

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

## OCENA EFEKTYWNOŚCI WSPÓŁCZYSZCZANIA ODCIEKÓW ZE SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH ZE ŚCIEKAMI MLECZARSKIMI W SEKWENCYJNYM BIOREAKTORZE MEMBRANOWYM

### DETERMINATION OF EFFECTIVENESS OF LEACHATES FROM MUNICIPAL LANDFILL CO-TREATMENT WITH THE DAIRY WASTEWATER IN SEQUENTIAL MEMBRANE BIOREACTOR

**Abstrakt:** Celem pracy było określenie efektywności współczyszczania odcieków ze składowiska odpadów komunalnych ze ściekami mleczarskimi prowadzonymi w tlenowym bioreaktorze membranowym oraz wybór najkorzystniejszego obciążenia substratowego osadu czynnego. Bioreaktor pracował w systemie SBR i był wyposażony w zanurzony kapilarny moduł membranowy z zainstalowanym systemem, umożliwiającym jego mycie wsteczne. Stężenie osadu czynnego w komorze reakcyjnej utrzymywano na poziomie  $3,0 \text{ g/dm}^3$ , natomiast stężenie tlenu wynosiło około  $4 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . Układ pracował w cyklu 12-godzinnym. Kryterium oceny stopnia oczyszczenia ścieków była zmiana wartości wskaźników zanieczyszczeń charakteryzujących ścieki poddawane procesowi współczyszczania i odprowadzane z bioreaktora. Oznaczenia wykonano zgodnie z obowiązującymi polskimi normami. Wyznaczano: odczyn, ChZT, BZTs, stężenia fosforu fosforanowego, azotu azotanowego oraz amonowego. Przeprowadzono również analizę mikroskopową osadu czynnego, umożliwiającą ocenę wpływu odcieków i ścieków mleczarskich na ilość i rodzaj aktywnych mikroorganizmów zasiedlających komorę napowietrzania.

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

Ze względu na ograniczoną podatność składników odcieków na proces biodegradacji poszukuje się układów technologicznych zapewniających odpowiednio wysoki stopień usunięcia z nich ładunku zanieczyszczeń przed odprowadzeniem do odbiornika naturalnego. Celem badań prezentowanych w artykule było określenie efektywności współczyszczania odcieków ze ściekami mleczarskimi w bioreaktorze membranowym z zainstalowanym wewnątrz kapilarnym modułem membranowym. 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. Do kolejnych zalet należy zaliczyć możliwość stosowania w bioreaktorze membranowym wysokich stężeń osadu czynnego, obniżenia hydraulicznego czasu zatrzymania ścieków w komorze napowietrzania, zwiększenie przepustowości oczyszczalni, wysoką jakość ścieków oczyszczonych oraz częściową ich dezynfekcję.

Cechą charakteryzującą ścieki mleczarskie jest bardzo duża nierównomierność ich spływu oraz zróżnicowanie stężenia zanieczyszczeń w czasie, co jest podyktowane rodzajem chwilowej produkcji. Ścieki technologiczne powstające podczas mycia urządzeń

<sup>1</sup> Zakład Chemii Środowiska i Procesów Membranowych, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 15 26, email: jolanta.bohdziewicz@polsl.pl, anna.swierczynska@polsl.pl

zawierają resztki surowca mlecznego i produktów z niego wytwarzanych [1]. Strumienie odpadowe pochodzące z mycia maszyn transportowych, takich jak cysterny dowożące mleko do zakładów produkcji, są praktycznie rozcieńczonym mlekiem zawierającym środki chemiczne stosowane do płukania i dezynfekcji cystern. Stosuje się do tego celu roztwór kwasu azotowego, który usuwa i zapobiega tworzeniu się osadów organicznych, oraz ługu sodowego wspomagającego usuwanie tłuszczów i białek. W przypadku wszystkich rodzajów mleczarni podobny charakter mają ścieki pochodzące z płukania, natomiast skład ścieków poprodukcyjnych zależy od stosowanej technologii. W największym stopniu są zanieczyszczone ścieki generowane podczas produkcji serów (BZT<sub>5</sub> 200 g/kg i zawiesina 30 g/kg) oraz kazeiny (BZT<sub>5</sub> 150 g/kg i zawiesina 25 g/kg, a w najmniejszym po produkcji mleka spożywczego (BZT<sub>5</sub> 1 g/kg i zawiesina 0,2 g/kg) i śmietanki (BZT<sub>5</sub> 10 g/kg i zawiesina 2 g/kg) [2].

