
PRACE

**Instytutu Szkła, Ceramiki
Materiałów Ogniotrwałych
i Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Glass, Ceramics
Refractory and Construction Materials

Nr 3

ISSN 1899-3230

Rok II

Warszawa–Opole 2009

Ocena opłacalności wykorzystania biogazu rolniczego

W dążeniu do intensywniejszego wykorzystania odnawialnych źródeł energii coraz większe znaczenie ma odzyskiwanie i energetyczne wykorzystanie biogazu. Produkcja biogazu rolniczego może stać się w Polsce jedną z gałęzi energetyki rozproszonej, tym bardziej że technologia ta jest na liście wspieranych kierunków działań inwestycyjnych w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Wytwarzanie biogazu z punktu widzenia polityki energetycznej i proekologicznej staje się więc coraz bardziej uzasadnione i opłacalne.

1. Wprowadzenie

Prowadzona przez Unię Europejską polityka energetyczna wskazuje na rosnące znaczenie odnawialnych źródeł energii w przyszłym bilansie zużycia paliw pierwotnych. Zgodnie z pakietem energetycznym z marca 2007 r., w Polsce do 2020 r. udział energii odnawialnej w całkowitym zużyciu energii (energia elektryczna, ogrzewanie, chłodzenie, transport) powinien kształtować się na poziomie 15%. Część zapotrzebowania na energię w naszym kraju można pokryć wykorzystując biogaz, który może być wytwarzany na wysypiskach śmieci, oczyszczalniach ścieków i w instalacjach zasilanych odpadami z przemysłu rolno-spożywczego (gnojowicy, obornika, odpadów z mleczarni, browaru, cukrowni, rzeźni itp.) oraz roślinami energetycznymi uprawianymi w tym celu (kukurydza, sorgo, burak cukrowy itp.).

W dotychczasowym rozwoju sektora biogazu rolniczego w Polsce brak jest postępu, który ma miejsce w innych państwach europejskich. Obecnie w kraju działa tylko kilka biogazowni rolniczych. Sytuacja ta zapewne ulegnie zmianie, gdyż zgodnie z założeniami Programu Rozwoju Biogazowni Rolniczych, które są propozycją Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi przekazaną Ministrowi Gospodarki do programu Innowacyjna Energetyka. Rolnictwo Energetyczne, pro-

* Dr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Materiałowej, Procesowej i Środowiska w Opolu.

dukcja biogazu w 2020 r. powinna kształtować się na poziomie nie mniej niż 2 mld m³/rok [12] (dla porównania roczne zużycie gazu ziemnego w Polsce obecnie wynosi ponad 13 mld m³, a ilość wytworzonego biogazu kształtuje się na poziomie ok. 120 mln m³). Zgodnie z założeniami tegoż programu w Polsce ma powstać ok. 2 tys. biogazowni.

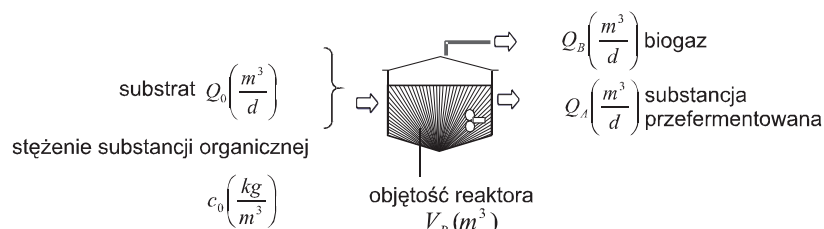
Za budową biogazowni przemawiają takie względy, jak: ekologia, ochrona środowiska, aktywizacja terenów rolnych i słabo zaludnionych itd., ale nie należy zapominać, że z komercyjnego punktu widzenia zwrot nakładów, a w późniejszym okresie także przynoszenie zysków jest najważniejszym czynnikiem determinującym sukces i sens inwestycji. Przeprowadzenie analizy ekonomicznej planowanej inwestycji jest szczególnie ważne w przypadku przedsięwzięć z zakresu energetyki, gdzie okres zwrotu nakładów trwa kilka lat, a koszt inwestycji liczony jest w milionach złotych. Dlatego należy wykonać kompleksową analizę ekonomiczną planowanego przedsięwzięcia, która powinna zawierać:

- wskaźniki opłacalności projektu (IRR, NPV),
- analizę kosztów inwestycyjnych na podstawie ogólnodostępnych wskaźników i danych,
- analizę potencjalnych zagrożeń i spodziewanych korzyści,
- ocenę finansową inwestycji na podstawie oczekiwanej produkcji energii, kosztów oraz założonych warunków sprzedaży energii.

2. Charakterystyka biogazowni

2.1. Określenie podstawowych parametrów biogazowni

Każda instalacja do produkcji biogazu ma odmienną, indywidualną konstrukcję, dostosowaną do różnego składu materiału wsadowego. Ilość substratów określa rozmiar wszystkich agregatów oraz objętość zbiorników. Natomiast jakość substratów określa rozplanowanie techniki procesowej. Skład biogazu oraz jego ilość zależą głównie od składu chemicznego poddawanych fermentacji związków organicznych, zachowania warunków procesu fermentacji (głównie temperatury), czasu przebywania substratów w reaktorze oraz obciążenia objętościowego komory. Na rycinie 1 przedstawiono podstawowe parametry produktów i substratów umożliwiające wyznaczenie istotnych z punktu widzenia projektanta wielkości, tj. objętości zbiorników i wielkości produkowanego biogazu.

**Podstawowe parametry**

hydrauliczny czas aktywności

$$t_m = \frac{V_R}{Q_0} (d)$$

obciążenie objętościowe reaktora

$$B_R = \frac{Q_0 \cdot c_0}{V_R} = \frac{c_0}{t_m} \left(\frac{kg}{m^3 \cdot d} \right)$$

wydajność wytwarzania biogazu

$$y_B = \frac{Q_B}{Q_0 \cdot c_0} = \left(\frac{m^3}{kg_{substratu}} \right)$$

$$r_B = \frac{Q_B}{V_R} = y_B \cdot B_R \left(\frac{m^3}{m^3_{reaktora} \cdot d} \right)$$

Ryc. 1. Podstawowe parametry biogazowni

2.2. Analiza techniczna biogazowni

Obliczenia przeprowadzono dla gospodarstwa, w którym hodowane są krowy mleczne w ilości 400 DJP. Podstawowym substratem do produkcji biogazu jest obornik bydlęcy oraz gnojowica. Przy wykorzystaniu danych znajdujących się w pracy [3] określono roczną ilość odchodów powstających w gospodarstwie. Obliczenia przeprowadzono w kilku wariantach:

- w pierwszym substratem będą tylko odchody zwierzęce,
- w drugim i trzecim procesowi fermentacji beztlenowej została poddana równocześnie z odchodami kiszonka kukurydzy. Różnica pomiędzy tymi wariantami polega na różnej ilości zastosowanej kiszonki kukurydzy,
- czwarty dotyczył fermentacji tylko kiszonki kukurydzy.

Każdy z wariantów został opracowany dla dwóch opcji:

- ciepło wykorzystane jest jedynie na potrzeby własne,
- nadwyżka ciepła jest sprzedawana.

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry biogazowni rolniczej, które wyznaczono m.in. przy zastosowaniu wzorów przedstawionych na rycinie 1.

