



SKUTECZNOŚĆ ELIMINACJI AZOTU W PRZYDOMOWYCH OCZYSZCZALNIACH Z OSADĄ CZYNNĄ

Piotr Bugajski, Grzegorz Kaczor, Tomasz Bergel
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kolltāja w Krakowie

EFFECTIVENESS OF ELIMINATION OF NITROGEN IN DOMESTIC SEWAGE TREATMENT PLANTS WITH ACTIVATED SLUDGE

Streszczenie

Celem badań było określenie skuteczności usuwania związków azotu w dwóch przydomowych oczyszczalniach ścieków działających w oparciu o technologię osadu czynnego. Ponadto określono wpływ temperatury ścieków w reaktorach biologicznych na skuteczność eliminacji analizowanego wskaźnika. Analizowane obiekty to oczyszczalnia ścieków Turbojet EP-2 o przepustowości projektowanej od 1,2 do 1,8 m³·d⁻¹, oraz oczyszczalnia Turbojet EP-4 o przepustowości projektowanej 3,5÷5,0 m³·d⁻¹. W okresie badań oba obiekty były niedociążone hydraulicznie. Na podstawie badań prowadzonych w latach 2008-2010 stwierdzono, że średnie stężenia azotu ogólnego w ściekach surowych wynosiły 82,6 mgN_{og}·dm⁻³ w oczyszczalni Turbojet EP-2 oraz 102,0 mgN_{og}·dm⁻³ w oczyszczalni Turbojet EP-4, natomiast średnie stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych wynosiły 30,2 mgN_{og}·dm⁻³ w oczyszczalni Turbojet EP-2 i 65,5 mgN_{og}·dm⁻³ w oczyszczalni Turbojet EP-4. W okresie badań stwierdzono duże wahania stężeń azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych, które wynosiły od 12,2 do 77,1 mgN_{og}·dm⁻³ w oczyszczalni Turbojet EP-2 i od 15,3 do 130,7 mgN_{og}·dm⁻³ w oczyszczalni Turbojet EP-4. Świadczy to o niestabilnie zachodzących procesach nityfikacji i denityfikacji. Duży wpływ na skuteczność procesów unieszkodliwiających azot miała temperatura ścieków w reaktorach biologicznych. Wpływ ten potwierdzono zależnością korelacyjną, która w oczyszczalni Turbojet EP-2 była wysoka (r_{xy}=0,67) a w oczyszczalni Turbojet EP-4 bardzo wysoka (r_{xy}=0,72). Skuteczność usuwania

azotu ogólnego w oczyszczalni Turbojet EP-2 wyniosła średnio w okresie badań 61,3%, natomiast w oczyszczalni Turbojet EP-4 36,2%. W obu analizowanych obiektach w reaktorach biologicznych zaobserwowano duże wahania temperatury ścieków. Najniższe temperatury ścieków oscylujące w granicach 6÷8°C występowały w okresie 3 miesięcy w okresie rocznym, co przekładało się na niską skuteczność oczyszczania w tym okresie.

Słowa kluczowe: azot ogólny, skuteczność, temperatura ścieków.

