

Jolanta BOHDZIEWICZ¹, Mariusz KUGLARZ² i Bożena MROWIEC²

OCENA PODATNOŚCI BIOODPADÓW KUCHENNYCH I OSADÓW ŚCIEKOWYCH DO KOFERMENTACJI W WARUNKACH STATYCZNYCH

ASSESSMENT OF KITCHEN BIOWASTE AND SEWAGE SLUDGE SUSCEPTIBILITY TO METHANOGENIC CO-DIGESTION IN BATCH TESTS

Abstrakt: W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące ustalenia najkorzystniejszego udziału selektywnie zbieranych bioodpadów kuchennych poddawanych procesowi mezofilowej fermentacji z nadmiernym osadem czynnym. Wyznaczony optymalny skład mieszaniny kofermentacyjnej miał zapewnić stabilność prowadzonego procesu w warunkach statycznych. Podjęto również próbę zastąpienia części osadu czynnego poddawanego fermentacji metanowej pianą występującą okresowo na powierzchni komory napowietrzania. Dla najkorzystniejszego składu mieszaniny kofermentacyjnej (60% s.m. bioodpady kuchenne + 40% s.m. osad ściekowy) uzyskano ponad 3-krotny wzrost sumarycznej produkcji biogazu, w porównaniu z ilością biogazu generowanego w procesie fermentacji metanowej osadu nadmiernego. Nie zaobserwowano również znaczącego pogorszenia stabilności procesu (Lotne Kwasy Tłuszczowe/Zasadowości). Zastąpienie części osadu ściekowego pianą osadu czynnego nie wpłynęło negatywnie na efektywność oraz stabilność kofermentacji bioodpadów kuchennych i osadów ściekowych.

Słowa kluczowe: fermentacja metanowa, kofermentacja, biogaz, osady ściekowe, piana osadu czynnego, bioodpady kuchenne

Głównym produktem ubocznym procesów oczyszczania ścieków są osady ściekowe, których ilość wzrasta z roku na rok. Szacuje się, że ilość wytworzonych osadów ściekowych w oczyszczalniach komunalnych w 2015 roku wyniesie ok. 700 Gg s.m., co stanowi wzrost o około 23% w porównaniu z ilością osadów wytworzonych w 2008 roku [1]. Jedną z najbardziej rozpowszechnionych metod oczyszczania ścieków jest metoda osadu czynnego, która umożliwia jednoczesne usunięcie związków organicznych oraz biogenów. Nadmiar biomasy, tzw. nadmierny osad czynny, powstający w wyniku rozkładu zanieczyszczeń zawartych w ściekach, jest okresowo usuwany z komór bioreaktora. Wykazano, że w trakcie oczyszczania ścieków tą metodą bardzo często powstaje piana (kożuch) gromadząca się na powierzchni komór nityfikacji/denitryfikacji. Utrudnia ona natlenienie ścieków oraz wpływa niekorzystnie na efektywność ich oczyszczania. Usuwanie powstałej piany prowadzi się mechanicznie i stanowi ona odpad wymagający zagospodarowania lub utylizacji [2, 3].

Również nadmierny osad czynny, będący efektem ubocznym biologicznego oczyszczania ścieków, wymaga ostatecznego zagospodarowania. Najczęściej poddawany jest procesowi stabilizacji prowadzonej w procesie fermentacji beztlenowej, który pomimo dużych kosztów inwestycyjnych i wielu problemów natury technicznej i technologicznej jest dzisiaj postrzegany jako atrakcyjny. Podyktowane to jest możliwością odzysku energii w postaci biogazu, umożliwiającej pokrycie potrzeb energetycznych oczyszczalni,

¹ Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 15 26, fax 32 237 17 94, email: jolanta.bohdziewicz@polsl.pl

² Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, tel. 33 827 91 81, fax 33 827 91 01, email: mkuglarz@ath.bielsko.pl

szczególnie w okresie zimowym. Kofermentacja osadów ściekowych z substratami o wyższym udziale substancji łatwo ulegających biodegradacji w warunkach beztlenowych stanowi interesujące rozwiązanie intensyfikacji produkcji biogazu. Coraz większa popularność segregacji odpadów komunalnych u źródła sprawia, że selektywnie zbierane bioodpady kuchenne zawierające duży udział związków organicznych uważane są za wartościowy kosubstrat fermentacji metanowej. W Polsce powstaje rocznie około 10 Gg stałych odpadów komunalnych, których jednym z głównym składników są właśnie bioodpady kuchenne [1].

