

## ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF PRODUCTION OF ELECTRIC ENERGY FROM BIOMASS ON EXAMPLE OF THE EXPERIMENTAL STATION OF NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF ANIMAL PRODUCTION IN GRODZIEC ŚLĄSKI

### Summary

Once again on the conference "Organic agriculture – present condition and prospects of development" in Puszczykowo, as part of meetings of sciences with practice, we have opportunity to present Agricultural biogas plant, and its results from almost 12-month period of energy production. Obtained results are confirming investment assumptions and are important information for all interested in construction of biogas plant, supported by the Governmental "Directions of the development of agricultural biogas plants in Poland in 2010 - 2020". It is estimated, that in Poland during this period about 2000 to 2500 biogas plants can come into existence, which the production can cover about 10% of gas demand. This amount can fully meet the needs of the rural areas. Agricultural biogas plant in Kostkowice was built in 2010, after the start-up in 2011, from 1<sup>st</sup> of January 2012 it has achieved the full manufacturing capacity, using the agricultural origin substrates for the energy production, such as: manure, bovine and pig liquid manure, Agrofines by-products (rape pressed cake, glicerine, oil residue), green forage, potatoes, corn and grass silages and feeds not taken by the animals. In this work results for substrates, their chemical composition, the content of heavy metals and the energy value were described. The studies of solid digestate were conducted towards burdening the methane fermentation determining the profile of low-molecular organic acids and the alkalinity, during the start-up period and in the production period. For the same periods a composition of biogas was described (content of methane, carbon dioxide, sulphuration). After fermentation product of the substrate gasifying process is digestate which contains, what was confirmed in own examinations, hydration on the level of 91-95% of the water. After separation solid digestate contains about 27% of a dry mass and liquid digestate from 3.1 to 4.4%. A chemical composition and physicochemical properties of solid and liquid digestate were determined. In the research on the microbiological quality of solid and liquid digestate a lack of *Salmonella* spp was demonstrated as well as the small share of *Escherichia coli* ( $14.2 \pm 10.4$  unit/g and  $25.0 \pm 10.95$  unit/ml). Currently a comparing studies of the fertilizer value are being conducted between liquid digestate and liquid manure. It was established that both a solid digestate as well as liquid digestate should demonstrate the ecological superiority in regards to seeds, weeds and micro-organisms presence. Also an economical preliminary analysis of the electric energy production from biogas, noticing, that Agricultural biogas plant can be an example of diversifications of agricultural production.

**Key words:** biomass; biogas stations; electric energy; production; experimentation

## EKOLOGICZNE I EKONOMICZNE ASPEKTY PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ Z BIOMASY NA PRZYKŁADZIE AGROBIOGAZOWNI W ZAKŁADZIE DOŚWIADCZALNYM INSTYTUTU ZOOTECHNIKI PIB GRODZIEC ŚLĄSKI

### Streszczenie

Kolejny już raz na Konferencji „Rolnictwo ekologiczne – stan obecny i perspektywy rozwoju” w Puszczykowie, w ramach spotkań nauki z praktyką, mamy możliwość zaprezentowania agrobiogazowni, jej wyników z prawie 12 miesięcznego okresu produkcji energii. Uzyskane wyniki potwierdzają założenia inwestycyjne i są informacją dla wszystkich zainteresowanych budową biogazowni w ramach, popieranych przez Rząd „Kierunkach rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010–2020”. Szacuje się, że w Polsce w tym okresie może powstać 2000 do 2500 biogazowni, których produkcja może pokryć w około 10% zapotrzebowania na gaz. Ta ilość może w pełni zaspokoić potrzeby wsi. Agrobiogazownię w Kostkowicach wybudowano w 2010 r. Po rozruchu w 2011 r., od 1 stycznia 2012 r. osiągnęła pełną zdolność produkcyjną, wykorzystując do wytwarzania energii substraty pochodzenia rolniczego, takie jak: obornik, gnojowicę bydlęcą i świńską, produkty uboczne agorafinerii (makuchy, glicerynę, osad olejowy), zielonki, ziemniaki, kiszonki z kukurydzy i traw oraz niedojady. W pracy przedstawiono wyniki badań substratów, ich skład chemiczny, zawartość metali ciężkich oraz wartość energetyczną. Przeprowadzono badania fermentu w kierunku obciążenia fermentacji metanowej określając profil niskocząsteczkowych kwasów organicznych oraz zasadowość, w okresie rozruchu oraz w okresie produkcji. Dla tych samych okresów przedstawiono skład biogazu (zawartość metanu, dwutlenku węgla, zaziarczenie). Pofermentacyjnym produktem procesu zgazowania substratów jest dygestat (poferment), który zawiera, co potwierdzono w badaniach własnych, uwodnienie na poziomie 91–95% H<sub>2</sub>O. Po odseparowaniu dygestat zawiera ok. 27% suchej masy, a woda pofermentacyjna od 3,1 do 4,4%. Określono skład chemiczny, właściwości fizykochemiczne dygestatu stałego i płynnego oraz wody pofermentacyjnej. W badaniach jakości mikrobiologicznej dygestatu i wody pofermentacyjnej wykazano brak bakterii *Salmonella* spp. oraz niewielki *Escherichia coli* ( $14,2 \pm 10,4$  jtk·g<sup>-1</sup> i  $25,0 \pm 10,95$  jtk·ml<sup>-1</sup>). Aktualnie prowadzi się badania porównawcze wartości nawozowej dygestatu i gnojowicy. Założono, że zarówno dygestat, jak i wody pofermentacyjne winny wykazać wyższą ekologiczną w zakresie obecności nasion chwastów oraz mikroorganizmów patogennych. Przedstawiono także wstępną analizę ekonomiczną produkcji energii elektrycznej z biogazu, stwierdzając, że agrobiogazownia może być przykładem dywersyfikacji produkcji rolniczej.

