

Jolanta BOHDZIEWICZ¹, Mariusz KUGLARZ² i Anna KWARCIAK-KOZŁOWSKA³

INTENSYFIKACJA FERMENTACJI METANOWEJ ODCHODÓW ZWIERZĘCYCH W WYNIKU DODATKU BIOODPADÓW KUCHENNYCH

IMPROVEMENT OF LIFESTOCK BY-PRODUCTS ANAEROBIC DIGESTION BY KITCHEN BIOWASTE ADDITION

Abstrakt: Celem badań przedstawionych w artykule była intensyfikacja produkcji biogazu generowanego w procesie mezofilowej fermentacji metanowej gnojowicy świńskiej. Podjęto próby ustalenia najkorzystniejszego udziału w fermentowanej biomase kosubstratu, którym były bioodpady kuchenne. Jako kryterium oceny prawidłowości doboru składu poszczególnych mieszanin substratów, zapewniającego optymalny przebieg procesu beztlenowego rozkładu substancji organicznych, przyjęto: sumaryczną oraz jednostkową produkcję biogazu; stopień usunięcia suchej masy organicznej oraz stabilność procesu (LKT; LKT/Zasadowości). Dodatek bioodpadów kuchennych w ilości 20÷30% s.m. wpłynął pozytywnie na ilość i jakość generowanego biogazu fermentacyjnego oraz stopnie biokonwersji materii organicznej. Dla najkorzystniejszych mieszanin kofermentacyjnych odnotowano około 26÷35% wzrost sumarycznej oraz 12÷15% wzrost jednostkowej produkcji biogazu w porównaniu do fermentacji gnojowicy bez dodatku kosubstratu.

Słowa kluczowe: fermentacja metanowa, kofermentacja, biogaz, odchody zwierzęce, bioodpady kuchenne

Działalność rolno-hodowlana, a w szczególności produkcja zwierzęca na skalę przemysłową zaliczana jest do głównych źródeł zanieczyszczeń środowiska naturalnego. W zależności od przyjętego systemu gospodarowania chów zwierząt gospodarskich generuje stałe (obornik) oraz płynne (gnojowica, gnojówka) odchody zwierzęce. Obecnie coraz popularniejszy, szczególnie w przypadku produkcji zwierzęcej na dużą skalę, staje się system bezściółkowy. Odchody w tym systemie to tzw. gnojowica, czyli płynna lub półpłynna mieszanina kału, moczu, wody oraz resztek paszy [1].

Jednym ze sposobów unieszkodliwiania/zagospodarowania odchodów zwierzęcych jest proces fermentacji metanowej, którego głównymi produktami są biogaz oraz ustabilizowany nawóz organiczny, jakim jest przefermentowana gnojowica. Jednak, jak wskazują doświadczenia krajów zachodnich, fermentacja płynnych odchodów zwierzęcych w formie monosubstratów nie jest efektywna z ekonomicznego punktu widzenia. Jedną z możliwości intensyfikacji produkcji biogazu w biogazowniach rolniczych stanowi proces kofermentacji odchodów zwierzęcych z odpadami charakteryzującymi się wyższym udziałem materii organicznej [2-4]. Coraz większa popularność segregacji odpadów komunalnych w miejscu ich powstawania oraz rosnąca świadomość ekologiczna społeczeństwa [5] sprawiają, że selektywnie zbierane bioodpady kuchenne zawierające wysoki udział związków organicznych łatwo ulegających biodegradacji w warunkach beztlenowych stanowią wartościowy kosubstrat fermentacji metanowej.

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

³ Instytut Inżynierii i Ochrony Środowiska, Politechnika Częstochowska, ul. Brzeźnicka 60A, 42-200 Częstochowa, tel. 34 325 09 17, email: akwarciak@is.pcz.czyst.pl

Celem badań przedstawionych w artykule była intensyfikacja produkcji biogazu generowanego w procesie mezofilowej fermentacji metanowej gnojowicy świńskiej. Podjęto próby ustalenia najkorzystniejszego udziału w fermentowanej biomacie kosubstratu, którym były bioodpady kuchenne. Jako kryteria oceny prawidłowo dobranego składu mieszanin poddawanych fermentacji przyjęto: sumaryczną oraz jednostkową produkcję biogazu, stopień usunięcia suchej masy organicznej oraz stabilność procesu (LKT, LKT/Zasadowość).

