

# EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA I ENERGETYCZNA FUNKCJONOWANIA BIOGAZOWNI W ZALEŻNOŚCI OD ZASTOSOWANEGO SUBSTRATU

Maciej ZAŁUSKA\*, Janina PIEKUTIN, Lech MAGREL

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** Badania w artykule dotyczyły efektywności ekonomicznej i energetycznej biogazowni rolniczej oraz biogazowni w oczyszczalni ścieków. W celu otrzymania najlepszych wyników opisujących stan realny, przeanalizowano dane z badanych biogazowni na przestrzeni trzech kolejnych lat, to jest 2014-2016. Po dokonaniu analizy można zauważyć, jak duży wpływ na opłacalność funkcjonowania instalacji do produkcji biogazu ma substrat oraz jego cena. Zysk końcowy przypadający na 1 MWh bez dotacji dla biogazowni w oczyszczalni ścieków wynosi odpowiednio dla kolejnych lat zaczynając od 2014: 187 zł, 168 zł, 168 zł, zaś biogazownia rolnicza wykazywała straty: 4 zł, 18 zł, 28 zł.

*Słowa kluczowe:* biogaz, biogazownia, substrat, efektywność ekonomiczna, efektywność energetyczna.

## 1. Wprowadzenie

Biogaz jest łatwopalnym gazem, składającym się w przybliżeniu z 60% metanu, 30% dwutlenku węgla, 5% wody, resztę stanowią siarkowodor, azot, tlen oraz wodór. Wykorzystując wysoką wartość opałową biogazu wykorzystywany jest on do produkcji energii cieplnej oraz elektrycznej (Ruszkowski, 1999; Rusak i Kowalczyk-Juško, 2007; Dudek i Zalewska-Bartosz, 2010). Wytwarzanie energii z biogazu ogranicza emisję gazów cieplarnianych, co jest ważnym aspektem, biorąc pod uwagę podpisany Protokół z Kioto, regulujący wielkość emisji gazów cieplarnianych. Wykorzystanie odpadów rolniczych i osadów ściekowych do produkcji biogazu zmniejsza zużycie paliw nieodnawialnych.

W tabeli 1 zostały przedstawione podstawowe paliwa wykorzystane do produkcji energii oraz ich wartości opałowe i przeliczenie tych wartości w stosunku do biogazu (Ginalski, 2011). Wartość opałową biogazu można porównać do węgla kamiennego, co oznacza możliwość zastąpienia części produkcji energii z użyciem paliw stałych i zastosowanie biogazu uzyskiwanego w proekologiczny sposób. Rozwiązanie to spowoduje zmniejszenie emisji spalin, co wpłynie na dość duży problem naszego kraju w ostatnich latach – zanieczyszczenie smogiem.

Biogaz powstaje w wyniku przemiany związków organicznych poprzez mikroorganizmy beztlenowe w fermentacji metanowej. Odpowiednie warunki do poprawnego powstawania biogazu stanowi wilgotne otoczenie, stała optymalna temperatura, warunki beztlenowe oraz wystarczająca dostępność materii organicznej.

Tab. 1 Wartość opałowa biogazu oraz porównanie do innych nośników energii (Ginalski, 2011)

Rodzaj paliwa	Wartość opałowa	Przelicznik stosunku do 1m <sup>3</sup> biogazu o wartości opałowej 26 MJ/m <sup>3</sup>
Biogaz	20 - 26 MJ/m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>
Gaz ziemny	33,5 MJ/m <sup>3</sup>	0,77 m <sup>3</sup>
Olej napędowy	41,9 MJ/dm <sup>3</sup>	0,62 dm <sup>3</sup>
Węgiel kamienny	32,4 MJ/kg	1,1 kg
Biopaliwo z zepaku	36,5 MJ/kg	0,7 kg
Etanol	29,6 MJ/kg	0,85 kg
Drewno opałowe	8-18 MJ/kg	2 kg

W środowisku naturalnym takie warunki spełniają między innymi: torfowiska, pola ryżowe, składowiska odpadów, zwłazce przeżuwaczy (Myczko i in., 2011).