**Słowa kluczowe:** biomasa; biogazownie; energia elektryczna; produkcja; badania

## 1. Wstęp

W Zakładzie Doświadczalnym Instytutu Zootechniki – Państwowym Instytucie Badawczym w Grodźcu Śląskim wybudowano w 2010 r. agrobiogazownię, w której z przyczyn środowiskowych zagospodarowywana jest biomasa z produkcji zwierzęcej i roślinnej, a także odpady przemysłu spożywczego. Agrobiogazownia jest kolejnym, obok agrorafinerii, kolektorów słonecznych i turbiny wiatrowej, ogniwem Centrum Energii Odnawialnej, jakie funkcjonuje w należącym do Zakładu Gospodarstwie Kostkowiec.

Celem pracy było przedstawienie charakterystyk substratów wykorzystywanych w agrobiogazowni, ich składu chemicznego, wartości energetycznej oraz ich wpływu na efektywność produkcji biogazu, a także oceny fermentu przez oznaczenie profilu niskocząsteczkowych kwasów organicznych, zasadowości i obciążenie fermentacji metanowej oraz składu chemicznego, właściwości fizykochemicznych, wartości i przydatności nawozowej dygestatu i wody pofermentacyjnej dla substancji świeżej i przechowywanej przez okres 3 miesiące na pryzmie (dygestat suchy) lub w zbiorniku (woda pofermentacyjna).

Przedstawione wyniki są wstępne, obejmują okres funkcjonowania agrobiogazowni od 6 czerwca 2011 r. do 31 maja 2012 r. i potwierdzają przyjęte założenia.

## 2. Metodyka badań

### 1. Badania substratów

Skład chemiczny substratu oznaczono stosując metodę wendeńską, wykorzystywaną w analizie pasz. Do obliczenia ilości składników strawnych wykorzystano współczynniki strawności dla przeżuwaczy.

W próbkach substratów do analiz chemicznych pobieranych co 21 dni, w próbach określono:

- suchą masę metodą wagową wg PN-62 R-66163,
- suchą masę organiczną metodą wagową wg PN-76 R-64795,
- białko surowe metodą Kjeldahla wg PN-75 R-04018,
- tłuszcz surowy metodą ekstrakcyjną wg PN-76 R-64753,
- włókno surowe metodą pośrednią filtracyjną wg PN-EN ISO 686.

Wydajność biogazu i metanu z 1 kg strawnych składników organicznych poszczególnych substratów obliczono według wskaźników podanych przez Węglarzewo i Podkówkę [16].

### 2. Badanie osadu fermentacyjnego

Proces fermentacji kontrolowano co 7 dni pobierając próby osadu fermentacyjnego z fermentora głównego, w których oznaczono:

- pH - metodą potencjometryczną z użyciem pH-metru ELMETRON C 411,
- suchą masę metodą wagową wg PN-62 R-66163,
- suchą masę organiczną metodą wagową wg PN-76 R-64795,
- FOS - jako sumę niskocząsteczkowych kwasów organicznych (octowego, masłowego, propionowego, walerianowego) w przeliczeniu na kwas octowy - metodą destylacyjną lub metodą miareczkową z użyciem 0,1 N kwasu siarkowego (VI),
- TAC - alkaiczną pojemność buforową, obejmującą wszystkie substancje buforowe (węglany, fosforany i związki amonowe) - metoda miareczkowa z użyciem 0,1 N kwasu siarkowego (VI),

- wyliczono FOS/TAC jako wskaźnik obciążenia (przeciążenia lub niedociążenia) procesu fermentacji metabolicznej.

