

Klaudiusz GRŪBEL<sup>1</sup>, Alicja MACHNICKA<sup>1</sup>, Ewelina NOWICKA<sup>1</sup>  
i Stanisław WACŁAWEK<sup>2</sup>

## FERMENTACJA MEZOFILOWO-TERMOFILOWA OSADU DEZINTEGROWANEGO W PROCESIE HYBRYDOWYM\*

### MESOPHILIC-THERMOPHILIC FERMENTATION PROCESS OF WASTE ACTIVATED SLUDGE AFTER HYBRID DISINTEGRATION

**Abstrakt:** Hydrodynamiczna oraz chemiczna dezintegracja osadów ściekowych wpływa na poprawę efektywności procesu fermentacji metanowej, objawiającej się m.in. wzrostem produkcji biogazu oraz wydatku biogazu. Niniejszy artykuł przedstawia hybrydową destrukcję osadu czynnego recyrkulowanego, składającą się z kawitacji hydrodynamicznej (30 minut) oraz alkalizacji (pH  $\approx$  9). W wyniku przeprowadzonych analiz rChZT osiągnęło wartość 1383 mg/dm<sup>3</sup>, a wydatek biogazu w dwustopniowej fermentacji mezofilowo-termofilowej wahał się od 26 do 38%.

**Słowa kluczowe:** dezintegracja hybrydowa, dwustopniowa fermentacja, biogaz, wydatek biogazu

#### Wstęp

Zastosowanie stabilizacji beztlenowej może w sposób bezpieczny i korzystny wpłynąć na poprawę utylizacji osadów ściekowych. Produktem gazowym fermentacji metanowej jest biogaz, składający się głównie z metanu oraz ditlenku węgla, który może zostać przekształcony w energię elektryczną lub ciepłą.

Procesy wstępnego traktowania osadów ściekowych, powodujące uszkodzenia lub zniszczenia ściany i/lub błony komórkowej mikroorganizmów, są bardzo przydatnym narzędziem, wykorzystywanym coraz częściej w procesach przeróbki osadów ściekowych. Efektem tych procesów jest uwalnianie trudno dostępnej materii organicznej do cieczy nadosadowej, co umożliwia szybszą jej hydrolizę w pierwszym etapie procesu fermentacji, a tym samym przyspiesza cały proces [1].

Obecnie do najbardziej dynamicznie rozwijających się technologii wstępnej przeróbki osadów należą procesy dezintegracji. Dezintegracja osadów ściekowych jest procesem wprowadzającym do osadu energię w celu rozdrobnienia i rozerwania flokuł osadu oraz zniszczenia osłon komórkowych mikroorganizmów.

Zastosowanie dezintegracji ułatwia przebieg fazy hydrolizy podczas fermentacji metanowej, a liza komórek mikroorganizmów przyczynia się do minimalizacji ilości osadów, pozostałych do ostatecznego unieszkodliwienia. Metoda ta może być również wykorzystana do poprawy efektywności procesów rozkładu biologicznego osadów ściekowych poprzez wzrost szybkości hydrolizy komórek oraz zwiększenie stopnia rozkładu substancji trudno biodegradowalnych. Inną korzyścią wynikającą z dezintegracji

<sup>1</sup> Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Wydział Nauk o Materiałach i Środowisku, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, tel. 33 827 91 57, email: kgrubel@ath.bielsko.pl

<sup>2</sup> Instytut Nanomateriałów, Politechnika w Libercu, Studentská 1402/2, 461 17 Liberec 1, Republika Czeska, tel. +420 485 353 006

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

osadów jest możliwość wykorzystania uwolnionych z komórek substancji jako źródła łatwo przyswajalnego węgla organicznego [2].

