



Katarzyna Ignatowicz • Joanna Kazimierowicz
Joanna Struk-Sokołowska

OCENA USUWANIA ZWIĄZKÓW WĘGLA, AZOTU I FOSFORU W KOMUNALNEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W SOKÓŁCE

Katarzyna Ignatowicz, dr inż. – Politechnika Białostocka
Joanna Struk-Sokołowska, mgr inż. – Politechnika Białostocka
Joanna Kazimierowicz, mgr inż. – Politechnika Białostocka

adres korespondencyjny:

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska
ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok
e-mail: k.ignatowicz@pb.edu.pl; j.struk@pb.edu.pl

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Systemów Inżynierii Środowiska
ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok
e-mail: j.kazimierowicz@pb.edu.pl

ASSESSMENT OF THE REMOVAL OF CARBON, NITROGEN AND PHOSPHORUS IN MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN SOKOŁKA

SUMMARY: The aim of this study was to show changes in concentrations of organic compounds, nitrogen and phosphorus in wastewater by using activated sludge technology in sequential SBR reactors. Made of raw sewage samples, after mechanical treatment, the dephosphatation, while $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, and after complete nitrification, denitrification, and the effluent. Profiles plotted compounds of C, N and P. It has been shown that the sewage treatment plant in Sokółka and increased effects integrated removing the above-mentioned compounds.

KEY WORDS: wastewater treatment, carbon removal, nitrogen removal, phosphorus removal, municipal sewage treatment plant

Wstęp

W sytuacji postępującej eutrofizacji wód w wielu krajach zauważalna staje się tendencja do zmiany filozofii podejścia do ich ochrony. Konieczność spełnienia obowiązujących wymagań odnośnie do jakości ścieków oczyszczonych skłania do poszukiwania sposobów intensyfikacji usuwania związków biogenych. W celu zapewnienia żadanego obniżenia stężenia związków biogenych obecnie stosowane są biologiczne metody usuwania azotu oraz biologiczne i chemiczne metody usuwania fosforu¹. Istnieje wiele odmiennych rozwiązań technologicznych, dostosowanych do wymagań dotyczących jakości oczyszczonych ścieków, w zależności od rodzaju oczyszczanych ścieków, jak i wielkości oczyszczalni². Stosuje się zarówno układy zapewniające nityfikację, układy do pełnego usuwania azotu (denityfikacja) oraz układy usuwające fosfor, jak również systemy powodujące łączne usuwanie związków biogenych³. Zastosowanie zintegrowanych układów do usuwania związków biogenych wprowadziło istotne zmiany w projektowaniu i eksploatacji oczyszczalni⁴. Obecnie wykorzystywanych jest wiele systemów, zróżnicowanych pod względem sposobu uszeregowania reaktorów, ich warunków hydraulicznych, sposobów prowadzenia recyrkulacji zewnętrznej i wewnętrznej, a także stosowania dodatkowych procesów chemicznych⁵.

Stosowanie systemów SBR umożliwia jednocześnie nityfikację i denityfikację w obrębie trwania jednego cyklu poprzez proste regulowanie intensywności

¹ J. Bever i in., *Zaawansowane metody oczyszczania ścieków*, Projprzem-Eko, Bydgoszcz 1997; Z. Dymaczewski, J. Oleszkiewicz, M. Sozański, *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków*, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań 1997; W. Gujer, J. Kappeler, *Modeling Population Dynamics in Activated Sludge Systems*, „Water Science and Technology” 1992 nr 25(2), s. 93-103; M. Henze i in., *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d, and ASM3*. IWA, Scientific and Technical Report n 9, IWA Publishing, London 2000.

² J. Struk-Sokołowska, *Wpływ modernizacji oczyszczalni ścieków na frakcje ChZT oraz sprawność procesu oczyszczania*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 2012 nr 6, s. 273-276; J. Struk-Sokołowska, *Wpływ ścieków mleczarskich na frakcje ChZT ścieków komunalnych*, „Inżynieria Ekologiczna” 2011 nr 24, s. 130-144.

