

Jakub Sikora

**BADANIE EFEKTYWNOŚCI PRODUKCJI BIOGAZU
Z FRAKCJI ORGANICZNEJ ODPADÓW KOMUNALNYCH
ZMIESZANEJ Z BIOMASĄ
POCHODZENIA ROLNICZEGO**

***THE RESEARCH ON EFFICIENCY OF BIOGAS
PRODUCTION FROM ORGANIC FRACTION
OF MUNICIPAL SOLID WASTE MIXED
WITH AGRICULTURAL BIOMASS***

Streszczenie

Głównym problemem cywilizacyjnym XXI wieku jest gwałtowny wzrost odpadów i zanieczyszczeń przyczyniających się do degradacji środowiska naturalnego. Już w XX wieku daje się zauważyć wzrost ilości odpadów komunalnych i pochodzących z przemysłu rolno-spożywczego. Ich skład chemiczny stwarza optymalne warunki do rozwoju mikroorganizmów. Bakterie w warunkach tlenowych i beztlenowych rozkładają związki organiczne w procesie fermentacji. W wyniku tej przemiany następuje emisja gazów (CH_4 , H_2S , CO_2 , NO_x) i związków azotowych, fosforowych i potasowych. Związki przedostają się do atmosfery i wód powierzchniowych, naruszają równowagę ekosystemu i powodują jego eutrofizację. Wyróżniamy różnego rodzaju fermentacje, ale fermentacja metanowa, może odgrywać szczególną rolę w odnawialnych źródłach energii i gospodarce odpadami. Po pierwsze przekształca energię zawartą w biomacie w użyteczne paliwo będące źródłem czystej energii odnawialnej niewpływającej negatywnie na środowisko. Biogaz może być spalany w kotle w celu uzyskania energii cieplnej wykorzystanej do ogrzewania pomieszczeń, lub w silniku gazowym napędzającym generator prądu. Warto zauważyć, że ta metoda należy do pożądanych metod przekształcania odpadów tj. recyklingu organicznego.

W pracy przedstawiono wyniki badań wytwarzania biogazu z organicznej frakcji odpadów komunalnych w kofermentacji z masą pochodzenia rolniczego. Do zobrazowania potencjału biogazodochodowości badania przeprowadzono na

sześciu miksach wsadowych gdzie w każdym występowała frakcja organiczna odpadów komunalnych.

Słowa kluczowe: Biogaz, organiczna frakcja odpadów komunalnych, fermentacja metanowa

Summary

Increase of waste and pollutants *which* degrade the environment is the main problem of civilization in twenty-first century. In the twentieth century it was observed, that amount of waste from agriculture and the *food industry was growing*. Their chemical composition creates optimal conditions for microorganisms growth. In aerobic and anaerobic fermentation process, bacteria are decomposing in organic compounds. The result of this change is the emission of greenhouse gas (CH_4 , H_2S , CO_2 , NO_x) and nitrogen compounds, phosphorus and potassium. There are various types of fermentation, *but one of them*, may play a special role in renewable energy sources and waste management. *It is a biogas production*. Firstly in this process the energy contained in biomass is converted into useful fuel (source of clean, renewable energy). Secondly biogas can be burned in a boiler for heat energy used for heating equipment, or it can be used in the electric generator. This method belongs to organic recycling.

This paper presents the analyses and results of biogas production from organic fraction of municipal waste in the process of co-fermentation with the mass of agricultural waste. To illustrate the potential of economic aspects of biogas production, the study was conducted on six mixes, with different level of the organic fraction selected from municipal solid waste.

Key words: *Biogas, organic fraction of the municipal waste, methane fermentation*

WSTĘP

Pod względem energetycznym dwie tony biomasy równoważne są jednej tonie węgla kamiennego. Także pod względem ekologicznym biomasa jest lepsza niż węgiel, gdyż podczas spalania emituje do atmosfery mniej SO_2 niż węgiel. Bilans emisji dwutlenku węgla jest zerowy, ponieważ podczas spalania do atmosfery oddawane jest tyle CO_2 , ile wcześniej rośliny pobrały z otoczenia [Grzybek i in. 2003].