Istnieje wiele metod dezintegracji stosowanych w procesach przeróbki osadów ściekowych, wśród których można wyróżnić dezintegrację: ultradźwiękową [1, 6, 10], alkaliczną [2-5, 9], termiczną [3-4, 7, 11], hydrodynamiczną [5], ozonowaniem [6, 8] oraz hybrydową [3-4, 6, 8]. W naszych badaniach [2] wykazano pozytywny wpływ alkalizacji na przyrost biogazu, który wyniósł 22% w porównaniu do próbki kontrolnej. Li i in. [9] zastosowali alkalizację podczas trwania procesu fermentacji, ekstrahując 5% objętości osadu i dezintegrując go 0,1 mol/dm<sup>3</sup> NaOH. Skutkiem tego był przyrost biogazu o 33% w porównaniu do próbki rzeczywistej. Kim i in. [4] badali dezintegrację hybrydową z użyciem alkalizacji (temperatura 60-90°C), która spowodowała zniszczenie zawiesin osadu do 75,6%, jak również zwiększenie produkcji metanu do 70,6%. Dezintegracja osadów ściekowych jest istotnym etapem m.in. w procesie stabilizacji beztlenowej, jednak może okazać się zbyt agresywna, doprowadzając do znacznego spadku produkcji biogazu, na co zwrócili uwagę Kim i in. [10].

Celem przeprowadzonych badań było przedstawienie możliwości zastosowania dezintegracji hybrydowej osadu czynnego recykulowanego w procesie fermentacji mezofilowo-termofilowej w celu jego higienizacji.

## **Materiał i metoda**

Materiałem do badań był osad czynny recykulowany (OCR), pochodzący z miejskiej oczyszczalni ścieków w południowej Polsce, działającej zgodnie z EBNR (Enhanced Biological Nutrient Removal). Obecnie ilość oczyszczanych ścieków wynosi około 90 000 m<sup>3</sup>/d, czas retencji to około 14 dni, a stężenie płynnych zawiesin wynosi 4,3-4,7 g/dm<sup>3</sup>.

### *Alkalizacja*

Do dezintegracji zastosowano 2 M NaOH, dodawany w ilości potrzebnej do utrzymania określonej wartości pH = 8, 9, 10 i 11 przez 30 minut. Użyta dawka wyniosła od 0,8 do 6 cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup> w zależności od uzyskanego progu pH.

### *Hydrodynamiczna dezintegracja*

Do dezintegracji hydrodynamicznej wykorzystywano osad czynny o objętości 25 dm<sup>3</sup>. W eksperymencie użyto pompy ślimakowej tłoczącej osad pod ciśnieniem 12 bar, z wydajnością 500 dm<sup>3</sup>/h, przy zapotrzebowaniu energii 0,54 kWh. Osad cyrkulowany był ze zbiornika przez dyszę kawitacyjną o średnicy 1,2 mm. Dezintegrację hydrodynamiczną przeprowadzono dla czasów: 10, 20, 30, 40 i 50 min.

### *Hybrydowa dezintegracja*

Dezintegrację hybrydową osadu recykulowanego wykonano w oparciu o dezintegrację alkaliczną dla pH ≈ 9 oraz dezintegrację hydrodynamiczną dla czasu 30 minut.

### *Metody analityczne*

Wszystkie analizy chemiczne przeprowadzono w próbkach przed i po procesie dezintegracji, a także podczas trwania procesu fermentacji metanowej. Wartości chemicznego zapotrzebowania na tlen (rChZT) zostały ustalone zgodnie z procedurami zawartymi w Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (21<sup>st</sup> ed.) [12]. Wartość suchej pozostałości oraz suchej pozostałości organicznej określono zgodnie z Wastewater Engineering Treatment and Reuse [13].

Do oznaczeń kolorymetrycznych zastosowano spektrofotometr firmy DR LANGE Xion 500. Analizy chemiczne oznaczono w próbkach przed i po procesie dezintegracji. Przewodnictwo elektryczne oraz pH określono pH-metrem WTW firmy inoLab Level2, wyposażonego w elektrodę SenTix K1.

