

Małgorzata PIASKOWSKA-SILARSKA*

Analiza możliwości wykorzystania gazu składowiskowego w Polsce

STRESZCZENIE. Według danych Ministerstwa Środowiska z 2009 r. aż 87,2% składowisk odpadów w Polsce nie posiada instalacji odgazowania lub wyposażona jest w odgazowanie pasywne. W obydwu przypadkach gaz składowiskowy trafia do atmosfery, co w świetle obowiązujących umów międzynarodowych i przepisów Unii Europejskiej jest niedopuszczalne. Jak widać problem biogazu powstającego na polskich składowiskach odpadów jest ogromny. W przedstawionym referacie scharakteryzowano odpady komunalne. Ich ilość i skład zależy od dochodu gospodarstw domowych, wielkości wskaźnika PKB oraz charakteru regionu, w którym występują. Następnie omówiono czynniki mające wpływ na skład gazu składowiskowego i jego właściwości. Można tu wymienić stopień zawilgocenia odpadów, temperaturę składowiska, pH, współczynnik komprymacji złoża i warunki atmosferyczne. W dalszej części referatu opisano oddziaływanie biogazu na środowisko naturalne oraz zdrowie i życie człowieka. Dwa jego główne składniki, czyli metan i dwutlenek węgla zalicza się do najważniejszych gazów cieplarnianych. Gaz składowiskowy powoduje również zanieczyszczenie wód gruntowych oraz degradację strefy ukorzenia roślin. Metan stwarza ponadto ryzyko samozapłonu i wybuchu, zwłaszcza w ostatnich fazach eksploatacji składowiska, a także po zaprzestaniu przyjmowania odpadów. W artykule podano warunki, jakie muszą być spełnione, aby inwestycja w instalację utylizacji gazu składowiskowego była opłacalna. Omówiono również technologie energetycznego wykorzystania biogazu.

SŁOWA KLUCZOWE: gaz składowiskowy, składowisko odpadów

* Dr inż. – Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, e-mail: mpiasko@up.krakow.pl

Wprowadzenie

Co roku trafia na polskie składowiska około 13 Tg stałych odpadów komunalnych, przy czym z jednego ich Mg powstaje w ciągu 20 lat przeciętnie 230 m³ gazu. Potencjał energetyczny składowisk w zakresie możliwości wykorzystania biogazu wynosi około 595 Mm³/a.

Tymczasem według danych Ministerstwa Środowiska z 2009 r. aż 56,7% składowisk odpadów w Polsce nie posiada instalacji odgazowania. Aktywne odgazowanie ma 2,4% składowisk, z których 1,7% odzyskuje energię, a 30,5% składowisk wyposażonych jest w odgazowanie pasywne. Polega ono na zabudowie struktur, do których gaz dopływa pod własnym ciśnieniem złożowym, a następnie trafia do atmosfery. Jedyną zaletą instalowanych studni odgazowujących jest uzyskanie na składowisku przewidywalnych punktów emisji biogazu do atmosfery. Warto tu dodać, że główny jego składnik, jakim jest metan, ma ponad dwudziestokrotnie silniejszy wpływ na efekt cieplarniany niż dwutlenek węgla. W świetle obowiązujących umów międzynarodowych i przepisów Unii Europejskiej wypuszczanie gazu składowiskowego do atmosfery jest niedopuszczalne. Problem biogazu powstającego na polskich składowiskach odpadów jest zatem ogromny i wciąż daleki od rozwiązania.