### 3. Badania gazu

Zawartość metanu, dwutlenku węgla, tlenu i siarkowodoru kontrolowano, na podstawie średnich dziennych odczytów, za pomocą analizatora biogazu znajdującego się na instalacji przesyłowej biogazu do silnika kogeneracyjnego i monitorującego w sposób ciągły skład biogazu.

### 4. Badania dygestatów płynnego i stałego oraz wody pofermentacyjnej

W skład pozostałych po fermentacji beztlenowej w fermentorze produktów pofermentacyjnych wchodzi biomasa bakterii metanowych, nieprzefermentowane związki organiczne oraz składniki mineralne. Skład chemiczny pozostałości pofermentacyjnych uzależniony jest od charakteru stosowanych w procesie substratów.

Badania produktów pofermentacyjnych - dygestatów i wody pofermentacyjnej wykonano w Chemicznym i Mikrobiologicznym Laboratorium Akredytowanym w Pisku (Republika Czeska) wg procedury własnej na podstawie normy uznawanej w UE – parametr akredytowany, w Stacji Chemiczno-Rolniczej w Gliwicach na podstawie procedury własnej wg wytycznych IUNG oraz w laboratorium chemicznym Zakładu Doświadczalnego Instytutu Zootechniki – Państwowego Instytutu Badawczego w Grodźcu Śląskim wg normy polskiej PN-ISO 6496/2002.

W próbkach dygestatów oraz wody pofermentacyjnej oznaczono:

- suchą masę metodą wagową wg PN-62 R-66163,
- azot ogólny metodą Kjeldahla wg PN-75 R-04018,
- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - metodą kolorymetryczną.

Próbki pobierano z materiału bezpośrednio przed i po separacji oraz składowanego przez okres 3 miesiące w zbiornikach dygestatu płynnego i wody pofermentacyjnej oraz na pryzmie.

W Państwowym Instytucie Weterynaryjnym PIB w Puławach wykonano analizy jakości mikrobiologicznej dygestatu i wody pofermentacyjnej w kierunku obecności bakterii *Escherichia coli* i *Salmonella* spp. Badania liczby beta-glukuronidazo -dodatnich komórek *Escherichia coli* wykonano metodą PN-ISO 16649-2-2004, natomiast badania w kierunku *Salmonella* spp. wg ZM/PB-12 edycja:4, 2010-05-06.

## 3. Wyniki

Przedstawione wyniki dotyczą obserwacji i wstępnych badań przeprowadzonych w okresie prawie 12 miesięcy pracy agrobiogazowni, po okresie rozruchu od 6 czerwca do 31 grudnia 2011 r. i stabilizacji procesów biochemicznych do 31 maja 2012. W tab. 1 przedstawiono ilość (w kg suchej masy) oraz procentowy udział składowych substratu użytego w omawianym okresie do produkcji energii.

Kiszonka z kukurydzy (31,2%), obornik bydlęcy (27,2%) oraz sianokiszonka (21,3%) były podstawowymi substratami stałymi, z których produkowano biogaz.

Dla wymaganej w procesach fermentacyjnych zawartości suchej masy stosowano frakcje płynne substratu w postaci głównie gnojowicy bydlęcej i wody pofermentacyjnej z odpowiednio 30,2% i 21,4% udziałem w świeżej masie substratu. Ponadto stosowano serwatkę (3,3%) gnojowicę świńską i glicerynę z marginalnym ich udziałem w produkcji energii.

Tab. 1. Ilość (kg SM) i udział zadanych substratów (%)  
 Table 1. Amount (DM kg) and participation of substrates (%)

