

Jakub SIKORA<sup>1</sup> i Mateusz MALINOWSKI<sup>1</sup>

## WPLYW RZĘSY WODNEJ W SUBSTRACIE NA WYKORZYSTANIE POFERMENTU NA CELE ENERGETYCZNE

### EFFECT OF DUCKWEED IN THE SUBSTRATE FOR THE ENERGY USE OF DIGESTATE

**Abstrakt:** Rozwój cywilizacji wiąże się ze wzrostem zużycia energii przez społeczeństwa. Wymaga to wprowadzenia nowych technologii pozyskiwania energii, a także wykorzystywania nowych paliw. Sektor energetyczny ma strategiczne znaczenie w rozwoju współczesnego państwa. Odpowiednio rządzone państwo stwarza warunki na badanie nowych surowców do produkcji energii oraz technologii i wprowadzania właściwych rozwiązań do gospodarki. Umożliwia to w pełni wykorzystanie potencjału energetycznego państwa bez szkody dla szeroko rozumianego środowiska naturalnego, ludzi, a także przy jak najmniejszych kosztach wytwarzania. Zasadniczym celem pracy było wykonanie badań nad uzyskiem biogazu w procesie kofermentacji rzęsy wodnej z kisonką kukurydzy oraz wykorzystaniem pofermentu na cele energetyczne. Odnawialne źródła energii (OZE) są od pewnego czasu jednym z bardzo ważnych elementów polityki Unii Europejskiej (UE). Program budowy biogazowni rolniczych opracowany przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi zakłada, że w 2013 roku produkcja biogazu w Polsce osiągnie poziom 1 mld m<sup>3</sup> rocznie, zaś do 2020 roku wartość ta ulegnie podwojeniu. Do produkcji biogazu można wykorzystywać surowce pochodzenia odpadowego, pochodzące z upraw celowych i inne. Według wielu specjalistów nie powinno się wykorzystywać surowców, które mogą stanowić pokarm dla ludzi. Według innych osób w Polsce istnieje potencjał do produkcji surowców wykorzystywanych do wytwarzania energii i do produkcji żywności. Gdy surowiec szybko podwaja swoją wielkość, jak dzieje się w przypadku rzęsy wodnej, można bez szkody dla ludzi wykorzystywać go jako kosubstrat w biogazowniach rolniczych. Wykorzystanie rzęsy wodnej do produkcji biogazu nie jest jeszcze popularne. Prowadzone są badania nad wytwarzaniem biogazu z tych roślin. W zależności od miejsca poboru rzęsa może różnić się składem, co wpływa również na fermentację metanową, a tym samym na rozwój bakterii metanowych i pracę fermentora.

**Słowa kluczowe:** biogaz, rzęsa wodna, energia, wartość opałowa

### Wprowadzenie

W Ustawie Prawo Energetyczne odnawialne źródła energii określane są jako: „źródła wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego, a także z biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych” [1]. Odnawialne źródła energii (OZE) stanowią jeden z bardzo ważnych elementów polityki Unii Europejskiej (UE). Dyrektywa z 23 kwietnia 2009/28/WE nakłada obowiązek zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii w końcowym zużyciu energii do 20% w 2020 roku (w Polsce do 15%) [2]. Udział ten w 2005 roku w kraju wynosił 7,2%. Źródłami nieodnawialnymi są przede wszystkim paliwa kopalne, takie jak: ropa, gaz ziemny, węgiel brunatny i kamienny. Zdaniem Jastrzębskiej, w celach energetycznych

<sup>1</sup> Zakład Infrastruktury Technicznej i Ekoenergetyki, Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 116b/311, 30-149 Kraków, tel. 12 662 46 60, email: Jakub.Sikora@ur.krakow.pl

\* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'13, Jarnołtówek, 23-26.10.2013

w Polsce wykorzystuje się przede wszystkim paliwa stałe [3]. Według [4], zyskanie energii elektrycznej w ilości 160 kW z OZE zapobiega emisji do atmosfery: 250 000 kg ditlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ), 2000 kg ditlenku siarki ( $\text{SO}_2$ ), 1500 kg ditlenku azotu ( $\text{NO}_2$ ), 17 500 kg pyłów.

