

ALINA KOWALCZYK-JUŚKO

Katedra Produkcji Roślinnej i Agrobiznesu
Wydział Nauk Rolniczych Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie
e-mail: ajusko@wnr.edu.pl

EFEKTYWNOŚĆ PRODUKCJI BIOGAZU Z ODPADÓW ROLNICZYCH I PRZETWÓRSTWA ROLNO-SPOŻYWCZEGO

Fermentacja metanowa to jeden z bardziej efektywnych sposobów pozyskiwania energetycznego paliwa gazowego z biomasy. W tym procesie wykorzystywane są różne surowce i odpady organiczne. Aby porównać wydajność i opłacalność produkcji biogazu z wybranych substratów przeprowadzono analizę, wykorzystującą program symulacyjny. Wydajnym substratem podstawowym okazał się wywar zbożowy, mniej zaś gnojowica świńska. Najlepsze wskaźniki techniczne i ekonomiczne uzyskano zakładając wykorzystanie odpadów owocowych w połączeniu z gnojowicą lub wywarem.

Słowa kluczowe: biogaz, odnawialne źródła energii, substraty

I. WSTĘP

Rozwój systemów produkcji energii z biomasy to z jednej strony wdrażanie nowych technologii jej konwersji, z drugiej zaś – badanie różnorodnych surowców, które mogą znaleźć zastosowanie w tych procesach. Najbardziej rozpowszechnione jest spalanie biomasy stałej, nie jest to jednak jedyny efektywny sposób pozyskiwania energii z surowców ulegających biodegradacji. Coraz większym zainteresowaniem cieszy się produkcja biogazu, szczególnie rolniczego. Spalanie biogazu w silnikach zespołów prądotwórczych umożliwia wykorzystanie energii zawartej w biogazie do wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej [2]. Biogaz może być produkowany z różnego rodzaju biomasy (ścieki, odpady komunalne, gnojowica, obornik, odpady zwierzęce i roślinne), bądź też celowo pozyskiwanej z plantacji roślin energetycznych [1].

W Niemczech funkcjonuje technologia produkcji biogazu w oparciu o surowce z gospodarstwa, przynosząc znaczący dochód właścicielom biogazowni. Najczęściej wykorzystywane surowce w niemieckich biogazowniach rolniczych to produkty uboczne z rolnictwa (gnojowica, odchody drobiu), a także surowce przeznaczone celowo do produkcji biogazu (kiszonki różnych roślin, głównie kukurydzy, żyta, pszenżyta, motylkowatych; korzenie i liście buraków, trawy). Biogazownie wykorzystują również odpady dostępne w otoczeniu rolnictwa, np. z zakładów przetwarzających surowce rolnicze, gorzeln, browarów, chłodni, mleczarni. Dobór kosubstratów uzależniony jest od lokalizacji jednostki, dostępności odpadów organicznych, a także aktualnych cen surowców celowych. Poszczególne substraty charakteryzują się zróżnicowanym składem i wydajnością biogazu [1,4]. Bardzo ważny jest taki ich dobór, aby uzyskać maksymalną wydajność procesu, a równocześnie nie zakłócić jego

* *Pracę recenzował:* prof. dr hab. inż. Jan Siuta, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa

przebiegu przez nadmiar lub niedobór pewnych składników. Dlatego bardzo ważne jest poznanie składu i charakterystyki surowców właśnie pod tym kątem. Substraty różnią się też czasem fermentacji, objętością, wilgotnością itp. Najszybciej utylizowane są polisacharydy, najwolniej tłuszcze, przy czym najwyższą wydajność metanu uzyskuje się z surowców tłuszczowych. Dla krótkich czasów fermentacji więcej biogazu uzyskuje się w przypadku surowców zawierających polisacharydy [6]. Niezbędne jest więc ustalenie doboru kosubstratów w zależności od możliwości konstrukcyjnych biogazowni (objętości komór, czasu retencji, możliwości gromadzenia i przechowywania substratów). Równocześnie należy śledzić wynik ekonomiczny podejmowanych decyzji, gdyż poszczególne substraty różnią się ceną i kosztami produkcji. Do produkcji biogazu można wykorzystać np. kiszonkę czy ziarno, których produkcja wiąże się z poniesieniem konkretnych kosztów, a można też wykorzystać odpady z przemysłu rolno-spożywczego, których koszty będą minimalne, czy też resztki poubojowe, za utylizację których można uzyskać dodatkowy przychód [3]. Tak więc dobór surowców powinien odbywać się z uwzględnieniem ich dostępności, ceny i właściwości fizykochemicznych.