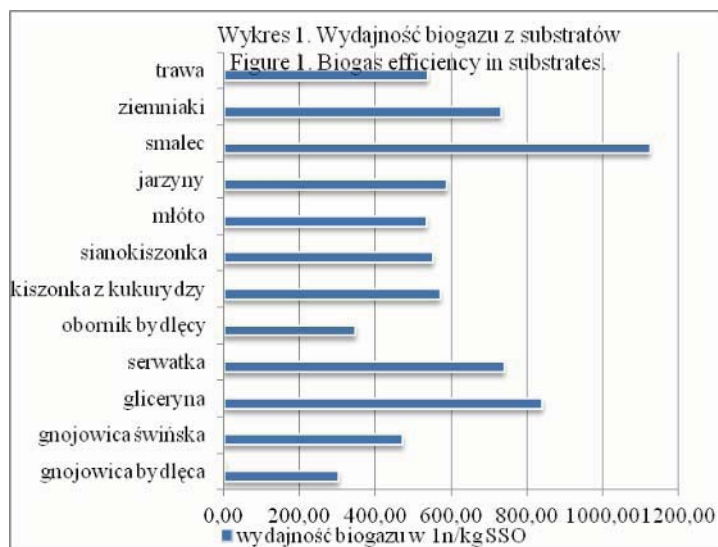
| Substrat             | kg SM     | % udział |
|----------------------|-----------|----------|
| gnojowica bydłęca    | 124 090   | 6,3      |
| gnojowica świńska    | 56 347    | 2,9      |
| woda pofermentacyjna | 120 992   | 6,2      |
| gliceryna            | 15 815    | 0,8      |
| serwatka             | 13 200    | 0,7      |
| obornik bydłęcy      | 532 537   | 27,2     |
| kiszonka z kukurydzy | 610 342   | 31,2     |
| sianokiszonka        | 416 483   | 21,3     |
| młóto                | 9 612     | 0,5      |
| jarzyny              | 1 216     | 0,1      |
| smalec               | 15 469    | 0,8      |
| ziemniaki            | 25 300    | 1,3      |
| trawa                | 12 870    | 0,7      |
| Razem                | 1 954 273 | 100      |

W próbkach składowych substratów oznaczano zawartość składników potrzebnych do określenia ich wartości (tab. 2) - suchą masę, popiół, suchą masę organiczną, włók-

Tab. 2. Wyniki analiz chemicznych substratów  
 Table 2. Results of chemical analyses of substrates

| Substrat             | Zawartość SO*<br>w 1kg SM** | Zawartość składników strawnych w kg<br>w 1 kg SSO*** |         |        |       |
|----------------------|-----------------------------|--|---------|--------|-------|
|                      |                             | białko ogólne  | tłuszcz | włókno | BNW   |
| gnojowica bydłęca    | 0,601                       | 0,033  | 0,092   | 0,169  | 0,039 |
| gnojowica świńska    | 0,832                       | 0,031  | 0,032   | 0,066  | 0,452 |
| serwatka             | 0,917                       | 0,137  | 0,013   | 0      | 0,795 |
| obornik bydłęcy      | 0,442                       | 0,014  | 0,063   | 0,246  | 0,081 |
| kiszonka z kukurydzy | 0,958                       | 0,065  | 0,025   | 0,234  | 0,39  |
| sianokiszonka        | 0,886                       | 0,115  | 0,026   | 0,211  | 0,344 |
| młóto                | 0,958                       | 0,172  | 0,050   | 0,136  | 0,309 |
| jarzyny              | 0,838                       | 0,101  | 0,050   | 0,065  | 0,513 |
| smalec               | 0,998                       | 0  | 0,9     | 0      | 0     |
| ziemniaki            | 0,941                       | 0,073  | 0,004   | 0,026  | 0,830 |
| trawa                | 0,934                       | 0,084  | 0,031   | 0,116  | 0,441 |

\* SO - substancja organiczna, \*\*SM - sucha masa, \*\*\*SSO - sucha substancja organiczna



ln/kg SSO – znormalizowana jednostka objętości gazu (1 liter) w warunkach normalnych

Rys. 1. Wydajność biogazu z substratów  
 Fig. 1. Biogas efficiency in substrates

no, białko, tłuszcz oraz bezazotowe wyciągowe, do obliczeń przyjęto tabelaryczne współczynniki strawności [10]. Na podstawie uzyskanych wyników i przyjętych wskaźników [16] obliczono wydajność energetyczną zastosowanych w produkcji biogazu substratów (rys. 1).

Próby zastosowania odpadów użytkowych smalcu dały dobre efekty. Ten wysoce energetyczny produkt (1125 ln biogazu/kg SSO) stanowi dobry komponent dawki, a jako produkt przemysłu spożywczego dobrze wpisuje się w ideę gospodarnego wykorzystania odpadów użytecznych dla produkcji zielonej energii. W biogazowni wykorzystano tegoroczną krajową nadprodukcję ziemniaków, uzyskując dobry efekt ekonomiczny i ekologiczny. Testowane są dalsze produkty organiczne (serwatka, trawy z parków i skwerów), których zastosowanie w procesie produkcji biogazu może mieć korzystny wpływ na środowisko a także na bilans energetyczny regionu.

W niektórych paszach wykorzystywanych jako substraty wykonano badania zawartości podstawowych metali ciężkich (tab. 3) i stwierdzono na podstawie uzyskanych wyników, iż były znacznie niższe niż w badaniach Jasiewicza i Antonkiewicza [5], a porównywalne do uzyskanych w badaniach innych autorów [6, 15].

