

Jolanta BOHDZIEWICZ<sup>1</sup>, Anna ŚWIERCZYŃSKA<sup>1</sup>  
i Magdalena AMALIO-KOSEL<sup>2</sup>

## OCENA EFEKTYWNOŚCI WSPÓŁCZYSZCZANIA W BIOREAKTORZE SBR ODCIEKÓW ZE SKŁADOWISKA KOMUNALNEGO ORAZ ICH WPŁYWU NA MIKROORGANIZMY OSADU CZYNNEGO

### THE DETERMINATION OF COTREATMENT OF THE LEACHATES FROM MUNICIPAL LANDFILL IN BIOLOGICAL SBR AND ITS INFLUENCE ON ACTIVATED SLUDGE MICROORGANISMS

**Abstrakt:** Celem pracy było wyznaczenie najkorzystniejszego udziału procentowego odcieków współoczyszczanych ze ściekami syntetycznymi w bioreaktorze SBR. Oceniano stopień usunięcia zanieczyszczeń oraz wpływ stężenia odcieków na metabolizm mikroorganizmów osadu czynnego. Współoczyszczone biologicznie odcieki dodatkowo doczyszczono w procesie odwróconej osmozy. Udziały procentowe odcieków zmieniano w zakresie wartości od 5 do 30% obj. Układ pracował w systemie dwóch cykli na dobę. Kryterium oceny stopnia oczyszczenia ścieków była zmiana wartości wskaźników zanieczyszczeń charakteryzujących ścieki poddawane procesowi oczyszczania i odprowadzane z bioreaktora. Oznaczenia wykonano zgodnie z obowiązującymi polskimi normami. Wyznaczano: odczyn pH, ChZT, BZT<sub>5</sub>, OWO, OW, stężenia fosforu ogólnego, azotu azotanowego oraz amonowego. Prowadzono również analizę mikroskopową osadu czynnego, oceniając wpływ stężenia odcieków na ilość i rodzaj aktywnych mikroorganizmów zasiedlających komorę napowietrzania. Określano aktywność oddechową biomasy w zależności od warunków prowadzenia procesu współoczyszczania odcieków. Wykazano, że udział procentowy odcieków w mieszaninie ścieków nie powinien przekraczać 5% obj. Stopień obniżenia wartości wskaźnika ChZT charakteryzującego ścieki oczyszczone w tych warunkach wynosił 92,2%, natomiast stężenie BZT<sub>5</sub> kształtowało się na poziomie 99%. Wzrost stężenia odcieków w mieszaninie ze ściekami syntetycznymi wpłynął negatywnie na strukturę i skład kłaczek osadu czynnego, wywołując obniżenie ilości i różnorodności mikroorganizmów oraz ich aktywności oddechowej.

**Słowa kluczowe:** bioreaktor SBR, odcieki składowiskowe, osad czynny, mikroorganizmy

Składowanie odpadów na składowiskach jest jak dotychczas metodą najbardziej rozpowszechnioną. Ważnym problemem, związanym ze składowaniem odpadów, są m.in. odcieki powstające w trakcie przesączenia się wód opadowych przez bryłę składowiska [1]. Charakteryzują się one wyższym, w porównaniu ze ściekami komunalnymi, stężeniem substancji chemicznych zarówno o charakterze organicznym, jak i nieorganicznym. Biorąc pod uwagę fakt, iż odcieki mają zmienny skład ilościowy i jakościowy oraz charakteryzują się niewielką podatnością zawartych w nich zanieczyszczeń na biodegradację, oczyszczanie tego typu ścieków metodami biologicznymi jest utrudnione. Wymaga niejednokrotnie stosowania układów zintegrowanych kojarzących procesy fizykochemiczne z biologicznymi. Dobór odpowiedniej metody powinien być uzasadniony ekologicznie i ekonomicznie [2, 3].