Jak wykazały wyniki wcześniejszych badań przeprowadzonych przez autorki tego artykułu, dotyczące współoczyszczania w tlenowym bioreaktorze membranowym odcieków ze ściekami komunalnymi, głównym problemem było usunięcie do wymaganego poziomu ilości azotu azotanowego [3]. Przyczyną tego zjawiska było zbyt niskie stężenie węgla organicznego w mieszaninie oczyszczanych ścieków. W związku z tym postanowiono zastąpić ścieki komunalne ściekami mleczarskimi zawierającymi wysokie stężenia substancji białkowych. Miało to wpłynąć na poprawę efektywności procesu współoczyszczania odcieków składowiskowych.

### **Materiał badawczy i metodyka badań**

Proces biologicznego współoczyszczania odcieków ze ściekami mleczarskimi prowadzono w warunkach laboratoryjnych, stosując osad czynny z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Gliwicach.

Substratami badań była mieszanina ścieków mleczarskich pochodzących z Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej w Bieruniu oraz odcieki ze składowiska odpadów komunalnych w Tychach. Udział współoczyszczanych odcieków składowiskowych wynosił 5% obj. W początkowej fazie procesu oczyszczania osad przez 3 tygodnie adaptowano do warunków pracy reaktora SBR. Następnie współoczyszczano odcieki z syntetycznymi ściekami mleczarskimi, wzbogaconymi mlekiem w proszku oraz sklarowanymi ściekami mleczarskimi dodawanymi w celu wprowadzenia bakterii typowych dla tego rodzaju ścieków. W końcowym etapie badań przeprowadzono proces oczyszczania odcieków ze ściekami mleczarskimi rzeczywistymi.

Ponieważ zrzut ścieków mleczarskich następował dwa razy na dobę i ich charakterystyka zdecydowanie się różniła, w badaniach stosowano mieszaninę ścieków z dwóch kolejnych dni w celu uzyskania zbliżonego składu i zapewnienia stałego obciążenia substratowego osadu (0,05 i 0,1 g ChZT/g s.m. d).

Średnie wartości wskaźników zanieczyszczeń charakteryzujących odcieki, oczyszczane ścieki mleczarskie oraz mieszaninę ścieków mleczarskich z odciekami zostały przedstawione w tabeli 1.

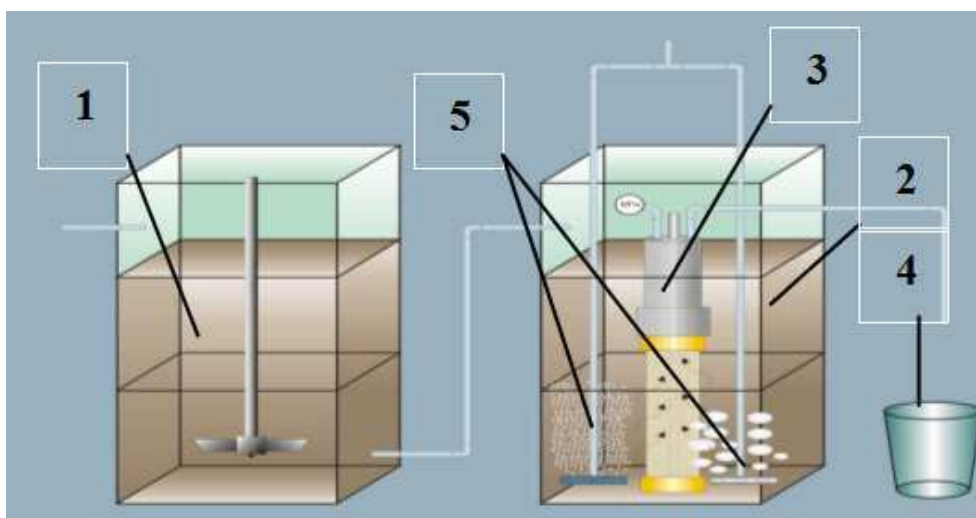
Układ badawczy składał się ze zbiornika uśredniającego oraz z bioreaktora membranowego z zainstalowanym wewnątrz mikrofiltracyjnym modułem kapilarnym. Współoczyszczane odcieki pompowano ze zbiornika uśredniającego do bioreaktora

z osadem czynnym. Objętość komory reakcyjnej wynosiła 15 dm<sup>3</sup>. Schemat układu badawczego zaprezentowano na rysunku 1.