Tab. 3. Średnia zawartość metali ciężkich w wybranych substratach pochodzenia rolniczego  
 Table 3. Average content of heavy metals in chosen substrates of the agricultural origin

| Substrat             | Ołów (Pb)<br>mg·kg <sup>-1</sup> | Kadm (Cd)<br>mg·kg <sup>-1</sup> | Cynk (Zn)<br>mg·kg <sup>-1</sup> | Miedź (Cu)<br>mg·kg <sup>-1</sup> |
|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Kiszonka z kukurydzy | 0,6910                           | 0,1400                           | 79,0000                          | 5,9000                            |
| Sianokiszonka        | 1,4390                           | 0,3680                           | 41,050                           | 10,590                            |
| Zielonka pastwiskowa | 1,3600                           | 0,1700                           | 40,500                           | 5,7400                            |

Tab. 4. Wyniki analiz fermentu (wartości średnie) w Agrobiogazowni Kostkowice  
 Table 4. Results of analyses of the digestate (average values) in agricultural biogas plant in Kostkowice

| Próbka  | pH   | FOS mg CaCO <sub>3</sub> ·l <sup>-1</sup> | TAC mg CaCO <sub>3</sub> ·l <sup>-1</sup> | FOS/TAC |
|---|------|---|---|---------|
| w okresie uruchamiania biogazowni (do 31.12.2011 r.)      |      |   |   |         |
| 1   | 7,30 | 654                                       | 3467                                      | 0,189   |
| 2   | 7,48 | 1292                                      | 4326                                      | 0,299   |
| 3   | 7,38 | 1255                                      | 5252                                      | 0,239   |
| 4   | 7,24 | 1227                                      | 5944                                      | 0,206   |
| w okresie produkcji od 1 stycznia 2012 do 31 maja 2012 r. |      |   |   |         |
| 6   | 7,73 | 2565                                      | 7450                                      | 0,344   |
| 7   | 7,69 | 4490                                      | 9950                                      | 0,451   |
| 8   | 7,73 | 2605                                      | 8350                                      | 0,312   |
| 9   | 7,58 | 2531                                      | 8527                                      | 0,297   |

Wykorzystywanie substratów o zmiennym składzie chemicznym, charakterystycznym dla materiału biologicznego, ma wpływ na procesy biochemiczne zachodzące w fermentorze. Przemiany biochemiczne w procesie fermentacji metanowej uzależnione są od wielu czynników, np. rodzaju i proporcji substratów, pH, uwodnienia, mieszania osadu, inhibitorów, toksyn.

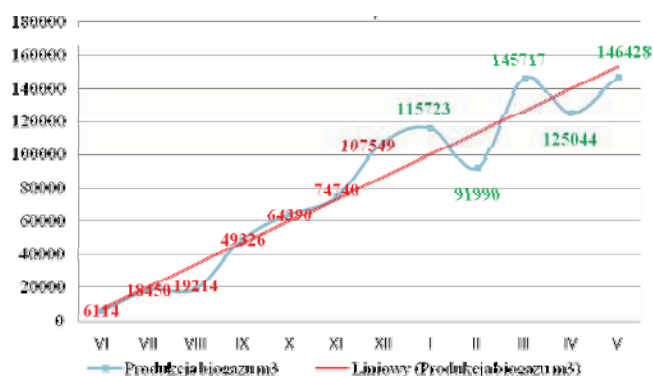
Ważna jest znajomość czynników mogących spowodować zakłócenia w procesie zamiany składników na biogaz, by na zaistniałe nieprawidłowości w porę zareagować. Poprzez mieszanie zapewnia się homogeniczność osadu i dostępność substancji odżywczych wszystkim grupom mikroorganizmów. Następuje także przemieszczanie produktów fermentacji, głównie metanu, który podobnie jak brak związków odżywczych hamuje rozwój flory bakteryjnej, obniżając dynamikę procesu. Zaburzenia w namnażaniu się flory bakteryjnej może powodować także odczyn osadu, który winien być obojętny i mieścić się w granicach pH 7–7,5.

Kontrolę przemian zachodzących w komorze fermentacyjnej przeprowadza się na podstawie stężenia niektórych metabolitów. Uzyskane w wyniku rocznej eksploatacji agrobiogazowni wyniki (tab. 4) wskazują na stabilizację procesów biochemicznych, jaka nastąpiła po okresie rozruchu, a proporcje FOS/TAC są na poziomie normy wskazującym na prawidłowy przebieg procesów metabolicznych [17].

