

Anna ŚWIERCZYŃSKA¹
Jolanta BOHDZIEWICZ²

WSPÓŁCZYSZCZANIE ODCIEKÓW ZE ŚCIEKAMI MLECZARSKIMI W SEKWENCYJNYM BIOREAKTORZE MEMBRANOWYM

Celem pracy było określenie efektywności współczyszczania odcieków ze środowiska odpadów komunalnych ze ściekami mleczarskimi w bioreaktorze membranowym. Zasada działania bioreaktora membranowego opierała się na założeniu, że osad czynny utleniał zanieczyszczenia znajdujące się w oczyszczanych ściekach, natomiast membrana pełniąc funkcję filtra zatrzymywała biomasę i refrakcyjne związki wielkocząsteczkowe. Wyznaczono najkorzystniejsze obciążenie substratowe osadu czynnego oraz ilość cykli pracy bioreaktora na dobę. Pracował on w systemie SBR i był wyposażony w zanurzony kapilarny moduł membranowy. W pierwszym etapie badań proces oczyszczania prowadzono w cyklu 12-godzinnym przy obciążeniach osadu ładunkiem zanieczyszczeń zmieniających w zakresie 0,05 - 0,1 gChZT/g_{sm}d. Udział odcieków w mieszaninie ze ściekami mleczarskimi wynosił 5% obj.. Następnie bioreaktor pracował w trzech cyklach na dobę, przy najniższym z przebadanych obciążeń tj. 0,05 gChZT/g_{sm}d. Przeprowadzone badania wykazały, że współczyszczane odcieki ze ściekami mleczarskimi nie mogą być odprowadzone do zbiornika wodnego z uwagi na za wysoką wartość stężenia fosforu fosforanowego. Obciążenie substratowe osadu na poziomie 0,06 gChZT/g_{sm}d okazało się najwyższym możliwym obciążeniem podczas pracy reaktora w systemie 2 cykli na dobę. Kryterium oceny stopnia oczyszczenia ścieków była zmiana wartości wskaźników zanieczyszczeń charakteryzujących ścieki poddawane procesowi współczyszczania i odprowadzane z bioreaktora. Wyznaczano: odczyn, ChZT, BZT₅, stężenia fosforu fosforanowego, azotu azotanowego oraz amonowego.

Słowa kluczowe: osad czynny, ścieki przemysłowe, SBR, obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń

¹ Autor do korespondencji: Anna Świerczyńska, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel.: 32 2372981, anna.swierczynska@polsl.pl

² Jolanta Bohdziewicz, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel.: 32 237 1698, jolanta.bohdziewicz@polsl.pl

1. Wprowadzenie

W Polsce składowanie odpadów komunalnych na składowiskach jest nadal najczęstszym sposobem postępowania z odpadami, które są źródłem powstawania szkodliwych dla środowiska odcieków. Generowane są one zarówno w czasie eksploatacji składowiska jak również po jego zamknięciu w okresie rekultywacji. Jak więc widać zaprzestanie tej praktyki nie wyeliminuje w przyszłości problemu związanego z ich unieszkodliwianiem [3, 4, 5]. Wody odciekowe 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 [3, 4, 5]. Odcieki najczęściej oczyszczane są w systemach biologicznych wykorzystujących zarówno procesy beztlenowe jak i tlenowe [4]. W świetle danych literaturowych wyraźnie widać, że najczęściej stosowanym rozwiązaniem w biologicznym oczyszczaniu odcieków jest użycie sekwencyjnego reaktora biologicznego [2, 5, 6].

