

Agnieszka Cupak, Stanisław Krzanowski

**ELIMINACJA ZWIĄZKÓW AZOTU Z BIOLOGICZNIE
OCZYSZCZONYCH ŚCIEKÓW KOMUNALNYCH
W STAWACH RYBNYCH**

***ELIMINATION OF NITROGEN COMPOUNDS
FROM BIOLOGICALLY TREATED MUNICIPAL SEWAGE
IN FISH PONDS***

Streszczenie

Artykuł zawiera wyniki badań nad zawartością związków azotu w wodzie stawów rybnych zasilanych biologicznie oczyszczonymi ściekami komunalnymi. Obiekt badań stanowiły stawy rybne kompleksu Komorowice, zlokalizowane w północnej części miasta Bielsko-Biała. Do badań wybrano dwa stawy: Zielony i Kamienny, które charakteryzują się indywidualnym doprowadzeniem i odprowadzeniem wody oraz różnymi parametrami technicznymi. Staw Zielony jest stawem płytkim o głębokości średniej około 1 m, powierzchni 4,2 ha i pojemności 42 000 m³. Natomiast staw Kamienny charakteryzuje się mniejszą powierzchnią – 3,3 ha, i jest blisko dwukrotnie głębszy od Zielonego, średnia głębokość wynosi około 1,7 m co daje pojemność 59 200 m³. Badania prowadzono w sezonie wegetacyjnym 2007 roku.

W pracy określono zmiany koncentracji azotu ogólnego, amonowego, azotanowego, azotynowego i Kjeldahla w wodzie stawowej. W trakcie całego sezonu badawczego notowano niższe w porównaniu ze ściekami biologicznie oczyszczonymi wartości analizowanych form azotu w wodzie odpływającej z badanych stawów. Równocześnie zaobserwowano, iż występowanie zmian w koncentracji związków azotu w wodzie stawowej związane było ze zmianami ich stężenia w ściekach zasilających stawy. Dodatkowo, obliczono podstawowe charakterystyki statystyczne analizowanych wskaźników tj.: wartość średnią, minimalną, maksymalną, odchylenie standardowe, rozstęp i wariancję w biologicznie oczyszczonych ściekach komunalnych zasilających stawy. Za pomocą testu t-Studenta określono istotność różnic pomiędzy wartościami średnimi w biologicznie oczyszczonych ściekach i w wodzie odpływającej z analizowanych stawów. Wykazano

istotne statystycznie różnice dla: azotu ogólnego, amonowego, azotanowego i azotynowego na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Słowa kluczowe: biologicznie oczyszczone ścieki, związki azotu, staw rybny

Summary

The article contains results of an investigation about nitrogen compounds in water of fish ponds fertilized with biologically treated municipal sewage. The object was fish ponds of "Komorowice" complex, which are located in north part of Bielsko-Biala city. Two ponds were chosen to investigation: Green and Stone, which are characterized with an individual inflow and outflow of water and different technical parameters. Green pond is a shallow pond with an average depth about 1m, its surface about 4,2 ha, and a water capacity – 42 000 m³. Instead Stone pond is characterized with a smaller surface – 3,3 ha and is almost two times deeper than Green pond, its average depth about 1,7m, which gives water capacity 59 200 m³. Researches were conducted in vegetative season in 2007.

In paper were qualify changes of total, ammonium, nitrite, nitrate and Kjeldahl nitrogen concentration. During of whole investigative season were observed lower against to biologically treated sewage values of analyzed nitrogen form in water outflow of ponds. During that time were observed that occurrence changes in concentration of analyzed nitrogen compounds in pond's water were related with changes of its concentration in sewage, which fertilized ponds. Additionally, were calculate basic statistical parameters of analyzed indicators such as: an average, minimum, maximum values, standard deviation, an interval and variance in biologically treated municipal sewage fertilized fish ponds. With use of t-Student test were qualify importance of differences between an average values in biologically treated municipal sewage fertilized ponds and in outflow water of ponds. Statistical importance were following indicators: total, ammonium, nitrite and nitrate nitrogen at importance level $\alpha = 0,05$.