### *Fermentacja metanowa*

Stabilizację beztlenową przeprowadzono w szklanych zbiornikach o pojemności 5 dm<sup>3</sup>. Bioreaktory wypełniono mieszkanką osadu przefermentowanego i niezdezintegrowanego oraz z udziałem objętościowym (20, 30, 40, 50 i 70%) osadu poddanego dezintegracji hybrydowej:

- Reaktor 1 - 70% osad niezdezintegrowany (OCR) + 30% osad przefermentowany (OP) jako inoculum - (70% OCR + 30% OP),
- Reaktor 2 - 60% OCR + 30% OP + 10% osad dezintegrowany hybrydowo (OCRD),
- Reaktor 3 - 50% OCR + 30% OP + 20% OCRD,
- Reaktor 4 - 40% OCR + 30% OP + 30% OCRD,
- Reaktor 5 - 30% OCR + 30% OP + 40% OCRD,
- Reaktor 6 - 20% OCR + 30% OP + 50% OCRD.

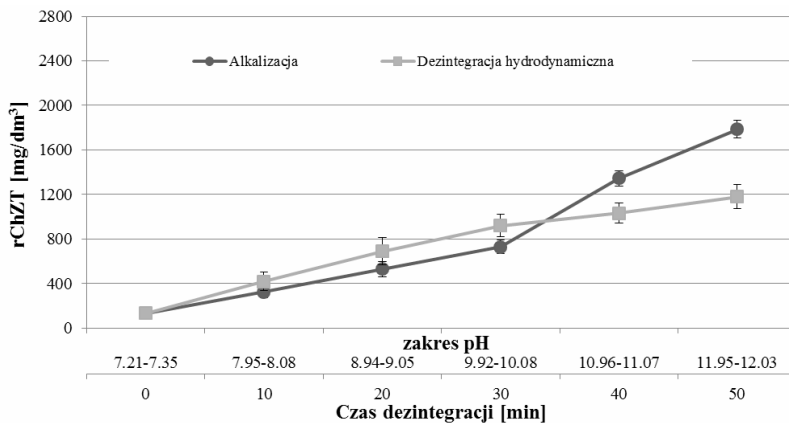
Reaktory fermentacyjne umieszczono w termostatycznych warunkach, ze stałą temperaturą ( $35 \pm 1^\circ\text{C}$ ) oraz ( $55 \pm 1^\circ\text{C}$ ), odpowiednio dla warunków mezofilowych i termofilowych. Proces fermentacji odbywał się przez 12 dni w warunkach mezofilowych i 13 dni w termofilowych. Objętość wytworzonego biogazu mierzono codziennie, metodą wypierania cieczy. Zamierzonym celem zrealizowanych analiz jest wykazanie wpływu procesu hybrydowej dezintegracji osadu czynnego recykulowanego na przebieg procesu fermentacji metanowej wyrażonej produkcją biogazu. Przedstawione wyniki zrealizowano w 4 powtórzeniach, z których obliczono średnią arytmetyczną oraz odchylenie standardowe.

### **Wyniki i dyskusja**

W wyniku dezintegracji alkalicznej i hydrodynamicznej osadu uszkodzeniu oraz zniszczeniu uległy komórki mikroorganizmów. W efekcie tych procesów nastąpiło uwolnienie substancji organicznych oraz enzymów wewnątrzkomórkowych do fazy płynnej osadu i wzrost wartości materii organicznej wyrażonej wartościami rozpuszczonego ChZT (rChZT) (rys. 1).