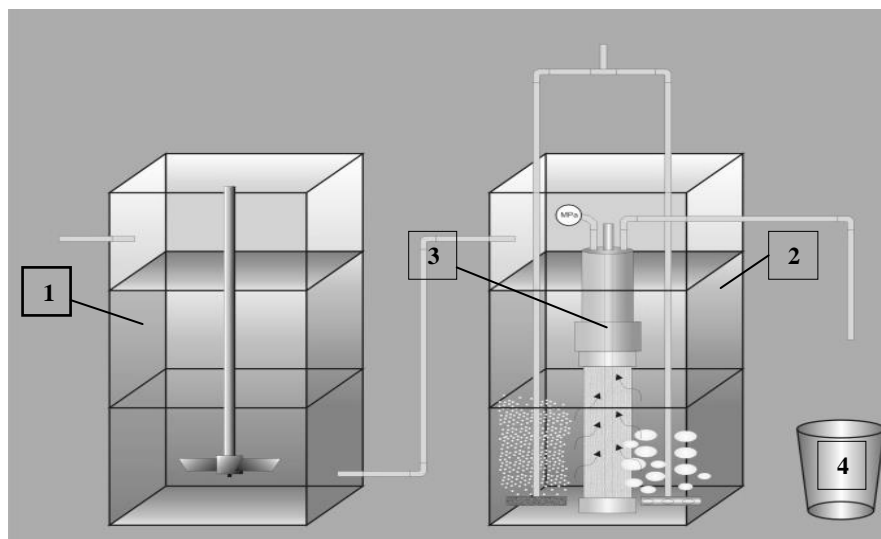
Zasada działania bioreaktora membranowego opierała się na założeniu, że osad czynny utleniał zanieczyszczenia znajdujące się w oczyszczanych ściekach, natomiast membrana pełniąc funkcję filtra zatrzymywała biomasę i refrakcyjne związki wielkocząsteczkowe. Dzięki zatrzymywaniu przez membrany w komorze substancji refrakcyjnych wydłużył się czas ich z biomasą co zapewnił wyższy stopień rozkładu związków trudno biodegradowalnych. Istotne dla proponowanego rozwiązania jest wyeliminowanie z klasycznego układu technologicznego oczyszczania odcieków metodą osadu czynnego osadnika wtórnego, a co za tym idzie - zmniejszenie kubatury oczyszczalni [10].

Wyniki wcześniejszych badań, dotyczące współoczyszczania w bioreaktorze membranowym odcieków ze ściekami komunalnymi wykazały, że podstawowym problemem było usunięcie w odpowiednio wysokim stopniu azotu azotanowego [1, 7, 8]. Przyczyną tego zjawiska okazało się zbyt niskie stężenie węgla organicznego w mieszaninie ścieków. W niniejszej pracy wykazano możliwości efektywnego współoczyszczania w bioreaktorze membranowym odcieków wraz ze ściekami mleczarskimi.

2. Substrat i metodyka badań

Proces biologicznego współoczyszczania odcieków wraz ze ściekami mleczarskimi prowadzony był w bioreaktorze membranowym o pojemności 15 dm³. Układ badawczy składał się z bioreaktora membranowego z zainstalowanym wewnątrz modułem mikrofiltracyjnym oraz zbiornika uśredniającego (rys. 1). Membrany kapilarne wykonane z polifluorku winylidenu, posiadały

średnicę porów na poziomie $0,1 \mu\text{m}$, a konstrukcja modułu zapewniała możliwość ich płukania wstecznego. Płukanie wsteczne włączane było średnio co 10 dni, co wynikało ze spadku objętościowego strumienia permeatu.



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

Fig.1. Fig. 1. Schematic of membrane bioreactor : (1) crude sewage tank, (2) aeration chamber, (3) capillary membrane module, (4) treated sewage tank

Substratem badań były odcieki pochodzące ze składowiska odpadów komunalnych znajdującego się w Tychach-Urbanowicach oraz ścieki mleczarskie pochodzące z Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej w Bieruniu. Pobieranie próbek ścieków oczyszczanych i oczyszczonych oraz pomiary ich jakości były dokonywane zgodnie z RMŚ [9]. Stwierdzono że, wartości wskaźników zanieczyszczeń charakteryzujące poszczególne partie pobieranych ścieków mleczarskich różniły się między sobą, co prawdopodobnie podyktowane było rodzajem procesu technologicznego, jaki prowadzono w chwili ich poboru. W badaniach stosowano osad czynny pochodzący z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Gliwicach. Wartości wybranych wskaźników fizykochemicznych charakteryzujących odcieki składowiskowe oraz ścieki mleczarskie przedstawiono w tabeli 1.