W trakcie produkcji biogazu ważne jest, aby zapewnić odpowiednie parametry środowiska, które zapewniają poprawny przebieg reakcji poprzez odpowiednie warunki bytowania mikroorganizmów. Wahania wartości tych parametrów negatywnie wpływają na mikroorganizmy, co jest jednoznaczne z wyprodukowaniem mniejszej ilości biogazu. Podstawowe parametry wpływające na fermentację możemy podzielić na czynniki fizyczne oraz chemiczne (Szlachta, 1999; Jędrzak, 2007; Myczko i in., 2011).

Celem pracy jest określenie efektywności ekonomicznej i energetycznej funkcjonowania biogazowni w zależności od zastosowanego substratu.

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: m.zaluska@doktoranci.pb.edu.pl

## 2. Metody badawcze

Do analizy ekonomicznej wybrano dwie pracujące biogazownie: rolniczą i pracującą w oczyszczalni ścieków miejskich.

Pierwszym analizowanym obiektem jest biogazownia rolnicza. Praca biogazowni jest oparta na fermentacji metanowej kiszonki kukurydzianej razem z obornikiem (70%), dodatkowo stosuje się wycierkę ziemniaczaną, wytlók z jabłek, uboczne produkty pochodzenia zwierzęcego oraz odpady spożywcze w ilości 30%. Proces powstawania biogazu (rys. 1) zaczyna się od dostarczenia substratów do komór fermentacyjnych poprzez podajniki ślimakowe, następnie w komorach pod wpływem mikroorganizmów zostaje produkowany biogaz.

Drugim obiektem (rys. 2) jest instalacja fermentacji metanowej w oczyszczalni ścieków miejskich. Biogaz z wydzielonych komór fermentacji transportowany jest do zbiornika sferycznego, a następnie do dwóch silników kogeneracyjnych. Poferment jest suszony, a następnie transportowany na składowisko. Spełnienie odpowiednich wymagań zawartych w art. 4 ust. 2 ustawy z dnia 10 lipca 2007 r. (Dz.U. 2007 Nr 177, poz. 1033) umożliwia wykorzystywanie wysuszonego granulatu do nawożenia pól. Na rysunku 2 przedstawiono uproszczony schemat instalacji biogazu na oczyszczalni ścieków.

Do obliczenia analizy efektywności substratów wykorzystano następującą zależność

$$\text{Efektywność energetyczna} = \frac{\text{Ilość biogazu zużyta na produkcję energii elektrycznej i ciepła [m³]}}{\text{Ilość energii elektrycznej wyprodukowanej z biogazu [MWh]}} \quad (1)$$

Obliczenie końcowego zysku, przypadającego na 1 MWh wyprodukowanej energii elektrycznej

określane jako efektywność ekonomiczną każdej z biogazowni policzono według wzoru (2):

$$\text{Efektywność ekonomiczna} = \frac{\text{Zysk ze sprzedanej energii} + (\text{wartość certyfikatów}) - \text{koszty substratu}}{\text{Ilość energii elektrycznej wyprodukowanej z biogazu [MWh]}} \quad (2)$$

Wyrażenie „wartość certyfikatów” ujęto w nawiasie, ponieważ obliczono dwa warianty:

- zysk końcowy przypadający na 1 MWh [zł],
- zysk końcowy przypadający na 1 MWh, bez uwzględniania instrumentu pomocowego jakim są zielone oraz żółte certyfikaty [zł].