Key words: biologically treated sewage, an nitrogen compounds, fish pond

WSTĘP

Pogarszający się stan czystości wód powierzchniowych zmusza z jednej strony do identyfikacji źródeł zanieczyszczeń, a z drugiej – do poszukiwania prostych i skutecznych sposobów poprawy czystości tych wód [Kosturkiewicz i in. 1992]. Eksploatowane konwencjonalne oczyszczalnie mechaniczno-biologiczne w pewnym stopniu zmniejszają ładunek związków organicznych w ściekach poddawanych oczyszczaniu, lecz nie likwidują związków biogenych (azotowych i fosforowych), które wywołują proces eutrofizacji w wodach odbiorników ścieków oczyszczonych [Szymańska 1992]. Oczyszczone biologicznie ścieki komunalne, pod względem zawartości materii organicznej i zawiesin można zaliczyć do pierwszej klasy czystości, natomiast ze względu na wysoką zawartość związków biogenych nie odpowiadają one tej klasyfikacji

[Kolasa-Jamińska i in. 2005]. Zaostrzające się kryteria dotyczące wielkości koncentracji biogenów odprowadzanych z oczyszczalni do wód powierzchniowych powodują poszukiwanie metod eliminacji tych pierwiastków w odprowadzanych ściekach [Lewkowicz i in. 2005]. Stosowane chemiczne metody eliminacji nutrientów z oczyszczonych już ścieków są kosztowne. Tańszym sposobem skutecznej eliminacji tych zanieczyszczeń z biologicznie oczyszczonych ścieków jest naturalne środowisko tlenowo-wodne. Według Szulkowskiej-Wojacek i Marka [1988], to właśnie stawy rybne z racji zachodzących w nich procesów fizykochemicznych i biologicznych obok funkcji produkcyjnej mogą spełniać również funkcję oczyszczalni naturalnych [Polak, Krzanowski 1973; Kosturkiewicz, Murat 1993; Kosturkiewicz i in. 1993; Tórz, Raczyńska 2002; Bieniarz i in. 2003].

Celem pracy było określenie wpływu stawów rybnych zasilanych biologicznie oczyszczonymi ściekami komunalnymi na zmniejszenie koncentracji związków azotu w wodzie na odpływie ze stawów.

METODYKA BADAŃ

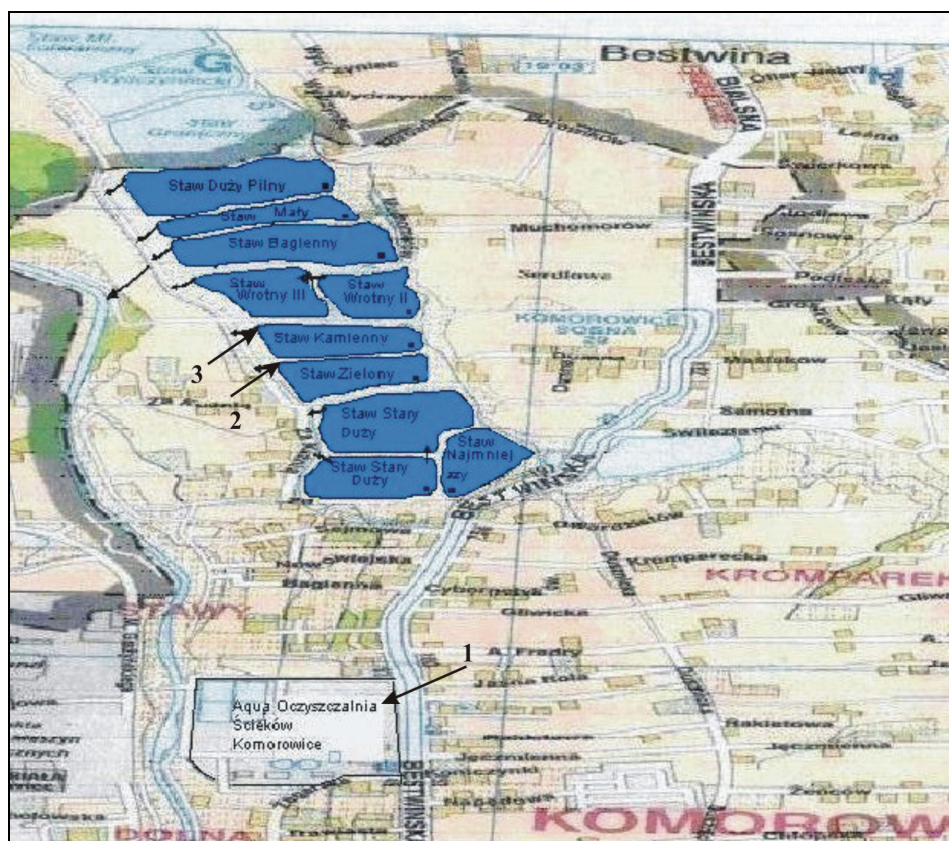
Do badań wybrano kompleks stawowy „Komorowice” położony w północnej części miasta Bielsko-Biała, składający się z 10 stawów o łącznej powierzchni 43,68 ha. Stawy zasilane są ściekami komunalnymi po oczyszczeniu mechaniczno-biologicznym z wykorzystaniem metody osadu czynnego. Kompleks „Komorowice” położony jest w dolinie rzeki Białej na granicy nasunięcia fliszowych utworów karpaccich na zapadlisko podkarpackie. Starsze podłoże fliszowe skraju nasunięcia zbudowane jest z naprzemiennych warstw marglisto-ilastych z wkładkami piaskowców. Utwory te, ku górze przechodzą w zwietrzelinę stanowiącą gliny pylaste zwięzłe oraz łą. Nad zwietrzelinami zalegają czwartorzędowe osady rzeczne związane z akumulacyjną działalnością rzeki Białej. Stanowią je głównie utwory piaszczysto-madowe wykształcone jako żwiry piaszczyste z otoczkami zaglinionymi. Na powierzchni występują napływowe grunty nieprzepuszczalne w postaci glin zwięzłych i ilów [Operat... 2004].