³ K. Ignatowicz, Ł. Nowicki, M. Puchlik, *Profil zmian stężenia związków węgla, azotu i fosforu w oczyszczalni ścieków komunalnych w Nowej Wsi Elckiej*, „Inżynieria Ekologiczna” 2011 nr 24, s. 52-63; E. Kalinowska, G. Bonar, J. Duma, *Zasady i praktyka oczyszczania ścieków*, Wyd. LEM-TECH Konsulting, Kraków 2005; M.C. Wentzel i in., *Heterotroph anoxic yield in anoxic aerobic activated sludge systems treating municipal wastewater*, „Water Research” 2003 nr 37, s. 2435-2441.

⁴ W. Gujer, J. Kappeler, *Modeling Population...*, op. cit.; M. Henze i in., *Activated Sludge Models ASM1...*, op. cit.; K. Ignatowicz, Ł. Nowicki, *Profil zmian...*, op. cit.; J. Kapper, W. Gujer, *Estimation of kinetic parameters of heterotrophic biomass under aerobic conditions and Characterization of wastewater for activated sludge modeling*, „Water Science and Technology” 1992 nr 25(6), s. 125-139.

⁵ J.L. Barnard, *Biologiczne usuwanie fosforu. Usuwanie związków biogenych ze ścieków*, Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo Technicznej, Kraków 1997; J. Kurbiel, J. Bernacka, *Projektowanie systemów oczyszczania ścieków integrujących usuwanie C, N, P. Postęp techniczny w dziedzinie oczyszczania ścieków*, XXVIII Konferencja Naukowo-Techniczna, Katowice 1992.

napowietrzania⁶. Ostateczny efekt oczyszczania ścieków w reaktorze SBR uzależniony jest od liczby, kolejności, a także czasu trwania etapów procesu, które powinny być dostosowane do składu ścieków surowych. W dużym stopniu efekt usuwania fosforu zależy także od osiągniętych efektów usuwania azotu. Systemy, w których odpływie uzyskuje się stężenie azotu azotanowego poniżej 5 g N/m³, charakteryzują się zazwyczaj uzyskiwaniem stężenia fosforu poniżej 1 g P/m³.⁷

Wykonane badania miały na celu ocenę usuwania związków węgla, azotu i fosforu. W tym celu wykreślono profile zmian stężeń związków C, N i P w komunalnej oczyszczalni ścieków w Sokółce, działającej w oparciu o sekwencyjne biologiczne reaktory – SBR. Kontrola zmian liczby związków po kolejnych procesach oczyszczania umożliwia kontrolę pracy oczyszczalni, w tym identyfikację ewentualnych nieprawidłowości oraz sposób ich usunięcia.

Materiały i metody

Teren badań

Badania prowadzone były w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w Sokółce. Oczyszczalnia pracuje w technologii osadu czynnego w reaktorach sekwencyjnych SBR o przepustowości 6000 m³/d⁸. W latach 2010 – 2011 przeprowadzona została modernizacja tej oczyszczalni, w wyniku której technologia nie uległa zbyt dużym zmianom, natomiast nadmiernie wyeksploatowane urządzenia zostały zastąpione urządzeniami o dużo lepszych parametrach. Schemat technologiczny oczyszczalni przedstawiono na rysunku 1.

Ścieki dopływające do oczyszczalni siecią kanalizacyjną (grawitacyjnie oraz za pomocą sześciu przepompowni), a także dowożone taborem asenizacyjnym, kierowane są do stacji mechanicznego oczyszczania wyposażonej w dwa urządzenia typu Rotomat Ro5, wyposażone w sito bębnowe zintegrowane z płuczką skratek do zatrzymywania i odwadniania skratek, współpracujące z przenośnikiem ślimakowym, piaskownik napowietrzany do separacji łatwo opadających zawiesin mineralnych, wyposażony w zgarniacz i przenośnik ślimakowy, jak również w separator tłuszczów i olejów w postaci bocznych rynien. Po mechanicznym oczyszczaniu ścieki trafiają do przepompowni głównej, a stąd za pomocą zespołu trzech pomp w ustawieniu suchym do zbiornika retencyjnego, przeznaczonego do uśredniania ścieków, z przepompownią strefową wyposażoną