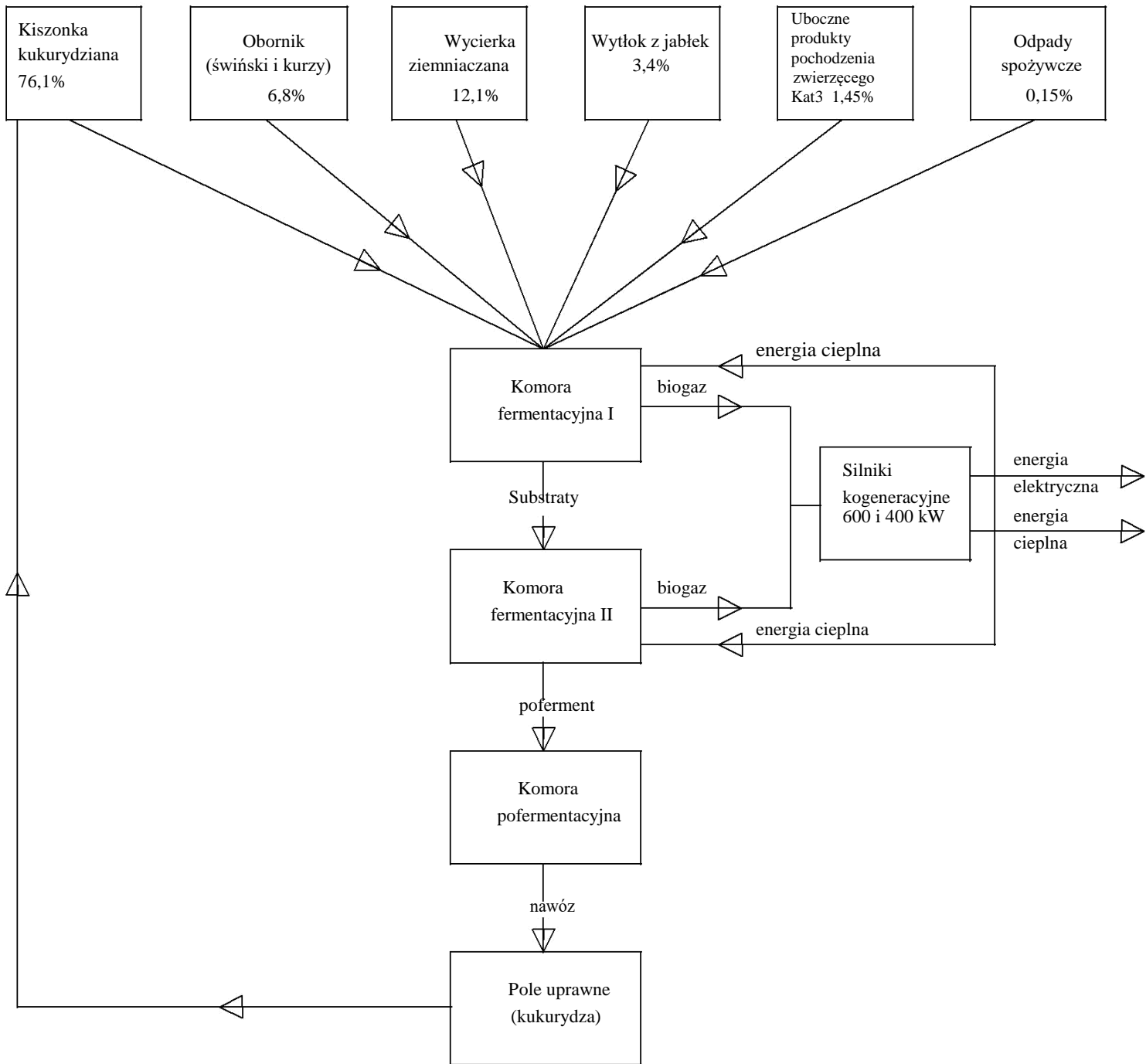
Zielone certyfikaty są to świadectwa pochodzenia energii elektrycznej wytworzonej z Odnawialnych Źródeł Energii, zaś żółte świadczą o pochodzeniu energii wytworzonej w jednostkach kogeneracyjnych o mocy mniejszej niż 1 MWe. Certyfikaty te są przydzielane producentom energii ze źródeł odnawialnych i mogą być przez nich sprzedawane na Towarowej Giełdzie Energii, co stanowi dodatkowy zysk produkcji energii.