Woda ze stawów odprowadzana jest do rzeki Białej. Do badań wybrano dwa stawy – Zielony i Kamienny (rys. 1) posiadające indywidualne doprowadzenie i odprowadzenie wody. Staw Zielony jest stawem płytkim o średniej głębokości około 1 m i posiada powierzchnię 4,2 ha oraz pojemność – 42 000 m³. Staw Kamienny posiada powierzchnię – 3,3 ha, średnią głębokość około 1,7 m, przez co jego pojemność jest większa o blisko 41% od pojemności stawu Zielonego i wynosi 59 200 m³.

Na kompleksie stawowym Komorowice, gospodarka rybacka prowadzona była od początku ich istnienia. Obecnie, pobór wody do ich zasilania, odprowadzanie wód zużytych oraz rolnicze wykorzystanie ścieków do zasilania stawów z hodowlą ryb są usankcjonowane prawnie i prowadzone zgodnie z decyzją Pre-

zydenta Miasta Bielsko-Biała. Ponadto, na przedmiotowym kompleksie decyzją Wojewody Śląskiego został ustanowiony obręb hodowlany, który usytuowany jest w dorzeczu i w obwodzie nr 7 rzeki Wisły [Operat... 2004].

Zgodnie z pozwoleniem wodno-prawnym [2004], dopuszczalna ilość biologicznie oczyszczonych ścieków doprowadzanych na kompleks stawowy w sezonie wegetacyjnym (od kwietnia do listopada) wynosi $30 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, natomiast w pozostałym okresie $12 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Gatunkiem podstawowym dla gospodarki rybackiej kompleksu Komorowice jest karp, a kategorią wielkościową kroczek (K_2).



Rysunek 1. Usytuowanie miejsc poboru próbek w badanych stawach kompleksu Komorowice: 1 – wylot biologicznie oczyszczonych ścieków do stawów, 2 – staw Zielony, 3 – staw Kamienny [Plan miasta... 2004]

Figure 1. Location of samples of water collection position in analyzed ponds of Komorowice complex: 1 – outflow of biologically treated sewage into the ponds, 2 – Zielony pond, 3 – Kamienny pond

Okres badawczy obejmował sezon wegetacyjny 2007 roku. Próbkę do badań pobierano z częstotliwością trzy razy w miesiącu w ustalonych punktach pomiarowych (rys. 1). Redukcję stężeń badanych związków azotu określono, biorąc pod uwagę średnią ich koncentrację w ściekach biologicznie oczyszczonych zasilających kompleks stawowy oraz koncentrację w wodzie odpływającej z badanych stawów.

