

Ewa PUSZCZAŁO¹, Anna ŚWIERCZYŃSKA¹ i Jolanta BOHDZIEWICZ¹

ZASTOSOWANIE BIOPREPARATÓW DO INTENSYFIKACJI OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW METODĄ OSADU CZYNNEGO

APPLICATION OF BIOPREPARATION TO INTENSIFY THE TREATMENT OF WASTEWATER WITH ACTIVATED SLUDGE

Abstrakt: Celem badań było zastosowanie biopreparatu jako czynnika wspomagającego współczyszczanie odcieków ze ściekami syntetycznymi metodą osadu czynnego. Badania prowadzono w sekwencyjnych reaktorach biologicznych o pojemności 3 dm³ (SBR). Stężenie osadu czynnego w SBR utrzymywano na poziomie 4,0 g/dm³, obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń kształtowało się na poziomie 0,05-0,1 g ChZT/g s.m. d, natomiast stężenie tlenu w komorze napowietrzania utrzymywano na poziomie 3 mg O₂/dm³. Układ pracował w cyklu 12-godzinnym. Udział procentowy odcieków w mieszaninie ze ściekami syntetycznymi wynosił 5% obj. Substratem badań były odcieki pochodzące ze składowiska odpadów komunalnych w Tychach oraz ścieki syntetyczne przygotowane na bazie bulionu zgodnie z normą PN-72/C-04550. ChZT odcieków kształtowało się na poziomie średnio 3000 mg O₂/dm³, a BZT₅ wynosiło 280 mg O₂/dm³. Stosunek BZT₅/ChZT był bardzo niski i wahał się w przedziale 0,06-0,1. W odciekach ze składowisk odpadów komunalnych występowały również wysokie stężenia azotu amonowego przekraczające znacząco jego ilość w ściekach syntetycznych. Kryterium oceny stopnia oczyszczenia ścieków była zmiana wartości wskaźników zanieczyszczeń, tj.: ChZT, BZT₅, OWO, stężenia P-PO₄, N_{cał}, N-NO₃, N-NH₄. Stwierdzono, że dodatek biopreparatu w ilości 3 mg/dm³ poprawił stopień usunięcia fosforu fosforanowego, azotu azotanowego i całkowitego.

Słowa kluczowe: biopreparaty, osad czynny, sekwencyjny reaktor biologiczny (SBR), odcieki ze składowiska odpadów komunalnych

Wstęp

Odcieki stanowią istotne zagrożenie dla środowiska naturalnego. Ich obciążenie, wysoka zawartość substancji organicznej, zmienny skład i objętość powodują, że oczyszczanie tych wód odpadowych jest znacznie trudniejsze w porównaniu ze ściekami komunalnymi i często wymaga zastosowania połączonych metod fizykochemicznych oraz biologicznych [1-4]. W świetle danych literaturowych wyraźnie widać, że najczęściej stosowanym urządzeniem do biologicznego oczyszczania odcieków jest sekwencyjny reaktor biologiczny [5-7]. Zazwyczaj odcieki surowe lub podczyszczone oczyszcza się wraz ze ściekami komunalnymi w oczyszczalniach miejskich. Głównym celem, jaki zakłada się w procesie oczyszczania, jest zmniejszenie wysokich wartości BZT₅ i ChZT oraz usunięcie w wymaganym stopniu substancji biogenych, między innymi azotu amonowego. Natomiast wprowadzenie zbyt dużej ilości odcieków zawierających substancje toksyczne do ścieków komunalnych może spowodować obumieranie mikroorganizmów osadu czynnego i tym samym uniemożliwić przebieg reakcji biochemicznych.

