



**ANALIZA ILOŚCIOWA I JAKOŚCIOWA BIOGAZU
WYDZIELANEGO Z WSADÓW SKOMPONOWANYCH
NA BAZIE DOSTĘPNYCH FRAKCJI
W GOSPODARSTWIE ROLNYM**

Jakub Sikora, Barbara Mruk
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

***QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ANALYSIS OF BIOGAS
EMITTED FROM BATCHES COMPOSED ON THE BASIS OF
AVAILABLE FACTIONS ON THE FARM***

Streszczenie

Analizie podano podłoża skomponowane na bazie wyłoków jabłkowych, wysłoków buraczanych, pulpy ziemniaczanej oraz CCM (*Corn-Cob-Mix*). W wykonanych podłożach wyznaczono zawartości wilgoci, a następnie podano rozdrobnieniu i uwodniono do wilgotności 90%. Wykonane wsady umieszczono w fermentorach, proces prowadzono przez 30 dni. W pracy przedstawiono wyniki ilości i jakości uzyskanego biogazu. Największe opóźnienie fermentacji odnotowano dla podłoża wykonanego na bazie CCM. Biogaz uzyskany z wysłoków buraczanych charakteryzował się najwyższym poziomem zawartości CH₄ (66%). Przeprowadzone badania wykazały, iż analizowane masy organiczne z powodzeniem mogą być używane jako substrat do biogazowni rolniczej. Z podłoża wykonanego na bazie wycierki ziemniaczanej uzyskano najmniejszą ilość biogazu tj. 90 Ndm³·kg⁻¹ s.m., największym wydzielanie biogazu charakteryzował się wsad wykonany z CCM (240 Ndm³·kg⁻¹ s.m.).

Słowa kluczowe: Fermentacja metanowa, biogaz, biomasa rolnicza

Abstract

Agricultural Biogas is a fuel gas obtained in the process of methane fermentation of agricultural by-products, residues in food processing and animal manure. The aim of the study was to determine the amount of biogas produced from organic masses derived from the farm and to analyze the chemical composition of the resulting biogas. Four available starting materials were subjected to a moisture content analysis and fragmentation. They made ripples that are on the bench and accepted a retention time of 30 days. The paper presents the results of the quantity and quality of the resulting biogas. Delay observed in each fermentation fermenter. The batch of beet pulp has the highest yield of biogas at 66%. The study showed that analyzed the organic mass can be successfully used as a substrate for biogas plant.

Keywords: *Methane fermentation, biogas, biomass farming*

WSTĘP

Współcześnie nikt nie wyobraża sobie życia bez energii. Problemem stanowiącym obecnie jest fakt, że źródła z których korzystamy, są źródłami nieodnawialnymi. Ich wykorzystanie jest szybsze niż uzupełnianie zasobów. Warunkiem przetrwania życia na ziemi, poza czystym powietrzem i racjonalnym wykorzystaniem ziemi i innych zasobów jest pozyskiwanie energii. Dzisiejsza cywilizacja charakteryzuje się wysokim i rosnącym zużyciem energii.

Obecna sytuacja wpłynęła, że coraz częściej przedmiotem rozmowy, założeń i programów energetycznych jest nie tylko ocena istniejących zasobów energetycznych, lecz szukanie sposobów oszczędności energii. Występują również rozmowy dotyczące, poprawy efektywności energetycznej, sprawności źródeł energii i infrastruktury energetycznej, ale przede wszystkim sposobów pozyskiwania i poszukiwania nośników energii nie wpływających negatywnie na stan środowiska naturalnego.

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż odnawialne źródła energii są ważne z dwóch głównych powodów, ze względu środowiska oraz odgrywają one ogromną rolę oszczędnym gospodarowaniem energią. W bilansie paliwowo-energetycznym świata udział odnawialnych źródeł energii wynosi ok. 18%. Liczba ta wynika z rozwoju nowych technologii, które wykorzystują odnawialne źródła energii, jak również z faktu, że istnieje część ludzi na świecie, która nie ma dostępu do konwencjonalnych źródeł energii (Klugmann-Radziemska, 2009).