Celem badań przedstawionych w artykule było ustalenie najkorzystniejszego udziału selektywnie zbieranych bioodpadów kuchennych poddawanych z nadmiernym osadem czynnym mezofilowej kofermentacji. Ich ilość należało dobrać tak, aby nie wpływały negatywnie na stabilność procesu. W przypadku najkorzystniejszego składu mieszaniny kofermentacyjnej podjęto również próby zastąpienia części osadu poddanego fermentacji pianą występującą okresowo na powierzchni komór osadu czynnego. Jako kryterium oceny odpowiednio dobranego składu mieszanin poddawanych fermentacji przyjęto ilość i skład produkowanego biogazu, stopień usunięcia suchej masy organicznej oraz stabilność procesu (Lotne Kwasy Tłuszczowe/Zasadowości).

Materiał badawczy i metodyka badań

Materiał badawczy stanowiły nadmierny osad czynny po zagęszczeniu (OŚ), *piana osadu czynnego* (POŚ) oraz selektywnie zbierane *bioodpady kuchenne* (BK). Osad ściekowy pochodził z oczyszczalni ścieków z podwyższonym usuwaniem biogenów działającej według technologii osadu czynnego. Pianę (kożuch) unoszącą się okresowo na powierzchni komór osadu czynnego pobierano z komory nityfikacji. Jako zaszczerpu w procesie fermentacji (inokulum) użyto osadu przefermentowanego pochodzącego z oczyszczalni, z której pobrano zagęszczony osad czynny. Charakterystyka fizykochemiczna substratów poddawanych fermentacji została przedstawiona w tabeli 1.

Tabela 1

Charakterystyka fizykochemiczna substratów fermentacji

Table 1

Characteristics of the digestion feedstock

Wskaźnik	Bioodpady kuchenne	Zagęszczony osad czynny	Piana osadu czynnego	Zaszczerpu fermentacji
pH [-]	4,65	6,44	6,19	7,76
s.m. [%]	23,44	5,20	5,82	3,09
s.m.o. [%]	21,64	3,57	4,05	1,73
C _{org} [% s.m.]	55,18	38,44	33,22	31,02
N _{og} [% s.m.]	2,94	4,98	4,23	3,28
N-NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	-	18,3	20,5	1 850

Fermentację mezofilową (36°C) w warunkach statycznych (35 dni) prowadzono w bioreaktorach o pojemności roboczej 3 dm³, wyposażonych w mieszadła sterowane elektronicznie. W pierwszym etapie badań proces realizowano z zastosowaniem osadu ściekowego bez dodatku kosubstratu (odnośnik dla procesu kofermentacji), a w kolejnych dla mieszanin bioodpadów kuchennych i osadu ściekowego z uwzględnieniem następujących proporcji suchej masy składników: 20:80, 40:60, 50:50, 60:40 oraz 70:30.

Dla wyznaczonego najkorzystniejszego składu mieszaniny kofermentacyjnej (60% s.m. bioodpady kuchenne + 40% s.m. osad ściekowy) w dalszej części badań 10% s.m. oraz 20% s.m. osadu ściekowego poddawanego fermentacji zastąpiono pianą osadu czynnego. Mieszaniny fermentacyjne zaszczerpiono inokulum w stosunku masowym 1:2. W trakcie eksperymentu wykonywano analizy fizykochemiczne wsadu fermentatora/biomasy przefermentowanej oraz analizy ilościowe i jakościowe generowanego biogazu. Wszystkie oznaczenia wykonano zgodnie z metodyką przedstawioną w Polskich Normach oraz Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [4]. Pomiar ilości produkowanego biogazu wykonano w układzie składającym się z wyskalowanego cylindra, wypełnionego 5% chlorkiem sodu, oraz zbiornika wyrównawczego. Układ działał na zasadzie naczyń połączonych, a produkowany biogaz wypychał nadmiar roztworu do zbiornika wyrównawczego. Objętość produkowanego biogazu przeliczono na warunki normalne.

