

**Kamil Kozłowski, Marta Cieślik, Anna Smurzyńska,
Andrzej Lewicki, Mateusz Jas**

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
e-mails: kamil.kozl1@gmail.com; mcieslik@up.poznan.pl; annas@up.poznan.pl;
alewicki@up.poznan.pl; mateuszjas@gmail.com

WYKORZYSTANIE ODPADÓW Z PRZETWÓRSTWA MIĘSNEGO NA CELE ENERGETYCZNE

THE USAGE OF WASTE FROM MEAT PROCESSING FOR ENERGETIC PURPOSES

DOI: 10.15611/nit.2015.1.04

Streszczenie: Tani import oraz notowane przez ostatnie lata wysokie ceny skupu żywca są jedną z ważniejszych przyczyn nierentowności przedsiębiorstw przemysłu mięsnego. Dodatkowym problemem dla właścicieli firm z tej branży są powstające w produkcji mięsnej odpady, które powinny zostać odpowiednio zagospodarowane, co z reguły generuje wysokie koszty. Optymalnym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie w tym celu fermentacji metanowej. Substraty, takie jak gnojowica świńska oraz treść przewodu pokarmowego, mogą być wykorzystane jako substrat dla biogazowni bez wstępnej obróbki termicznej, natomiast odpady poubojowe, w myśl Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 z dnia 21 października 2009 r., wymagają wcześniejszej higienizacji. W Pracowni Ekotechnologii, działającej przy Instytucie Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, przeprowadzono badania wydajności biogazowej tych odpadów z Zakładu Mięsnego „Paszak” w Olszówce (gmina Przykona). Analizę wykonano zgodnie z obowiązującą niemiecką normą DIN 38 414/S8. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że substraty te mają bardzo duży potencjał energetyczny. Wykazano, że racjonalne zagospodarowanie uciążliwych odpadów rzeźnych (treści przewodu pokarmowego świń i gnojowicy) może generować zysk ekonomiczny wynikający ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła, a także wyeliminowania kosztów związanych z utylizacją generowanych odpadów.

Słowa kluczowe: gospodarka odpadami, biogaz, fermentacja metanowa, gnojowica, treść przewodu pokarmowego świń.

Summary: The inexpensiveness of import and high prices of livestock noted in the last few years are one of the most significant reasons for the lack of profitability of meat industry companies. An additional problem for the entrepreneurs in this sector is the production of meat waste which needs to be properly managed, which usually generates high costs. Methane fermentation seems to be the optimal solution for this problem. Such substrates as swine slurry and digestive tract content can be used as a substrate for biogas plants without heat pretreatment, while slaughterhouse waste requires prior hygienisation in accordance with the

Regulation of the European Parliament and Council Regulation (EC) No 1069/2009 of 21 October 2009. In the Laboratory of Eco-technology functioning at the Institute of Biosystems Engineering at the University of Life Sciences in Poznan research on biogas efficiency of waste from a meat processing plant "Paszak" in Olszowka (municipality of Przykona) was conducted. The analysis was performed on the basis of the German standard DIN 38 414/S8. On a base of achieved results it was concluded that these substrates have a very high energy potential. It was also shown that rational waste management burdensome slaughterhouse waste such as swine slurry and digestive tract can generate economic profit resulting from the sale of electricity and heat production, but also in the avoidance of costs of proper waste utilization.

Keywords: waste management, biogas, methane fermentation, swine slurry, digestive tract content.

