

Jolanta BOHDZIEWICZ¹ i Mariusz KUGLARZ²

PRODUKTY UBOCZNE PRODUKCJI ZWIERZĘCEJ JAKO ŹRÓDŁO ENERGII ODNAWIALNEJ

ANIMAL BY-PRODUCTS - POTENTIAL SOURCE OF RENEWABLE ENERGY

Abstrakt: Celem prezentowanych badań było przeprowadzenie stabilizacji beztlenowej gnojowicy pochodzącej z bezściółkowej hodowli trzody chlewnej. Fermentację prowadzono w bioreaktorze o pojemności roboczej 3 dm³ w warunkach mezofilnych (36°C±0,5) dla następujących wartości hydraulicznego czasu zatrzymania (HRT): 15, 18, 20, 23, 25, 30, 35 oraz 40 dni. Odpowiadały one obciążeniu komory bioreaktora ładunkiem suchej masy organicznej (s.m.o.) od 1,18 do 3,13 kg s.m.o./m³·d. Podczas eksperymentu wykonywano analizy ilościowe i jakościowe generowanego biogazu oraz analizy fizykochemiczne materiału przefermentowanego. Fermentacja metanowa gnojowicy prowadzona w warunkach dużego stężenia azotu amonowego (5760÷6390 mg NH₄/dm³) okazała się procesem efektywnym dla wartości HRT w zakresie od 25 do 35 dni. Największą produkcję biogazu - 0,86 dm³/(dm³·d) oraz najkorzystniejszy stopień redukcji suchej masy organicznej na poziomie 45,2% uzyskano dla HRT wynoszącego 30 dni. W przypadku prowadzenia fermentacji metanowej dla wartości HRT poniżej 25 odnotowano znaczne zmniejszenie dobowej produkcji biogazu oraz stopnia redukcji suchej masy organicznej. Ponadto stosunek LKT/zasadowości po tym czasie wzrósł powyżej 0,4, co świadczy o niestabilności procesu metanogenezy.

Słowa kluczowe: fermentacja metanowa, energia odnawialna, biogaz, odpady rolnicze, gnojowica świńska

Hodowla zwierząt gospodarskich jest ściśle związana z powstawaniem produktów ubocznych oddziałujących w mniejszy lub większy sposób na środowisko naturalne. W zależności od przyjętego systemu hodowli (ściółkowy, bezściółkowy) powstają stałe i/lub ciekłe produkty uboczne. W systemie ściółkowym powstaje stały produkt uboczny, tzw. obornik, oraz płynna gnojówka, podczas gdy odchody w systemie bezściółkowym to płynna lub półpłynna gnojowica, stanowiąca mieszaninę kału, moczu, wody oraz resztek paszy [1].

Odchody zwierzęce zaliczane są do nawozów naturalnych przeznaczonych do rolniczego wykorzystania. Zgodnie z obowiązującą ustawą o nawozach i nawożeniu należy ściśle przestrzegać dopuszczalnych dawek (max 45 m³/ha), terminów aplikacji (1 marca-30 listopada) oraz wymagań agrotechnicznych (sposób nawożenia, równomierne rozproszczenie na całej powierzchni pola itp.). Ponadto należy zapewnić odpowiednie warunki przechowywania odchodów, w szczególności o konsystencji płynnej. Gnojowicę i gnojówkę należy przechowywać w zbiornikach o pojemności pozwalającej na co najmniej 4-miesięczne gromadzenie. Podczas tego okresu istnieje potencjalne ryzyko niekontrolowanego wycieku, który może doprowadzić do skażenia gleby oraz wód powierzchniowych. Nie bez znaczenia pozostaje również emisja gazów podczas magazynowania, która wpływa niekorzystnie na zmiany klimatu [1-3].

Celem przeprowadzonych badań było określenie efektywności procesu stabilizacji beztlenowej gnojowicy pochodzącej z bezściółkowej hodowli trzody chlewnej.

¹ Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, email: jolanta.bohdziewicz@polsl.pl

² Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, email: mkuglarz@ath.bielsko.pl

Kontrolowana fermentacja metanowa wydaje się być rozsądnym rozwiązaniem, głównie ze względu na ochronę wód, gleby oraz powietrza atmosferycznego. Proces ten pozwala na uzyskanie energii odnawialnej oraz ustabilizowanego nawozu organicznego, jakim jest przefermentowana gnojowica.