Summary

The aim of the study was to determine the effectiveness of the removal of nitrogen compounds in two domestic sewage treatment plants operate based on activated sludge technology. In addition, the effect of sewage temperature in the bioreactors analyzed the effectiveness of the elimination rate. Also analyzed the treatment Turbojet EP-2 with a capacity designed from 1.2 to 1.8 m³·d⁻¹, and treatment Turbojet EP-4 with a capacity of 3.5÷5.0 designed m³·d⁻¹. During the study period the two objects were hydraulically underloaded. Based on studies conducted in 2008-2010 found that the average concentration of total nitrogen in raw sewage were 82.6 mgN_{og}·dm⁻³ in the treatment plant Turbojet EP-2 and 102.0 mgN_{og}·dm⁻³ in the treatment Turbojet EP-4, the mean concentration of total nitrogen in treated wastewater were 30.2 mgN_{og}·dm⁻³ in the treatment Turbojet EP-2 and 65.5 mgN_{og}·dm⁻³ in the treatment Turbojet EP-4. During the study found large fluctuations in the concentrations of total nitrogen in treated wastewater, which ranged from 12.2 to 77.1 mgN_{og}·dm⁻³ in the treatment Turbojet EP-2 and from 15.3 to 130.7 mgN_{og}·dm⁻³ in the treatment Turbojet EP-4. This demonstrates the instability occurring processes of nitrification and denitrification. High impact on the percentage of disposal process was nitrogen temperature treatment in bioreactors. This effect was confirmed correlations, which in sewage Turbojet EP-2 was high ($r_{xy}=0.67$) and treatment Turbojet EP-4 very high ($r_{xy}=0.72$). The removal efficiency of total nitrogen in wastewater Turbojet EP-2 was on average 61.3% during the study period, while in treatment Turbojet EP-4 36.2%. In both study sites in the bioreactors seen large fluctuations in water temperature. The lowest sewage temperature is oscillating in the range of 6÷8°C occurred during the three months in the year, which translates into a low efficiency of treatment during this period.

Key words: total nitrogen, effectiveness, sewage temperature

WSTĘP

Przydomowe oczyszczalnie ścieków, które w myśl obowiązujących przepisów (Ustawa – Prawo wodne, 2001) powinny stanowić alternatywę dla zbiorczych systemów kanalizacyjnych lub być ich uzupełnieniem w wielu gminach wiejskich są stosowane, jako podstawowy system kanalizacji (Jóźwiakowski 2012). Skutkuje to większym prawdopodobieństwem zanieczyszczenia wód odbiornika nie właściwie oczyszczonymi ściekami odpływającymi z tych obiektów. Wynika to często z niewłaściwej eksploatacji obiektów przez użytkowników oraz braku nadzoru organów państwowych nad funkcjonowaniem oczyszczalni (Jóźwiakowski i Pytka, 2010). Zbiorcze oczyszczalnie ścieków podlegają stałej kontroli Wojewódzkich Inspektoratów Ochrony Środowiska, natomiast przydomowe oczyszczalnie ścieków w Polsce pozostają często bez kontroli lub nadzoru eksploatacyjnego. Aktualnie indywidualne systemy oczyszczania ścieków po zainstalowaniu nie podlegają kontroli, a w większości przypadków sami właściciele tych obiektów nie są zainteresowani samokontrolą ze względu na znaczne koszty analiz ścieków. Kolejnym problemem są dość liberalne wytyczne dotyczące oceny funkcjonowania przydomowych oczyszczalni ścieków. Oczyszczalnie tej wielkości są zaliczane wg aktualnie obowiązującego Rozporządzenia Ministra Środowiska do obiektów do 2000 RLM (Dz. U. 2006 nr 137 poz. 984.), tzn., że nie ma w stosunku do nich wymagań dotyczących usuwania zanieczyszczeń eutroficzných tj. azotu i fosforu. W wyniku, czego stosowana technologia oczyszczania ścieków w przydomowych oczyszczalniach w zakresie unieszkodliwiania związków biogennych jest marginalizowana lub całkowicie pomijana (Bugajski, 2009, Kaczor i Bugajski 2006). Zastosowanie na terenie gminy kilkuset tego typu oczyszczalni zamiast jednej zbiorczej będzie wpływać na zwiększone ilości związków azotu i fosforu odprowadzanych do cieków wodnych i potęgować zjawisko ich nadmiernej eutrofizacji. Aby temu groźnemu dla środowiska zjawisku zapobiec należy traktować wszystkie przydomowe oczyszczalnie na terenie danej miejscowości, jako całość systemu kanalizacyjnego, dla którego określono wspólną RLM, a następnie poddać te obiekty kontroli pracy i ewentualnie eliminować występujące nieprawidłowości. W przypadku przydomowych oczyszczalni ścieków, których technologia oczyszczania oparta jest na reaktorach biologicznych z osadem czynnym należy podjąć działania w celu unowocześnienia technologii tak, aby była możliwość usuwania oprócz

związków węgla organicznego określonego, jako BZT₅ także związków eutroficznych tj. azotu i fosforu (Krzanowski i Wałęga 2009). W przeciwnym razie w okresie kilkunastu najbliższych lat stan czystości rzek na terenach wiejskich zamiast się poprawiać będzie się pogarszał.

CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań było określenie skuteczności usuwania związków azotu w dwóch przydomowych oczyszczalniach **ścieków** działających w oparciu o technologię osadu czynnego. Dodatkowym celem badań określenie wpływu temperatury ścieków w reaktorach biologicznych na skuteczność eliminacji analizowanego wskaźnika. W analizie statystycznej, przy określaniu siły badanego związku, posłużono się skalą wg Stanisza (1998).

Badania prowadzono od stycznia 2008 do grudnia 2010 r. W okresie w tym pobrano 40 próbek ścieków surowych (z osadnika wstępnego) oraz ścieków oczyszczonych (z osadnika wtórnego). Analizę ścieków wykonywano w Laboratorium Oceny Jakości Wody i Ścieków mieszczącym się przy Wydziale Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Pobór i analizę ścieków wykonano zgodnie z aktualnie obowiązującymi metodami referencyjnymi zamieszczonymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006r (Dz. U. 2006 nr 137 poz. 984.)

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTÓW BADAŃ

Pierwszy z analizowanych obiektów to oczyszczalnia ścieków typu Turbojet EP-2. Obsługuje ona jednorodzinny budynek zamieszkały przez 7-mio osobową rodzinę. Obiekt został zaprojektowany na przepływ w zakresie od 1,2 do 1,8 m³·d⁻¹, natomiast dopływ faktyczny wyniósł 0,82 m³·d⁻¹. W skład oczyszczalni wchodzi dwa zbiorniki technologiczne. Pierwszy służy, jako osadnik wstępny, natomiast drugi to zespolony reaktor biologiczny z osadnikiem wtórnym, z którego ścieki odpływają do odbiornika. Oczyszczalnia przeznaczona jest do obsługi od 5 do 10 RLM.

Drugi z badanych obiektów to oczyszczalnia typu Turbojet EP-4, przeznaczona do obsługi od 25 do 30 RLM, o przepustowości projektowej 3,5÷5,0 m³·d⁻¹, zainstalowana została przy Szkole Podstawowej w miejscowości Ibramowice. Rzeczywisty dopływ ścieków wynosił w okresie badań 1,2 m³·d⁻¹. Do szkoły

w okresie badań uczęszczało średnio 120 uczniów oraz przebywało w niej 8 osób grona pedagogicznego. Do oczyszczalni odprowadzane są także ścieki z domu nauczyciela zamieszkałego przez 6 osób. Oczyszczalnia składa się z trzech zbiorników, z których pierwszy pełni rolę osadnika, w drugim retencjonuje się ścieki, które następnie pompowane są do ostatniego zbiornika pełniącego rolę reaktora biologicznego, z którego ścieki oczyszczone odpływają do pobliskiego potoku pełniącego rolę odbiornika.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

W ściekach surowych dopływających do oczyszczalni Turbojet EP-2 średnie stężenie azotu ogólnego wynosiło $82,6 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. W okresie 3 lat badań odnotowano duże wahania analizowanego parametru w ściekach dopływających wynoszące od $23,4 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ do $125,1 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. Duże wahania stężenia azotu ogólnego w ściekach surowych wynikają z nieregularnego używania przez domowników środków czystości oraz detergentów. Przykładem może tu być pranie bielizny i ubrań, które wykonywano dwukrotnie w ciągu tygodnia w nieregularnych odstępach czasu. W drugim z badanych obiektów oczyszczalni Turbojet EP-4 średnie stężenie azotu ogólnego było wyższe niż w obiekcie poprzednim i wynosiło $102,0 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. Powodem tego faktu jest duże stężenie azotu amonowego, jako jednej z części składowej azotu ogólnego a wynikające z dużego stężenia amoniaku (mocznika) w ściekach surowych pochodzących z toalet szkolnych. Podobnie jak poprzednio, tak i w tym przypadku odnotowano wahania stężeń azotu w ściekach surowych od $41,2 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ do $151,9 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$.