W początkowym okresie rozkładu obserwowano wzrost stężenia lotnych kwasów tłuszczowych, co jest związane z początkową fazą procesu hydrolizy i acidogenezy (faza kwaśna), w której produkty hydrolizy są metabolizowane do krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych [1, 2]. Zawartość kwasów wraz z czasem przebywania osadu w reaktorze fermentacyjnym stabilizuje się, a po osiągnięciu obojętnego odczynu następuje przejście do fazy rozkładu, kiedy bakterie octowe przekształcają dalej krótko łańcuchowe kwasy karboksylowe do octanów, wodorowęglanów i wodoru [5]. W badaniach nie stwierdzono istotnych zmian w pH osadu fermentującego, z czego można wnioskować, że podwyższony poziom lotnych kwasów był metabolizowany w kolejnej fazie fermentacji przez mikroorganizmy.

Produkcję biogazu w kolejnych miesiącach przedstawiono na rys. 2. Ogółem wyprodukowano prawie

965 000 m<sup>3</sup> biogazu. Faza rozruchu trwała od czerwca 2011 do grudnia 2011 (ilości wyprodukowanego gazu na wykresie zapisano czcionką w kolorze czerwonym), a w 2012 r. faza pełnej zdolności produkcyjnej (ilości wyprodukowanego gazu na wykresie zapisano czcionką w kolorze zielonym). Widoczna jest tendencja wzrostowa produkcji, ale także pewne wahania wynikające bądź z warunków meteorologicznych (dotkliwe mrozy w lutym 2012 r.) bądź z usterkowości systemu.



Rys. 2. Produkcja biogazu w agrorafinerii w Kostkowicach w okresie od czerwca 2011 r. do maja 2012 r.

Fig. 2. Biogas production in agricultural biogas plant in Kostkowice from June 2011 till May 2012

Zawartość analizowanych składników biogazu w okresie doświadczenia zmieniała się (tab. 5), ale uzyskany biogaz zawierał wysoką zawartość metanu nawet do 57%, ale także zanotowano, zwłaszcza na początku procesu, wysoką zawartość siarkowodoru. Siarkowodor jest produktem rozkładu białek, łączy się z metalami ciężkimi i powoduje ich neutralizację, co jest korzystne zarówno dla podmiotu fermentacji, jakim są mikroorganizmy, jak również dla środowiska. Jego maksymalna zawartość w okresie rozruchu wyniosła nawet 1152 ppm, po ustabilizowaniu procesu, a przede wszystkim wzbogaceniu substratów, uzyskano oczekiwany oraz bezpieczny dla zestawu kogeneracyjnego oraz środowiska, wynik ok. 150 ppm. Skład uzyskanego biogazu mieścił się w normach dla tego procesu [16].

Tab. 5. Skład biogazu w okresie rozruchu i produkcji  
 Table 5. Composition of biogas in the start – up and experimental period

| Wyszczególnienie                    | W okresie rozruchu |              | W okresie pełnej zdolności produkcyjnej |              |
|-------------------------------------|--------------------|--------------|---|--------------|
|                                     | Średnia            | Min. – maks. | Średnia                                 | Min. – maks. |
| Metan CH <sub>4</sub> (%)           | 46,63              | 29,00-54,30  | 54,43                                   | 46,90-57,00  |
| Dwutlenek węgla CO <sub>2</sub> (%) | 58,1               | 33,3-83,3    | 42,5                                    | 28,9-45,3    |

Pozostała po procesie fermentacji beztlenowej substancja pofermentacyjna jest mieszaniną bakterii metanowych, nieprzefermentowanych związków organicznych oraz składników mineralnych. Skład chemiczny pozostałości pofermentacyjnych uzależniony jest od substratów użytych do produkcji.

Podczas fermentacji ulega zmianie stosunek węgla do azotu, wskutek wbudowywania węgla w powstający biometan. Podczas fermentacji maleje zawartość substancji organicznej, rośnie zaś zawartość azotu i związków mineralnych. Forma amonowa azotu, która w gnojowicy surowej wynosi około 48% wzrasta w wyniku fermentacji beztlenowej do 90%, przez co wzrasta także wartość nawozowa substancji pofermentacyjnych, gdyż azot w tej formie jest lepiej przyswajalny przez rośliny.

W porównaniu do gnojowicy surowej, substancja pofermentacyjna wykazuje wiele zalet i korzyści ekologicznych, wśród których na uwagę zasługuje lepsza przydatność nawozowa, brak charakterystycznych dla gnojowicy odorów, a także mniejsze ryzyko zanieczyszczenia wód gruntowych i eutrofizacji zbiorników wodnych.