⁶ I. Bartkowska, L. Dzienis, D. Wawrentowicz, *Efektywność pracy oczyszczalni ścieków w Hajnówce i propozycja jej modernizacji*, „Inżynieria Ekologiczna” 2011 nr 24, s. 226-235; I. Bartkowska, L. Dzienis, *Jednozbiornikowe oczyszczalnie ścieków*, VIII Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Techniczna „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”, Politechnika Białostocka, Włocławek 1995.

⁷ K. Miłoch, J. Sikora, *Biotechnologia ścieków*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2010.

⁸ K. Ignatowicz, K. Garlicka, T. Breńko, *Wpływ kompostowania osadów ściekowych na zawartość wybranych metali i ich frakcji*, „Inżynieria Ekologiczna” 2011 nr 25, s. 231-241.

w dwie pompy zatapialne oraz dwa mieszadła hiperboloidalne, które umożliwiają mieszanie i napowietrzanie ścieków. Do części biologicznej, składającej się z czterech reaktorów SBR, kierowane są ścieki już uśrednione i napowietrzane. Każdy reaktor wyposażony jest w mieszadło hiperboloidalne z rusztem napowietrzającym, do którego powietrze doprowadzane jest za pomocą dmuchawy. W układzie występują więc cztery dmuchawy, umieszczone w hali dmuchaw. Oczyszczanie ścieków zachodzi w układzie cyklicznym. Pierwszy etap stanowi napełnianie komory ściekami, czyli doprowadzenie zanieczyszczeń do reaktora, w którym znajduje się pewna objętość zagęszczonego osadu czynnego wraz z oczyszczonymi ściekami, które pozostały z poprzedniego cyklu pracy. Czas napełniania stanowi 25% całkowitego czasu cyklu pracy. W czasie napełniania objętość zawartości komory zwiększa się z 25 do 100%. Kolejnym etapem jest napowietrzanie, w którym zachodzą podstawowe procesy rozkładu związków organicznych. Napowietrzanie stanowi 35% czasu jednego cyklu pracy. Następnie zachodzi oddzielanie osadu czynnego od oczyszczonych ścieków, czyli klarowanie, co pozwala na dekantację, czyli odprowadzanie oczyszczonych ścieków poprzez zainstalowany dekanter przegubowy. Czas odprowadzania ścieków stanowi od 5 do 30% całego cyklu, a mianowicie od 15 minut do 2 godzin. Ostatnim etapem cyklu jest przestój komory, w czasie którego nastąpi odprowadzanie osadu nadmiernego.

Metody badań

W celu dokonania oceny usuwania związków C, N i P w komunalnej oczyszczalni ścieków w Sokółce wykonano sześć serii badawczych. Próbkę pobrano podczas kolejno zachodzących etapów oczyszczania ścieków (tabela 1).