W ściekach oczyszczonych odprowadzanych do odbiornika z oczyszczalni Turbojet EP-2 średnie stężenie azotu ogólnego wynosiło $30,2 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$, natomiast wahania stężeń tego wskaźnika wynosiły od $12,2 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ do $77,1 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. W oczyszczalni Turbojet EP-4 średnia wartość azotu w ściekach oczyszczonych była znacznie wyższa, niż w poprzednim obiekcie i wyniosła $65,5 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. W tym obiekcie również w ściekach oczyszczonych odnotowano duże zmiany stężeń azotu ogólnego, które wynosiły od $15,3 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ do $130,7 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. Duże wahania stężeń azotu w ściekach oczyszczonych w obu oczyszczalniach były wynikiem zmiennej skuteczności (%) unieszkodliwiania tego wskaźnika w procesie oczyszczania, na którą duży wpływ miała zmienna temperatura ścieków w reaktorach biologicznych. Średnia sprawność usuwania azotu ogólnego wyrażona w % w oczyszczalni Turbojet EP-2 wyniosła

61,3%, natomiast w oczyszczalni Turbojet EP-4 była niższa i wyniosła 36,2%. Charakterystyczne wielkości azotu ogólnego w ściekach surowych oraz oczyszczonych w oby obiektach badań przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyczne wielkości azotu ogólnego w ściekach dopływających oraz odpływających z analizowanych obiektów

Table 1. Characteristic values of total nitrogen in the influent and effluent flowing out of the analyzed objects

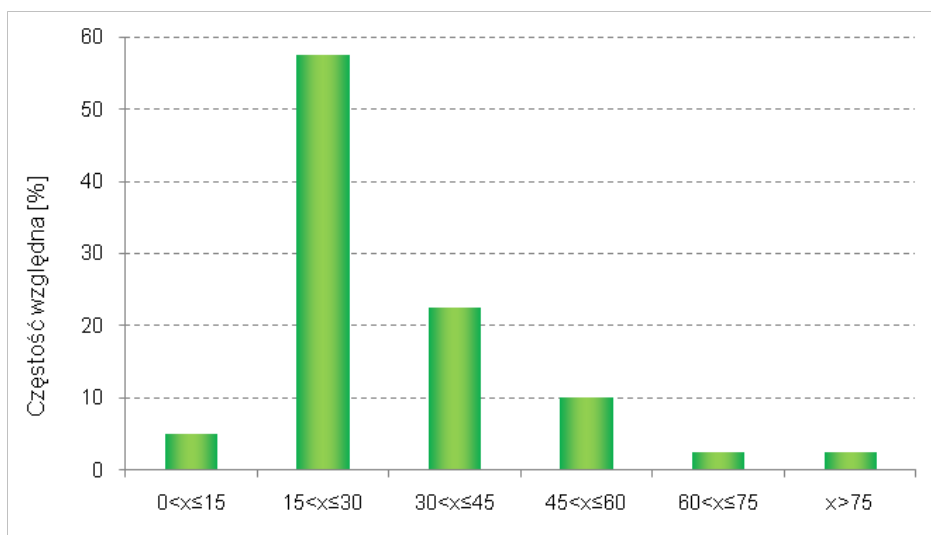
Wartości charakterystyczne	Oczyszczalnia Turbojet EP-2			Oczyszczalnia Turbojet EP-4		
	Stężenie azotu ogólnego [mgN _{og} · dm ⁻³]		średnia sprawność [%]	Stężenie azotu ogólnego [mgN _{og} · dm ⁻³]		średnia sprawność [%]
	ścieki surowe	ścieki oczyszczone		ścieki surowe	ścieki oczyszczone	
Minimum	23,4	12,2	61,3	41,2	15,3	36,2
Średnia	82,6	30,2		102,0	65,5	
Maksimum	125,1	77,1		151,9	130,7	
Odchylenie stand.	25,8	14,1		26,6	27,7	

W celu lepszego wyjaśnienia, jak wahały się stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych sporządzono histogramy (rycina 1 i 2), które obrazują częstość wystąpienia stężenia azotu w danym przedziale wartości.