Ostatnimi czasy duże nadzieje pokłada się w wykorzystaniu biogazu powstałego w wyniku fermentacji biomasy. Fermentacja beztlenowa jest złożonym procesem biochemicznym zachodzącym w warunkach beztlenowych. Substancje organiczne rozkładane są przez bakterie na związki proste - głównie metan i dwutlenek węgla. W czasie procesu fermentacji beztlenowej do 60% substancji organicznej jest zamienione w biogaz. Tempo rozkładu zależy w głównej mierze od charakterystyki i masy surowca, temperatury oraz optymalnie dobranego czasu trwania procesu. Prawidłowa temperatura fermentacji wynosi $30-35^\circ C$ dla

bakterii mezofilnych i 50-60 stopni dla bakterii termofilnych [Buraczewski i in. 1999].

Jako biomasę do produkcji biogazu stosuje się obecnie głównie: słomę, liście buraków, łęty ziemniaczane, łodygi kukurydzy, koniczynę, trawę oraz osady ściekowe. Są to instalacje przy gospodarstwach rolniczych lub oczyszczalniach ścieków [Lewandowski 2008].

Całkowicie ignoruje się natomiast możliwość wykorzystania odpadów biodegradowalnych pochodzących ze strumienia odpadów komunalnych (biogaz odzyskuje się z nich tylko w drodze odgazowywania terenów poskładowiskowych – metan jest gazem cieplarnianym i jako taki powinien być spalany a nie emitowany do atmosfery). Przeprowadzone przez innych autorów badania mówią o znacznym, bo ponad 50% udziale tych odpadów w całym strumieniu (resztki pochodzenia roślinnego i zwierzęcego 33%, papier 21%) [Kurek i in. 2008]. Ponadto Dyrektywa Rady Europejskiej 99/31/WE z 26 kwietnia 1999 w sprawie składowania odpadów wymaga ograniczenia zawartości substancji biodegradowalnych deponowanych na składowiskach do 75% masy wyjściowej w ciągu 5 lat od wdrożenia, do 50% w ciągu 8 lat, do 35% w ciągu 15 lat. Za moment wdrożenia przyjmuje się 1 maja 2004 roku a punktem odniesienia jest ilość odpadów wytworzona w 1995 r. Oznacza to, że w Polsce będą musiały w najbliższych latach powstać instalacje do unieszkodliwiania tych odpadów w sposób inny niż przez składowanie.

Najczęściej występujące frakcje biodegradowalne w odpadach komunalnych to: odpady z ziemniaków, liście kapusty, obierki warzyw, skórki z owoców cytrusowych i bananów oraz odpady pochodzenia zwierzęcego.

Na terenach wiejskich i miejsko-wiejskich występują te substraty i można je wykorzystywać na cele energetyczne. Brak jest rozwiązań prowadzenia fermentacji aerobowej opartej o mieszaninę tych mas organicznych. Optymalny model zasilania biogazowni powinien pozyskiwać energię z biomasy i jednocześnie utylizować biomasę odpadową (biomasa z odpadów komunalnych, gnojowica i obornik). Określenie biogazodochodowości przyjętych mieszanin substratów i parametrów prowadzonej fermentacji biogazowej w komorze laboratoryjnej pozwoliło na wyznaczenie przydatności biomasy na cele zgazowywania podczas fermentacji metanowej. Wybór tych substratów do badań jest podyktowany poszukiwaniem optymalnego procesu pozyskiwania energii i utylizacji biomasy na terenach gmin wiejskich i miejsko-wiejskich. W przypadku prowadzenia fermentacji opartej o te substraty podstawowym wsadem jest masa rolnicza, której zmienność biochemiczna jest niewielka, natomiast biomasa pochodzenia komunalnego jest masą wsadową, dodatkową utylizowaną na miejscu.