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

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

Wskaźniki zanieczyszczeń	Jednostka	Odcieki	Ścieki mleczarskie	Ścieki mleczarskie + 5% odcieków
ChZT	[mg/dm <sup>3</sup> ]	3855	2480	2500
BZT <sub>5</sub>	[mg/dm <sup>3</sup> ]	300	600	600
Azot azotanowy	[mg/dm <sup>3</sup> ]	5	36	36
Azot amonowy	[mg/dm <sup>3</sup> ]	820	3,5	42
Fosfor ogólny	[mg/dm <sup>3</sup> ]	30	23	27
Przewodność	[mS/cm]	15,3	1,65	1,96
pH	-	8,1	7,9	7,9



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

Fig. 1. The Scheme of the aerobic membrane bioreactor: 1 - feed tank, 2 - aeration chamber, 3 - capillary membrane module, 4 - effluent tank, 5 - fine-bubbles aeration and coarse

Współczyszczane biologicznie ścieki wskutek wytworzonego w module membranowym podciśnienia (0,02 MPa) przepływały przez ściany kapilar do ich wnętrza i były odprowadzane z bioreaktora. Zastosowany w badaniach moduł kapilarny produkcji kanadyjskiej firmy Zenon miał powierzchnię filtracyjną 0,25 m<sup>2</sup> i charakteryzował się wysoką wytrzymałością mechaniczną i odpornością chemiczną. Membrany kapilarne wykonane z polifluorku winylidenu miały pory o średnicy 0,1 μm.

Bioreaktor membranowy pracował na zasadzie reaktora SBR w cyklu 12-godzinnym. Fazy napełniania i mieszania prowadzono 4,5 h, napowietrzania 6,5 h, sedimentacji i odprowadzenia sklarowanych ścieków 1 h. Stężenie osadu czynnego utrzymywane było na poziomie  $3 \text{ g/dm}^3$ , a stężenie tlenu wynosiło  $4 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ .

### Omówienie wyników badań i ich analiza

Celem badań była ocena wpływu obciążenia substratowego osadu, którego wartości utrzymywano na poziomie 0,05 oraz 0,1 g ChZT/g s.m. d na zmianę efektywności współocyszczania odcieków ze ściekami mleczarskimi. Uzyskane wyniki zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2  
Porównanie efektywności oczyszczania mieszaniny ścieków mleczarskich z odciekami komunalnymi przy obciążeniach substratowych osadu  $A_x = 0,05 \text{ g ChZT/g s.m. d}$  i  $A_x = 0,1 \text{ g ChZT/g s.m. d}$

Table 2  
The comparison of the effectiveness of the mixture of dairy wastes and the leachates treated at active sludge load  $A_x = 0.05 \text{ g COD/g}_{\text{TSD}}$ , and  $A_x = 0.1 \text{ g COD/g}_{\text{TSD}}$

$A_x$ [g/g s.m. d]	Udział odcieków [% obj.]	Wskaźniki zanieczyszczeń									
		ChZT [mg/dm <sup>3</sup> ]	R* [%]	BZT <sub>5</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	R* [%]	N-NH <sub>4</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	R* [%]	N-NO <sub>3</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	R* [%]	P-PO <sub>4</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	R* [%]
0,05	0	105	95,8	2	99,7	2,1	40,0	4,6	87,2	6,3	72,6
	5	112	95,5	4	99,3	2,2	94,7	8,4	76,6	7,1	73,7
0,1	0	140	94,4	2	99,7	2,4	31,4	4,7	86,9	5,1	77,8
	5	150	94,0	4	99,3	2,5	94,0	10,1	71,9	6,5	75,9