## 3. Analiza wyników badania

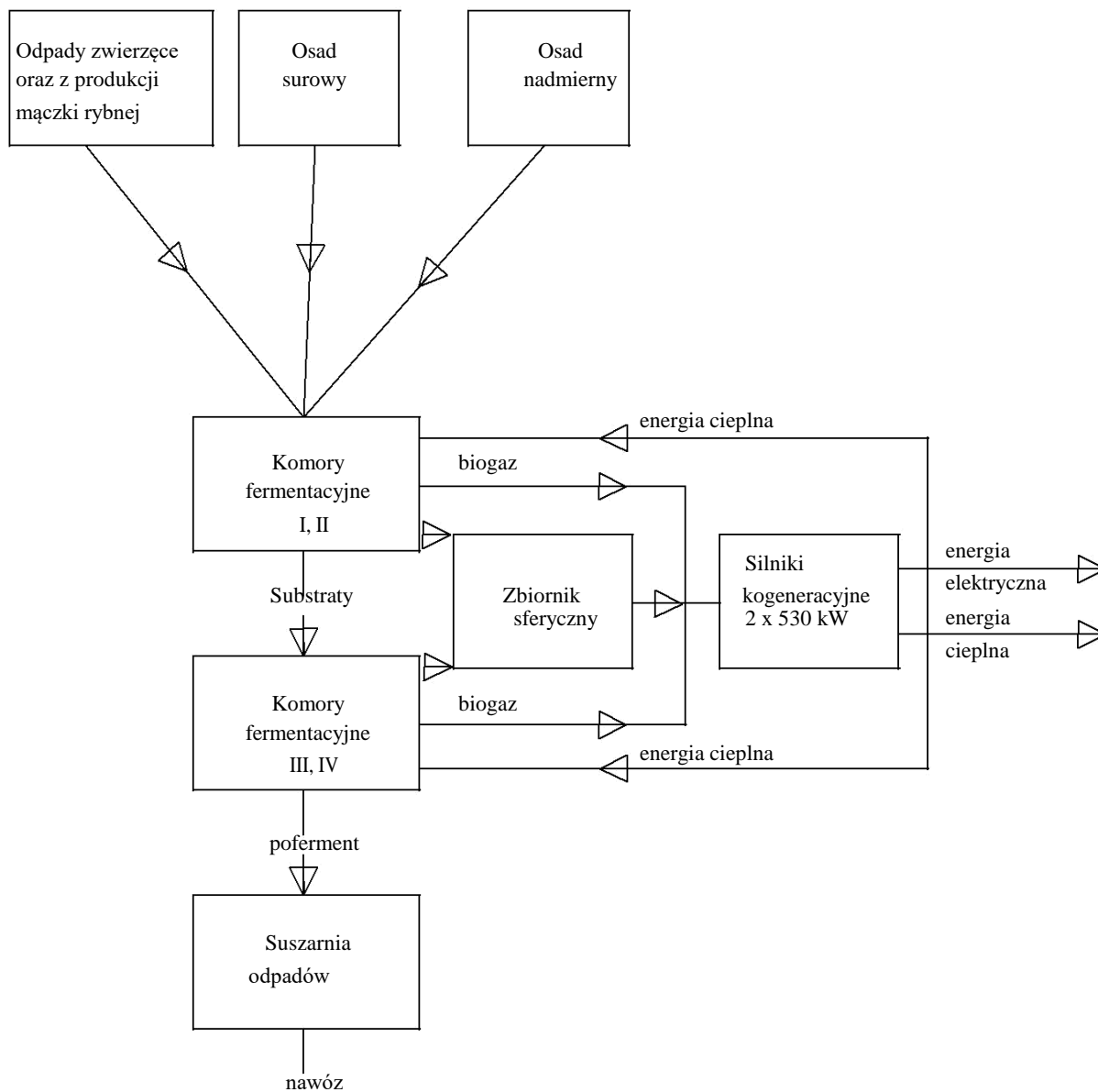
Dane dotyczące ilości biogazu wytworzonego w biogazowni rolniczej oraz w biogazowni funkcjonującej przy oczyszczalni ścieków w latach 2014-2016 pokazano w tabeli 2. Tabela 2 zawiera zarówno informacje o ilości wytworzonego biogazu i energii elektrycznej, jak i wyniki obliczeń ekonomicznych, dzięki którym można jednoznacznie stwierdzić, która biogazownia przynosi zyski lub straty i od jakich czynników jest to uzależnione.