Niniejszy artykuł dotyczy wytwarzania biogazu z masy organicznej pochodzenia wodnego. Biogaz jest jednym z podstawowych rodzajów biopaliw. Biopaliwa powstają z przetwórstwa biomasy roślinnej, zwierzęcej przy udziale mikroorganizmów i dzieli się je na: stałe, ciekłe i gazowe. Stałe to słoma w postaci kostek, brykietów lub bel, granulat trocinowy bądź słomiany - tzw. pellet, słoma, drewno i inne przetworzone odpady roślinne. Biopaliwo ciekłe otrzymywane jest w drodze fermentacji alkoholowej węglowodanów do etanolu (alkoholu) - np. etanol z kukurydzy, fermentacji butylowej biomasy do butanolu bądź z estryfikowanych olejów roślinnych (na przykład olej rzepakowy) w biodiesel. Biopaliwo gazowe - biogaz powstaje w wyniku fermentacji beztlenowej ciekłych oraz stałych odpadów pochodzących z produkcji zwierzęcej i roślinnej (gnojowica, obornik, słoma itd.).

Według definicji prawa energetycznego, 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 [1]. Biogaz naturalnie powstaje na składowiskach odpadów (gaz wysypiskowy), na bagnach (gaz bagienny) oraz w żołądkach przeżuwaczy [5]. Biogaz jest mieszaniną gazów wytwarzanych podczas beztlenowej fermentacji organicznych substancji z udziałem bakterii metanowych [6].

Pojęcie „biogaz” zostało wprowadzone w 1955 roku. W warunkach technicznych do jego produkcji wykorzystuje się bakterie anaerobowe. Warunkiem niezbędnym do prawidłowego przebiegu procesu jest brak dostępu światła oraz warunki beztlenowe. Rozwój, wzrost i przetrwanie bakterii anaerobowych, wykorzystywanych przy produkcji biogazu, determinowane są obecnością takich pierwiastków, jak: żelazo, nikiel, kobalt, selen, molibden i wolfram. Aby bakterie fermentacji beztlenowej otrzymywały wystarczającą porcję substancji pokarmowych, stosunek C:N:P:S powinien wynosić 600:15:5:1. Jeżeli stosunek C:N jest zbyt wysoki, to węgiel nie ulegnie w całości konwersji w  $\text{CH}_4$  i  $\text{CO}_2$ . W sytuacji odwrotnej, gdy ilość azotu jest zbyt duża, w fermentującej masie wystąpi podwyższone stężenie amoniaku. W celu zoptymalizowania mas wsadowych do produkcji biogazu opracowuje się tzw. substraty kofermentacyjne w taki sposób, aby uzysk biogazu był jak największy, a zawartość metanu ( $\text{CH}_4$ ) w biogazie była maksymalizowana [7].

Fermentacja metanowa nawozu naturalnego (obornik, gnojówka, gnojowica) wymaga uzupełnienia innymi substratami. Substraty te powinny wyrównać procentową zawartość suchej masy organicznej w jednostce masy lub objętości odpadów. Surowce mogą pochodzić z upraw celowych lub odpadów roślinnych i zwierzęcych. Wykorzystanie do fermentacji metanowej kosubstratów ma pozytywny wpływ na obciążenie komory fermentacyjnej oraz utrzymanie prawidłowej kinetyki procesu uzyskanej za pomocą odpowiedniego stosunku węgla do azotu (C:N). Wpływa to na efektywność, a także opłacalność procesu. W Austrii takie rozwiązanie stosuje około 66% biogazowni

rolniczych. Wybierając odpowiedni kosubstrat, zwraca się szczególną uwagę na zawartość łatwo fermentujących substancji, wydajność suchej masy, dostępność, możliwość magazynowania.