Wyniki wcześniejszych badań prowadzonych przez autorki artykułu, dotyczące współczyszczania w bioreaktorze membranowym odcieków ze ściekami komunalnymi, wykazały, że podstawowym problemem było usunięcie w odpowiednio wysokim stopniu

¹ Zakład Chemii Środowiska i Procesów Membranowych, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, ul. S. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 29 81, email: ewa.puszczalo@polsl.pl

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'13, Jarnołtówek, 23-26.10.2013

azotu azotanowego oraz fosforu fosforanowego [8, 9]. W związku z tym podjęto próbę poprawy efektywności usuwania tych biogenów poprzez zastosowanie biopreparatu. Zawiera on enzymy, bakterie, substancje pożywkujące, aktywatory biologiczne, nośniki mineralne o rozwiniętej powierzchni i substancje stabilizujące. Wpływa on również na intensywność procesów życiowych organizmów budujących osad czynny i błonę biologiczną, modyfikuje ich skład, ułatwiając wytworzenie się biocenozy właściwej dla rodzaju ścieków i parametrów technologicznych oczyszczania. Zmniejsza także szkodliwe oddziaływanie substancji toksycznych na komórki. Zastosowany biopreparat zwiększa redukcję związków azotu w oczyszczalni poprzez: zwiększenie wbudowania w biomase osadu czynnego, wzrost populacji bakterii nityfikujących, zwiększenie aktywności bakterii denitryfikujących oraz zwiększa redukcję fosforu w oczyszczalniach poprzez: zwiększenie aktywności biochemicznej całej biomasy bakterii, wzrost akumulacji polifosforanów w komórce bakteryjnej, zmniejszenie oddawania fosforu z komórki.

Substrat i metodyka badań

Substratem badań były odcieki pochodzące ze składowiska odpadów komunalnych w Tychach oraz ścieki syntetyczne przygotowane na bazie bulionu zgodnie z normą PN-72/C-04550. W tabeli 1 przedstawiono skład ścieków syntetycznych.

Skład ścieków syntetycznych

Tabela 1

Composition of synthetic sewage

Table 1

Skład ścieków syntetycznych [mg/dm ³]	
Pepton kazeinowy	156
Bulion	105
NH ₄ Cl	20
NaCl	7
CaCl ₂ ·6H ₂ O	7
MgSO ₄ ·7H ₂ O	2
KH ₂ PO ₄	20
K ₂ HPO ₄	50

Ich skład był zbliżony do składu ścieków komunalnych. Takie rozwiązanie wyeliminowało niekorzystne zjawisko ewentualnych zmian składu rzeczywistych ścieków komunalnych. Charakterystykę ścieków syntetycznych oraz odcieków ze składowiska komunalnego przedstawiono w tabeli 2.

Proces biologicznego oczyszczania odcieków prowadzono w warunkach laboratoryjnych, stosując osad czynny pochodzący z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Gliwicach. Badania prowadzono w sekwencyjnych reaktorach biologicznych o pojemności 3 dm³ (SBR). Pierwszym etapem badań było zaadaptowanie osadu czynnego do oczyszczania odcieków ze ściekami syntetycznymi. Po czterech tygodniach pracy reaktora osad czynny został wpracowany, tzn. wartości wskaźników zanieczyszczeń ścieków oczyszczonych kształtowały się na porównywalnym poziomie. Po tym czasie przystąpiono do dozowania biopreparatu. Biopreparat był dodawany bezpośrednio do reaktora SBR wraz z dopływającą mieszaniną ścieków w następujący sposób: pierwszego