Celem niniejszej pracy jest porównanie efektywności technicznej i ekonomicznej produkcji biogazu z różnych kombinacji substratów.

II. METODYKA

W celu porównania wydajności biogazowej różnych surowców, powszechnie dostępnych w gospodarstwach rolnych, przeprowadzono analizę efektywności produkcji biogazu, zakładając wykorzystanie różnych odpadów, w biogazowni o określonych parametrach. Obliczeń dokonano za pomocą autorskiego programu symulacyjnego, wykorzystującego zgromadzone dane dotyczące składu chemicznego, wydajności biogazowej i innych parametrów ponad 100 substratów najczęściej stosowanych w biogazowniach rolniczych i przemysłowych [3]. Analizę opłacalności przeprowadzono w warunkach ekonomicznych połowy roku 2008 (ceny energii, świadectw pochodzenia, stopy dyskontowe i inflacji):

- cena sprzedaży prądu do sieci 128 PLN/MWh,
- cena sprzedaży świadectw pochodzenia 240 PLN/MWh,
- stopa dyskontowa 5,75%,
- stopa inflacji 4,1%,
- sprzedaż energii cieplnej zewnętrznemu odbiorcy 80 PLN/MWh,
- cena kiszonki kukurydzianej 75 PLN/tona (świeża masa),
- okres amortyzacji instalacji wraz ze zbiornikami 10 lat,
- okres amortyzacji dla silnika 4,5 lat,
- ubezpieczenie 0,5% kosztów inwestycyjnych,
- wpływ z utylizacji odpadów poubojowych 120 PLN/tona,
- moc modułu kogeneracyjnego 520 kW,
- okres pracy biogazowni w ciągu roku 350 dni.

Założono 6 kombinacji surowców biogazowych, przy czym jako substraty podstawowe przewidziano gnojowicę świńską i wywar z gorzelnii (żytni) dozowane w ilości 30 t/dobę oraz jako kosubstraty: kiszonkę z kukurydzy w fazie dojrzałości mleczno-woskowej ziarna, wyciąki owocowe z przetwórstwa oraz obornik bydły. Założono wsad kosubstratów na poziomie 17 t/dobę każdego surowca (tab. 1).

W kombinacji gnojowicy z kiszonką oraz z obornikiem przewidziano niewielki dodatek (0,2 t/dobę) odpadów poubojowych zmieszanych, ze względu na konieczność

zoptymalizowania procesu wysokowydajnym substratem. Do każdej kombinacji założono dodatek zawiesiny pofermentacyjnej w ilości 32 t/dobę, niezbędnej dla zachowania odpowiedniej zawartości suchej masy, a raczej właściwego rozcieńczenia wsadu (tab. 2).

Tabela 1 – Table 1

Charakterystyka substratów
Characteristic of substrates

Substrat <i>Substrate</i>	Zawartość / <i>Content</i>		Wydajność CH ₄ [m ³ /kg s.m.o] <i>CH₄ yield</i> [m ³ /kg o.d.m.]
	suchej masy (s.m.) <i>dry matter (d.m.)</i> [%]	suchej masy organicznej (s.m.o.) <i>organic dry</i> <i>matter (o.d.m.)</i> [%]	
Gnojowica świńska / <i>Pig slurry</i>	4,5	80,0	0,24
Wywar zbożowy / <i>Cereal slop</i>	8,0	83,0	0,38
Kiszonka z kukurydzy / <i>Corn silage</i>	30,0	95,7	0,34
Odpady owocowe / <i>Fruit wastes</i>	30,0	90,0	0,38
Obornik bydłący / <i>Cow manure</i>	20,0	68,0	0,22
Zawiesina pofermentacyjna <i>Fermenting suspension</i>	3,2	15,0	0,10
Odpady poubojowe / <i>Slaughter wastes</i>	20,0	80,0	0,43

