

Halina Marczak

## ASPEKTY ENERGETYCZNEGO WYKORZYSTANIA BIOGAZU Z ODPADÓW NA PRZYKŁADZIE WOJEWÓDZTWA LUBELSKIEGO

**Streszczenie.** W prognozach rozwoju sektora energetycznego naszego kraju biogaz uwzględniany jest jako nośnik energii, który będzie miał znaczący udział w zakresie produkcji energii pochodzącej z zasobów odnawialnych. Wytwarzanie biogazu i jego energetyczne wykorzystywanie powinno być więc wydatnie wspomagane przez odpowiednią politykę państwa. Przedstawiono wyniki obliczeń potencjału produkcji biogazu rolniczego i metanu dla województwa lubelskiego oraz ilości energii możliwej do wykorzystania z biogazu. Określono jednostkowy koszt produkcji biogazu z hodowli zwierząt dla przyjętych danych wejściowych. Wskazano na zalety zagospodarowania biomasy z odpadów hodowlanych w systemach biogazowych. Wykorzystywanie biogazu do zasilania silników gazowych wymaga jego wcześniejszego oczyszczenia zwłaszcza ze związków siarki i wilgoci.

### 1. WSTĘP

Biogaz jest źródłem energii odnawialnej, które może mieć znaczący udział w produkcji tej energii w Polsce. Rozwój energetyki odnawialnej należy do priorytetowych zadań, gdyż udział energii odnawialnej w bilansie paliwowo-energetycznym kraju powinien kształtować się na wymaganym, ustalonym przez Unię Europejską, poziomie. Z tego powodu wytwarzanie i energetyczne wykorzystywanie biogazu powinno być wspierane przez odpowiednią politykę państwa i regulacje prawne. Ze względu na wartość energetyczną, biogaz może być wykorzystywany wielokierunkowo: do wytwarzania energii cieplnej, energii elektrycznej oraz do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i cieplnej. Z kolei wytworzone ciepło może służyć do ogrzewania komór fermentacyjnych oraz pomieszczeń produkcyjnych i budynków mieszkalnych. Ciepło odzyskane z gazów z procesu spalania biogazu może znaleźć zastosowanie w operacjach suszenia różnych surowców. Biogaz sprężony w butlach może być stosowany jako paliwo do traktorów.

Ujmowanie biogazu ze składowisk odpadów organicznych oraz jego wytwarzanie w kontrolowanych warunkach z odpadów i wykorzystanie tak pozyskanego biogazu przynosi efekty ekologiczne, np. ograniczenie zużycia nieodnawialnych surowców energetycznych oraz ograniczenie wielkości emisji gazu cieplarnianego – metanu – m.in. ze składowisk odpadów oraz podczas magazynowania odpadów z hodowli zwierząt.

Biogaz powstaje w procesie przekształcania biochemicznego osadów ściekowych zawierających w swoim składzie substancje organiczne, odpadów organicznych na

składowiskach, pozostałości z produkcji roślin oraz innych odpadów podatnych na rozkład biochemiczny. Źródłem odpadów biodegradowalnych jest zarówno rolnictwo (resztki z żywienia zwierząt, odchody), przemysł: przetwórstwo owoców i warzyw (obierki, pozostałości z mycia, przeterminowane produkty), cukierniczy (melasa, pozostałości organiczne z oczyszczania buraków), browary (wytłoki, woda odpadowa), produkcja wina (wytłoki), gorzelnie wytwarzające etanol z melasy (wywar po destylacji brzezki), produkcja soków (woda odpadowa), mleczarnie (serwatka, woda odpadowa), przetwórstwo mięsa, jak i działalność bytowo-gospodarcza ludzi (selektywnie gromadzone odpady z gospodarstw domowych, z miejsc zbiorowego żywienia: pozostałości z przygotowania posiłków i z posiłków, z miejsc targowiskowych, z pielęgnacji zieleni miejskiej: liście, trawa z trawników).

Podjęcie decyzji o budowie biogazowni przetwarzającej odpady zależy będzie od zapewnienia ciągłości dostaw wymaganej ilości odpadów oraz od opłacalności tej inwestycji, na którą z kolei będzie miała wpływ m.in.:

- cena zbytu biogazu, jeżeli działalność inwestora ograniczy się jedynie do produkcji biogazu,
- cena sprzedaży energii elektrycznej i cieplnej, wytworzonych w wyniku spalania biogazu w przypadku, gdy celem działalności inwestora będzie zarówno produkcja, jak i energetyczne wykorzystanie biogazu.

## **2. POTENCJAŁ TECHNICZNY BIOGAZU ROLNICZEGO DLA WOJEWÓDZTWA LUBELSKIEGO**

Podstawowymi surowcami do produkcji biogazu rolniczego są odpady hodowlane zwłaszcza z dużych ferm (bydła, trzody chlewnej oraz drobiu), a surowcami uzupełniającymi - odpadowa masa roślinna oraz odpady z zakładów przetwórstwa spożywczego, np. z zakładów mięsnych i gorzelnii. Możliwość zagospodarowania odpadów z hodowli zwierząt niesie ze sobą korzyści zarówno ekonomiczne, jak i ekologiczne. Odpady te znajdują zastosowanie do nawożenia upraw rolniczych, jednak ich skład powoduje, iż tak zagospodarowywane są czynnikiem skażającym wody, gleby i powietrze (emisja metanu i związków azotu). Poddane fermentacji metanowej są źródłem energetycznego biogazu i nawozu organicznego, który po dodatkowej obróbce wykazuje wysoką jakość.

Pracujące na świecie biogazownie należą do obiektów scentralizowanych lub indywidualnych. Obiekty scentralizowane, w których przetwarzana jest biomasa na biogaz, a następnie biogaz na energię powinny być budowane w miejscach umożliwiających podłączenie tych obiektów do sieci elektrycznej i grzewczej. Biogazownie indywidualne ze względu na rachunek ekonomiczny i pozyskanie surowca są uzasadnione w gospodarstwach specjalizujących się w hodowli zwierząt o koncentracji ponad 60SD [3] (SD – sztuki duże o masie 500 kg; sztuki zwierząt przelicza się odpowiednio na SD).

Wielkość produkcji biogazu z odpadów zależy od zawartości w nich suchej masy organicznej. W celu oszacowania potencjału technicznego biogazu i metanu z biomasy

(odchodów zwierzęcych) w woj. lubelskim wzięto pod uwagę gospodarstwa i fermy o następującej liczbie zwierząt: bydła od 50 sztuk, trzody chlewnej od 200 sztuk, drobiu od 10 tys. sztuk (tab. 1).

**Tabela 1.** Zestawienie danych do oszacowania potencjalnej produkcji biogazu rolniczego w woj. lubelskim [4]

Wyszczególnienie	Bydło*, szt.	Trzoda chlewna*, szt.	Drób*, szt.	
			brojlerzy	kury nioski
– ogółem	439 218	1 354 937	6 439 393	2 941 846
– w przeliczeniu na SD	351 374	203 240	25 757	11 767
w gospodarstwach 50–199 sztuk				
– ogółem	12 166	276 974		
– w przeliczeniu na SD	9 733	41 546		
w gospodarstwach 200 i więcej szt.				
– ogółem	7 043	156 219		
– w przeliczeniu na SD	5 634	23 433		
na fermach od 10 000–49 999 szt.				
– ogółem			1 996 114	
– w przeliczeniu na SD			7984	
na fermach od 50 000–99 999 szt.				
– ogółem			1 034 900	
– w przeliczeniu na SD			4139	
na fermach od 100 000 i więcej szt.				
– ogółem			2 812 001	
– w przeliczeniu na SD			11 248	
na fermach od 10 000 i powyżej szt.				
– ogółem				808 256
– w przeliczeniu na SD				3233

\* Dane z powszechnego spisu rolnego 2002 r.

W celu przeliczenia sztuk fizycznych zwierząt na SD wykorzystano współczynniki przeliczeniowe podane w rozporządzeniu Ministra Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa [6]: dla bydła – 0,8SD, dla drobiu – 0,004SD, a dla trzody chlewnej wg Urzędu Statystycznego w Lublinie [4] – 0,15SD.

Potencjał techniczny produkcji biogazu rolniczego oblicza się ze wzoru:

$$P_b = SD \cdot P_{s.m.o.} \cdot B \quad (1)$$

gdzie:  $P_b$  – produkcja biogazu w m<sup>3</sup>/d,  
 $SD$  – sztuki duże,  
 $P_{s.m.o.}$  – produkcja suchej masy organicznej, kg s.m.o./SD×d,  
 $B$  – produkcja biogazu, m<sup>3</sup>/kg s.m.o.

Wartości parametrów występujących we wzorze (1) przyjęto na podstawie literatury (tab. 2). W obliczeniach uwzględniono średnie wartości parametrów.

**Tabela 2.** Dane empiryczne uwzględniane w obliczeniach potencjału biogazu z odpadów hodowlanych [3, 8]

Wyszczególnienie	Jednostka	Bydło		Trzoda		Drób
		obornik	gnojowica	obornik	gnojowica	gnojowica
Sucha masa (s.m.)	Mg s.m./Mg odpadów	0,23	0,1	0,2	0,07	0,15
Ilość suchej masy organicznej (s.m.o.) w s.m.	Mg s.m.o./Mg s.m.	0,8	0,8	0,9	0,82	0,76
Produkcja s.m.o.	kg s.m.o./SD-d	3–5,4 średnio 4,2		2,5–4 średnio 3,3		5,5–10 średnio 7,78
Produkcja biogazu na jednostkę s.m.o.	m <sup>3</sup> /Mg s.m.o.	175–520 średnio 347		220–637 średnio 428		327–722 średnio 524
Produkcja metanu na jednostkę s.m.o.	m <sup>3</sup> /Mg s.m.o.	średnio 218		średnio 269		średnio 330

Na podstawie danych z tabeli 2 można wyznaczyć parametry pochodne zebrane w tabeli 3.

Potencjał produkcji biogazu z odpadów z hodowli bydła w woj. lubelskim szacuje się na ok. 8 mln m<sup>3</sup>/rok, z hodowli trzody chlewnej ok. 12 mln m<sup>3</sup>/rok, z ferm drobiu ok. 39,5 mln<sup>3</sup>/rok (tab. 4).

**Tabela 3.** Zestawienie wartości parametrów obliczonych na podstawie danych z tabeli 2

Wyszczególnienie	Jednostka	Bydło	Trzoda	Drób
		gnojowica	gnojowica	gnojowica
Ilość suchej masy organicznej (s.m.o.) w odpadach zwierzęcych	Mg	0,08·M <sup>1)</sup>	0,0574·M <sup>1)</sup>	0,114·M <sup>1)</sup>
Produkcja biogazu	m <sup>3</sup> /SD-d	średnio 1,46	średnio 1,41	średnio 4,08
Produkcja biogazu	m <sup>3</sup> /Mg odpadów	średnio 27,76	średnio 24,57	średnio 59,74
Produkcja metanu	m <sup>3</sup> /SD-d	średnio 0,92	średnio 0,89	średnio 2,57
Produkcja metanu	m <sup>3</sup> /Mg odpadów	średnio 17,44	średnio 15,44	średnio 37,62

1) M – masa odpadów z hodowli zwierząt, Mg.

**Tabela 4.** Potencjał produkcji biogazu i metanu z odpadów hodowlanych w woj. lubelskim

Wyszczególnienie	Ogółem SD	Produkcja		
		s.m.o. [Mg/rok]	biogazu [m <sup>3</sup> /rok]	metanu [m <sup>3</sup> /rok]
Bydło	15 367	23 558	8 174 491	5 135 559
Trzoda chlewna	23 433	28 225	12 080 321	7 592 538
Drób	26 604	75 547	39 586 826	24 930 635
Razem	65 404	127 330	59 841 638	37 658 732

Wartość energetyczna biogazu zależy od zawartości w nim metanu ( $\text{CH}_4$ ) i przy udziale 65%  $\text{CH}_4$  wynosi 23 MJ/m<sup>3</sup>. Uwzględniając tę wartość można obliczyć ilość energii chemicznej zawartej w biogazie, która wynosi:

- dla bydła – 188013 GJ/rok,
- dla trzody chlewnej – 277847 GJ/rok,
- dla drobiu – 910497 GJ/rok.

Zakładając sprawności urządzeń wykorzystujących biogaz na poziomie: dla kotła biogazowego  $\eta_{\text{th}}=90\%$ , dla agregatu kogeneracyjnego  $\eta_{\text{th}}=55\%$ ,  $\eta_{\text{el}}=35\%$  można obliczyć ilość energii możliwą do wykorzystania z biogazu (tab. 5).

**Tabela 5.** Wyniki obliczeń ilości energii możliwej do wykorzystania z biogazu na podstawie danych z tabeli 4

Wyszczególnienie	Ilość ciepła, GJ/rok			Ilość energii elektrycznej, MWh/rok		
	bydło	trzoda	drób	bydło	trzoda	drób
Kocioł biogazowy	169 212	250 062	819 447	–	–	–
Agregat kogeneracyjny	103 407	152 816	500 773	18 279	27 012	88 520

Wyniki obliczeń ilości energii możliwej do wykorzystania z odpadów (gnojowica) z hodowli 200 sztuk bydła, 5 tys. sztuk trzody i 10 tys. sztuk drobiu przedstawiono w tabeli 6. Sposób przeprowadzenia obliczeń podano poniżej na przykładzie odpadów pochodzących z hodowli 200 sztuk bydła:

$$200 \times 0,8 \text{SD} = 160 \text{SD}$$

$$4,2 \frac{\text{kg s.m.o.}}{\text{SD} \cdot \text{d}} \times 160 \text{SD} \times 365 \frac{\text{d}}{\text{rok}} = 245280 \frac{\text{kg s.m.o.}}{\text{rok}} = 245,28 \frac{\text{Mg s.m.o.}}{\text{rok}}$$

$$245,28 \frac{\text{Mg s.m.o.}}{\text{rok}} \times 347 \frac{\text{m}^3 \text{ biogazu}}{\text{Mg s.m.o.}} = 85112 \frac{\text{m}^3 \text{ biogazu}}{\text{rok}}$$

$$85112 \frac{\text{m}^3 \text{ biogazu}}{\text{rok}} \times 23 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3 \text{ biogazu}} = 1957,6 \text{ GJ/rok}$$

1) dla kotła biogazowego:

- ilość ciepła  $1957,6 \text{ GJ/rok} \times 0,9 = 1761 \text{ GJ/rok}$
- moc jednostki  $N_{\text{th}} = 1761 \text{ GJ/rok} = 489 \text{ MWh/rok} = 56 \text{ kW}$

2) dla agregatu kogeneracyjnego:

- ilość ciepła  $1957,6 \text{ GJ/rok} \times 0,55 = 1076 \text{ GJ/rok}$
- moc jednostki  $N_{\text{th}} = 1076 \text{ GJ/rok} = 299 \text{ MWh/rok} = 34 \text{ kW}$
- ilość energii elektrycznej  $1957,6 \text{ GJ/rok} \times 0,35 = 685 \text{ GJ/rok} = 190 \text{ MWh/rok}$
- moc jednostki  $N_{\text{el}} = 190 \text{ MWh/rok} = 22 \text{ kW}$

**Tabela 6.** Wyniki obliczeń energii możliwej do wykorzystania z biogazu z odpadów

Wyszczególnienie	Bydło (200 szt.)				Trzoda (5 tys. szt.)				Droń (10 tys. szt.)			
	energia				energia				energia			
	cieplna		elektryczna		cieplna		elektryczna		cieplna		elektryczna	
	$\frac{GJ}{rok}$	$N_{th}, kW$	$\frac{MWh}{rok}$	$N_{el}, kW$	$\frac{GJ}{rok}$	$N_{th}, kW$	$\frac{MWh}{rok}$	$N_{el}, kW$	$\frac{GJ}{rok}$	$N_{th}, kW$	$\frac{MWh}{rok}$	$N_{el}, kW$
Kocioł biogazowy	1761	56	–	–	8003	254	–	–	1232	39	–	–
Agregat kogeneracyjny	1076	34	190	22	4891	155	3112	97	753	24	133	15

### 3. KOSZTY PRODUKCJI BIOGAZU Z ODPADÓW

Biogaz z fermentacji odpadów oraz pozyskany ze składowisk odpadów nie jest paliwem darmowym w przeciwieństwie do energii słońca, wód powierzchniowych, geotermalnych, wiatru. Na koszt biogazu z odpadów mają wpływ nakłady ponoszone na budowę i eksploatację biogazowni. W skład biogazowni wchodzi:

- zbiornik wstępny do gromadzenia odpadów, mieszania, rozcieńczania wodą (w przypadku mieszaniny odpadów z hodowli zwierząt, z zakładów przeróbki mięsa i in.), aby uzyskać odpowiednią konsystencję odpadów zapobiegającą uszkodzeniu mieszadeł i pomp; objętość zbiornika powinna zapewnić możliwość gromadzenia odpadów w ilości odpowiadającej co najmniej 1 dobowej produkcji odpadów zasilających biogazownię
- komora(y) fermentacji (fermentator), w której przebiega fermentacja metanowa i powstaje biogaz; biogaz gromadzi się w górnej części komory
- zbiornik do gromadzenia przefermentowanej masy odpadowej do momentu przekazania jej do zagospodarowania.

Dla przypadku, kiedy surowcem wykorzystywanym w biogazowni są odpady (gnojowica) pochodzące od 14 000 sztuk trzody chlewnej i przy założeniu, że ilość odpadów wynosi  $55 \text{ dm}^3/\text{SD} \times d$  ( $57,5 \text{ kg}/\text{SD} \times d$ ), co daje ok. 120 Mg/d, minimalna objętość zbiornika wstępnego powinna wynosić  $116 \text{ m}^3$ . W przypadku dodawania do odpadów hodowlanych innych odpadów, np. z gorzelni pojemność tego zbiornika powinna być odpowiednio większa.

Fermentator powinien być szczelny, aby uniemożliwić migrację tlenu do komory oraz biogazu z komory. Wskazane jest ponadto wykonanie fermentatora z materiału odpornego na korozję. Wsad (gnojowica) w fermentatorze powinien przebywać co najmniej 30 dni, czas ten należy uwzględnić przy obliczaniu minimalnej pojemności fermentatora. Dla przypadku fermentacji odpadów pochodzących od 14 000 sztuk trzody chlewnej, pojemność fermentatora powinna wynosić  $3480 \text{ m}^3$ . W tej sytuacji należy rozważyć budowę więcej niż 1 komory fermentacji.

Niezbędnymi urządzeniami pracującymi w biogazowni są pompy do tłoczenia substratów do fermentatora oraz przefermentowanej masy odpadowej do zbiornika maga-

zynującego, mieszadła, armatura oraz system podgrzewania fermentatora, aby utrzymać w nim, wymaganą w procesie fermentacji, temperaturę ok. 38 °C.

Jednostkowy koszt produkcji biogazu obliczono dla przypadku, w którym masę wsadową do fermentatora stanowią odpady (gnojowica) z hodowli 200 sztuk bydła, 5 tys. sztuk trzody i 10 tys. sztuk drobiu. Opierając się na wartościach empirycznych zebranych w tab.2 obliczono potencjał produkcji biogazu:

- 85112 m<sup>3</sup> biogazu/rok dla 200 sztuk bydła,
- 386644 m<sup>3</sup> biogazu/rok dla 5 tys. sztuk trzody,
- 59520 m<sup>3</sup> biogazu/rok dla 10 tys. sztuk drobiu,
- razem 531276 m<sup>3</sup> biogazu/rok.

Pozostałe, przyjęte oraz obliczone, parametry mają poniższe wartości:

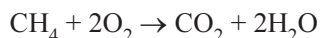
- koszty inwestycji  $K_i = 3200000$  zł;
- stopa dyskontowa  $p = 5\%$ ;
- okres zwrotu kapitału  $n = 20$  lat;
- wskaźnik spłat kapitału  $a = \frac{p(p+1)^n}{(p+1)^n - 1}$ ;  $a = 0,0802$ ;
- koszty kapitałowe  $K_k = 3200000$  zł;
- roczna rata kapitałowa  $r = K_k \cdot a$ ;  $r = 256776$  zł;
- roczne koszty eksploatacyjne  $r_e = 0,7\%K_i$ ;  $r_e = 22400$  zł;
- roczna produkcja biogazu  $P_b = 531276$  m<sup>3</sup> biogazu/rok;
- średnia wartość opałowa biogazu  $W_{ob} = 23$  MJ/m<sup>3</sup>;
- ilość energii chemicznej zawartej w biogazie  $E = W_{ob} \cdot P_b$ ;  $E = 12219$  GJ/rok
- jednostkowy koszt produkcji  $k_j = \frac{r + r_e}{E}$ ;  $k_j = 22,85$  zł/GJ.

#### 4. ZALETY SYSTEMU BIOGAZOWEGO

Instalacje biogazowe bazujące na odpadach z hodowli zwierząt, poubojowych, z zakładów przetwórstwa mięsa czy z gorzelni dają, o czym sygnalizowano wcześniej, możliwość uzyskania z tych odpadów biogazu będącego nośnikiem energii odnawialnej oraz bezpiecznego pod względem bakteriologicznym użytecznego odpadu technologicznego (przefermentowanej masy).

Taki sposób wykorzystania odpadów wydaje się właściwy zwłaszcza dla ciekłych odpadów z hodowli zwierząt. Uniknięta emisja substancji odorowych i metanu to kolejne korzyści wynikające z przekształcania biochemicznego odpadów hodowlanych. Emisja tych substancji zachodzi podczas gromadzenia i magazynowania przez okres czasu wymagany przepisami przed wykorzystaniem odpadów z hodowli zwierząt do nawożenia upraw oraz podczas nawożenia. Taki sposób wykorzystania odpadów jest bezpieczny, przeciwnie jest czynnikiem skażającym środowisko wodne i glebowe z uwagi na duży ładunek substancji biogennych oraz organizmów chorobotwórczych w tych

odpadach. Metan jest jednym z gazów przyczyniających się do intensyfikacji efektu cieplarnianego. Ma 23 razy większy potencjał globalnego ocieplenia niż CO<sub>2</sub> [5], w związku z czym uniknięcie emisji 1 Mg CH<sub>4</sub> daje taki sam efekt jak uniknięcie emisji 23 Mg CO<sub>2</sub>. Pozbywając się CH<sub>4</sub> w procesie spalania osiąga się obniżenie emisji tego gazu cieplarnianego w przeliczeniu na CO<sub>2</sub> na poziomie 20,25 Mg CO<sub>2</sub>/Mg CH<sub>4</sub>. Podana wartość uwzględnia ilość CO<sub>2</sub> powstającego podczas spalania CH<sub>4</sub> według reakcji:



W wyniku spalania 1 Mg CH<sub>4</sub> powstaje 2,75 Mg CO<sub>2</sub>. Odejmując tę wartość od 23 Mg otrzymujemy 20,25 Mg CO<sub>2</sub>.

Na uwagę zasługuje również sposób zagospodarowania odpadów pofermentacyjnych polegający na ich odwodnieniu, skierowaniu oddzielonych ciekłych odpadów do rolniczego zagospodarowania, a osadu do spalania. Osad wymaga jednak wcześniejszego osuszenia, które w porze letniej może przebiegać w warunkach naturalnych. Wartość opałowa osadu wynosi 6–8 MJ/kg [2]. Osad współspalany z drewnem i słomą w kotle parowym służy do wytwarzania ciepłej wody, a w układzie turbina – prądnica do produkcji energii elektrycznej przekazywanej do sieci krajowej. W przypadku biogazowni, dla której materiałem wsadowym jest odpad (gnojowica) z hodowli 200 sztuk bydła, ilość energii możliwej do pozyskania z osadu pofermentacyjnego wynosi:

$$200 \times 0,8 = 160 \text{ SD},$$

$$160 \text{ SD} \times 55 \frac{\text{m}^3 \text{ odpadów}}{\text{SD} \cdot \text{d}} = 8800 \frac{\text{m}^3 \text{ odpadów}}{\text{d}} = 9196 \frac{\text{kg odpadów}}{\text{d}},$$

$$9196 \frac{\text{kg odpadów}}{\text{d}} \times 0,1 \times 0,8 \times 0,75 = 551 \frac{\text{kg osadu}}{\text{d}},$$

gdzie: 0,1 – zawartość s.m. w masie odpadów (gnojowicy), 0,8 – zawartość s.m.o. w s.m., 0,75 – zawartość s.m.o. w osadzie po procesie fermentacji metanowej,

$$551 \frac{\text{kg osadu}}{\text{d}} \times 7 \frac{\text{MJ}}{\text{kg osadu}} = 3857 \frac{\text{MJ}}{\text{d}}$$

Wytworzony biogaz w biogazowni może zostać sprzedany jako paliwo lub wykorzystany w obiektach (celowo zbudowanych) sąsiadujących z biogazownią do produkcji:

- 1) energii cieplnej
- 2) energii elektrycznej i cieplnej:
  - w układzie kogeneracyjnym z zastosowaniem silników gazowych
  - w układzie wykorzystującym parę (turbiny parowe napędzające prądnice lub silniki parowe)
- 3) energii elektrycznej (silniki iskrowe napędzające prądnice).



Każdy z wariantów zagospodarowania biogazu wymaga nakładów inwestycyjnych na zakup i montaż odpowiednich urządzeń. Decyzja o sposobie zagospodarowania biogazu będzie uzależniona również od możliwości przyłączenia do sieci ciepłowniczej lub energetycznej. W przypadku, gdy sprzedaż energii cieplnej byłaby utrudniona z powodu braku linii przesyłowych do potencjalnych odbiorców, to właściwym rozwiązaniem jest produkcja energii elektrycznej.

Za racjonalną uważana jest produkcja energii w skojarzeniu – kogeneracji. Układy skojarzone służą do wytwarzania energii elektrycznej i do wykorzystania ciepła odpadowego. Biogazem zasilane są silniki, które napędzają generatory wytwarzające prąd. Za pomocą wymienników pozyskiwane jest równocześnie ciepło odpadowe z układu chłodzenia silników i z odlotowych gazów spalinowych. Ciepło odpadowe można wykorzystać na pokrycie potrzeb na ciepło w biogazowni: do ogrzewania zbiorników fermentacyjnych. Wykorzystanie ciepła odpadowego podnosi sprawność całkowitą i łączne korzyści ekologiczne obiektów wytwarzających energię elektryczną. Agregaty kogeneracyjne firmy Deutz Energy umożliwiają w ok. 85% wykorzystać energię pierwotną biogazu, przy czym sprawność elektryczna wynosi 35–41%, a sprawność cieplna 44–50% [1].

Rozwiązania wykorzystujące procesy parowe bazują na wytwornicy pary (kotle parowym), w której wytworzona para za pośrednictwem turbiny parowej napędza prądnicę. Sprawność elektryczna wynosi 20–25% dla instalacji dużych mocy. Wariant może być rozważany dla mocy ponad 2 MW<sub>el</sub>. Dla jednostek mniejszej mocy właściwsze są ze względów ekonomicznych instalacje z silnikami parowymi.

## 5. WYMAGANIA STAWIANE BIOGAZOWI DO ZASILANIA SILNIKA GAZOWEGO

W celu zapewnienia sprawnej eksploatacji układu zasilającego i wytwarzającego energię z biogazu z zastosowaniem silnika gazowego, paliwo gazowe (biogaz) musi spełniać stawiane mu wymagania. Niektóre z nich zawiera tabela 7.

Szczególną uwagę zwraca się na zawartość w biogazie składników oddziałujących korozyjnie, jak siarkowodór (H<sub>2</sub>S) i amoniak (NH<sub>3</sub>). Ich niszczące działanie objawia się korodowaniem przewodów odbierających biogaz, armatury, liczników, wału korbowego, wałka rozrządu, silnika gazowego, łożysk. Duże zasilanie gazu wymaga jego oczyszczenia ze związków siarki. Jednym ze sposobów jest odsiarczanie biologiczne, które realizowane jest w zbiorniku fermentacyjnym. Polega ono na stworzeniu warunków dla rozwoju bakterii siarkowych poprzez doprowadzenie 3–5% tlenu atmosferycznego do zbiornika fermentacyjnego. Przy udziale bakterii siarkowodór zostaje przekształcony w siarkę pierwiastkową oraz w kwas siarkowy i wodę [7]. Wydłużenie żywotności silnika zapewnia właściwa eksploatacja silnika. Najlepsza dla silnika jest jego praca w sposób ciągły. Częste wyłączanie i włączanie silnika jest niekorzystne, bowiem podczas następującego po wyłączeniu schładzania silnika powstaje kondensat przyczyniający się do tworzenia kwasów. Działania zapobiegające powsta-

**Tabela 7.** Wymagania stawiane paliwom gazowym do zasilania silników gazowych [1]

Parametr	Jednostka	Wartość
Wartość opałowa	$\text{kWh/m}_n^3$	$\geq 4$
Zawartość siarki łącznie lub zawartość $\text{H}_2\text{S}$	$\text{mg/m}_n^3 \text{CH}_4^{1)}$ $\text{vol\%/m}_n^3 \text{CH}_4^{1)}$	$< 2200$ $< 0,15$
Zawartość Cl (łącznie)	$\text{mg/m}_n^3 \text{CH}_4^{1)}$	$< 100$
Zawartość F (łącznie)	$\text{mg/m}_n^3 \text{CH}_4^{1)}$	$< 50$
Zawartość $\text{NH}_3$ (łącznie)	$\text{mg/m}_n^3 \text{CH}_4^{1)}$	$< 30$
Zawartość Si (łącznie)	$\text{mg/m}_n^3 \text{CH}_4^{1)}$	$< 10$
Wilgotność względna	%	$< 80$
Temperatura gazu	$^\circ\text{C}$	$> 10, \text{ a } < 50$

1) W odniesieniu do 100%.

waniu kondensatu w przewodach dolotowych do silnika polegają na podnoszeniu temperatury tych przewodów.

Biogaz opuszczający komorę fermentacji nasycony jest parą wodną. Osuszenie biogazu przed jego wykorzystaniem ma na celu zapobieganie korozji zespołów zasilanych biogazem. Osuszenie biogazu uzyskuje się przez jego ochłodzenie lub w wyniku sorpcji na materiałach higroskopijnych. W pewnym stopniu odwodnienie gazu następuje podczas jego ochłodzenia do temperatury otoczenia w zbiorniku gazu oraz w przewodach rurowych. Wydzielający się kondensat odpływa do przewodu zbiorczego.

## 6. UWAGI KOŃCOWE

Potencjalni inwestorzy w systemy biogazowe przetwarzające odpady powinni być przekonani o możliwości uzyskania wsparcia ze strony państwa. Polityka ekologiczna państwa powinna być więc tak prowadzona, aby stymulować działalność w zakresie energetycznego wykorzystania biogazu.

Zapewnienie o ciągłości dostaw surowców odpadowych do biogazowni sprawia, że inwestowanie w biogazownie jest bezpieczniejsze.

Lokalizacja obiektów scentralizowanych, w których przekształcana jest biochemicznie biomasa z odpadów na biogaz, a następnie biogaz na energię powinna być w pierwszej kolejności rozważana w miejscach umożliwiających podłączenie tych obiektów do istniejącej sieci elektrycznej i grzewczej. Biogazownie indywidualne, ze względu na rachunek ekonomiczny i pozyskiwanie surowca odpadowego zasilającego biogazownie są wskazane w gospodarstwach o liczbie zwierząt powyżej 60 SD.

Potencjał produkcji biogazu z odpadów z hodowli bydła w woj. lubelskim szacuje się na ok. 8 mln  $\text{m}^3/\text{rok}$ , z hodowli trzody chlewnej na ok. 12 mln  $\text{m}^3/\text{rok}$ , a z ferm

drobiu na ok. 39,5 mln m<sup>3</sup>/rok. W obliczeniach uwzględniono gospodarstwa posiadające od 50 szt. bydła, od 200 szt. trzody chlewnej i od 10 tys. szt. drobiu.

Zakładając sprawność dla kotła biogazowego  $\eta_{th} = 90\%$  obliczono ilość energii cieplnej możliwą do wykorzystania z biogazu: dla bydła 169 212 GJ/rok, dla trzody 250 062 GJ/rok, a dla drobiu 819 447 GJ/rok.

Biogaz z odpadów nie jest paliwem darmowym. Na koszt biogazu z odpadów mają wpływ nakłady ponoszone na budowę i eksploatację biogazowi. Obliczono, że jednostkowy koszt produkcji biogazu z odpadów (gnojowica) z hodowli 200 szt. bydła, 5000 szt. trzody i 10 000 szt. drobiu wynosi 22,85 zł/GJ.

Jedną z korzyści ekologicznych zagospodarowania w biogazowniach odpadów z hodowli zwierząt jest uniknięta emisja metanu, która niewątpliwie ma miejsce podczas ich magazynowania. Niedopuszczenie do emisji 1 Mg metanu daje taki sam efekt, jak uniknięcie emisji 23 Mg dwutlenku węgla – podstawowego gazu cieplarnianego.

Opcjonalnym sposobem zagospodarowania odpadów pofermentacyjnych jest, po ich odwodnieniu, spalanie w celu wytworzenia energii. Wartość opałowa tych odpadów wynosi 6–8 MJ/kg.

Biogaz wykorzystywany do zasilania silników gazowych musi spełniać odpowiednie wymagania. Pozwoli to wyeliminować potencjalne awarie i przedłużyć żywotność tych silników. W celu spełnienia wymagań, biogaz poddawany jest przede wszystkim procesom: odsiarczania i odwadniania.

## PIŚMIENNICTWO

1. Baas H. 2004. Wytwarzanie energii elektrycznej z gazu wysypiskowego i gnilnego. Ciepłe Maszyny Przemysłowe. Turbomachiny. Wyd. Polit. Łódźka, nr 125: 211–225.
2. Denisiuk W. 2006. Energetyczne wykorzystanie biogazu. Inżynieria Rolnicza, nr 3(58): 99–107 ([www.ekologzec.com.pl](http://www.ekologzec.com.pl)).
3. Hałuzo M. 2004. Ocena zasobów i potencjalnych możliwości pozyskania surowców dla energetyki odnawialnej w województwie pomorskim. Słupsk ([www.woj-pomorskie.pl](http://www.woj-pomorskie.pl)).
4. Materiały Urzędu Statystycznego w Lublinie ([www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl)).
5. Raport IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Międzynarodowy Zespół ds. Zmian Klimatu), 2001.
6. Rozporządzenie Ministra Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 14.07.1998 w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać oceny oddziaływania na środowisko inwestycji nie zaliczonych do inwestycji szczególnie szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi albo mogących pogorszyć stan środowiska, obiektów oraz robót zmieniających stosunki wodne. Dz.U. 1998 Nr 93, poz. 590.
7. Schmack U., Oniszk A. 2004. Potencjały biogazu w Niemczech i w Polsce, przykładowe systemy, wykorzystywane materiały, ekonomika, biologia procesowa. Ciepłe Maszyny Przemysłowe. Turbomachiny. Wyd. Polit. Łódźka, nr 125: 201–209.
8. Zowsik M., Oniszk-Popławska A. 2004. Potencjał techniczny produkcji biogazu rolniczego w Polsce oraz możliwości jego wykorzystania. Centrum Doskonałości Komisji Europejskiej w zakresie odnawialnych źródeł energii w Polsce. Europejskie Centrum Energii Odnawialnej EC BREC/IMBER. Warszawa.

## **THE ASPECTS OF ENERGETIC USE OF BIOGAS MADE FROM WASTE IN LUBLIN VOIEVODSHIP**

### **Summary**

Biogas, as energy carrier, would have significant share in energy manufactured from renewable stock, on the forecast of development of Polish energy sector. Biogas manufacturing and energy utilizing should be aided by suitable public policy. Results of calculations of potential biogas and methane manufacturing in Lublin Voievodship presented in the paper, as well as sum of energy obtained from biogas. Operating costs of biogas production from animals breeding for acceptable data input were obtained. Advantages of biomass utilized from breed wastes in biogas systems were shown. Biogas need cleaning to use it as gas-engine supply, especially sulphur compounds and moisture reducing.