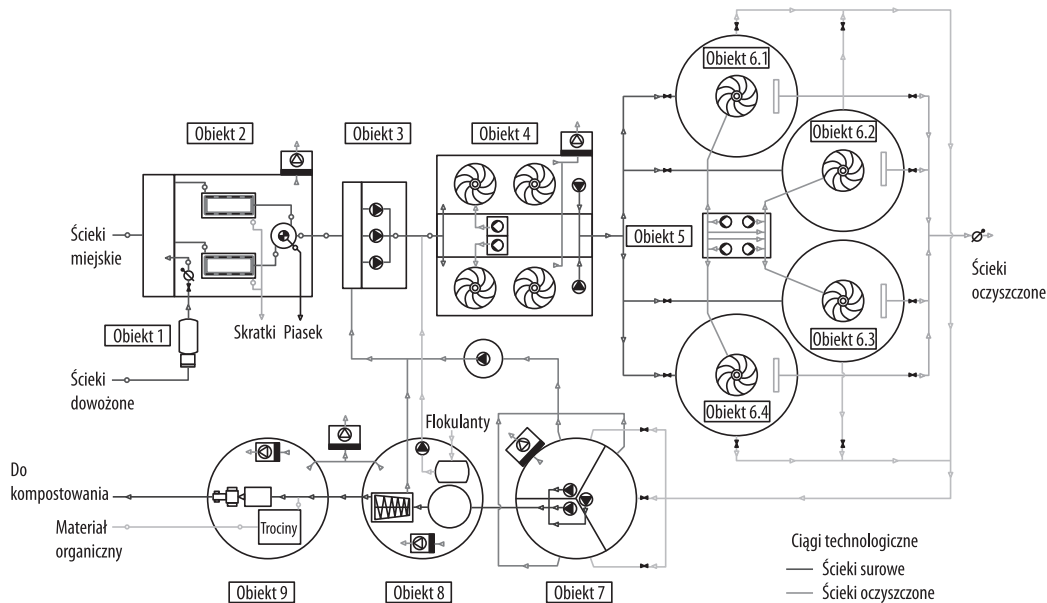
Tabela 1
Punkty poboru próbek

Punkt poboru	Etap oczyszczania	Zachodzący proces oczyszczania
1	dopływ ścieków	ścieki surowe
2	napowietrzanie + mieszanie	mechaniczne oczyszczanie
3	mieszanie	defosfatacja
4	napowietrzanie + mieszanie	nitryfikacja 1/4
5	napowietrzanie + mieszanie	nitryfikacja 1/2
6	napowietrzanie + mieszanie	nitryfikacja 3/4
7	napowietrzanie + mieszanie	nitryfikacja
8	mieszanie	denitryfikacja
9	odpływ ścieków oczyszczonych	ścieki oczyszczone

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 1

Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Sokółce



Legenda

- Obiekt 1 punkt zlewny nieczystości płynnych
- Obiekt 2 mechanicznego oczyszczania ścieków
- Obiekt 3 przepompownia główna
- Obiekt 4 zbiornik retencyjny z przepompownią strefową
- Obiekt 5 stacja dmuchaw ze sterownią
- Obiekt 6 sekwencyjne reaktory biologiczne SBR
- Obiekt 7 grawitacyjny zagęszczacz osadu
- Obiekt 8 stacja mechanicznego odwadniania osadu ze stacją dozowania PIX
- Obiekt 9 budynek przygotowania kompostu

Źródło: Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Sokółce: Ścieki www.mpwksokolka.euroadres.pl [11-12-2012].

W pobranych próbkach ścieków wykonano następujące oznaczenia ogólne:

- zawiesina ogólna (metodą wagową według: PN-EN 872:2007);
- temperatura ścieków (metodą bezpośredniego odczytu);
- przewodność właściwa (metodą konduktometryczną według: PN-EN 27888:1999);
- pH (metodą potencjometryczną według: PN-90/C-04540/01);
- potencjał redox (metodą elektrochemiczną);
- tlen rozpuszczony (metodą elektrochemiczną – odczyt z sond tlenowych za instalowanych na SBR).

Oznaczono także związki węgla:

- BZT₅ (metodą manometryczną przy użyciu systemu OxiTop Standard firmy WTW GmbH);
- ChZT_{Cr} (metodą dwuchromianową wg: PN-74/C-04578.03, PN-EN 15705:2005);

- węgiel całkowity (metodą wysokotemperaturowego rozkładu z detekcją w podczerwieni przy użyciu analizatora węgla TOC 1200 firmy ThermoEuroglas);
- węgiel nieorganiczny (metodą wysokotemperaturowego rozkładu z detekcją w podczerwieni przy użyciu analizatora węgla TOC 1200 firmy ThermoEuroglas);
- węgiel organiczny (metodą wysokotemperaturowego rozkładu z detekcją w podczerwieni przy użyciu analizatora węgla TOC 1200 firmy ThermoEuroglas).
Ponadto dokonano oznaczeń związków biogenych:
- N-NH₄ (metodą spektrofotometryczną według: PN-ISO 7150-1:2002),
- N-NO₃ (metodą spektrofotometryczną według: PN-82/C-04576/08);
- N-NO₂ (metodą spektrofotometryczną według: PN-EN 26777:1999);
- N ogólny Kjeldahla (metodą miareczkową według: PN-EN 25663:2001);
- N całkowity (metodą obliczeniową uwzględniającą N-NO₃, N-NO₂, N_{Kj} według: PN-C-04576-14:1973);
- PO₄³⁻ (metodą spektrofotometryczną według: PN-EN ISO 6878:2006, p. 4);
- P ogólny (metodą spektrofotometryczną według: PN-EN ISO 6878:2006, p. 8).