dnia dawka zaszczepiająca 5 g/m^3 , następnie przez minimum 21 dni dawka uzupełniająca 2 g/m^3 . Cykl pracy reaktorów wynosił 12 h, w tym faza napełniania i mieszania - 4 h, napowietrzania - 7 h, sedymentacji i odprowadzenia sklarowanych ścieków - 1 h. Udział procentowy odcieków w mieszaninie ze współoczyszczanymi ściekami syntetycznymi wynosił 5% obj. Badania były prowadzone równolegle w czterech reaktorach SBR, a mianowicie przy obciążeniu osadu ładunkiem zanieczyszczeń na poziomie $0,05 \text{ g ChZT/g s.m. d}$ oraz $0,1 \text{ g ChZT/g s.m. d}$ z biopreparatem i bez (kontrola). Każdy mieszano za pomocą mieszadła magnetycznego i napowietrzano przy użyciu pompki perystaltycznej. Stężenie tlenu utrzymywane było na stałym poziomie wynoszącym 4 mg/dm^3 . W trakcie prowadzenia procesu współoczyszczania ścieków osad nadmierny był na bieżąco usuwany z reaktora w celu utrzymania stałego stężenia równego 4 g/dm^3 . We wszystkich reaktorach pH utrzymywało się na poziomie 7,5-8,5. W tabeli 2 przedstawiono wskaźniki zanieczyszczeń charakteryzujące ścieki syntetyczne, odcieki ze składowiska komunalnego oraz ich mieszaninę, natomiast skład poszczególnych reaktorów przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2

Wskaźniki zanieczyszczeń charakteryzujące ścieki syntetyczne,
odcieki ze składowiska komunalnego oraz ich mieszaninę

Table 2

The values of pollutants characterized of the municipall landfill leachates,
the synthetic sewage and and their mixture

Oznaczenie	Jednostka	Ścieki syntetyczne	Odcieki	Ścieki syntetyczne + 5 % odcieków
Odczyn	[-]	7,5	8,3	8,1
CHZT	[g/m ³]	750	3400	840
BZT ₅	[g/m ³]	300	300	300
OWO	[g/m ³]	230	450	265
P-PO ₄	[g/m ³]	15	30	19
N-NH ₄	[g/m ³]	15	850	39
N _{cał}	[g/m ³]	98	510	130
N-NO ₃	[g/m ³]	7	2,5	7

Tabela 3

Zawartość czterech reaktorów SBR

Table 3

The content of four SBR

Reaktor 1	Obciążenie substratowe osadu $0,05 \text{ g ChZT/g s.m. d}$ (kontrola)	Ścieki syntetyczne z 5 % obj. udziałem odcieków
Reaktor 2	Obciążenie substratowe osadu $0,05 \text{ g ChZT/g s.m. d}$ + biopreparatem	
Reaktor 3	Obciążenie substratowe osadu $0,1 \text{ g ChZT/g s.m. d}$ (kontrola)	
Reaktor 4	Obciążenie substratowe osadu $0,1 \text{ g ChZT/g s.m. d}$ + biopreparatem	

Wykonano następujące oznaczenia analityczne: ChZT, OWO, stężenia fosforu ogólnego oraz stężenia azotu całkowitego, azotanowego oraz amonowego. Stężenia tlenu wyznaczono przy pomocy tlenomierza CO-411. Do oznaczenia poszczególnych form węgla zastosowano analizator węgla Multi N/C firmy Jena Analytik. Azot całkowity, amonowy, azotanowy, fosfor fosforanowy oraz ChZT oznaczono zgodnie z metodyką podaną przez

firmę Merck, a BZT₅ metodą respirometryczną z wykorzystaniem zestawu pomiarowego OXI Top WTW.

Wyniki i omówienie badań

Uśrednione wyniki analiz fizykochemicznych ścieków współczyszczonych w reaktorach SBR przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Wskaźniki zanieczyszczeń charakteryzujące ścieki oczyszczone w reaktorze SBR