Pierwszym etapem badań był dobór najkorzystniejszego obciążenia substratowego osadu podczas współocyszczania ścieków, w których udział odcieków w mieszaninie ze ściekami mleczarskimi wynosił 5%obj. Obciążenie zmieniano w zakresie wartości $0,05 - 0,1 \text{ gChZT/g}_{\text{sm}}\text{d}$. Badania rozpoczęto od zaadaptowania mikroorganizmów osadu czynnego do biodegradacji zanieczyszczeń znajdujących się w ściekach mleczarskich. Wpracowanie osadu realizowa-

no dla każdego z obciążeń, przy stężeniu osadu czynnego wynoszącym $3,5 \text{ g/dm}^3$ i stężeniu tlenu utrzymywanym na poziomie 3 mg/dm^3 . Bioreaktor membranowy pracował na zasadzie sekwencyjnego reaktora biologicznego najpierw w dwóch, a następnie trzech cyklach na dobę. Czas trwania poszczególnych faz pracy zestawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Charakterystyka odcieków składowiskowych, ścieków mleczarskich oraz mieszaniny tych ścieków wprowadzanych do bioreaktora membranowego

Table 1. The characteristics of the municipall landfill leachates, dairy wastes and their mixture treated in bioreactor

Wskaźniki zanieczyszczeń	Jednostka	Ocieki	Ścieki mleczarskie	Ścieki mleczarskie + 5% odcieków
ChZT	mgO_2/dm^3	3040	2933 - 7030	3015-7010
BZT ₅	mgO_2/dm^3	250	1200 - 2200	1200-2200
BZT ₅ /ChZT	-	0,08	0,3-0,5	0,3-0,5
OWO	mgC/dm^3	354	295 - 1396	321-1359
N-NH ₄	$\text{mgN-NH}_4/\text{dm}^3$	960	6 - 21	60 - 89
N-NO ₃	$\text{mgN-NO}_3/\text{dm}^3$	4,1	7,8 - 20,9	7,4 - 20,5
P-PO ₄	$\text{mgP-PO}_4/\text{dm}^3$	10,1	11,9 - 45,9	11,2 - 45,4
pH	-	7,6	6,5 - 8,4	7,0 - 8,4

Tabela 2. Czas trwania poszczególnych faz pracy sekwencyjnego bioreaktora membranowego

Table 2. The operational cycle of the sequential membrane bioreactor

Fazy pracy bioreaktora	Cykl 12 h	Cykl 8 h
Napełnianie + Denitryfikacja	4	2,5
Nitryfikacja	7	5
Sedymentacja	1	0,5
Odprowadzanie ścieków oczyszczonych		

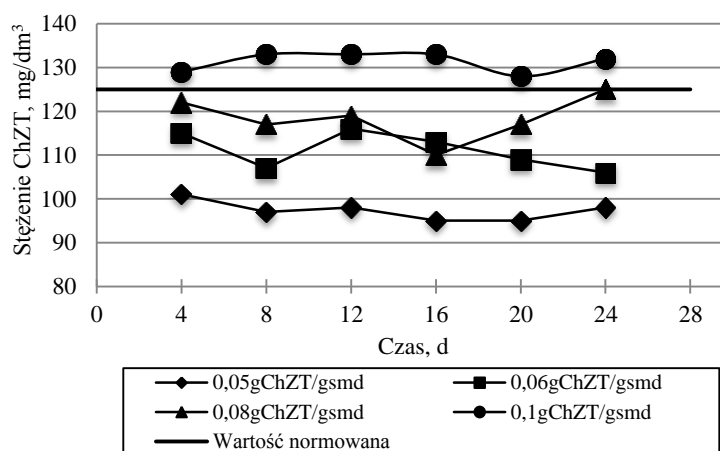
Proces nitryfikacji przebiegał przy temperaturze powyżej 20°C , a pH ścieków oczyszczanych utrzymywało się na stałym poziomie w granicach 7,8-8,3. Ważny dla procesu nitryfikacji jest również wiek osadu, który wynosił 20 dób.

Kryterium oceny stopnia oczyszczenia współocyszczanych odcieków była zmiana wartości podstawowych wskaźników zanieczyszczeń charakteryzujących ścieki surowe poddawane oczyszczaniu i oczyszczone tj.: odczynu, ChZT, BZT₅, OWO, N-NO₃, N-NH₄, P-PO₄.

