

Anna ŚWIERCZYŃSKA<sup>1</sup> i Jolanta BOHDZIEWICZ<sup>1</sup>

## **MODYFIKACJA CYKLU PRACY SEKWENCYJNEGO BIOREAKTORA MEMBRANOWEGO PODCZAS OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW PRZEMYSŁOWYCH**

### **MODIFICATION WORK CYCLE PHASES DURATION OF TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER IN THE SEQUENTIAL MEMBRANE BIOREACTOR**

**Abstrakt:** Celem badań było ustalenie najkorzystniejszego czasu prowadzenia faz w cyklu pracy sekwencyjnego bioreaktora membranowego w procesie współoczyszczania ścieków przemysłowych, wpływającego na zmniejszenie głównie stężenia fosforu fosforanowego. Układ badawczy składał się z bioreaktora membranowego z zainstalowanym wewnątrz modulem membranowym oraz zbiornika uśredniającego. Udział odcieków wynosił 10% obj. Osad nadmierny na bieżąco usuwano z reaktora SBR w celu utrzymania stałego stężenia na poziomie 3,5 g/dm<sup>3</sup>. Obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń wynosiło 0,06 g ChZT/g s.m. d, a stężenie tlenu kształtowało się na poziomie 3 mg/dm<sup>3</sup>. Bioreaktor membranowy pracował w dwóch cyklach na dobę. Faza mieszania z napełnianiem trwała 4 h, napowietrzanie 7 h, sedimentacja 30 min, odprowadzenie sklarowanych ścieków 30 min. Następnie po 4 tygodniach pracy w tych warunkach zmodyfikowano cykl pracy sekwencyjnego bioreaktora membranowego poprzez skrócenie ich przebiegu oraz wprowadzenie dodatkowych dwóch faz - denitryfikacji i nityfikacji. Czas prowadzenia poszczególnych faz pracy bioreaktora był następujący: napełnianie wynosiło 10 min z równoczesnym mieszaniem, trwającym łącznie 3 h, napowietrzanie 4 h, mieszanie 1 h, napowietrzanie 3 h, sedimentacja 30 min i dekantacja oczyszczonych ścieków 30 min. Analizując otrzymane wyniki, wykazano poprawę efektywności współoczyszczania badanej mieszaniny ścieków po wprowadzeniu zmian w cyklach pracy bioreaktora membranowego. Wprowadzone zmiany czasów poszczególnych faz procesowych reaktora MSBR spowodowały obniżenie stężenia P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> z 4,8 do wartości 2,9 mg/dm<sup>3</sup>.

**Słowa kluczowe:** ścieki z przemysłu mleczarskiego, odcieki składowiskowe, SBR, bioreaktor membranowy

Odcieki ze składowisk odpadów komunalnych najczęściej są współoczyszczane w oczyszczalniach miejskich ze ściekami komunalnymi, rzadziej natomiast w miejscu powstawania. Wysokie stężenie zawartych w nich substancji organicznych również o charakterze toksycznym, zmienny w czasie eksploatacji składowiska skład chemiczny odcieków oraz ich ilość powodują, że ich unieszkodliwienie jest zdecydowanie trudniejsze w porównaniu z oczyszczaniem ścieków komunalnych [1, 2]. Odcieki najczęściej oczyszczane są w systemach biologicznych wykorzystujących zarówno procesy beztlenowe, jak i tlenowe [2]. W świetle danych literaturowych wyraźnie widać, że najczęściej stosowanym rozwiązaniem w biologicznym oczyszczaniu odcieków jest użycie sekwencyjnego reaktora biologicznego [3-5]. Tak więc zastosowanie bioreaktora membranowego pracującego w systemie SBR niesie szereg zalet. Biologiczne oczyszczanie odcieków w bioreaktorach porcjowych typu SBR jest korzystniejsze z uwagi na to, że posiada możliwość dostosowywania konfiguracji systemu i sposobu działania do zarówno krótkoterminowych, dziennych czy długookresowych zmian obciążenia osadu ładunkiem zanieczyszczeń. Istnieje możliwość wprowadzenia wielu modyfikacji technologicznych

<sup>1</sup> Zakład Chemii Środowiska i Procesów Membranowych, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, email: jolanta.bohdziewicz@polsl.pl, anna.swierczynska@polsl.pl

\* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'14, Jarnołtówek, 15-17.10.2014

w czasie ich eksploatacji, jak zmiany czasu trwania poszczególnych faz czy długości trwania cyklu. Istotną również w tym przypadku jest możliwość wyeliminowania z klasycznego układu technologicznego oczyszczania odcieków metodą osadu czynnego osadnika wtórnego, a co za tym idzie - zmniejszenie kubatury oczyszczalni. Istnieje również możliwość stosowania w bioreaktorze membranowym wysokich stężeń osadu czynnego, co łączy się ze zwiększeniem przepustowości oczyszczalni [3-8].