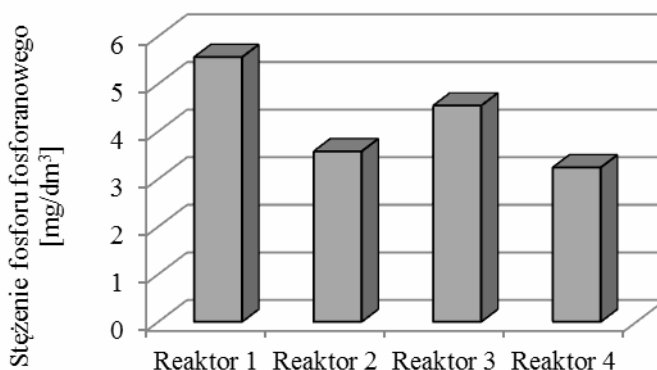
Table 4

The values of pollutants characterized of the wastewater treated in SBR reactor

Reaktor	ChZT	OWO	N-NO ₃	N-NH ₄	N _{cał}	P-PO ₄	pH
	[mg/dm ³]						[-]
1	71,2	27,44	55,2	1,64	77,8	5,6	8,2
2	72	26,2	43,5	1,9	63,4	3,6	8,4
3	67,4	23,94	44	1,82	55	4,5	8,3
4	67,4	24,46	35,3	2,6	45,6	3,2	8,4

Wartość stężenia ChZT oraz OWO podczas pracy każdego z reaktorów nie przekraczała ilości normowanych wg RMŚ, tj. kolejno 125 i 40 mg/dm³ [10]. Zauważono, że w reaktorach kontrolnych i z biopreparatem uzyskano taki sam stopień usunięcia wskaźników zanieczyszczeń organicznych. Redukcja ChZT kształtowała się średnio na poziomie 92%, natomiast OWO 90%, a wartości ich stężeń wynosiły kolejno ChZT od 67,4-72 mg/dm³, a OWO od 23,94-27,44 mg/dm³.

Stosowanie biopreparatu miało za zadanie poprawę redukcji związków azotu i fosforu. Na rysunku 1 przedstawiono wpływ biopreparatu na stężenie fosforu fosforanowego w ściekach oczyszczanych.

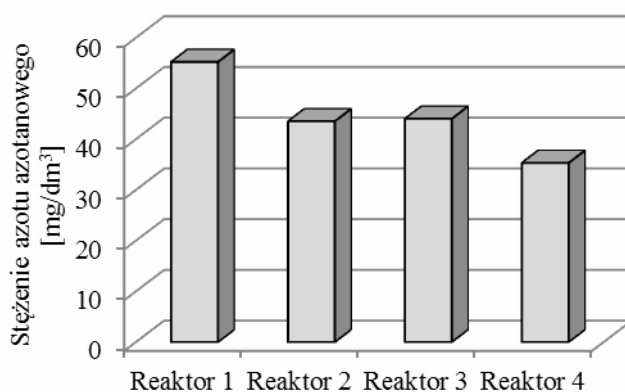


Rys. 1. Zmiana stężenia fosforu fosforanowego w procesie współczyszczania odcieków w reaktorze SBR w zależności od obciążenia osadu ładunkiem zanieczyszczeń i zastosowanego biopreparatu

Fig. 1. The change of concentration of phosphorus phosphate during leachates co-treatment in the SBR bioreactor depending on activated sludge loading and the application biopreparation

Stwierdzono, iż biopreparat przyczynił się do poprawy stopnia usunięcia fosforu fosforanowego o 36% w przypadku obciążenia substratowego osadu 0,05 g ChZT/g s.m. d oraz o 29% w przypadku obciążenia osadu 0,1 g ChZT/g s.m. d. Jego uśredniona wartość stężenia w odpływie z reaktora SBR w pierwszym przypadku obniżyła się z 5,6 do 3,6 mg/dm³, a przy większym obciążeniu z 4,5 do 3,2 mg/dm³. Można więc wywnioskować, że biopreparat wspomógł zachodzący proces defosfatacji. Natomiast nie na tyle, aby ścieki odpowiadały wartościom normowanym. Prawdopodobnie przy dłuższym czasie prowadzenia procesu możliwe byłoby uzyskanie jeszcze niższych wartości stężenia tego biogenu.