Tabela 2 – Table 2

Parametry procesu fermentacji substratów
Parameters of substrates in fermentation process

Substrat <i>Substrate</i>	Wsad / <i>Dose</i>		S.m. / <i>d.m.</i>		S.m.o [t/rok] <i>O.d.m.</i> [t/year]
	[t/doba] [t/day]	[t/rok] [t/year]	[t/doba] [t/day]	[t/rok] [t/year]	
Gnojowica świńska / <i>Pig slurry</i>	30	10950	1,4	493	394
Wywar zbożowy / <i>Cereal slop</i>	30	10950	2,4	876	727
Kiszonka z kukurydzy / <i>Corn silage</i>	17	6250	5,1	1862	1781
Odpady owocowe / <i>Fruit wastes</i>	17	6250	5,1	1862	1675
Obornik bydłący / <i>Cow manure</i>	17	6250	3,4	1241	844
Zawiesina pofermentacyjna <i>Fermenting suspension</i>	32	11680	1,0	374	56
Odpady poubojowe / <i>Slaughter wastes</i>	0,2	73	0,04	15	12

III. WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Wywar zbożowy, dzięki wyższej zawartości suchej masy, przy równoczesnym większym udziale suchej masy organicznej, okazał się bardziej wydajnym substratem podstawowym, w porównaniu z gnojowicą. Wyniki badań w tym zakresie, przeprowadzone w różnych jednostkach badawczych na świecie, przytaczane przez Steffena i in. [5], nie wskazują jednoznacznie na wyższą efektywność fermentacji wywaru jako pozostałości z produkcji etanolu (wydajność biogazu z gnojowicy 0,25-0,50 m³/kg s.m.o., zaś z wywaru

0,35-0,55 m³/kg s.m.o.). Najwyższą produkcję biogazu spośród analizowanych kosubstratów uzyskać można z odpadów owocowych i kiszonki z kukurydzy (tab. 3).

Tabela 3 – Table 3

Wydajność procesu fermentacji substratów
Efficiency of substrates in fermentation process

Substrat <i>Substrate</i>	Wydajność biogazu <i>Biogas yield</i> [m ³ /h]	Wydajność CH ₄ / <i>CH₄ yield</i>		
		[m ³ /h] [m ³ /h]	[m ³ /doba] [m ³ /day]	[m ³ /rok] [m ³ /year]
Gnojowica świńska / <i>Pig slurry</i>	18,0	10,8	259	94608
Wywar zbożowy / <i>Cereal slop</i>	54,4	31,5	757	276290
Kiszonka z kukurydzy / <i>Corn silage</i>	132,7	69,1	1659	605695
Odpady owocowe / <i>Fruit wastes</i>	112,7	73,2	1758	641659
Obornik bydlęcy / <i>Cow manure</i>	35,3	21,2	509	185654
Zawiesina pofermentacyjna <i>Fermenting suspension</i>	1,2	0,6	15	5606
Odpady poubojowe / <i>Slaughter wastes</i>	0,8	0,6	14	5022