W rolnictwie, leśnictwie i przemyśle powstaje szereg odpadów, które stanowią surowiec dla biogazowni. Również w odpadach komunalnych znajdują się substancje organiczne, z których można wytworzyć biogaz zamiast depono-

wać je na składowisku. Powstająca masa pofermentacyjna jest cennym nawozem, ponieważ zawiera sporą ilość azotu, fosforu i potasu.

Biogazownie rolnicze w Niemczech i Danii funkcjonują od 10 – 15 lat i ich liczba stale wzrasta. W Polsce w 2005 r. została wybudowana pierwsza biogazownia rolnicza, która wciąż funkcjonuje. W roku 2015, liczba instalacji ujętych w rejestrze Agencji Rynku Rolnego biogazowni rolniczych w Polsce wynosi ponad 50 sztuk. Jednak instalacje biogazowe w Polsce wciąż budzą kontrowersje wśród społeczeństwa (Tytko, 2013).

„Substratami do produkcji biogazu może być większość substancji zawierających związki organiczne, jednak potencjalna ilość biogazu uzyskanego podczas fermentacji określonych substancji jest zróżnicowana” (Romaniuk, 2014). Zgodnie z art. 3. ust. 20a Ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 roku – Prawo energetyczne (Dz.U. 1997, Nr 54, poz. 348 z późn. zm.) biogaz rolniczy to paliwo gazowe, otrzymywane w procesie fermentacji metanowej surowców rolniczych, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych lub pozostałości z przetwórstwa produktów pochodzenia rolniczego lub biomasy leśnej, z wyłączeniem gazu pozyskanego z surowców pochodzących z oczyszczalni ścieków oraz składowisk odpadów.

Do produkcji biogazu stosować również można odpady i produkty uboczne przy wytwarzaniu żywności z surowców zwierzęcych i roślinnych. Zgodnie z definicją zawartą w ustawie o odpadach przez „recykling organiczny rozumie się obróbkę tlenową, w tym kompostowanie, lub beztlenową odpadów, które ulegają rozkładowi biologicznemu w kontrolowanych warunkach przy wykorzystaniu mikroorganizmów, w wyniku której powstaje materia organiczna lub metan” (Ustawa o odpadach, 2013).

Stabilny oraz dostępny przez dłuższy czas substrat jest kluczowy w procesie wytwarzania biogazu, który powstaje podczas fermentacji metanowej. Fermentacja może zostać w każdej chwili przerwana. Bakterie metanowe są wrażliwe na zmianę substratu, gdyż powoduje to osłabienie procesu. Okres adaptacji bakterii do nowego substratu trwa około 2 tygodni. Ponowne wznowienie wymaga dłuższego okresu czasu, który w zależności od przyjętej technologii, może trwać od 2 do 4, a nawet 7 tygodni. Istotnymi składnikami procesu są cukier i skrobia, które łatwo poddają się fermentacji metanowej. Natomiast większe ilości metanu powstają z białka i tłuszczu (Podkówka, 2006).

W środowisku przyrodniczym biogaz powstaje w sposób naturalny w żołądkach przeżuwaczy, torfowiskach oraz na dnach zbiorników wodnych. Natomiast w biogazowniach rolniczych pochodzi z fermentacji metanowej o kontrolowanych warunkach. Jest to proces złożony z wielu reakcji biochemicznych, które zachodzą w komorach fermentacyjnych w odpowiednich warunkach przy udziale bakterii metanowych. Rozkładają one substancję organiczną (białka, tłuszcze, węglowodany) na proste związki chemiczne, które następnie są

metabolizowane do metanu, dwutlenku węgla oraz w niewielkiej ilości do innych gazów (Podkówka i in., 2012; Schattauer i in., 2006).