1. Charakterystyka odpadów komunalnych w Polsce

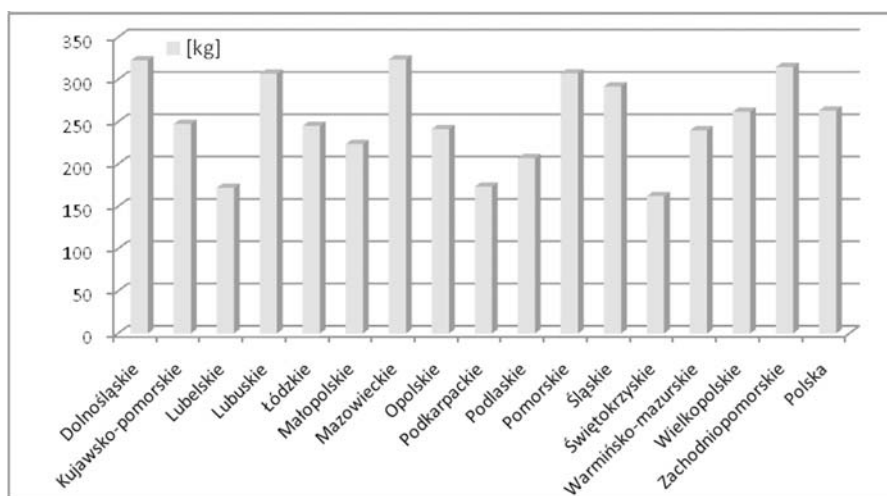
Według danych Głównego Urzędu Statystycznego w 2008 r. zebrano w Polsce 10 036 tys. Mg odpadów komunalnych. Stanowiły one niecałe 8% wszystkich odpadów wytworzonych w kraju.

Analizując rysunek 1 można zauważyć znaczne zróżnicowanie w ilości odpadów komunalnych przypadających na jednego mieszkańca: od 162,3 kg w województwie świętokrzyskim do 323,8 kg w województwie mazowieckim, przy średniej dla całego kraju: 263,3 kg na 1 mieszkańca.

Ilości odpadów komunalnych zebranych od właścicieli nieruchomości zależą od dochodu gospodarstw domowych, wielkości wskaźnika PKB oraz charakteru regionu, w którym są wytwarzane. W województwach uprzemysłowionych, o przewadze ludności miejskiej, ilość wytworzonych odpadów jest zdecydowanie większa.

Skład morfologiczny odpadów komunalnych w dużych i małych miastach oraz na terenach wiejskich został przedstawiony w tabeli 1. Wśród surowców wtórnych na uwagę zasługuje papier, tektura i szkło. Najwięcej odpadów wysegregowano w województwach: śląskim, mazowieckim, małopolskim, a najmniej w województwach: świętokrzyskim i podlaskim.

Obok surowców wtórnych, odpady komunalne w Polsce zawierają duży udział frakcji ulegającej biodegradacji (ok. 35%), która oddziałuje na środowisko poprzez produkty rozkładu: dwutlenek węgla, amoniak, siarkowodór, metan, azotany, azotyny, siarczany i inne.



Rys. 1. Ilość odpadów komunalnych przypadająca na 1 mieszkańca, zebrana w poszczególnych województwach w 2008 r.

Źródło: Monitor... 2010

Fig. 1. The quantity of municipal waste pro capita in particular Voivodeships in 2008

TABELA 1. Skład morfologiczny odpadów komunalnych wytworzonych w 2008 r.

TABLE 1. The structure of municipal waste in 2008

Skład morfologiczny odpadów komunalnych	Duże miasta, w których mieszka 22,36 mln mieszkańców kraju (58,61%)	Małe miasta, w których mieszka 0,93 mln mieszkańców kraju (2,44%)	Tereny wiejskie, na których mieszka 14,86 mln mieszkańców kraju (38,95%)
Papier i tektura	19,1	9,7	5,0
Szkło	10,0	10,2	10,0
Metale	2,6	1,5	2,4
Tworzywa sztuczne	15,1	11,0	10,3
Odpady wielomateriałowe	2,5	4,0	4,1
Odpady kuchenne i ogrodowe	28,9	36,7	33,0
Odpady mineralne	3,2	2,8	6,0
Fracja < 10 mm	4,2	6,8	16,9
Tekstylia	2,3	4,0	2,1
Drewno	0,2	0,3	0,7
Odpady niebezpieczne	0,8	0,6	0,8
Inne kategorie	3,2	4,5	4,9
Odpady wielkogabarytowe	2,6	2,6	1,3
Odpady z terenów zielonych	5,3	5,3	2,5