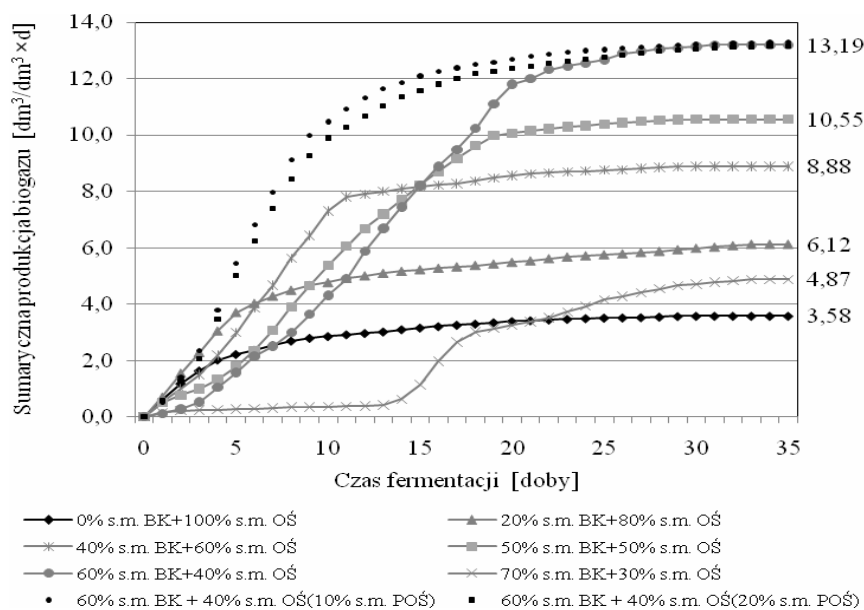
Omówienie i analiza wyników

Zgodnie z oczekiwaniami, w procesie fermentacji mieszanin zawierających w swym składzie bioodpady kuchenne i osad czynny zaobserwowano powstawanie znacznie większej ilości biogazu w porównaniu z fermentacją osadu ściekowego bez dodatku kosubstratu. Największą sumaryczną produkcję biogazu, tj. $13,19 \text{ dm}^3$, otrzymano dla mieszaniny zawierającej 60% s.m. pochodzącej z kosubstratu, co w porównaniu do ilości biogazu wydzielonego z próbki zawierającej wyłącznie osad ściekowy ($3,58 \text{ dm}^3$) stanowiło ponad 3-krotny wzrost. Wykazano, że dalsze zwiększenie udziału bioodpadów we wsadzie fermentatora doprowadziło do znaczącej inhibicji produkcji biogazu.

Dla najkorzystniejszej mieszaniny kofermentacyjnej (60% s.m. bioodpady kuchenne + 40% s.m. osad ściekowy) wprowadzono dodatkowy kosubstrat poprzez zastąpienie 10% s.m. oraz 20% s.m. pochodzącej z osadu ściekowego pianą. Odnotowano porównywalne objętości sumarycznej produkcji biogazu w przypadku zarówno mieszaniny bez dodatku piany ($13,19 \text{ dm}^3/\text{dm}^3 \cdot \text{d}$), jak również mieszanin z 10% ($13,30 \text{ dm}^3/\text{dm}^3 \cdot \text{d}$) oraz 20% ($13,16 \text{ dm}^3/\text{dm}^3 \cdot \text{d}$) udziałem suchej masy pochodzącej z piany osadu czynnego. Natomiast obecność piany wpłynęła pozytywnie na dynamikę produkcji biogazu. Mieszaniny zawierające w swym składzie pianę już w czwartym dniu fermentacji osiągnęły największą dobową produkcję biogazu, tj. $1,63 \text{ dm}^3/\text{dm}^3 \cdot \text{d}$ (10% piany) oraz $1,53 \text{ dm}^3/\text{dm}^3 \cdot \text{d}$ (20% piany), podczas gdy najwyższa jego dobową produkcją ($0,98 \text{ dm}^3/\text{dm}^3 \cdot \text{d}$) dla mieszaniny bioodpadów kuchennych i osadów ściekowych bez dodatku piany została osiągnięta dopiero w 12 dniu procesu. Zależność ilości generowanego biogazu od składu mieszaniny substratów poddawanych procesowi fermentacji beztlenowej zilustrowano na rysunku 1.