3. Wyniki badań i ich omówienie

3.1. Dobór najkorzystniejszego obciążenia substratowego osadu podczas pracy MBR w dwóch cyklach na dobę

Mieszanka ścieków dopływających do bioreaktora membranowego charakteryzowała się wysoką wartością ChZT wynoszącą średnio $3500\text{mg}/\text{dm}^3$. Stopień obniżenia tego wskaźnika był wysoki w całym przedziale przebadanych obciążeń i zmienił się w zakresie $95,9 - 97,1\%$. Analizując uzyskane wyniki stwierdzono, że wartość stężenia ChZT charakteryzującego odpływ z bioreaktora rosła wraz ze wzrostem obciążenia osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń (rys. 2).



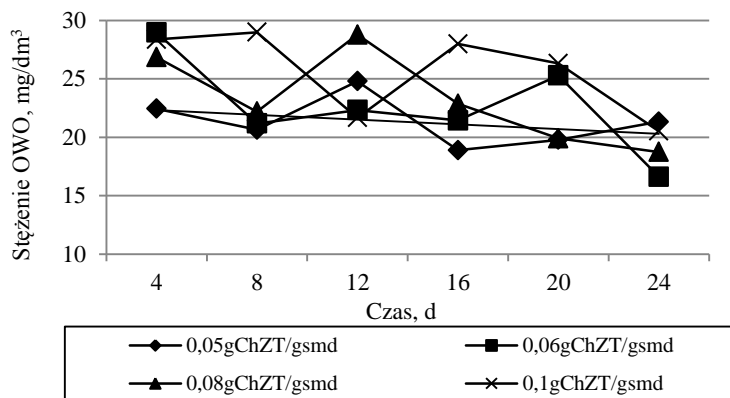
Rys. 2. Zależność stężenia ChZT ścieków oczyszczanych od obciążenia osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń w bioreaktorze membranowym

Fig. 2. The relationship between concentration of the COD and the activated sludge load in membrane bioreactor

Średnia wartość wskaźnika ChZT dla obciążenia $0,05\text{ gChZT}/\text{g}_{\text{sm}}\text{d}$ wynosiła $95\text{mg}/\text{dm}^3$, a dla $0,06\text{ gChZT}/\text{g}_{\text{sm}}\text{d}$ kształtowała się na poziomie $116\text{mg}/\text{dm}^3$. Wykazano, że przy obciążeniu równym $0,08\text{gChZT}/\text{g}_{\text{sm}}\text{d}$ wartość ChZT znajdowała się na granicy wartości normowanej i wynosiła $125\text{mg}/\text{dm}^3$. Jedynie dla najwyższego z badanych obciążeń osadu wynoszącego $0,1\text{ gChZT}/\text{g}_{\text{s.m.}}\text{d}$, wskaźnik ten przekroczył o $8\text{mg}/\text{dm}^3$ wartość normowaną (RMŚ z 2009 r.).

Kolejnym parametrem charakteryzującym ścieki oczyszczone był OWO. Zależność stężenia ogólnego węgla organicznego od obciążenia osadu ładunkiem zanieczyszczeń organicznych oraz czasu procesu zilustrowano na rysunku 3. Stężenie ogólnego węgla organicznego dla wszystkich przebadanych obcią-

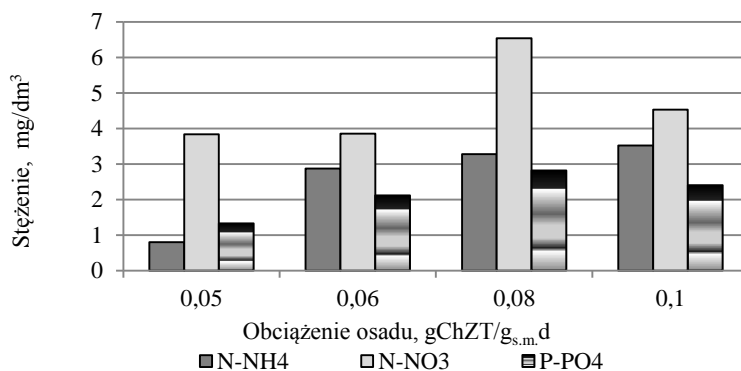
żeń substratowych nie przekraczało ilości normowanych wg RMS^Ś (40mg/dm^3), a obserwując jego stężenie w ściekach oczyszczanych nie można jednoznacznie wyznaczyć najkorzystniejszego obciążenia osadu, z uwagi na niewielkie zmiany jego wartości ($16,3 - 21,3\text{ mg/dm}^3$).