Materiał badawczy i metodyka badań

Substratami procesu fermentacji metanowej były gnojowica pochodząca z hodowli trzody chlewnej (główny substrat fermentacji) oraz bioodpady kuchenne (kosubstrat). Zebrane bioodpady homogenizowano poprzez rozdrobnienie do cząstek o wymiarach $1 \div 2$ mm. Charakterystyka fizykochemiczna substratów fermentacji została przedstawiona w tabeli 1.

Tabela 1
Charakterystyka fizykochemiczna substratów poddawanych procesowi fermentacji metanowej

Table 1

Characteristics of the methane fermentation feedstock

Wskaźnik	Gnojowica świńska	Bioodpady kuchenne	Zaszczep fermentacji
pH [-]	6,6	4,7	7,6
s.m. [g/dm ³]	63,18	232,78	43,98
s.m.o. [g/dm ³]	52,08	211,32	31,67
C _{org} [% s.m.]	43,9	54,7	28,9
N _{org} [% s.m.]	3,1	2,9	3,9
C/N [-]	14,2	18,9	7,4
NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	5110	-	5650

Fermentację mezofilową (36°C) w warunkach statycznych (35 dni) prowadzono w bioreaktorach o pojemności roboczej 3 dm³, wyposażonych w mieszadła sterowane elektronicznie. Zawartość każdego z bioreaktorów była mieszana periodycznie przez 5 minut w 3 godz. odstępach czasowych. Fermentacji poddawano gnojowicę świńską oraz mieszaniny bioodpadów kuchennych i gnojowicy zestawionych w następujących proporcjach suchej masy: 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40 oraz 70:30. W formie zaszczepeu fermentacji (inokulum) użyto gnojowicy przefermentowanej pochodzącej z mezofilowej fermentacji prowadzonej w warunkach laboratoryjnych, którego charakterystykę przedstawiono w tabeli 1. Wsad fermentatora mieszano z inokulum w stosunku masowym 1:2. Podczas eksperymentu wykonywano analizy fizykochemiczne wsadu fermentatora/biomasy przefermentowanej oraz pomiary ilości i składu (CH₄) produkowanego biogazu. Wszystkie oznaczenia wykonano zgodnie z metodyką przedstawioną w Polskich Normach oraz Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater [6]. 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.

Dyskusja wyników

Proces fermentacji metanowej, którego głównym produktem jest biogaz, przebiega wskutek biochemicznego rozkładu złożonych związków organicznych, co w konsekwencji prowadzi do ubytku suchej masy organicznej biomasy poddawanej fermentacji [2, 7, 8]. W przypadku mieszanin reakcyjnych zawierających w swym składzie bioodpady kuchenne uzyskano wyższy stopień usunięcia suchej masy organicznej (od 38,71 do 47,10%) niż w trakcie procesu fermentacji gnojowicy (37,67%) (tab. 2). Pozwala to na stwierdzenie, że bardziej zróżnicowany skład wsadu wpłynął korzystnie na efektywność przemian biochemicznych zachodzących podczas fermentacji metanowej, m.in. poprzez poprawę stosunku C/N [2].