WYNIKI BADAŃ

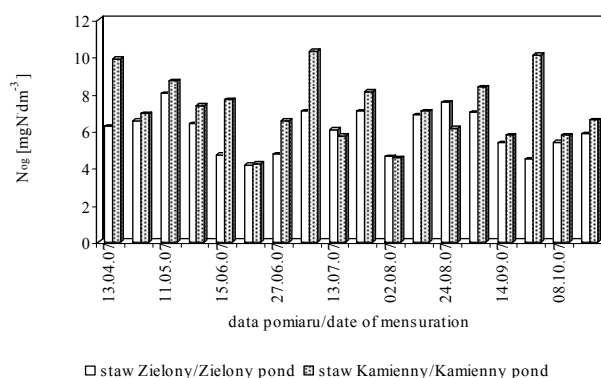
Podstawowe charakterystyki statystyczne stężeń związków azotu dopływających do stawów wraz z oczyszczonymi ściekami komunalnymi zestawiono w tabeli 1. W czasie prowadzonych badań, ścieki komunalne z miasta Bielsko-Biała oczyszczone w konwencjonalnej oczyszczalni mechaniczno-biologicznej pod względem zawartości azotu ogólnego w większości nie spełniały obowiązującej normy – $10 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ (z wyjątkiem 18.10.2007, kiedy odnotowano stężenie $8,88 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$) określonej Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.

Tabela 1. Podstawowe parametry statystyczne koncentracji związków azotu w biologicznie oczyszczonych ściekach komunalnych zasilających stawy rybne
Table 1. Basic statistical parameters of nitrogen compounds concentration in fish ponds fertilized with biologically treated municipal sewage

Parametr/ Parameter	Jednostka / an unit	Liczebność danych/ number of data	Średnia/ an average	Minimum/ a minimum	Maksimum/ a maximum	Rozstęp/ an interval	Wariancja/ a variance	Odc. stand./ Standard deviation
$N_{\text{og}}/N_{\text{tot}}$	$\text{mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$	18	14,72	8,88	23,00	14,12	9,42	3,07
N_{NH_4}	$\text{mgN}_{\text{NH}_4} \cdot \text{dm}^{-3}$	18	3,09	0,20	8,64	8,44	6,07	2,46
$N_{\text{Kjeldahla}}$	$\text{mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$	18	5,27	1,58	12,40	10,82	12,35	3,51
N_{NO_3}	$\text{mgN}_{\text{NO}_3} \cdot \text{dm}^{-3}$	18	9,05	3,02	16,50	13,48	14,19	3,77
N_{NO_2}	$\text{mgN}_{\text{NO}_2} \cdot \text{dm}^{-3}$	18	0,40	0,10	1,06	0,96	0,05	0,22

Przebieg zmian azotu ogólnego w wodzie analizowanych stawów przedstawiono na rysunku 2. Wartości wskaźnika w wodzie odpływającej z badanych stawów charakteryzowały się niższymi koncentracjami w stosunku do dopływających oczyszczonych ścieków komunalnych. Najwyższe, zaobserwowane stężenie wynoszące $10,31 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ zanotowano w stawie Kamienny w połowie

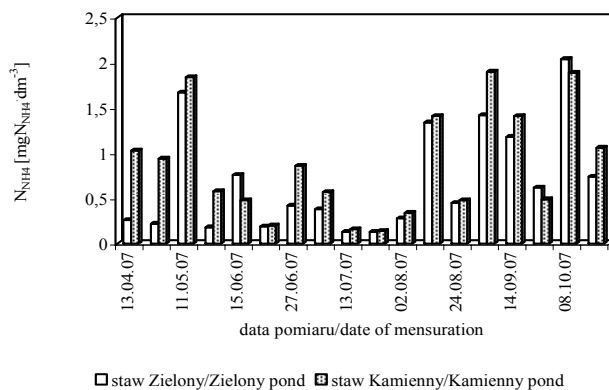
sezonu wegetacyjnego 2007 (05.07.2007 r.). W tym czasie zaobserwowano także wysoką koncentrację tego wskaźnika w wodach ściekowych dopływających do stawów. Średnia wartość azotu ogólnego w stawie Kamienny wyniosła $7,21 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$, natomiast w Zielonym – $6,00 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$. Średnia redukcja tego wskaźnika w badanym okresie wyniosła 59% w stawie Zielony i 51% w stawie Kamienny.



