

OCENA PRZEMIAN ZWIĄZKÓW WĘGLA, AZOTU I FOSFORU PODCZAS OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW KOMUNALNYCH

Lucyna Przywara¹

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Inżynierii Materiałów, Budownictwa i Środowiska, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, e-mail: l.prywara@ath.bielsko.pl

STRESZCZENIE

Prawidłowa eksploatacja oczyszczalni wymaga monitorowania parametrów procesu oczyszczania, jak i efektywności poszczególnych jego etapów. Wymagania prawne dotyczą nie tylko związków organicznych (BZT₅, ChZT) i zawiesin ogólnych, ale również wysokoefektywnego usuwania związków biogennych: azotu i fosforu. Efektywność usuwania związków biogennych zakłóca m.in. wahania temperatury, jakość ścieków, problemy z działaniem osadu czynnego. Celem badań było określenie zmian zawartości związków organicznych, związków azotu i fosforu w poszczególnych etapach mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków. Próbkę pobierano zgodnie z przepływem wzdłuż przekroju oczyszczalni: ścieki surowe, po mechanicznym oczyszczeniu, po komorze pre-denitryfikacji, defosfatcji, denitryfikacji, ścieki oczyszczone. Innym aspektem prowadzonych badań było wyznaczenie frakcji ChZT oraz ich zmian w ściekach komunalnych, po kolejnych etapach mechaniczno-biologicznego oczyszczania. Frakcjonowanie umożliwia wyodrębnienie rozpuszczonych i nierozpuszczalnych substancji organicznych, uwzględniając dodatkowo ich biodegradowalność, a także brak podatności na biologiczny rozkład, co stanowi bardzo istotny element kontroli procesów zachodzących podczas oczyszczania ścieków.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia organiczne, frakcje ChZT, oczyszczanie mechaniczno-biologiczne, azot, fosfor

ASSESSMENT OF CARBON, NITROGEN AND PHOSPHORUS TRANSFORMATIONS DURING MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT

ABSTRACT

Proper exploitation of waste water treatment plant is strictly connected with monitoring of basic parameters and effectiveness of particular its stages. Legal requirements include not only organic compounds (BOD₅, COD) and general suspensions but also highly effective removal of nutrients: nitrogen and phosphorus. The effectiveness of biogenic compounds removal is hindered by temperature fluctuations, effluent quality, and problems of active sediment. The aim of this study was to show the changes in concentrations of organic compounds, nitrogen and phosphorus in the municipal wastewater after subsequent stages of mechanical-biological treatment. During the research, samples were collected during consecutive stages of wastewater treatment: raw wastewater, wastewater after mechanical treatment, pre-denitrification, dephosphatation, denitrification, nitrification and treated wastewater. Determination of COD fractions, and their changes in the municipal wastewater, after the successive stages of mechanical-biological treatment constituted another aspect of this study. It allows separation of dissolved and non-dissolved organic substances, also taking into account their biodegradability and the lack of susceptibility to biological decomposition. This method can also be very important for the control of processes during wastewater treatment.

Keywords: organic matter, COD fractions, mechanical-biological treatment, nitrogen, phosphorus

WSTĘP

W oczyszczalniach ścieków o RLM $\geq 10\,000$ standardy jakości ścieków odpływających muszą zapewniać podwyższone usuwanie związków

azotu i fosforu, a w pozostałych przypadkach pełne biologiczne oczyszczanie ścieków. Na koniec 2015 r. wykazano, że 1592 oczyszczalni z 1663 spełniało wymagania dotyczące jakości oczyszczanych ścieków, 550 oczyszczalni z podwyższ-

nym usuwaniem biogenów oraz 1044 oczyszczalni zapewniających biologiczne oczyszczanie. Do takiego stanu przyczyniło się ok. 440 przeprowadzonych w latach 2014–2015 inwestycji w zakresie modernizacji i/lub rozbudowy oczyszczalni ścieków komunalnych. W tym okresie wybudowano również 36 nowych oczyszczalni ścieków. Jednocześnie z całkowitej ilości oczyszczalni ścieków w analizowanym okresie 71 oczyszczalni odprowadzała ścieki do odbiorników oczyszczone w wystarczającym stopniu [14]. Ważnym więc staje się zwrócenie uwagi na czynniki, które mogą powodować obniżenie efektywności oczyszczania ścieków. Znaczenie ma nie tylko charakter dopływających ścieków, ale również technologia oczyszczania zapewniająca redukcję zanieczyszczeń. O podatności ścieków na procesy biologicznego oczyszczania decydują relacje pomiędzy wartościami wskaźników zanieczyszczeń. Efektywny przebieg procesu oczyszczania zachodzi jeżeli $ChZT/BZT_5 < 2,2$, $BZT_5/Nog > 4$, $BZT_5/Pog > 25$ [5]. Ważne są również proporcje C:N:P jak i forma występowania pierwiastków [3].

