



Rozruch instalacji biogazowej z wykorzystaniem osadu zaszczepowego

Paweł Kogut^{}, Jacek Piekarski^{*}, Katarzyna Ignatowicz^{**}*

^{}Politechnika Koszalińska*

*^{**}Politechnika Białostocka*

1. Wprowadzenie

Odnawialne źródła energii stają się coraz istotniejszym elementem w bilansie energetycznym kraju, stanowiąc charakterystyczną wartość innowacyjnej i perspektywicznej gospodarki. Początki instalacji do produkcji biogazu sięgają roku 1920 w niemieckiej miejscowości Essen. Karl Imhoff zbudował pierwszy zbiornik do pozyskiwania biogazu z osadu nadmiernego. Niestety zainteresowanie biogazem nie cieszyło się wtedy dużą popularnością, ponieważ na masową skalę zaczęto wydobywać węgiel, a następnie ropę naftową, co spowodowało rozwój pozyskiwania energii z konwencjonalnych źródeł [3]. W Europie zachodniej biogazownie na skalę przemysłową budowane są od lat osiemdziesiątych, jednak gwałtowny wzrost liczby instalacji nastąpił dopiero w ostatnim dziesięcioleciu. Stało się tak w wyniku podjęcia przez kraje UE zobowiązań na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz promocji odnawialnych źródeł energii [2,5,14,15]. W Polsce na chwilę obecną (luty 2014 rok) użytkowanych jest 37 biogazowni, przy czym pierwsza została wybudowana w 2005 roku. Ministerstwo Gospodarki we współpracy z Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi stworzyło rządowy program pt.: „Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce”, który został przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 13 lipca 2010 roku. Wdrożenie dokumentu jest niezbędnym elementem procesu utworzenia do 2020 roku średnio jednej biogazowni rolniczej w każdej gminie wykorzystującej

biomasę pochodzenia rolniczego, przy założeniu posiadania przez tę gminę odpowiednich warunków do uruchomienia takiego przedsięwzięcia [2,6]. Wynika z tego, że do 2012 r. w Polsce powinno być wybudowanych ok. 2000 biogazowni, co przedstawia się obiecująco dla polskiego budownictwa oraz przemysłu związanego z branżą budowlaną. Potencjał do pozyskania biogazu szacowany jest na poziomie około 1,7 mld m³ rocznie. Dla porównania w ciągu roku w Polsce zużywa się około 14 mld m³ gazu ziemnego [2]. Dlatego w pełni uzasadnione jest projektowanie, budowanie oraz eksploatowanie coraz to nowszych biogazowni zarówno rolniczych jak i utylizacyjnych.

Biogaz powstaje w procesie biologicznym z masy organicznej przy braku obecności tlenu. Ten szeroko rozpowszechniony w przyrodzie proces odbywa się między innymi na torfowiskach, na dnie mórz, w gnojowicy oraz w żwaczach przeżuwaczy. Masa organiczna prawie w całości zmienia się w biogaz. Dodatkowo powstają niewielkie ilości nowej biomasy lub ciepła [1]. Proces fermentacji metanowej, w wyniku której powstaje biogaz składa się z czterech etapów. W pierwszym etapie (hydroliza) spolimeryzowane nierozpuszczalne związki organiczne (węglowodany, białka, tłuszcze), zostają przetworzone przez enzymy odpowiednich szczepów bakterii hydrolizujących, w rozpuszczalne monomery i dimery (cukry proste, aminokwasy, kwasy tłuszczowe). Hydroliza trudno rozkładalnych polimerów (celuloza, ligniny), jak również wrażliwych na rozkład tłuszczów, białek i węglowodanów, jest przyjmowana jako faza limitująca szybkość fermentacji [4,9,13]. Etap drugi (acidogeneza) to faza zakwaszania podczas której, przeważające bakterie acidogenne przetwarzają rozpuszczone w wodzie substancje chemiczne (również produkty hydrolizy) do krótkołańcuchowych kwasów organicznych, alkoholi, aldehydu oraz dwutlenku węgla i wodoru. Podczas acidogenezy ogólna ilość substancji organicznych (wyrażona ChZT) pozostaje niezmienną. Następuje ich podział między różne rodzaje prostych związków organicznych [4,10]. W kolejnym III etapie (acetogeneza) wyspecjalizowane rodzaje bakterii przetwarzają wyższe kwasy organiczne do kwasu octowego, dwutlenku węgla i wodoru, czyli substratów, które mogą być przekształcone w metan. W czwartym etapie (metanogeneza) metan jest produkowany przy udziale bakterii metanogennych. Według stechiometrycznych zależności ustalono, że prawie 70% metanu powstaje w procesie redukcji octanów: $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$. Niewiele gatunków bakterii może produkować metan

