miejsce po letnim opadzie bez względu na zagospodarowanie zlewni. Stężenia przekroczyły II klasę czystości po letnich i jesiennych opadach, pozostałe wyniki klasyfikują się w I klasie [Dz.U. 2016 poz. 1187]. Ładunek fosforu całkowitego odprowadzony do Morza Bałtyckiego wynosi rocznie 1969 kg, po przeliczeniu  $0,68$  kg/ha rok. Wartość ta jest ponad 20 krotnie niższa niż średni ładunek fosforu w szwedzkim rolnictwie [Forsberg 1991]. Ponad 70% z niego odprowadzana jest latem, do czego przyczyniać się może zwiększona liczba turystów i ewentualne nielegalne dopływy ścieków z sezonowych punktów gastronomicznych.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Badania wykonano w wodach Potoku Oliwskiego, który w połowie stanowi zlewnie z powierzchnią naturalną, a w połowie uszczelnioną. Wyznaczono ładunki zanieczyszczeń odprowadzanych wodami Potoku do Zatoki Gdańskiej. Rocznie odprowadzanych jest ponad 4 tony azotanów (V), prawie 4 tony ortofosforanów i prawie 2 tony fosforu ogólnego.

Przeprowadzone badania wskazują na sezonowość stężenia poszczególnych zanieczyszczeń. Sezonowość dotyczy również ładunku związków biogenych wprowadzanych do Zatoki Gdańskiej. Największy ładunek azotanów (V) i fosforu całkowitego do Morza wprowadzany jest latem, natomiast ortofosforanów jesienią.

Większe ładunki dopływają do Potoku ze zlewni zurbanizowanej. Należy poszukiwać bezpośrednich źródeł zanieczyszczeń, jakimi być mogą nielegalne zrzuty ścieków sanitarnych, nadmiary nawozów stosowanych do pielęgnacji roślin czy też zanieczyszczenia obszarowe zlewni.

Badania nadal trwają i średnie stężenia zanieczyszczeń są stale przeliczane, a wyniki te zależą w znacznym stopniu od długości okresu bezdeszczowego poprzedzającego badania, wysokości opadu i sposobu zagospodarowania zlewni.

## Podziękowania

Praca została wykonana w ramach grantu GRAM przyznawanego na zasadach konkursu przez Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej. Granty finansowane są ze środków na naukę zgodnie z Dz.U. Nr 96, poz. 615 ze zm.

## BIBLIOGRAFIA

1. Cieśliński R., Pietruszyński Ł. 2016. The influence of precipitation on the state of urban river quality on example Orunki Creek. *Inżynieria Ekologiczna*, 49, 151–161.
2. Forsberg C. 1991. Eutrofizacja Morza Bałtyckiego. (P. Migula, Trans.) Uppsala.
3. Jarosiewicz A. 2012. Opad atmosferyczny jako źródło substancji biogenicznych - na przykładzie Jeziora Dobra (Polska północna). *Inżynieria Ekologiczna*, 48–56.
4. Kasterka B., Kasterka B., Nowiński K., Ganczarek P. 2011. Oceny wpływu zbiorników na jakość wód dolnej części zlewni Potoku Oliwskiego. Część I - badanie tła. Gdańsk.
5. Liu A., Egodawatta P., Guan Y., Goonetilleke A. 2013. Influence of rainfall and catchment characteristics on urban stormwater quality. *Science of The Total Environment*, 444, 255–262.
6. Matej-Lukowicz K., Wojciechowska E. 2017. Ocena stężenia form azotu w zurbanizowanej zlewni na przykładzie Potoku Oliwskiego. *Inżynieria Ekologiczna*, 18(3).
7. Newcombe C.P., Jensesn J. 1996. Channel suspended solids and fisheries, a synthesis for quantitative assessment of risk and impact. *North American Journal of Fisheries Management*, 16, 693–727.
8. Ociepa E., Kisiel A., Lach J. 2010. Zanieczyszczenia wód opadowych spływających do systemów kanalizacyjnych. *Proceedings of ECOpole*, 4(2), 465–469.
9. Olechnowicz-Bobrowska B. 1970. Częstość dni z opadem w Polsce. PWN Warszawa.
10. Rozporządzenie 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).
11. Sapek A., Nawalany P., Barszczewski J. 2003. Ładunek składników nawozowych wnoszony z opadem mokrym na powierzchnię ziemi w Falentach w latach 1995-2001. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 3.
12. Stachowski P. 2017. Urban pond as a rainwater receiver. *Inżynieria Ekologiczna*, 18(1), 1–8.
13. Szczykowska J., Siemieniuk A., Wiater J. 2016. Phosphorus contamination as a barrier to water quality of small retention reservoirs in Podlasie Region. *Inżynieria Ekologiczna*, 48, 202–207.
14. Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. - Prawo wodne. 2017. Sejm Rzeczypospolitej Polskiej.
15. Wojciechowska E., Rackiewicz A., Nawrot N., Matej-Lukowicz K., Obarska-Pempkowiak H. 2017. Badania rozmieszczenia metali ciężkich w osadach dennych zbiorników retencyjnych na terenie zlewni zurbanizowanej. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 19, 572–589.
16. Zawilski M., Sakson G. 2013. Ocena emisji zawieszin odprowadzanych kanalizacją deszczową. *Ochrona Środowiska*, 2, 33–40.