Źródło: Monitor... 2010

2. Proces powstawania gazu składowiskowego

Jeżeli zostaną zapewnione odpowiednie warunki składowania odpadów, takie jak uszczelnienie dna i skarp składowiska, ugniatanie i przykrywanie warstwy odpadów ziemią lub innym obojętnym materiałem, kontrolowanie wilgotności złoża (drenaż odcieków), to będą zachodzić procesy rozkładu anaerobowego. Składa się on z szeregu spontanicznie zachodzących procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych. Rozkład fizyczny polega na wymywaniu poszczególnych składników odpadów. Rozkład chemiczny towarzyszy rozpuszczaniu się poszczególnych składników w odciekach, wytrącaniu osadów oraz procesom adsorpcji i desorpcji. Materiały organiczne ulegają natomiast rozkładowi biologicznemu. Najszybciej degradują się odpady żywnościowe (rok), wolniej – zielone ogrodowe (5 lat), najwolniej – papier, tektura, drewno, odpady włókiennicze (15 lat). Procesy rozkładu biologicznego wywierają również wpływ na przebieg procesów chemicznych i fizycznych poprzez zmiany takich czynników jak pH i potencjał redox (Ocena... 2005).

Proces tworzenia się gazu składowiskowego zależy od następujących czynników:

- ✧ składu i gęstości odpadów,
- ✧ stopnia zawilgocenia odpadów,
- ✧ temperatury składowiska (wraz z obniżeniem temperatury maleje szybkość wydzielania się metanu),
- ✧ pH (optymalny wynosi 6,8–8,5),
- ✧ współczynnika komprymacji złoża (im większy, tym mniej tlenu atmosferycznego zawiera złożo, tym większe ciśnienie i temperatura),
- ✧ warunków atmosferycznych (Ocena... 2005).

3. Technologie energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego

Danymi wyjściowymi do budowy instalacji odgazowania są:

- ✧ ilość gazu składowiskowego (zwykle od 80 do 160 m³/Mg wilgotnych odpadów) ujmowanego na składowisku,
- ✧ planowana docelowa pojemność i powierzchnia składowiska odpadów,
- ✧ konieczność warstwowego przykrywania i zagęszczania odpadów, umożliwiająca bez-tlenowy rozkład substancji organicznych zawartych w odpadach,
- ✧ technologiczne możliwości energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego (www.proekologia.pl).

Z energetycznego punktu widzenia najważniejszym składnikiem biogazu jest metan. Zawartość około 60% CH₄ i 40% CO₂ pozwala uzyskać wartość opałową około 21,5 MJ/m³, podczas gdy zawartość około 31,6% CH₄ i 34,8% CO₂ daje już tylko wartość opałową rzędu

około 12,3 MJ/m³. Należy dodać, że do energetycznego wykorzystania nadaje się gaz, który ma w swym składzie 40–60% metanu. Biogaz o małej wartości opałowej może być spalany w indywidualnych pochodniach lub po oczyszczeniu spalany w pochodni zbiorczej. Takie rozwiązanie, choć nie zapewnia odpowiednich parametrów spalania, pozwala wyeliminować szkodliwe składniki gazu, w tym metan. Spalanie w pochodniach stosuje się na starych i małych składowiskach, na których zbudowano studnie odgazowujące w trakcie eksploatacji składowiska lub po jej zakończeniu w sytuacji, gdy produkcja gazu jest niestabilna i ma on niską wartość opałową.

Zdecydowanie lepszym rozwiązaniem jest ujmowanie gazu składowiskowego połączone z produkcją energii, w Polsce głównie energii elektrycznej. W większości instalacji stosuje się w tym celu tłokowe silniki spalinowe lub turbiny. Na mniejszych składowiskach znajdują zastosowanie mikroturbiny. Inne rozwiązania, takie jak silniki Stirlinga, silniki wykorzystujące organiczny obieg Rankine’a oraz ogniwa paliwowe są jeszcze w fazie badawczej.

Coraz częściej stosuje się również układy kogeneracyjne. Znajdują tu zastosowanie tłokowe silniki gazowe, turbiny gazowe i mikroturbiny. Sprawność ogólna procesu przekracza 85%. Pozyskana energia elektryczna może być przeznaczona na potrzeby własne obiektów na składowisku, natomiast nadwyżka przesyłana do sieci energetycznej jako „zielona energia”. Wytworzone ciepło może zostać wykorzystane na potrzeby własne, tzn. ogrzewanie pomieszczeń i ciepłej wody użytkowej, lub w przypadku korzystnej lokalizacji przesyłane do sieci ciepłowniczej (www.pga.org.pl).