\*R - stopień obniżenia wartości wskaźnika zanieczyszczeń

Stopnie obniżenia wartości wskaźników ChZT i BZT<sub>5</sub> charakteryzujących oczyszczone ścieki były w obu przypadkach wysokie. Przy zastosowaniu obciążenia substratowego osadu równego 0,05 g ChZT/g s.m. d ChZT ścieków wypływających z bioreaktora wynosiło  $112 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ , natomiast dla obciążenia 0,1 g ChZT/g s.m. d było wyższe i kształtowało się na poziomie  $150 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . Wzrost obciążenia substratowego osadu wpłynął niekorzystnie na efektywność procesu oczyszczania ścieków. Ich ChZT dla obciążenia 0,1 g ChZT/ g s.m. d przekraczało dopuszczalne normy.

Stopień obniżenia biochemicznego zapotrzebowania tlenu dla ścieków oczyszczonych był wyższy od 99%, zarówno w przypadku oczyszczania samych ścieków mleczarskich, jak i współocyszczanych z odciekami. W konsekwencji stężenia BZT<sub>5</sub> odpływu z bioreaktora mieściły się w przedziale  $2\div 4 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ .

Podobną zależność zaobserwowano w przypadku procesu usuwania azotu amonowego. Stopień obniżenia jego stężenia był wysoki zarówno dla odcieków współocyszczanych ze ściekami mleczarskimi, jak i podczas oczyszczania surowych ścieków mleczarskich i kształtował się na poziomie średnio 99%. Stężenia N-NH<sub>4</sub><sup>-</sup> nie przekraczały wartości  $2,5 \text{ mg/dm}^3$ .

Wykazano również, że stężenia azotu azotanowego w oczyszczonych ściekach zarówno dla obciążenia 0,05, jak i 0,1 g ChZT/ g s.m. d były trzykrotnie niższe w porównaniu z wartościami normowanymi i wynosiły odpowiednio 8,4 i  $10,1 \text{ mg/dm}^3$ . W przypadku oczyszczania ścieków komunalnych stężenie tego biogenu charakteryzujące

ścieki oczyszczone przekraczało prawie dwukrotnie wartości dopuszczalne, umożliwiające ich odprowadzenie do odbiornika naturalnego. Pojawił się jednak problem z usunięciem fosforu ogólnego, którego stężenie na odpływie z bioreaktora było za wysokie. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. zmieniającego Rozporządzenie w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, wartość fosforu ogólnego powinna nie przekraczać  $2 \text{ mg/dm}^3$ . W badaniach oznaczano fosfor fosforanowy, który stanowi około 70% fosforu ogólnego [4]. Jego stężenie w ściekach oczyszczonych dla obciążenia osadu  $0,05 \text{ g ChZT/g s.m. d}$  wynosiło  $7,1 \text{ mg/dm}^3$ , a przy obciążeniu  $0,1 \text{ g ChZT/g s.m. d}$  wynosiło  $6,5 \text{ mg/dm}^3$ . Prawdopodobnie w celu zwiększenia efektywności usuwania fosforanów należałoby zmodyfikować cykl pracy reaktora MSBR, wprowadzając zmiany czasu trwania faz tlenowo-beztlenowych.

Podczas badań prowadzono również analizę mikroskopową osadu czynnego i określono wpływ ścieków mleczarskich na kształt i rozmiary kłaczków osadu oraz rodzaj rozwijających się mikroorganizmów. Zaobserwowano szybki przyrost orzęsków występujących w różnych formach, tj.: wolno pływających, pełzających po kłaczkach i osiadłych. Również nastąpił przyrost wrotków, których obecność licznie świadczyła o uzyskaniu wysokiego stopnia oczyszczenia ścieków. W osadzie występowały w optymalnych ilościach ameby, nicienie oraz bakterie nitkowate. Osad był zbudowany ze średniej wielkości kłaczków o regularnych kształtach i luźnej strukturze. Jego wygląd świadczył o pracy przy średnim obciążeniu substratowym [5].