z tego substratu, podczas gdy prawie wszystkie znane bakterie metanogenne są w stanie produkować metan z wodoru i dwutlenku węgla: $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$. Etapy hydrolizy i acidogenezy są ze sobą dokładnie związane, nazywa się je „fermentacją kwaśną” gdyż powstające produkty są kwasami (wodór, dwutlenek węgla, alkohol etylowy, kwasy: octowy, masłowy, mlekowy, propionowy, walerianowy). Również związane są ze sobą etapy acetogenezy i metanogenezy, odpowiedzialne za produkcję metanu, zwane „fermentacją metanogeną”. Stąd mówi się często o dwustopniowym przebiegu beztlenowego przekształcania substancji organicznych. Procesu fermentacji przebiega najlepiej, gdy szybkość rozkładu substancji organicznych w fazie fermentacji kwaśnej i metanowej jest taka sama. Zmniejszenie szybkości fermentacji kwaśnej skutkuje ograniczeniem ilości substratów bakterii metanogennych i w konsekwencji spadkiem produkcji metanu [4].

2. Opis układu technologicznego analizowanej biogazowni

Substraty stałe w postaci kiszonki z kukurydzy oraz obornika transportuje się do dozownika, gdzie są mieszane i wstępnie rozdrabniane. Następnie za pomocą podajników ślimakowych substraty są kierowane do fermentatora. Instalacja zawiera również zbiornik buforowy do którego, dostarczane wozami asenizacyjnymi są substraty płynne tj. gnojowica oraz osady ściekowe. W zbiorniku buforowym zachodzi wstępne mieszanie i homogenizacja substratów oraz stabilizacja odczynu i temperatury. Następnie sekwencyjnie rurociągiem tłocznym, substraty zostają przetransportowane do fermentatora. Układ pompowy składa się z trzech niezależnych pomp, pracujących naprzemiennie. Dzięki rozbudowanej sieci rurociągów i zasuw układu pompowego, możliwa jest dowolna kombinacja przepompowywania pomiędzy wszystkimi zbiornikami.

Zjawisko fermentacji metanowej zachodzi w dwóch komorach fermentacji pierwotnej, każda o pojemności czynnej ok. 3500 m^3 . W komorach tych substraty przebywają w temperaturze 38°C przy równoczesnym mieszananiu, za pomocą czterech mieszadeł śmigłowych. Pojemność komór fermentacji umożliwia zatrzymanie powyżej 100 dni. Czas ten zapewnia odgazowywanie substratu, które wg niemieckich danych wynosi ok. 90 dni. Układ posiada komorę fermentacji wtórnej, także o pojemności czynnej ok. 3500 m^3 i temperaturze procesu 38°C , w której

czas zatrzymania wynosi ok. 70 dni (szacowana objętość substratów po procesie fermentacji wynosi ok. 55 t/d). Zbiornik fermentacji wtórnej zwiększa czas zatrzymania materiału oraz w trakcie sezonu zimowego wykorzystywany jest jako zbiornik pozostałości fermentacyjnej. Proces fermentacji realizowany jest quazi-ciągłą metodą kaskadową. Czas magazynowania gazu wynosi ok. 7 h. Biogaz przechowywany jest w zbiornikach membranowych zlokalizowanych nad komorami fermentacji pierwotnej oraz wtórnej, skąd kierowany jest do uzdatniania, i dalej do kogeneratorów produkujących energię elektryczną w ilości ok. 1000 kW oraz energię cieplną ok. 1100 kW.