Celem pracy było określenie ilości wytworzonego biogazu z mas organicznych pozyskanych z gospodarstwa rolnego oraz analiza składu chemicznego powstałego biogazu. Z czterech dostępnych substratów wykonano wsady, które umieszczono w laboratoryjnym fermentorze z inoculum na okres 30 dni. W czasie realizacji badań została określona ilość wytworzonego biogazu. Na podstawie miernika wielogazowego NANOSENS 60 określono skład chemiczny powstałego gazu.

Do badań wykorzystano następujące surowce: wycierka ziemniaczana, wytloki jabłkowe, Corn-Cob-Mix (CCM – kiszonka z całych kolb kukurydzy), wysłodki buraczane.

METODYKA BADAŃ

Materiał do badań został pozyskany od Grupy Producentkiej WIELOPOLANKA Sp. z o.o. Jest to gospodarstwo rolne położone w województwie małopolskim, w odległości około 40 km od miasta Tarnów i 100 km od miasta Kraków, w pobliżu rzeki Dunajec.

Trzonem gospodarstwa rolnego jest przemysłowa ferma trzody chlewnej w cyklu zamkniętym, licząca 700 loch z płynnym systemem żywienia. Dodatkowo w skład gospodarstwa wchodzi ferma tuczu bydła ras mięsnych w cyklu otwartym utrzymująca pogłowie ok. 900 sztuk. Na gruntach ornych podstawowe zasiewy stanowią pszenica i kukurydza z przeznaczeniem na kiszonkę i ziarno. Użytki zielone stanowią bazę pasz objętościowych dla bydła. Gospodarstwo wykorzystuje w tuczu trzody pasze przemysłowe [śrutę sojową, rzepakową, DDGS (ang. Dried Distillers Grains with Solubles)] oraz produkty uboczne przemysłu spożywczego (serwatka, wytloki jabłkowe, wysłodziny browarniane, gęstwa drożdżowa oraz wycierka ziemniaczana). Nawozy naturalne z produkcji zwierzęcej będą stanowić dodatkową masę do biogazowni rolniczej.

Materiał do badań stanowiły:

1. Kiszonka produkowana z całych, wilgotnych, rozdrobnionych i pozbawionych liści okrywowych kolb kukurydzy, w skrócie CCM, pochodzący od angielskiej nazwy Corn-Cob-Mix,
2. Wycierka ziemniaczana, która stanowi produkt uboczny przy produkcji skrobi. Często stosowana jest jako pasza dla zwierząt bądź nawóz organiczny. W jej skład głównie wchodzi łupiny, woda oraz pozostałości po odzyskaniu skrobi,
3. Wysłodki buraczane, które są produktem ubocznym powstającym podczas produkcji cukru spożywczego. Stosuje się je jako paszę dla zwierząt oraz jako wsad do produkcji biogazu,

4. Wytłoki jabłkowe, które składają się z pozostałości po wyciśnięciu z nich soku. Można je wykorzystać jako pasza dla bydła.

Pobrane próbki do badań zostały rozdrobnione, a następnie poddane analizie zawartości wilgoci. Z dwóch substratów: wycierki ziemniaczanej i wytłoku jabłkowego pobrano próbki o masie ok. 10 g i umieszczono na wagosuszarce (MODEL MAC 50 IR 160 RADWAG). Czynność powtórzono 5 razy dla każdego z nich. Z pozostałych surowców o większej aglomeracji i mniejszym uwodnieniu pobrano ok. 2000 gramową próbkę, którą zważono na wadze elektronicznej WPE 300, a następnie umieszczono w konwekcyjnej suszarce laboratoryjnej z wymuszonym obiegiem powietrza Elkon 110. Próbki były suszone przez 24 godziny, następnie zważone i ponownie włożone do suszarki. Czynność powtarzano aż do momentu, w którym nie stwierdzono ubytku masy. Na podstawie równania 1 obliczono wilgotność substratów:

$$\theta = \left(\frac{m_p - m_k}{m_p} \right) \cdot 100[\%] \quad (1)$$

gdzie:

θ – wilgotność wagowa [%],

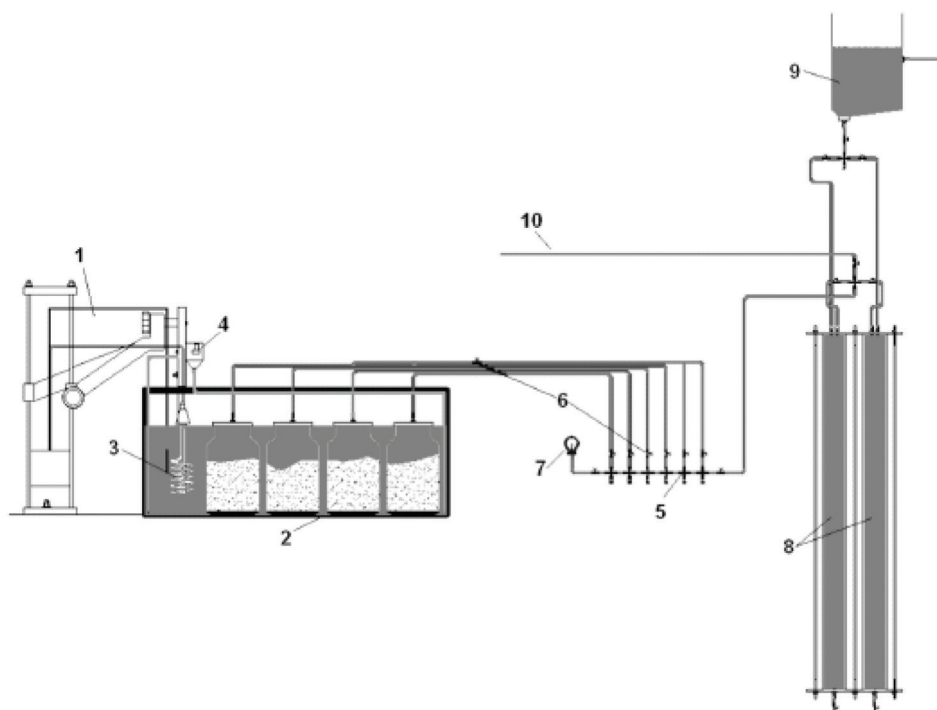
m_p – masa początkowa próbki [g],

m_k – masa końcowa próbki [g].

Do przeprowadzenia badań z każdego substratu pobraną próbkę uwodniono do 90%. Następnie zadano do fermentora o objętości 2 dm³ z inoculum i umieszczono w komorze z regulacją temperatury. Przez okres jednego miesiąca przeprowadzano fermentację statyczną. Wydzielany gaz gromadzono w zbiorniku o zmiennej objętości dla każdego fermentora osobno. Gaz ten był zasysany przez miernik NANOSENS 60, dzięki któremu określono jego skład chemiczny. Miernik dokonuje także pomiaru zawartości wilgoci w gazie, dzięki czemu można obliczyć rzeczywistą objętość wydzielonego gazu. Uzyskane wyniki jakości biogazu były w automatyczny sposób zapisywane na dysku komputera sterującego procesem.

Badania intensywności wydzielania biogazu przeprowadzono zgodnie z niemiecką normą DIN 38414. Polegały one na jednorazowym wprowadzeniu wsadu do komór fermentacyjnych i prowadzeniu procesu, w warunkach statycznych aż do zakończenia fermentacji. Ilość powstającego biogazu odczytywano codziennie o tej samej porze.

W skład stanowiska badawczego wchodził zbiornik z regulowanym środowiskiem temperaturowym, tablica rozdzielcza oraz układ pomiarowy. Schemat został przedstawiony na rysunku 1 (Sikora, 2012).