Ponieważ wiadomo, że ilość wytwarzanego biogazu zależy od ilości mineralizowanych związków organicznych, natomiast jego skład jest limitowany zawartością rozkładanych substratów, w trakcie eksperymentu analizowano również udział CH_4 w produkowanym gazie fermentacyjnym. Średnia zawartość metanu dla osadu ściekowego bez dodatku kosubstratu wyniosła 56% obj. Dla próbek fermentacyjnych, których wsad fermentatora zawierał bioodpady kuchenne, udział metanu oscylował pomiędzy 67 i 72% obj. Dodatek piany osadu czynnego nie wpłynął na ilość CH_4 w produkowanym biogazie. Wzrost zawartości metanu w próbkach zawierających bioodpady kuchenne można tłumaczyć

wprowadzeniem do układu substratu bogatego w substancje łatwo ulegające biodegradacji w warunkach beztlenowych (głównie białek i tłuszczów) i zapewniającego przebieg reakcji biochemicznych prowadzących do powstania większych ilości metanu [5, 6].



Rys. 1. Wpływ dodatku kosubstratów na sumaryczną produkcję biogazu

Fig. 1. The influence of the co-substrates addition on the total biogas production

Czynniki wpływające na stabilność procesu fermentacji metanowej

Tabela 2

Factors determining the stability of the methane fermentation

Table 2

Wskaźnik	Skład mieszanin poddawanych kofermentacji [% s.m.]							
	BK:OŚ						BK:OŚ(POŚ)	
	0:100	20:80	40:60	50:50	60:40	70:30	60:40(10)	60:40(20)
pH [-]	7,8	7,9	7,8	7,9	7,9	7,6	7,9	7,8
NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	1370	1390	1410	1490	1870	2160	1765	1864
LKT [mg/dm ³]	690	890	1030	1060	890	2600	790	815
Zasadowość [mg CaCO ₃ /dm ³]	6182	6846	6059	6438	9865	4333	9655	9456
LKT/Z [-]	0,11	0,13	0,17	0,16	0,09	0,60	0,08	0,09

Biogaz, będący głównym produktem procesu fermentacji metanowej, powstaje w wyniku biodegradacji związków organicznych, co w rezultacie odzwierciedla ubytek suchej masy organicznej. Dla wszystkich przebadanych mieszanin kofermentacyjnych odnotowano wyższy stopień usunięcia suchej masy organicznej (od 45,8 do 63,6%)

w porównaniu do próbki zawierającej wyłącznie osad ściekowy (42,8%). Pozwoliło to na stwierdzenie, że bardziej zróżnicowany skład wsadu fermentatora wpłynął korzystnie na efektywność przemian biochemicznych [7]. Zastąpienie części osadu pianą nie skutkowało zwiększeniem stopnia usunięcia materii organicznej.

Poza pomiarem ilości produkowanego biogazu oraz wyznaczeniem stopnia biodegradacji związków organicznych określono również wpływ rodzaju wprowadzanych kosubstratów na stabilność procesu metanogenezy. Niekontrolowane wprowadzenie kosubstratu zasobnego w substancje łatwo ulegające biodegradacji w warunkach beztlenowych może doprowadzić do akumulacji lotnych kwasów tłuszczowych, skutkującej obniżeniem wartości pH biomasy poza zakres sprzyjający rozwojowi bakterii metanogennych. Jednak biorąc pod uwagę fakt, iż wyraźne obniżenie pH ma miejsce wtedy, gdy proces już się załamał i w reaktorze dominuje fermentacja kwaśna wynikająca z akumulacji LKT [7, 8], bardziej wiarygodnym oraz powszechniej stosowanym wskaźnikiem stabilności procesu fermentacji metanowej jest stosunek stężenia lotnych kwasów tłuszczowych do zasadowości (LKT/Z). Wartość tego wskaźnika powyżej 0,3÷0,4 uważana jest za wartość, która może w krótkim czasie doprowadzić do załamania się procesu metanogenezy [8, 9]. Zgodnie z powyższym można wnioskować, że prowadzony proces fermentacji metanowej zachodził stabilnie dla mieszanin kofermentacyjnych zawierających w swym składzie 20÷60% s.m. pochodzącej z bioodpadów kuchennych. Zastąpienie części osadu ściekowego pianą nie wpłynęło na pogorszenie stabilności kofermentacji bioodpadów kuchennych i osadu ściekowego (tab. 2).