Szczególnie istotna jest znajomość profilu zmian związków węgla, azotu i fosforu, która jest niezbędnym i skutecznym narzędziem do kontroli oraz optymalizacji funkcjonowania oczyszczalni ścieków wykorzystujących zintegrowane (wysokosprawne) układy oczyszczania. Określenie wielkości wskaźników zanieczyszczeń w poszczególnych etapach procesu technologicznego pozwoli na stwierdzenie, czy zachodzące na obiekcie procesy przebiegają prawidłowo. A jeżeli nie to umożliwi identyfikację ewentualnych nieprawidłowości.

Ponad to analiza ścieków poszerzona o wyznaczenie frakcji ChZT celem określenia zawartości substancji biodegradowalnych i nie biodegradowalnych pozwoli na dokładniejszą ocenę podatności ścieków na oczyszczanie biologiczne niż stosowany iloraz $ChZT/BZT_5$. Zwłaszcza procesy denitryfikacji i defosfatacji wymagają określonej ilości substancji organicznej łatwo biodegradowalnej [10].

Celem niniejszej pracy jest ocena przemian związków węgla, azotu i fosforu na podstawie analizy wartości wskaźników zanieczyszczeń CHZT, BZT_5 , azot amonowy, azot azotanowy, azot Kjeldahla, azot ogólny i fosforany w poszczególnych fazach procesu oczyszczania. A szczegółowa analiza poszczególnych frakcji ChZT oraz ich udziałów w całkowitym ChZT ścieków przyczyni się do określenia związków biodegradowalnych, których obecność konieczna jest do zintensyfi-

kowania procesów biologicznego oczyszczania ścieków. Znajomość zmian wielkości analizowanych wskaźników w ściekach poddanych procesowi oczyszczania umożliwi ocenę prawidłowości funkcjonowania oczyszczalni.

METODYKA I OBIEKT BADAŃ

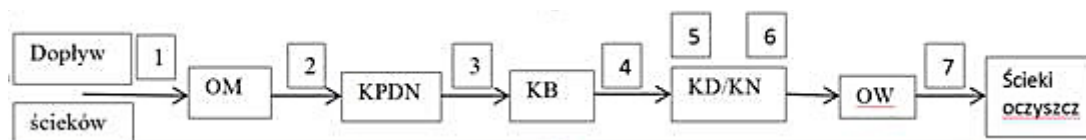
Charakterystyka obiektu badań

Badania przemian związków węgla, azotu i fosforu podczas oczyszczania ścieków prowadzono dla oczyszczalni o Równoważnej Liczbie Mieszkańców równej 42 000 położonej w województwie śląskim. Średnia przepustowość hydrauliczna obiektu wynosi od 5600 m³/d, natomiast przepustowość maksymalna 6000 m³/d. Oczyszczalnia pracuje w układzie mechaniczno – biologicznego oczyszczania ścieków z biologiczną defosfatacją, denitryfikacją i nityfikacją. Ścieki przemysłowe stanowią w ściekach komunalnych około 5%. Wartości dopuszczalne wskaźników zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych z oczyszczalni określone zostały w pozwoleniu wodnoprawnym na podstawie Rozporządzenia [12] dla miejscowości o RLM od 15 000 do 100 000.

Oczyszczalnia składa się z trzech części mechanicznej, biologicznej i przeróbki osadu. Po wstępnym mechanicznym oczyszczaniu (kratki i piaskownik) ścieki przepływają do układu wielofazowego reaktorów biologicznych. Procesy biodegradacji węgla, denitryfikacji, defosfatacji i nityfikacji zachodzą w poszczególnych komorach osadu czynnego. Ścieki najpierw kierowane są do komory predenitryfikacji, następnie do komory beztlenowej, gdzie następuje biologiczna defosfatacja, a w dalszej kolejności do komory symultanicznej denitryfikacji/nityfikacji. Po oczyszczeniu biologicznym ścieki kierowane są do osadnika wtórnego, skąd są odprowadzane do odbiornika.

