

## OCENA STĘŻENIA FORM AZOTU W ZURBANIZOWANEJ ZLEWNI NA PRZYKŁADZIE POTOKU OLIWSKIEGO

Karolina Matej-Łukowicz<sup>1</sup>, Ewa Wojciechowska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Inżynierii Sanitarnej, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, e-mail: karolina.matej@gmail.com

### STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki analizy stężeń związków azotu w formie azotu amonowego i azotanów (III) i (V) w Potoku Oliwskim. Badania zrealizowano w latach 2016–2017, analizując wpływ opadu atmosferycznego w zlewni miejskiej. Wybrano sześć charakterystycznych punktów i sprawdzono oddziaływanie zagospodarowania zlewni na zmianę wskaźników zanieczyszczeń wywołanych epizodem opadowym. Stwierdzono wzrost azotu amonowego po wystąpieniu opadu w okresie wiosennym, w porównaniu do jesiennego. Wyniki stężeń azotanów (III) dla wszystkich punktów przekroczyły graniczne wartości II klasy czystości, zgodnie z obowiązującym Rozporządzeniem z dnia 21 lipca 2016 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. W pracy przedstawiono także wyniki stężeń związków azotu w Potoku Oliwskim po wystąpieniu opadu nawalnego, który spowodował powódź w Gdańsku, w lipcu 2016 r.

**Słowa kluczowe:** zlewnia miejska, stężenie azotu, zmienność sezonowa, azotany, azot amonowy

### ASSESS CONCENTRATIONS OF THE FORMS OF NITROGEN IN URBANIZED CATCHMENT FOR EXAMPLE OLIWA STREAM

#### ABSTRACT

In the article the results of nitrogen compounds ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) in water samples collected at six locations (sampling points) at the Oliwa Stream will be presented. The study was carried out in 2016–2017, analyzing the changes caused by rainfall in the urban catchment. After the spring rain the concentration of ammonia nitrogen is considerably higher than in autumn. The results were compared with the Regulation of the Minister of the Environment, which describes two main classes of water purity. In addition, the article describes the results of the nitrogen compounds after the rainfall of 15th July 2016 will be presented.

**Keywords:** urban catchment, concentration of nitrogen, seasonal variability, nitrates, ammonia nitrogen

### WSTĘP

Dane Europejskiej Agencji Ochrony Środowiska [2017] wskazują na ciągły proces zwiększania powierzchni słabo przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych. Dotyczy to przede wszystkim terenów miejskich i podmiejskich. W latach 2006–2009 w Europie wzrost powierzchni wynosił 4,36 mln m<sup>2</sup>, a szacuje się, że w 2025 r. około 60% społeczeństwa będzie mieszkać w miastach, co powoduje dalsze zabudowywanie terenów. Trend ten zauważalny jest również w Gdańsku, w którym ubytek użytków rolnych na rzecz gruntów zurba-

nizowanych i zabudowanych wynosił prawie 700 ha w latach 2011–2015 (USwG [2016]). Konsekwencją tego procesu jest większe zanieczyszczenie środowiska. Chcąc kontrolować wielkość tego procesu, należy monitorować jakość wód będących odbiornikami wód opadowych.

Rodzaje i stężenia zanieczyszczeń w odbiornikach zależne są przede wszystkim od sposobu zagospodarowania zlewni, jej ukształtowania, gospodarki wodno-ściekowej oraz działalności człowieka. Pod względem zagospodarowania zlewnie można podzielić na dwie główne kategorie: zlewnie rolnicze oraz zlewnie zurbanizowane.

Wyniki badania wód powierzchniowych dla zlewni rolniczej przedstawiono wielokrotnie (Jaskała i in. [2016], Sojka, Murat-Błażejewska, Kanclerz [2008], Sapek [2010], Kiryluk, Rauba [2009]), a problem nadmiaru związków biogenych został częściowo rozwiązany ze względu na wprowadzoną Dyrektywę Azotanową [1991] oraz Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej [2002].

Analizy wód powierzchniowych, których jakość zmienia się po opadach zostały przeprowadzone między innymi dla Częstochowy przez Ociepę, Kisiela i Lacha [2010], Rzeszowa przez Koszelnika [2007] czy Lublina przez Jaromin-Gleń i in. [2012]. Nadal brakuje jednak badań z terenu aglomeracji trójmiejskiej, której warunki hydrogeologiczne są specyficzne i nie ma możliwości wykorzystania istniejących wyników na potrzeby tego obszaru.