Omówienie wyników badań

Średnie wyniki badań przedstawiono w tabelach 2, 3 i 4.

Próbki ścieków pobrane były z reaktora SBR, w którym cykl pracy trwa 9 godzin i 30 minut. Defosfatacja wynosi tu 60 min, nityfikacja 300 min, denityfikacja – 60 min, nityfikacja 2 – 60 min, a sedimentacja 90 min.

Na rysunkach 2 – 4 przedstawiono profile usuwania związków węgla (rysunek 2), związków azotu (rysunek 3), związków fosforu (rysunek 4).

Zastosowanie reaktorów SBR umożliwiło zintegrowane usuwanie związków węgla, azotu i fosforu. Iloraz ChZT do BZT₅ jest mniejszy od 2 (1,47), co wskazuje, iż są to ścieki łatwo biodegradowalne. Największe usunięcie zanieczyszczeń organicznych odnotowano po procesie defosfatacji. Jednoczesne zmniejszenie liczby związków organicznych oraz związków fosforu świadczy o intensywnym pobieraniu związków organicznych przez bakterie akumulujące fosfor.

Fazy nityfikacji (tlenowej) i denityfikacji (niedotlenionej) umożliwiają zachodzenie procesu biochemicznego usuwania związków węgla (BZT₅ i ChZT), a mianowicie osiągnięcie w ściekach oczyszczonych wartości ChZT 27,5 mgO₂/l (przy wartości początkowej 449 mgO₂/l) oraz BZT₅ na poziomie 8 mgO₂/l (przy 305 mgO₂/l w ściekach surowych), a także osiągnięcie stężenia węgla całkowitego w odpływie 55,26 mg/l (przy ilości 314 mg/l w ściekach surowych), węgla nieorganicznego 32,53 mg/l (w ściekach surowych – 135,36 mg/l) oraz OWO 22,73 mg/l (w ściekach surowych – 178,64 mg/l). Znaczne obniżenie wartości wskaźników BZT₅, ChZT oraz OWO świadczy o prawidłowym przebiegu oczyszczania ścieków z zanieczyszczeń organicznych (rysunek 2).

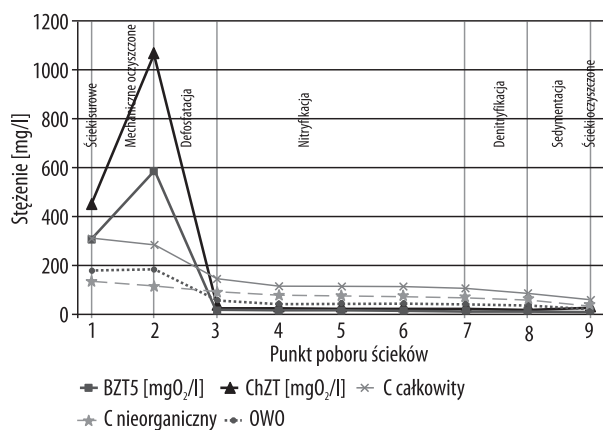
Podczas dopływu ścieków do oczyszczalni odnotowuje się zachodzący proces amonifikacji, w wyniku którego średnie stężenie azotu amonowego w ściekach