Rys. 3. Zależność stężenia OWO ścieków oczyszczanych od obciążenia osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń w bioreaktorze membranowym

Fig. 3. The relationship between concentration of the OWO and the activated sludge load in membrane bioreactor

Stężenie związków biogenych w ściekach oczyszczanych również zmieniło się nieznacznie w trakcie prowadzenia procesu. Na rysunku 4 zilustrowano zmiany stężeń w ściekach oczyszczonych jonów N-NH_4^+ , N-NO_3^- , P-PO_4^- w zależności od stosowanego obciążenia substratowego osadu.



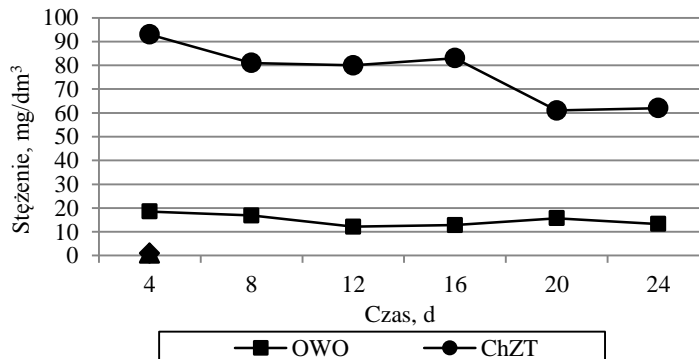
Rys. 4. Zależność stężenia związków biogenych w ściekach oczyszczonych od obciążenia osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń

Fig. 4. The relationship between concentration of biogenic compounds and the activated sludge load in membrane bioreactor

Stopień usunięcia azotu amonowego kształtował się na wysokim poziomie dla najniższego obciążenia osadu równego $0,05 \text{ gChZT/g}_{\text{sm.d}}$ i wynosił 98%, co odpowiadało jego stężeniu $0,8 \text{ mgN-NH}_4/\text{dm}^3$. W przypadku pozostałych obciążeń stężenie tych jonów zmieniało się nieznacznie i nie przekraczało dopuszczalnych wartości (wg RMS $10 \text{ mgN-NH}_4/\text{dm}^3$). Stężenie azotu azotanowego w mieszaninie ścieków mleczarskich z odciekami wynosiło $4,8 \text{ mgN-NO}_3/\text{dm}^3$, natomiast w ściekach oczyszczonych dla przebadanych obciążeń utrzymywało się w zakresie $1,9 - 9,9 \text{ mgN-NO}_3/\text{dm}^3$. Wykazano, że wraz ze wzrostem obciążenia osadu stężenie azotu azotanowego w ściekach oczyszczanych malało, podczas gdy bez względu na obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń stężenie fosforu fosforanowego przekraczało wartość dopuszczalną (wg RMS $2 \text{ mgP}_{\text{og}}/\text{dm}^3$) i w odpływie i wynosiło od $0,7 - 3,1 \text{ mgP-PO}_4/\text{dm}^3$. Najniższą wartość stężenia fosforu fosforanowego odnotowano w przypadku obciążenia substratowego osadu na poziomie $0,05 \text{ gChZT/g}_{\text{sm.d}}$.

3.2. Efektywność współczyszczania odcieków ze ściekami mleczarskimi podczas pracy bioreaktora w trzech cyklach na dobę

Kolejnym etapem badań było współczyszczanie odcieków ze ściekami mleczarskimi w reaktorze pracującym w systemie trzech cykli na dobę. W przeprowadzonym procesie zastosowano najniższe z obciążeń tj. $0,05 \text{ gChZT/g}_{\text{sm.d}}$. Biorąc pod uwagę otrzymane wartości ChZT i OWO ścieków oczyszczonych można wnioskować, że proces oczyszczania prowadzony w tym systemie również okazał się skuteczny. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono na rysunku 5.