Rysunek 1. Stanowisko badawcze z fermentorami o pojemności 2dm³
Figure 1. The test stand with fermenters with a capacity 2dm³

Do stelaża (1), umieszczonego obok zbiornika zostały zamontowane przyrządy do utrzymania stałego poziomu temperatury w środowisku. Sterowanie odbywało się za pomocą termostatu elektronicznego ESCO ES-20 (stycznik 16A) z dokładnością do $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. W przypadku obniżenia temperatury o wartość przekraczającą $0,1^{\circ}\text{C}$ włączała się grzałka o mocy 1500 W (3). Jednocześnie uruchamiała się pompa wodna Hanning DPO 25-205 (4), aby równomiernie rozłożyć temperaturę w całej komorze. Po przekroczeniu zadanej temperatury o $0,1^{\circ}\text{C}$ następowało wyłączenie grzałki, a po 30 sekundach pompy. Tablica rozdzielcza (5) składała się z szeregowo połączonych rozdzielaczy z zaworami odcinającymi (6) i manometrem (7), który mierzył ciśnienie w poszczególnych gałęziach pomiarowych. Takie rozwiązanie umożliwiło obsługę wszystkich fermentorów za pomocą jednego systemu pomiarowego. Układ do pomiaru objętości złożony był z dwóch kolumn wypełnionych wodą (8) posiadających zawory spustowe oraz zbiornika służącego do uzupełniania poziomu cieczy w kolumnach (9). Za pomocą przewodu (10), układ pomiarowy został połączony z tablicą rozdzielczą oraz miernikiem składu biogazu.

WYNIKI BADAŃ

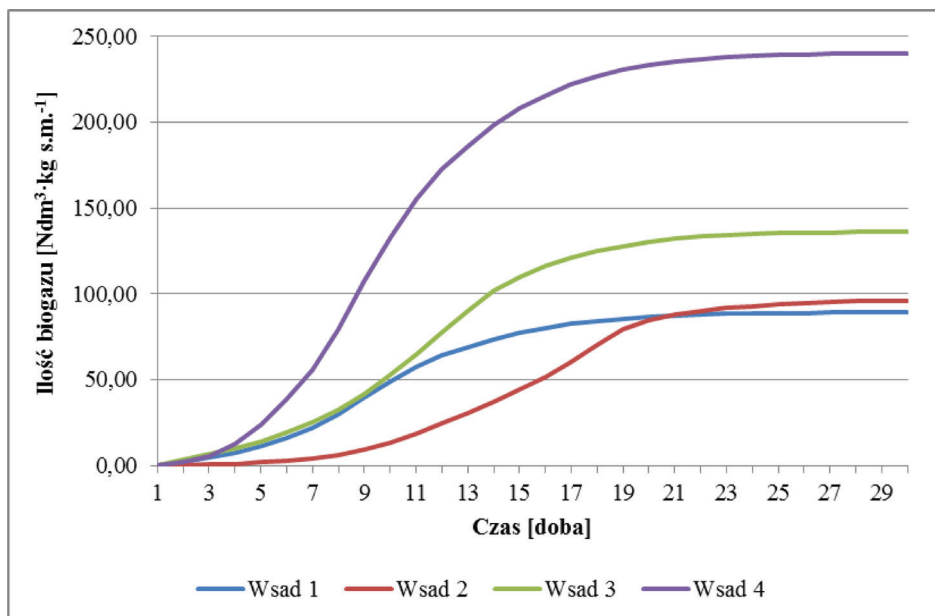
Bania procesu fermentacji statycznej zostały przeprowadzone w układzie laboratoryjnym i pozwoliły na wyznaczenie intensywności wydzielania biogazu oraz jego jakości. Fermentacja prowadzona była przez 30 dni. Jest to czas retencji biomasy najgorzej hydrolizującej. Parametry badanych frakcji wsadowych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne badanych substratów