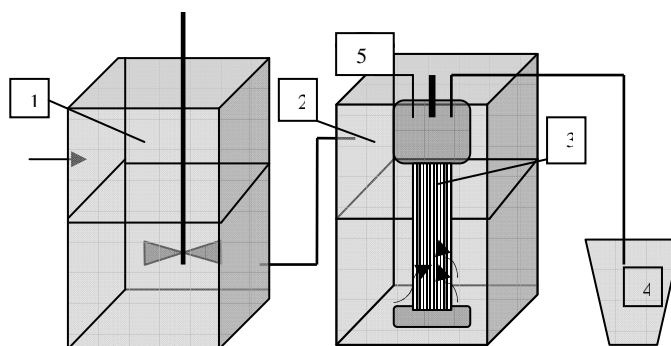
### Substrat i metodyka badań

Substratem badań były odcieki pochodzące ze składowiska odpadów komunalnych oraz ścieki z przemysłu mleczarskiego. Biologicznemu współocyszczaniu poddawano ścieki mleczarskie z 10% obj. udziałem odcieków składowiskowych. Stężenia poszczególnych zanieczyszczeń charakteryzujące te ścieki przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1  
Charakterystyka fizykochemiczna ścieków mleczarskich, odcieków składowiskowych i ich mieszaniny

Table 1  
Characteristic of landfill leachates, dairy wastewaters and wastewaters co-treated in membrane bioreactor

Parametr	Jednostka	Odcieki	Ścieki mleczarskie	Ścieki mleczarskie + 10% obj. odcieków
ChZT		3055	13 040	11 200
BZT <sub>5</sub>		160	3800	3500
N <sub>cat.</sub>	[mg/dm <sup>3</sup> ]	690,0	68,0	104,0
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		675,0	9,0	57,0
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		2,9	45,0	41,0
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		28,1	36,8	39,0
pH	[-]	8,20	9,10	8,8
Przewodnictwo	[mS/cm]	12,94	4,20	4,70



Rys. 1. Schemat układu badawczego: 1 - zbiornik ścieków surowych, 2 - komora tlenowa, 3 - kapilarny moduł membranowy, 4 - zbiornik ścieków oczyszczonych, 5 - manometr

Fig. 1. The scheme of the experimental set-up: 1 - raw wastewater tank, 2 - aerobic-anaerobic chamber, 3 - capillary membrane module, 4 - purified wastewater tank, 5 - manometer

Układ badawczy składał się ze zbiornika uśredniającego, bioreaktora membranowego z zainstalowanym wewnątrz ultrafiltracyjnym modułem kapilarnym oraz zbiornika ścieków

oczyszczonych. Objętość komory reakcyjnej wynosiła 20 dm<sup>3</sup>. Układ badawczy był całkowicie zautomatyzowany. W komorze reakcyjnej i w zbiorniku uśredniającym zainstalowane były czujniki poziomu ścieków. Oczyszczone biologicznie ścieki wskutek wytworzonego w module membranowym podciśnienia przepływały przez ściany kapilar do ich wnętrza i były odprowadzane do zbiornika ścieków oczyszczonych. Membrany wykonane były z PES (polieterosulfonu) o cut-off 80 kDa, a powierzchnia filtracyjna wynosiła 0,4 m<sup>2</sup>. Schemat układu badawczego pokazano na rysunku 1.