Materiał i metodyka badań

W badaniach wykorzystano gnojowicę pochodzącą z bezściółkowej hodowli trzody chlewnej. Próbkę pobierano na wylocie kanału łączącego stanowiska hodowlane ze zbiornikiem służącym do magazynowania gnojowicy. Charakterystyka fizykochemiczna materiału badawczego została przedstawiona w tabeli 1.

Fermentację metanową prowadzono w warunkach mezofilnych (36°C) w bioreaktorze o pojemności roboczej 3 dm³ dla następujących wartości hydraulicznego czasu zatrzymania (HRT): 15, 18, 20, 23, 25, 30, 35 oraz 40 dni. Odpowiadały one obciążeniu komory bioreaktora ładunkiem suchej masy organicznej (s.m.o.) od 1,18 do 3,13 kg s.m.o./m³·d. Podczas eksperymentu wykonywano analizy fizykochemiczne materiału przefermentowanego oraz pomiary ilości produkowanego biogazu. Periodycznie kontrolowano zawartość metanu w powstającym biogazie. Wszystkie oznaczenia fizykochemiczne wykonano zgodnie z metodyką przedstawioną w Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [4].

Tabela 1
Charakterystyka fizykochemiczna materiału badawczego
Table 1
Characteristics of the digestion feedstock

Parametr	Jednostka	Gnojowica bezściółkowa	
		Zakres wartości	Wartość średnia
pH	-	6,62÷7,32	6,89
ORP	[mV]	-90÷-255	-170
BZT ₅	[g O ₂ /dm ³]	7,74÷15,44	11,34
ChZT _{cieczy nadosadowej}	[g O ₂ /dm ³]	24,2÷38,6	31,5
Azot amonowy	[g NH ₄ ⁺ /dm ³]	4,5÷5,7	5,41
Azot ogólny (Kjeldahla)	[% s.m.]	3,06÷3,12	3,09
Sucha masa (s.m.)	[%]	6,25÷5,72	5,90
Sucha masa organiczna (s.m.o.)	[%]	4,58÷4,92	4,71

Omówienie wyników badań

Fermentację metanową w warunkach dużego stężenia azotu amonowego (5790÷6390 mgNH₄⁺/dm³) prowadzono, wydłużając sukcesywnie czas hydraulicznego zatrzymania (HRT) gnojowicy w bioreaktorze. W trakcie procesu analizowano wpływ tego parametru na stopień usunięcia związków organicznych, dobową i jednostkową produkcję biogazu oraz stabilność procesu.

Wyznaczanie najkorzystniejszych parametrów operacyjnych procesu rozpoczęto od najkrótszego HRT wynoszącego 15 dni, co odpowiadało obciążeniu komory reaktora ładunkiem suchej masy organicznej na poziomie 1,18 kg s.m.o./m³·d. Dla tych warunków prowadzenia procesu uzyskano niski stopień usunięcia suchej masy organicznej - 25,2%.

Ponadto stosunek lotnych kwasów tłuszczowych (LKT) do zasadowości przekroczył 0,4, tj. wartość wskazującą na niestabilność procesu metanogenezy [5, 6].

Wraz z wydłużaniem czasu zatrzymania gnojowicy w bioreaktorze odnotowano stopniowy wzrost stopnia usunięcia suchej masy organicznej. Maksymalną wartość tego wskaźnika, tj. 45,2%, uzyskano dla HRT wynoszącego 30 dni. Dalsze zwiększanie wartości HRT spowodowało nieznaczne obniżenie stopnia usunięcia s.m.o. (42,3%). Prowadząc proces fermentacji w zakresie HRT od 15 do 23, stwierdzono duże obciążenie odcieku pofermentacyjnego rozpuszczonymi związkami organicznymi. Wartość ChZT dla tego zakresu HRT kształtowała się odpowiednio w granicach od 28,5 do 22,0 g O₂/dm³. Pozwoliło to na stwierdzenie, iż zakres ten (HRT od 15 do 23 dni) był wystarczająco długi tylko dla zajścia pełnej hydrolizy oraz acydogenezy. Powyższe stwierdzenie zostało dodatkowo potwierdzone dużym stężeniem LKT (7540÷5170 mg CH₃COOH/dm³) oraz zwiększonym stosunkiem LKT/zasadowości (0,61÷0,43).

Prowadząc proces dla HRT powyżej 23 dni, odciek pofermentacyjny zawierał zarówno ponad 2-krotnie mniejsze stężenie LKT (3150÷3800 mg CH₃COOH/dm³), jak również obciążenie związkami organicznymi (ChZT 12,9÷14,3 g O₂/dm³). Ponadto stosunek LKT/zasadowości nie przekroczył wartości 0,4, co świadczyło o stabilności procesu metanogenezy. Pełna charakterystyka fizykochemiczna gnojowicy przefermentowanej została przedstawiona w tabeli 2.