1. Wstęp

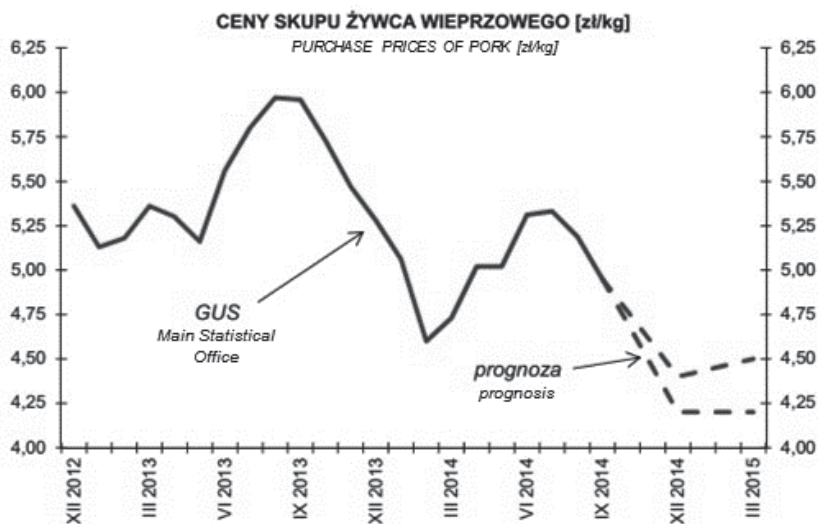
Rok 2012 był rokiem kryzysu na rynku mięsnym w Polsce. Rosnące ceny skupu żywca stały się jedną z głównych przyczyn bankructwa przedsiębiorstw przemysłu mięsnego. Najbardziej ucierpiały małe i średnie zakłady, które nie były w stanie inwestować w nowe technologie i nowoczesny park maszynowy, zmniejszające koszt wytworzenia 1 kg gotowego produktu. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że według danych z 2011 r. żywiec wieprzowy jest drugim, zaraz po mleku, najważniejszym produktem polskiego rolnictwa. Stanowi on ok. 13% produkcji towarowej rolnictwa [Pepliński 2013].

Dane GUS z września 2014 r. informują, że kilogram żywca wieprzowego kosztował w tym okresie 5,19 zł [*Prognoza cen rynkowych...* 2014] i był o ok. 13% tańszy niż w 2013 r. Spadek cen skupu na rynku krajowym spowodowany jest ograniczeniem eksportu wieprzowiny oraz wzrostem jej produkcji. Na rysunku 1 przedstawiono ceny skupu żywca wieprzowego w latach 2012-2014 i ich dalszą prognozę.

Na nierentowność przedsiębiorstw branży mięsnej ma również wpływ niekorzystna relacja cen zbóż do cen tuczników. Zakłada się, że jeżeli stosunek ceny skupu żywca do ceny zbóż paszowych wynosi powyżej 1:8, to chów trzody chlewnej jest opłacalny [Seremak-Bulge 2006]. Obserwowany jest wówczas wzrost pogłowia [Pepliński 2013; Radwan, Wadoń 2009]. Obecnie, według danych GUS, stosunek ten w 2014 r. wyniósł 1:6,8, zaś w sierpniu 2013 r. – 1:7,5 [*Raport miesięczny o sytuacji...* 2014].

Od 2007 r. obserwuje się w Polsce gwałtowny spadek pogłowia trzody chlewnej. Wynika on ze zmniejszenia się opłacalności jej produkcji i wzrostu importu z Europy Zachodniej. Rysunek 2 przedstawia zmiany w liczebności trzody chlewnej w Polsce od 2007 r. do czerwca 2014 r.

Problemem przedsiębiorstw przemysłu mięsnego są również odpady produkcyjne, których odpowiednie metody zagospodarowania wiążą się z wysokimi kosztami.