W oczyszczaniu ścieków metodą osadu czynnego aktywność biochemiczna mikroorganizmów jest jednym z najważniejszych elementów decydujących o sprawności

<sup>1</sup> Zakład Chemii Sanitarnej 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

<sup>2</sup> Zakład Technologii Wody i Ścieków, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 28 49, email: magdalena.amalio@polsl.pl

pracy oczyszczalni biologicznej. Wprowadzanie odcieków zawierających substancje toksyczne do ścieków komunalnych może przyczynić się do obumierania mikroorganizmów wchodzących w skład osadu czynnego, a tym samym uniemożliwić przebieg reakcji biochemicznych. Najczęściej kontrola oczyszczania ścieków polega głównie na badaniach fizykochemicznych, które nie zawsze umożliwiają wskazanie przyczyny zakłóceń przebiegu procesu oczyszczania. Systematyczne badania mikroskopowe osadu czynnego przyczyniają się do monitorowania składu i struktury kłaczków, co w efekcie prowadzi do poprawy jakości ścieków opuszczających oczyszczalnię [4, 5].

### Materiał badawczy i metodyka badań

Substratem badań były odcieki pochodzące ze składowiska odpadów komunalnych w Tychach - Urbanowicach. Proces biologicznego ich oczyszczania w warunkach laboratoryjnych realizowano w sekwencyjnych reaktorach biologicznych o pojemności 3 dm<sup>3</sup>. Stosowano osad czynny pochodzący z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Gliwicach wpracowany do oczyszczania ścieków syntetycznych. Cykl pracy bioreaktora wynosił 12 h. Fazy napełniania i mieszania prowadzono 4 h, napowietrzania 7 h, sedimentacji i odprowadzenia sklarowanych ścieków 1 h. Udziały procentowe odcieków współoczyszczanych ze ściekami syntetycznymi zmieniano w zakresie wartości od 5 do 30 % obj. Efektywność oczyszczania mieszaniny ścieków porównywano z efektywnością oczyszczania ścieków syntetycznych. Przeprowadzono również próbę oczyszczania odcieków surowych. Syntetyczne ścieki komunalne były przygotowywane z bulionu zgodnie z normą PN-72/C-04550. Charakterystykę fizykochemiczną odcieków oraz ścieków syntetycznych współoczyszczanych w bioreaktorze SBR przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Charakterystyka odcieków ze składowiska odpadów komunalnych oraz ścieków syntetycznych

Table 1

The characteristics of the municipall landfill leachates and the synthetic sewage

Oznaczenie	Jednostka	Odcieki	Ścieki syntetyczne	Wartości dopuszczalne*
ChZT	[g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ]	3855	900	125
BZT <sub>5</sub>	[g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ]	300	440	25
OWO	[g C/m <sup>3</sup> ]	602	198	30
OW	[g C/m <sup>3</sup> ]	1580	260	-
Azot amonowy	[g N-NH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> ]	1240	16	10
Azot azotanowy	[g N-NO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> ]	9	7	30
Azot całkowity	[g N/m <sup>3</sup> ]	1500	120	30
Fosfor ogólny	[g P/m <sup>3</sup> ]	30	15	2
pH	-	8	6,8÷7,5	6,5÷9,0

\* Dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń ścieków odprowadzanych do odbiornika, Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r.

Stężenie osadu czynnego utrzymywane było na poziomie 4 g/dm<sup>3</sup>, stężenie tlenu wynosiło 3÷4 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, natomiast obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń 0,1 g ChZT/g s.m.

Stopień oczyszczenia ścieków oceniano na podstawie obniżenia wartości wskaźników zanieczyszczeń organicznych, tj. ChZT, BZT<sub>5</sub>, OWO, OW oraz stężeń substancji

biogennych: azotu amonowego, azotanowego i fosforu. Oznaczano również suchą masę, pH i stężenie tlenu. Obserwację osadu czynnego prowadzono z zastosowaniem mikroskopu Opta - Tech N - 180 M wyposażonego w kamerę. Umożliwił on określenie ilości i rodzaju mikroorganizmów występujących w osadzie czynnym, a także dokonanie oceny jakości kłaczków osadu czynnego pod względem ilości oraz struktury. Wyznaczono również aktywność oddechową osadu czynnego.

### Omówienie wyników badań i ich analiza

W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań opisujące zależność efektywność współczyszczania odcieków od ich udziału objętościowego w mieszaninie ze ściekami syntetycznymi.