Tab. 2. Wyniki badań oraz obliczeń dla biogazowni rolniczej (R) oraz biogazowni przy oczyszczalni ścieków (OŚ)

Typ biogazowni	2014		2015		2016	
	R	OŚ	R	OŚ	R	OŚ
Ilość biogazu zużyta na produkcję energii elektrycznej i ciepła [m³]	3408570	4296240	3589840	4423126	3212798	4839405
Ilość energii elektrycznej wyprodukowanej z biogazu [MWh]	7320	9620	7867	10141	7234	10701
Ilość biogazu zużyta na produkcję 1 MWh [m³] – efektywność energetyczna (sprawność)	466	447	456	436	444	452
Zysk ze sprzedanej energii elektrycznej [zł]	1244293	1794052	1209201	1704474	1117332	1801847
Zysk jednostkowy ze sprzedanej energii [zł]	170	187	154	168	154	168
(+) Wartość zielonych i BIO certyfikatów	1245115	1636370	849667	1095260	1288685	1816427
(+) Wartość żółtych certyfikatów	0	0	226871	0	412834	0
(-) Koszty substratów	1273925	0	1353267	0	1320832	0
(=) Zysk końcowy = Zysk ze sprzedanej energii elektrycznej + certyfikaty - koszty wytworzenia biogazu (korzystność)	1215483	3430421	932471	2799734	1498019	3618274
Zysk końcowy przypadający na 1 MWh [zł]	166	357	119	276	207	338
Zysk końcowy przypadający na 1 MWh (bez dotacji) [zł]	-4	187	-18	168	-28	168



Rys. 1. Schemat badanej biogazowni rolniczej



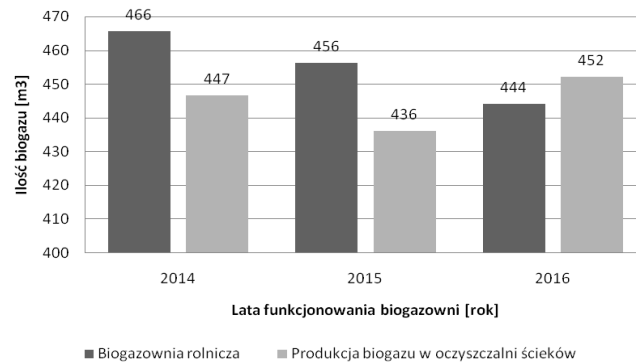
Rys. 2. Schemat badanej biogazowni przy oczyszczalni ścieków

Analizując efektywność energetyczną substratów (rys. 3) można zauważyć, że efektywność energetyczna biogazu kształtuje się na podobnym poziomie. W latach 2014 oraz 2015 biogazownia rolnicza odnotowała niższą efektywność w porównaniu do biogazowni wykorzystującej osady ściekowe, ponieważ do produkcji 1 MWh energii elektrycznej potrzebowała większą ilość biogazu w m<sup>3</sup>. W roku 2016 efektywność energetyczna kształtowała się na zbliżonym poziomie w obu biogazowniach. Można wysunąć wniosek, że odpady pochodzenia rolniczego są mniej kaloryczne, co przekłada się później na większą ilość biogazu potrzebną do wytworzenia 1 MWh energii elektrycznej. Natomiast zróżnicowane poziomy efektywności energetycznej w poszczególnych latach mogą wynikać: w biogazowni rolniczej – z różnych mieszanek substratów, w biogazowni przy oczyszczalni ścieków – z jakości osadu ściekowego.