W celu dokonania oceny przemian związków węgla, azotu i fosforu podczas oczyszczania ścieków komunalnych wykonano sześć serii badawczych. Próbkę ścieków pobierano uwzględniając pojemność poszczególnych komór i czas zatrzymania ścieków w siedmiu wyznaczonych punktach poboru charakterystycznych dla każdego etapu oczyszczania ścieków rozmieszczonych zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1. Zatem analizowano następujące ścieki:

- 1) ścieki surowe,
- 2) ścieki po mechanicznym oczyszczaniu,



Rys. 1. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków i punkty poboru próbek

Fig. 1. Technological diagram of wastewater treatment and sampling points

OM – oczyszczanie mechaniczne, KPDN – komora predenitryfikacji, KB – komora beztlenowa, KD/KN – komora denitryfikacji/nitryfikacji, OW – osadnik wtórny

- 3) ścieki po komorze predenitryfikacji,
- 4) ścieki po komorze defosfatacji,
- 5) ścieki po denitryfikacji,
- 6) ścieki po nitryfikacji,
- 7) ścieki oczyszczone.

W próbkach ścieków określono stężenie zanieczyszczeń organicznych określonych jako ChZT i BZT₅, związków azotu i ortofosforany zgodnie z obowiązującą metodyką: ChZT – metodą dwuchromianową wg: PN-74/C-04578.03, P – EN 15705:2005N, BZT₅ – metodą manometryczną za pomocą systemu OxiTop Control OC110 firmy WTW oraz N-NH₄⁺, N-NO₃, fosforany metodą testów kuwetowych na spektrofotometrze Xion 500 (DR Lange GmbH). Zastosowane procedury analityczne bazowały na metodach standardowych [4]. Stężenie N- Kjeldahla oznaczono metodą miareczkową wg: PN-EN 25663: 2001, a azotu ogólnego obliczono jako sumę stężeń azotu Kjeldahla i azotu azotanowego (V). Ze względu na małą zawartość azotu azotanowego (III) w ilościach poniżej 1 mgN – NO₂/dm³ pominięto w obliczeniach. Frakcje ChZT: frakcje związków rozpuszczonych, łatwo biodegradowalnych – S_s, frakcję związków rozpuszczonych, nie ulegających biologicznemu rozkładowi – S_i, frakcję związków w zawieszynie biologicznie wolno rozkładalnych – X_s i frakcję związków w zawieszynie biologicznie nierozkładalnych (inertnych) – X_i wyznaczono na podstawie wytycznych ATV-DVWK- A 131 [15].

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Charakterystyka ścieków surowych

W okresie badań wartości wskaźników zanieczyszczeń organicznych w ściekach surowych zmieniały się w zakresie od 360 do 653 mg O₂/dm³ określonych jako ChZT i od 201 do 221 mg O₂/dm³ określonych jako BZT₅. Ścieki podawane oczyszczaniu zawierały azot amonowy w zakresie od 11 do 17 mg N-NH₄⁺/dm³, azotany (V) od 2 do 3 mg N-NO₃/dm³, azot Kjeldahla od 15 do 20 mg N/dm³, azot ogólny 19 – 23 mg N/dm³. Stężenie fosforanów wynosiło do 4 do 7 mg P-PO₄³⁻/dm³, średnio 5 mg P-PO₄³⁻/dm³. Średnie wartości stężeń zanieczyszczeń w ściekach po kolejnych procesach mechaniczno – biologicznego oczyszczania przedstawiono w tabeli 1.

Zastosowany w układzie technologicznym oczyszczalni proces mechanicznego oczyszczania powoduje zmniejszenie zawartości związków organicznych określonych jako ChZT i BZT₅ średnio o 37% w przypadku ChZT i 40% dla BZT₅. Tendencja zmniejszania zawartości związków organicznych następuje również w kolejnym procesie predenitryfikacji.