Tabela 2  
Efektywność współczyszczania odcieków w bioreaktorze SBR w zależności od ich udziału objętościowego

Table 2  
The effectiveness of the leachates co-treatment in the SBR bioreactor depending on their the volumetric share

Udział odcieków [% obj.]	Oznaczenie							
	ChZT [mg/dm <sup>3</sup> ]	R* [%]	BZT <sub>5</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	R* [%]	OWO [mg/dm <sup>3</sup> ]	R* [%]	OWN [mg/dm <sup>3</sup> ]	R* [%]
0	35	96,1	2	99,5	19,9	90,0	49	81,2
5	90	92,2	2	99,5	24,8	88,7	54	84,6
10	150	88,0	5	98,3	42,5	81,9	70,5	82,2
20	390	72,7	20	94,6	83,6	67,7	96,7	82,9
30	900	46,9	20	93,9	115,6	61,4	119	85,4

\*R - stopień obniżenia wartości wskaźnika zanieczyszczeń

Podczas oczyszczania ścieków syntetycznych stopień usunięcia ładunku zanieczyszczeń był wysoki, a wartości wskaźników charakteryzujących oczyszczone ścieki nie przekraczały wartości normowych ujętych w Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi.

W przypadku współczyszczania odcieków największy stopień obniżenia wartości wskaźnika ChZT uzyskano dla udziału odcieków na poziomie 5% obj. Jego wartość charakteryzująca ścieki oczyszczone wynosiła 92,2% (90 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>). Dla udziałów wyższych, tj. 10, 20 i 30% obj., stężenia chemicznego zapotrzebowania tlenu ścieków oczyszczonych kształtowały się odpowiednio na poziomach 150, 390 i 900 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, co uniemożliwiało ich bezpośrednie odprowadzenie do odbiornika naturalnego.

Podobną zależność zaobserwowano w przypadku wzrostu stężenia węgla organicznego w ściekach oczyszczanych. Jego stopień usunięcia malał ze wzrostem zawartości odcieków w mieszaninie ze ściekami syntetycznymi. Po 28 dobach prowadzenia procesu dla 5% obj. udziału odcieków stężenie OWO w ściekach oczyszczonych wynosiło 24,7 mg/dm<sup>3</sup>. Dla badanych większych wartości udziałów stężenia ogólnego węgla organicznego przekraczały wartość dopuszczalną.

Wzrost procentowego udziału odcieków w niewielkim stopniu natomiast wpłynął na stopień obniżenia BZT<sub>5</sub> ścieków oczyszczonych. Jego stężenia charakteryzujące ścieki w odpływie z reaktorów były niskie i wynosiły 2 i 5 mg/dm<sup>3</sup> odpowiednio dla udziałów procentowych odcieków 5 i 10% obj. Odpowiadały one stopniowi obniżenia wartości tego

wskaznika odpowiednio 98,3 i 99,5%. BZT<sub>5</sub> ścieków oczyszczonych zarówno dla 20, jak i 30% obj. udziału odcieków kształtowało się na poziomie 20 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>.

Zmianę stężenia substancji biogenych w procesie współczyszczania odcieków w reaktorze SBR w zależności od ich udziału objętościowego przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3  
Zmiana stężenia substancji biogenych w procesie współczyszczania odcieków w reaktorze SBR w zależności od ich udziału procentowego

Table 3  
The change of concentration of biogenic elements during leachates co-treatment in the SBR bioreactor depending on their volumetric share

Udział odcieków [% obj.]	Oznaczenie				
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/dm <sup>3</sup> ]	R* [%]	P <sub>og</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	R* [%]
0	30	0,5	96,9	2	86,7
5	67	1,0	98,8	4,1	76,2
10	122	1,0	99,3	6,7	64,7
20	328	3,8	99,7	17	19,0
30	340	8,0	99,5	21	12,5