Pozostałość fermentacyjną z komory fermentacji wtórnej można wykorzystać w celach rolniczych, skierować do instalacji odwadniania a także dalej do procesu kompostowania. [9–12] Pozostałość pofermentacyjna podlega wapnowaniu w celu sanitacji mikrobiologicznej, i następnie składowana celem przechowywania jest na płytach betonowych. Natomiast płynną pozostałość kieruje się ponownie do procesu jako źródło flory bakteryjnej przyspieszającej proces fermentacji metanowej. Ponieważ wykorzystane substraty charakteryzuje niska zawartość siarki, dlatego odsiarczanie prowadzone jest metodą powietrzną. Niemniej jednak dla zwiększenia bezpieczeństwa kogeneratorów oraz wyższej elastyczności pracy instalacji przewidziano w układzie węzeł odsiarczania w procesie adsorpcji za pomocą ziarnistego węgla aktywnego.

Schłodzony i oczyszczony biogaz jest spalany w agregatach kogeneracyjnych. Energia elektryczna trafia w ok. 90% do sieci zewnętrznej (ok. 10% zużywa na potrzeby własne instalacja), ciepło jest wykorzystywane na potrzeby własne procesu, a nadwyżki są sprzedawane do sąsiedniego zakładu przemysłowego. Technologia jest procesem hermetycznym, i tym samym nie generuje odorów.

W praktyce inżynierskiej pojęcie rozruchu instalacji biogazowej jest różnie interpretowane. Część specjalistów uważa, że rozruch instalacji biogazowej jest to czas, w jakim instalacja osiąga planowane parametry pracy (moc elektryczna i cieplna). Natomiast część specjalistów uważa, że rozruch instalacji biogazowej jest to czas potrzebny do uruchomienia generatora. Niemniej jednak ekonomicznie najkorzystniej jest wtedy, gdy czas rozruchu trwa jak najkrócej.

Celem przedstawionych w publikacji badań była analiza wybranych parametrów biogazu, powstającego w wyniku fermentacji metano-

wej, podczas rozruchu instalacji biogazowej, z użyciem jako substratów: wody, gnojowicy, kiszonki z kukurydzy oraz osad zaszczepowego. W publikacji przedstawiono zależności zachodzące pomiędzy rodzajem i ilością dozowanego substratu, a uzyskiwanymi parametrami biogazu i masy fermentacyjnej.

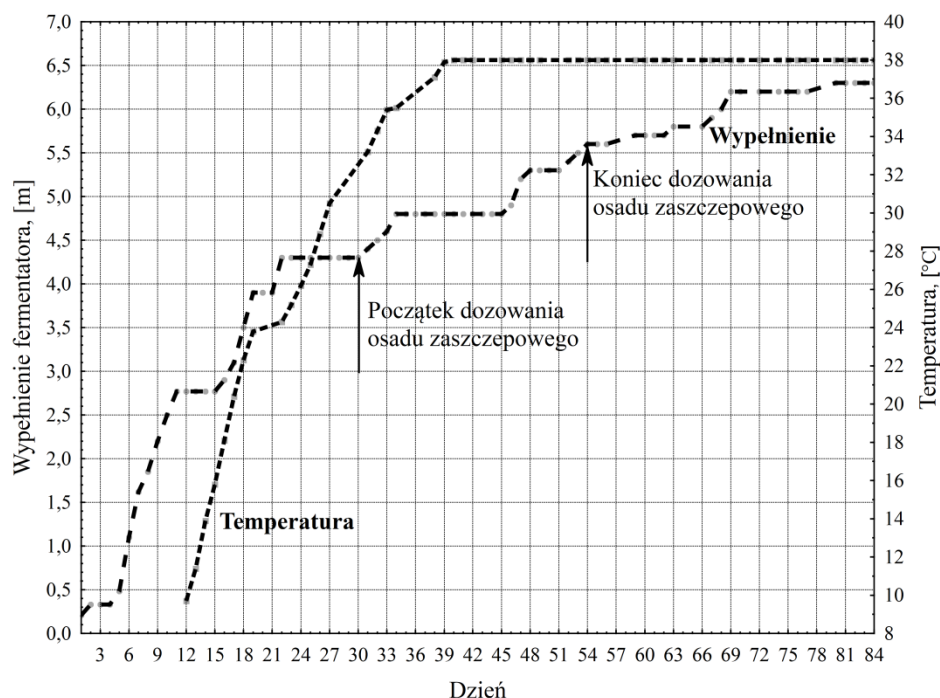
Monitoring wybranych parametrów biogazu prowadzony był za pomocą mobilnego analizatora gazu marki Binder Combimass GA-m Version 2012-03 [7]. Pobór próbek odbywał się bezpośrednio z magazynu biogazu, w miejscu do tego przystosowanym. W biogazie analizowano zawartość metanu CH_4 [%], ditlenku węgla CO_2 [%], tlenu O_2 [%] oraz siarkowodoru H_2S [ppm].