Ocenę stopnia zanieczyszczenia wód powierzchniowych wykonać można na podstawie licznych wskaźników, jednak azot jest jednym z podstawowych pierwiastków niezbędnych do rozwoju żywych organizmów, a jego stężenie i przemiany wpływają na stopień eutrofizacji wód powierzchniowych (Wiśniowska-Kielian, Niemiec [2006]). Człowiek, zmieniając środowisko naturalne przyczynia się do zwiększenia dopływu związków azotu do wód powierzchniowych, które w konsekwencji przemian, przyczyniają się do dyskwalifikacji tych wód do celów spożywczych czy gospodarczych (Ilnicki [2002]).

W celu weryfikacji wpływu opadu na zmianę jakości wód odbiornika w zlewni znajdującej

się na terenie Gdańska przeprowadzono badania prób wody powierzchniowej jednego z dwudziestu gdańskich potoków. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań trzech wskaźników zanieczyszczeń w wodach powierzchniowych miejskiego potoku, którego ujście zlokalizowane jest bezpośrednio do Zatoki Gdańskiej w pobliżu plaży Gdańsk Jelitkowo. Analizie podlegały trzy związki azotu: azot amonowy, azotany (III) oraz azotany (V).

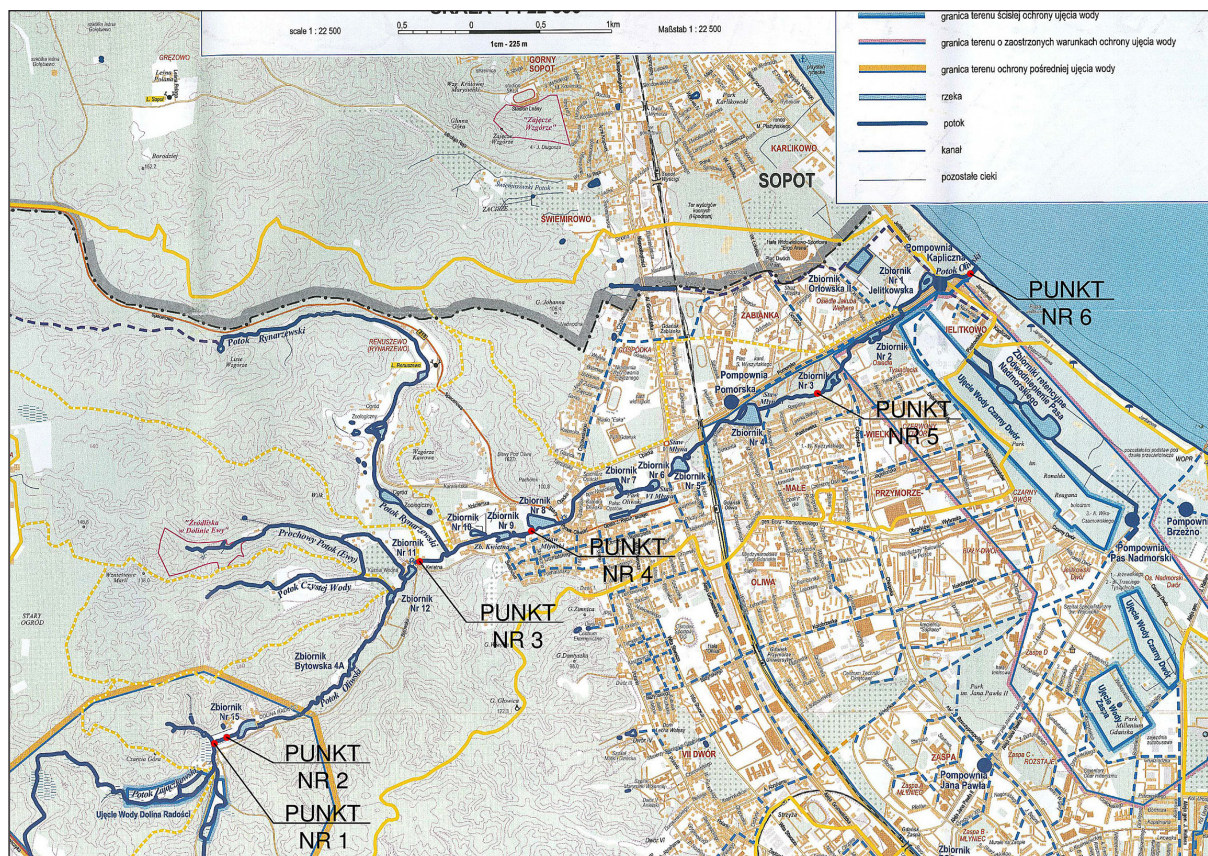
## METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono w próbkach wody z Potoku Oliwskiego – cieką o największym przepływie spośród dwudziestu gdańskich odbiorników wód opadowych. Próby pobierano od maja 2016 r. do stycznia 2017 r. w dwóch stanach pogody: w czasie bezdeszczowym oraz w okresie deszczowym (minimalna wysokość opadu 5,0 mm). Dodatkowy pobór próbek wykonano podczas deszczu nawalnego, w dniach 14–15 lipca 2016, którego konsekwencją były liczne podtopienia. Miejsca poboru próbek wody wyznaczono uwzględniając zagospodarowanie zlewni. Wyznaczono sześć punktów reprezentatywnych (numeracja punktów stosowana w celu prezentacji wyników), które opisano w tabeli 1 i przedstawiono na rysunku 1.