Rysunek 2. Zmiany stężenia azotu ogólnego w badanych stawach kompleksu Komorowice
Figure 2. Changes of total nitrogen concentration in analyzed ponds of Komorowice complex

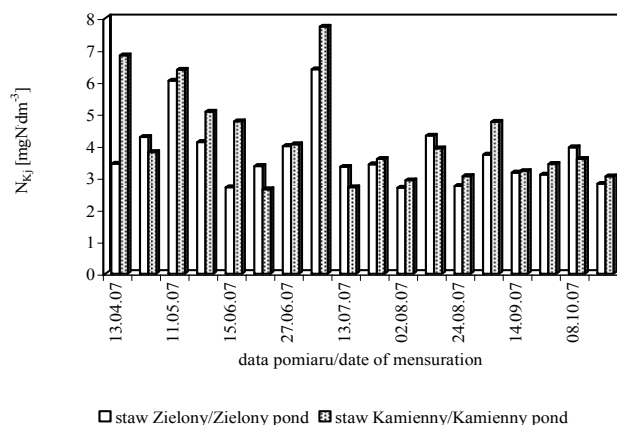
Zawartość azotu amonowego w badanych punktach kontrolno-pomiarowych (rys. 3) była niższa niż w dopływających ściekach. W badanych stawach wyższe wartości wskaźnika obserwowano w stawie Kamienny w stosunku do Zielonego. Podobnie jak w przypadku azotu ogólnego zauważono, że wyższa koncentracja azotu amonowego w biologicznie oczyszczonych ściekach zasilających stawy wpływała na jego wyższe wartości w wodzie z nich odpływającej. W przypadku tej formy azotu zanotowano wysoką redukcję wskaźnika w obu stawach, która wyniosła około 75%.

Przebieg zawartości azotu Kjeldahla w wodzie odpływającej z analizowanych stawów przedstawiono na rysunku 4. Maksymalne stężenia wskaźnika w wodzie badanych stawów przypadły na początek sezonu 2007, na co wpłynęły zaobserwowane w tym samym czasie wysokie stężenia tej formy azotu w ściekach doprowadzanych do stawów. Maksymalną koncentrację rozpatrywanego wskaźnika stwierdzono w stawie Kamienny (około $7 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$), a minimalną w stawie Zielony – około $2,5 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$. Redukcja azotu Kjeldahla wyniosła około 20% w stawie Kamienny oraz 28% w stawie Zielony.



Rysunek 3. Zmiany stężenia azotu amonowego w badanych stawach kompleksu Komorowice

Figure 3. Changes of ammonium nitrogen concentration in analyzed ponds of Komorowice complex

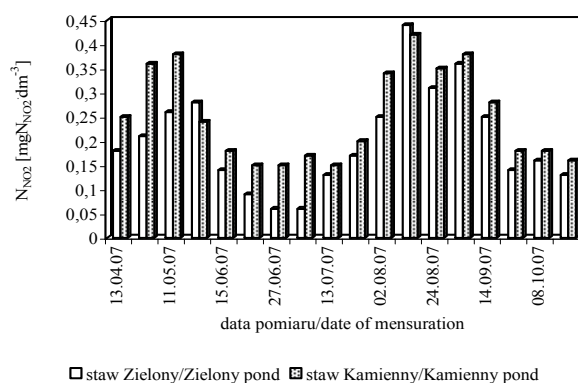


Rysunek 4. Zmiany stężenia azotu Kjeldahla w badanych stawach kompleksu Komorowice

Figure 4. Changes of Kjeldahl nitrogen concentration in analyzed ponds of Komorowice complex

Na rysunku 5 zilustrowano przebieg zmian stężenia azotu azotynowego w analizowanych stawach. Na podstawie wykresu można stwierdzić występowanie dwóch okresów z podwyższonymi stężeniami tego wskaźnika (IV–V i VIII–IX). Maksymalna jego koncentracja wystąpiła w sierpniu 2007 r. Również w przypadku azotu azotynowego zaobserwowano zależność jego stężenia

w odpływie ze stawów od stężenia w wodzie ściekowej zasilającej stawy. Wyższym stężeniom wskaźnika w wodzie stawowej odpowiadały wyższe stężenie w wodzie ściekowej zasilającej kompleks. Wysoką redukcję azotu azotanowego zanotowano w stawie Zielony – 50%, która związana jest z zaobserwowanym wysokim natlenieniem wody przyczyniającym się do lepszego przebiegu procesu nitryfikacji.