Charakterystyka fizykochemiczna gnojowicy po procesie fermentacji metanowej

Tabela 2

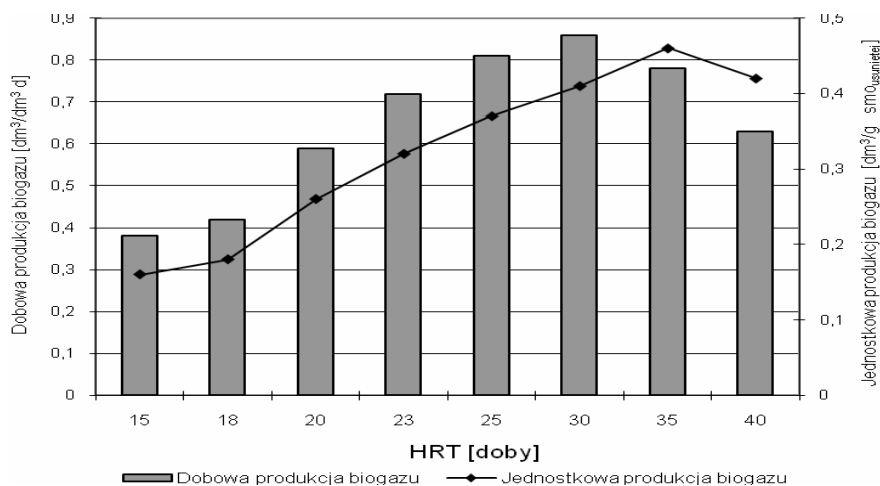
Physical and chemical properties of the digested manure

Table 2

Wskaźnik	Czas hydraulicznego zatrzymania HRT [doby]							
	15	18	20	23	25	30	35	40
pH [-]	7,44	7,51	7,59	7,60	7,85	7,90	7,93	7,95
s.m. [%]	4,58	4,42	4,12	4,01	3,93	3,60	3,69	3,70
s.m.o. [%]	3,52	3,41	3,14	2,96	2,88	2,58	2,72	2,71
stopień usunięcia s.m. [%]	22,4	25,1	30,3	32,1	33,4	39,0	37,5	37,2
stopień usunięcia s.m.o. [%]	25,2	27,6	33,3	37,0	38,8	45,2	42,3	42,3
ChZT [g O ₂ /dm ³]	28,5	26,2	24,4	22,0	14,3	13,0	12,9	14,3
Azot amonowy [g NH ₄ ⁺ /dm ³]	6,39	6,21	5,94	5,88	5,79	5,81	5,92	5,89
LKT [g CH ₃ COOH/dm ³]	7,54	7,38	7,25	5,17	3,80	3,15	3,47	3,79
Zasadowość [g CaCO ₃ /dm ³]	12,3	12,4	12,3	12,0	12,2	13,7	13,6	14,3
LKT/zasadowości [-]	0,61	0,60	0,58	0,43	0,31	0,23	0,23	0,26

W trakcie prowadzenia procesu fermentacji dokonywano również pomiaru ilości wydzielającego się biogazu. Rysunek 1 przedstawia dobową oraz jednostkową produkcję biogazu. Prowadząc proces fermentacji dla HRT w zakresie 15÷18 dni, uzyskano niską dobową (0,38÷42 dm³/dm³·d) oraz jednostkową (0,16÷0,18 dm³/g s.m.o.usuniętej) produkcję biogazu. Następnie dobowa oraz jednostkowa produkcja biogazu wzrastała wraz z wydłużaniem czasu zatrzymania gnojowicy w bioreaktorze. Największą dobową produkcję biogazu - 0,86 (dm³/dm³·d) uzyskano dla HRT wynoszącego 30 dni, co stanowi ponad 2-krotny wzrost w porównaniu do ilość biogazu wyprodukowanego dla HRT w czasie 15-18 dni. Jednostkowa produkcja biogazu w tych warunkach wyniosła 0,41 dm³/g s.m.o.usuniętej. Wydłużenie czasu zatrzymania z 30 do 35 dni skutkowało

zmniejszeniem dobowej produkcji biogazu ($0,78 \text{ dm}^3/\text{dm}^3 \cdot \text{d}$), podczas gdy jednostkowa produkcja biogazu osiągnęła swoją maksymalną wartość - $0,46 \text{ dm}^3/\text{g s.m.o. usuniętej}$. Dalsze wydłużenie czasu zatrzymania nie wpłynęło pozytywnie na ilość wydzielającego się biogazu.