Charakterystyka fizykochemiczna biomasy przefermentowanej

Tabela 2

Physical and chemical characteristics of the digested biomass

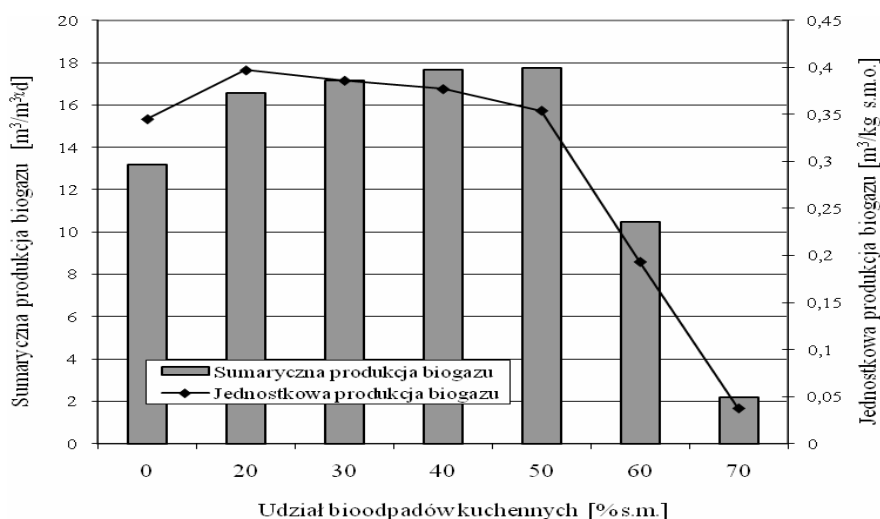
Table 2

Wskaźnik	Biomasa przefermentowana Bioodpady kuchenne : Gnojowica świńska [% s.m.]						
	0:100	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30
pH [-]	8,14	8,08	8,00	7,94	7,94	8,07	6,40
s.m.o. [g/dm ³]	23,99	25,62	26,54	27,74	27,56	28,28	35,34
Stopień usunięcia s.m.o. [%]	37,67	38,71	39,67	40,20	44,31	47,10	39,79
NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	5 815	5 645	5 756	5 534	5 495	5 398	5 345
LKT [mg/dm ³]	1 231	1 650	1 773	4 718	4 800	6 123	14 057
Zasadowość [mg CaCO ₃ /dm ³]	17 586	16 500	14 775	13 876	14 118	17 494	12 551
LKT/Zasadowości [-]	0,07	0,10	0,12	0,34	0,34	0,35	1,12

W trakcie eksperymentu dokonywano również dobowego pomiaru ilości wydzielającego się biogazu. Już niewielki dodatek bioodpadów kuchennych, tj. 20% oraz 30% s.m., doprowadził do wzrostu sumarycznej produkcji biogazu odpowiednio o 25,8 i 30,1%, w porównaniu z ilością biogazu powstałą podczas fermentacji samej gnojowicy. Najwyższą sumaryczną produkcję biogazu odnotowano dla mieszaniny, w której 50% s.m. pochodziło z bioodpadów kuchennych. Kształtowała się ona na poziomie 17,75 dm³ i była o 34,7% większa w porównaniu do ilości biogazu wygenerowanego w przypadku fermentacji gnojowicy bez dodatku bioodpadów (13,18 dm³). Jednostkowa produkcja biogazu osiągnęła swoją najwyższą wartość, tj. 0,397 dm³/g s.m.o. dla mieszaniny zawierającej w swoim składzie 20% udziału suchej masy pochodzącej z bioodpadów kuchennych. Była ona o 15% większa niż w przypadku fermentacji gnojowicy bez dodatku kosubstratu (0,345 dm³/g s.m.o.). Dalsze zwiększanie udziału kosubstratu w mieszaninach poddawanych kofermentacji (30÷50%) doprowadziło do stopniowego obniżenia jednostkowej produkcji biogazu (0,354÷0,386 dm³/g s.m.o.).

Zwiększenie udziału bioodpadów kuchennych powyżej 50% s.m. skutkowało dalszym zmniejszaniem się ilości wydzielającego się biogazu oraz wartości jednostkowej produkcji biogazu (rys. 1).