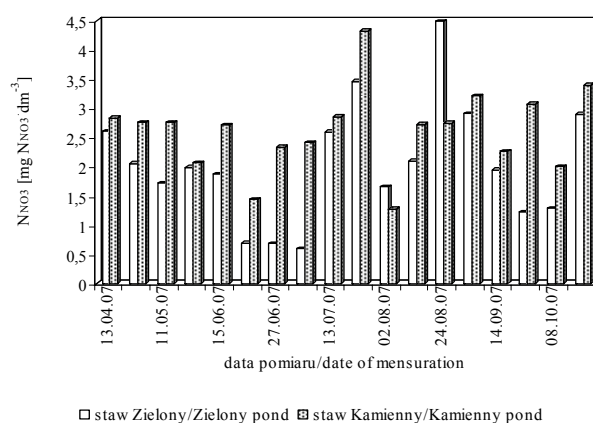
Rysunek 5. Zmiany stężenia azotu azotanowego w badanych stawach kompleksu Komorowice
Figure 5. Changes of nitrite nitrogen concentration in analyzed ponds of Komorowice complex

Przebieg zmian koncentracji azotu azotanowego zilustrowano na rysunku 6. Analizując wykres, można zaobserwować dużą zmienność wskaźnika w badanym okresie. Maksymalne stężenie – 4,49 mg N_{NO3}·dm⁻³ zaobserwowano w stawie Zielony pod koniec sierpnia. Również minimalna koncentracja wskaźnika – 0,60 mg N_{NO3}·dm⁻³ wystąpiła w stawie Zielony w pierwszej połowie sezonu wegetacyjnego (początek lipca).

Redukcja tej formy azotu w stawach wyniosła od 71% w stawie Kamienny do 78% w stawie Zielony. Wysokie wartości redukcji azotu azotanowego związane są z zaobserwowanym, dobrym natlenieniem wody stawowej.

Dla biologicznie oczyszczonych ścieków komunalnych oraz wody stawowej określono statystyczną istotność różnic pomiędzy wartościami średnimi analizowanych wskaźników zanieczyszczeń za pomocą testu t-Studenta na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Istotnie statystycznie różnice okazały się dla: azotu ogólnego, amonowego, azotynowego i azotanowego (tab. 2). Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że stawy rybne, do których doprowadzane są biologicznie oczyszczone ścieki komunalne wpływają na zmniejszenie koncen-

tracji związków azotu w wodzie. W przypadku analizowanych wskaźników średnia wartość ich koncentracji była niższa w wodzie stawowej w stosunku do zasilających je wód ściekowych.



Rysunek 6. Zmiany stężenia azotu azotanowego w badanych stawach kompleksu Komorowice
Figure 6. Changes of nitrate nitrogen concentration in analyzed ponds of Komorowice complex

Tabela 2. Wyniki testu t-Studenta dla uzyskanych różnic pomiędzy wartościami średnimi dla związków azotu w biologicznie oczyszczonych ściekach komunalnych i w stawie Zielony i Kamienny

Table 2. Results of t-Student test for differences between the mean concentrations of the nitrogen compounds in biologically treated municipal sewage and in Zielony and Kamienny pond

Parametr/ Parameter	Badany staw/ analyzed pond	t	p
Azot ogólny/ Total nitrogen	Staw Zielony	-10,69*	0,000*
	Staw Kamienny	-8,57*	0,000*
Azot amonowy/ Ammonium nitrogen	Staw Zielony	-3,93*	0,00039*
	Staw Kamienny	-3,63*	0,00093*
Azot Kjeldahla/ Kjeldahl nitrogen	Staw Zielony	-1,69	0,099
	Staw Kamienny	-1,16	0,25
Azot azotanowy/ Nitrate nitrogen	Staw Zielony	-7,12*	0,000*
	Staw Kamienny	-6,64*	0,000*
Azot azotynowy/ Nitrite nitrogen	Staw Zielony	-3,69*	0,00076*
	Staw Kamienny	-2,83*	0,0077*

*wartości istotne statystycznie

WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały, że ścieki komunalne oczyszczone biologicznie z wykorzystaniem metody osadu czynnego charakteryzują się stężeniem azotu ogólnego przekraczającym wartość dopuszczalną – 10 mg N·dm⁻³. W okresie prowadzonych badań stężenie azotu ogólnego w wodzie ściekowej w ponad 94% analizowanych terminów pomiarowych nie spełniało wartości dopuszczalnej podanej w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku [Dz.U. Nr 137, Poz. 984].