Wartość opałowa biogazu zależy głównie od zawartości metanu w biogazie. Z 1 kg węglowodanów powstaje średnio 0,42 m³ CH₄. z 1 kg białek - 0,47 m³ CH₄ a z tłuszczów - 0,75 m³ CH₄. Wartość opałowa metanu wynosi

35 MJ/m³. Średnią wartość opałową biogazu uzyskiwanego z bioodpadów komunalnych określa się na poziomie ok. 21,54 MJ/m³. Energia zawarta w 1 m³ takiego biogazu odpowiada energii zawartej w 0,93 m³ gazu ziemnego. 1 dm³ oleju napędowego, 1,25 kg węgla lub odpowiada 9,4 kWh energii elektrycznej.

CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań było określenie możliwej do uzyskania ilości biogazu, z frakcji powstałej ze zmieszania masy rolniczej z organiczną częścią strumienia odpadów komunalnych.

W badaniach zostały wykorzystane następujące substraty: kiszonka z kukurydzy, organiczna frakcja odpadów komunalnych (pozyskana z podsito-wej frakcji z sortowni odpadów komunalnych) oraz gnojowica bydlęca.

METODYKA BADAŃ

Wiedza dotycząca wykorzystania biomasy na cele energetyczne, a zwłaszcza wytwarzanie z niej biogazu jest coraz szersza, ale wciąż niedostateczna, a często niespójna i niejednoznaczna, zarówno wśród specjalistów jak i wśród doradców i samych rolników. Dotyczy to zarówno wsadu do fermentacji jak również zagospodarowania uzyskanego produktu pofermentacyjnego oraz zagospodarowania biogazu. Najczęściej na terenie Polski jeżeli chodzi o biogazownie rolnicze można spotkać rozwiązania, które wytwarzają biogaz z odpadów produkcji zwierzęcej (gnojówka, gnojowica i rzadziej obornik). Drugim rozwiązaniem jest produkcja biogazu z płodów rolnych, a zwłaszcza z kiszonki kukurydzianej. Takie podejście do zagospodarowania nadwyżek biomasy w gospodarstwie prowadzi do uprawy monokulturowej. Dotyczy to wymagań standardowego równoważenia produkcji wg. zasad Kodeksu Dobrych Praktyk Rolniczych (KDPR) oraz wymagań wprowadzania coraz mniejszej chemizacji rolnictwa. Zaproponowane w artykule badania w swoim założeniu mają dać odpowiedź na pytanie, jak zaprojektować inwestycje biogazowni aby były ekonomicznie uzasadnione, a wsad do fermentora był zróżnicowany na tyle, by mieścił się w dobrej kulturze produkcji rolniczej i wykorzystywał biomasę odpadów komunalnych występujących na terenie zasięgu biogazowni.

Do badań zostały przyjęte następujące frakcje:

- organiczna masa pochodzenia rolniczego: kiszonka z kukurydzy, gnojowica bydlęca,
- organiczna frakcja odpadów komunalnych.

Frakcje zostały rozdrobnione, następnie z każdej zostało pobrane pięć próbek. Próbki zostały zważone w celu określenia ich masy przed wysuszeniem. Pomiar masy przeprowadzony został na wadze elektronicznej WPE 300. Urzą-

dzenie to cechuje się dokładnością $\pm 0,01$ g. Do suszenia została wykorzystana konwekcyjna suszarka laboratoryjna z wymuszonym obiegiem powietrza Elkon 110.