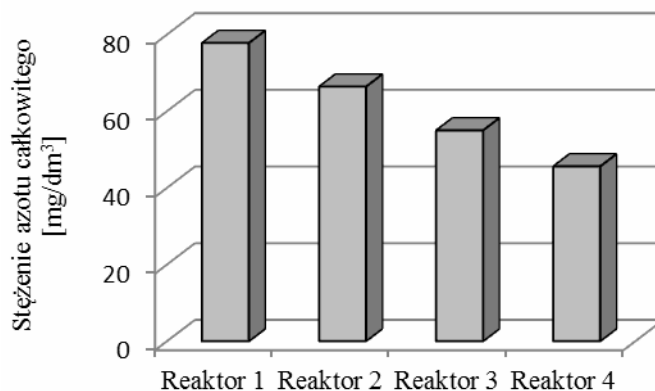
Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono stężenie poszczególnych form azotu w oczyszczonych ściekach.



Rys. 2. Zmiana stężenia azotu azotanowego w procesie współoczyszczania odcieków w reaktorze SBR w zależności od obciążenia osadu ładunkiem zanieczyszczeń i zastosowanego biopreparatu

Fig. 2. The change of concentration of nitrate nitrogen during leachates co-treatment in the SBR bioreactor depending on activated sludge loading and the application biopreparation

Podczas prowadzenia badań zaobserwowano również spadek stężenie azotu azotanowego i całkowitego w reaktorach z udziałem biopreparatu. Wartość stężenia N-NO₃ przy obciążeniu 0,05 g ChZT/g s.m. d obniżyła się z 55,2 mg/dm³ (odpływ bez stosowania biopreparatu) do 43,5 mg/dm³ (z biopreparatem), a przy obciążeniu 0,1 g ChZT/g s.m. d zmniejszyła się z 44 do 35,3 mg/dm³. Pomimo iż stopień usunięcia tego biogenu wzrósł po zastosowaniu biopreparatu o 20%, nie zapewniło to wystarczającego oczyszczenia przedmiotowych ścieków, tak aby można było odprowadzić je do zbiornika wodnego. Podobne zależności zauważono podczas analizy azotu całkowitego, jego stężenie w ściekach oczyszczonych również uległo obniżeniu w reaktorach z zastosowaniem biopreparatu średnio o 18%. Jego stężenie w odpływie z reaktorów z udziałem biopreparatu w reaktorze 2 wynosiło 63,4 mg/dm³, natomiast w reaktorze 4 kształtowało się średnio na poziomie 45,6 mg/dm³. Biorąc pod uwagę azot całkowity, ścieki oczyszczone również nie odpowiadały wartościom normowanym. Prawdopodobnie w celu zwiększenia efektywności usuwania azotu należałoby zmodyfikować cykl pracy reaktora MSBR, wprowadzając zmiany czasu prowadzenia faz tlenowo-beztlenowych, ewentualnie spróbować zastosować większe dawki biopreparatu niż te podane przez producenta.



Rys. 3. Zmiana stężenia azotu azotanowego w procesie współczyszczania odcieków w reaktorze SBR w zależności od obciążenia osadu ładunkiem zanieczyszczeń i zastosowanego biopreparatu

Fig. 3. The change of concentration of total nitrogen during leachates co-treatment in the SBR bioreactor depending on activated sludge loading and the application biopreparation

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Stwierdzono, że w reaktorach kontrolnych i z udziałem biopreparatu uzyskano taki sam stopień usunięcia wskaźników zanieczyszczeń organicznych. Redukcja ChZT kształtowała się średnio na poziomie 92%, natomiast OWO 90%.
2. Biopreparat przyczynił się do poprawy stopnia usunięcia fosforu fosforanowego o 36% w przypadku obciążenia substratowego osadu 0,05 g ChZT/g s.m. d oraz o 29% w przypadku obciążenia osadu 0,1 g ChZT/g s.m. d.
3. Pomimo iż obniżenie stężenia azotu azotanowego zwiększyło się o 20%, a azotu całkowitego o 18%, nie zapewniło to wystarczającego oczyszczenia przedmiotowych ścieków, tak aby można było odprowadzić je do zbiornika wodnego.