Uzyskane w sezonie wegetacyjnym 2007 wyniki badań nad zawartością związków azotu w biologicznie oczyszczonych ściekach komunalnych oraz w wodzie stawowej wykazały, że stawy z hodowlą ryb zasilane biologicznie oczyszczonymi ściekami komunalnymi wpływają na zmniejszenie koncentracji analizowanych wskaźników zanieczyszczeń zawartych w doprowadzonych ściekach.

Na podstawie wyników uzyskanych z przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. W okresie całego sezonu badawczego obserwowano niższe koncentracje badanych form azotu w wodzie odpływającej ze stawów Zielony i Kamienny w porównaniu do zasilających je biologicznie oczyszczonych ścieków.

2. Zaobserwowano zależność pomiędzy wielkością stężenia związków azotu w wodach zasilających stawy a stężeniami w wodzie odpływającej ze stawów. Wyższym koncentracjom wskaźnika w ściekach zasilających stawy towarzyszyły wyższe stężenia w wodzie odpływającej ze stawów.

3. Statystyczna analiza uzyskanych wyników wykonana za pomocą testu t-Studenta potwierdziła istotny wpływ stawów na zmniejszenie koncentracji analizowanych związków azotu (ogólnego, amonowego, azotanowego i azotynowego) z biologicznie oczyszczonych ścieków.

BIBLIOGRAFIA

- Bieniarz K., Kownacki A., Epler P. *Biologia stawów rybnych*. IRS, Olsztyn 2003.
- Kolasa-Jamińska B., Lewkowicz S., Pilarczyk M., Kuczyński M. *Redukcja związków azotu w stawach rybnych używanych ściekami komunalnymi*. Mat. Z VIII Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowo-Technicznego „Biotechnologia Środowiska”, Wisła-Jarzębata, grudzień 2005.
- Kosturkiewicz A., Miler A., Muratowa S. *Gospodarka wodna i jakość wód w małych zlewniach stawowych w regionie Wielkopolski*. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracje XL, nr 211, 1992, 145–167.
- Kosturkiewicz A., Muratowa S. *Wpływ stawów rybnych na jakość wód*. Roczn. AR Poznań, 244, 12, 1993, 51–63.
- Kosturkiewicz A., Muratowa S., Myszkowa A. *Wpływ stawów na jakość wód*. Roczn. AR w Poznaniu CCXIV, Melioracje i Inżynieria Środowiska, 12, 1993, 51–63.

- Lewkowicz S., Pilarczyk M., Jamińska B., Kuczyński M. *Eliminacja związków fosforu z oczyszczonych biologicznie ścieków komunalnych miasta Bielsko-Biała w stawach rybnych*. Mat. z VIII Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowo-Technicznego „Biotechnologia Środowiskowa”, Wisła-Jarzębata, grudzień 2005.
- Operat wodno-prawny na rolnicze wykorzystanie biologicznie oczyszczonych ścieków do celów rybackich na kompleksie stawów komorowickich. Bielsko-Biała 2004.
- Polak S., Krzanowski S. *Możliwości oczyszczania i wykorzystania ścieków w stawach rybnych*. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie nr 4–5, 1973, 101–103.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego z dnia 24 lipca 2006 roku. Dz.U. Nr 137, poz. 984.
- Szulkowska-Wojaczek E., Marek J. *Skutki zanieczyszczeń wód zasilających stawy dla produkcji ryb oraz techniczne sposoby i możliwości ograniczania szkodliwych następstw*. Materiały z Konferencji nt. „Problemy budownictwa stawów w Polsce”, Warszawa 1988.
- Szymańska H. *Ochrona wód przed rolniczymi zanieczyszczeniami przestrzennymi*. Mat. z Konf. Nauk. „Problemy zanieczyszczenia i ochrony wód powierzchniowych – dziś i jutro”, Wyd. UAM, seria Biologia, 49, Poznań 1992, 317–331.
- Tórz A., Raczyńska M. *Ocena warunków hydrochemicznych stawów rybnych w Józefowie koło Lipian (woj. zachodniopomorskie)*. Zeszyt Naukowe AR w Krakowie, 393, Inżynieria Środowiska 23, 2002, s. 213–222.

Prof. dr hab. inż. Stanisław Krzanowski
Dr inż. Agnieszka Cupak
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Katedra Inżynierii Sanitarnej i ochrony Wód
30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 24/28
tel. 012 662 40 29, 012 662 41 02
e-mail: rmkrzano@cyf-kr.edu.pl
a.cupak@op.pl

Recenzent: Dr hab. Grażyna Mazurkiewicz-Boroń