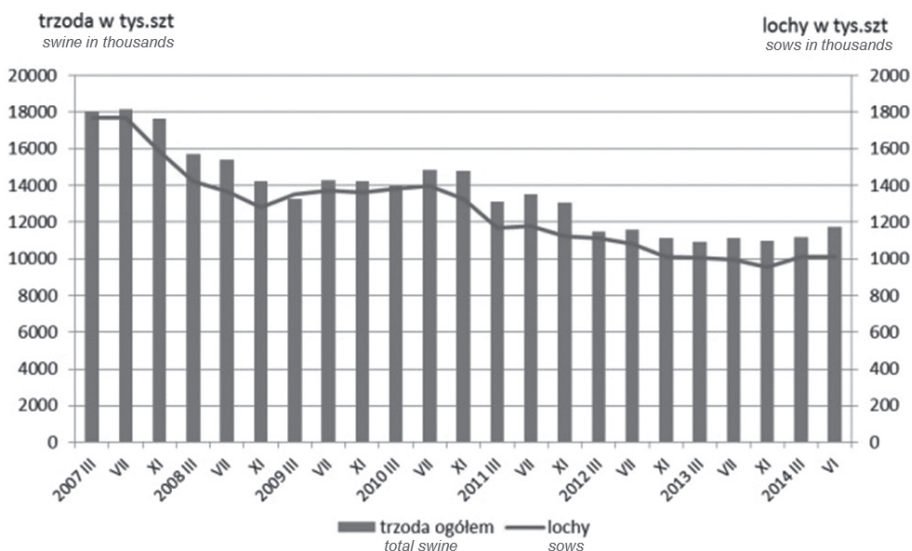


Rys. 1. Ceny skupu żywca wieprzowego w Polsce w latach 2012-2014

Fig. 1. Purchase prices of pork in Poland in 2012-2014

Źródło: [Prognoza cen rynkowych... 2014].

Source: [Prognoza cen rynkowych... 2014].



Rys. 2. Pogłowie trzody chlewnej (w tym loch) na chów w latach 2007-2014

Fig. 2. The number of swine (including sows) in the years 2007-2014

Źródło: [Pogłowie świń... 2014].

Source: [Pogłowie świń...2014].

Według Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 z dnia 21 października 2009 r. odpady poubojowe wymagają obróbki termicznej. Wyjątek stanowią gnojowica oraz treść przewodu pokarmowego, które wykorzystane w procesie fermentacji metanowej, zwolnione są z wymogu higienizacji. W obliczu obowiązujących przepisów optymalnym rozwiązaniem wydaje się wykorzystanie dwóch ostatnich substratów jako wsadu do biogazowni.

Poddanie gnojowicy fermentacji metanowej umożliwia jej racjonalne zagospodarowanie, uzyskanie wysokiej jakości nawozu, jednocześnie stając się źródłem dodatkowego dochodu dla zakładu [Kuczyńska, Nogaj, Pomykała 2011]. Gnojowicę świńską cechuje także duża zawartość wody, co ułatwia uzyskanie odpowiedniego poziomu suchej masy w fermentorze przy zastosowaniu kosubstratów o zwiększonej zawartości suchej masy [Podkówka (red.) 2012].

2. Cel badań

Problemy, z jakimi spotykają się zakłady branży mięsnej, stanowiły podstawę do podjęcia badań, których celem było przebadanie odpadów z przemysłu mięsnego, tj. gnojowicy oraz treści przewodu pokarmowego, pod kątem ich przydatności do procesu fermentacji metanowej. Celem badań było również określenie wydajności produkcji biogazu z tych odpadów w kontekście produkcji energii elektrycznej i ciepła.

3. Materiały i metody

Próbki materiału badawczego, tj. gnojowicy świńskiej i treści przewodu pokarmowego świń, pobrane zostały z Zakładu Mięsnego „Paszak” w Olszówce.

Inoculum mikrobiologiczne stanowiła frakcja ciekła pulpy pofermentacyjnej (po separatorze suchej masy) pochodząca z biogazowni rolniczej w Działyniu. Inoculum, po pobraniu ze zbiornika na poferment, przechowywano w warunkach beztlenowych, w temperaturze pokojowej.

Analizę podstawowych parametrów fizykochemicznych oraz wydajności biogazowej przeprowadzono w Pracowni Ekotechnologii działającej przy Instytucie Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Sprawdzono wydajność biogazową każdego z substratów i ich mieszaniny, tzn. gnojowicy i treści przewodu pokarmowego świń w stosunku 4:1 (proporcja ta wynika ze stosunku odpadów) produkowanych w zakładzie mięsnym „Paszak”. Parametry substratów oraz inoculum przedstawiono w tab. 1.