Periodycznie analizowano zawartość metanu w produkowanym biogazie. Dla procesu fermentacji gnojowicy świńskiej bez dodatku kosubstratu zawartość metanu wyniosła 73% obj., podczas gdy dla procesów kofermentacji zawartość metanu kształtowała się w zakresie od 75 do 78% obj. Duży udział metanu w produkowanym biogazie oraz kilkuprocentowy wzrost jego zawartości, będący wynikiem dodatku bioodpadów kuchennych, przypisany został fermentacji substratów zawierających znaczną ilość substancji białkowych [7, 8].

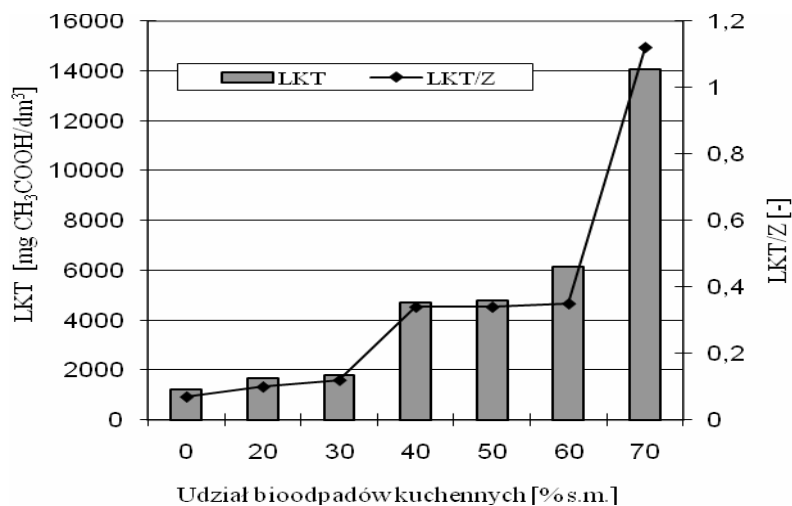


Rys. 1. Wpływ udziału bioodpadów kuchennych w fermentowanej biomacie na produkcję biogazu

Fig. 1. The influence of the kitchen biowaste addition as a co-substrate on the course of the biogas production

W badaniach analizowano również wpływ dodatku bioodpadów kuchennych na stabilność procesu fermentacji metanowej. Głównym czynnikiem wpływającym na rozwój oraz prawidłowe funkcjonowanie mikroorganizmów metanogennych jest odczyn, który traktowany jest jako jeden ze wskaźników. Akumulacja LKT prowadzi do znacznego spadku odczynu cieczy fermentacyjnej [2, 9]. Jednak, biorąc pod uwagę wzajemne interakcje pomiędzy wartością pH a zawartością LKT i azotu amonowego oraz fakt, iż wyraźne obniżenie wartości pH ma miejsce wtedy, gdy proces już się załamał i w reaktorze dominuje faza fermentacji kwaśnej, powszechniej stosowanym wskaźnikiem stabilności procesu fermentacji metanowej jest stosunek stężenia lotnych kwasów tłuszczowych do zasadowości (LKT/Z). Wartość tego wskaźnika powyżej $0,3 \div 0,4$ wskazuje na to, iż proces fermentacji może ulec załamaniu [8-10]. Wyznaczony wpływ dodatku kosubstratu na kumulację LKT oraz wartość stosunku LKT/Z został przedstawiony na rysunku 2. Widać wyraźnie, że proces fermentacji zachodził stabilnie w przypadku gnojowicy bez dodatku kosubstratu oraz mieszanin kofermentacyjnych, w których udział bioodpadów kuchennych

wynosił 20÷30% s.m. Powyżej tego zakresu zaobserwowano znaczącą kumulację LKT oraz podwyższoną wartość stosunku LKT/Z.