Zagospodarowanie pofermentu z dużych biogazowni rolniczych (ponad 1 MWe) stanowi aktualnie znaczący problem. Zagospodarowanie go w formie nawozu naturalnego obniża rentowność produkcji biogazu. Jedną z metod unieszkodliwienia pofermentu może być wykorzystanie na cele energetyczne (paliwo formowane). Dostępne rozwiązania dotyczą metod obróbki biologicznej (kompostowanie), a osuszenie pofermentu i przekazywanie do zakładów energetyki zawodowej jest niewystarczająco rozpoznane. Przygotowana (osuszona) i zgranulowana frakcja stała może być wykorzystana na cele energetyczne - np. do wytwarzania paliw II generacji (w procesie zgazowania lub pirolizy) lub jako paliwo do współspalania [8]. Ciekła frakcja z osuszania masy pofermentacyjnej może być zawrócona do komory fermentacyjnej po uprzedniej denitryfikacji, co znacznie ogranicza zużycie wody procesowej.

Opłacalność produkcji biogazu związana jest z dostępnością surowców. Nie w każdej gminie możliwe jest wykorzystanie tych samych surowców do produkcji biogazu. Substraty powinny być dostarczone albo magazynowane przez cały rok, aby praca biogazowni była rentowna. Tylko zlokalizowanie biogazowni blisko wielkoobszarowych gospodarstw rolnych o zróżnicowanych kierunkach produkcji lub w pobliżu zakładów rolno-spożywczych może być opłacalne. Takie rozwiązania stosowane są w Niemczech w miejscowościach Altendorfer i Wollinger, gdzie wybudowano instalację wykorzystującą serwatkę do produkcji biogazu. Wytworzona z biogazu energia elektryczna pokrywa zapotrzebowanie zakładu na energię cieplną w 40%, natomiast na energię elektryczną w 100%. W Lichtenvoorde biogazownia wykorzystuje odpady z pobliskich zakładów mięsnych.

Wykorzystanie rzęsy wodnej do produkcji biogazu nie jest jeszcze popularne i dostatecznie poznane. Badania nad możliwościami wytwarzania biogazu z tych roślin znajdują się w fazach wstępnych [9-12]. W zależności od miejsca poboru rzęsa może różnić się składem, co również wpływa na fermentację metanową, a tym samym na rozwój i pracę bakterii metanowych [13].

Kuligowski i in. zaproponowali system zbioru biomasy wodnej, suszenia i wykorzystania jej do produkcji biogazu [14]. Przygotowanie biomasy wodnej jest dosyć kłopotliwe. Związane jest to z wysoką wilgotnością tych roślin (87-97%). Po dwóch tygodniach suszenia tej biomasy można uzyskać obniżenie wilgotności całkowitej o około 10-15%. W procesie suszenia substratu należy mieć na uwadze, czy docelowym procesem obróbki biologicznej rzęsy ma być fermentacja sucha czy mokra [14].

Według badań przeprowadzonych w [14], rośliny słodkowodne zapewniają szybszą i bardziej stabilną fermentację (zaczyna się ona po 9 dniach), natomiast glony zaczynają fermentować po 24 dniach. Fermentacja w przypadku glonów jest mniej stabilna, zmieniają się stężenia metanu i przepływu gazu w czasie. Do podstawowych metod unieszkodliwiania osadów (również z produkcji biogazu) należy ich spalanie. Materiał odpadowy zawiera często ponad 50% palnych substancji organicznych [15].

Celem pracy było wykonanie badań nad uzyskiem biogazu w procesie kofermentacji rzęsy wodnej z kiszoncek kukurydzy oraz wykorzystaniem pofermentu na cele energetyczne.

## Material i metody

Rzęsa (*łac. Lemna L.*) jest to rodzaj drobnych roślin wodnych z rodziny obrazkowatych, liczący trzynaście gatunków występujących niemal na całym świecie (pięć gatunków występuje w Polsce). Nazwa *lemna* pochodzi prawdopodobnie od greckiego słowa (*limni*), oznaczającego jezioro. Według Andraszczaka i Maciejaka [13], rzęsa jest idealnym materiałem do produkcji biopaliw. Jest ona ogólnie dostępna, szybko rośnie, z łatwością zasiedla zbiorniki wodne, które często nie mają żadnego zastosowania dla człowieka. Pozyskiwanie rzęsy jest łatwiejsze od zbierania glonów czy innej roślinności wodnej, ponieważ w całości unosi się ona na powierzchni wody [13].