Oznaczenia parametrów fizykochemicznych dokonano według Polskich Norm (sucha masa – PN-75 C-04616/01, sucha masa organiczna – PN-Z-15011-3, pH – PN-90 C-04540/01, przewodność – PN-EN 27888:1999). Do oznaczenia pH i przewodności użyto wielofunkcyjnego urządzenia CPC-411 firmy Elmetron. Analiza wydajności biogazowej bazowała natomiast na niemieckiej normie DIN 38 414/S8. Badania prowadzono w reaktorach o pojemności 2 dm³, będących częścią 21-reakto-

Tabela 1. Parametry fizykochemiczne substratów i inoculum**Table 1.** The physicochemical parameters of substrates and inoculum

Substrat <i>Substrate</i>	Sucha masa <i>Dry Matter</i> [%]	Sucha masa organiczna <i>Organic Dry</i> <i>Matter [% s.m.]</i>	pH	Konduktywność <i>Conductivity</i> [mS]
Inoculum	2,64	70,73	7,96	12,58
Gnojowica świńska <i>Swine manure</i>	1,97	85,13	6,83	3,20
Treść przewodu pokarmowego świń <i>Swine digestive tract</i> <i>content</i>	24,86	96,12	6,30	1,79

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

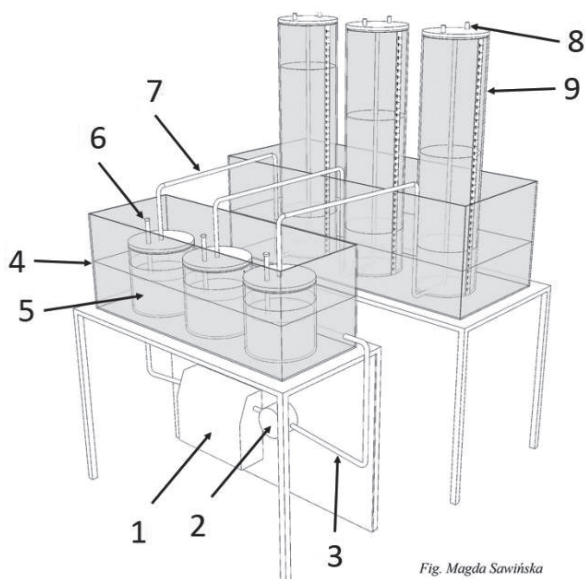


Fig. Magda Sawińska

Rys. 3. Stanowisko fermentacyjne: 1 – ogrzewacz wody z regulatorem temperatury, 2 – pompa wodna, 3 – przewody cieczy ogrzewającej, 4 – płaszcz wodny, 5 – biofermentor o pojemności 1,8 dm³, 6 – zawór do pobierania prób wsadu, 7 – przewód odprowadzający biogaz, 8 – zawór do pobierania prób gazu, 9 – wyskalowany zbiornik na biogaz

Fig. 3. Scheme of biofermentor for biogas production research: 1 – water heater with temperature regulator, 2 – water pump, 3 – insulated conductors of calefaction liquid, 4 – water coat with temp. 39°C, 5 – biofermentor with charge capacity of 2 dm³, 6 – sampling tubes, 7 – biogas transportation tube, 8 – gas sampling valve, 9 – biogas volume-scale reservoir

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

rowego stanowiska fermentacyjnego zaprojektowanego i wykonanego w Pracowni Ekotechnologii (rys. 3). Analizę jakościową i ilościową wyprodukowanych gazów (CH_4 , CO_2 , NH_4 , O_2 , H_2S) przeprowadzano codziennie za pomocą analizatora gazowego GA5000 firmy Geotech.