Rys. 2. Wpływ dodatku bioodpadów kuchennych na stężenia LKT oraz stosunek LKT/Z

Fig. 2. The influence of the kitchen biowaste addition on the VFA concentration and the value of VFA/TA ratio

Wnioski

1. Kofermentacja bioodpadów kuchennych i odchodów zwierzęcych wpłynęła pozytywnie na ilość i jakość generowanego biogazu oraz stopnie biokonwersji materii organicznej. Najkorzystniejszy udział bioodpadów kuchennych wyniósł 20÷30%, co stanowi około 6÷11% objętościowego wsadu fermentatora.
2. Dla najkorzystniejszego udziału bioodpadów kuchennych (20÷30%) odnotowano około 26÷35% wzrost sumarycznej oraz 12÷15% jednostkowej produkcji biogazu w porównaniu z fermentacją gnojowicy bez dodatku kosubstratu. Ponadto nie zaobserwowano znaczącego pogorszenia stabilności procesu.
3. Dodatek bioodpadów komunalnych powyżej 30% s.m. nie wpłynął na poprawę parametrów produkcji biogazu. Ponadto zaobserwowano kumulację lotnych kwasów tłuszczowych oraz wzrost wartości wskaźnika LKT/Z, co świadczy o niestabilności procesu oraz zaburzeniach produkcji biogazu.
4. Wspólna kofermentacja bioodpadów kuchennych z odchodami zwierzęcymi stanowić może ważny element w planowaniu gospodarki odpadami w warunkach lokalnych, ponieważ poza produkcją energii odnawialnej instalacje biogazowe zapewniają utylizację odpadów oddziałujących niekorzystnie na środowisko.

Literatura

- [1] Romaniuk W.: Ekologiczne systemy gospodarki obornikiem i gnojowicą. Instytut Budownictwa, IMBER, Warszawa 2004.
- [2] Jędrzak A.: Biologiczne przetwarzanie odpadów. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2007.
- [3] Juško-Kowalczyk A.: *Przegląd technologii produkcji biogazu*. Czysta Energia, 2009, 9(95), 248-251.

- [4] Gabryszewska M. i Rogulska M.: *Biogazownie rolnicze. Bariery rozwoju*. Przem. Chem., 2009, **3**(88), 48-49.
- [5] GUS: Infrastruktura komunalna w 2007 roku. Departament Handlu i Usług, Notatka informacyjna, Warszawa 2008.
- [6] Eaton A.D., Clesceri L.S. i Greenberg A.E.: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Edition, APHA, Washington 2005.
- [7] Sung S. i Liu T.: *Ammonia inhibition on thermophilic acetoclastic methanogens*. Water Sci. Technol., 2002, **10**(45), 113-120.
- [8] Magrel L.: *Prognozowanie procesu fermentacji metanowej mieszaniny osadów ściekowych oraz gnojowicy*. Wyd. Polit. Białostockiej, Białystok 2004.
- [9] Dymaczewski Z. i Lożański M.: *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków*. PZITS, Poznań 1995.
- [10] Callaghan F.J., Waste D.A.J., Thayanythy K. i Forster C.F.: *Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure*. Biomass Bioenergy, 2002, **22**(1), 71-77.

IMPROVEMENT OF LIVESTOCK BY-PRODUCTS ANAEROBIC DIGESTION BY KITCHEN BIOWASTE ADDITION

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

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

³ Institute of Environmental Engineering, Czestochowa University of Technology

Abstract: The paper contains experimental results aiming at establishing the optimal proportion of sourced-sorted kitchen biowaste as a co-substrate that can be added to the pig manure mesophilic methane fermentation. However, the addition of the co-substrate should not cause a deterioration of the digestion stability. The assessment of co-digestion mixtures composition, ensuring an appropriate course of the organic matter biodegradation, was based on the daily biogas production; biogas yield; VS reduction as well as stability parameters (VFA concentration, VFA/TA ratio). It was established that the addition of 20÷30% TS of kitchen biowaste had a positive influence on the amount of biogas produced, CH₄ content as well as indices of organic matter bioconversion. As compared with the sample containing pig manure exclusively, the biogas production rate and biogas yield recorded for optimal co-digestion mixtures increased by about 26÷35 and 12÷15%, respectively.

Keywords: anaerobic digestion, co-digestion, biogas, animals by-products, kitchen biowaste