Rzęsy są jednymi z najmniejszych roślin naczyniowych o długości od 1 do 5 mm. Wyłącznie badana rzęsa trójrowkowa osiąga rozmiar od 6 do 10 mm. Rośliny mają budowę uproszczoną do poziomu organizacji roślin plechowatych. Jedynymi odróżniającymi organami są zredukowane kwiaty, jak również korzeń. Ich organizmy stanowią luźno komórkowe człony pędowe będące hybrydami rozwojowymi pochodzącymi z zawiązków liści i łodygi. U niektórych gatunków po stronie grzbietowej znajdują się w rzędzie drobne brodawki. Rzęsy rosną na powierzchni wody pojedynczo lub w koloniach składających się z kilku, zwykle dwóch do ośmiu, roślin złączonych słabo widocznym trzonkiem. Rzęsa trójrowkowa jest zanurzona i tworzy łańcuch złożony z dziesięciu do trzydziestu roślin, zwykle potomnych, połączonych ze sobą dobrze widocznymi, długimi oraz stożkowatymi trzonkami. Często są tak liczne, że tworzą zwarte pokrycie powierzchni zbiornika, tak zwany „kożuch”. Rzęsy są to organizmy proliferacyjne. Organizmy potomne powstają w dwóch merystatycznych woreczkach umieszczonych brzusznie po każdej stronie członu pędowego (w nich powstają także kwiaty).

W ramach badań przeprowadzony został proces fermentacji metanowej statycznego wsadu z rzęsy wodnej (wsad 1 - kontrola) i kiszonki z kukurydzy (wsad 2 - kontrola). Następnie przeprowadzono fermentacje wsadów uzyskanych w wyniku mieszania surowców wsadowych w różnych proporcjach: wsad 3-50% kiszonki kukurydzy i 50% rzęsy wodnej, wsad 4-75% kiszonki kukurydzy i 25% rzęsy wodnej, wsad 5-25% kiszonki kukurydzy i 75% rzęsy wodnej.

Dla wszystkich rodzajów wsadu i uzyskanych pofermentów określono ciepło spalania [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] w celu wyznaczenia ich przydatności do wykorzystania energetycznego. Badania przeprowadzono zgodnie z następującymi normami:

1. PN-EN 15443-2011 Stałe paliwa wtórne - Metody przygotowania próbek laboratoryjnej.
2. PN-EN 15400-2011 Stałe paliwa wtórne - Oznaczanie wartości opałowej.

Dla poszczególnych wsadów i pofermentów określono również pH.

## Analiza wyników

W tabeli 1 zestawiono wyniki analiz ciepła spalania i pH dla badanych mieszanek fermentacyjnych. Najwyższym ciepłem spalania cechuje się wsad z kiszonki z kukurydzy  $16,91 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Najniższe ciepło spalania otrzymano dla rzęsy wodnej  $13,78 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Można zaobserwować, że wsad wykonany na bazie masy rolniczej ma największą kaloryczność, a wsad wykonany na bazie roślin wodnych najmniejszą. Masy te powinny się więc wzajemnie uzupełniać podczas fermentacji metanowej.

Parametry wsadów zastosowanych w badaniach

Tabela 1

The parameters of substrates used in research

Table 1

Lp. / No.	Wsad / Batch	Ciepło spalania / Heat incineration [MJ·kg <sup>-1</sup> ]	pH [-]
1	Rzęsa wodna / Duckweed	13,78	7,40
2	Kiszonka z kukurydzy / Maize silage	16,91	4,69
3	50% kiszonki kukurydzy i 50% rzęsy wodnej / 50% maize silage and 50% duckweed	15,55	5,50
4	75% kiszonki kukurydzy i 25% rzęsy wodnej / 75% maize silage and 25% duckweed	16,04	5,40
5	25% kiszonki kukurydzy i 75% rzęsy wodnej / 25% maize silage and 75% duckweed	14,30	6,01