Do poboru prób wykorzystano czerpak, umożliwiający pobór z nurtu środkowego, co ograniczyło ilość osadu pochodzącego z dna

**Tabela 1.** Punkty poboru – charakterystyka i lokalizacja  
**Table 1.** The sampling points location – characteristic and localization

Lp.	Lokalizacja	Opis	Potencjalne źródła zanieczyszczeń
1	Dolina Radości	obszar leśny, z ograniczonym ruchem pojazdów	<ul style="list-style-type: none"> <li>droga szybkiego ruchu S6 oraz drogi dojazdowe,</li> <li>zanieczyszczenia z obszarów leśnych</li> </ul>
2	Dolina Radości	obszar leśny, z wjazdem dla nielicznych pojazdów	<ul style="list-style-type: none"> <li>pojedynczy budynek mieszkalny,</li> <li>droga szybkiego ruchu S6 oraz drogi dojazdowe,</li> <li>zanieczyszczenia z obszarów leśnych</li> </ul>
3	Za zbiornikiem retencyjnym nr 11	skrzyżowanie ulic Bytowskiej i Kwietnej, za mostem	<ul style="list-style-type: none"> <li>ogródki działkowe,</li> <li>stawy rybne</li> </ul>
4	Dopływ do zbiornika nr 8	przed Stawem Młyńskim przy ulicy Spacerowej	<ul style="list-style-type: none"> <li>istniejące drogi i ulice,</li> <li>nieruchomości mieszkalne,</li> <li>Miejski Ogród Zoologiczny.</li> </ul>
5	Przymorze Małe	obszar parkowy przy ulicy Rzepichy	<ul style="list-style-type: none"> <li>drogi i ulice,</li> <li>liczne nieruchomości mieszkalne,</li> <li>ekskrementy zwierzęce z terenów parkowych,</li> <li>Park Oliwski z zanieczyszczeniami antropogennymi.</li> </ul>
6	Ujście	przed plażą w Jelitkowie, przy ulicy Jantarowej	<ul style="list-style-type: none"> <li>drogi,</li> <li>nieruchomości mieszkalne,</li> <li>zanieczyszczenia wynikające z działalności człowieka,</li> <li>ekskrementy zwierzęce.</li> </ul>



Rys. 1. Lokalizacja punktów poboru próbek na Mapie Wody Gdańska

Fig. 1. Six representative points were taken the samples

i brzegu. Próbkę pobrano do butelek o objętości  $1 \text{ dm}^3$  i transportowano w warunkach chłodniczych w celu zbadania właściwości fizyczno-chemicznych wód. Analiza azotu amonowego, azotanów (III) i (V) wykonana była natychmiast po przetransportowaniu próbek do laboratorium, bez konserwacji próbek.

Oznaczenia azotu amonowego wykonano zgodnie z Normą ISO 7150-1 oraz DIN 38406 E5-1), azotanów (III): Normą EN ISO 26777, DIN 38405 D10, azotanów (V): Normą EN 38405 D-2). Stężenia zbadano z zastosowaniem testów kuwetowych LCK Hach i wykorzystaniem spektrofotometru VIS DR3900 Hach.