Rys. 1. Dobowa oraz jednostkowa produkcja biogazu

Fig. 1. Daily biogas production and biogas yields

Periodycznie analizowano również zawartość metanu w produkowanym biogazie. Dla procesu prowadzonego w zakresie HRT od 23 do 40 dni średnia zawartość metanu w biogazie oscylowała wokół 75% obj. Prowadząc natomiast proces dla HRT poniżej 23 dni, ilość metanu w biogazie zmieniała się w dosyć szerokich granicach, tj. od 55 do 63% obj. Mniejsza zawartości metanu oraz znaczące fluktuacje zostały przypisane małemu zakresowi HRT, uniemożliwiającemu zajście pełnej metanogenezy w przypadku tego typu substratów.

Wnioski

1. Biorąc pod uwagę ochronę środowiska naturalnego oraz wymogi dotyczące magazynowania płynnych odchodów zwierzęcych, prawidłowo prowadzona stabilizacja beztlenowa płynnych odchodów rolniczych z jednoczesnym odzyskiem energii w postaci biogazu wydaje się być racjonalnym rozwiązaniem.
2. Fermentacja metanowa analizowanej gnojowicy w warunkach dużego stężenia azotu amonowego ($5760 \div 6390 \text{ mg NH}_4/\text{dm}^3$) okazała się procesem efektywnym dla HRT w zakresie od 25 do 35 dni.
3. Największą produkcję biogazu na poziomie $0,86 \text{ dm}^3/(\text{dm}^3 \cdot \text{d})$ oraz stopień usunięcia suchej masy organicznej 45,2% uzyskano dla HRT równego 30 dni, co odpowiadało obciążeniu komory reaktora ładunkiem s.m.o. - $1,57 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$.

4. W przypadku prowadzenia fermentacji metanowej dla wartości HRT mniejszej niż 25 odnotowano znaczący wzrost obciążenia odcieku pofermentacyjnego związkami organicznymi oraz obniżenie: produkcji biogazu i stopnia usunięcia suchej masy organicznej. Ponadto stosunek LKT/zasadowości kształtował się w zakresie wskazującym na niestabilność procesu metanogenezy.

Literatura

- [1] Romaniuk W.: Ekologiczne systemy gospodarki obornikiem i gnojowicą. Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, Warszawa 2004.
- [2] Ustawa z dnia 10 lipca 2007 roku o nawozach i nowożeniu. DzU Nr 147, poz. 1033.
- [3] Załącznik do rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 14 kwietnia 2004: Wymagania prowadzenia działalności rolniczej z zasadami zwykłej dobrej praktyki rolniczej. DzU Nr 73, poz. 657.
- [4] Eaton A.D., Clesceril S. i Greenberg A.E.: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Washington 1995.
- [5] Magrel L.: Prognozowanie procesu fermentacji metanowej mieszaniny osadów ściekowych oraz gnojowicy. Wyd. Polit. Białostockiej, Białystok 2004.
- [6] Dymaczewski Z. i Lożański M.: Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. PZITS, Poznań 1995.

ANIMAL BY-PRODUCTS - POTENTIAL SOURCE OF RENEWABLE ENERGY

Abstract: The aim of the research project was to stabilize the manure generated in non-straw-bedded farm in anaerobic conditions. The digestion was conducted in a bioreactor with a working volume of 3 dm³. The digester was maintained at a constant temperature of 36°C (±0.5). The process was carried out at the following hydraulic retention times (HRT): 15, 18, 20, 23, 25, 30, 35 and 40 days. The applied range of HRT corresponds to the OLR value of between 1.18 and 3.13 kg VS/(m³·d). Both analyses of the biogas produced as well as fermentation digestate were carried out during the experiment. Anaerobic digestion of the analysed manure in conditions of high ammonia concentration (5760÷6390 mg NH₄⁺/dm³) found out to be effective for the HRT value of between 25 and 35 days. The highest biogas production, ie 0.86 dm³/(dm³·d) as well as volatile solids (VS) reduction, ie 45.2% was achieved for the HRT of 30 days. When the HRT was reduced to below 25 days, a significant decrease in biogas production and VS removal was noticed. Moreover, the VFA/alkalinity ratio exceeded 0.4; ie a value which is believed to cause instability in methanogens activity.

Keywords: methane fermentation, renewable energy, biogas, animal by-products, swine manure