Wnioski

1. Najkorzystniejszy udział bioodpadów kuchennych wyniósł 60% s.m., co w przeliczeniu na udział masowy odpowiadało około 25% mas. Dla najkorzystniejszego składu mieszaniny kofermentacyjnej (60% s.m. bioodpady kuchenne + 40% s.m. osad ściekowy) uzyskano ponad 3-krotny wzrost sumarycznej produkcji biogazu oraz nie zaobserwowano znaczącego pogorszenia stabilności procesu (LKT/Zasadowości).
2. Zastąpienie części osadu ściekowego pianą tworzącą się okresowo na powierzchni komór osadu czynnego nie wpłynęło negatywnie na efektywność oraz stabilność kofermentacji bioodpadów kuchennych i osadów ściekowych.
3. Poza produkcją energii odnawialnej instalacje biogazowe zapewniają utylizację odpadów oddziałujących niekorzystnie na środowisko. Ponieważ proces stabilizacji beztlenowej osadów jest ekonomiczniejszy dla średnich i dużych oczyszczalni, to w przypadku częstego przewymiarowania komór fermentacyjnych istnieje możliwość pozyskania dodatkowych ilości biogazu wskutek kofermentacji osadów ściekowych np. z odpadami komunalnymi.

Literatura

- [1] GUS: Ochrona Środowiska (Roczniki Statystyczne). ZWS, Warszawa 2009.
- [2] Heard J., Harvey E., Johnson B.B., Wells J.D. i Angove M.J.: *The effect of filamentous bacteria on foam production and stability*. Coll. Surf. B, 2008, **63**(1), 21-26.
- [3] Drzewicki A., Filipkowska U. i Rodziewicz J.: *Problem of filamentous foaming of activated sludge in wastewater treatment plants removing biogenes in the Warmia and Mazury Province, Poland*. Polish J. Natur. Sci., 2008, **23**(3), 645-658.

- [4] Eaton A.D., Clesceri L.S., Greenberg A.E.: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition. APHA, Washington 2005.
- [5] Buraczewski G.: Fermentacja metanowa. PWN, Warszawa 1989.
- [6] Hartmann L.: Biologiczne oczyszczanie ścieków. Instalator Polski, Warszawa 1996.
- [7] Jędrzak A.: Biologiczne przetwarzanie odpadów. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2007.
- [8] Dymaczewski Z. i Lozański M.: Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. PZITS, Poznań 1995.
- [9] Magrel L.: Prognozowanie procesu fermentacji metanowej mieszaniny osadów ściekowych oraz gnojowicy. Wyd. Polit. Białostockiej, Białystok 2004.

ASSESSMENT OF KITCHEN BIOWASTE AND SEWAGE SLUDGE SUSCEPTIBILITY TO METHANOGENIC CO-DIGESTION IN BATCH TESTS

¹Institute of Water and Wastewater Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice

²Institute of Engineering and Environmental Protection, University of Bielsko-Biala

Abstract: The main aim of the study was to establish the optimal proportion of sourced-sorted kitchen biowaste as a co-substrate that can be added to the *waste activated sludge* (WAS) mesophilic batch digestion without deterioration of the process stability. Moreover, an attempt was made to substitute a proportion of waste activated sludge for foam floating periodically on the surface of the aeration tank. It was established that in case of optimal co-digested mixture (60% TS of kitchen biowaste + 40% TS of activated waste sludge) the biogas production increased more than three times, as compared with the sample containing only waste activated sludge (WAS). The co-digestion process did not deteriorate the stability of the methane fermentation, expressed as VFA/TA ratio. The addition of waste activated foam did not impact on the stability as well as efficiency of the kitchen biowaste and waste activated sludge co-digestion.

Keywords: anaerobic digestion, co-digestion, biogas, sewage sludge, activated sludge foam, kitchen biowaste