Literatura

- [1] Rosik-Dulewska C. Podstawy gospodarki odpadami. Warszawa: Wyd Nauk PWN; 2002.
- [2] Ahmed FN, Lan CQ. Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: A review. *Desalination*. 2012;287:41-54. DOI: 10.1016/j.desal.2011.12.012.
- [3] Uygur A, Kargi F. Biological nutrient removal from pre-treated landfill leachate in sequencing batch reactor. *J Environ Manage*. 2004;71:9-14. DOI: 10.1016/j.jenvman.2004.01.002.
- [4] Sun H, Yang Q, Peng Y, Shi X, Wang S, Zhang S. Advanced landfill treatment using a two-stage UASB 0 SBR system at low temperature. *J Environ Sci*. 2010;22(4):481-485. DOI: 10.1016/S1001-0742(09)60133-9.
- [5] Klimiuk E, Łebkowska M. Biotechnologia w ochronie środowiska. Warszawa: Wyd Nauk PWN; 2005.
- [6] Abood AR, Bao J, Du J, Zheng D, Luo Y. Non-biodegradable landfill leachate treatment by combined process of agitation, coagulation, SBR and filtration. *Waste Manage*. 2014;34(2):439-447. DOI: 10.1016/j.wasman.2013.10.025.
- [7] Laitinen N, Luonsi A, Vilen J. Landfill leachate treatment with sequencing batch reactor and membrane bioreactor. *Desalination*. 2006;191:86-91. DOI: 10.1016/j.desal.2015.08.012.
- [8] Świerczyńska A, Bohdziewicz J, Amalio-Kosel M. Activity of activated sludge microorganisms in the co-treatment of the leachates in the SBR bioreactor. *Ecol Chem Eng A*. 2011;18(4):895-902. [http://tchie.uni.opole.pl/ece_a/A_18_7/ECE_A_18\(7\).pdf](http://tchie.uni.opole.pl/ece_a/A_18_7/ECE_A_18(7).pdf).

- [9] Świerczyńska A, Puszczalo E, Bohdziewicz J. The municipal landfill leachates co-treatment with the synthetic wastewaters in the membrane bioreactor. In: Environ Eng. Pawłowski L, Dudzińska M, Pawłowski A, editors. London: Taylor & Francis Group; 2009;243-247.
- [10] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20140001800>.

APPLICATION OF BIOPREPARATION TO INTENSIFY THE TREATMENT OF WASTEWATER WITH ACTIVATED SLUDGE

Division of Environmental Chemistry and Membrane Processes, Institute of Water and Wastewater Treatment
Silesian University of Technology, Gliwice

Abstract: The aim of this study was the application of biopreparation to intensify the treatment of leachate with synthetic sewage sludge method. The experiments were performed in sequential biological reactor (SBR) of 3 dm³. The concentration of the activated sludge in the SBR was equal to 4.0 g/dm³, and the oxygen concentration in the aeration chamber was at the level of 3.0 g O₂/m³. The sludge loading with contaminants was established at the level of 0.05 and 0.1 g COD/g_{TSD}. The percentage share of leachates was 5 vol.%. The operational cycle of the bioreactor took 12 h. The substrate used in that studies was the leachate taken from the municipal landfill in Tychy and synthetic wastewater prepared from of broth according to standard PN-72/C-04550. COD was on the level of 3000 mg O₂/dm³, and BOD₅ was 280 mg O₂/dm³. The ratio BOD₅/COD of those leachates was very low and varied from 0.06. to 0.1. The municipal landfill leachates posses also significant amount of the ammonium nitrogen, which are much higher than those present in the synthetic sewage. The main criterion for the estimation of the effectiveness of the treatment process was the change of parameters indicating impurities content such as: COD, BOD₅, contents of TOC, TC and concentrations P-PO₄, N_{tot}, N-NO₃, N-NH₄. An addition of biocomponent to activated sludge bioreactor at amount of 3 mg/dm³ reduces P-PO₄, N-NO₃ and N_{tot}.

Keywords: biopreparation, activated sludge, sequential biological reactor (SBR), municipal landfill leachates