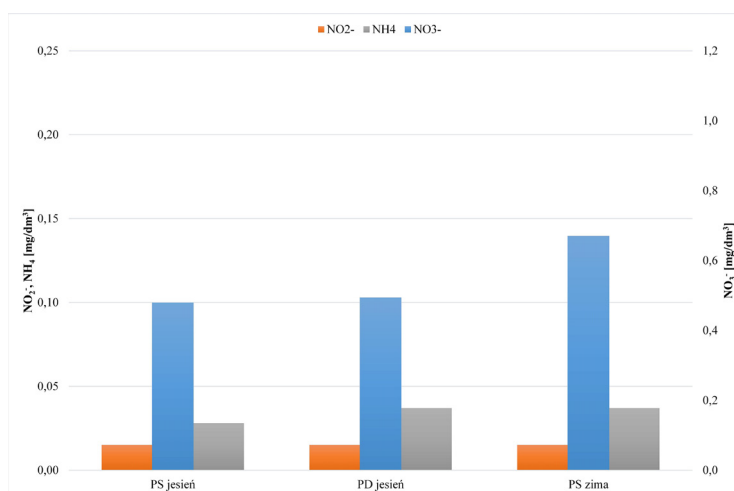
## WYNIKI I DISKUSJA

Stężenia związków azotu w punktach 1–6 Potoku Oliwskiego analizowane od maja 2016 r. do stycznia 2017 r. przedstawiono na rysunkach 2–7. Oznaczenia zastosowane na wykresach: ON – opad nawałny, PS – pogoda sucha, PD – pogoda deszczowa.

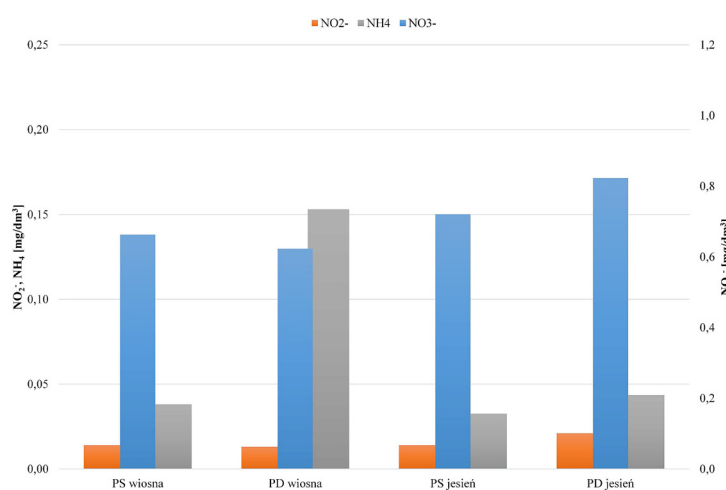
Stężenia azotu amonowego w kolejnych punktach wzdłuż Potoku Oliwskiego zmieniały się w granicach  $0,011\text{--}0,500 \text{ mg/dm}^3$ , stężenia azotanów (III) w zakresie  $0,005\text{--}0,107 \text{ mg/dm}^3$  i azotanów (V) w granicach  $1,37\text{--}2,29 \text{ mg/dm}^3$ . Najwyższe stężenie azotu amonowego odnotowano w próbce wiosennej w punkcie 4, azotanów (III) i (V) w próbkach pobranych podczas letniego opadu nawałnego. W dalszych analizach wartości maksymalne wszystkich analizowanych parametrów wyznaczone dla opadu nawałnego nie były uwzględniane, gdyż nie są to wyniki reprezentatywne. W celu porównania wyników z wartościami podanymi w literaturze obliczono średnie wartości w badanych punktach dla całego roku (z pominięciem lipca).

Interpretację wyników badań wykonano poprzez sprawdzenie charakterystycznych elementów dla każdego z punktów. Analizując wyróżniające się wyniki oraz fragmenty zlewni, z których opad dopływa do punktów pomiarowych podjęto próbę wyjaśnienia uzyskanych wyników badań.

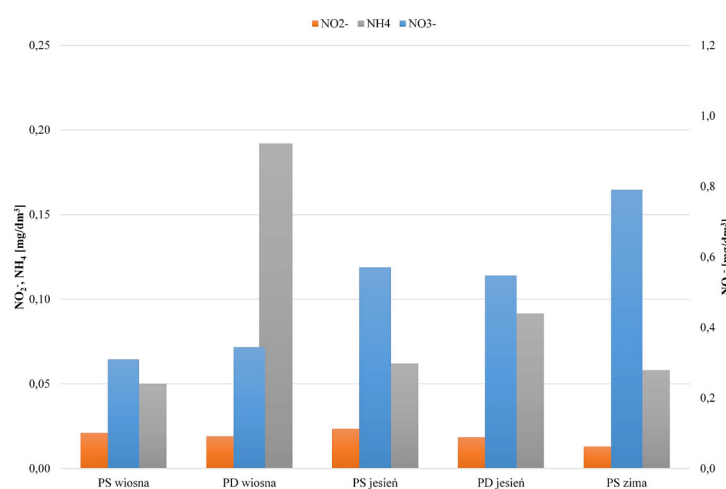
W punkcie pierwszym stężenia azotu amonowego kształtowały się na najniższym poziomie,