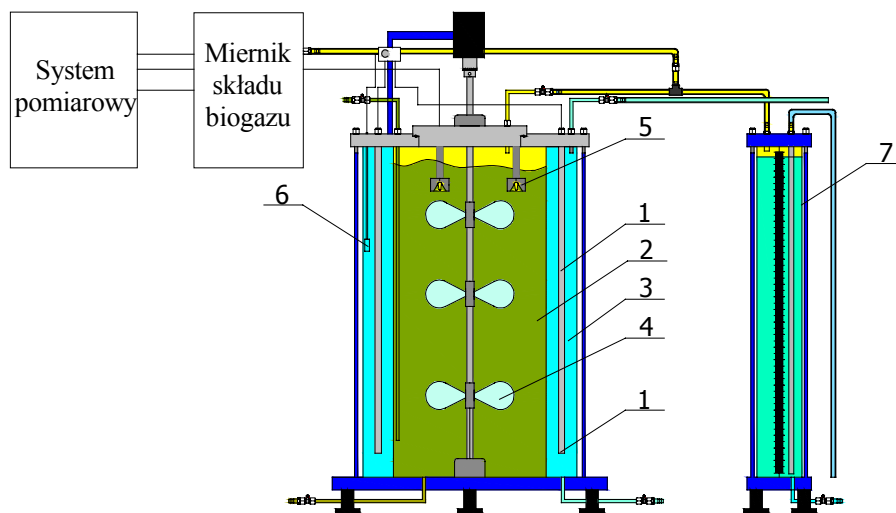
Rozdrobniony materiał został uwodniony do wilgotności około 90% , tworząc optymalne warunki do rozwoju bakterii mezofilnych. Z przyjętych do badań frakcji wykonano sześć mieszanin wsadów o parametrach przedstawionych w tabeli 1. Wsad 1 został uwodniony i wprowadzony do komory fermentacyjnej o pojemności 20 dm³ z regulowanym środowisku temperaturowym. W tym fermentorze jest monitorowane pH, redoks oraz temperatura wsadu. Wytwarzany biogaz gromadzony był w zbiorniku o zmiennej pojemności. Wsad ten został przyjęty jako kontrolny. Schemat stanowiska z komorą o pojemności 20 dm³ przedstawiono na rysunku 1.

Tabela 1. Parametry wsadów do komór fermentacyjnych
Table 1. Characteristics of components for the Digesters

Nazwa	Fracje		
	Kiszonka z kukurydzy [%]	Gnojowica bydłęca [%]	Podsitowa frakcja odpadów komunalnych [%]
Wsad 1	65	5	30
Wsad 2	100	0	0
Wsad 3	0	0	100
Wsad 4	50	5	45
Wsad 5	20	5	75
Wsad 6	75	5	20

Wsad 1 został umieszczony w komorze (2) , w której za pomocą sond (5) są monitorowane parametry fermentacji takie jak: temperatura, redoks i pH. Parametry te są automatycznie zapisywane z interwałem czasowym na twardym dysku komputera systemu pomiarowego. W komarze wsad był mieszany mieszadłem mechanicznym (4) w celu uniknięcia rozwarstwienia. Mieszadło posiada możliwość płynnej regulacji w zakresie od 0 do 400 obr./min., jest wyposażone w trzy śmigła o regulowanym rozstawie co umożliwia zmianę intensywności stref mieszania w fermentorze.

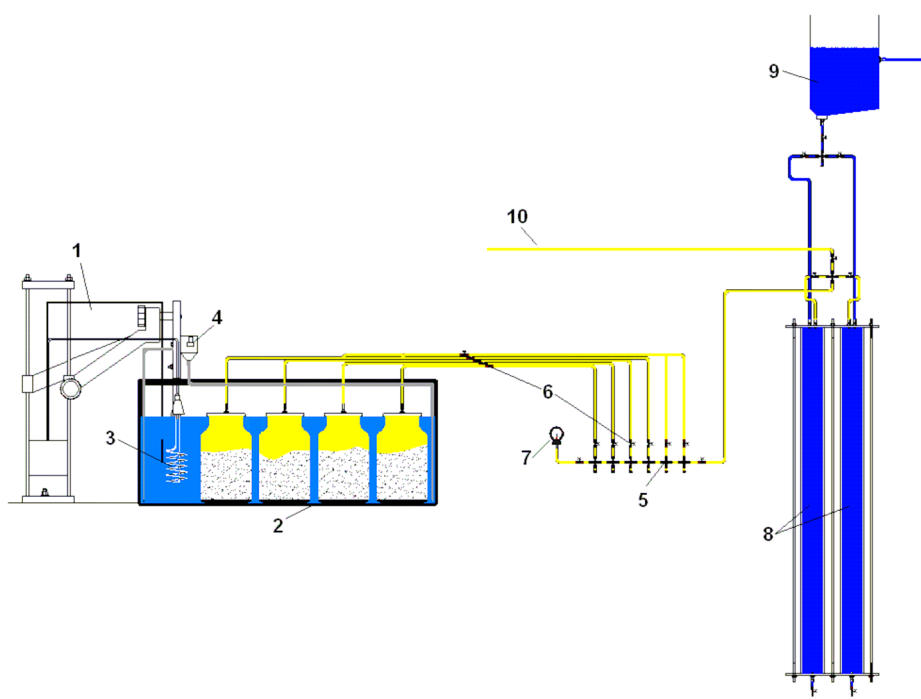
Komara fermentora jest wyposażona w płaszcz wodny (3), w którym są umieszczone trzy grzałki patronowe (1) odpowiadające za podgrzewanie cieczy. Za sterowanie temperaturą procesu odpowiada układ pomiarowy wyposażony w termometr (6) PT100. Wytworzony biogaz gromadzi się nad powierzchnią wsadu w fermentorze oraz w zbiorniku (7) o zmiennej objętości z którego jest zasysany przez miernik składu biogazu. Miernik ten analizuje następujące parametry: wilgotność, temperaturę, ciśnienie, metan CH₄, tlen O₂, dwutlenek węgla CO₂ oraz siarkowodór H₂S. Mierzone parametry składu biogazu są automatycznie zapisywane na dysku komputera systemu pomiarowego.