Niekorzystną cechą substancji pofermentacyjnej jest jej wysokie uwodnienie. W zależności od stosowanego substratu, zawartość wody w substancji pofermentacyjnej waha się od 90 do 97%. W badaniach substancji pofermentacyjnej pochodzącej z agrobiogazowni Kostkowiec stwierdzono uwodnienie średnio 92,9%.

W wyniku zastosowanego systemu separacji dygestatu płynnego (tab. 6) uzyskano substancję, której sucha masa przekroczyła zawartość 27%, bezzapachową o konsystencji i kolorze ziemi kwiatowej lub torfu, którą zastosowano do nawożenia gruntów ornych i użytków zielonych. Wykonano także próby wykorzystania jej do ścielenia.

Tab. 6. Skład chemiczny dygestatu płynnego i suchego (wartości średnie)

Table 6. Chemical composition of solid and liquid digestate (average values)

| Wyszczególnienie      | sucha masa % | popiół % | N-og. (% w s.m.) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|-----------------------|--------------|----------|------------------|-------------------------------|
| dygestat płynny       | 7,1          | 5        | 0,3              | 0,71                          |
| dygestat odseparowany | 27,61        | 3,52     | 0,23             | 0,36                          |

Wykonano badania stabilności cech nawozowych dygestatu. W tym celu dygestat odseparowany o zawartości suchej masy 25% spryzmowano i przechowywano przez 3 miesiące, a dygestat płynny w zbiorniku. Po tym czasie, ponownie określono ich wartość nawozową i stwierdzono, że w wyniku przechowywania na przymie obniżyła się wartość nawozowa przez ubytek N-og (o 28,57%) i P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (o 17%), a zawartość K<sub>2</sub>O nie zmieniła się.

W dygestacie stałym i wodzie pofermentacyjnej nie stwierdzono obecności bakterii z rodzaju *Salmonella* spp., a zawartość *Escherichia coli* była bardzo mała, odpowiednio: 14,2±10,4 jtk·g<sup>-1</sup> i 25,0±10,95 jtk·ml<sup>-1</sup>, co mimo iż badania są wstępne, daje gwarancję wykorzystania dygesta-

tów do celów nawozowych, ścielenia, a także w przypadku wody pofermentacyjnej do wykorzystania jej jako wody technologicznej.

Produktem finalnym agrobiogazowni jest energia elektryczna. Powstały w wyniku fermentacji biomasy metan jest w procesie kogeneracji przetwarzany na energię elektryczną i ciepłą. Energia elektryczna jest przesyłana do krajowej sieci.

W omawianym okresie agrobiogazownia w Kostkowicach sprzedała do krajowej sieci energetycznej 1 618,5 MWh, co stanowi 86% energii wyprodukowanej. Pozostała część została zagospodarowana na potrzeby eksploatacyjne biogazowni.

Obliczono analizę opłacalności przedsięwzięcia, z której wynika, że zastosowana dyskontowa metoda rachunku ekonomicznego, uwzględniająca rozłożenie w czasie przewidywanych wpływów i wydatków związanych z inwestycją [14] jest najbardziej efektywnym narzędziem. Po stronie kosztów znajduje się wartość substratów własnych wg wydatków poniesionych na ich wytworzenie i zakupionych wg cen zakupu, amortyzacja (2,5%), koszty pracy i eksploatacji, zaś po stronie przychodów wartość sprzedanej i wykorzystanej energii, świadectw pochodzenia (zielonych i żółtych) należnych podmiotom wytwarzającym energię ze źródeł odnawialnych, dygestatów.

Ciepło w 15-20% wykorzystano do ogrzewania fermentora. Pozostałe ciepło jest sukcesywnie zagospodarowywane poprzez wdrażanie nowych systemów ogrzewania pomieszczeń inwentarskich trzody chlewnej i bydła, a także dla produkcji ryb ciepłolubnych.

Agrobiogazownia w Kostkowicach, podobnie jak pozostałe elementy funkcjonujące od kilku lat Centrum Odnawialnych Źródeł Energii, jest przykładem dywersyfikacji produkcji rolniczej, zmian profilu, ale także oczekiwań zainteresowanych tym obszarem działalności. Wykorzystanie biomasy dla celów energetycznych wpisuje się w krajowe i unijne prawo, wypełnia treścią jego wymogi [3, 12, 13].