W oczyszczalni Turbojet EP-2 w blisko 60% przypadków stężenie azotu w ściekach oczyszczonych występowało w przedziale 15÷30 mgN_{og} · dm⁻³. W 15% przypadków stężenia azotu przekraczały wartość 45 mgN_{og} · dm⁻³. Natomiast w drugim badanym obiekcie najczęściej występujące stężenia azotu były w przedziale powyżej 75 mgN_{og} · dm⁻³. Było to 37,5%. Wartości azotu poniżej 30 mgN_{og} · dm⁻³ wystąpiły jedynie w 5% przypadków. Pozostałe wartości tego parametru wystąpiły w przedziale pomiędzy 30 a 75 mgN_{og} · dm⁻³.

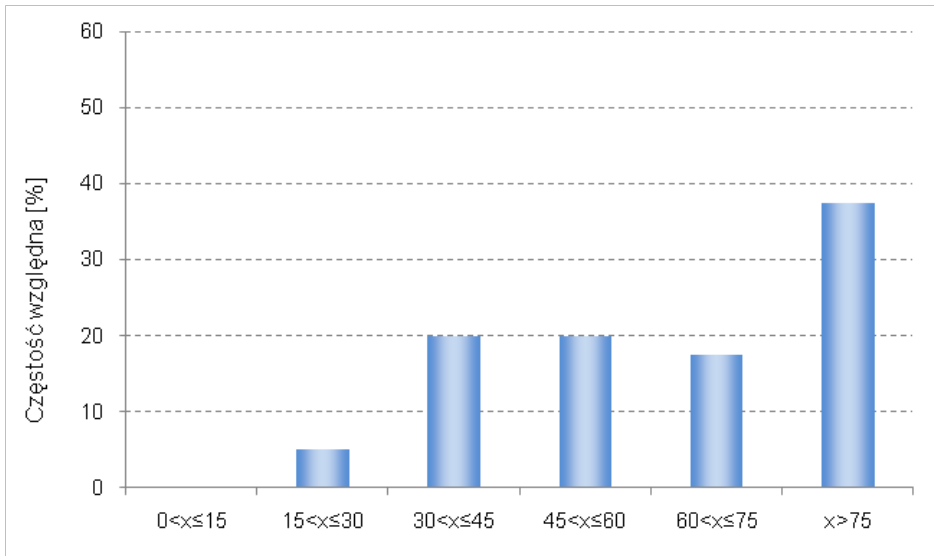
Jak wcześniej wspomniano duży wpływ na sprawność usuwania azotu ogólnego w badanych oczyszczalniach miała temperatura ścieków w reaktorach biologicznych. W reaktorze w oczyszczalni Turbojet EP-2 średnia temperatura ścieków w okresie trzyletnich badań wyniosła 12,4°C. W okresie zimowym w wczesnowiosennym temperatura ścieków obniżała się do poziomu 6÷7°C.

Najniższa odnotowana temperatura ścieków wyniosła 5,5°C. W okresie letnim i jesiennym temperatura ścieków w reaktorze oscylowała w granicach 15÷19°C. Najwyższa odnotowana temperatura ścieków odnotowana w ostatnich dniach lipca wyniosła 19,5°C. Na zbliżonym poziomie odnotowano wahania temperatury ścieków w reaktorze biologicznym w kolejnym obiekcie, czyli w oczyszczalni Turbojet EP-4. Średnia temperatura ścieków wyniosła 11,3°C, natomiast jej wahania wynosiły od 6,5 do 18,0°C. Należy zaznaczyć, iż nawet w okresie letnim temperatura ścieków nie osiągnęła wartości 20°C, która to wartość jest podawana w literaturze, jako optymalna do procesów unieszkodliwiania związków azotu w bioreaktorach z osadem czynnym (Dworkin i in. 1991, Dymaczewski i in. 2011). Niepokojącym natomiast jest fakt występowania długiego okresu niskich temperatur ścieków w granicach 6÷8°C, przy których w znacznym stopniu następuje zahamowanie procesów nityfikacji oraz denityfikacji, co przekłada się na niską skuteczność usuwania związków azotu w tym okresie.