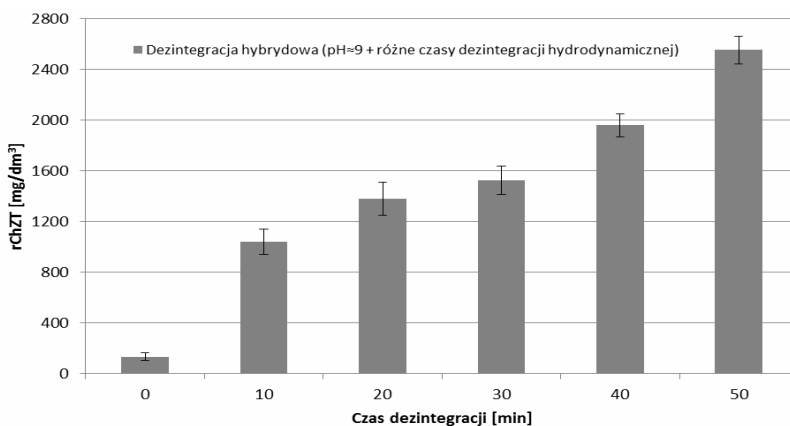
W wyniku dezintegracji hybrydowej osadu, zgodnie z oczekiwaniami, nastąpiło wzmożone uwolnienie substancji organicznych w porównaniu do zastosowania dwóch procesów dezintegracji oddzielnie (rys. 2).

Alkalizacja jest skuteczną techniką w procesach hydrolizy osadów ściekowych, na co zwróciło uwagę wielu autorów [2-5, 9]. Le i in. [1] porównali dezintegrację ultradźwiękową i alkalizację, stwierdzając, że dodanie wodorotlenku osadu do osadu w małych dawkach wpływa korzystnie na wzrost rChZT. Lee i in. [5] przeprowadzili podobne doświadczenia do opisywanych w niniejszym artykule, porównując dezintegrację ultradźwiękową z hydrodynamiczną. Ustalili, że w obu metodach zachodzi zjawisko kawitacji, jednak dezintegracja hydrodynamiczna okazała się bardziej efektywna ekonomicznie. Na rysunku 2 można zaobserwować, że alkalizacja oraz dezintegracja hydrodynamiczna powodują istotny wzrost wartości rChZT, lecz nie aż tak dużych jak przy zastosowaniu dwóch ww. metod jednocześnie, co również koresponduje z danymi przedstawionymi przez Lee i in. [5].



Rys. 1. Zmiany wartości rChZT w fazie płynnej osadu recykulowanego po dezintegracji hydrodynamicznej oraz alkalizacji

Fig. 1. Change in SCOD values in liquid phase of sludge after alkalization and hydrodynamic cavitation



Rys. 2. Zmiany wartości rChZT w fazie płynnej osadu recykulowanego po dezintegracji hybrydowej

Fig. 2. Change in SCOD values in liquid phase of sludge after hybrid desintegration

Aby zaobserwować wpływ dezintegracji hybrydowej na ilość wyprodukowanego biogazu podczas dwustopniowej fermentacji mezofilowo-termofilowej, zastosowano różne objętości osad czynnego zdeintegrowanego (OCRD). Zmiany w produkcji biogazu umieszczono w tabeli 1.

Tabela 1

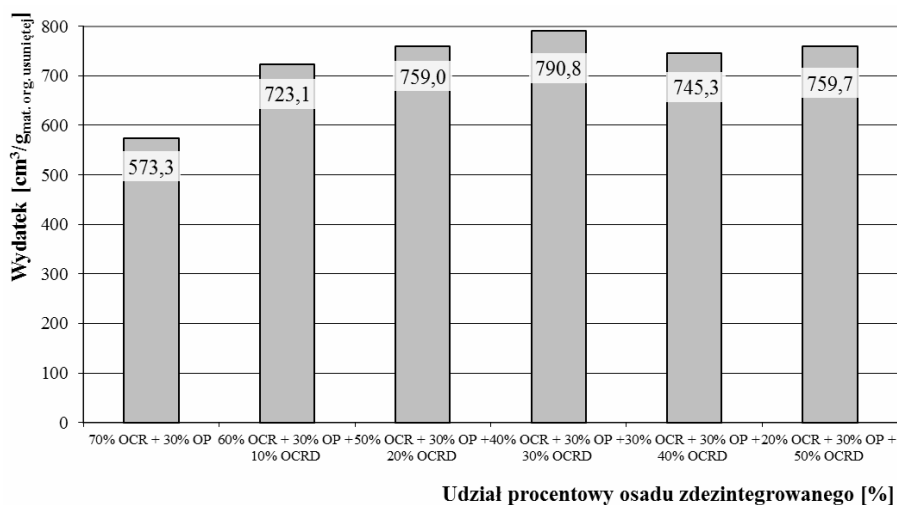
Ilość wyprodukowanego biogazu po dwustopniowej fermentacji