Najwyższym ciepłem spalania spośród wszystkich analizowanych próbek cechuje się poferment kiszonki z kukurydzy (tab. 2). Ciepło spalania tego odpadu wyniosło 17,21 MJ·kg<sup>-1</sup>. Wykorzystanie pofermentu z rzęsy wodnej na cele energetyczne nie jest korzystne w przypadku, gdy stanowi ona monosubstrat. Wyższe ciepło spalania pofermentu osiągnięto przy zastosowaniu mieszanek kofermentacyjnych. Z przeprowadzonych badań wynika, że najwyższe wartości ciepła spalania uzyskano dla mieszanki kiszonki z kukurydzy i rzęsy w stosunku 3:1. Dla pofermentów wygenerowanych ze wsadów 75% kiszonki kukurydzy i 25% rzęsy wodnej, a także 50% kiszonki z kukurydzy oraz 50% rzęsy wodnej otrzymano porównywalne wartości ciepła spalania. Najniższym ciepłem spalania charakteryzuje się poferment z rzęsy wodnej. W porównaniu z pofermentem kiszonki z kukurydzy różnica wynosi około 6,5 MJ·kg<sup>-1</sup>.

Parametry masy pofermentacyjnej uzyskanej z fermentacji metanowej przyjętych wsadów

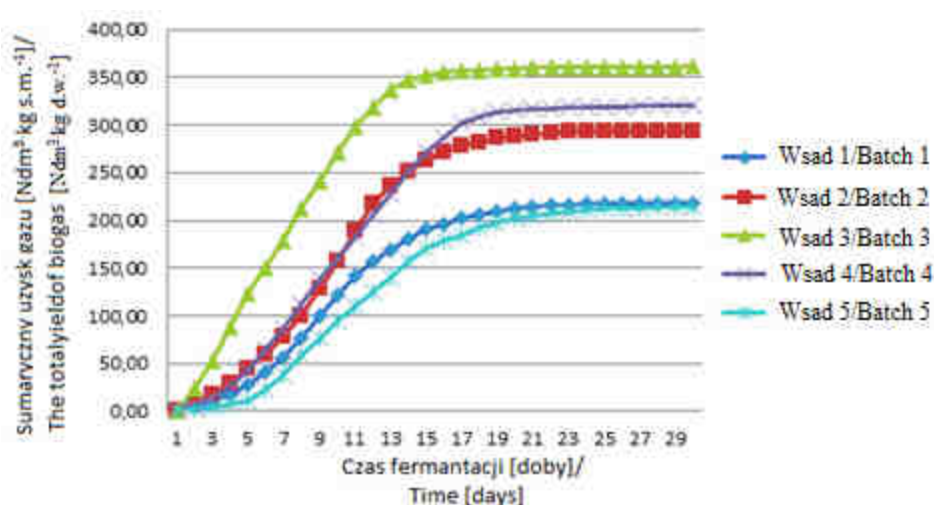
Tabela 2

The parameters of the digestate obtained from substrates' methane fermentation

Table 2

Lp. / No.	Masa pofermentacyjne / Digestate	Ciepło spalania / Heat incineration [MJ·kg <sup>-1</sup> ]	pH [-]
1	Rzęsa wodna / Duckweed	11,01	6,22
2	Kiszonka z kukurydzy / Maize silage	17,21	4,24
3	50% kiszonki kukurydzy i 50% rzęsy wodnej / 50% maize silage and 50% duckweed	16,71	5,81
4	75% kiszonki kukurydzy i 25% rzęsy wodnej / 75% maize silage and 25% duckweed	17,08	5,07
5	25% kiszonki kukurydzy i 75% rzęsy wodnej / 25% maize silage and 75% duckweed	14,58	6,09

Wyniki analizy uzysku biogazu w stosunku do suchej masy wskazały na zdecydowanie największą wydajność z wsadu złożonego z 50% rzęsy wodnej i 50% kiszonki z kukurydzy - 361,68 Ndm<sup>3</sup>·kg s.m.<sup>-1</sup> (uzysk biogazu w warunkach normalnych). Najmniej biogazu otrzymano z wsadu złożonego z 25% kiszonki z kukurydzy i 75% rzęsy wodnej - 214,01 Ndm<sup>3</sup>·kg s.m.<sup>-1</sup> oraz z samej kiszonki z kukurydzy - 218,00 Ndm<sup>3</sup>·kg s.m.<sup>-1</sup>. Przyrost sumarycznego uzysku biogazu w trzydziestej dobie wszystkich wsadów malał i w 31 dobie przerwano proces fermentacji.