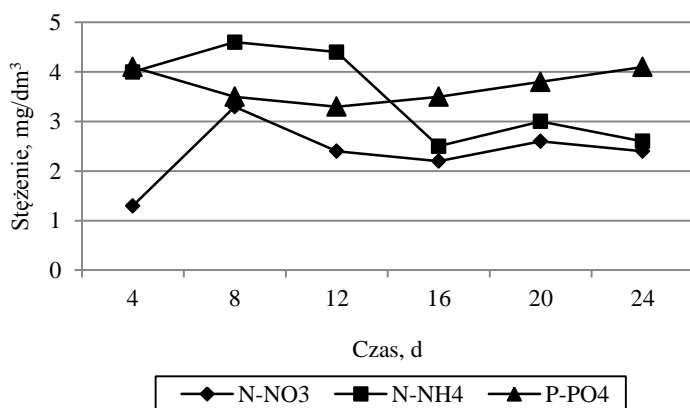


Rys. 5. Zależność wartości ChZT i OWO od czasu prowadzenia procesu w bioreaktorze membranowym systemie trzech cykli na dobę

Fig. 5. The relationship of COD and TOC from the time of the process in a system three cycles a day in a membrane bioreactor

ChZT charakteryzujące ścieki oczyszczone w cyklu 8 godzinnej pracy bioreaktora wynosiło średnio $75 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$, co świadczyło o wysokim stopniu obniżenia ładunku zanieczyszczeń wynoszącym ponad 97%. Równie wysoka była efektywność usunięcia ogólnego węgla organicznego, którego stężenie pod koniec prowadzenia procesy wynosiło $13,3 \text{ mg}/\text{dm}^3$.

Zależność wartości stężenia związków biogennych od czasu prowadzenia procesu w bioreaktorze membranowym zilustrowano na rysunku 6.



Rys. 6. Zależność zmiany wartości stężenia związków biogennych od czasu prowadzenia procesu w bioreaktorze membranowym

Fig. 6. The relationship of biogenic compounds from the time of the process in a system three cycles a day in a membrane bioreactor

Jak zauważono stężenia poszczególnych jonów zmieniały się nieznacznie podczas procesu biologicznego. Stężenie fosforu fosforanowego w ściekach oczyszczanych mieściło się w przedziale od $3,3$ do $4,1 \text{ mg}/\text{dm}^3$, azotu azotanowego od $1,3$ do $3,3 \text{ mg}/\text{dm}^3$, a azotu amonowego od $2,5$ do $4,6 \text{ mg}/\text{dm}^3$.

3.3. Porównanie stopnia usunięcia zanieczyszczeń podczas pracy bioreaktora w dwóch i trzech cyklach na dobę

Przeprowadzone badania wykazały, że oczyszczanie ścieków w systemie trzech cykli na dobę przyczyniło się do obniżenia stopnia usunięcia związków biogennych w porównaniu z systemem dwóch cykli (tabela nr. 3).

Stopień usunięcia ChZT oraz OWO kształtował się na wysokim poziomie w obu systemach pracy bioreaktora. Największym problemem okazało się usuwanie fosforu ogólnego, a skrócenie czasu kontaktu ścieków z osadem czynnym skutkowało wzrostem stężenia tych jonów w odpływie z bioreaktora. Stopień jego usunięcia zmalał o 15,3%. Natomiast stopień usunięcia azotu amonowego

był wysoki w obu przypadkach, jednak należy zauważyć, że podczas pracy MSBR w trzech cyklach obniżył się on o 8,8%. Stężenie azotu azotanowego w ściekach oczyszczanych najczęściej przekraczało stężenie charakteryzujące ścieki dopływające do bioreaktora, ale mieściło się w normie.

Tabela 3. Stopień usunięcia zanieczyszczeń z współoczyszczanych ścieków w zależności od prowadzenia procesu w bioreaktorze membranowym

Table 3. The degree of removal of pollutants from co-treatment wastewater depending on the process in a membrane bioreactor

Ilość cykli/dobę	ChZT	OWO	N-NH4	P-PO4
	Stopień usunięcia, %			
2	97,1	94,7	97,7	52,5
3	97,6	94,9	88,9	37,2

4. Podsumowanie

1. Przeprowadzone badania wykazały, że współoczyszczane odcieki ze ściekami mleczarskimi nie mogą być odprowadzone do zbiornika wodnego z uwagi na za wysoką wartość stężenia fosforu fosforanowego.
2. Obciążenie substratowe osadu na poziomie 0,06 gChZT/g_{sm}d okazało się najwyższym możliwym obciążeniem podczas pracy reaktora w systemie 2 cykli na dobę. Oczyszczone ścieki charakteryzowały następujące parametry fizykochemiczne: ChZT: 113mg/dm³, OWO: 22,6mg/dm³, N-NH₄⁺: 2,9mg/dm³, N-NO₃⁻: 3,9mg/dm³, P-PO₄⁻: 2,1mg/dm³.
3. Biorąc pod uwagę stężenie fosforu fosforanowego w oczyszczonych ściekach wykazano, że większy wpływ na stopień jego usunięcia ma zmiana ilości cykli w MSBR niż zmiana obciążenia osadu ładunkiem zanieczyszczeń.