Table 1

Biogas production after two-stage anaerobic digestion

Objętość osadu	Metoda dezintegracji		
	Alkaliczacja (pH ≈ 9)	Hydrodynamiczna dezintegracja (30 min)	Hybrydowa dezintegracja (alkaliczacja pH ≈ 9 + 30 min hydrodynamicznej dezintegracji)
70% OCR + 30% OP	2450	2450	2450
60% OCR + 30% OP + 10% OCRD	2500	2657	3093
50% OCR + 30% OP + 20% OCRD	2816	2980	3458
40% OCR + 30% OP + 30% OCRD	3133	3302	3819
30% OCR + 30% OP + 40% OCRD	3327	3502	4056
20% OCR + 30% OP + 50% OCRD	3331	3573	4196

gdzie: OCR - osad czynny recykulowany, OP - osad przefermentowany, OCRD - osad czynny recykulowany po dezintegracji



Rys. 3. Zmiany wydatku w porównaniu do różnych ilości dodanego OCRD

Fig. 3. Changes in yield of biogas after addition of various amounts of desintegrated sludge

Miarą efektywności fermentacji osadów jest produkcja biogazu oraz wydatek, wyrażający się ilością wyprodukowanego gazu z jednostki masy usuniętych substancji

organicznych. Badania realizowane w ramach niniejszej pracy zmierzały do oceny możliwości intensyfikacji procesu fermentacji metanowej osadu czynnego recykulowanego przez dodatek 10, 20, 30, 40 i 50% osadu zdeintegrowanego hybrydowo. Rysunek 3 przedstawia wpływ dawki osadu czynnego zdeintegrowanego na wydatek produkcji biogazu.

Porównując otrzymane wyniki, można wywnioskować, że wartość otrzymanego wydatku biogazu poszczególnych dawek osadu zdeintegrowanego była za każdym razem większa w porównaniu do próbki kontrolnej. Dodanie 10, 20, 30, 40 i 50% osadu czynnego po dezintegracji hybrydowej spowodowało wzrost wydatku od 26 do 38%. Z uzyskanych doświadczeń wynika, że najkorzystniejszą dawką objętościową okazała się mieszanina z udziałem 30% osadu zdeintegrowanego hybrydowo (wzrost o 38%).

## Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że alkalizacja oraz dezintegracja hydrodynamiczna i hybrydowa są odpowiednimi metodami w przeróbce osadów ściekowych.

Najważniejsze wnioski są następujące:

1. Samodzielne zastosowanie alkalizacji i hydrodynamicznej dezintegracji ma istotny wpływ na uwolnienie substancji organicznej do cieczy naosadowej. Zmiana pH do ok. 12 spowodowała wzrost rChZT o 1552 mg/dm<sup>3</sup>, a 50-minutowa dezintegracja hydrodynamiczna zwiększyła wartość rChZT o 1048 mg/dm<sup>3</sup>.
2. Hybrydowa dezintegracja znacznie zwiększyła wartość rChZT w porównaniu do metod zastosowanych osobno. Wzrost wartości rChZT o 2424 mg/dm<sup>3</sup> został zaobserwowany przy jednoczesnym użyciu alkalizacji (pH ≈ 12) i hydrodynamicznej dezintegracji (50 min), a w porównaniu do samej alkalizacji (pH ≈ 12) wzrost ten wyniósł tylko 624 mg/dm<sup>3</sup>.
3. Zwiększenie udziału osadu poddanego dezintegracji podczas procesu stabilizacji beztlenowej skutkowało zwiększoną produkcją biogazu. Próbka z udziałem 50% objętościowo osadu po dezintegracji hybrydowej osiągnęła najwyższy przyrost produkcji biogazu - 1746 cm<sup>3</sup> (lepsza wydajność o 71%).
4. Zaobserwowany został również wzrost wydatku w każdej próbce z dodatkiem OCRD. Najwyższy wydatek osiągnięto w próbce z udziałem 30% objętościowo osadu zdeintegrowanego hybrydowo.