T a b e l a 1

Podstawowe parametry biogazowni

Wielkość	Jednostka	Wariant I	Wariant II	Wariant III	Wariant IV
Gnojowica	ilość substratu [Mg/rok]	3 000	3 000	3 000	0
Obornik		4 000	4 000	4 000	0
Kiszonka kukurydzy		–	4 000	9 300	9 300
Produkcja biogazu	m ³ /rok	264 600	896 280	1 790 894	1 473 867
Moc agregatu kogeneracyjnego	kWel	70	225	392	320
	kWth	84	270	470	384
Sprawność elektryczna agregatu	%	37,25	37,39	37,73	37,59
Wytworzona energia elektryczna	MWh/rok	574	1 845	3 214	2 624
Wytworzona energia cieplna	MWh/rok	689	2 214	3 857	3 149
Zapotrzebowanie własne na energię elektryczną	MWh/rok	70,00	110,00	163,33	93,33
Zapotrzebowanie własne na energię cieplną	MWh/rok	322,00	751,32	751,32	429,32
Obciążenie objętościowe bioreaktora	kg smo/m ³	2	2	2	2
HRT	doby	34	58	71	99
Łączna objętość komór fermentacyjnych	m ³	900	2 500	4 600	3 700
Łączna objętość zbiorników na przefermentowany substrat	m ³	3200	5100	7600	4 400

Wariant I – biogazownia zasilana tylko odchodami zwierzęcymi,

Wariant II – biogazownia zasilana odchodami zwierzęcymi i kiszonką kukurydzy,

Wariant III – biogazownia zasilana odchodami zwierzęcymi i kiszonką kukurydzy,

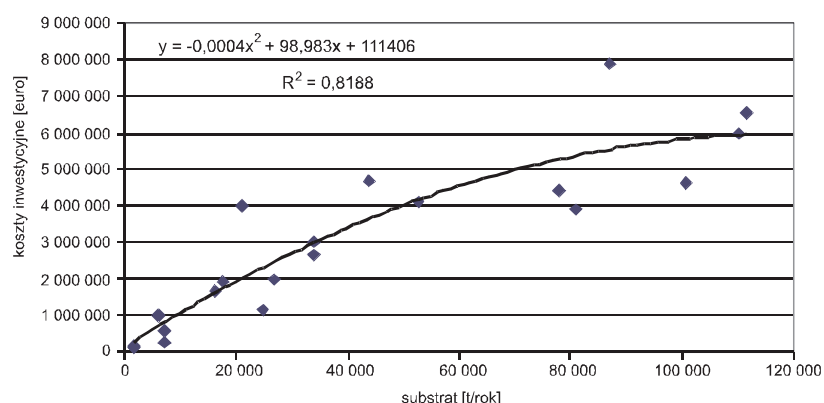
Wariant IV – biogazownia zasilana tylko kiszonką kukurydzy.

3. Ocena opłacalności budowy biogazowni

3.1. Metodyka wykonania analizy ekonomicznej inwestycji

Oszacowanie nakładów inwestycyjnych stanowi jeden z istotniejszych problemów wstępnego etapu projektowania przedsięwzięcia [2]. Koszty kapitałowe oraz bieżące uzależnione są przede wszystkim od wielkości instalacji, rodzaju zastosowanej technologii, rodzaju zainstalowanych urządzeń, ich mocy oraz liczby, stopnia zaawansowania technologicznego, stopnia nowoczesności i zautomatyzowania, konfiguracji systemu, jakości i rodzaju zastosowanych substratów, lokalizacji itp. Koszty te są więc funkcją wielu czynników. Według British Biogen „Good Practice Guide on Anaerobic Digestion” [1] kształtują się one na poziomie 4800–11 200 euro/kWel.

Dokładne dane umożliwiające określenie poziomu wymaganych nakładów uzyskuje się dopiero po podjęciu decyzji o realizacji projektu. Dlatego też w pracach studialnych, z reguły, wykorzystuje się dane statystyczne zebrane z podobnych już istniejących inwestycji. W niniejszym opracowaniu zastosowano właśnie tę metodę określania nakładów finansowych – przy wykorzystaniu danych literaturowych z lat 2005–2007 [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] określono koszty inwestycyjne i bieżące biogazowni.



Ryc. 2. Koszty inwestycyjne budowy biogazowni w funkcji ilości utylizowanego substratu

Wysokość kosztów inwestycyjnych przedstawiono na rycinie 2. Roczne koszty eksploatacji biogazowni (bez układu CHP) określono na poziomie 1,7% kosztów inwestycyjnych. Roczne koszty eksploatacji agregatu kogeneracyjnego przyjęto na poziomie 0,015 zł/kWh_{el}. Wszystkie obliczenia finansowe zostały przeprowadzone w cenach netto (bez podatku VAT). Przy przeliczaniu z waluty euro na złotówki przyjęto kurs: 1 euro = 3,8 zł (kurs z listopada 2008 r.).

W obliczeniach przyjęto następujące założenia [11]:

- zużycie ciepła na potrzeby własne 46 kWh_{th}/t substratu,
- zużycie energii elektrycznej na potrzeby własne 10 kWh_{el}/t substratu,
- czas pracy agregatu kogeneracyjnego 8200 godzin.

Pozostałe założenia przyjęte do analizy ekonomicznej [10]:

- koszt zakupu energii elektrycznej – 320 zł/MWh,
- cena sprzedaży praw majątkowych do energii elektrycznej wytworzonej z odnawialnych źródeł energii („zielonych certyfikatów”) – 235 zł/MWh,
- cena sprzedaży energii elektrycznej do zakładu energetycznego – 119 zł/MWh,
- cena sprzedaży energii cieplnej – 115 zł/MWh,
- roczne zużycie energii elektrycznej w analizowanym gospodarstwie – 350 MWh/rok,

- koszt produkcji kiszonki z kukurydzy – 90 zł/t,
- parametry charakterystyczne analizy ekonomicznej: okres analizy ekonomicznej – 20 lat, stopa dyskontowa – 6%, stopa amortyzacji – 5%, okres kredytowania – 5 lat, oprocentowanie kredytu – 10%.

3.2. Uproszczona analiza ekonomiczna inwestycji

Uproszczoną analizę ekonomiczną budowy biogazowni przeprowadzono dla kilku wariantów przy wykorzystaniu założeń przedstawionych w rozdziałach 2.2 i 3.1. Analiza opłacalności, oparta na metodzie dyskontowej, obejmuje: oszacowanie nakładów niezbędnych do realizacji inwestycji, oszacowanie wytworzonych produktów oraz określenie przyszłych korzyści finansowych netto.

Analizę ekonomiczną dla różnych wariantów zastosowanych substratów przedstawiono w tabeli 2. Podstawowymi wielkościami oceny opłacalności inwestycji są wskaźniki wykorzystywane w metodach dyskontowych, tj. wewnętrzna stopa zwrotu IRR oraz wartość zaktualizowana netto NPV. Wartość zaktualizowana netto NPV to różnica pomiędzy zdyskontowanymi wpływami a wydatkami związanymi z przedsięwzięciem, w pewnym horyzoncie czasu. Inwestycja jest opłacalna, gdy NPV jest większe od zera. Dodatnia wartość NPV oznacza, że dzięki realizacji projektu nie tylko pokryty został koszt kapitału, ale osiągnięto zysk, dzięki któremu wzrasta wartość firmy realizującej projekt. Natomiast wewnętrzna stopa zwrotu IRR pokazuje bezpośrednio stopę rentowności badanych przedsięwzięć. Aby inwestycja była rentowna, IRR powinna być większa od stopy dyskontowej, którą przyjęto na poziomie 6%.

Przyjmując powyższy tok oceny inwestycji w tabeli 2 pogrubioną czcionką zaznaczono te wskaźniki opłacalności inwestycji, których wielkość gwarantuje rentowność inwestycji.

T a b e l a 2

Uproszczona analiza ekonomiczna biogazowni

Wyszczególnienie	Wariant I		Wariant II		Wariant III		Wariant IV	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Moc agregatu [kWel]	70		225		392		320	
Produkcja energii elektrycznej [MWh/rok]	574		1 845		3 214,4		2 624	
Produkcja ciepła [MWh/rok]	689		2 214		3 857		3 149	
Koszt inwestycyjny [zł]	2 981 811		4 376 912		6 161 277		3 801 415	

cd. tab. 2

Wyszczególnienie	Wariant I		Wariant II		Wariant III		Wariant IV		
	a	b	a	b	a	b	a	b	
Prosty czas zwrotu inwestycji [lata]									
Dofinansowanie	0	17,1	14,2	23,0	12,2	55,0	13,9	-	16,8
	30	12,4	10,2	16,14	8,6	38,5	10,0	-	10,5
	50	9,2	7,5	11,9	6,3	27,5	7,3	-	7,7
IRR [%]									
Dofinansowanie	0	-1,35	0,6	-4,5	1,8	-11,0	0,2	-	-1,3
	30	1,95	4,3	-0,75	6,6	-8,8	4,6	-	4,0
	50	5,8	8,5	2,5	11,3	-5,5	8,8	-	7,8
NPV [zł]									
Dofinansowanie	0	-1 841 019	-1 415 361	-3 622 833	-1 640 761	-6 904 685	-3 029 948	-5 357 998	-2 223 280
	30	-749 052	-326 292	-1 756 645	196 104	-4 277 682	-539 687	-3 887 256	-495 724
	50	-29 485	3 698 860	-688 067	1 187 504	-2 688 489	891 164	-3 667 044	397 056

- Wariant I – biogazownia zasilana tylko odchodami zwierzęcymi,
Wariant II – biogazownia zasilana odchodami zwierzęcymi i kiszonką kukurydzy,
Wariant III – biogazownia zasilana odchodami zwierzęcymi i kiszonką kukurydzy,
Wariant IV – biogazownia zasilana tylko kiszonką kukurydzy,
a – ciepło wykorzystywane tylko na własny użytek,
b – sprzedaż nadwyżek ciepła w całości odbiorcom.

Budowa biogazowni utylizujących odchody zwierzęce jest opłacalna przy założeniu wsparcia państwa w postaci dofinansowania inwestycji oraz sprzedaży wyprodukowanego ciepła grzewczego. Aby poprawić efektywność biogazowni, można zastosować kosubstrat w postaci kiszonki kukurydzy. Ze względu na wysokie koszty zakupu kiszonki jej ilość musi być dobrana w sposób optymalny. Przy stałej ilości utylizowanych odchodów zwierzęcych inwestycja jest opłacalna tylko dla pewnej granicznej ilości wykorzystywanej kiszonki kukurydzy (wariant II b i III b z dofinansowaniem inwestycji w wysokości 50%).

Budowa biogazowni w oparciu o kiszonkę jest opłacalna tylko w przypadku sprzedaży ciepła grzewczego i dofinansowania ze strony państwa. Wynika to z bardzo wysokich kosztów produkcji surowca, które są głównym elementem kosztów bieżących.

Reasumując, w warunkach polskich opłacalne są tylko inwestycje z dofinansowaniem i sprzedażą wytworzonego ciepła grzewczego. Wynika to z wysokich kosztów inwestycyjnych oraz eksploatacyjnych.

4. Wnioski

1. Instalacje biogazowe zasilane odchodami zwierzęcymi i/lub kiszonką kukurydzy ze względu na wysokie koszty inwestycyjne, jak również znaczne koszty produkcji bądź dowozu substratów, są opłacalne tylko przy dofinansowaniu ich przez państwo.
2. Kwota dotacji znacząco wpływa na skrócenie okresu zwrotu inwestycji, np. dla wariantu I b (biogazownia zasilana odchodami zwierzęcymi, sprzedaż nadwyżek ciepła) przy dofinansowaniu w wysokości 50% prosty czas zwrotu inwestycji zmniejszył się z 14,2 do 7,5 lat.
3. Inwestycje bez wykorzystania ciepła charakteryzują się długim okresem zwrotu, nawet przy przyznaniu dotacji. Dla wariantu II (biogazownia zasilana odchodami zwierzęcymi i kiszonką kukurydzy) czas zwrotu inwestycji w przypadku sprzedaży nadwyżki ciepła zmniejsza się o ok. 47%, natomiast dla wariantu III o ok. 73%.
4. Najkorzystniejszy wynik ekonomiczny uzyskano dla wariantu II – biogazownia zasilana odchodami zwierzęcymi i kiszonką kukurydzy – z całorocznym wykorzystaniem ciepła oraz dotacją na poziomie 50%.

Literatura

- [1] Processing residues Good Practice Guidelines Anaerobic Digestion of farm and food [<http://www.mrec.org/biogas/adgpg.pdf>] (20.09.2008).
- [2] Skorek J., Kalina J., *Gazowe układy kogeneracyjnej*, WNT, Warszawa 2002.
- [3] Poradnik PROW – Przepisy ochrony środowiska, normatywy i wskaźniki funkcjonujące w produkcji rolniczej [http://www.cdr.gov.pl/pol/wydawnictwa/poradnik_PROW.pdf] (20.09.2008).
- [4] Thier H., Berater bei der BSB-GmbH, Landw. Buchstelle, Münster Wirtschaftlichkeit, Finanzierung und steuerliche Aspekte bei Biogasanlagen, 09.2007 [www.dgar.de/?download=2007-goslar-thier.pdf] (20.09.2008).
- [5] Wright P., Overview of US experience with farm scale biogas plant [http://www.harvestcleanenergy.org/enews/enews_1204/Wright_on_AD.pdf] (20.09.2008).
- [6] Lazarus W. F., Rudstrom M., *The Economic of Anaerobic Digester Operation on a Minnesota Dairy Farm*, „Review of Agricultural Economics” 2007, Vol. 29, No. 2 [http://econ.tu.ac.th/archan/SOMBOON/Book%20review/EC%20492_2551_Reading/review%20of%20agricultural%20economics/lazarus%20et%20al.pdf] (20.09.2008).
- [7] Svensson L.M., Christensson K., Bjornsson L., *Biogas production from crop residues on a farm-scale level in Sweden: Scale, choice of substrate and utilization rate most important parameters for financial feasibility*, „Bioprocess and Biosystems Engineering” 2005, Vol. 28.
- [8] Poliafico M., Murphy J.D., *Anaerobic digestion in Ireland: decision support system* [<http://www.ucc.ie/serg/pub/BerlinBioConfAD.pdf>] (20.09.2008).
- [9] PROBIOGAS PROMotion of BIOGAS for Electricity and Heat production in European countries National Assessment Report BELGIUM CASE Assessment of an imaginary Centralized

- co-digestion plant, March 2007 [<http://www.valbiom.be/files/gallery/probiogasassessmentreporteng1196170455.pdf>] (20.09.2008).
- [10] Opracowanie wariantowej koncepcji budowy biogazowni; praca wykonana w ramach realizowanego projektu „Opolskie Centrum Transferu Innowacji w Zakresie Materiałów Budowlanych i Odnawialnych Źródeł Energii” przez Centrum Elektroniki Stosowanej sp. z o.o. w Krakowie, wrzesień 2007.
- [11] Poliafico M., Anaerobic digestion: decision support software [<http://www.ucc.ie/serg/pub/theses/MarcoEPA.pdf>] (20.08.2008).
- [12] Założenia Programu Rozwoju Biogazowni Rolniczych – założenia programu stanowią propozycję Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi przekazaną Ministrowi Gospodarki do programu „Innowacyjna Energetyka. Rolnictwo Energetyczne” – projekt, Warszawa, luty 2009.

EWA GŁODEK

ESTIMATION OF PROFITABILITY OF AGRICULTURAL BIOGAS PLANT ERECTION

Aiming to intensive usage of renewable energy sources bigger importance plays recovery and energetic application of biogas. Production of agricultural biogas in Poland could become one of dispersed energetic branch the more so because it occurs on the list of supporting technology in Operational Program Innovative of Economy. Generation of biogas from the point of view of energetic and proecologic policy becomes more and more cost effective measures.