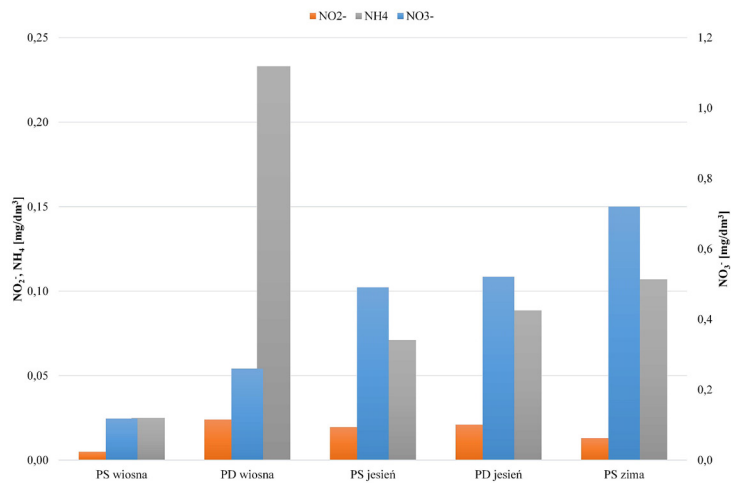
Rys. 2. Stężenie związków azotu w punkcie 1 Potoku Oliwskiego  
Fig. 2. Nitrate concentration in sampling points 1.



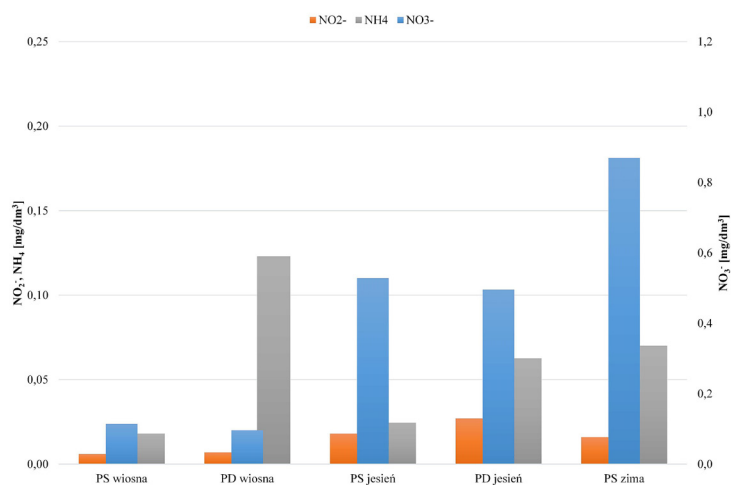
Rys. 3. Stężenie związków azotu w punkcie 2 Potoku Oliwskiego  
Fig. 3. Nitrate concentration in sampling points 2.



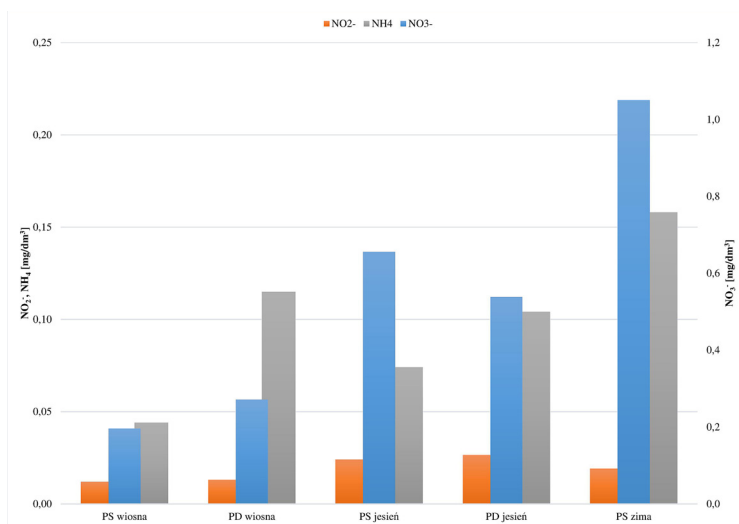
Rys. 4. Stężenie związków azotu w punkcie 3 Potoku Oliwskiego  
Fig. 4. Nitrate concentration in sampling points 3.