## Podziękowania

Praca powstała w trakcie realizacji projektu Routes UE (Kontrakt nr 265156, 7PR 2007-2013 Działanie [ENV.2010.3.1.1-2] *Innovative system solutions for municipal sludge treatment and management*).

## Literatura

- [1] Le TN, Julcour-Lebigue C, Delmas H. *Ultrasonics Sonochem.* 2013;20:1203-1210. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2013.03.005.
- [2] Grübel K, Machnicka A, Waclawek S. *Ecol Chem Eng S.* 2013;20:343-351. DOI: 10.2478/eces-2013-0025.
- [3] Penaud V, Delgenès JP, Moletta R. *Enzyme and Microb Technol.* 1999;25:258-263. DOI: 10.1016/S0141-0229(99)00037-X.
- [4] Kim J, Youngseob Y, Lee Ch. *Bioresour Technol.* 2013;144:194-201. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.06.115.

- [5] Lee I, Han JI. *Ultrasonics Sonochem.* 2013;20:1450-1455. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2013.03.006.
- [6] Yang SS, Guo QW, Cao LG, Zheng SH, Ren QN. *Bioresour Technol.* 2013;124:347-354. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.08.007.
- [7] Gianico A, Braguglia MC, Mininni G. *Bioresour Technol.* 2013;143:96-103. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.05.069.
- [8] Cheng JCh, Hong AKP. *Bioresour Technol.* 2013;142:69-76. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.04.058.
- [9] Li H, Zou S, Li Ch, Jin Y. *Bioresour Technol.* 2013;140:187-191. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.04.093.
- [10] Kim HD, Cho KS, Lee KM, Kim SM. *Bioresour Technol.* 2013;143:660-664. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.06.058.
- [11] Yan Y, Chen H, Xu W, He Q, Zhou Q. *Biochem Eng J.* 2013;70:127-134. DOI: 10.1016/j.bej.2012.10.011.
- [12] Rice EW, Baird RB, Eaton AD, Clesceri LS. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21<sup>st</sup> edition). Washington: American Public Health Association; 2012.
- [13] Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD. *Wastewater Eng: Treatment and Reuse* (4th edition). Metcalf & Eddy Inc.; 2002.

## MESOPHILIC-THERMOPHILIC FERMENTATION PROCESS OF WASTE ACTIVATED SLUDGE AFTER HYBRID DISINTEGRATION

<sup>1</sup> Department of Environmental Microbiology and Biotechnology, Institute of Environmental Protection and Engineering, University of Bielsko-Biala, Bielsko-Biala

<sup>2</sup> Institute for Nanomaterials, Advanced Technology and Innovation, Technical University of Liberec

**Abstract:** The previously received results of individual processes of hydrodynamic and alkaline disintegration were decisive significant for the conducted research task. The combination of hydrodynamic cavitation (30 minutes duration of the process) and alkaline (pH  $\approx$  9) to the destruction of activated sludge caused a significant release of organic matter about 1383 mg/dm<sup>3</sup> in comparing to individual processes. Such increase in the SCOD value resulted in a significant growth the efficiency of biogas yield in a two-stage mesophilic-thermophilic processes. The increase of yield was from 26 to 38% depending on the volume of disintegrated sludge.

**Keywords:** hybrid disintegration, two stage fermentation, biogas, yield of biogas