Monitoring parametrów masy fermentacyjnej prowadzony był za pomocą analizatora marki PRONOVA Analysentechnik GmbH & Co KG FOS/TAC 2000 [8]. Próbki pobierano bezpośrednio z fermentatora w miejscu do tego przystosowanym. W próbkach tych badano zawartość lotnych kwasów tłuszczowych LKT [mg HAcEq/dm^3] i ogólnego węgla nieorganicznego OWN [$\text{mg CaCO}_3/\text{dm}^3$] oraz wykonano pomiar odczynu pH.

3. Opis i analiza wyników badań

Do rozruchu opisywanej instalacji użyto: wodę, kiszonkę z kukurydzy (32% s.m.), mieszanę gnojowicy świńskiej i bydłowej (8% s.m.) oraz osad zaszczepowy (10% s.m.) pełniący funkcję nośnika odpowiedniej flory bakteryjnej, w celu jak najszybszego rozmnożenia się w komorach fermentacji i znacznego przyspieszenia zachodzącego procesu fermentacji metanowej. Podczas rozruchu jako osad zaszczepowy wykorzystano masę ze zbiornika fermentacji wtórnej, pochodzącą z innej funkcjonującej biogazowni, która podczas normalnej pracy zużywała następujące substraty: gnojowicę, kiszonkę z kukurydzy, obornik oraz panierkę rybną.

W początkowej fazie rozruchu (dni 1-11) zrealizowano napełnienie fermentatora substratami płynnymi w postaci mieszaniny wody oraz gnojowicy do poziomu 2,77 m (maksymalna wysokość zainstalowanych węzownic 2,6 m). Dopiero po całkowitym zakryciu węzownic lustrem mieszaniny, rozpoczęto powolne ogrzewanie masy fermentacyjnej.



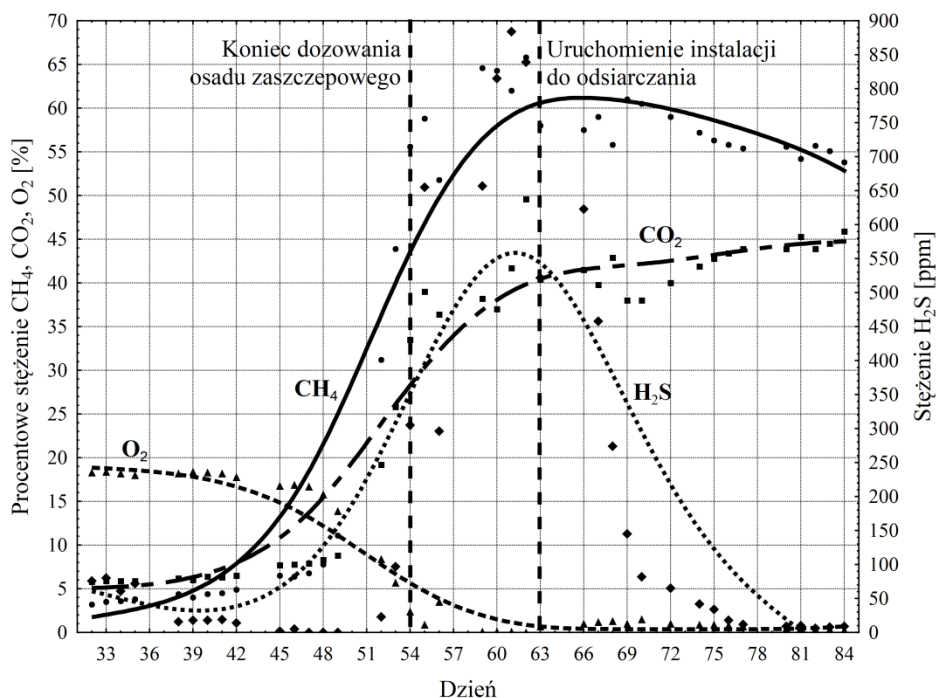
Rys. 1. Wykres wypełnienia fermentatora oraz zmiany temperatury T [°C] w zależności od czasu trwania rozruchu instalacji biogazowej z wykorzystaniem osadu zaszczipowego