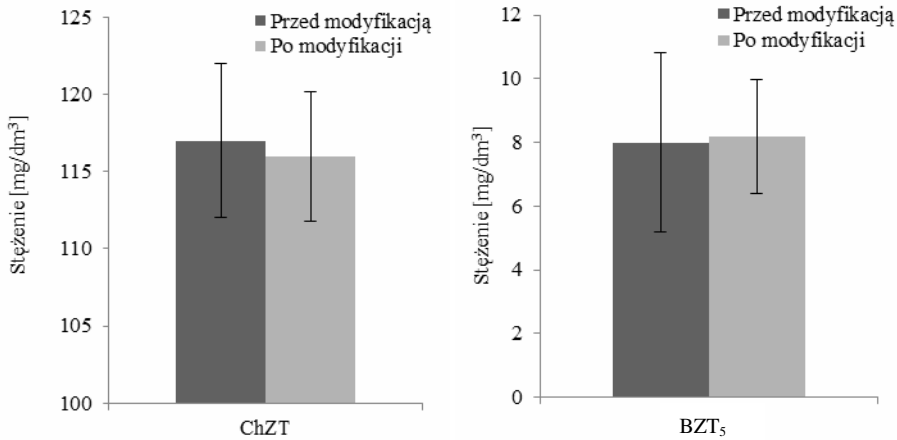
Przeprowadzone badania polegały na modyfikacji faz w cyklu pracy bioreaktora membranowego. Głównie ze względu na uzyskany niski stopień usunięcia fosforu postanowiono zmodyfikować cykl pracy MSBR poprzez skrócenie czasu trwania aktualnych faz pracy i dołożenie kolejnych dwóch faz denitryfikacji i nityfikacji. Badania rozpoczęto od zaadaptowania mikroorganizmów osadu czynnego do biodegradacji zanieczyszczeń znajdujących się w współoczyszczanych ściekach. W pierwszym etapie badań czas trwania poszczególnych faz wynosił: napełnianie (10 min) z równoczesnym mieszaniem 4 h, napowietrzanie: 7 h, sedymentacja i dekantacja oczyszczonych ścieków: 1 h. Czas trwania poszczególnych faz pracy zmodyfikowano następująco: napełnianie (10 min) z równoczesnym mieszaniem 3 h, napowietrzanie: 4 h, mieszanie: 1 h, napowietrzanie: 3 h, sedymentacja i dekantacja oczyszczonych ścieków: 1 h. Osad nadmierny był na bieżąco usuwany z reaktora MSBR w celu utrzymania stałego stężenia na poziomie 3,5 g/dm<sup>3</sup>. Obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń wynosiło 0,06 g ChZT/g s.m. d, a stężenie tlenu kształtowało się na poziomie 3 mg/dm<sup>3</sup>. Wiek osadu wynosił 20 dob. Kryterium oceny stopnia oczyszczania ścieków w każdym etapie badań była zmiana wartości wskaźników charakteryzujących ścieki surowe poddawane oczyszczaniu i oczyszczone. Wykonano następujące oznaczenia: odczyn, ChZT, BZT<sub>5</sub>, stężenia fosforu fosforanowego, azotu azotanowego oraz amonowego.

### Omówienie wyników badań

W przeprowadzonych badaniach w pierwszym etapie pracy MSBR dopływające ścieki zawierały znaczne ilości azotu azotanowego i amonowego, co mogło utrudniać ich defosfatację w beztlenowej części cyklu. W mieszaniu ścieków dopływających do bioreaktora mogą również występować niezidentyfikowane substancje, które są inhibitorami procesu defosfatacji. Dlatego też w celu zwiększenia efektywności usuwania fosforanów postanowiono zmodyfikować cykl pracy reaktora MSBR, wprowadzając zmianę czasu prowadzenia faz tlenowo-beztlenowych.

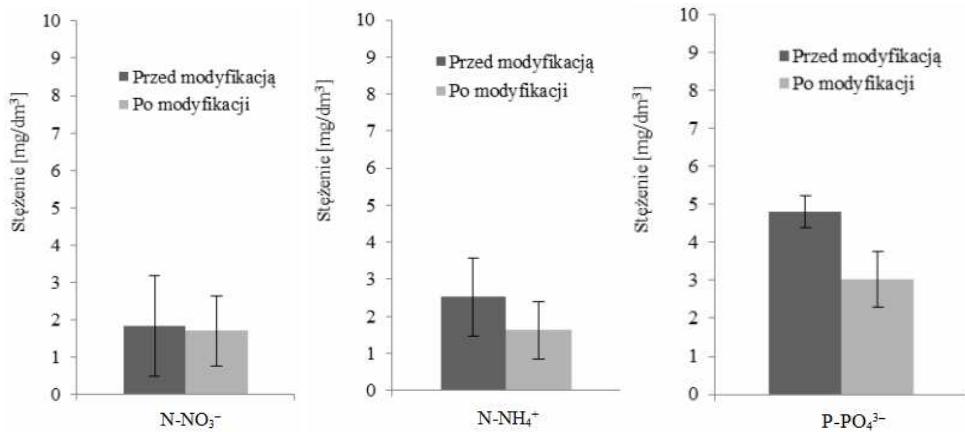
Na rysunku 2 zilustrowano zależność zmiany stężenia związków organicznych w oczyszczanych ściekach od czasu prowadzenia procesu przed i po modyfikacji poszczególnych faz w cyklu pracy reaktora MSBR.