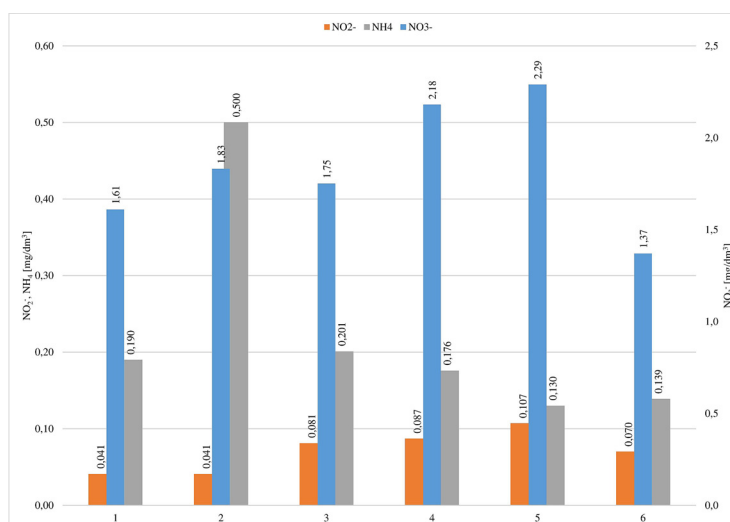
Rys. 5. Stężenie związków azotu w punkcie 4 Potoku Oliwskiego  
Fig. 5. Nitrate concentration in sampling points 4.



Rys. 6. Stężenie związków azotu w punkcie 5 Potoku Oliwskiego  
Fig. 6. Nitrate concentration in sampling points 5.



Rys. 7. Stężenie związków azotu w punkcie 6 Potoku Oliwskiego  
Fig. 7. Nitrate concentration in sampling points 6.



Rys. 8. Stężenie związków azotu po opadzie nawałnym w lipcu 2016 r.  
 Fig. 8. Nitrate concentration after the flood in July 2016.

co jest wynikiem braku dopływu jonów amonowych w górnym biegu Potoku (odcinek w Trójmiejskim Parku Krajobrazowym). Wartość ta może stanowić poziom odniesienia dla pozostałych punktów

W punkcie drugim stężenie azotanów (V) jest wysokie w porównaniu do pozostałych punktów, szczególnie pod koniec jesieni. Wpływ na to może mieć spływ powierzchniowy z pobliskiej nieruchomości. Wzrost azotu amonowego wiosną przy pogodzie deszczowej w punkcie trzecim uzasadnić można nawozami mineralnymi z azotem w tej formie, gdyż punkt ten znajduje się poniżej ogródków działkowych. W punkcie czwartym najbardziej charakterystyczna wartość to stężenie azotu amonowego podczas pogody deszczowej wiosną, która przewyższa wartość dla opadu nawałnego, jednak nie jest to stężenie przekraczające granicę I klasy czystości.

Stężenia związków azotu w punkcie piątym są niższe niż w pozostałych punktach, co wynikać może z samooczyszczania (między punktem 4 i 5 znajdują się cztery zbiorniki retencyjne). Koncen-

tracja w punkcie ujściowym – szóstym – wszystkich analizowanych związków jest wyższa niż w poprzednim, co wynika najprawdopodobniej z licznych zrzutów ścieków deszczowych oraz większego zanieczyszczenia odchodami zwierząt w bezpośrednim sąsiedztwie plaży.

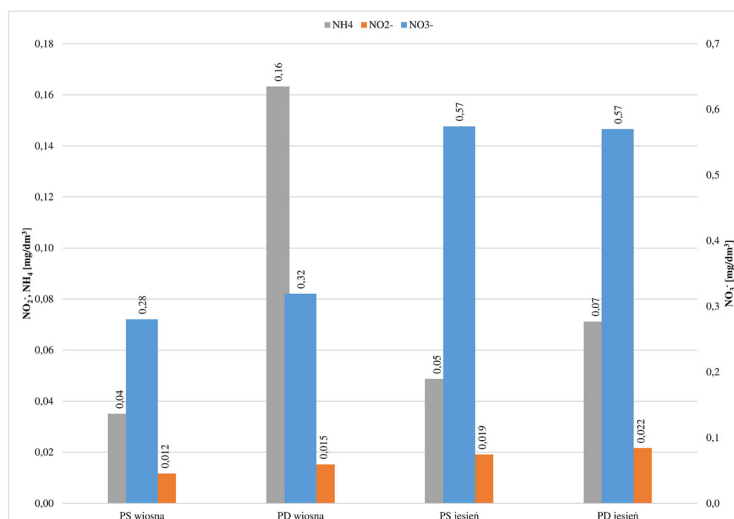
Uwzględniając średni przepływ wody w Potoku Oliwskim równy 0,3 m<sup>3</sup>/s oraz średnie stężenia związków azotu w analizowanych punktach wyznaczono roczny ładunek zanieczyszczeń wprowadzany do Zatoki Gdańskiej wraz z wodami Potoku Oliwskiego. Jest to 0,9 t/rok azotu amonowego, 0,2 t/rok azotanów (III) i 4,5 t/rok azotanów (V). Na podstawie danych publikowanych na stronie internetowej satbaltyk [2015], można stwierdzić, że stężenie azotanów (V) w Zatoce w rejonie ujścia Potoku Oliwskiego oscyluje w granicach 0,5–0,7 mg/dm<sup>3</sup>, a więc jest to wartość wyższa niż średnia roczna dla Potoku Oliwskiego (równa 0,48 mg/dm<sup>3</sup>), wyznaczona na podstawie przeprowadzonych analiz.

W tabeli 2 zestawiono klasyfikację wód w kolejnych punktach, z wyodrębnieniem anali-

Tabela 2. Klasyfikacja wód zgodnie z Rozporządzeniem [2016] (ON – opad nawałny, POZ. – pozostałe wartości stężenia, I – I klasa, II – II klasa, BK – nie określono klasy, przekroczona wartość graniczna II klasy)

Table 2. Classification of water compared with Regulation [2016] (ON – torrential rainfall, POZ. – Other values, I – Class I, II – II class, BK – not specified class, increased the limit value class II)

Wskaźnik	1		2		3		4		5		6	
	ON	POZ.	ON	POZ.	ON	POZ.	ON	POZ.	ON	POZ.	ON	POZ.
NH <sub>4</sub>	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	BK	II	BK	II	BK	BK	BK	II	BK	II	BK	II
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	I	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I



Rys. 9. Wartości średnie stężenia związków azotu w Potoku Oliwskim wiosną i jesienią 2016 r.

Fig. 9. Average concentrations of nitrogen compounds in the spring and autumn of 2016 in the Oliwa Stream

zy w czasie wystąpienia opadu nawałnego (ON) i w pozostałych badanych próbach (POZ.) zgodnie z obowiązującym Rozporządzeniem [2016]. Na szaro zaznaczono wskaźniki jakości wód przekraczające wartości graniczne dla I klasy czystości. Podkreślenia wymaga deklasacja potoku wynikająca z podwyższonych wartości azotanów (III) dla wszystkich analizowanych punktów we wszystkich próbach. Wartości te są niepokojące, a ich źródłem mogą być ekskrementy w szczególności rybie i ptasie, niewykluczone są również nielegalne zrzuty ścieków bytowych dopływające wraz z wodami opadowymi.

Analizując stężenia związków azotu wykonano obliczenia uśrednionych wartości parametrów w Potoku Oliwskim w pogodzie suchej (PS) oraz pogodzie deszczowej (PD) wiosną i jesienią. Wyniki przedstawia rysunek 9.

Średnie stężenie azotu amonowego podczas pogody suchej zarówno wiosną i jesienią było na podobnym poziomie. Natomiast podczas pogody deszczowej średnie stężenie NH<sub>4</sub> wzrosło aż czterokrotnie wiosną, zaś jesienią – o 40%. Stężenie azotanów (III) zmieniało się w mniejszym zakresie, wzrost wywołany opadem wiosną wynosił 25% wartości dla pogody suchej, podczas gdy jesienią średnie stężenie podczas pogody deszczowej było o 15% wyższe niż podczas pogody suchej. Wahań średnich wartości stężenia azotanów (V) są zdecydowanie najmniejsze, gdyż wiosną jest to 14%, natomiast jesienią wartości średnie dla pogody suchej i pogody deszczowej są sobie równe.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Analiza związków azotu jest istotna nie tylko w zlewniach rolniczych, gdzie głównym źródłem są nawozy, ale również na obszarach miejskich. Istotne jest zbadanie ilości związków azotu wprowadzonych do Zatoki Gdańskiej i ich ograniczenie ze względu na eutrofizację. Analizy zaprezentowane w pracy wskazują na utrzymujące się przekroczenie granicznej wartości azotanów (III) dla zdefiniowanych klas czystości. Dopływ ścieków opadowych wiosną niesie ze sobą większe stężenia zanieczyszczeń w odniesieniu do wszystkich analizowanych form azotu.