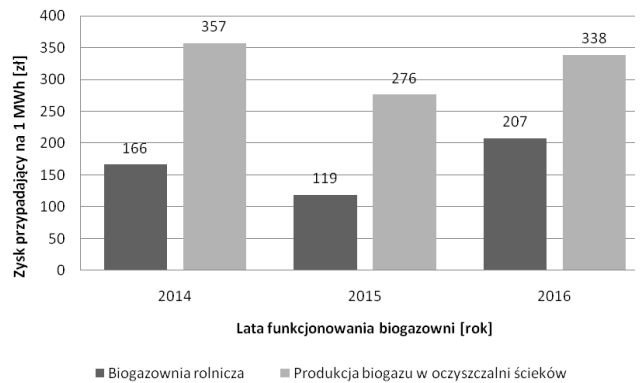
Poddając analizie wyniki obliczeń (rys. 4) zauważono, że w każdym rozpatrywanym roku biogazownia działająca przy oczyszczalni ścieków odznaczała się około 2-krotnie wyższym zyskiem końcowym przypadającym na 1 MWh wyprodukowanej energii. Przyczyną tak zróżnicowanych efektów ekonomicznych są koszty substratów – biogazownia rolnicza, aby funkcjonować, jest zmuszona do skupu odpadów pochodzenia rolniczego, które są niezbędne do produkcji biogazu. Natomiast biogazownia działająca przy oczyszczalni ścieków nie ponosi kosztu zakupu substratu, ponieważ wykorzystywany do przemian osad ściekowy jest odpadem procesowym funkcjonowania oczyszczalni ścieków.

Drugi wariant obliczenia zysku końcowego zakłada nieuwzględnianie pomocy finansowej, jaką stanowią certyfikaty. Oszacowano, jak będzie kształtował się zysk bez instrumentu pomocowego, w naturalnych warunkach rynkowych. Wyniki analizy przedstawiono na rysunku 5.

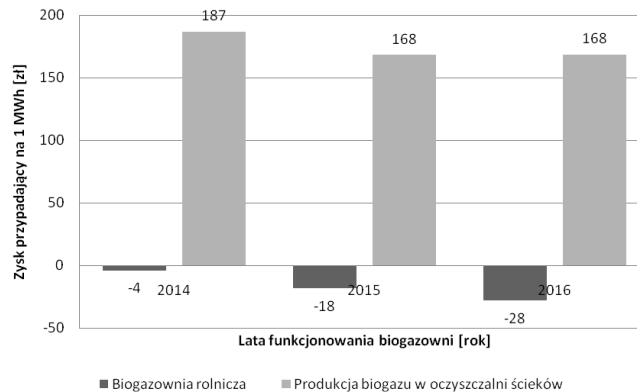
Analizując wyniki obliczeń (rys. 5) można zauważyć, że na przestrzeni analizowanego okresu lat 2014-2016, w przypadku nieuwzględniania instrumentów pomocowych jakimi są certyfikaty, zysk końcowy jest o wiele mniejszy w porównaniu do poprzedniej analizy. Ponadto, dla biogazowni wykorzystującej odpady pochodzenia rolniczego zysk przypadający na 1 MWh w każdym rozpatrywanym roku jest ujemny. Przyczyną jest brak dotacji oraz wysokie koszty zakupu substratu. Pozwala to wysnuć wniosek o braku efektywności oraz ekonomicznego uzasadnienia funkcjonowania biogazowni rolniczej w przypadku braku dofinansowania i instrumentów pomocowych ze strony państwa.