Tabela 2
Ogólna charakterystyka ścieków

Nr	Punkt poboru ścieków	Zawiesina ogólna [mg/l]	Temperatura [°C]	Przewodność [mS/cm]	pH	Potencjał redox ORT [mV]	Tlen rozpuszczony [mgO ₂ /l]
1	Surowe wlot	296	15	1,542	7,4	-29	-
2	Ze zbiornika retencyjnego (po oczyszcz. mechanicznym) pracuje wirówka i zwraca wody nadosadowe do zbiornika retencyjnego	-	16,75	1,279	7,17	-116	-
3	Koniec defosfatacji 60 min od napełnienia reaktora, przed napowietrzeniem, mieszanie	-	16,75	1,107	6,97	-299	0,2
4	¼ fazy nityfikacji (cała 300 minut), napowietrzanie + mieszanie	-	17,25	1,056	7	10	1,09
5	½ fazy nityfikacji, napowietrzanie + mieszanie	-	17,75	1,031	7,00	49	1,96
6	¾ fazy nityfikacji, napowietrzanie + mieszanie	-	18	1,074	6,93	125	3,26
7	Koniec fazy nityfikacji, napowietrzanie + mieszanie	-	17,7	1,059	7,02	141	2,63
8	Koniec denityfikacji (60 min od końca nityfikacji), mieszanie	-	18,2	1,022	7,08	144	-
9	Po 90 min sedymentacji – ścieki oczyszczone – wylot	5,85	18	1,042	6,87	169	-

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 2
Profil zmian ilości związków organicznych podczas procesu oczyszczania ścieków



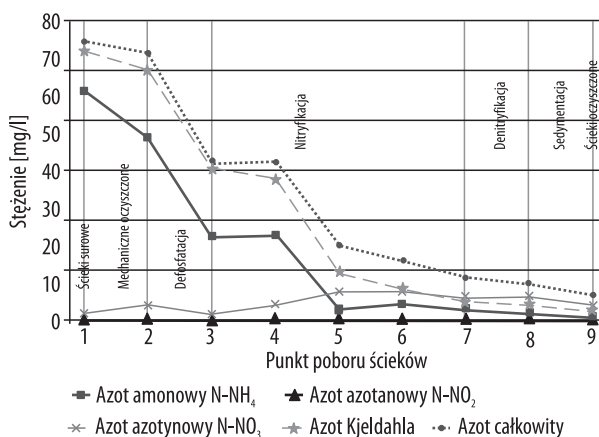
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3
Zmiany ilości związków węgla podczas procesu oczyszczania

Nr	Punkt poboru ścieków	BZT5 [mgO ₂ /l]	ChZT [mgO ₂ /l]	Węgiel [mg/l]		
				C całkowity	C nieorganiczny	OWO
1	Surowe wlot	305,00	449,00	314,00	135,36	178,64
2	Ze zbiornika retencyjnego (po oczyszcz. mechanicznym) pracuje wirówka i zwraca wody nadosadowe do zbiornika retencyjnego	590,00	1068,50	282,76	114,13	182,13
3	Koniec defosfatacji 60 min od napełnienia reaktora, przed napowietrzeniem, mieszanie	17,50	30,25	143,90	87,00	56,90
4	¼ fazy nitryfikacji (cała 300 minut), napowietrzanie + mieszanie	15,00	25,85	113,42	76,50	36,92
5	½ fazy nitryfikacji, napowietrzanie + mieszanie	14,50	23,65	115,61	72,85	42,76
6	¾ fazy nitryfikacji, napowietrzanie + mieszanie	13,00	23,00	114,12	71,38	42,75
7	Koniec fazy nitryfikacji, napowietrzanie + mieszanie	10,00	22,80	107,09	68,27	38,81
8	Koniec denitryfikacji (60 min od końca nitryfikacji), mieszanie	12,00	21,50	83,88	52,34	31,54
9	Po 90 min sedimentacji – ścieki oczyszczone – wylot	8,00	27,50	55,26	32,53	22,73

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 3
Profil zmian ilości związków azotu podczas procesu oczyszczania ścieków