Rys. 1. Sumaryczny uzysk biogazu z analizowanych wsadów

Fig. 1. The total yield of biogas obtained from analyzed substrats

Skład biogazu był badany codziennie przez trzydzieści dni. Ilość  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  oraz  $\text{O}_2$  w uzyskanym biogazie z kiszonki kukurydzy nie różniła się od wartości podawanych w literaturze [5, 8]. Od trzynastej doby uzysk metanu w biogazie przekraczał 50%. Najwyższy uzysk metanu w biogazie wyniósł 54% w dwudziestej dobie. Znacznie wyższą procentową zawartością metanu w biogazie odnotowano w przypadku rzęsy - 68%, a więc o 14%  $\text{CH}_4$  więcej niż z kiszonki z kukurydzy.

## Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że ilość uzyskanego biogazu z rzęsy wodnej (trójrowkowej) jest na poziomie porównywalnym z biomasami rolniczymi. Od czternastej doby ilość wydzielanego biogazu wynosiła 251-294  $\text{Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ . Z rzęsy wodnej można uzyskać większą sumaryczną ilość biogazu niż z kiszonki z kukurydzy (w układzie monosubstratów). Różnica wynosi 76,12  $\text{Ndm}^3 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ .

Najwyższym ciepłem spalania spośród wszystkich analizowanych próbek cechował się suchy poferment kiszonki z kukurydzy. Ciepło spalania tego surowca wynosiło 17,21  $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Wykorzystanie pofermentu z samej rzęsy wodnej na cele energetyczne nie jest opłacalne. Wyższe ciepło spalania można osiągnąć dla mieszanek mas wsadowych. Z przeprowadzonych badań wynika, że optymalny wsad do procesu fermentacji (gdy poferment ma być wykorzystany na cele energetyczne) stanowi mieszanka kiszonki z kukurydzy i rzęsy w stosunku 3:1.

## Podziękowania

Praca została sfinansowana ze środków BM 4619.