### Podsumowanie

1. Korzystniejsza z przebadanych obciążeń osadu okazała się wartość  $0,05 \text{ g ChZT/g s.m. d}$ , w przypadku której stopień obniżenia wskaźników zanieczyszczeń organicznych był wysoki. ChZT kształtowało się na poziomie  $112 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ , natomiast  $\text{BZT}_5$   $4 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$ . Wartość wskaźnika ChZT przy zastosowaniu obciążenia osadu ładunkiem zanieczyszczeń  $0,1 \text{ g ChZT/g s.m. d}$  wynosiła  $150 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$  i przekraczała dopuszczalne normy wg RMŚ.
2. Stopień usunięcia azotu amonowego był bardzo wysoki ( $>99\%$ ), w związku z czym jego stężenie w ściekach oczyszczonych kształtowało się w zakresie  $2,1 \div 2,5 \text{ mg/dm}^3$  (dla obu obciążeń substratowych osadu).
3. Stężenie azotu azotanowego w oczyszczonych ściekach zarówno dla obciążenia  $0,5 \text{ g ChZT/g s.m. d}$ , jak i  $0,1 \text{ g ChZT/g s.m. d}$  było trzykrotnie niższe od dopuszczalnego i wynosiło odpowiednio  $8,4$  i  $10,1 \text{ mg/dm}^3$ .
4. Wyznaczone stężenie  $\text{P-PO}_4$  w ściekach oczyszczonych dla obu przebadanych obciążeń osadu przekraczało wartość dopuszczalną. Przy obciążeniu osadu  $0,05 \text{ g ChZT/g s.m. d}$  kształtowało się na poziomie  $7,1 \text{ mg/dm}^3$ , natomiast przy obciążeniu  $0,1 \text{ g ChZT/g s.m. d}$  wynosiło  $6,5 \text{ mg/dm}^3$ .

### Podziękowania

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

## Literatura

- [1] Danków R, Cais-Sokolińska D, Pikul J. Wykorzystanie popłuczyn mleczarskich w celu odzyskania masy białkowej. *Nauka Przyroda Technol.* 2009;3(4):#116.
- [2] Grała A, Zieliński M, Dudek M, Dębowski M. Efektywność oczyszczania ścieków mleczarskich w reaktorze beztlenowym o przepływie pionowym. *Inż Ekol.* 2010;22:97-105.
- [3] Bohdziewicz J, Świerczyńska A, Amalio-Kosel M. Ocena efektywności współoczyszczania w bioreaktorze SBR odcieków ze składowiska komunalnego oraz ich wpływu na mikroorganizmy osadu czynnego, *Proc ECOpole.* 2010;4(2):319-324.
- [4] Przywara L. Warunki i możliwości usuwania fosforanów i fosforu ogólnego ze ścieków przemysłowych. Rozprawa doktorska. Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Środowiska, Bielsko-Biała; 2006 .
- [5] Eikelboom DH. Podręcznik mikroskopowego badania osadu czynnego. Szczecin: Wyd Seidel-Przywecki Sp. z o.o.; 1999.

## DETERMINATION OF EFFECTIVENESS OF LEACHATES FROM MUNICIPAL LANDFILL CO-TREATMENT WITH THE DAIRY WASTEWATER IN SEQUENTIAL MEMBRANE BIOREACTOR

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

**Abstract:** The aim of the study was to determine the effectiveness of the municipal landfill leachates co-treatment with the dairy sewage in the membrane bioreactor. The bioreactor was operated in the SBR system and was equipped with immersed capillary membrane module, which enabled the performance of washing via backflushing. The concentration of the activated sludge in the membrane bioreactor was equal to 3.5 g/dm<sup>3</sup>, and the oxygen concentration in the aeration chamber was at the level of 4.0 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. The system operated in 12 h cycle. 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. All analysis were made according to the Polish standards. Following parameters were analysed: COD, BOD<sub>5</sub>, and concentrations of total phosphorus, total nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen. The optimal load of activated sludge with contaminants was determined. Additionally, the microscopic analysis of activated sludge was performed, what allowed to determine the influence of the leachates and dairy wastewater on the amount and diversity of microorganisms present in the aeration chamber.

**Keywords:** dairy wastewater, landfill leachate, membrane bioreactor, activated sludge