Rysunek 1. Schemat stanowiska badawczego z fermentorem 20 dm³
Figure 1. Diagram of test stand with 20 liter fermenter

Określenie intensywności wydzielania biogazu w pozostałych wsadach przeprowadzono zgodnie z normą DIN 38414. Miksy wsadowe fermentowane były w warunkach statycznych, polegających na jednorazowym wprowadzeniu frakcji do komór fermentacyjnej i prowadzeniu procesu aż do zakończenia fermentacji.

Fermentatory zainstalowano w zbiorniku z regulowanym środowiskiem temperaturowym, tworzącym część stanowiska badawczego, które składało się dodatkowo z tablicy rozdzielczej oraz układu pomiarowego. Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 2. Do stelaża (1) znajdującego się obok zbiornika (2) zostały przymocowane urządzenia służące do utrzymania stałego środowiska temperaturowego. Sterowanie odbywało się za pomocą termostatu elektronicznego ESCO ES-20 (stycznik 16A) z dokładnością do $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ wynikającą z histerezy czujnika. Spadek temperatury o wartość przekraczającą $0,1^{\circ}\text{C}$ powodował włączenie grzałki o mocy 1500 W (3) z jednoczesnym uruchomieniem pompy wodnej Hanning DPO 25-205 (4) w celu zapewnienia równomiernego rozkładu temperaturowego w całej komorze. Po podgrzaniu wody do temperatury przewyższającej zadaną o $0,1^{\circ}\text{C}$ następowało wyłączenie grzałki i z 30-sto sekundowym opóźnieniem pompy.



Rysunek 2. Schemat stanowiska badawczego z fermentorami 2 dm³
Figure 2. Diagram of test stand with 2 liter fermenter

Tablicę rozdzielczą (5) stanowiły szeregowo połączone rozdzielacze wraz z zaworami odcinającymi (6) i manometrem (7) mierzącym ciśnienie w poszczególnych gałęziach pomiarowych. Dzięki zastosowaniu takiego układu do obsługi wszystkich fermentatorów wystarczył jeden system pomiarowy. Układ pomiaru objętości (8) składał się z dwóch kolumn wypełnionych wodą z zaworami spustowymi oraz zbiornika do uzupełniania poziomu cieczy w kolumnach (9). Układ pomiarowy został połączony z tablicą rozdzielczą oraz z miernikiem składu biogazu za pomocą przewodu (10), który został przedstawiony na rysunku 1.

Przed rozpoczęciem fermentacji dla wszystkich badanych wsadów wykonano analizę chemiczną. Oznaczono suchą masę frakcji oraz odczyn. Dla każdego badanego wsadu fermentację prowadzono równolegle. Ilość powstającego gazu odczytywano dwa razy dziennie o tej samej porze.