Rysunek 1. Histogram rozkładu stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych w oczyszczalni Turbojet EP-2

Figure 1. The histogram distribution of total nitrogen in treated wastewater in sewage treatment plant Turbojet EP-2

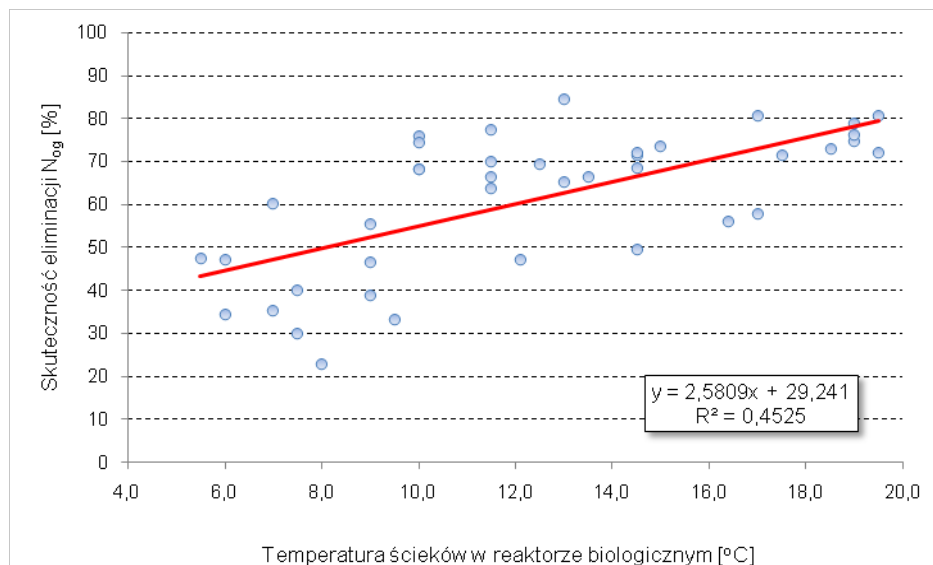


Rysunek 2. Histogram rozkładu stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych w oczyszczalni Turbojet EP-4

Figure 2. The histogram distribution of total nitrogen in treated wastewater in sewage treatment plant Turbojet EP-4

Na podstawie znajomości skuteczności zmniejszania stężenia azotu ogólnego określonej w % oraz temperatury ścieków w bioreaktorach określono wzajemną korelację tych zmiennych. W analizie statystycznej przyjęto zakresy współczynnika korelacji opracowanej wg Stanisza (1998). Natomiast na podstawie równań opisujących linię regresji określono zmianę skuteczności usuwania azotu pod wpływem temperatury ścieków, gdzie temperatura ścieków jest zmienną niezależną, a procentowa skuteczność zmienną zależną. W oczyszczalni Turbojet EP-2 obliczona korelacja pomiędzy skutecznością unieszkodliwiania azotu ogólnego a temperaturą ścieków w bioreaktorze wyniosła $r_{xy}=0,67$. W przyjętej skali określa się ten poziom korelacji, jako wysoki. Istotność statystyczną wyliczonego współczynnika korelacji potwierdzono testem t-Studenta na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Z równania opisującego linię regresji przedstawionej na rycinie 3 można stwierdzić, że wraz ze spadkiem temperatury ścieków 1°C maleje skuteczność o 2,58%. Współczynnik determinacji $R^2=0,4525$ informuje, że przedstawiony model regresji opisuje 45,25% obserwacji. Różnica temperatury