Fig. 1. Fermenter filling and temperature change T [°C] depending on duration of start-up of biogas installation with inoculating sludge application

Przyrost temperatury ogrzewanej masy fermentacyjnej nie mógł być większy niż $2^{\circ}\text{C}/\text{dobę}$. Ze względu na powstające naprężenia termiczne betonu, temperatura medium w węzownikach (temperatura zasilania), nie mogła przekraczać różnicy 20°C . Po czterech dniach ogrzewania masy fermentacyjnej (dzień 12-16) od temperatury $9,2^{\circ}\text{C}$ do temperatury 17°C , wznowiono napełnianie zbiornika wodą do poziomu 4,3 m (dzień 22), nie zaprzestając powolnego ogrzewania fermentatora. Po doprowadzeniu masy fermentacyjnej do temperatury $31,5^{\circ}\text{C}$ (dni 31-34) rozpoczęto dozowanie osadu zaszczipowego – rysunek 1.

Doprowadzenie temperatury w fermentatorze do wartości powyżej 30°C , było uwarunkowane temperaturą przywożonego osadu zaszc-

czepowego wynoszącą ok. 30°C. Osad zaszcepowy, który był przywożony z komory pofermentacyjnej innej biogazowni posiadał temperaturę pierwotną ok. 37-39°C, jednak podczas transportu następowało jego ochłodzenie do wartości ok. 30°C. Zbyt duży spadek temperatury byłby niekorzystny dla znajdujących się w osadzie bakterii metanogennych.



Rys. 2. Wykres zmiany wartości procentowego stężenia metanu CH_4 , ditlenku węgla CO_2 , tlenu O_2 oraz siarkowodoru H_2S w zależności od czasu trwania rozruchu instalacji biogazowej z wykorzystaniem osadu zaszcepowego

Fig. 2. Course of percentage concentration of methane CH_4 , carbon dioxide CO_2 , oxygen O_2 and hydrogen sulphide H_2S depending on duration of start-up of biogas installation with inoculating sludge application

Następnego dnia po wprowadzeniu pierwszej partii osadu zaszcepowego, rozpoczęto monitoring parametrów biogazu (CH_4 , CO_2 , O_2 , H_2S) – rysunek 2. W pierwszej partii, w przeciągu czterech dni dodano do fermentatora 265 m³ osadu zaszcepowego. Wyniki dokonanych na tym etapie analiz były bardzo podobne i wynosiły średnio: $\text{CH}_4=3,5\%$,