Przeprowadzona analiza wykazała, że spośród zaproponowanych surowców najwyższą efektywnością ekonomiczną wykazała się kombinacja złożona z wywaru zbożowego z gorzelnii i wycieków owocowych, powstających jako odpad w zakładach przetwórczych. Niewiele mniejszą efektywnością charakteryzowała się produkcja biogazu w oparciu o gnojowicę świńską również z dodatkiem wycieków (Tab. 4). Mimo, iż kiszonka z kukurydzy ma niewiele mniejszą wydajność technologiczną, efekt ekonomiczny jest znacznie mniej korzystny ze względu na koszt produkcji lub zakupu kiszonki, podczas gdy wycieki jako odpady, obciążone są jedynie kosztem transportu. Stosowanie innych odpadów i surowców rolniczych jest mało efektywne, o czym świadczy ujemny wskaźnik wartości bieżącej netto (NPV) i wewnętrznej stopy zwrotu (IRR), a okres zwrotu jest relatywnie długi. Produkcja biometanu na bazie obornika bydlęcego zarówno w kombinacji z gnojowicą, jak i z wywarem, nie jest procesem efektywnym technologicznie (wydajność biogazu z fermentacji obornika wynosi 35,3 m³/h, podczas gdy z tej samej ilości odpadów owocowych można uzyskać 112,7 m³ biogazu, zaś z kiszonki z kukurydzy aż 132 m³), jak i ekonomicznie.

Tabela 4 - Table 4

Wskaźniki opłacalności inwestycyjnej produkcji biogazu
Indexes of investment profitability of biogas production

Substrat podstawowy <i>Prime substrate</i>	Kosubstrat <i>Cosubstrate</i>	NPV [tys. PLN]	IRR [%]	Okres zwrotu [rok] <i>Payback period</i> [year]
gnojowica świńska <i>pig slurry</i>	kiszonka z kukurydzy* / <i>corn silage</i>	-1 822,4	-1,3	15,01
	odpady owocowe / <i>fruit wastes</i>	2 727,0	14,7	5,88
	obornik bydlęcy* / <i>cow manure</i>	-3 362,8	-13,7	39,81
wywar zbożowy <i>cereal slop</i>	kiszonka z kukurydzy / <i>corn silage</i>	1 004,7	8,0	8,54
	odpady owocowe / <i>fruit wastes</i>	3 810,0	15,3	5,69
	obornik bydlęcy / <i>cow manure</i>	-243,8	-3,9	16,39

*kombinacje z dodatkiem odpadów poubojowych

*with addition of slaughter wastes

Efektywne funkcjonowanie biogazowni stosującej mniej wydajne surowce wymaga dodatku kosubstratów o znacznej wydajności produkcji metanu, jak np. frakcja glicerynowa z produkcji biodiesla, tłuszcze zwierzęce i posmażalnice, czy odpady poubojowe z rzeźni. Zasadność stosowania wysokowydajnych kosubstratów w procesie fermentacji typowych rolniczych substratów, wskazują też Rusak i Kowalczyk-Juško [4]. Również Szewczyk [6] stwierdza, że w przypadku surowców roślinnych zawierających przede wszystkim celulozę i hemicelulozę, wzrost wydajności biogazu można uzyskać w wyniku kofermentacji, tzn. wspólnego przetwarzania surowców roślinnych i odpadów przemysłu spożywczego.

Analiza ekonomiczna, mimo iż uproszczona, pozwala na ogólne rozpoznanie efektywności ekonomicznej produkcji biometanu z różnych surowców dostępnych w rolnictwie. Dla pełnej oceny wyników prowadzenia procesu fermentacji należałoby uwzględnić efekty ekologiczne, które obecnie najczęściej pomijane są w analizach ekonomicznych, a ponadto wyrażenie ich w postaci ekonomicznej nastęca wiele trudności. Efekty ekonomiczne zależą ponadto od warunków lokalnych i przede wszystkim od poziomu cen, jaki można wynegocjować za energię (elektryczną i ciepłą) oraz produkty uboczne – pozostałości pofermentacyjne. O ile sprzedaż energii elektrycznej nie nastęca trudności (obowiązek zakupu energii wyprodukowanej w odnawialnych źródłach energii), o tyle zagospodarowanie ciepła może okazać się problematyczne. Część tej energii zużywana jest do ogrzania komór fermentacyjnych, jednak zawsze występuje jej nadmiar. Możliwość sprzedaży tej energii np. do sieci ciepłowniczej, czy ogrzewania budynków położonych w niedalekiej odległości od biogazowni w dużej mierze wpływa na końcowy efekt ekonomiczny. Bardzo korzystnym rozwiązaniem byłaby lokalizacja biogazowni w bezpośredniej bliskości zakładów, w których występuje stałe zapotrzebowanie na ciepło (mleczarnie, zakłady przetwórstwa rolno-spożywczego, suszarnie itp.). W niniejszej analizie założono sprzedaż nadmiaru energii cieplnej, co poprawiło wyznaczone wskaźniki ekonomiczne. Poprawę wyniku finansowego biogazowni można uzyskać sprzedając odpady pofermentacyjne, które mogą znaleźć zastosowanie do nawożenia pól, produkcji kompostu lub po wysuszeniu – jako paliwo stałe, co uzależnione jest od lokalnych uwarunkowań i zapotrzebowania.