Stężenie zanieczyszczeń organicznych wyrażonych jako ChZT w ściekach pobranych w części biologicznej (proces defosfatacji i denitryfikacji) były kilkakrotnie większe od wartości uzyskanych dla ścieków pobranych z komory predenitryfika-

Tabela 1. Zmiany średnich ilości związków węgla, azotu i fosforu podczas procesu oczyszczania

Table 1. Changes of average content of carbon, nitrogen, phosphorus compounds during treatment process

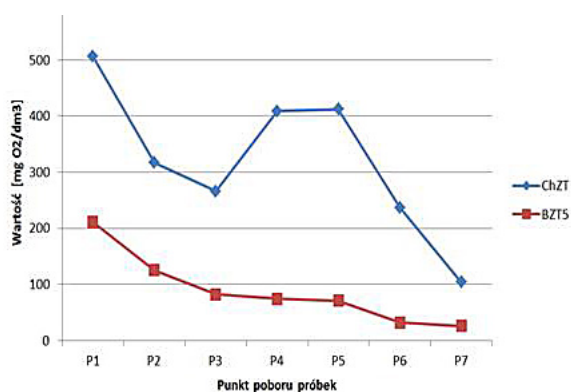
Punkt poboru	ChZT	BZT ₅	P- PO ₄	N- NH ₄	N- NO ₃	TKN
	mg O ₂ /dm ³		mg P- PO ₄	mg N/dm ³		
1	488,0	254	5,1	14,0	2,9	17, 1
2	330	84	4,2	13,1	3,0	18,2
3	251	59	7, 1	5,0	3,5	10,0
4	347	69	8,1	4,5	3,0	10,6
5	349	53	4,2	5,0	4,0	9, 3
6	203	26	1,1	1,0	8,0	2,1
7	101	20	2,1	1,2	4,0	3,1

cji. Wzrost ten spowodowany jest udziałem biomasy osadu czynnego w komorach. Analogicznie rezultaty uzyskali Płuciennik-Koropczuk i in. 2012 [11], Ignatowicz i in. 2011[6]. Natomiast uzyskane równomierne obniżanie wartości BZT₅ w ciągu technologicznym po kolejnych procesach mechaniczno-biologicznego oczyszczania potwierdzają doniesienia literaturowe [7, 2].

Przeływ przez kolejne procesy osadu czynnego (nityfikacja) spowodowało dalsze zmniejszenie wartości ChZT i BZT₅, do uzyskania średniej wartości CHZT na poziomie 104 mg O₂/dm³ i BZT₅ równej 26 mgO₂/dm³ w ściekach oczyszczonych. Choć uzyskana średnia wartość BZT₅ w ściekach oczyszczonych na poziomie 20 mg O₂/dm³ przewyższa wartość 15 mg O₂/dm³ – dopuszczalną określoną w pozwoleniu wodnoprawnym, to efektywność usuwania BZT₅ jest powyżej 90%.

Profil zmian średnich ilości związków organicznych określonych jako ChZT i BZT₅ pokazano na rysunku 2.

Specjacja materii organicznej za pomocą ChZT umożliwia określenie występujących w ściekach form biodegradowalnych i nie biodegradowalnych związków organicznych, których udział ma duży wpływ na efektywność biologicznych procesów usuwania związków azotu i fosforu.



Rys. 2. Profil zmian ilości związków organicznych w poszczególnych punktach poboru próbek
 Fig. 2. Changes of COD, BOD in municipal wastewater treatment

ru. Średni procentowy udział frakcji ChZT w pobranych próbkach po kolejnych etapach oczyszczania przedstawiono w tabeli 2.

W ściekach dopływających do oczyszczalni dominującą frakcją była frakcja Ss (łatwo rozkładalna) – 40,4%, która decyduje o powodzeniu procesów defosfatacji i denitryfikacji. Średni udział ChZT frakcji Xs wyniósł 32,3%. Udział pozostałych frakcji ChZT Si i Xi w ściekach wynosił odpowiednio 16,6% i 10,7%.

W ściekach po mechanicznej części udział frakcji rozpuszczonej (Ss i Si) wzrósł do wartości 80,8%, z tym 54,3% stanowiły związki wchodzące w skład frakcji Ss, a 26,5% substancje rozpuszczone nierozkładalne – Si. Pozostałe 19,2% stanowiła frakcja zawieszona (Xs i Xi), przy czym frakcja Xs stanowiła 14,6%, Xi stanowiła pozostałe 4,6%. Zatem po oczyszczaniu mechanicznym nastąpiło zmniejszenie udziału frakcji zawieszinowej (Xi i Xs) oraz wzrost ilości substancji rozpuszczonych (Ss i Xs).