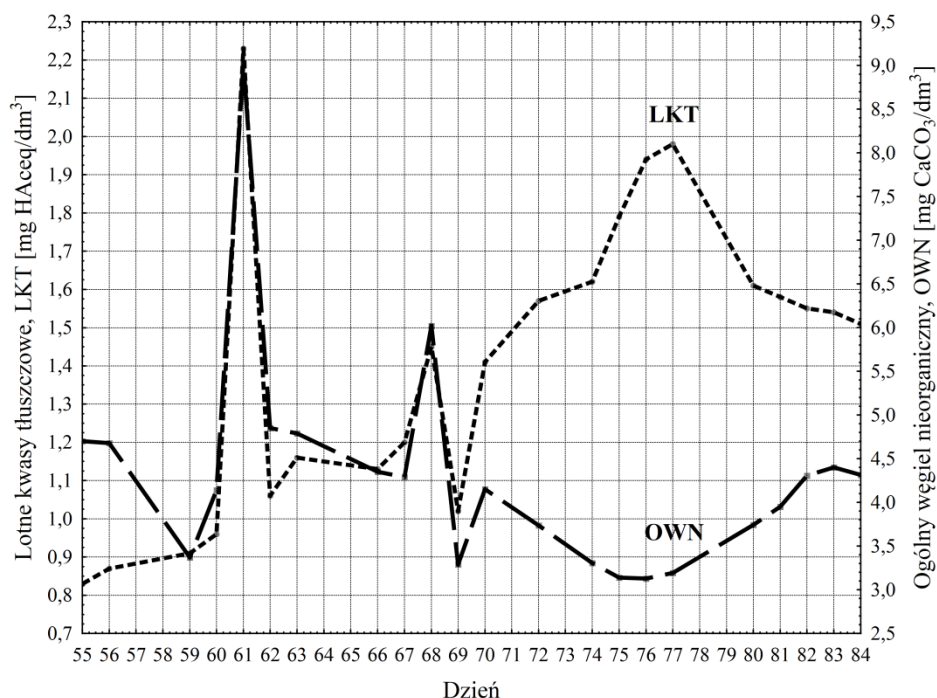
$\text{CO}_2=5,9\%$, $\text{O}_2=18,3\%$, $\text{H}_2\text{S}=72$ ppm. Na tym etapie produkcja metanu, ditlenku węgla oraz siarkowodoru była jeszcze bardzo niewielka. Do tego czasu gazy te powstały w wyniku fermentacji wcześniej dozowanej gnojowicy oraz poprzez dalszą fermentację osadu zaszczepowego. Natomiast wysoka zawartość tlenu była spowodowana obecnością dużej ilości powietrza atmosferycznego w fermentatorze. W fermentatorze, zawartość azotu w biogazie wynosiła ok. 72%.

W trakcie kolejnych dni (dni 35–44) masę fermentacyjną podgrzewano do zakładanej wartości 38°C oraz mieszano, tak aby bakterie znajdujące się w osadzie zaszczepowym rozprowadzić po całej objętości komory. Przez dziewięć dni, w przeciągu których nie wprowadzano substratu, parametry biogazu uległy zmianie osiągając następujące wartości: $\text{CH}_4=6,5\%$, $\text{CO}_2=7,7\%$, $\text{O}_2=16,8\%$, $\text{H}_2\text{S}=2$ ppm. Nastąpił wzrost procentowego stężenia: metanu z 3,5% do 6,5% (wzrost o 3%), ditlenku węgla z 5,9% do 7,7% (wzrost o 1,8%), spadek procentowego stężenia tlenu z 18,3% do 16,8% (spadek o 1,5%) oraz spadek zawartości siarkowodoru z 72 ppm do 2 ppm (spadek o 70 ppm). Zmiana wartości przedstawionych wskaźników, wynikała ze zwiększającej się produkcji biogazu, wypierającego powietrze atmosferyczne z komory oraz świadczyła o stopniowym namnażaniu się bakterii.

W dniach od 45 do 48 doprowadzono do komory kolejne 280 m^3 osadu zaszczepowego, a w dniach od 48 do 49 dodano kiszonkę z kukurydzy (łącznie 5 ton), w wyniku czego parametry biogazu uległy znacznej poprawie. Parametry biogazu w dniu 52 wynosiły: $\text{CH}_4=31,2\%$, $\text{CO}_2=19,2\%$, $\text{O}_2=8,4\%$, $\text{H}_2\text{S}=23$ ppm. Nastąpił wzrost procentowego stężenia metanu z 6,5% do 31,2% (wzrost o 24,7%), wzrost procentowego stężenia ditlenku węgla z 7,7% do 19,2% (wzrost o 11,5%), spadek procentowego stężenia tlenu z 16,8% do 8,4% (spadek o 8,4%) oraz wzrost zawartości siarkowodoru z 2 ppm do 23 ppm (wzrost o 21 ppm). Taka znaczna poprawa poszczególnych parametrów była spowodowana dodaniem znacznej ilości bakterii metanogennych zawartych w osadzie zaszczepowym oraz dostarczeniem do komory (dzień 48) kiszonki z kukurydzy, która jest nośnikiem białka i węglowodanów, stanowiących pożywkę dla bakterii.