## Literatura

- [1] Prawo energetyczne, ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. z późniejszymi zmianami (DzU z 2011 r. Nr 205, poz. 1208). <http://isap.sejm.gov.pl/Download?id=WDU19970540348&type=3>.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego I Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. [www.ure.gov.pl/download/1/5901/LexUriServ.pdf](http://www.ure.gov.pl/download/1/5901/LexUriServ.pdf).
- [3] Jastrzębska G. Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne; 2009.
- [4] Kieć J. Odnawialne źródła energii. Kraków: Wyd. Akademii Rolniczej w Krakowie; 2007:7-73.
- [5] Sikora J, Szelań-Sikora A, Cupał M, Niemiec M, Klimas A. Możliwość wytwarzania biogazu na cele energetyczne w gospodarstwach ekologicznych. *Proc ECOpole*. 2014;8(1):279-288. DOI: 10.2429/proc.2014.8(1)037.
- [6] Zamorska-Wojdyła D, Gaj K, Hołtra A, Sitarska M. Quality evaluation of biogas and selected methods of its analysis. *Ecol Chem Eng S*. 2012;19(1):77-87. DOI: 10.2478/v10216-011-0008-9.
- [7] Podkówa W, Podkówa Z. Substraty dla biogazowni rolniczych. Warszawa: Agro Serwis; 2010.
- [8] Sikora J. Badanie efektywności produkcji biogazu z frakcji organicznej odpadów komunalnych zmieszanej z biomasą pochodzenia rolniczego. *Infrastruktura Ekologia Terenów Wiejskich*. 2012;2(IV):89-98. [http://www.infraeco.pl/pl/art/a\\_16791.htm?plik=1274](http://www.infraeco.pl/pl/art/a_16791.htm?plik=1274).
- [9] Xu J, Deshusses MA. Fermentation of swine wastewater-derived duckweed for biohydrogen production. *Internat J Hydrogen Energy*. 2015;40(22):7028-7036. DOI:10.1016/j.ijhydene.2015.03.166.
- [10] Muradova N, Fidalgob B, Gujara AC, Garceau N, T-Raissia A. Production and characterization of Lemna minor bio-char and its catalytic application for biogas reforming. *Biomass Bioenergy*. 2012;42:123-131. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.03.003.
- [11] Balasubramanian PR, Kasturi Bai R. Recycling of biogas-plant effluent through aquatic plant (Lemna) culture. *Biores Technol*. 1992;41(3):213-216. DOI: 10.1016/0960-8524(92)90004-H.
- [12] Jaina SK, Gujrala GS, Jhab NK, Vasudevana P. Production of biogas from Azolla pinnata R.Br and Lemna minor L.: Effect of heavy metal contamination. *Biores Technol*. 1992;41(3):273-277 DOI: 10.1016/0960-8524(92)90013-N.
- [13] Andraszczuk A, Maciejak M. Zastosowanie rzęsy wodnej (Lemna minor) w procesie oczyszczania ścieków. Międzynarodowa Młodzieżowa Konferencja Naukowa „Europa - Ekorozwój - Młodzież - Edukacja”. Rolnictwo ekologiczne i ekoagroturystyka w krajach Europy Środkowo-Wschodniej i Unii Europejskiej. AR Wrocław. 2002:150-1165.
- [14] Kuligowski K, Tonderski A, Ziółkowski M. Biogazownia utylizująca glony morskie i rośliny słodkowodne. *Wetlands Algae Biogas*. POMCERT. 2012:2-8. [www.wabproject.pl/files/file/WAB\\_raport\\_finalny\\_pomcert%20PL.pdf](http://www.wabproject.pl/files/file/WAB_raport_finalny_pomcert%20PL.pdf).
- [15] Jędrzak A. Biologiczne przetwarzanie odpadów. Warszawa: Wyd Nauk PWN; 2007: 10-136.

## EFFECT OF DUCKWEED IN THE SUBSTRATE FOR THE ENERGY USE OF DIGESTATE

Institute of Agricultural Engineering and Computer Science, Department of Technical Infrastructure  
and Eco-power Engineering, University of Agriculture in Krakow

**Abstract:** The development of civilization is associated with an increase in energy consumption by the public. Meeting energy needs requires the introduction of new technologies for energy production as well as the use of new fuels. The energy sector is of strategic importance in the development of the modern state. The introduction of new materials for energy production from renewable sources enables us to harness the full energy potential of the state, without harm to the environment and the people in a broad sense. The main objective of the study was to conduct research on biogas yield in the process of co-digestion of duckweed with maize silage and the use of digestate for energy purposes. Renewable energy sources (RES) have for some time now been one of the most important elements of the policy of the European Union (EU). The program of agricultural biogas plants construction developed by the Ministry of Agriculture and Rural Development assumes that, in 2013, the production of biogas in Poland will reach 1 billion m<sup>3</sup> per annum, while, in 2020, the figure will double. What can

be used for biogas production are materials originating from waste, derived from targeted crops and others. According to many experts, materials that should not be used are the ones which may constitute direct food for humans and animals as, in Poland, there is sufficient potential for the production of materials both for energy purposes and for food production. If the material doubles its mass quickly, as is the case with duckweed, it is possible to use it as a co-substrate in agricultural biogas plants without harm to the people. The use of duckweed for the production of biogas is not yet popular. Research into the production of biogas from these plants is being conducted. Depending on the source, duckweed may differ as regards physicochemical composition, which affects the course of methane fermentation and, therefore, the growth of methane bacteria and the work of fermenter.

**Keywords:** biogas, duckweed, energy, calorific value