W ściekach pobranych z komory defosfatacji i denitryfikacji frakcje Si, Ss i Xi i Xs występowały w podobnych proporcjach, przy czym największy udział stwierdzono dla frakcji łatwo rozkładalnej Ss, który wynosi 43% oraz dla frakcji związków rozpuszczalnych nie ulegających biologicznemu rozkładowi Si – 38%.

W wyniku procesów biochemicznych zachodzących w części biologicznej oczyszczalni w ściekach oczyszczonych nastąpił wzrost frakcji Si i Xs, podobnie jak w badaniach prowadzonych przez Struk-Sokołowska 2011 [13].

Dominującą frakcją w ściekach oczyszczonych była frakcja związków rozpuszczalnych nie ulegających biologicznemu rozkładowi przez mikroorganizmy – Si (58%). Łącznie frakcje inertne (Si i Xi) w ściekach oczyszczonych w sumie stanowiły 68,6%. Udział frakcji Xi na poziomie 10,2% w ściekach oczyszczonych pozwala stwierdzić, że zachodzące procesy oczyszczania mechanicznego i biologicznego działają z dużą efektywnością.

Tabela 2. Średni procentowy udział frakcji ChZT w pobranych próbkach po kolejnych etapach oczyszczania
 Table 2. The average percentage of COD fraction in wastewater after subsequent stages of treatment

Frakcje ChZT	Jednostka	Punkty poboru prób						
		1	2	3	4	5	6	7
Si	%	16,6	26,5	33,8	37,9	38,5	57,1	58,4
Ss	%	40,4	54,3	30,8	43,6	43,3	23,6	0
Xs	%	32,3	14,6	26,6	14,7	13,5	14,3	31,4
Xi	%	10,7	4,6	8,8	4,8	4,7	5	10,2

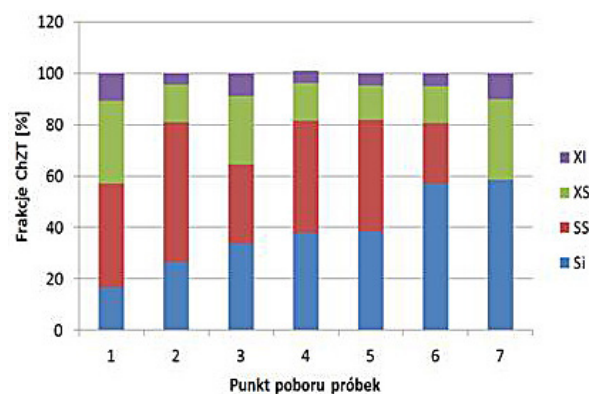
Podczas mechaniczno-biologicznego procesu oczyszczania ścieków całkowicie uległy zmianie proporcje frakcji Si, Ss, Xi, Xs. Obserwowano wzrost udziału frakcji Si z wartości 16,6% do 58,4%. Zmiany udziału procentowego frakcji ChZT w ściekach po kolejnych stopniach oczyszczania przedstawiono na rysunku 3.

Ścieki podawane oczyszczaniu w analizowanym okresie zawierały azot amonowy w zakresie od 11 do 17 mg N-NH₄⁺/dm³, azotany od 2 do 3 N-NO₃/dm³, azot Kjeldahla od 15 do 20 mg N/dm³, azot ogólny 19–23 mg N/dm³. Stężenia związków azotu w próbkach ścieków pobranych z biologicznej części oczyszczalni – z komory predenitryfikacji były kilkakrotnie mniejsze niż w ściekach po mechanicznym oczyszczaniu. Takı stan utrzymywał się również w trakcie procesu defosfatacji. Podczas kolejnego procesu denitryfikacji nastąpiły nieznaczne zmiany zawartości poszczególnych form związków azotu. Natomiast w procesie nitryfikacji dzięki aktywności bakterii *Nitrosomonas* i *Nitrobacter* stwierdzono jednoczesne zmniejszenie stężenia azotu amonowego średnio do wartości 1,0 mg N-NH₄⁺/dm³ oraz wzrost stężenia azotanów średnio do wartości 8 N-NO₃/dm³. W analizowanym systemie biologicznego oczyszczania ścieków uzyskane średnie wartości ilorazu BZT₅/TKN powyżej 5 [8] świadczą o zachodzeniu procesów utleniania węgla organicznego i azotu amonowego. Co potwierdzone jest zmniejszającymi się wartościami azotu amonowego i związków organicznych określonych jako BZT₅.