\*R - stopień obniżenia wartości wskaźnika zanieczyszczeń

Wykazano, że stopień obniżenia stężenia azotu amonowego dla wszystkich przebadanych udziałów objętościowych odcieków był wysoki i przekroczył 98%. Wprawdzie zmiana ilość odcieków w mieszaninie ze ściekami syntetycznymi wpłynęła w nieznacznym stopniu na efektywność usunięcia N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, jednak zaobserwowano w odpływie wzrost stężenia azotu azotanowego zdecydowanie przekraczającego wartość normowaną. Wzrost stężenia odcieków w ściekach syntetycznych wpłynął również na obniżenie efektywności usuwania fosforu ogólnego. Najwyższy stopień jego usunięcia, podobnie jak w przypadku jonów NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, odnotowano dla 5% obj. udziału odcieków w mieszaninie ścieków oczyszczanych (tab. 3). Po 28 dniach prowadzenia procesu wynosił on 76,2% (4,1 mg/dm<sup>3</sup>). W związku z tym oczyszczone biologicznie ścieki postanowiono doczyścić w procesie odwróconej osmozy. Zastosowany wysokociśnieniowy proces membranowy zapewnił ich doczyszczanie do tego stopnia, że mogły być bezpośrednio odprowadzone do zbiornika naturalnego. Stężenie azotu azotanowego w oczyszczonych ściekach wynosiło 7,5 mg/dm<sup>3</sup>, a fosforu ogólnego <1,0 mg/dm<sup>3</sup>.

W badaniach przeprowadzono również obserwacje mikroskopowe zmiany jakości osadu czynnego wywołane wzrostem udziału odcieków w oczyszczanych ściekach. Przeprowadzona ocena ilości i jakości mikroorganizmów występujących w osadzie surowym oraz jego struktura pozwoliły wnioskować, że był zbudowany z kłaczków o średnich rozmiarach, o znacznej spójności, luźnej strukturze, regularnym kształcie i dużej różnorodności mikroorganizmów. Świadczyło to o zachowaniu odpowiednich warunków tlenowych, w jakich pracował, natomiast występowanie Orzęsków pływających i pełzających - o pracy w warunkach średniego obciążenia substratowego. Wiek osadu oceniono jako dojrzały, o czym świadczyła obecność dużej ilości *Arcelli* oraz Wrotków.

Dla udziału odcieków w zakresie 5÷10% obj. zarówno kształty, jak i rozmiary kłaczków w trakcie prowadzenia procesu nie uległy zmianie. W ostatnim, 4 tygodniu pracy bioreaktorów z 5 i 10% obj. zaobserwowano nieznacznie mniejsze ilości Orzęsków,

Wrotków i *Arcelli*, natomiast pojawiły się niewielkie ilości bakterii nitkowatych. W przypadku wyższych udziałów objętościowych odcieków odnotowano znacznie mniejszą różnorodność mikroorganizmów. W bardzo dużych ilościach pojawiły się bakterie nitkowane, natomiast Orzęsków i *Arcelli* było zdecydowanie mniej. Uzasadniało to fakt, że efektywność współocyszczania odcieków w tych reaktorach zmalała, a wyznaczone wskaźniki zanieczyszczeń charakteryzujące ścieki oczyszczone znacznie przekraczały wartości dopuszczalne. Stwierdzono również, że wraz ze wzrostem stężenia odcieków w mieszaniu ścieków współocyszczanych kłaczkii zmieniły rozmiary oraz strukturę. Były drobniejsze i charakteryzowały się nieregularnymi kształtami.

W przypadku oczyszczania samych odcieków już w drugim tygodniu na powierzchni bioreaktora pojawiła się biała sztywna piana, co świadczyło o przeciążeniu osadu czynnego. Kłaczkii były bardzo drobne, ich ilość była niewielka, a odpływ z reaktora bardzo mętny, co świadczyło o wynoszeniu osadu czynnego. Ilość mikroorganizmów znacznie zmalała i zaczęły pojawiać się bakterie nitkowane, co skutkowało znacznym obniżeniem efektywności procesu oczyszczania. W kolejnym tygodniu badań mikroorganizmy osadu czynnego obumarły wskutek zbyt dużego substratowego obciążenia osadu czynnego oraz toksyczności związków chemicznych znajdujących się w odciekach.

Otrzymane podczas wyznaczania zależności zmiany aktywności biochemicznej osadu czynnego od udziału odcieków w ściekach współocyszczanych wyniki badań potwierdziły obserwacje mikroskopowe. Aktywność oddechowa osadu czynnego zaadaptowanego do oczyszczania ścieków syntetycznych była najwyższa i kształtowała się na poziomie  $30 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . W niewielkim stopniu zmieniła swoją wartość dla udziału odcieków na poziomie 5% obj. i wynosiła  $28,8 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . Dla większych stosowanych udziałów odcieków, tj. 10, 20 i 30% obj., aktywności oddechowe przyjmowały odpowiednio wartości: 25,5, 24,2 i  $22,8 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . W bioreaktorze, do którego dozowano wyłącznie odcieki surowe, już po dwóch tygodniach prowadzenia procesu ich oczyszczania nie można było oznaczyć aktywności oddechowej osadu.