Do obliczeń przychodów ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła z 1 tony świeżej masy odpadów przyjęto dane przedstawione w tab. 2 i użyto poniższych wzorów:

1. Ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w kogeneracji:

$$E_E = V_{\text{CH}_4} [\text{m}^3/\text{t św.m.}] \times 0,009^* \times 0,4^{**}$$

2. Ilość ciepła wyprodukowanego w kogeneracji:

$$E_T = V_{\text{CH}_4} [\text{m}^3/\text{t św.m.}] \times 0,009 \times 0,45^{***}$$

$$E_{T_{\text{GJ}}} = \frac{E_T [\text{MWh}/\text{rok}]}{0,274^{****}},$$

gdzie:

E_E – ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w kogeneracji [MWh/t św.m.],

E_T – ilość ciepła wyprodukowanego w kogeneracji [MWh/t św.m.],

$E_{T_{\text{GJ}}}$ – ilość ciepła wyprodukowanego w kogeneracji wyrażona w GJ,

V_{CH_4} – objętość metanu [$\text{m}^3/\text{t św.m.}$],

* – $1 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 = 9 \text{ kWh} = 0,009 \text{ MWh}$.

** – sprawność elektryczną agregatu kogeneracyjnego przyjęto na poziomie 40%.

*** – sprawność cieplną agregatu kogeneracyjnego przyjęto na poziomie 45%.

**** – $1 \text{ GJ} = 0,274 \text{ MWh}$.

3. Przychód ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła wyprodukowanego w kogeneracji:

$$C_{E_{el}} = E_E \times \text{cena energii elektrycznej}$$

$$C_{Z_C} = E_E \times \text{cena zielonego certyfikatu}$$

$$C_{Z_C} = E_E \times \text{cena żółtego certyfikatu}$$

$$C_T = E_T \times \text{cena GJ ciepła}$$

$$\text{Przychód} = C_{E_{el}} \times C_{Z_C} \times C_{Z_C} \times C_T,$$

gdzie:

$P_{E_{el}}$ – przychód roczny za sprzedaż energii elektrycznej [PLN/t św.m.],

P_{Z_C} – przychód roczny za sprzedaż zielonych certyfikatów [PLN/t św.m.],

P_{Z_C} – przychód roczny za sprzedaż żółtych certyfikatów [PLN/t św.m.],

P_T – przychód roczny za sprzedaż ciepła [PLN/t św.m.].

Tabela 2. Ceny świadectw pochodzenia oraz sprzedaży energii elektrycznej i ciepła
Table 2. The price of the certificates of origin and sale of electricity and heat

	Cena Price	Jednostka Unit
Zielony certyfikat <i>Green Certificate</i>	200	zł/MWh
Żółty certyfikat <i>Yellow Certificate</i>	104	zł/MWh
Energia elektryczna <i>Electricity</i>	181	zł/MWh
GJ ciepła <i>GJ of heat</i>	50	zł/GJ

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Towarowej Giełdy Energii i Urzędu Regulacji Energetyki.

Source: own study based on Polish Power Exchange and Energy Regulatory Office.

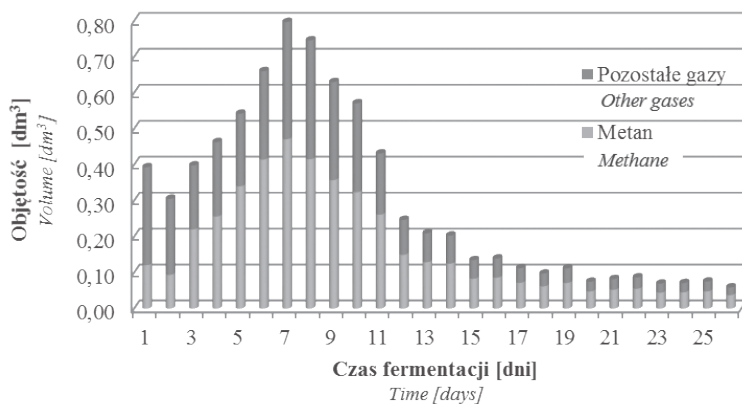
4. Wyniki i dyskusja

4.1. Wydajność biogazowa oraz przebieg procesu fermentacji

Czas potrzebny do odfermentowania substratu uzależniony był od jego rodzaju. Na rysunkach 4, 5 i 6 przedstawiono dynamikę dobowej produkcji metanu i biogazu z reaktora dla: gnojowicy świńskiej, treści przewodu pokarmowego świń oraz mieszaniny dwóch pierwszych substratów w stosunku 4:1.