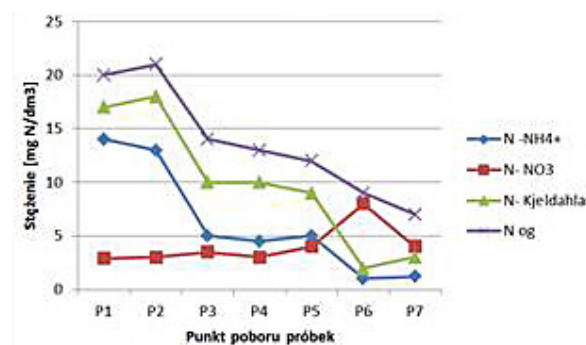
W wyniku zachodzących procesów podczas całego cyklu oczyszczania ścieków uzyskano obniżenie średnich ilości związków azotu i tak dla azotu amonowego z wartości 14 N-NH₄⁺/dm³ do 1,2 N-NH₄⁺/dm³, dla azotu Kjeldahla z 17 mg N/dm³ do 3 mg N/dm³, dla azotu ogólnego z 20 N/dm³ do 7 N/dm³ oraz średnio wzrost stężenia azotu azotanowego z 2,9 N-NO₃/dm³ do 4 N-NO₃/dm³. W ściekach oczyszczonych pozostał azot organiczny nierozkładalny, którego zawartość wyniosła 1,8 mg N/dm³. Wartość ta koresponduje z danymi podanymi przez autorów prac [1, 9]. Średnie wartości związków azotowych w ściekach po kolejnych procesach oczyszczania przedstawiono na rysunku 4.

W badanych ściekach surowych stężenie fosforanów wynosiło do 4 do 7 mg P-PO₄³⁻/dm³, średnio 5 mg P-PO₄³⁻/dm³. Ścieki po mechanicznym oczyszczaniu kierowane są do komór predenitryfikacji i defosfatacji, gdzie roz-

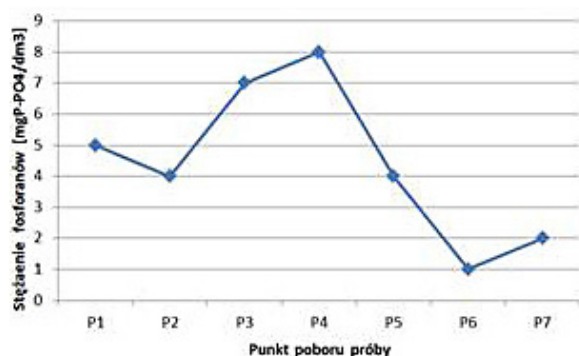
poczyna się proces biologicznego usuwania fosforu. W komorach tych, w warunkach bez-tlenowych, następuje uwalnianie fosforanów przez bakterie akumulujące fosfor. O zachodzeniu procesu defosfatacji świadczy wzrost stężenia fosforanów. W ściekach po procesie predenitryfikacji średnie stężenie fosforanów wzrosło do wartości 7 mg P-PO₄³⁻/dm³, a w komorze defosfatacji do 8 mg P-PO₄³⁻/dm³, co stanowi 50% wzrost stężenia fosforanów w porównaniu z ilością uzyskaną w ściekach po mechanicznym oczyszczaniu. Uwolnione w ten sposób fosforany w dalszej części biologicznego oczyszczania (denitryfikacja i nitryfikacja) pobierane są przez bakterie PAO akumulujące fosfor (phosphorus accumulating organisms). Zastosowany biologiczny proces oczyszczania umożliwił obniżenie stężenia fosforanów w ściekach oczyszczonych do wartości 2 mg P-PO₄³⁻/dm³ (rys. 5).