Biorąc pod uwagę stężenia związków organicznych w oczyszczanych ściekach, nie zaobserwowano ich zmian ze względu na wprowadzenie modyfikacji systemu pracy MSBR. ChZT i BZT<sub>5</sub> podczas całego okresu prowadzenia badań kształtowało się na niezmiennym poziomie nieprzekraczającym wartości normowanych i wynoszącym średnio 117 i 8 mg/dm<sup>3</sup>.



Rys. 2. Zależność zmiany stężenia związków organicznych we współczyszczanych ściekach od modyfikacji faz w cyklu pracy sekwencyjnego bioreaktora membranowego

Fig. 2. Change of organic compounds concentration wastewater co-treatment the based of modification work cycle phases in the sequential membrane bioreactor



Rys. 3. Zależność zmiany stężenia związków biogennych przed i po modyfikacji faz w cyklu pracy sekwencyjnego bioreaktora membranowego

Fig. 3. Change of biogenic elements concentration wastewater co-treatment the based of modification work cycle phases in the sequential membrane bioreactor

Analizując otrzymane wyniki badań dotyczące stężenia poszczególnych związków biogennych we współczyszczanych ściekach, zauważono poprawę efektywności oczyszczania po wprowadzeniu zmian w cyklu pracy bioreaktora membranowego. Stwierdzono, że efektywność wzrastała z czasem prowadzenia procesu. Otrzymane wyniki badań zamieszczono na rysunku 3. Wprowadzone słupki błędów na poszczególnych

wykresach przedstawiają zmiany wartości stężeń badanych parametrów podczas całego okresu prowadzenia biologicznego oczyszczania w stałych warunkach.

W przypadku stężenia azotu amonowego podczas całego czasu prowadzenia procesu zaobserwowano wahanie się jego wartości w zakresie od 1,0 do 3,9 mg/dm<sup>3</sup>. Jednakże mniejsze stężenie tego parametru zaobserwowano po wprowadzeniu modyfikacji w cyklu pracy sekwencyjnego bioreaktora membranowego, które wynosiło średnio 1,6 mg/dm<sup>3</sup>. Natomiast wartość stężenia azotu azotanowego utrzymywała się w obu przypadkach na tym samym poziomie i jednakowo była zmienna w zakresie 0,8-2,0 mg/dm<sup>3</sup>. Stężenie azotu całkowitego w oczyszczanych ściekach uległo zaś obniżeniu i kształtowało się na początku prowadzenia procesu na poziomie 14 mg/dm<sup>3</sup>, a po wprowadzeniu dodatkowych faz beztlenowo-tlenowych obniżyło się do wartości około 7 mg/dm<sup>3</sup> i na takim poziomie pozostało.

Zmiany w systemie pracy MSBR dokonano głównie ze względu na zbyt wysokie stężenie fosforu fosforanowego w odpływie z bioreaktora, które kształtowało się na tym etapie prowadzenia badań na poziomie 4,8 mg/dm<sup>3</sup>. Wprowadzone zmiany czasów poszczególnych faz procesowych reaktora MSBR spowodowały obniżenie stężenia P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> do wartości 2,9 mg/dm<sup>3</sup>, jednakże w dalszym ciągu przekroczona była dopuszczalna zawartość fosforu określona w Rozporządzenia Ministra Środowiska z 2009 r. (P<sub>og</sub> = 2 mg/dm<sup>3</sup>) [9]. W związku z tym należałoby poszukać innych rozwiązań, takich jak np. skrócenie wieku osadu w bioreaktorze. Powodem może być także toksyczny wpływ odcieków składowiskowych na osad czynny, co może niekorzystnie wpływać na proces defosfatacji. Ewentualnie można byłoby zastosować strącanie chemiczne fosforu jako dodatkowy proces jednostkowy stosowany okresowo lub w przypadku obserwowanej zmiany parametrów ścieków dopływających. Technologia chemicznego strącania fosforu jest powszechnie stosowana w oczyszczalniach komunalnych i stanowi uzupełnienie procesów biologicznych, zwiększając stopień usunięcia fosforu przy stosunkowo niskich kosztach inwestycyjnych i łatwym wdrożeniu [10].

## Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników wysunięto następujące wnioski:

1. Stwierdzono, że zastosowana modyfikacja faz w cyklu pracy reaktora MSBR nie wpłynęła na poprawę stopnia obniżenia stężenia związków organicznych w oczyszczanych ściekach.
2. Nie zaobserwowano znacznych zmian stężenia azotu amonowego i azotanowego w odpływie z bioreaktora, jednakże efektywność usuwania azotu całkowitego wzrosła o 50%.
3. Wprowadzone zmiany czasów poszczególnych faz procesowych reaktora MSBR spowodowały obniżenie stężenia fosforu fosforanowego z 4,8 mg/dm<sup>3</sup> do wartości 2,9 mg/dm<sup>3</sup>, jednakże w dalszym ciągu przekroczona była dopuszczalna zawartość fosforu określona w RMŚ.

## Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2011-2013 jako projekt badawczy promotorski nr N N523 738740.

## Literatura

- [1] Rosik-Dulewska C. Podstawy gospodarki odpadami. Warszawa: Wyd Nauk PWN; 2007.
- [2] Szyk J. Ocieki ze składowisk odpadów komunalnych. Warszawa: Wyd Nauk Gabriel Borowski; 2003.
- [3] Diamadopoulos E, Samaras P, Dabou X, Sakellaropoulos GP. Combined treatment of landfill leachate and domestic sewage in a sequencing batch reactor. *Water Sci Technol.* 1997;36(2-3):61-68. DOI: 10.1016/S0273-1223(97)00370-3.
- [4] Laitinen N, Luonsi A, Vilen J. Landfill leachate treatment with sequencing batch reactor and membrane bioreactor. *Desalination.* 2006;19:86-91. DOI: 10.1016/j.desal.2015.08.012.
- [5] 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.
- [6] Judd S. The status of membrane bioreactor technology. *Trends Biotechnol.* 2007;26(2):109-116, DOI: 10.1016/j.tibtech.2007.11.005.
- [7] Naz Ahmed F, Lan CQ. Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: A review. *Desalination.* 2012;287:41-54. DOI: 10.1016/j.desal.2011.12.012.
- [8] Bodzek M, Bohdziewicz J, Konieczny K. Techniki membranowe w ochronie środowiska. Gliwice: Wyd Politechniki Śląskiej; 1997.
- [9] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków, jakie należy spełniać przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.
- [10] Klaczyński E. Oczyszczalnia ścieków - chemiczne usuwanie fosforu. *Wodociągi - Kanalizacja.* 2013;2:108.

## MODIFICATION WORK CYCLE PHASES DURATION OF TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER IN THE SEQUENTIAL MEMBRANE BIOREACTOR

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

**Abstract:** The aim of presented study which was associated with modification of the various work cycle phases duration in the membrane bioreactor, was to reduce the concentration of phosphate phosphorus during the leachate co-treatment with dairy wastewater. The experimental set-up was comprised of the membrane bioreactor equipped with the immersed membrane module installed inside the reactor chamber, and the equalization tank. During the co-treatment experiment performance the excessive activated sludge was constantly removed from the membrane bioreactor in order to keep its concentration at  $3.5 \text{ g/dm}^3$ . The load of the sludge with the contaminants was equal to  $0.06 \text{ g COD/g d.m. d.}$  The concentration of oxygen was equal to  $3 \text{ mg/dm}^3$ . The share of the leachates in the co-treated mixture was equal to 10% vol. The membrane bioreactor worked as the sequential biological reactor, in two cycles per day. Duration of each phase was equal as follows: filling - 10 mins - with concurrent mixing phase lasting for 4 hrs, aeration phase - 1 hr, sedimentation - 30 mins and removal from purified wastewater - 30 mins. After 4 weeks under these conditions, the modification of the sequential membrane bioreactor's work cycle was made. Duration of particular phases was shortened and two phases of denitrification and nitrification were introduced. Work cycle phases were modified as follows: filling - 10 mins - with concurrent mixing phase lasting for 3 hrs, aeration phase - 4 hrs, mixing phase - 1 hr, aeration phase - 3 hrs, sedimentation - 30 mins and removal from purified wastewater - 30 mins. Based on research, it was found that the change in membrane bioreactors' work cycle affect effectiveness of treated mixture. Alteration of MSBR reactor particular phases duration caused reduction of concentration of  $\text{P-PO}_4^{3-}$  from  $4.8$  to  $2.9 \text{ mg/dm}^3$ .

**Keywords:** dairy wastewater, landfill leachate, SBR, membrane bioreactor