



OKREŚLENIE ILOŚCI UZYSKIWANIA BIOGAZU Z KOSUBSTRATU NA INSTALACJI BIOGAZOWEJ

Jakub Sikora, Bartłomiej Jagodziński
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

DETERMINATION OF QUANTITY OF BIOGAS YIELD FROM CO-SUBSTRATE IN THE BIOGAS INSTALLATION

Streszczenie

Produkcja biogazu jest uzależniona przede wszystkim od rodzaju, ilości oraz jakości podawanych substratów. Konsekwencja w dostarczaniu surowców wpływa pozytywnie na stabilność fermentacji metanowej. Dobór odpowiedniego rodzaju substratów jest bardzo ważny dla wydajności biogazowni. Głównym celem pracy było wyznaczenie wydajności kosubstratu stosowanego w biogazowni rolniczej. Substratami stosowanymi w biogazowni były: kiszonka kukurydziana oraz gnojowica świńska. W pracy została również określona ilość wytworzonej energii elektrycznej oraz wydajność fermentorów. Analiza została przeprowadzona na podstawie danych z jednego miesiąca pracy biogazowni. Wyniki analizy wykazały pozytywny wpływ stosowania substratu dodatkowego – gnojowicy świńskiej. W dniach, kiedy podawana była gnojowica świńska wzrastał uzysk biogazu. Największy uzysk biogazu z jednej tony kosubstratu był równy 210 (Nm³). Najmniejszy uzysk biogazu z jednego Mg substratu wynosił 178 (Nm³).

Słowa kluczowe: uzysk biogazu, kosubstrat, wydajność substratów

Abstract

Biogas production depends on: the type, quantity and quality of administered substrates. Consequence in the substrates supply has a positive effect on stability of the methane fermentation. The selection of the right kind of substrates is very important for the efficiency of biogas plants. The main aim of this thesis was to determine the efficiency of co-substrate used in agricultural biogas plant. Substrates used in biogas plant were: maize silage and pig slurry. The study has also determined the amount of electricity produced and the efficiency of fermenters. The analysis was conducted based on one month of biogas plant operation. The analysis proved that usage of additional substrate (pig slurry) has a positive effect on the yield of biogas. In the days when pig slurry was in use, biogas yield increased. The highest biogas yield per ton of co-substrate was equal to 210 (Nm³). The smallest biogas yield per ton of substrate was 178 (Nm³).

Keywords: *biogas yield, co-substrate, feedstock productivity*

WSTĘP

Idea wykorzystywania biogazu jako odnawialnego źródła energii stała się powszechna w wielu krajach. Jest to spowodowane licznymi zaletami tego biopaliwa gazowego. Końcowy produkt wytworzony w biogazowniach może być dostarczany do odbiorców w trzech formach: biogaz wprowadzany bezpośrednio do sieci, energia elektryczna produkowana przez generator napędzany silnikiem cieplnym oraz energia termiczna pochodząca z tego silnika. Wybór odpowiedniego rodzaju przesyłanej energii jest dostosowany do potrzeb oraz możliwości klientów. Zarówno ciepło jak i energia elektryczna na pierwszym miejscu wykorzystywane są na potrzeby własne biogazowni. Pozostała część tych produktów jest sprzedawana do okolicznych firm oraz gospodarstw.

Do produkcji biogazu można użyć każdej rośliny (oprócz roślin zdrewniałych). Wytwarzanie biogazu z roślin, które posiadają największą produktywność biomasy jest najbardziej efektywne. Przy doborze substratów do produkcji tego biopaliwa gazowego należy uwzględnić czynniki ekologiczne oraz ekonomiczne. Najbardziej opłacalnymi surowcami są odpady rolnicze, które mogą być pozyskiwane bez ponoszenia dodatkowych kosztów. Jednakże gospodarstwa rolne nie wytwarzają takiej ilości odpadów, które są wystarczające do pokrycia potrzeb większych biogazowni rolniczych. Z tego powodu prowadzone są uprawy roślin energetycznych, które wykorzystuje się do produkcji biogazu (Fugol i Szlachta 2010).

Tabela 1. Właściwości wybranych substratów do produkcji biogazu
Table 1. Properties of selected substrates for the production of biogas

Substraty	Zawartość suchej masy w świeżej masie (%)	Zawartość suchej masy organicznej w suchej masie (%)	Uzysk biogazu ($\text{Nm}^3\text{Mg}^{-1}\text{śm}$)	Uzysk biogazu ($\text{Nm}^3\text{Mg}^{-1}\text{s.m.o.}$)	Udział metanu (%)
Gnojowica krów	8-11	75-82	20-30	200-500	50-55
Gnojowica cieląt	10-13	80-84	20-25	220-560	50-57
Gnojowica świń	4-7	75-87	20-35	300-700	50-70
Kukurydza-kiszonka	20-35	85-95	170-200	450-700	50-55
Żyto GPS	30-35	92-98	170-220	550-680	ok. 55

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Myczko i in. (2011); Schattauer i in. (2006); Romaniuk i Domasiewicz (2014)

Source: Elaboration based on: Myczko et al. (2011); Schattauer et al. (2006); Romaniuk i Domasiewicz (2014)

Podczas doboru substratów należy kierować się ich stałą dostępnością. Jest to bardzo ważne ze względu na utrzymanie biogazowni w ciągłej pracy. Częste zmiany substratów wpływają niekorzystnie na produkcję biogazu. Wiąże się to z wrażliwością bakterii metanowych na zmiany środowiska, w którym żyją. Przystosowanie bakterii do nowych surowców może trwać około dwóch tygodni. Wznowienie całego procesu produkcji biogazu trwa od dwóch do siedmiu tygodni. Czas ten jest uzależniony od przyjętej technologii (Sikora i Mruk 2016).

Powstawanie nowych biogazowni ma pozytywny wpływ na rozwój wsi. Rolnicy posiadający gospodarstwa w okolicy biogazowni rolniczej mają możliwość zwiększenia oraz dywersyfikacji swoich dochodów. Przy uzyskaniu porozumienia z właścicielem mogą oni przeznaczyć dotychczas nieuprawiane pola pod uprawę odpowiednich roślin, a następnie sprzedaż ich jako substraty do pobliskiej biogazowni. Takie działanie przyczynia się do powstawania nowych miejsc pracy oraz zwiększenia produktywności gospodarstw rolnych. Biogazownie pozwalają też rozwiązać problem rolników związany z nagromadzeniem odpadów pochodzenia rolniczego, które są bardzo dobrym substratem często używanym przy produkcji biogazu. Podczas tradycyjnej likwidacji produktów ubocznych pochodzących z rolnictwa, nie jest do końca wykorzystywany ich potencjał energetyczny. Instalacje biogazowe są w stanie odzyskać dużą część energii z takich odpadów. Biogazownia również wytwarza produkt uboczny jakim jest masa pofermentacyjna. Stanowi ona doskonały nawóz, który pozytywnie wpływa na uprawę roślin.

CEL I ZAKRES BADAŃ

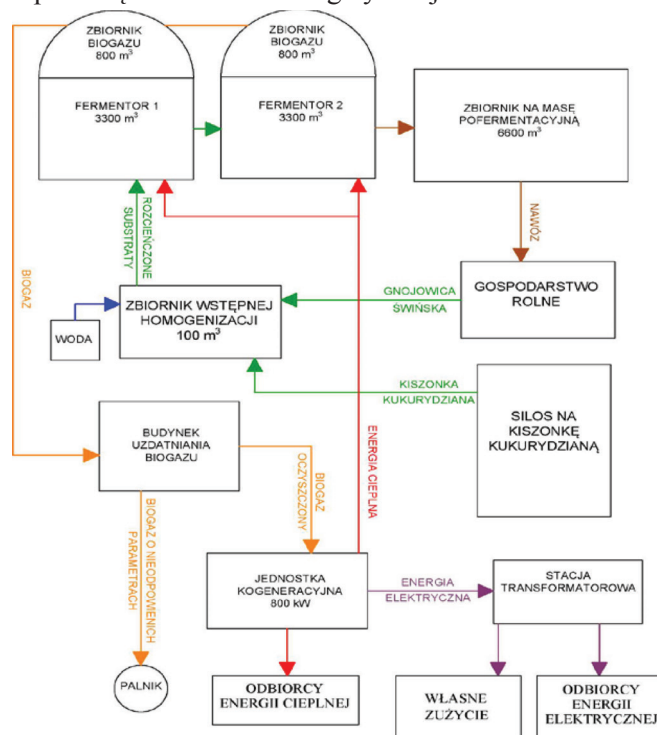
Celem pracy było wyznaczenie potencjału energetycznego substratów stosowanych w biogazowni rolniczej w przyjętym okresie czasu. Dane zostały pozyskane z istniejącej biogazowni o mocy 0,8MW. Potencjał energetyczny surowców został wyznaczony w instalacji biogazowej wykorzystującej kosubstrat składający się z kiszonki kukurydzianej oraz gnojowicy świńskiej. Pierwszy z surowców służy jako wsad podstawowy i jest produkowany na plantacjach roślin energetycznych. Jego średnie zużycie wynosi 32 Mg·doba⁻¹. Gnojowica świńska jest odpadem powstałym przy produkcji zwierzęcej. Służy jako substrat dodatkowy, a jej ilość dodawana do masy fermentacyjnej zależy od gospodarstw rolnych, z których jest pozyskiwana. Łącznie biogazownia zużywa kosubstrat w średniej ilości 40 Mg·doba⁻¹. W ciągu roku zapotrzebowanie na surowce do wytwarzania biogazu wynosi około 14500 Mg. Przy bezawaryjnej pracy dzienna produkcja energii elektrycznej w badanej biogazowni mieści się w zakresie od 17 MWh do 20 MWh. W ciągu roku może być wyprodukowane do około 7000 (MWh) energii elektrycznej. Początkowo zakładana produkcja biogazu wynosiła 8400 m³·doba⁻¹. W początkowych założeniach instalacja biogazowa miała wytworzyć przez cały rok 3066000 m³ biogazu przy 65% zawartości metanu.

MATERIAŁ I METODYKA

Dane na podstawie, których został określony potencjał energetyczny substratów biogazowych pozyskano dzięki czujnikom pomiarowym połączonym z systemem archiwizacji i sterowania biogazownią. System ten rejestruje dane z każdego dnia pracy instalacji biogazowej. Do realizacji celu niniejszej pracy zostały pozyskane następujące informacje: ilość surowców podawanych w ciągu dnia, ilość wyprodukowanego biogazu, zawartość metanu w biogazie, ilość wytworzonej energii elektrycznej, objętość mieszaniny w komorach fermentacyjnych. Czujniki pomiarowe służące do rejestracji tych parametrów są zainstalowane w miejscach takich jak: zbiornik wstępnej homogenizacji, budynek uzdatniania biogazu, jednostka kogeneracyjna, fermentory. Analiza danych została przeprowadzona na podstawie jednego miesiąca pracy biogazowni.

W ciągu rozpatrywanego miesiąca proces produkcji biogazu nie był przerwany przez awarie oraz inne czynniki. Substrat podstawowy (kiszonka kukurydziana) dostarczany był przez operatora biogazowni za pomocą ładowarki w zależności od poziomu mieszaniny w zbiorniku wstępnej homogenizacji. Jeśli czujnik pomiarowy wskazywał poziom minimalny, operator biogazowni rozpoczynał dostarczanie surowca. Czynność ta powtarzana była średnio 4 razy dziennie. Substrat dodatkowy w postaci gnojowicy świńskiej był dostarczany w omawianym miesiącu przez 21 dni i służył do rozcieńczenia kiszonki kukury-

dzianej. W pozostałych dniach surowiec podstawowy rozrzedzany był za pomocą wody. Po wstępnym wymieszaniu substratów następowało przepompowanie mieszaniny ze zbiornika wstępnej homogenizacji do komór fermentacyjnych. W fermentorach miał miejsce proces produkcji biogazu przy aktywności bakterii metanogennych. Hydrauliczny czas retencji surowców w komorach fermentacyjnych wynosił 32 dni. Temperatura mieszaniny poddawanej fermentacji wynosiła 39°C. Biogaz wydzielał się do membranowych zbiorników umieszczonych nad fermentorami. Powstałe paliwo było następnie dostarczane do budynku uzdatniania biogazu, gdzie następowało jego oczyszczenie oraz odpowiednie dostosowanie parametrów przed podaniem do silnika cieplnego. W tym budynku analizowany był także skład biogazu. Paliwo o dopuszczalnych parametrach było następnie transportowane do komory spalania silnika cieplnego. Biopaliwo gazowe napędzało silnik, wskutek czego została wytworzona energia cieplna oraz energia mechaniczna za pomocą, której napędzany był generator. W generatorze prądowtórzym następowała produkcja energii elektrycznej, którą przesyłano do odbiorców za pomocą sieci elektroenergetycznej.



Źródło / Source: Opracowanie własne / Own elaboration

Rysunek 1. Schemat blokowy rozpatrywanej biogazowni
Figure 1. Block diagram of the considered biogas plant

WYNIKI

Podczas analizy danych pozyskanych z biogazowni rolniczej został określony rzeczywisty uzysk biogazu z kosubstratu składającego się z kisonki kukurydzianej oraz gnojowicy świńskiej. Wyniki przedstawiają także potencjał energetyczny substratów stosowanych w omawianej instalacji biogazowej.

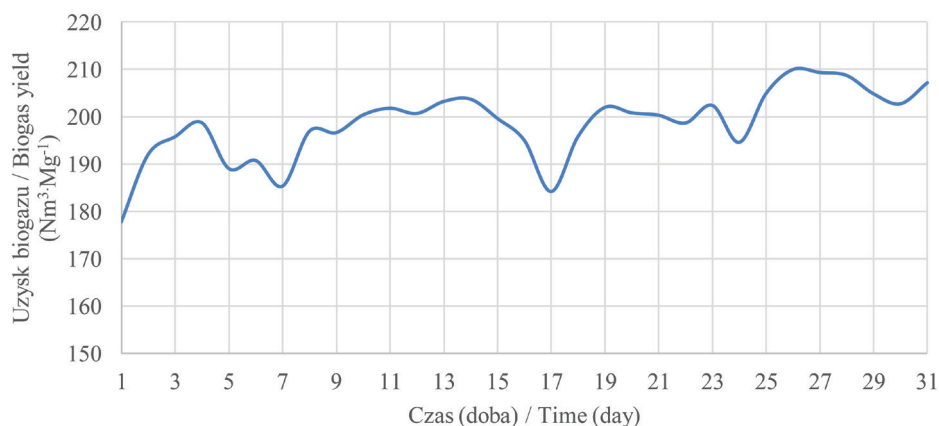
Tabela 2. Podstawowe dane przedstawiające działanie biogazowni w ciągu jednego miesiąca (marzec)

Table 2. Basic data presenting the functioning of a biogas plant during month (march)

Data	Ilość dostarczonej kisonki z kukurydzy (Mg)	Ilość dostarczonej gnojowicy świńskiej (Mg)	Ilość dostarczonej wody (Mg)	Łączna ilość dostarczonych substratów (Mg)	Stężenie metanu w biogazie (%)	Produkcja biogazu (Nm ³)	Produkcja energii elektrycznej (MWh)
1-03	32	-	30	62	54,20	11024	17,56
2-03	32	-	30	62	53,10	11905	19,19
3-03	32	30	-	62	54,30	12138	19,31
4-03	31	30	-	61	54,40	12121	18,37
5-03	32	30	-	62	54,30	11721	17,01
6-03	31	30	-	61	54,20	11635	17,56
7-03	32	30	-	62	54,50	11490	17,13
8-03	33	-	30	63	54,30	12405	18,77
9-03	33	-	30	63	54,10	12388	19,12
10-03	32	30	-	62	54,10	12423	19,22
11-03	32	30	-	62	54,20	12510	19,17
12-03	32	30	-	62	54,50	12442	19,17
13-03	32	30	-	62	54,30	12599	19,19
14-03	32	30	-	62	54,00	12629	18,88
15-03	32	-	30	62	54,60	12377	18,85
16-03	33	-	30	63	54,20	12285	19,28
17-03	32	30	-	62	54,10	11420	18,56
18-03	32	30	-	62	53,20	12141	19,17
19-03	32	30	-	62	53,60	12522	19,37
20-03	32	30	-	62	54,20	12450	18,99
21-03	32	30	-	62	53,70	12419	19,03
22-03	33	-	30	63	53,80	12516	19,50

Data	Ilość do- starczonej z kukury- dzy (Mg)	Ilość do- starczonej gnojowicy świńskiej (Mg)	Ilość dostarczo- nej wody (Mg)	Łączna ilość dostarczonych substratów (Mg)	Stężenie metanu w biogazie (%)	Produkcja biogazu (Nm ³)	Produkcja energii elektrycznej (MWh)
23-03	33	-	30	63	54,40	12750	17,71
24-03	32	30	-	62	54,60	12064	19,26
25-03	32	30	-	62	53,90	12705	19,01
26-03	32	30	-	62	53,90	13018	19,11
27-03	32	30	-	62	53,80	12979	19,15
28-03	32	30	-	62	53,90	12939	20,10
29-03	32	-	30	62	54,10	12699	16,41
30-03	32	-	30	62	54,30	12569	19,04
31-03	32	30	-	62	54,20	12844	19,05
Suma:	995	630	300	1925	-	382127	581,21
Średnia:	32,10	30	30	62,10	54,10	12326,68	18,75

Źródło / Source: Opracowanie własne / Own study



Źródło / Source: Opracowanie własne / Own study

Rysunek 2. Ilość biogazu otrzymana z 1 Mg wsadu
Figure 2. The quantity of biogas received from 1 Mg of feedstock

Rysunek 2 prezentuje zależność uzysku biogazu do masy wsadu na przestrzeni jednego miesiąca – marca. Na wykresie można zauważyć zwiększoną produkcję biogazu podczas dni, w których podawany był dodatkowy substrat – gnojowica świńska. Najmniejsza ilość biopaliwa gazowego została uzyskana

w pierwszym dniu miesiąca i wynosiła około $178 \text{ Nm}^3\text{Mg}^{-1}$. Największy uzysk biogazu z 1 Mg substratów zanotowano 26 marca i był równy około $210 \text{ Nm}^3\text{Mg}^{-1}$. W całym miesiącu zauważalny jest wzrost produkcji biogazu. Uzyski biogazu obliczone na podstawie rzeczywistych danych pozyskanych z istniejącej biogazowni są porównywalne z wartościami zawartymi w literaturze (Myczko i in.; Schattauer i in. 2011; Sikora i Tomal, 2016). Świadczy to o wysokiej jakości substratów dostarczanych do komór fermentacyjnych.

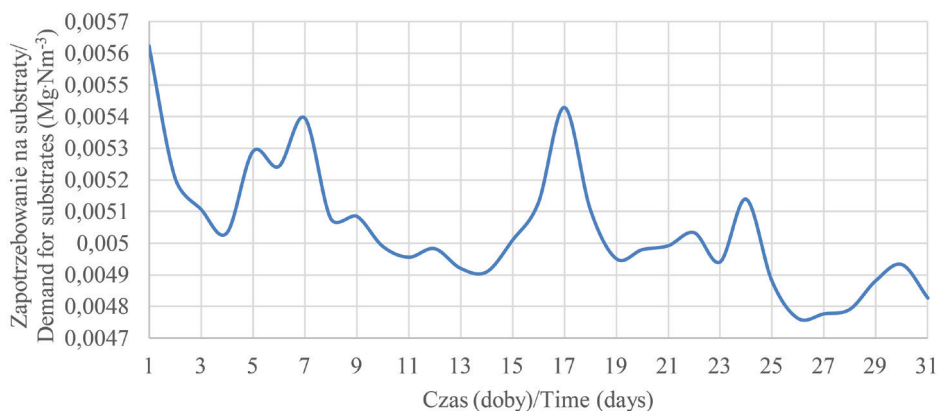
Tabela 3. Porównanie granicznych wartości rzeczywistego uzysku metanu w omawianej biogazowni z wartościami teoretycznymi

Table 3. Comparison of the limit values of the actual methane yield in the discussed biogas plant with the theoretical values

Data	Rodzaj wsadu	Rzeczywisty uzysk metanu* (Nm^3Mg)	Teoretyczny uzysk metanu** (Nm^3Mg)
01.03	Kiszonka kukurydziana	96	94
26.03	Kiszonka kukurydziana + gnojowica świńska	113	119

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: *danych pozyskanych z omawianej biogazowni (tab. 2), **<http://www.mae.com.pl/biogaz> oraz Sikora (2012)

Source: Own elaboration based on: *data from biogas plant (tab. 2), **<http://www.mae.com.pl/biogaz> and Sikora (2012)

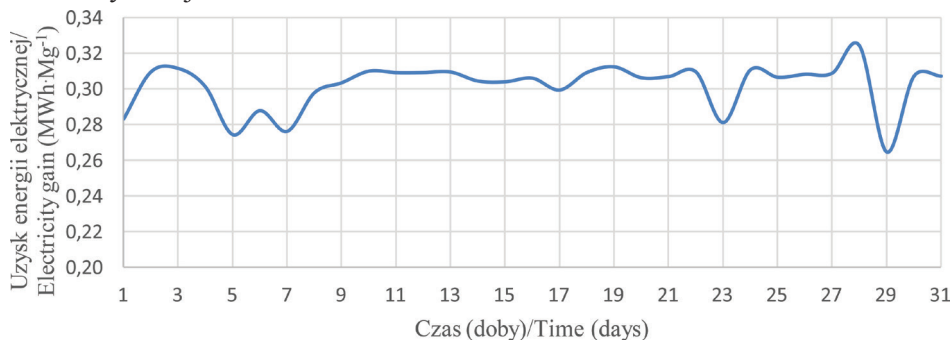


Źródło / Source: Opracowanie własne / Own study

Rysunek 3. Masa substratów potrzebna na wyprodukowanie 1 Nm^3 biogazu
Figure 3. The mass of substrates needed to produce 1 Nm^3 of biogas

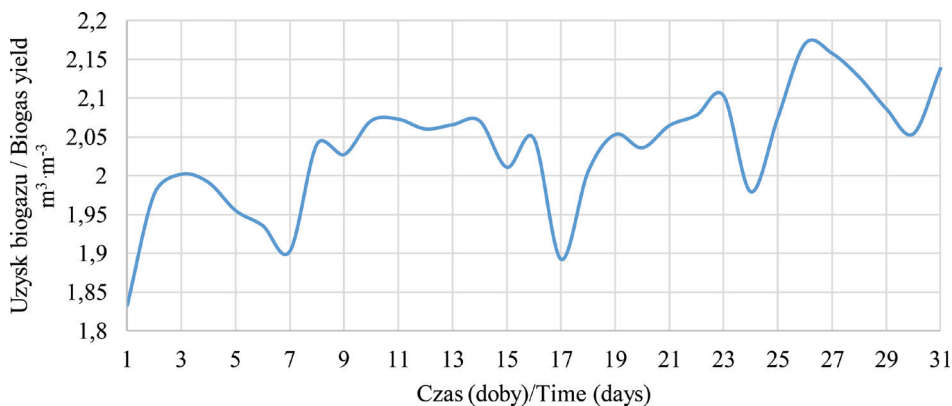
Wartości prezentowane w tabeli 3 przedstawiają rzeczywisty oraz teoretyczny uzysk CH_4 . Minimalny uzysk metanu, w przeciwieństwie do maksymal-

nego, został osiągnięty, podczas gdy do wsadu nie była dodawana gnojowica świńska. W przypadku podawania samej kiszonki kukurydzianej wydajność rzeczywista jest porównywalna z wydajnością teoretyczną. Przy drugim rodzaju wsadu można zauważyć, że wydajność teoretyczna jest niewiele większa od rzeczywistej.



Źródło / Source: Opracowanie własne / Own study

Rysunek 4. Ilość energii elektrycznej otrzymana z 1 Mg kosubstratu
Figure 4. The amount of electricity received from 1 Mg co-substrate



Źródło / Source: Opracowanie własne / Own study

Rysunek 5. Wydajność fermentorów
Figure 5. Efficiency of fermenters

Na drugim wykresie (rys. 3) przedstawiono z jakiej masy surowców biogazownia wyprodukowała 1 Nm³ biogazu. Największe zapotrzebowanie na substraty zarejestrowano 1 marca. W tym dniu potrzebne było 0,0056 Mg substratów na produkcję 1 Nm³ biopaliwa gazowego. Natomiast największą wydaj-

ność surowców odnotowano 26 marca. W tej dobie zużyto blisko 0,0048 Mg wsadu na wytworzenie 1 Nm³ biogazu. W całym miesiącu zapotrzebowanie na substraty zwiększało się wtedy, gdy nie była dostarczana gnojowica świńska.

Następny wykres (rys. 4) obrazuje ilość energii elektrycznej jaka została wyprodukowana z 1 (Mg) wsadu. Wartość minimalna została osiągnięta 29 marca i wynosiła prawie 0,27 MWh. Wartość maksymalną (blisko 0,33 MWh) zanotowano 28 marca. Spadki ilości wyprodukowanej energii elektrycznej z 1 Mg wsadu zaobserwowano podczas dni, w których nie dostarczano gnojowicy świńskiej.

Omaiwana biogazownia zużywa około 10% wytworzonej energii elektrycznej na własne potrzeby. W ciągu dnia na ten cel wykorzystywane jest średnio 1,9 MWh energii elektrycznej. W rozpatrywanym miesiącu zapotrzebowanie na energię elektryczną wyniosło około 58 MWh. Przez cały rok w instalacji biogazowej zużywane jest około 800 MWh energii elektrycznej.

Na rysunku 5 przedstawiono zależność ilości wytworzonego biogazu do całkowitej objętości mieszaniny w komorach fermentacyjnych. Podobnie jak na poprzednich wykresach można zauważyć doby, w których nie podawano dodatkowego substratu. W tych dniach spadała wydajność fermentorów. Najmniejszą wydajność fermentory osiągnęły 1 marca, a największą 26 marca. Wydajność komór fermentacyjnych rośnie, na przestrzeni całego miesiąca, wraz ze wzrostem ilości gnojowicy świńskiej w całkowitej objętości mieszaniny zawartej w fermentorach.

WNIOSKI

W pracy została określona rzeczywista wydajność substratów stosowanych podczas jednego miesiąca działania biogazowni o mocy 0,8MW. Cel pracy zrealizowano na podstawie pozyskanych danych, z których określono zależności związane z rodzajem substratów dostarczanych do komór fermentacyjnych.

W rozpatrywanym miesiącu uzysk biogazu obejmował przedział od 178 do 210 Nm³Mg⁻¹. Łączna produkcja biogazu wyniosła 382127 Nm³. Na wyprodukowanie 1 Nm³ biogazu zużywano od blisko 0,0048 do 0,0056 Mg surowców. W ciągu miesiąca zużyto 995 Mg kiszonki kukurydzianej, 630 Mg gnojowicy świńskiej oraz 300 Mg wody. Wydajność produkcji energii elektrycznej w omawianym miesiącu obejmowała przedział od prawie 0,27 do 0,33 MWhMg⁻¹. W sumie wytworzone zostało 581,21 MWh energii elektrycznej, z czego około 58 MWh zużyto na potrzeby własne biogazowni.

Przed rozpoczęciem eksploatacji badanej biogazowni została przyjęta zawartość metanu w biogazie na poziomie 65%. Przy takim stężeniu CH₄ dzienna produkcja biogazu miała być równa 8400 Nm³. Dane rzeczywiste pokazują, że średnia zawartość metanu wynosi 54% (tab. 2). W celu lepszego wykorzystania

potencjału energetycznego jednostki kogeneracyjnej została zwiększona produkcja biogazu do średnio 12 300 Nm³doba⁻¹.

Dodawanie gnojowicy świńskiej do substratu podstawowego (kiszonki z kukurydzy) miało pozytywny wpływ na proces fermentacji metanowej. W okresach, w których przez dłuższy czas mieszaninę fermentacyjną stanowiły jednocześnie dwa substraty następowała stabilizacja procesu oraz wzrost produkcji biogazu. W tym czasie poprawiała się także wydajność komór fermentacyjnych. Zastosowanie substratu dodatkowego w postaci gnojowicy świńskiej miało również zalety ekonomiczne. Surowiec ten jest odpadem rolniczym i dlatego też nie były ponoszone dodatkowe koszty związane z jego pozyskaniem. W dniach dodawania gnojowicy świńskiej nie była także zużywana woda służąca jako rozcieńczalnik kiszonki kukurydzianej.

PODZIĘKOWANIA

Publikacja oraz badania zostały sfinansowane z dotacji celowej na naukę przyznanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach DS-3600/WIPIE/2018.

LITERATURA

Fugol, M., Szlachta, J. (2010) *Zasadność używania kiszonki z kukurydzy i gnojowicy do produkcji biogazu*, Inżynieria Rolnicza, Wrocław: 169.

Myczko, A., Myczko, R., Kołodziejczyk, T., Golimowska, R., Lenarczyk, J., Janas, Z., Kliber, A., Karłowski, J., Dolska, M. (2011). *Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych. Poradnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych*, Warszawa, Poznań: 16-21.

Romaniuk, W., Domasiewicz, T. (2014) *Substraty dla biogazowni rolniczych*, Hortpress Sp. z o.o. Warszawa: 4 – 10.

Schattauer, A., Scholwin, F., Gattermann, H., Weiland, P., Niebaum, A., Kaltschmitt, M. (2006) *Biogaz. Produkcja wykorzystywanie*. Institute für Energetik und Umwelt gGmbH: 124-140.

Sikora, J. (2012). *Badanie efektywności produkcji biogazu z frakcji organicznej odpadów komunalnych zmieszanej z biomasą pochodzenia rolniczego*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. IV/(2): 89-98.

Sikora, J., Mruk, B. (2016). *Analiza wydzielanego biogazu z wsadów skomponowanych na bazie dostępnych frakcji w gospodarstwie rolnym*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. III (2): 907-917, doi: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2016.3.2.066>.

Sikora, J., Tomal, A. (2016). *Wyznaczenie potencjału energetycznego biogazu w wybranym gospodarstwie rolnym*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. III (2): 971-982 doi: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2016.3.2.071>.

Autor do korespondencji: Dr inż. Jakub Sikora
Inż. Bartłomiej Jagodziński
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Instytut Inżynierii Rolniczej i Infrastruktury
Zakład Infrastruktury Technicznej i Eko-energetyki
Ul. Balicka 116b
30-149 Kraków
tel: +48 12 662 46 60
e-mail: Jakub.Sikora@ur.krakow.pl

Wpłynęło: 23.03.2018

Akceptowano do druku: 07.06.2018