### Podsumowanie

Wykazano, że wraz ze wzrostem zawartości odcieków w ściekach współocyszczanych w reaktorze SBR rosła zawartość substancji organicznych w odpływie. Uznany za najkorzystniejszy udział odcieków w mieszaniu ścieków, tj. 5% obj., umożliwił usunięcie ładunku zanieczyszczeń organicznych w takim stopniu, że mogły być one bezpośrednio odprowadzone do odbiornika naturalnego. Oczyszczone w tych warunkach ścieki charakteryzowały się jednak wyższymi od dopuszczalnych wartościami stężeń substancji biogennych. W związku z tym doczyszczono je w procesie odwróconej osmozy.

Dla najkorzystniejszego udziału odcieków (5% obj.) zarówno kształt, jak i rozmiary kłaczek osadu czynnego podczas procesu biologicznego oczyszczania nie uległy zmianie. Wzrost ich udziału w mieszaniu ze ściekami syntetycznymi wpłynął na jakość kłaczek osadu, wywołując zmniejszenie ich ilości i różnorodności mikroorganizmów.

Prowadzony proces fermentacji tlenowej samych odcieków zakończono po 15 dniach z uwagi na fakt obumarcia osadu, co skutkowało całkowitym zahamowaniem procesu ich oczyszczania.

## Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt badawczy nr N N 523 3756 33 pt. „Wpływ pola ultradźwiękowego na poprawę efektywności oczyszczania odcieków ze składowisk komunalnych w tlenowym bioreaktorze membranowym”.

## Literatura

- [1] Rosik-Dulewska C.: Podstawy gospodarki odpadami. WN PWN, Warszawa 2002.
- [2] Surmacz-Górska J.: *Usuwanie zanieczyszczeń organicznych oraz azotu z odcieków powstających w wysypisku odpadów komunalnych*. Zesz. Nauk. Polit. Śląskiej, Inż. Środ., Gliwice 2000, nr 44.
- [3] Szyc J.: Odcieki ze składowiska odpadów komunalnych. WN Gabriel Borowski, Warszawa 2003.
- [4] Buck H.: Mikroorganizmy w osadzie czynnym. Wyd. Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Szczecin 1999.
- [5] Eikelboom D.H.: Podręcznik mikroskopowego badania osadu czynnego. Wyd. Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Szczecin 1999.

## DETERMINATION OF COTREATMENT OF THE LEACHATES FROM MUNICIPAL LANDFILL IN BIOLOGICAL SBR AND ITS INFLUENCE ON ACTIVATED SLUDGE MICROORGANISMS

Institute of Water and Wastewater Engineering, Silesian University of Technology

**Abstract:** The aim of the study was to determine the optimum percentage share of leachates cotreated with synthetic wastewaters in biological SBR. The degree of impurities removal and the influence of leachates concentration on activated sludge microorganisms were investigated. Biologically treated wastewaters were polished via high-pressure filtration. The percentage share of leachates was changed in the range from 5 to 30 vol.%. The system was operated in the system of two 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. All analyses were made according to the Polish standards. Following parameters were analysed: pH, COD, BOD<sub>5</sub>, contents of TOC, TC and concentrations of total phosphorus, total nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen. Additionally, the microscopic analysis of activated sludge was performed, what allowed to determine the influence of the leachates concentration on the amount and diversity of microorganisms present in the aeration chamber and biological activity. The results revealed that the volume of leachate in the treated mixture should not exceed 5 vol.%. The decrease of values of COD and BOD<sub>5</sub> equal to 92.2 and 99%, respectively was observed for such conditions. The increase of leachates share in the treated mixture had a negative influence on the structure and composition of activated sludge flocks what resulted in the decrease of content and diversity of microorganisms.

**Keywords:** biological SBR, landfill leachates, activated sludge, microorganisms