#### 4. Podsumowanie

1. Agrobiogazownia w Kostkowicach jest przykładem wielokierunkowości produkcji rolniczej.
2. Spełnione zostały założenia technologiczne budowli, a uzyskiwane po okresie rozruchu parametry są zgodne z normami.
3. Efekt ekologiczny stosowania OZE jest widoczny w biogazowniach rolniczych, które do produkcji energii wykorzystują roślinne i zwierzęce produkty i odpady organiczne.
4. Wykorzystanie wszystkich produktów powstałych z fermentacji (biogaz, metan, dygestat i poferment) i kogeneracji (energia elektryczna, ciepło) daje gwarancję opłacalności tego kierunku produkcji rolnej.
5. Agrobiogazownia w gospodarstwie rolnym wpływa na poprawę efektów ekonomicznych poprzez sprzedaż nadwyżek energii elektrycznej i ciepłej, po zabezpieczeniu potrzeb własnych.

6. Rozwój energetyki odnawialnej powinien być uwarunkowany stabilnym prawem unijnym i krajowym, zapewniającym inwestorom przewidywalny horyzont czasowy opłacalności energii elektrycznej:

- brak stabilnych przepisów dotyczących dofinansowania różnych rodzajów OZE,
- brak spójnych i przejrzystych zasad wspólnej polityki rolnej po roku 2013.

## 5. Bibliografia

- [1] Banel A., Zygmunt B.: Lotne kwasy tłuszczowe na składowisku odpadów - występowanie i oznaczanie. *Ecological chemistry and engineering*, 2009, 32, 193-206.
- [2] Barlaz M.A., Schaefer D.M., Ham R.K.: *Appl. Environ. Microb.*, 1989, 35, 55-65.
- [3] Czyżewski A.: Wspólna Polityka Rolna UE po roku 2013 a interesy polskiego rolnictwa: *Ekonomista*, 2011, 1, 12.
- [4] Harsem J.: *Water Res.*, 1983, 17; 699-705.
- [5] Jasiewicz C., Antonkiewicz J.: Zawartość metali ciężkich w kukurydzy uprawianej w warunkach gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi, *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 2002, <http://www.pzits.not.pl>
- [6] Jasiewicz Cz., Madeyski M., Tarnawski M., Baran A.: Zawartość metali ciężkich w biomase kukurydzy pod wpływem dodatku dennego do gleby [http://www.pzits.not.pl/Ekotoks\\_2008/](http://www.pzits.not.pl/Ekotoks_2008/)
- [7] Kociszewski K.: Środowiskowe aspekty planowanej reformy Wspólnej Polityki Rolnej. *Roczniki Nauk Rolniczych*, 2011, Seria G, 98, 3; 84-100.
- [8] Kozłowska B.: *Ochrona Środowiska - wybrane zagadnienia*. Wyd. Pol. Łódzkiej, Łódź, 2001.
- [9] Ledakowicz S.: Wykorzystanie fermentacji metanowej w utylizacji odpadów przemysłu rolno-spożywczego. *Biotechnologia*, 2005, 3 (70). 165-183.
- [10] *Normy żywienia zwierząt gospodarskich*. Warszawa: PWRiL, 1981.
- [11] Ołendrzyński K., Kargulewicz I., Skośkiewicz J., Dębski B., Cieślińska J., Olecka A., Kanafa M., Kania K., Sałek P.: Krajowa inwentaryzacja emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych za rok 2007, Instytut Ochrony Środowiska, [http://www.kashue.pl/materialy/Inwentaryzacje\\_krajowe/NIR\\_2009\\_Polska\\_05-09.pdf](http://www.kashue.pl/materialy/Inwentaryzacje_krajowe/NIR_2009_Polska_05-09.pdf)
- [12] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Europejskiej ustanawiające przepisy dotyczące płatności bezpośrednich dla rolników na podstawie systemów wsparcia w ramach wspólnej polityki rolnej COM (2011) 625.2011.
- [13] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Europejskiej ustanawiające wspólną organizację rynków produktów rolnych (rozporządzenie o jednolitej, wspólnej organizacji rynków) COM (2011) 626.2011.
- [14] Sierpińska M., Jachna T.: *Ocena przedsiębiorstwa wg standardów światowych*. Warszawa: PWN, 2012, s. 408.
- [15] Węglarzy K.: Wpływ zawartości metali ciężkich w glebie na ich odkładanie w runi pastwiskowej oraz produktach i tkankach wypasanych zwierząt” *Roczniki Naukowe Zootechniki, Rozprawy Habilitacyjne*, Kraków, 2005, s. 65.
- [16] Węglarzy K., Podkówa W.: *Agrobiogazownia – poradnik*, wyd. ZD IZ PIB Grodziec Śląski, s. 156
- [17] Voß E., Weichgrebe D., Rosenwinkel K.-H.: FOS/TAC – Deduction, Methods, Application and Significance <http://www.vegmbh.de>