Table 1. Physicochemical properties of the tested substrates

Nazwa	Frakcja	Wilgotność [%]	Sucha masa [g]	Masa próbki pobrana do fermentacji [g]
Wsad 1	wycierka ziemniaczana	87,42	200	1590
Wsad 2	wytłoki jabłkowe	90,13	200	2026
Wsad 3	wysłodki buraczane	84,81	200	1317
Wsad 4	CCM*	27,69	200	277

*CCM – kiszonka z całych kolb kukurydzy

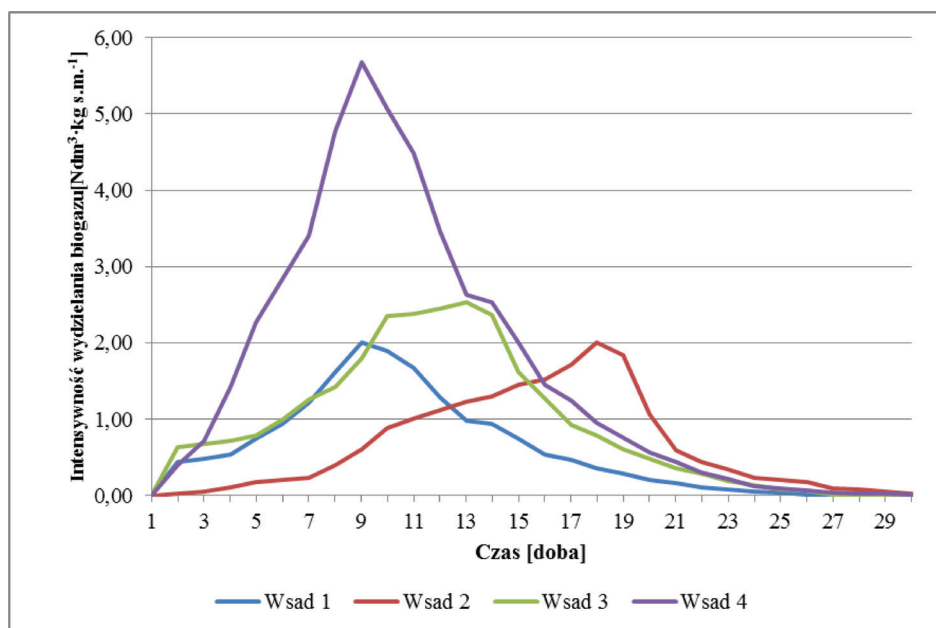


Rysunek 2. Sumaryczna ilość wydzielonego biogazu

Figure 2. The total amount of emitted biogas

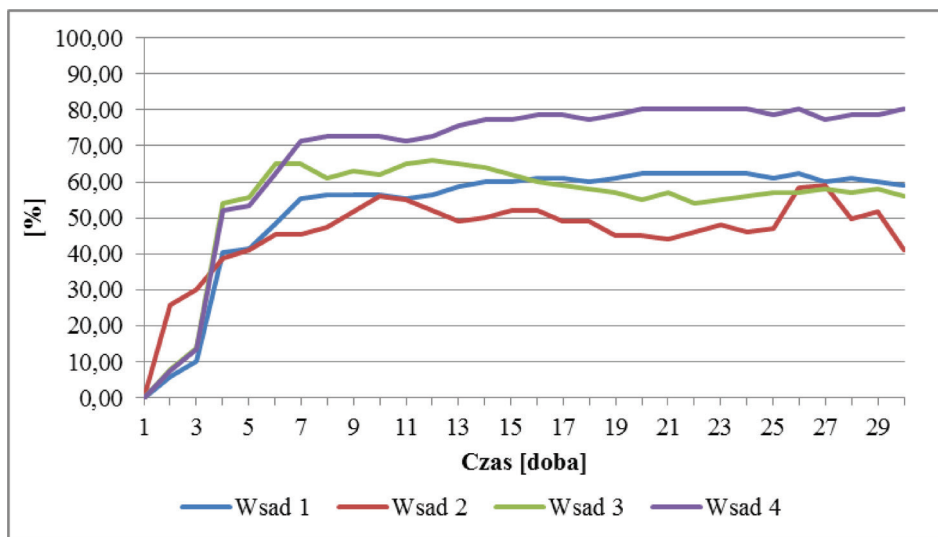
Analiza ilości uzysku biogazu została przedstawiona na krzywej sumarycznej (rys 2). Krzywa ta powstaje przez dobowe sumowanie ilości wydzielanego biogazu. Maksymalna wartość jest sumą ilości biogazu z każdego dnia badań dla poszczególnych wsadów. W analizie składu chemicznego gazu została poddana każda dobowo ilość uzyskanego biogazu z poszczególnych fermentorów. Skład chemiczny ustalono dla podstawowych parametrów jakościowych biogazu oraz do parametrów technicznych, takich jak: ciśnienie i wilgotność uzyskiwanego biometanu. Wilgotność gazu ma wpływ na obliczenia ilości metanu, dwutlenku węgla, siarkowodoru i tlenu w całkowitej objętości.