Stężenia azotu amonowego i azotanów (III) zmieniają się wzdłuż Potoku Oliwskiego w podobnej tendencji, w górnym odcinku dopływy tych związków są niższe, rosną wraz z zwiększającym się sypływem z obszarów silnie zurbanizowanych, ulegają obniżeniu przy przepływie przez liczne zbiorniki retencyjne, a przy ujściu ponownie rosną.

Porównując wyniki przeprowadzonych badań do wyników dla rzeki Ślina (Kiryluk, Rauba [2009]), w zlewni rolniczej łatwo zauważyć zdecydowanie niższe stężenia wszystkich związków azotu. Natomiast w odniesieniu do wyników dla Rzeszowa (Koszelnik [2007]) wartości te oscylują w podobnych zakresach, jednak maksymalne wartości dla Gdańska są niższe.

Wody Potoku Oliwskiego nie należą do silnie zanieczyszczonych. Jednym parametrem pogorszającym klasyfikację są azotany (III), jednak związki te są formami przejściowymi w przemia-

nie jonów amonowych w azotany (V). Dopiero opad nawalny, którego konsekwencją było zwiększenie spływu powierzchniowego oraz wylanie Potoku poza koryto, spowodował przekroczenie przez pozostałe parametry I klasy czystości w pojedynczych punktach.

## LITERATURA

1. Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (Dz.U.UE L z dnia 31 grudnia 1991 r.).
2. European Environment Agency, Imperviousness and imperviousness change (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/imperviousness-change/assessment>) pobrano 12.02.2017.
3. [http://www.satbaltyk.pl/sb\\_product/substancje-biogeniczne/azotany-model-3d-cembs/](http://www.satbaltyk.pl/sb_product/substancje-biogeniczne/azotany-model-3d-cembs/), 2015.
4. Ilnicki P. 2002. Przyczyny źródła i przebieg eutrofizacji wód powierzchniowych. Przegląd Komunalny. 2, 125, 35–49.
5. Jaromin-Gleń K.M., Widomski M. K., Łagód G., Mazurek W. 2012. Stężenia zanieczyszczeń w ściekach deszczowych dla wybranej zlewni miasta Lublin. Proceedings od ECOpole, vol. 6, No. 2, 725–730.
6. Jaskuła J., Wichler-Dysarz J., Sojska M., Dysarz T. 2016. Ocena zmian zawartości związków biogenych w wodach rzeki Ner. Inżynieria Ekologiczna, 46, 2, 31–37.
7. Kiryluk A., Rauba M. 2009. Zmienność stężenia związków azotu w różnie użytkowanej zlewni rolniczej rzeki Ślina. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 9, z. 4 (28), 71–86.
8. Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej 2002. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
9. Koszelnik P. 2007. Atmospheric deposition as a source of nitrogen and phosphorus loads into the Rzeszów reservoir SE Poland. Environment Protection Engineering, vol. 33, No. 2, 157–164.
10. Ociepa E., Kisiel A., Lach J. 2010. Zanieczyszczenia wód opadowych spływających do systemów kanalizacyjnych. Proceedings od ECOpole, vol. 4, No. 2, 465–469.
11. 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).
12. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego jednolitych części wód powierzchniowych (Dz.U. 2011 nr 258 poz. 1549).
13. Sapek A. 2010. Rolnictwo polskie a ochrona jakości wody, zwłaszcza wody Bałtyku. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. 10, 1(29), 175–200.
14. Sojka M., Murat-Błażejewska S., Kanclerz J. 2008. Wymywanie związków azotu i fosforu ze zlewni rolniczej w zróżnicowanych okresach hydrometeorologicznych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 526, 443–450.
15. Urząd Statystyczny w Gdańsku (USwG). Ochrona środowiska w województwie pomorskim w latach 2011–2015. 2016. 54–62.
16. Wiśniowska-Kielian B., Niemiec M. 2006. Ocena zawartości azotanów w wodach rzeki Dunajec. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłowska Lublin – Polonia, Setio E, vol. LXI, 147–156.