Gnojowica świńska fermentowała ok. 25 dni, natomiast treść przewodu pokarmowego oraz mieszanina obu wymienionych substratów – ok. 20 dni. Gnojowicę cechowała najmniejsza wydajność biogazowa. Z 1 tony świeżej masy uzyskano 9,16 m³ biogazu o średniej zawartości metanu 58,3%. Wynika to z niskiej zawartości suchej masy w substracie – 1,97% (tab. 1). Według danych literaturowych [Lewicki i in. 2014; KTBL... 1998] z 1 tony gnojowicy o podobnej zawartości s.m. można uzyskać ok. 5 m³ biogazu, a przy mniejszej zawartości wody – nawet 20-35 m³.

Uzyskane wyniki wskazują, że największą wydajnością biogazową charakteryzowała się treść przewodu pokarmowego. Z 1 tony świeżej masy tego substratu uzyskano 275,77 m³ biogazu, w tym metanu: 194,38 m³/t św.m., co stanowi 70,48% gazu. Zgodnie z danymi literaturowymi uzysk biogazu z 1 tony świeżej masy dla tego typu substratu może wynosić 20-60 m³ [Schattner, Gronauer 2000]. Tak znaczące rozbieżności między wynikami uzyskanymi w badaniach własnych i danymi literaturowymi wynikają z niejednorodności substratu. Świadczy to o konieczności przeprowadzenia laboratoryjnego oznaczenia wydajności biogazowej substratów, którymi będzie dysponował inwestor planujący budowę biogazowni.



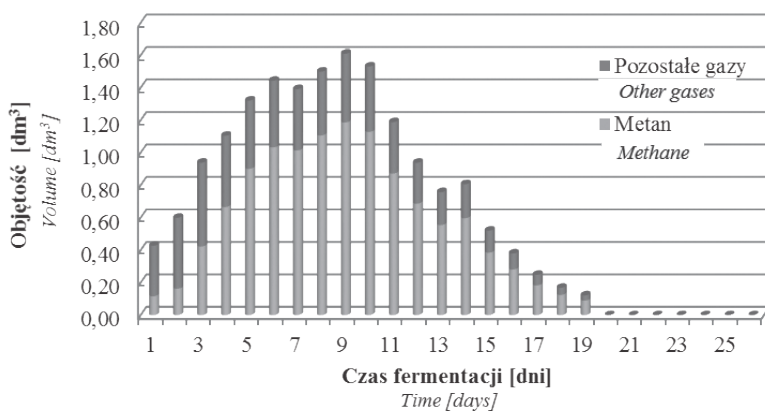
Rys. 4. Dynamika dobowej produkcji metanu i biogazu z reaktora z gnojowicą

Fig. 4. The dynamics of the daily methane and biogas production from slurry

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

Na rysunku 5 przedstawiono dynamikę dobowej produkcji metanu i biogazu z reaktora, w którym substratem była treść przewodu pokarmowego świń.