Na rysunku 2 przedstawiono sumaryczną ilość wyprodukowanego biogazu w stosunku do suchej masy podczas prowadzenia fermentacji metanowej. Frakcja wsadu 4 cechowała się największym sumarycznym uzyskiem biogazu na poziomie $240 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$. Natomiast najmniejszą ilość biogazu otrzymano z wsadu skomponowanego na bazie wycierki ziemniaczanej (wsad 1), którego poziom wyniósł $90 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$. Nieco więcej gazu uzyskano z wsadu 2, tj. $100 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$. Natomiast z wysłoków buraczanych, tj. z wsadu 3 zostało wytworzone prawie $140 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$. Cechą wspólną dla wszystkich wsadów było opóźnienie w rozpoczęciu procesu, jednak największa inhibicja wystąpiła w fermentorze z wsadem 2.



Rysunek 3. Dobowy uzysk biogazu z komory
Figure 3. Daily yield of biogas from the chamber

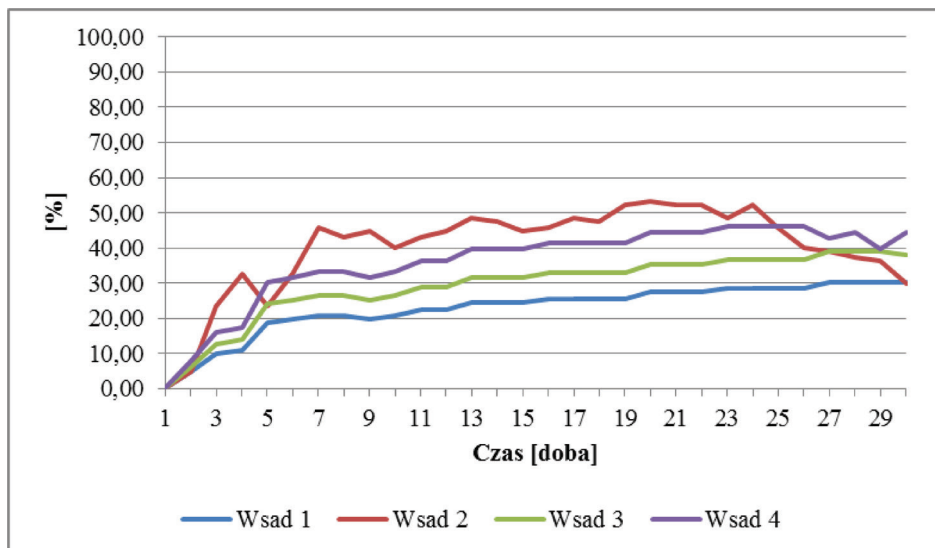
Intensywność wydzielania biogazu podczas procesu fermentacji była najwyższa dla wsadu 4 i wyniosła ponad $5,5 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ w dziewiątej dobie. Ponad połowę mniej biogazu, bo ok. $2,5 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ uzyskano z wsadu 3 dopiero w trzynastej dobie. Proces fermentacji metanowej najpóźniej rozpoczął się w fermentorze z wyciekami jabłkowymi, tj. wsad 2. Można zauważyć inhibicję procesu, prawdopodobnie spowodowaną zbyt kwaśnym odczynem środowiska. Maksymalna wartość to $2 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ w osiemnastej dobie. Taka sama wartość występuje we wsadzie 1, jednak w tym przypadku najwyższa wartość została osiągnięta w dziewiątym dniu (rys. 3).