Podziękowanie

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2011–2014 jako projekt badawczy nr N N 523 738740 pt. Ciśnieniowe techniki membranowe w biologicznym współoczyszczaniu odcieków ze składowiska komunalnego ze ściekami przemysłowymi.

Literatura

- [1] Bohdziewicz J., Świerczyńska A., Dobór najkorzystniejszych warunków prowadzenia biomembranowego współoczyszczania odcieków ze składowiska odpadów komunalnych, Nauka Przyroda Technologie, tom 5, zeszyt 4, #34, 2011, s. 1-9.
- [2] Janosz – Rajczyk M., „Badania wybranych procesów oczyszczania ścieków”, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2008.

- [3] Rosik – Dulewska Cz., „Podstawy gospodarki odpadami”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [4] Surmacz – Górska J. Nityfikacja w procesie oczyszczania wybranych wód odpadowych i ścieków. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Lublin 2010.
- [5] Szyc J., „Odcieki ze składowisk odpadów komunalnych”, Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski, Warszawa 2003.
- [6] Szyłak-Szydłowski M., Ocena zmian toksyczności odcieków podczas ich biologicznego oczyszczania. *Ochrona Środowiska* 2011, Vol. 33, No. 2, pp. 65–68.
- [7] Świerczyńska A., Bohdziewicz J., Amalio-Kosel M., Activity of activated sludge microorganisms In the co-treatment of the leachates in the SBR bioreactor, *Ecological Chemistry and Engineering A.*, vol.18, No. 4, 2011, s. 895-902.
- [8] Świerczyńska A., Puszczalo E., Bohdziewicz J., „The municipal landfill leachates co-treatment with the synthetic wastewaters in the membrane bioreactor“, *Environmental Engineering*, Pawłowski L., Dudzińska M. & Pawłowski A. (eds), Taylor & Francis Group, London, 2009, s. 243-247.
- [9] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.
- [10] Bodzek M., Bohdziewicz J., Konieczny K., *Techniki membranowe w ochronie środowiska*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.

THE CO-TREATMENT OF MUNICIPAL LANDFILL LEACHATES AND DAIRY WASTEWATERS IN MEMBRANE BIOREACTOR

Summary

The aim of the study was to determine the effectiveness of the municipal landfill leachates and dairy wastewaters co-treatment in the membrane bioreactor. The operation of the membrane bioreactor was based on the assumption that the activated sludge adsorbed and oxidized the contaminants present in the treated sewage while the membrane acted as a filter which retained biomass and refractory macromolecular compounds. The optimal load of activated sludge with substrates and number of bioreactor operation cycles per day were established. The reactor was operated in SBR system and was equipped with immersed capillary membrane module. In the first stage of the study the treatment process was carried out in 12-hour cycles at the activated sludge load in the range of 0.05 – 0.1 gCOD/g_{dm}d. The share of the leachates in the treated mixture was at the level of 5vol.%. Next, the bioreactor was operated at 3 cycles/day at the lowest of the investigated loads i.e. 0.05 gCOD/g_{dm}d. The performed studies revealed that the leachates co-treated with dairy wastewater could not be deposited to natural container according to the high content of phosphate phosphorus. The experimental results allow to conclude that the optimal sludge load is equal to 0.06 gCOD/g_{RS}d during the reactor operation in a 2 cycles per day. The main criterion for the estimation of the effectiveness of the treatment process was the change of parameters indicating impurities content in crude and treated wastewaters. Following parameters were analysed: COD, BOD₅, and concentrations of total phosphorus, total nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen.

Keywords: activated sludge, industrial wastewater, sequential biological reactor, the activated sludge load

DOI: 10.7862/rb.2013.39

Przesłano do redakcji w sierpniu 2013 r.

Przyjęto do druku we wrześniu 2013 r.