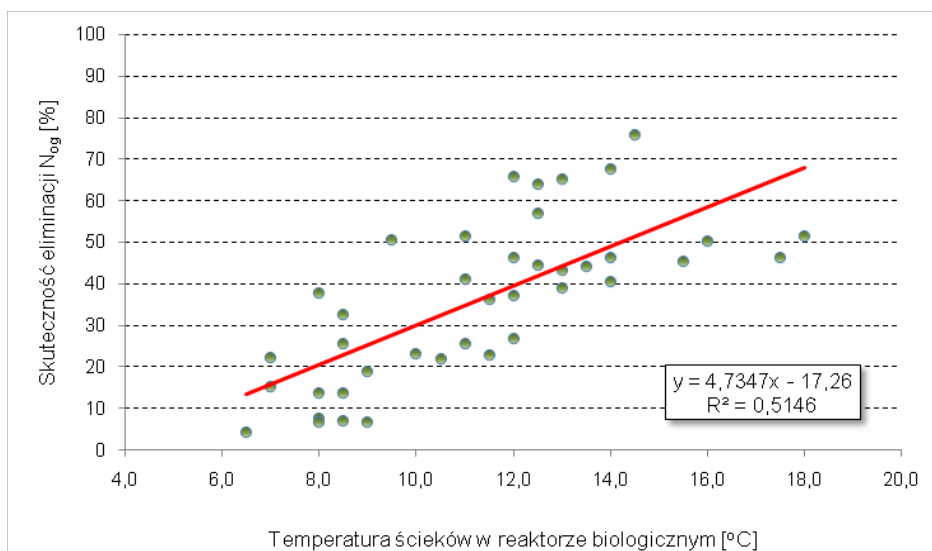
ścieków w bioreaktorze pomiędzy temperaturą minimalną a maksymalną wynosiła 14,0°C, zatem skuteczność unieszkodliwiania azotu w okresie zimowym w porównaniu do okresu letniego mogła wynieść nawet 36,1%.



Rysunek 3. Zależność skuteczności eliminacji azotu ogólnego od temperatury ścieków w reaktorze biologicznym w oczyszczalni Turbojet EP-2

Figure 3. Dependence of the effectiveness of the elimination of nitrogen from wastewater temperature of the bioreactor in sewage treatment plant Turbojet EP-2

W oczyszczalni Turbojet EP-4 obliczona korelacja pomiędzy skutecznością unieszkodliwiania azotu ogólnego a temperaturą ścieków w bioreaktorze była nieco wyższa i wyniosła $r_{xy} = 0,72$. W zaproponowanej skali korelację tej wielkości określa się, jako bardzo wysoką. Istotność statystyczną wyliczonej zależności korelacyjnej potwierdzono testem t-Studenta na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Z równania opisującego linię regresji przedstawionej na rycinie 4 stwierdzono, że wraz ze spadkiem temperatury ścieków 1°C maleje skuteczność o 4,73%. Współczynnik determinacji $R^2 = 0,5146$ opisuje 51,46% obserwacji. W tym obiekcie różnica pomiędzy temperaturą minimalną a maksymalną wynosiła 11,5°C, zatem skuteczność procesów wpływających na wielkość obniżki azotu w okresie zimowym w porównaniu do okresu letniego mogła wynieść aż 54,4%.



Rysunek 4. Zależność skuteczności eliminacji azotu ogólnego od temperatury ścieków w reaktorze biologicznym w oczyszczalni Turbojet EP-4

Figure 4. Dependence of the effectiveness of the elimination of nitrogen from wastewater temperature of the bioreactor in sewage treatment plant Turbojet EP-4

Na podstawie przeprowadzonej dyskusji dotyczącej możliwości unieszkodliwiania azotu ogólnego w przydomowych oczyszczalniach, których technologia oczyszczania oparta jest na procesach zachodzących przy udziale mikroorganizmów osadu czynnego stwierdzono, że jest możliwe w znacznym stopniu unieszkodliwienie tego biogenu. Podstawowymi czynnikami, które determinują procesy unieszkodliwiania azotu w tych obiektach jest ich prawidłowa eksploatacja oraz temperatura ścieków w reaktorze biologicznym. Użytkownicy przydomowych oczyszczalni muszą uwzględniać pewien reżim dotyczący eksploatacji. Osoby, które są użytkownikami takich obiektów muszą posiadać wiedzę, iż np. dostarczenie zbyt dużej dawki detergentów, lub innych środków zawierających substancje szkodliwe (związki chloru, kwas lub ług) zawarte w popularnych środkach przetykających rury kanalizacyjne (krety) spowoduje zahamowanie lub zatrzymanie procesów unieszkodliwiających zanieczyszczenia. Będzie to skutkowało odprowadzaniem ścieków nie w pełni oczyszczonych do wód i jezior. Przy ogromnej liczbie instalowanych rok rocznie tego typu obiektów istnieje realne zagrożenie stanu czystości wód w rzekach i jeziorach na terenach wiejskich.