IV. WNIOSKI

Wyniki analizy wskazują, że najbardziej wydajne są wycłoki owocowe jako kosubstrat do podstawowego odpadu w postaci gnojowicy lub wywaru z gorzelnii. Mniejszą, aczkolwiek również zadowalającą wydajnością charakteryzuje się kiszonka z kukurydzy, jednak efektywność ekonomiczna zastosowania tego surowca jest niższa w porównaniu z wycłokami owocowymi ze względu na koszt zakupu (lub produkcji) substratu z celowej uprawy, podczas gdy koszt pozyskania odpadów z przetwórstwa najczęściej ogranicza się do nakładów poniesionych na ich transport. Produkcja biogazu w oparciu o obornik bydlęcy, zarówno w połączeniu z gnojowicą, jak i wywarem zbożowym, bez dodatku wysokowydajnych kosubstratów, jest procesem nieefektywnym z punktu widzenia ekonomicznego. W świetle zjawisk zachodzących ostatnio w otoczeniu rolnictwa (rosnące ceny zbóż i innych surowców żywnościowych), należy w pierwszej kolejności do produkcji energii przeznaczać substraty odpadowe z rolnictwa, przemysłu rolno-spożywczego, odpady spożywcze i organiczną frakcję odpadów bytowych. Decyzja o podjęciu produkcji biometanu z surowców i odpadów z rolnictwa wymaga starannego rozpoznania rynku tych substratów, ich ceny i gwarancji dostępności na przestrzeni dość długiego okresu funkcjonowania biogazowni.

V. LITERATURA

1. Buraczewski G., Bartoszek B.: Biogaz, wytwarzanie i wykorzystanie. PWN Warszawa. s. 20-31. 1990.
2. Grzesik K.: Wykorzystanie biogazu jako źródła energii. Materiały Konferencji „Zielone prądy w edukacji”. AGH Kraków. 2005.
3. Kowalczyk-Juško A.: Wpływ doboru substratów na wskaźniki opłacalności inwestycyjnej produkcji biogazu. Roczniki Naukowe SERiA. X. 6. s. 48-51. 2008.
4. Rusak S., Kowalczyk-Juško A.: Biogaz z zastosowaniem biomasy roślinnej – technologia. Czysta Energia 10(60). s. 37-39. 2006.
5. Steffen R., Szolar O., Braun R.: Feedstocks of anaerobic digestion. University of Agricultural Sciences Vienna. s. 16-17. 1998.
6. Szewczyk K. W.: Produkcja metanu z surowców roślinnych. Przemysł Chemiczny. 85. s. 1321-1323. 2006.

EFFICIENCY OF BIOGAS PRODUCTION FROM AGRICULTURAL AND FOOD INDUSTRY WASTES

Summary

Methane fermentation in one of the most efficient ways of gas fuel production from biomass. Different raw materials can be used in that process. In order to compare efficiency and profitability of biogas production from chosen raw materials, a simulation program was used. Cereal slop was the most efficient substrate comparing to less efficient pig slurry. The best technical and economical factors were utilization of fruit wastes together with slurry or slop.

Key words: biogas, renewable energy sources, substrates