W dniach od 52 do 54 została dostarczona ostatnia partia osadu zaszczepowego w ilości 105 m^3 . Również od dnia 52 rozpoczęto ciągłe dozowanie kiszonki z kukurydzy, rozpoczynając od niewielkich ilości,

sukcesywnie je zwiększając. W dniu 54 biogaz, pod względem stężenia metanu osiągnął wartość, pozwalającą na spalanie go w generatorach tj. $\text{CH}_4=55,6\%$ (do bezpiecznej eksploatacji silnika metan powinien stanowić min. 50% objętości biogazu). Pozostałe wartości badanych parametrów wyniosły odpowiednio: $\text{CO}_2=33,5\%$, $\text{O}_2=2,4\%$, $\text{H}_2\text{S}=305$ ppm.



Rys. 3. Wykres zmiany wartości wskaźnika lotnych kwasów tłuszczowych LKT oraz ogólnego węgla nieorganicznego OWN w zależności od czasu trwania rozruchu instalacji biogazowej z wykorzystaniem osadu zaszczipowego

Rys. 3. Course of volatile fatty acids (LKT) and total non-organic carbon (OWN) concentrations depending on duration of start-up of biogas installation with inoculating sludge application

Do bezpiecznej eksploatacji silnika stężenie siarkowodoru powinno być mniejsze niż 200 ppm (najlepiej poniżej 50 ppm). Pomiar analizy biogazu był wykonywany bezpośrednio z magazynu biogazu (dachu membranowego) w miejscu poboru próbek. W chwili prowadzenia pomiarów instalacja biologicznego odsiarczania metodą tlenową, nie była

uruchomiona ze względu na rzetelność pomiarów. Jednocześnie w początkowej fazie rozruchu, objętość wytwarzanego biogazu jest stosunkowo niewielka i nie zapewniłaby ciągłości pracy generatora, dlatego biogaz porcjowo był spalany w pochodni.

W 55 dniu badań rozpoczęto analizę masy fermentacyjnej - rysunek 3. Wraz ze wzrostem ilości dozowanej kiszonki z kukurydzy parametr masy fermentacyjnej LKT/OWN wzrastał od 0,18 (w dniu 55) do 0,34 (w dniu 70) i dążył do ustabilizowania się na stałym poziomie w zakresie 0,3–0,5.

Wraz ze wzrostem ilości dozowanej kiszonki z kukurydzy zwiększała się szybkość produkcji biogazu. Natomiast stężenie metanu ustabilizowało się na poziomie 51,8–65,8%. W dniu 63 została uruchomiana instalacja do biologicznego odsiarczania metodą powietrzną, co skutkowało obniżeniem stężenia siarkowodoru w dniu 70 do wartości 82 ppm. W dniu 70 został również uruchomiony pierwszy agregat kogeneracyjny.

W dniach od 70 do 75 stopniowo zwiększano dozowanie kiszonki z kukurydzy z 20 t/d do 31 t/d. Zaobserwowano wzrost wartości ilorazu LKT/OWN z 0,34 do 0,57. Wartość ilorazu LKT/OWN powinna utrzymywać się w zakresie od 0,3 do 0,5. Ze względu na zbyt duży wzrost wartości ilorazu LKT/OWN zdecydowano zmniejszyć dozowanie kiszonki z kukurydzy z 31 t/d do 27 t/d. Następnie w dniach od 76 do 84 utrzymywano dozowanie tego substratu na poziomie 27 t/d w celu ustabilizowania wartości ilorazu LKT/OWN. Rozpoczęto również przelewanie nadwyżek z komory fermentacji nr 1 do komory fermentacji nr 2, którą uprzednio wypełniono wodą do poziomu 2,5 m, a następnie wprowadzono kolejne partie osadu zaszczepowego, aby zainicjować rozruch komory fermentacji nr 2.