WNIOSKI

1. Średnie stężenia azotu ogólnego w ściekach surowych wynosiły $82,6 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ w oczyszczalni Turbojet EP-2 i $102,0 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ w oczyszczalni Turbojet EP-4.
2. Średnie stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych odpływających z oczyszczalni Turbojet EP-2 wynosiły $30,2 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$, a z oczyszczalni Turbojet EP-4 wynosiły $65,5 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$.
3. W okresie badań stwierdzono duże wahania stężeń azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych, które wynosiły od $12,2$ do $77,1 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ w oczyszczalni Turbojet EP-2 i od $15,3$ do $130,7 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ w oczyszczalni Turbojet EP-4. Świadczy to o niestabilnie zachodzących procesach nityfikacji i denityfikacji.
4. W oby przypadkach duży wpływ na skuteczność procesów unieszkodliwiających azot miała temperatura ścieków w reaktorach biologicznych. Wpływ ten potwierdzono zależnością korelacyjną, która w oczyszczalni Turbojet EP-2 była wysoka, a w oczyszczalni Turbojet EP-4 bardzo wysoka.
5. Skuteczność usuwania azotu ogólnego w oczyszczalni Turbojet EP-2 wyniosła średnio w okresie badań $61,3\%$, natomiast w oczyszczalni Turbojet EP-4 – $36,2\%$.
6. W obu analizowanych obiektach w reaktorach biologicznych zaobserwowano duże wahania temperatury ścieków. Najniższe temperatury ścieków oscylujące w granicach $6\div 8^{\circ}\text{C}$ występowały w okresie 3 miesięcy w okresie rocznym, co przekładało się na niską skuteczność oczyszczania w tym okresie.

BIBLIOGRAFIA

- Bugajski P. (2009). Zagrożenia wód eutrofizacją odbiorników w wyniku stosowania indywidualnych systemów oczyszczania ścieków. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 9/2009, 4-5.
- Dworkin M., Falkow S., Rosenberg E., Schleifer K.H., Stackebrandt E. *The Prokaryotes – A handbook on the biology of bacteria*, 3rd edition, v. 3. Springer.
- Dymaczewski i in. (2011). *Poradnik Eksploatatora Oczyszczalni Ścieków*. Poznań. PZITS o/Wielkopolski.
- Jóźwiakowski K. (2012). Przydomowe oczyszczalnie ścieków na terenach wiejskich – cz. 1. *Inżynier Budownictwa* 10/2012, 57-60.

- Józwiakowski K., Pytka A. (2010). Rozwój gospodarki wodno-ściekowej na terenach wiejskich w Polsce w latach 1990-2008. Gospodarka Odpadami Komunalnymi. *Monografia Komitetu Chemii Analitycznej PAN. Tom VI*, 31-39.
- Kaczor G., Bugajski P. (2006). **Ładunki związków biogenych w ściekach odprowadzanych z przydomowych oczyszczalni jako zagrożenie jakości wód powierzchniowych.** *Gaz, Woda i Technika Sanitarna 11/2006*, 21-23.
- Krzanowski S., Wałęga A. (2009). Ocena przebiegu procesu nityfikacji w oczyszczalniach ścieków z osadem czynnym przy wykorzystaniu różnych metod obliczania wieku osadu. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2*, 29-34.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. (Dz. U. 2006 nr 137 poz. 984.).
- Stanisz A. (1998). *Przystępny kurs statystyki – Tom 1*. Kraków. Wydawnictwo StatSoft Polska Sp. z o.o.
- Ustawa – Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 r. (Dz.U. 2001 Nr 115 poz. 1229).

dr hab. inż. Piotr Bugajski
dr hab. inż. Grzegorz Kaczor
dr hab. inż. Tomasz Bergel
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej,
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, tel. (012) 662-40-39
e-mail: p.bugajski@ur.krakow.pl