Mniej powszechne jest natomiast wytwarzanie energii z gazu składowiskowego przy zastosowaniu kotła i turbiny parowej. W takim rozwiązaniu biogaz jest spalany w dużym kotle w celu wytworzenia pary, która napędza turbinę produkującą energię elektryczną.

Innym sposobem wykorzystania gazu składowiskowego jest wytwarzanie gorącej wody lub pary, gdy jest na nie zapotrzebowanie w bliskim sąsiedztwie składowiska odpadów. Transport gazu lub niewielkich ilości pary bądź gorącej wody na znaczne odległości jest zdecydowanie bardziej skomplikowany i często nieopłacalny (Dudek, Klimek 2008).

W przypadku, gdy ilość ujmowanego gazu składowiskowego jest niewielka, można wykorzystać go do zasilania promienników podczerwieni służących do ogrzewania pobliskich budynków i szklarni lub jako źródło energii dla pracowni ceramicznych, obróbki metali i hutnictwa szkła. Dla niewielkich ilości pozyskanego gazu, w celu wytworzenia energii elektrycznej, stosuje się mikroturbiny (Dudek i in. 2010; Śliwka 2013).

4. Aspekt ekologiczny pozyskiwania gazu składowiskowego

Odpady pochodzenia organicznego zgromadzone na składowiskach w postaci hałd, sprasowanych pod własnym ciężarem lub za pomocą kompaktorów, znajdują się w warunkach beztlenowych, które sprzyjają fermentacji. Powstały w ten sposób gaz składowiskowy zawiera dwutlenek węgla, metan oraz lotne związki azotu, siarki i chloru (tab. 2). Gazy te zalicza się do najważniejszych gazów cieplarnianych. Zwiększenie ich stężenia

TABELA 2. Skład biogazu ze składowiska odpadów komunalnych

TABLE 2. The structure of biogas from municipal waste landfill

Skład biogazu	% objętościowy
Metan	45–65
Dwutlenek węgla	25–35
Azot	10–20
Tlen	< 3
Pozostałe domieszki	około 1

Źródło: Ocena... 2005

w atmosferze powoduje pogłębianie się efektu cieplarnianego i zmian klimatycznych na kuli ziemskiej. Według Protokołu z Kioto emisja 1 Mg metanu jest równoznaczna emisji 21 Mg dwutlenku węgla, uważanego za główny gaz cieplarniany. Gaz składowiskowy powoduje również zanieczyszczenie wód gruntowych oraz degradację strefy ukorzenienia roślin. Główny jego składnik – metan, stwarza ponadto ryzyko wybuchu. Od wielu lat obsługa składowisk stwierdza niewielkie pożary spowodowane samozapłonem metanu. Gaz ten może też tworzyć w powietrzu mieszaninę wybuchową. Na składowiskach dużych aglomeracji miejskich notuje się szereg wybuchów, zwłaszcza w ostatnich fazach ich eksploatacji, a także po zaprzestaniu przyjmowania odpadów (www.inig.pl).

5. Aspekt ekonomiczny pozyskiwania gazu składowiskowego

Pozostaje jeszcze do omówienia strona ekonomiczna przedsięwzięcia, jakim jest ujmowanie gazu składowiskowego.

Z modelowych badań laboratoryjnych i pomiarów biogazu prowadzonych na składowiskach wynika, że z 1 Mg wilgotnych odpadów można pozyskać od 80 do 160 m³gazu składowiskowego. Uwzględniając przeciętną wartość opałową biogazu 4,5 kWh/m³ oraz jego ilość przekraczającą 50 m³/h należy stwierdzić opłacalność wykorzystania gazu składowiskowego jako źródła energii. Dotyczy to 538 polskich składowisk, na których łączna masa zdeponowanych odpadów wynosi co najmniej 500 000 Mg.