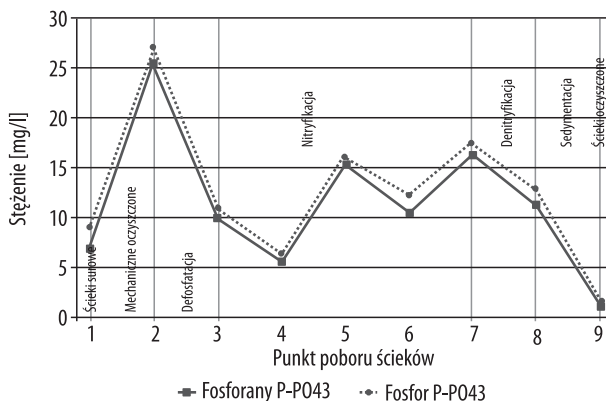
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4
Zmiany ilości związków biogennych podczas procesu oczyszczania

Nr	Punkt poboru ścieków	Azot amonowy [mg/l]	Azot azotanowy [mg/l]	Azot azotynowy [mg/l]	Azot Kjeldahla [mgN/l]	Azot całkowity [mgN/l]	Fosforany [mg/l]	Fosfor [mg/l]
		N-NH ₄	N-NO ₃ ⁻	N-NO ₂ ⁻			P-PO ₄ ³⁻	P-PO ₄ ³⁻
1	Surowe wlot	60,95	1,90	0,13	72,01	74,004	6,70	8,665
2	Ze zbiornika retencyjnego (po oczyszczeniu mechanicznym) pracuje wirówka i zawraca wody nadosadowe do zbiornika retencyjnego	48,60	1,35	0,11	66,65	71,11	25,45	27,050
3	Koniec defosfatacji 60 min od napełnienia reaktora, przed napowietrzeniem, mieszanie	22,35	1,65	0,06	40,35	42,06	9,935	10,745
4	¼ fazy nitryfikacji (cała 300 minut), napowietrzenie + mieszanie	22,89	4,30	0,12	37,89	42,31	5,50	5,99
5	½ fazy nitryfikacji, napowietrzenie + mieszanie	2,83	7,30	0,02	12,83	20,15	15,37	15,935
6	¾ fazy nitryfikacji, napowietrzenie + mieszanie	4,44	7,30	0,02	8,44	15,76	10,30	12,185
7	Koniec fazy nitryfikacji, napowietrzenie + mieszanie	2,94	650	0,05	5,01	11,56	16,325	17,52
8	Koniec denitryfikacji (60 min od końca nitryfikacji), mieszanie	1,77	6,45	0,01	3,77	10,23	11,16	12,645
9	Po 90 min sedymentacji – ścieki oczyszczone – wylot	0,61	4,15	0,07	2,61	6,83	1,02	1,315

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 4
 Profil zmian ilości związków fosforu podczas procesu oczyszczania ścieków



Źródło: opracowanie własne.

surowych wynosi $60,95 \text{ mgN-NH}_4^+/\text{l}$, zaś stężenie azotu Kjeldahla – $72,01 \text{ mgN/l}$. Proces nityfikacji, w wyniku którego azot amonowy przechodzi w azot azotynowy, a następnie azotanowy, przebiega w korzystnych warunkach: dobre natlenienie ścieków oraz pH bliskie 7,0. O aktywności bakterii *Nitrosomonas* i *Nitrobacter* świadczy nie tylko o zmniejszeniu ilości azotu amonowego w odpływających ściekach (do wartości $0,61 \text{ mgN-NH}_4^+/\text{l}$), ale również oznacza wzrost stężenia azotanów po procesie nityfikacji ($1,65 \text{ mgN-NO}_3^-/\text{l}$ przed włączeniem napowietrzania i $6,50 \text{ mgN-NO}_3^-/\text{l}$ po procesie). Zachodzący proces denityfikacji umożliwia przeprowadzenie azotanów w azot gazowy (rysunek 3).