Rys. 5. Dynamika dobowej produkcji metanu i biogazu z reaktora dla treści przewodu pokarmowego świń

Fig. 5. The dynamics of the daily methane and biogas production from swine digestive tract content

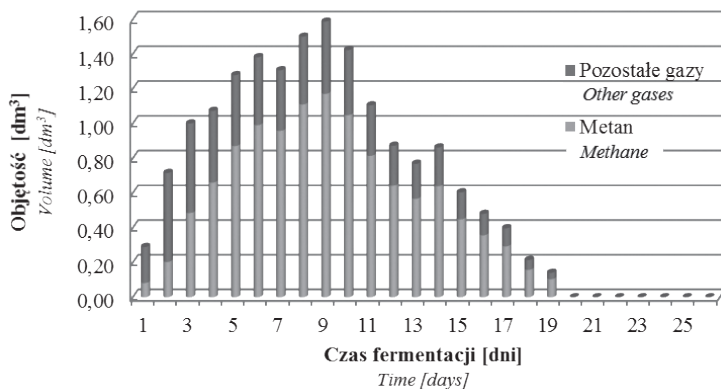
Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

Podczas fermentacji metanowej mieszaniny gnojowicy świńskiej i treści przewodu pokarmowego (w stosunku 4:1) uzyskano 62,67 m³ biogazu z 1 tony świeżej masy

substratu. Średnia zawartość metanu w biogazie wyniosła 68,85%. W przeliczeniu na tonę suchej masy organicznej badanego substratu uzyskano 702,48 m³ metanu.

Na rysunku 6 przedstawiono dynamikę dobowej produkcji metanu i biogazu z reaktora dla mieszaniny substratów.



Rys. 6. Dynamika dobowej produkcji metanu i biogazu z reaktora dla mieszaniny substratów

Fig. 6. The dynamics of the daily methane and biogas production from substrates mixture

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

Uzysk metanu i biogazu z mieszaniny gnojowicy i treści przewodu pokarmowego świń był proporcjonalny do udziału wymienionych substratów w mieszaninie i wydajności tych substratów w fermentacji monosubstratowej – nie zaobserwowano efektu synergii.

4.2. Analiza ekonomiczna i obliczenia

Najwyższe przychody ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła uzyskano dla substratu, jakim była treść przewodu pokarmowego świń. Z 1 tony świeżej masy tego odpadu można wyprodukować ok. 0,7 MWh energii elektrycznej oraz ok. 0,79 MWh ciepła. Wykorzystując dane z tab. 2, wyliczono przychód, który wyniósł 483,04 zł/t św.m. W celu wyliczenia przychodu ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła wykorzystano następujące równania:

$$E_E = 194,38 [m^3 CH_4/t \text{ św.m.}] \times 0,009 \times 0,4 = 0,7 [MWh/t \text{ św.m.}]$$

$$E_T = 194,38 [m^3 CH_4/t \text{ św.m.}] \times 0,009 \times 0,45 = 0,79 [MWh/t \text{ św.m.}]$$

$$E_{TGJ} = \frac{0,79 [MWh/rok]}{0,274} = 2,87 [GJ/t \text{ św.m.}]$$

$$C_{E_{el}} = 0,7 [MWh/t \text{ św.m.}] \times 181 \text{ zł/MWh} = 126,66 \text{ zł/t św.m.}$$

$$C_{z_c} = 0,7 [MWh/t \acute{s}w.m.] \times 200 \text{ z}\acute{ł}/MWh = 139,95 \text{ z}\acute{ł}/t \acute{s}w.m.$$

$$C_{z_c} = 0,7 [MWh/t \acute{s}w.m.] \times 104 \text{ z}\acute{ł}/MWh = 72,78 \text{ z}\acute{ł}/t \acute{s}w.m.$$

$$C_T = 0,79 [GJ/t \acute{s}w.m.] \times 50 \text{ z}\acute{ł}/GJ = 143,66 \text{ z}\acute{ł}/t \acute{s}w.m.$$

$$\text{Przychód} = 126,66 \text{ z}\acute{ł}/t \acute{s}w.m.] + 139,95 \text{ z}\acute{ł}/t \acute{s}w. m. + 72,78 \text{ z}\acute{ł} \\ /t \acute{s}w.m. + 143,66 \text{ z}\acute{ł}/t \acute{s}w.m. = \mathbf{483,04 \text{ z}\acute{ł}/t \acute{s}w.m.}$$