Rys. 3. Efektywność energetyczna substratów w biogazowni rolniczej oraz w biogazowni przy oczyszczalni ścieków



Rys. 4. Zysk końcowy przypadający na 1 MWh energii elektrycznej wytworzonej w biogazowni rolniczej oraz w biogazowni przy oczyszczalni ścieków



Rys. 5. Zysk końcowy przypadający na 1 MWh energii elektrycznej wytworzonej w biogazowni rolniczej oraz w biogazowni przy oczyszczalni ścieków – bez uwzględniania instrumentów pomocowych

## Podsumowanie

Współczesna gospodarka charakteryzuje się coraz mniejszą stabilnością, co przejawia się w nieustannym wzroście cen paliw. W tej sytuacji konsumenci szukają alternatywnych sposobów pozyskiwania taniej energii. Ponadto, ważną rolę odgrywają kwestie ochrony środowiska naturalnego, które kładą nacisk na stosowanie czystych, „zielonych”, a tym samym niskoemisyjnych źródeł energii. Pojawia się również zagadnienie bezpieczeństwa energetycznego państwa i stopniowe

odchodzenie od zcentralizowanych źródeł zasilania na rzecz „energetyki rozdrobnionej”. Pewnego rodzaju pomostem, łączącym kwestie ekonomiczne, środowiskowe oraz energetyczne, wydaje się być biogaz, będący alternatywnym źródłem energii.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizie uzyskanych wyników wyciągnięto następujące wnioski:

- Biogazownia rolnicza odnotowała niższą efektywność w porównaniu do biogazowni wykorzystującej osady ściekowe, ponieważ do produkcji 1 MWh energii elektrycznej potrzebowała większą ilość biogazu w m<sup>3</sup>.
- Biogazownia działająca przy oczyszczalni ścieków odznaczała się wyższym zyskiem końcowym przypadającym na 1 MWh wyprodukowanej energii.
- Wykazano, że zysk końcowy jest o wiele mniejszy w porównaniu do analizy uwzględniającej dofinansowanie.
- Biogazownia wykorzystująca osady ściekowe charakteryzuje się wyższą efektywnością energetyczną oraz ekonomiczną.

### Literatura

- Dudek J., Zaleska-Bartosz J. (2010). Pozyskiwanie i wykorzystywanie biogazu do celów energetycznych. *Problemy Ekologii*, 1/2010, 13-16.
- Ginalski Z. (2011). Substraty dla biogazowni rolniczych. *Centrum Doradztwa Rolniczego Oddział Radom*, Radom
- Jędrzak A. (2007). Biologiczne przetwarzanie odpadów, *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.

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

Rusak S., Kowalczyk-Juśko A. (2007). Biogazownia rolnicza – warunki eksploatacyjne. *Czysta Energia*, Nr 9/2007, 22-23.

Ruszkowski J. (1999). Odnawialne źródła energii jako alternatywne substytuty konwencjonalnych surowców energetycznych. *Wydawnictwo uczelniane Akademii Ekonomicznej im. Karola Adamieckiego w Katowicach*, Katowice.

Szlachta J. (1999). Niekonwencjonalne źródła energii. *Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, Wrocław.

Ustawa z dn. 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu. *Dz.U.* 2007 Nr 177, poz. 1033.

### ECONOMIC AND ENERGETIC EFFICIENCY OF BIOGAS PLANT DEPENDING ON THE SUBSTRATE APPLICABLE

**Abstract:** In order to obtain the results most accurately describing the real state of economic and energetic efficiency, the data from the various biogas plants was analysed over the next three years, i.e. 2014-2016. After the analysis, it should be noticed that the substrate and its price have a significant impact on the profitability of the biogas plant operation. A biogas plant using substrates of agricultural origin bears large costs related to the purchase of the load. However, the installation using sewage sludge from the sewage treatment plant does not bear any costs related to the substrates, but shows significant profits.