W konsekwencji następuje obniżenie stężenia azotu amonowego z wartości $60,95 \text{ mgN-NH}_4^+/\text{l}$ do $0,61 \text{ mgN-NH}_4^+/\text{l}$, azotu azotynowego z $0,13 \text{ mgN-NO}_2^-/\text{l}$ do $0,07 \text{ mgN-NO}_2^-/\text{l}$, azotu Kjeldahla z $72,01 \text{ mgN/l}$ do $2,61 \text{ mgN/l}$, zaś azotu całkowitego z $74,04 \text{ mgN/l}$ do $6,83 \text{ mgN/l}$ oraz wzrost stężenia azotu azotanowego z $1,90 \text{ mgN-NO}_3^-/\text{l}$ do $4,15 \text{ mgN-NO}_3^-/\text{l}$ (rysunek 3).

W badanych ściekach surowych średnie stężenie fosforu wyniosło $8,665 \text{ mg P-PO}_4^{3-}/\text{l}$, stężenie fosforanów: $6,7 \text{ mgP-PO}_4^{3-}/\text{l}$ (rysunek 4). Wzrost stężenia związków fosforu po części mechanicznej wynika z braku zastosowania metod chemicznych oraz uwalniania fosforu przez bakterie akumulujące fosfor. Stężenie fosforu osiągnęło wartość $27,05 \text{ mgP-PO}_4^{3-}/\text{l}$, zaś stężenie fosforanów $25,45 \text{ mg P-PO}_4^{3-}/\text{l}$ (rysunek 4).

W warunkach beztlenowych nastąpiła konwencjonalna defosfatacja biologiczna, wynikająca z procesów wzrostu mikroorganizmów osadu czynnego, do których niezbędna jest podaż fosforu. Zasywilowany przez biomasę fosfor stanowi trwałe składnik biomasy. W konsekwencji uzyskano obniżenie stężenia fosforu do wartości $5,99 \text{ mgP-PO}_4^{3-}/\text{l}$ oraz stężenia fosforanów do $5,5 \text{ mgP-PO}_4^{3-}/\text{l}$. Zauważono, iż biologiczne usuwanie fosforu jest połączone z denityfikacją, co wynika z obecności denityfikacyjnych bakterii akumulujących fosfor.

Anoksydacyjne pobieranie fosforu jest uzależnione w dużym stopniu od dostępności azotanów, gdyż zbyt małe stężenie może powodować szybką denitryfikację i powstawanie warunków beztlenowych, a w następstwie uwalnianie, a nie pobór ortofosforanów.

W rezultacie w wyniku przepływu ścieków przez oczyszczalnię stężenie fosforanów w ściekach oczyszczonych wyniosło 1,02 mgP-PO₄³⁻/l, natomiast stężenie fosforu spadło do 1,315 mgP-PO₄³⁻/l (rysunek 4).

Osiągnięte stężenia na odpływie do odbiornika ścieków w Sokółce odpowiadają wymogom stawianym w pozwoleniu wodnoprawnym z dnia 11 grudnia 2002 r.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań odnotowano znaczne obniżenie stężenia związków węgla wyrażonych wskaźnikami BZT₅, ChZT oraz OWO. Zaobserwowano obniżenie stężenia azotu w postaci azotu amonowego, azotanowego, azotynowego, azotu Kjeldahla oraz azotu ogólnego. Także stężenie związków fosforu, w formie fosforanów i fosforu ogólnego, uległo obniżeniu. Świadczy to o prawidłowej pracy oczyszczalni, w której z powodzeniem uzyskuje się wysokie efekty zintegrowanego usuwania związków węgla, azotu i fosforu. Dzięki zastosowanej technologii SBR w sposób stabilny i bez konieczności stosowania wspomaganie chemicznego osiągnięto obniżenie wartości stężeń wyżej wymienionych związków do wartości określonych w pozwoleniu wodnoprawnym. Badania wykazały, że znajomość obiegu związków węgla, azotu i fosforu jest skutecznym narzędziem eksploatatorów, umożliwiającym kontrolę i optymalizację funkcjonowania oczyszczalni. Wiąże się to z usprawnieniem i zwiększeniem stabilności procesu biologicznego usuwania związków biogenych. W przyszłości w celu dokładniejszego poznania i intensyfikacji tych procesów przeprowadzone będą badania specjacji (frakcjonowania) związków azotu.