Wyliczenie przychodów z wykorzystaniem tych wzorów wykonano również w odniesieniu do gnojowicy i mieszanki substratów. Z 1 tony świeżej masy gnojowicy świńskiej można uzyskać ok. 0,019 MWh energii elektrycznej i 0,022 MWh ciepła. Możliwy do uzyskania przychód wyniósł 13,27 zł/t św.m. Mimo niskiego przychodu zastosowanie gnojowicy świńskiej w procesie fermentacji metanowej wpływa na zwiększenie wartości nawozowej pulpy pofermentacyjnej. Dla badanej mieszanki substratów przychód ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła z 1 tony świeżej masy wyniósł 107,23 zł.

5. Wnioski

1. Mieszanka treści przewodu pokarmowego świń i gnojowicy jest energetycznie efektywnym substratem w procesie fermentacji metanowej produkującym wysokoenergetyczny biogaz o zawartości metanu przekraczającej 60%.

2. Fermentacja metanowa może być sposobem na redukcję negatywnych skutków niewłaściwego zagospodarowania odpadów z przemysłu mięsnego.

3. Przychód ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła wyprodukowanych z treści przewodu pokarmowego świń i gnojowicy może być dla zakładów mięsnych dodatkowym źródłem dochodu.

4. Obliczając rzeczywisty dochód biogazowni, wyliczony przychód ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła należy pomniejszyć o koszty instalacji biogazowej i transportu.

Literatura

- DIN 38 414/S8, 1985, *Bestimmung des Faulverhaltens Schlamm und Sedimente*, Beuth Verlag, Berlin.
- KTBL Arbeitspapier 249 – Kofermentation, 1998, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft – KTBL, Darmstadt.
- Kuczyńska I., Nogaj A., Pomykała R., 2011, *Odpady w produkcji biogazu cz. II*, "Recykling", nr 10.
- Lewicki A., Dach J., Czekala J., Janczak D., Cieślak M., Witaszek M., Rodriguez Carmona P.C., 2014, *Badanie wydajności biogazowej substratów z biogazowni rolniczej w Zakładzie Doświadczalnym Uniwersytetu Przyrodniczego w Przybrodzie k. Poznania*, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, nr 16, s. 27-30.
- Pepliński B., 2013, *Wpływ opłacalności produkcji żywca wieprzowego na zmiany pogłowia trzody chlewnej w Polsce. Analiza regionalna*, Roczniki Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich, T. 100, z. 2.

- Pogłowie świń według stanu w czerwcu 2014 roku*, 2014, Główny Urząd Statystyczny, Departament Rolnictwa, Warszawa.
- Podkówa W. (red.), 2012. *Biogaz rolniczy – odnawialne źródło energii. Teoria. Praktyczne zastosowanie*, Powszechne Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Prognoza cen rynkowych podstawowych produktów rolno-spożywczych*, 2014, Agencja Rynku Rolnego, Biuro Analiz i Programowania, Warszawa.
- Radwan A., Wadoń A., 2009. *Production and economic diversification of pig-keeping family farms with different arable land area*, J. Agribus. Rural Dev., nr 3(13), s. 187-195.
- Raport miesięczny o sytuacji na rynku mięsa*, 2014, Agencja Rynku Rolnego, Biuro Analiz i Programowania, Warszawa.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 z dnia 21 października 2009 r. określające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi i uchylające rozporządzenie (WE) nr 1774/2002.
- Schattner S., Gronauer A., 2000. *Methanbildung verschiedener Substrate – Kenntnisstand und offene Fragen*, *Gülzower Fachgespräche*, [w:] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (red.), *Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial*, Weimar, s. 28-38.
- Seremak-Bulge J., 2006, *Rynkowe uwarunkowania produkcji wieprzowiny. Modele produkcji trzody chlewnej w Polsce*, materiały konferencyjne, Instytut Zootechniki, Warszawa, s. 53-66.