Rysunek 4. Metan uzyskany z poszczególnych wsadów
Figure 4. Metal obtained from individual batches

Na początku procesu fermentacji złożę nie było zasiedlone bakteriami mezofilnymi (metanogenami). Dopiero po upływie trzeciej doby zaobserwowano gwałtowny spadek ilości tlenu i wydzielanie się dużej ilości metanu oraz dwutlenku węgla. Po około tygodniu osiągnął najwyższą wartość i utrzymywał się na podobnym poziomie do końca procesu (rys 4).

Załamania na krzywych opisujących ilość metanu i dwutlenku węgla są spowodowane tym, że miernik przed każdą próbką był oczyszczany świeżym powietrzem, co powodowało, że kolejny pomiar był prowadzony od momentu poboru porcji biogazu do stabilizacji ilościowej składników analizowanego gazu (rys 5).



Rysunek 5. Dwutlenek węgla wydzielony podczas fermentacji metanowej
Figure 5. The carbon dioxide emitted during the anaerobic digestion

WNIOSKI

Podczas prowadzenia fermentacji metanowej na złożu wsadu 1 uzyskano niecałe $90 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$, wsad 2 wytworzył nieco więcej, bo $96 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$, z wsadu 3 uzyskano $136 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$, natomiast największa ilość wydzielanego biogazu powstała na wsadzie 4 skomponowanego na bazie CCM i wyniosła $240 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$.

Skład chemiczny biogazu wydzielonego ze wsadu 1 wyniósł 62% dla metanu i ok. 30% dla dwutlenku węgla. Procentowy udział metanu z wsadu 2 wyniósł 56%, a dwutlenku węgla 52%. Wsad 3 wytworzył największy udział procentowy metanu, który wyniósł 66%, a dwutlenek węgla 39%. Z wsadu 4 uzyskano 64% metanu, natomiast dwutlenek węgla stanowił 35%.

Podziękowania

Praca została sfinansowana ze środków BM 4619.

LITERATURA

Klugmann-Radziemska, E. (2009). *Odnawialne źródła energii. Przykłady obliczeniowe*. Gdańsk, PG, ISBN 978-83-7348-255-5.

Podkówka W. (2006), *Kukurydza – substrat do produkcji biogazu*, Przegląd Hodowlany 9

Podkówka W., i in. (2012), *Biogaz rolniczy – odnawialne źródło energii*. Teoria i praktyczne zastosowanie, Powszechnie Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.

Prawo energetyczne, Ustawa o Odnawialnych Źródłach Energii z dnia 20 lutego 2015 r.

Romaniuk W., Domasiewicz T. (2014), *Substraty dla biogazowni rolniczych*, Wydawnictwo Hortpress Sp. z o.o.

Schattauer A., i in. 2006. *Biogaz – produkcja, wykorzystywanie*. Institute für Energetik und Umwelt gGmbH.

Sikora J. (2012), *Badanie efektywności produkcji biogazu z frakcji organicznej odpadów komunalnych zmieszanej z biomasą pochodzenia rolniczego*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich.

Tytko R. (2013), *Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej*, Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, Kraków.

Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2013 r. (Dz. U. 2013, poz. 21)

Dr inż. Jakub Sikora, inż. Barbara Mruk
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Ul. Balicka 116 b, 30-149 Kraków
tel: +48 12 662 46 60
e-mail: Jakub.Sikora@ur.krakow.pl

Wpłynęło: 15.04.2016

Akceptowano do druku: 03.06.2016