4. Podsumowanie

Na podstawie wyników analiz wykonanych podczas rozruchu instalacji biogazowej z wykorzystaniem osadu zaszczepowego można stwierdzić, że:

- dozowanie osadu zaszczepowego oraz następnie kiszonki z kukurydzy jako źródło białka i węglowodanów, stanowiącej znakomitą pożywkę dla bakterii metanogennych znajdujących się w osadzie zaszczepowym powoduje przyspieszenie procesu fermentacji oraz szyb-

- sze uzyskanie właściwych parametrów biogazu. W czasie 26 dni zawartość metanu wzrosła z 3,5% do maksymalnie około 65%. Ostatecznie po około 40 dniach zawartość metanu ustabilizowania się na stałym poziomie około 55%.
- istnieje wyraźna korelacja pomiędzy zmianą wartości metanu oraz ditlenku węgla i tlenu. Wartość ditlenku węgla wzrasta z około 6% do około 46%, natomiast po 84 dniach zawartość tlenu przyjmuje ostateczną wartość około 0,3%.
 - wraz ze wzrostem ilości dozowanej kiszonki z kukurydzy wartość ilorazu (parametr masy fermentacyjnej) LKT/OWN wzrasta, aż do momentu ustabilizowania się na stałym poziomie około 0,35.

Literatura

1. **Gattermann H., Kaltschmitt M., Niebaum A., Schattauer A., Scholwin F., Weiland P.:** *Biogaserzeugung und-nutzung*. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Leipzig 2006.
2. Przewodnik dla Inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych. Praca wykonana na zamówienie Ministerstwa Gospodarki. Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2011.
3. **Jin Yiyang, Wen Junjie, Nie Yongfeng, Chen Huanlin, Wang Guicai.:** *Biomass-biogas recycling technique studies of municipal food waste disposal*. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Tsinghua Yuan, Beijing 100084, PR China College of Materials Science and Chemical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, PR China.
4. **Jędrzak A.:** *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
5. **Kogut P., Piekarski J., Dąbrowski T., Kaczmarek F.:** *Biogazownie utylizacyjne jako propozycja utylizacji osadów ściekowych w odniesieniu do ustawodawstwa polskiego*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 14, 299–313 (2012).
6. **Sidelko R., Chmielińska-Bernacka A.:** *Application of compact reactor for methane fermentation of municipal waste*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 15, 683–693 (2013).
7. <http://www.bindergroup.info/binder/downloads/EN/BIDE-M-D-COMBIMASS-GA-m-EN-R08-Datenblatt-COMBIMASS-GA-m.pdf>
8. <http://www.alternative-energies.fr/site/wp-content/uploads/2012/07/FOS-TAC-2000-EN.pdf>

9. **Dąbrowski W.:** *A study of the digestion process of sewage sludge from a dairy wastewater treatment plant to determine the composition and load of reject water.* Water Practice & Technology. vol. 9, no 1, 2014.
10. **Struk-Sokolowska J., Ignatowicz K.:** *Municipal and Dairy Wastewater Co-treatment Using SBR Technology.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 15, 1881–1898 (2013).
11. **Ignatowicz K., Puchlik M.:** *Rotary Biological Contactor as Alternative for Small Amount of Wastewater Treatment.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 13, 1385–1404 (2011).
12. **Ignatowicz K.:** *Use of natural waste materials as sorbents for limiting the migration of pesticides from graveyards.* Przemysł Chemiczny, Vol. 87, Iss. 5, 2008.
13. **Ignatowicz K.:** *Occurrence Study of Agro-Chemical Pollutants in Waters of Supraśl Catchment.* Archives of Environmental Protection, vol. 35, no. 4, 2009.
14. **Uliasz-Misiak B.:** *Wpływ geologicznego składowania CO₂ na środowisko.* Mineral Resources Management (Gospodarka Surowcami Mineralnymi), IGSMiE PAN, Vol. 27, 2011.
15. **Szurlej A., Janusz P.:** *Gospodarka gazem ziemnym na rynku amerykańskim i europejskim.* Mineral Resources Management (Gospodarka Surowcami Mineralnymi), IGSMiE PAN, Vol. 29 (4), 2013.

Start-up of Biogas Plant with Inoculating Sludge Application

Abstract

Renewable energy sources are becoming increasingly important element in Poland's energy balance, constituting a characteristic value of the innovative and forward-looking economy. The paper presents an analysis of selected parameters of biogas, produced in methane digestion, during start-up of biogas plant with. The following substrates were used: water, slurry, corn silage and inoculating sludge. In addition, relationships between the type and quantity of applied substrate and obtained parameters of biogas and digester mass were presented and explained.

Słowa kluczowe: biogazownia, rozruch instalacji

Key words: biogas installation, start-up of installation