WYNIKI

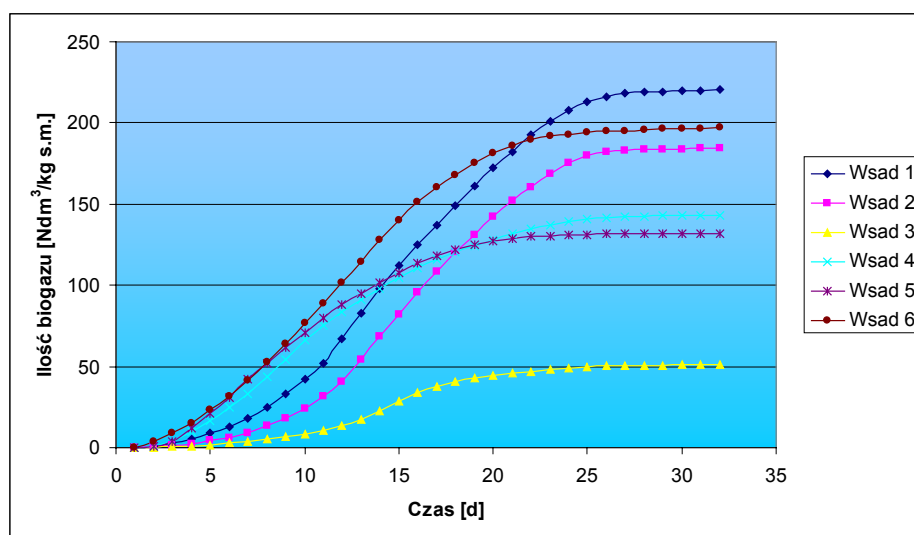
Przeprowadzone badania procesu fermentacji w warunkach laboratoryjnych pozwoliły na porównanie intensywności wydzielania biogazu, prześledzenie faz fermentacji oraz ocenę podatności badanych miksów wsadowych na pro-

cesy biochemicznego rozkładu masy organicznej. Parametry badanych frakcji przedstawiono w tabeli 2. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono sumaryczną ilość wyprodukowanego biogazu oraz intensywność wydzielania biogazu w czasie fermentacji. Ilość i intensywność wydzielania biogazu są parametrami, które świadczą o przebiegu procesu.

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne wybranych substratów do badań
Table 2. Physical and chemical properties of analyzed components

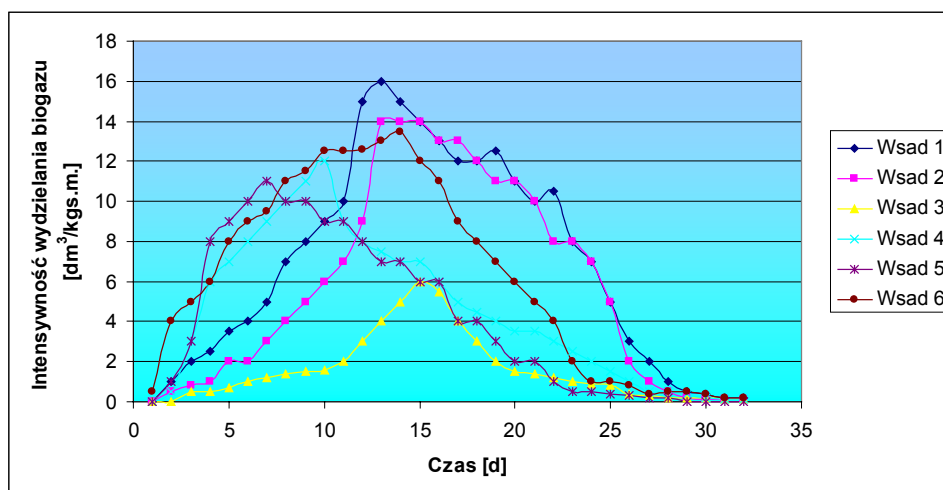
Lp.	Nazwa składnika wsadu	pH	s.m. [%]
1	Kiszonka z kukurydzy	3,8	26,3
2	Gnojowica bydlęca	7,5	12,0
3	Organiczna frakcja odpadów komunalnych	5,8	54,0

Parametry kiszonki z kukurydzy czy organicznej frakcji odpadów komunalnych nie odbiegały od wartości literaturowych. Natomiast gnojowica charakteryzowała się większą, niż podawana w literaturze, zawartością suchej masy i kształtowała się w granicach 12%. Takie wartości wynikają z zastosowanej technologii na fermie krów mlecznych.



Rysunek 3. Sumaryczna ilość wydzielonego biogazu
Figure 3. The total amount of produced biogas

Wyniki analizy uzysku biogazu w stosunku do suchej masy wskazały na zdecydowaną największą wydajność wsadu 1 (223 Ndm³/kg s.m.), przy niskiej wydajności kiszonki z kukurydzy (wsad 2), tylko 184 Ndm³/kg s.m. (rys. 3) w przebiegu fermentacji wsadu 2, wykonanego tylko z kiszonki kukurydzy, widoczne opóźnienie przyrostu objętości biogazu, które jest spowodowane odczynem wsadu. Największa inhibicja przyrostu i opóźnienia powstawania biogazu podczas fermentacji była dla wsadu 3 wykonanego tylko z organicznej frakcji odpadów komunalnych. Normalny przebieg wydajności produkcji biogazu uzyskano dla wadu 6 wykonanego z 75% kiszonki kukurydzy, 5% gnojowicy oraz 20% organicznej frakcji odpadów komunalnych.



Rysunek 4. Intensywność produkcji biogazu
Figure 4. The intensity of the biogas production

WNIOSKI

Badania wykazały poprawę zdolności fermentacyjnej wsadów w kofermentacjach. Zmieszanie frakcji spowodowało zwiększenie intensywności wydzielania biogazu podczas fermentacji. We wsadach opartych na kiszonce z kukurydzy w proporcjach 65% i 75% uzyskano największą wydajność biogazu podczas fermentacji.

Chociaż istnieje możliwość jednoskładnikowego odfermentowania kiszonki kukurydzy, to jednak z przeprowadzonych badań wynika, że jest skuteczniejsze odfermentowanie kiszonki jako kosubstratu z gnojowicą i organiczną frakcją odpadów komunalnych. Powoduje to stabilniejszy przebieg procesu, a także

podczas kofermentacji możliwe jest uzyskanie wspólnych efektów, które mogą zwiększyć skuteczność rozkładu masy organicznej względem uzysku metanu.

Stosowanie wsadu wykonanego tylko z frakcji organicznej odpadów komunalnych do fermentacji metanowej powoduje zmniejszenie efektu uzysku biogazu. Taki proces można z powodzeniem wykorzystywać do stabilizacji frakcji odpadowych ale nie do produkcji energii.

Wykorzystywanie biomasy z odpadów komunalnych do fermentacji metanowej powoduje zwiększenie ilości wydzielanego biogazu i może być z powodzeniem wykorzystywana jako biomasa uzupełniająca w biogazowniach rolniczych na terenach wiejskich.

BIBLIOGRAFIA

- Buraczewski G., Bartoszek B. 1999. *Biogaz: wytwarzanie i wykorzystanie*, PWN, Warszawa, str. 17-45.
- Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K. 2003, *Biogaz*, Warszawa, str. 65-105.
- Kurek S., Małucha K., Toch R., Zemanek J. 2008, *Wyznaczanie procentowego składu frakcji w odpadach komunalnych w zależności o systemu zbiórki* Materiały konferencyjne: IV Ogólnopolska Młodzieżowa Konferencja Naukowa nt.: „Nowe tendencje rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich”, str. 100-103.
- Lewandowski Witold M. 2007, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa, str. 27-55.

Dr inż. Jakub Sikora
e-mail: Jakub.Sikora@ur.krakow.pl,
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Uniwersytet Rolniczy
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków
Tel. (012) 662 4660