Rys. 3. Zmiany udziału procentowego frakcji ChZT w ściekach po kolejnych stopniach oczyszczania
Fig. 3. Changes of percentage shear of each fraction COD in wastewater after subsequent stages of treatment



Rys. 4. Profil zmian stężenia związków azotowych w poszczególnych punktach poboru próbek
Fig. 4. Changes of concentration of nitrogen in municipal wastewater treatment



Rys. 5. Profil zmian stężenia jonów fosforanowych w poszczególnych punktach poboru próbek

Fig. 5. Changes of concentration of phosphorus in municipal wastewater treatment

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy otrzymanych wyników sformułowano następujące wnioski:

1. Analizowany układ mechaniczno – biologicznego oczyszczania ścieków z biologiczną defosfatacją, denitryfikacją i nityfikacją, zapewnia bardzo skuteczne usuwanie materii organicznej określonej jako ChZT i BZT₅.
2. Zmiany zawartości związków azotu i fosforu w ciągu technologicznym oczyszczalni były typowe dla poprawnego procesu oczyszczania w układzie wysokoefektywnego usuwania związków biogenych.
3. Istnieje ścisła zależność między zmianami ilości związków węgla, azotu, fosforu, a procesami zachodzącymi w układzie mechaniczno- biologicznego oczyszczania. Znajomość zależności między zachodzącymi procesami umożliwia optymalizację funkcjonowania oczyszczalni ścieków i jej kontrolę.
4. Zmiany udziału frakcji biodegradowalnych dobrze obrazowały wzrost efektywności oczyszczania ścieków w kolejnych procesach.
5. Podczas mechaniczno – biologicznego procesu oczyszczania ścieków całkowicie uległy zmianie proporcje frakcji Si, Ss, Xi, Xs. Obserwowano największy wzrost udziału frakcji Si z wartości 16,6% do 58,4%.

LITERATURA

1. Czerwionka K., Mąkinia J., 2009. Charakterystyka i pochodzenie rozpuszczonego i koloidalnego azotu organicznego w odpływach z komunalnych oczyszczalni ścieków. III Kongres Inżynierii Środowiska, Lu-

blin, wrzesień 2009. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, vol. 58, tom 1, pod red. J. Ozonka i M. Pawłowskiej, s. 73–85.

2. Dąbrowski W., Puchlik M., 2010. Udział frakcji ChZT w ściekach mleczarskich w oczyszczalni stosującej intensywne usuwanie węgla, azotu i fosforu. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 12, 735–746.
3. Dąbrowski W., 2011. Określenie zmian stężenia zanieczyszczeń w profilu oczyszczalni ścieków mleczarskich na przykładzie S.M. Mekovita w Wysokiem Mazowieckiem. *Inżynieria Ekologiczna*, 24, 236–242
4. Eaton A.D., Clesceri L.S., Greenberg A.E. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington.
5. Heidrich Z., Witkowski A., 2005. Urządzenia do oczyszczania ścieków. Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” Sp. z o.o., Warszawa
6. Ignatowicz K., Nowicki Ł., Puchlik M., 2011. Profil zmian stężenia związków węgla, azotu i fosforu w oczyszczalni ścieków komunalnych w Nowej Wsi Ełkiej. *Inżynieria Ekologiczna*, 24, 52- 63
7. Kazimierowicz J., Ignatowicz K., 2014. Zależność między zmianami ilości związków węgla, azotu, fosforu i zużycia energii w sekwencyjnym reaktorze porcjowym (SBR) a procesami zachodzącymi w reaktorze. *Gaz, woda i technika sanitarna*, 9, 341–345
8. Mazurkiewicz M., 2012. Usuwanie związków azotu ze ścieków w oczyszczalni w Kostrzynie nad Odrą. *Inżynieria Środowiska* 27, 5–15
9. Mąkinia J., Pagilla K., Czerwionka K., Stense D., 2011. Modeling organic nitrogen conversion in activated sludge bioreactors. *Water Science & Technology*, 63 (7), 1418 – 1426
10. Myszograj S., 2005. ChZT i BZT₅ – miarą biodegradowalności substancji organicznej. *Ekotechnika*, 4, 42–45
11. Pluciennik-Koropczuk E., Jakubaszek A., 2012. Podatność ścieków na rozkład biochemiczny w procesach mechaniczno-biologicznego oczyszczania. *Inżynieria Środowiska*, 28, 73–83
12. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 w sprawie warunków, jakie należy spełniać przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego [Dz.U.2014 poz. 1800]
13. Struk-Sokołowska J. 2011. Zmiany udziału frakcji ChZT podczas oczyszczania ścieków komunalnych z dużym udziałem ścieków mleczarskich, *Rocznik Ochrony Środowiska*, 13, 2015- 2032
14. Sprawozdanie z wykonania krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych w latach 2014–2015 warszawa, 2016 Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej
15. Wytyczne ATV-131.2000. Wymiarowanie jednostopniowych oczyszczalni ścieków z osadem czynnym. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa.