



## **WYZNACZENIE POTENCJAŁU ENERGETYCZNEGO BIOGAZU W WYBRANYM GOSPODARSTWIE ROLNYM**

*Jakub Sikora, Aleksandra Tomal*  
*Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

### **DETERMINATION OF THE ENERGY POTENTIAL OF BIOGAS IN SELECTED FARM HOUSEHOLD**

#### *Streszczenie*

Produkcja biogazu w Polsce corocznie zwiększa swój udział w wytwarzaniu energii odnawialnej kraju, a także stanowi doskonałą metodę zagospodarowania odpadów organicznych z rolnictwa oraz przemysłu rolno-spożywczego. Powstały w wyniku fermentacji metanowej biogaz jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej jak i ciepłej.

Celem pracy było wyznaczenie ilości wydzielanego biogazu, z dostępnej biomasy, uzyskanej w wyniku działalności rolniczej gospodarstwa, zlokalizowanego w miejscowości Kazimierza Wielka. Na podstawie otrzymanych wyników obliczono ilość energii możliwą do uzyskania z dostępnej biomasy w gospodarstwie rolnym. Wszystkie badania nad jakością i ilością wydzielonego biogazu zostały przeprowadzone w laboratorium biogazowni znajdującym się na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Badaniu zostały poddane następujące frakcje pochodzenia rolniczego: liście buraka cukrowego, korzeń buraka cukrowego, słoma z kukurydzy oraz kiszonka z kukurydzy.

Na podstawie dostępnych materiałów oraz przeprowadzonych badań, dobrano generator tłokowy o mocy 350 kW a całkowita energia możliwa do wytworzenia wynosi ok. 2806 MWh. Na podstawie przeprowadzonej analizy

wynika, że badane gospodarstwo rolne może prowadzić działalność związaną z produkcją biogazu, która będzie stanowić dywersyfikację jego dochodów.

**Słowa kluczowe:** Biogaz, biogazownia rolnicza, fermentacja metanowa, odnawialne źródła energii.

### *Abstract*

*The production of biogas in Poland each year is increasing its share in renewable energy in the country, it is an excellent method of waste disposal as well. Biogas produced in the process of methane fermentation is used to produce electricity and heat.*

*Determining the amount of biogas produced as a result of methane fermentation of available biomass generated from a selected farm household.*

*This research dissertation was written on the basis of the available literature concerning the production of biogas and renewable energy sources the research methodology was based on the German standard DIN 38414.*

*Using the available materials and research studies, a 350 kW piston generator was chosen; the total energy possible to be generated is approx 2806 MWh. As is clear from the foregoing, farm household under study can engage in the production of biogas, which will provide additional income for farmers.*

**Keywords:** *biogas, agricultural biogas plant, methane fermentation, renewable energy sources.*

## WSTĘP

W ciągu ostatnich lat, w wyniku wzrostu zapotrzebowania na energię na świecie można zauważyć oznaki tzw. kryzysu energetycznego. Wzrastające ceny konwencjonalnych źródeł energii takich jak gaz ziemny, ropa naftowa czy paliwa kopalne, wymuszają użycia alternatywnych rozwiązań w celu ochrony naturalnych zasobów środowiska. Są nimi odnawialne źródła energii (OZE) ([www.zielonetechnologie.pl](http://www.zielonetechnologie.pl)).

Odnawialne źródła energii, to odnawialne, niekopalne źródła energii obejmujące energię wiatru, energię promieniowania słonecznego, energię aerotermalną, energię geotermalną, energię hydrotermalną, hydroenergię, energię fal, prądów i pływów morskich, energię otrzymywaną z biomasy, biogazu, biogazu rolniczego oraz z biopłynów (ustawa o Odnawialnych Źródłach Energii z dnia 20 lutego 2015 r.).

Z pośród wielu rozwiązań wytwarzania odnawialnych źródeł energii, warto zwrócić uwagę na produkcję biogazu. Produkcja tego rodzaju energii

dynamicznie rozwija się w wielu krajach np. w Niemczech, Szwecji i Holandii. W roku 2011 na terenie Unii Europejskiej produkcja energii elektrycznej z biogazu szacowało się na ok. 10085,8 (ktoe) (kilo ton oleju ekwiwalentnego). Można zauważyć, że udział produkcji energii z biogazu w Polsce z roku na rok wzrasta, w 2011 roku wyniósł ok. 135,4 (ktoe), z czego składowiska odpadów wyprodukowały ok. 67,8 (ktoe), oczyszczalnie ścieków 47,5 (ktoe), natomiast biogazownie rolnicze tylko 20,1 (ktoe). (EurObsrv'er Parsi – France, 2012).

W Polsce produkcja biogazu ma dużą szanse rozwijania się, ze względu na jej uniwersalność, w związku z faktem, iż można ją wykorzystać zarówno do produkcji energii elektrycznej jak i ciepłej. Również łatwość lokalizacji oraz dostępność substratów powoduje coraz większe zainteresowanie inwestorów. Kolejną zaletą jest pozyskanie surowców z produkcji odpadowej np. z oczyszczalni ścieków, co stanowi nową metodę utylizacji odpadów oraz ograniczenia ich powstawania. Istnieją jednak pewne ograniczenia np. wysoki koszt budowy i utrzymania instalacji, zapewnienie ciągłej dostawy surowców, jak i odpowiednie ich przechowywanie (Podkówka, 2012).

Do roku 2020 r. w krajach wysokorozwiniętych, należących do Unii Europejskiej udział odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym – paliwowym musi osiągnąć ok. 20% (w Polsce 15%). Należy zwrócić uwagę, że wielkość ta została opracowana na podstawie rozwoju nowych technologii wykorzystujących odnawialne źródła energii, oraz możliwości dofinansowania instalacji przez fundusze unijne (Tytko, 2013).

Światowym liderem w produkcji energii ze źródeł odnawialnych są Niemcy, posiadają ok. 23% udziału energii wyprodukowanej z OZE w całym bilansie energetycznym. Jak się okazuje przyczyną dużych różnic w produkcji energii ze źródeł odnawialnych są ograniczenia techniczne i finansowe poszczególnych państw (EurObsrv'er Parsi – France, 2012).

W Polsce produkcja energii ze źródeł odnawialnych w dalszym ciągu zajmuje jedno z ostatnich miejsc. W 2010 r. udział energii elektrycznej wytworzonej z OZE wyniósł ok. 7,5%. Wynika to m. in. z położenia geograficznego Polski oraz zasobności naszego kraju bogate złoża węgla. A także z braku stałych i silnych wiatrów wprawiających w ruch turbiny wiatrowe. Zbyt małą ilość godzin słonecznych, wystarczających do efektywnego wykorzystania paneli słonecznych. Na szczęście będąc członkiem Unii Europejskiej, jesteśmy zobowiązani do przestrzegania narzuconych nam norm, w tym przedstawienia się na odnawialne źródła energii (Tytko, 2013).

Należy przypuszczać, że w ciągu najbliższych lat wzrośnie zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii. Racjonalne korzystanie z energii wytworzonej ze źródeł odnawialnych, przyczynia się do zrównoważonego rozwoju gospodarki, przynosząc wyraźny efekt ekologiczno – energetyczny. Reasumując kraje wspierające rozwój niekonwencjonalnych źródeł energii, chronią naturalne zasoby energetyczne. Wpływają pozytywnie na poprawę stanu środowiska, dzięki

redukcji zanieczyszczeń dostarczanych do atmosfery i wód powierzchniowych. A także redukują ilość wytwarzanych odpadów (Tytko, 2013).

Celem pracy było wyznaczenie ilości wydzielanego biogazu, z dostępnej biomasy, uzyskanej w wyniku działalności rolniczej gospodarstwa, zlokalizowanego w miejscowości Kazimierza Wielka. Na podstawie otrzymanych wyników obliczono ilość energii możliwą do uzyskania z dostępnej biomasy w gospodarstwie rolnym.

Zakres wykonanej pracy obejmował: Z gospodarstwa rolniczego zostały pobrane próbki poszczególnych surowców do fermentacji metanowej. Następnie próbki zostały odpowiednio zabezpieczone i dostarczone do laboratorium biogazu Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, w celu przygotowania ich do dalszej analizy. Drugi etap dotyczył wykonania badań w laboratorium biogazu należącym do UR w Krakowie. W tym przygotowanie wsadów, przy wcześniejszym rozdrobnieniu oraz określeniu wilgotności materiałów. Następnie przez okres 30 dni, badany materiał był obserwowany pod względem ilości wytworzonego biogazu w tym udziale metanu. A wyniki zostały automatycznie zapisane na komputerze pracowni. Ostatni etap analizy dotyczył analizy otrzymanych wyników oraz obliczeniu poszczególnych parametrów: potencjału energetycznego biogazu, mocy nominalnej generatora prądotwórczego w układzie kogeneracyjnym, a także poszczególnych objętości: silosów na substraty, komory fermentacyjnej, zbiornika biogazu oraz zbiornika na masę pofermentacyjną.

## **METODYKA BADAŃ**

Gospodarstwo rolne, na podstawie którego zostały przeprowadzone badania położone jest w powiecie kazimierskim w województwie świętokrzyskim. Powiat ten, ze względu na położenie geograficzne charakteryzuje się bardzo dobrymi walorami przyrodniczo – rolniczymi. Wynikające z pokrycia lessowego znacznej części powiatu, na którym ukształtowały się urodzajne gleby zwane czarnoziemy, jednakże są to tereny o mocno pagórkowatym ukształtowaniu, które stwarzają lokalnym rolnikom wiele problemów ([www.kazimierzaw.pl](http://www.kazimierzaw.pl)).

Główna siedziba gospodarstwa znajduje się we wsi Plechówka w gminie Kazimierza Wielka. W roku 2015 powierzchnia gospodarstwa wynosiła ok. 290 ha gruntów ornych, natomiast całkowita powierzchnia działalności rolniczej obejmuje aż pięć gmin, w tym Kazimierzę Wielką, Skalbmierz, Bejsce, Czarnocin i Opatowiec. Poważnym problemem w rozbudowie gospodarstwa jest niekorzystne ukształtowanie terenu (pagórki) oraz rozdrobnienie działek, gdyż na 290 ha składa się ponad 200 działek rolniczych.

Pola uprawne należące do gospodarstwa posiadają zróżnicowaną bonitację, od klasy 1 do klasy 5b. W celu poprawienia warunków glebowych, co 4 lata

przeprowadzane są analizy glebowe w Stacji Chemiczno – Rolniczej. Wyniki analiz pokazują duże zróżnicowanie w zasobności gleby. Poziom pH utrzymuje się na optymalnym poziomie (5,5-7,5 pH). Zasobność w fosfor jest zróżnicowana od bardzo wysokiej do niskiej. Ilości potasu na większości polach jest zdecydowanie za mało, natomiast zasobność magnezu jest bardzo wysoka. W celu podniesienia zasobności w próchnicy, stosuje się niezbędne nawozy, a także przyorywane są wszystkie resztki poźniwne tzn. słoma i liście buraków.

Obecnie gospodarstwo nastawione jest na produkcję roślinną. Uprawiane są podstawowe rośliny rolnicze: buraki cukrowe, kukurydza, pszenica i rzepak. Podstawową uprawą rolniczą gospodarstwa są buraki cukrowe, ponieważ przynoszą największy dochód a ich uprawa jest najstabilniejsza. Niestety z powodu nałożonych przez cukrownie limitów, burak cukrowy uprawiany jest na powierzchni ok. 45-55 ha. Rośliną zamienną dla buraka jest kukurydza przeznaczona na ziarno. Natomiast największą powierzchnię upraw stanowi pszenica (głównie ozima), uprawiana corocznie na powierzchni ok. 110-130 ha. Rolę przedplonów spełnia rzepak, uprawiany po pszenicy na powierzchni ok. 50-70 ha.

Wszystkie badania nad jakością i ilością wydzielonego biogazu zostały przeprowadzone w laboratorium biogazowni znajdującym się na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Badaniu zostały poddane następujące frakcje pochodzenia rolniczego: liście buraka cukrowego, korzeń buraka cukrowego, słoma z kukurydzy, kiszonka z kukurydzy.

Wszelkie badania zostały opracowane na podstawie niemieckiej normy DIN 38414. W wyniku, której zostały określone ilości wytworzonego biogazu z poszczególnych wsadów. Badania zostały przeprowadzone w warunkach statycznych, polegających na jednokrotnym wprowadzeniu badanego materiału do komory fermentacyjnej a następnie utrzymywanie procesu do końca fermentacji (Frączek i in., 2014).

Przed rozpoczęciem badań, pobrany z gospodarstwa materiał został rozdrobiony, następnie z frakcji o ciekłej konsystencji zostało pobranych po pięć próbek o masie ok. 10 g każda. W celu określenia wilgotności wsadu na wag-suszarce. Z frakcji o luźnej strukturze zostały pobrane próbki o wadze ok. 2 kg iwysuszone w suszarce konwekcyjnej z wymuszonym obiegiem powietrza Elkon 110 w temperaturze ok. 105°C. W czasie ustalenia równowagi wagowej tzn., braku ubytku masy po trzech kolejnych pomiarach, suszarka została wyłączona a wysuszone próbki ponownie zważone (Sikora, 2012). Wszystkie te czynności miały na celu wyznaczenia wilgotności, które zostały obliczone na podstawie zależności:

$$w_f = \left( \frac{m_p}{m_k} - 1 \right) \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

gdzie:

$w_f$  – wilgotność frakcji (%),  
 $m_p$  – masa początkowa próbki (g),  
 $m_k$  – masa końcowa próbki (g).

Na podstawie uzyskanej wilgotności poszczególnych frakcji zostały wyznaczone masy wsadów zgodnie z zależnością:

$$m_f = \frac{m_{sf}}{100 - w_f} \times 100 \quad (g) \quad (2)$$

gdzie:

$m_f$  – masa frakcji (g),  
 $m_{sf}$  – sucha masa frakcji poddana fermentacji (g),  
 $w_f$  – wilgotność frakcji (%).

W celu określenia intensywności oraz ilości wydzielonego biometanu z badanych próbek zastosowano specjalne fermentory o pojemności 2 dm<sup>3</sup> każdy. Zawartość fermentorów stanowi zawartość suchej masy danych frakcji oraz woda, która uwodni rozdrobniony materiał do wilgotności 90%, tworząc optymalne warunki do rozwoju bakterii mezofilowych. Tak przygotowane wsady zostały wprowadzone w ilości 1000 g do pojemników fermentacyjnych (Sikora i in., 2012).

Pomiary zostały wykonywane przez 30 dni, dwa razy na dobę a wyniki zapisywane na komputerze, znajdującym się w laboratorium. Pierwszy pomiar został zapisany w dniu umieszczenia wsadu do fermentorów a następnie do zbiornika z płaszczem wodnym. W czasie pomiarów próbki były mieszane, ponieważ zabieg ten zwiększał intensywność fermentacji. Temperatura wody znajdująca się w zbiorniku była stała i wynosiła 40°C, jest to optymalna temperatura dla wzrostu bakterii mezofilowych (Sikora i in., 2012).

**Objętość zbiornika wstępnego gnojowicy** (zależność nr. 3). W której przyjęto strumień masy substratu i czas przechowywania gnojowicy w zbiorniku (10-11 dni). Współczynnik wypełnienia zbiornika urządzeniami technicznymi wynosi 25%.

$$m_f = \frac{M_{sub}}{\rho_{sub}} \times T_{zb.w.} \times 1,25 \quad (m^3) \quad (3)$$

gdzie:

$M_{sub}$  – strumień masy substratu (t·d<sup>-1</sup>),  
 $\rho_{sub}$  – gęstość właściwa substancji (kg·m<sup>-3</sup>, t·m<sup>-3</sup>),  
 $T_{zb.w.}$  – okres przechowywania gnojowicy w zbiorniku wstępnym (d),  
1,25 – współczynnik objętości zajmowanej przez powietrze oraz osprzęt techniczny wewnątrz zbiornika.

**Objętość silosu (zbiornika) na poszczególne masy wsadowe** (równanie nr 4) wyznaczono z zależności od strumienia substratu jaki można było uzyskać z plantacji do gęstości właściwej substratu.

$$V_{zb.w.} = \frac{M_{sub}}{\rho_{sub}} \quad (m^3) \quad (4)$$

gdzie:

$M_{sub}$  – strumień masy substratu (trok<sup>-1</sup>),  
 $\rho_{sub}$  – gęstość właściwa substratu (tm<sup>-3</sup>).

**Objętość komory fermentacyjnej** (równanie nr 5) określono z zależności dobowego strumienia substratu pochodzącego od utrzymywanego stada zwierząt oraz masy pochodzącej z gospodarstwa rolniczego, do gęstości właściwej. Przyjęto czas fermentacji mas słabo rozpuszczalnych w wodnie, czyli 30 dni.

$$V_{kf} = \frac{M_{sub}}{\rho_{sub}} \times T_r \times 1,25 \quad (m^3) \quad (5)$$

gdzie:

$T_r$  – wskaźnik okresu retencji (czas fermentacji) (d),  
 $1,25$  – współczynnik objętości zajmowanej przez powietrze oraz osprzęt techniczny wewnątrz komory.

**Moc nominalna generatora prądotwórczego w układzie kogeneracyjnym** (równanie nr 7) wyznaczono z zależności, w której określony strumień biogazu wytwarzany z wsadów pomnożono przez wartość opałową biogazu. Uzyskany wynik pomnożono przez sprawność generatora, następnie pomnożono przez czas wprowadzania biogazu.

$$E_n = \frac{E_{tot} \times \eta_{el}}{T_p} \quad (kW) \quad (6)$$

$$E_{tot} = V_{sub} \times Q_{bio} \quad (kWh) \quad (7)$$

gdzie:

$E_{tot}$  – całkowita energia cieplna zawarta w paliwie (kWh),  
 $\eta_{el}$  – sprawność przetwarzania energii elektrycznej (%),  
 $T_p$  – czas wprowadzania biogazu (h),  
 $V_{sub}$  – strumień objętości biogazu (m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>),  
 $Q_{bio}$  – wartość opałowa biogazu (kWhm<sup>-3</sup>).

**Objętość zbiornika biogazu** (równanie nr 8) powinien być tak dobrany, aby zapas produkcyjny równał się połowie objętości komory fermentacyjnej.

$$V_{bio} = \frac{V_{kf}}{2} \quad (m^3) \quad (8)$$

gdzie:

$V_{kf}$  – objętość komory fermentacyjnej ( $m^3$ ).

**Objętość zbiornika na masę pofermentacyjną** (równanie nr 9) została wyznaczona z założenia, że czas przechowywania masy pofermentacyjnej wynosi 90 dni, ponieważ gospodarstwo nie jest położone na terenie ONW (obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania). Należy podkreślić, że wypełnienie komory urządzeniami technicznymi wynosi 10%.

$$V_{zb.po.} = \frac{M_{sub}}{\rho_{sub}} \times T_{po} \times 1,1 \quad (m^3) \quad (9)$$

gdzie:

$T_{po}$  – okres przechowywania masy pofermentacyjnej w zbiorniku (d),

$I, I$  – współczynnik objętości zajmowanej przez powietrze oraz osprzęt techniczny wewnątrz zbiornika.

## WYNIKI BADAŃ

Do badań zostały przyjęte następujące frakcje biomasy występujące w badanym gospodarstwie kiszonka z kukurydzy, słoma z kukurydzy, korzeń buraka cukrowego oraz liście buraka cukrowego. Dodatkowo w obliczeniach została uwzględniona gnojowica bydłowa jako substrat uzupełniający mieszankę. Ilość uzyskanej gnojowicy równa się ilości planowanego stada zwierząt w liczbie 60 SD.

W tabeli 3 przedstawiono plony substratów, które zostały uzyskane przez gospodarstwo w 2015 r., a także uśrednioną wartość uzysku gnojowicy dla jednej sztuki dużej. Dane zawarte w poniższej tabeli zostały wykorzystane do dalszych obliczeniach.

**Tabela 1.** Plon substratu wykorzystywanego do produkcji biogazu z 2015 r.

**Table 1.** The yield of the substrate used to produce biogas from 2015.

Substrat	Plon ( $t\text{ha}^{-1}$ )
Kiszonka z kukurydzy	40
Słoma z kukurydzy	20
Korzeń buraka cukrowego	70
Liście buraka cukrowego	45
Substrat	Uzysk dobowy biogazu ( $m^3\text{SD}^{-1}$ )
Nawozy naturalne	0,125



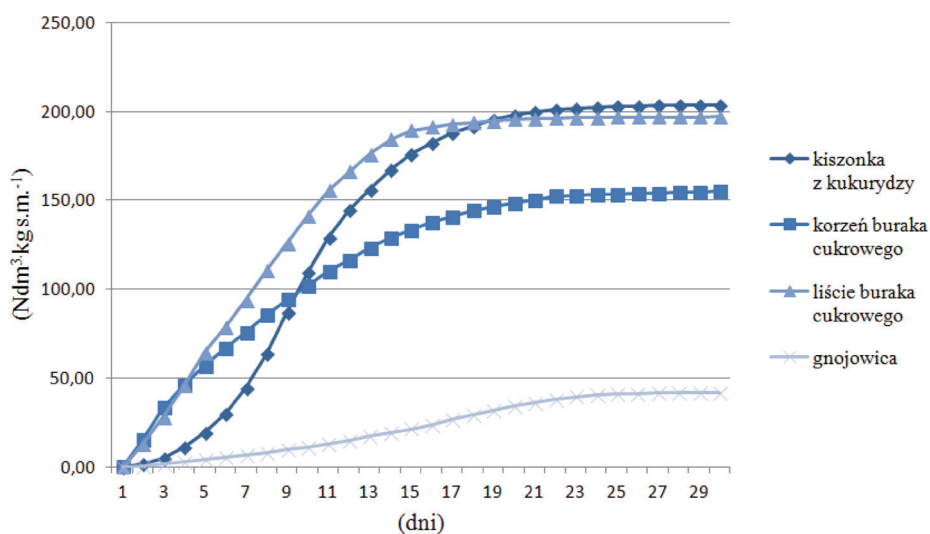
Rysunek 1 przedstawia przebieg wzrostu ilości wytworzonego biogazu w czasie trwania eksperymentu, w odniesieniu do suchej masy wsadu. Z którego widać, że najbardziej produktywną próbką jest kiszonka z kukurydzy – 203,63 ( $\text{Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ ) oraz liście buraka cukrowego – 197 ( $\text{Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ ).

Z wykresu można zauważyć, że proces fermentacji liści buraka cukrowego oraz korzenia buraka cukrowego przebiegał prawidłowo, tzn. w początkowej fazie procesu widać gwałtowny przyrost biogazu a następnie jego stopniową stabilizację. Inaczej zachowuje się próbka kiszonki z kukurydzy, ze względu na widoczne początkowe opóźnienie, spowodowane prawdopodobnie niskim pH wsadu.

Najmniej produktywną próbką okazała się gnojowica – 41,84 ( $\text{Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ ), jednakże zaleca się stosowanie gnojowicy wraz z innymi substratami, ponieważ zawiera wiele mikroelementów niezbędnych do prawidłowego przebiegu procesu.

Ze względu na bardzo mały uzysk biogazu z fermentora, w którym znajdowała się słoma z kukurydzy, nie została ona uwzględniona w dalszych badaniach.

Należy jednak zwrócić uwagę, że wszystkie frakcje zostały poddane fermentacji w osobnych fermentorach, stworzenie mieszanki wszystkich próbek w jednym fermentorze dałby zupełnie inny uzysk biogazu.



**Rysunek 1.** Sumaryczny codzienny uzysk wydzielanego biogazu  
**Figure 1.** Total daily yield of biogas emitted

Wyniki badań odnośnie przeprowadzonej analizy zostały zawarte w tabeli 2. Z której wynika, że objętość komory fermentacyjnej powinna wynosić ok. 1200 ( $\text{m}^3$ ).

**Tabela 2.** Zestawienie wyników z przeprowadzonych badań na wybranych próbkach  
**Table 2.** Summary of results from studies on selected samples

Substrat	Powierzchnia (ha)	Plon (t·ha <sup>-1</sup> )	Objętość zbiornika na substraty (m <sup>3</sup> ·rok <sup>-1</sup> )	Objętość komory fermentacyjnej (m <sup>3</sup> ·rok <sup>-1</sup> )	Sumaryczny uzysk gazu (Ndm <sup>3</sup> ·kg s.m. <sup>-1</sup> )	Roczny strumień energii (kWrok <sup>-1</sup> )
Kiszonka z kukurydzy	40	40	2285,71	234,83	203,63	1954853,19
Korzeń buraka cukrowego	40	70	4000	410,95	155,11	2605848
Liście buraka cukrowego	40	45	2571,43	264,19	197	2127600
Substrat	Liczba sztuk (szt)	Uzysk dobowy (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	Objętość zbiornika na substraty (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	Objętość komory fermentacyjnej (m <sup>3</sup> ·rok <sup>-1</sup> )	Sumaryczny uzysk gazu (Ndm <sup>3</sup> ·kg s.m. <sup>-1</sup> )	Roczny strumień energii (kWrok <sup>-1</sup> )
Gnojowica	60	0,125	103,13	281,25	41,84	687198,67
<b>Suma</b>				1191,23		7375499,86

Na podstawie rocznego strumienia energii, uzyskanego z sumy strumieni badanych frakcji, została wyznaczona dobowo moc nominalna generatora prądotwórczego w układzie kogeneracyjnym, zgodnie z równaniem nr 6.

$$E_{tot} = \frac{20206,84 \times 0,4}{24} = 336,78 \text{ (kW)}$$

Ze względu na nierównomierne ilości wytworzonego biogazu w biogazowniach, oraz braku możliwości wprowadzenia gazu do systemu przewodowej sieci gazowej, niezbędne jest go magazynowanie. Zbiorniki te muszą charakteryzować się dużą szczelnością, a także odpornością na zmiany temperatury zewnętrznej i warunków atmosferycznych (Podkówa, 2012). Związku z tym na podstawie równania nr 8 obliczono objętość zbiornika:

$$V_{bio} = \frac{1191,23}{2} = 595,61 \text{ (m}^3\text{)}$$

Powstały w czasie trwania procesu osad pofermentacyjny może być wykorzystywany przez rolników w celu nawożenia gleb. W związku z powyższym należy go magazynować w tzw. lagunach przez ok. 3 miesiące. Objętość zbiornika została wyznaczona według równania nr 9:

$$V_{zb.po.} = \frac{24,49}{1} \times 90 \times 1,1 = 2424,14 \text{ (m}^3\text{)}$$

Uzyskane wyniki, oznaczają minimalne objętości danych zbiorników, a wyznaczona moc generatora może ulec zmianie zależnie od ilości dostarczanych substratów.

Należy zwrócić uwagę, że badaniu została poddana próbka korzenia buraka cukrowego, w rzeczywistości do produkcji biogazu zostałyby przeznaczone wysłodki, otrzymane z przetwórstwa cukrowniczego. Związku z tym, moc generatora ulegnie zmianie, przy założeniu uśrednionej wartości uzysku biogazu z wysłodków buraczanych, wynoszących 93,51 (Ndm<sup>3</sup>·kg s.m.<sup>-1</sup>), zostałyby dobrane generator o mocy ok. 300 (kW).

## WNIOSKI

1. Ilość wydzielonego biogazu w gospodarstwie rolnym spełnia wymagania związane z budową małej biogazowni, wedle kryteriów Agencji Rynku Rolnego Mała biogazownia – instalacja o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej większej niż 40 kW.
2. Badane gospodarstwo rolne może prowadzić działalność związaną z wytwarzaniem energii elektrycznej (produkcja biogazu na cele energetyczne), która może stanowić dywersyfikację dochodów rolnika w postaci działalności wytwarzania energii odnawialnej.
3. Na podstawie uzysku biogazu otrzymanego podczas trwania fermentacji badanych próbek, dobrano generator o mocy 350 kW.
4. Całkowita energia możliwa do wytworzenia z biogazu w badanym gospodarstwie wynosi ok. 2806 MWh, ze względu na czas pracy generatora równym 8400 godzin na rok.
5. Wytworzony biogaz z pozyskanych wsadów charakteryzował się średnią ilością biometanu na poziomie 48%. Wystarcza to do napędu generatora silnika tłokowego.
6. W analizie doboru generatora nie wzięto pod uwagę zagospodarowania odpadowej energii cieplnej, ponieważ gospodarstwo jest położone w niewielkiej osadzie rolniczej. Związku z tym, wytworzone ciepło może stanowić problem dla gospodarstwa. Istnieje jednak wiele sposobów wykorzystania ciepła np. ogrzewanie pomieszczeń gospodarczych, suszenie substratów lub masy pofermentacyjnej, a także ogrzewanie pobliskich osiedli czy budynków administracyjnych.

### **Podziękowania**

*Praca została sfinansowana ze środków BM 4619.*

## LITERATURA

EurObserv'er Parsi (2012). France, partner Instytutu Energetyki Odnawialnej w Warszawie.

Frączek J., Cieślowski B., Kuboń M., Mudryk K., Sikora J., Szelaąg – Sikora A., Wcisło G., Wróbel M. (2014). *Produkcja biopaliw – problemy wybrane*. Wyd. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej w Krakowie, Kraków.

Podkówka Witold. (2012). *Biogaz rolniczy odnawialne źródło energii*. Powszechnie Wydawnictwo Leśne, Warszawa.

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 Odnawialnych Źródłach Energii z dnia 20 lutego 2015 r.

<http://www.zielonetechnologie.pl/html/pubonline/downloads/BIO-WAT.pdf> – dostęp 17.10.2015 r.

Dr inż. Jakub Sikora, inż. Aleksandra Tomal  
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: 10.04.2016

Akceptowano do druku: 6.06.2016