Według danych Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Ekologii Miast (OBREM), opłacalne jest energetyczne wykorzystanie gazu składowiskowego, gdy powierzchnia składowiska ma powyżej 3 ha i miąższość złoża wynosi co najmniej 5 m. Nie oznacza to jednak, że ujmowanie gazu składowiskowego na mniejszych składowiskach nie ma sensu. Często brak informacji o pozytywnych wynikach ekonomicznych związanych z wykorzystaniem energii odnawialnej zawartej w biogazie powoduje, że władze lokalne podchodzą z dużą rezerwą do inwestowania w budowę instalacji, której czas amortyzacji może być długi.

W zależności od ilości i jakości (wartości opałowej) biogazu, sposobu jego zagospodarowania i zastosowanej technologii, a także cen rynkowych pozyskanego ciepła i energii elektrycznej, czas zwrotu poniesionych nakładów waha się od 2 do 10 lat. Analizując tabelę 3 można stwierdzić, że podobny jest okres amortyzacji na wybranych składowiskach Europy Zachodniej.

TABELA 3. Czas amortyzacji nakładów poniesionych na budowę instalacji utylizacji gazu składowiskowego

TABLE 3. Amortization time for investment in degasification landfill facilities

Kraj	Miejscowość/ /składowisko	Nakłady inwestycyjne [USD]	Ilość produkowanego gazu [mln m ³ /rok]	Okres amortyzacji [lata]
Holandia	Wijster/Bejlen	990 000	5,0	2,0
	Vasse	510 000	1,7	straty
Wielka Brytania	Merseyside	brak danych	2,55	6,0
	Cuxton	1 060 000	5,0	3,0
	Marshal	815 000	3,0	3,0
Dania	Svebolle	1 700 000	1,78	7,6
Polska	Małopolska	962 000	1,0	5,4

Źródło: www.inig.pl

Dla przykładowej Elektrowni Biogazowej w Gdańsku Szadółkach prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych został wyliczony na pięć lat. Koszt całkowity inwestycji, oddanej do użytku w 2011 r., wyniósł 2 100 000 PLN. Jego struktura przedstawiała się następująco:

- ✧ 41% – kredyt w NUTEK (Swedish Agency for Economic and Regional Growth),
- ✧ 24% – pożyczka uzyskana w Wojewódzkim Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku
- ✧ 13,5% – Ekofundusz – Warszawa,
- ✧ 21,5% – środki własne (Sołowiej, Neugebauer 2008).

Podsumowanie

Biorąc pod uwagę fakt, że blisko 90% składowisk odpadów komunalnych nie ma właściwie działających instalacji odgazowania, problem ten musi zostać w najbliższych latach rozwiązany. Powstające gazy (głównie metan i dwutlenek węgla) powodują pogłębianie się efektu cieplarnianego i znaczące zmiany klimatyczne na kuli ziemskiej.

Przyczyniają się również do zanieczyszczenia wód gruntowych oraz degradacji strefy ukorzenienia roślin. Podstawowy składnik biogazu, jakim jest metan, stwarza dodatkowo zagrożenie samozapłonem i wybuchem (w połączeniu z powietrzem).

Gdy powierzchnia składowiska odpadów ma powyżej 3 ha i miąższość złoża wynosi co najmniej 5 m, warto powstający biogaz wykorzystywać do celów energetycznych. Przemawia za tym również Pakiet energetyczny 3 × 20 zobowiązujący Polskę do 20% udziału energii ze źródeł odnawialnych w 2020 roku (Malko 2011).

Kolejnym czynnikiem przemawiającym za budową instalacji do ujmowania gazu składowiskowego jest aspekt ekonomiczny. Koszt inwestycji wynosi około 1 mln USD. Jednak w zależności od ilości i jakości (wartości opałowej) biogazu, sposobu jego zagospodarowania i zastosowanej technologii, a także cen rynkowych pozyskanego ciepła i energii elektrycznej, czas zwrotu poniesionych nakładów waha się od 2 do 10 lat. Dla przykładowej miejscowości z Małopolski wynosi niecałe 5,5 roku.

Literatura

- DUDEK J. i in., 2010 – Technologie energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego. Wyd. Nafty i Gazu, Kraków.
- DUDEK J., KLIMEK P., 2008 – Doświadczenia związane z energetycznym wykorzystaniem biogazu ze składowisk odpadów komunalnych. *Polityka Energetyczna* t. 11, z. 2. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- MALKO J., 2011 – Klimatyczne aspekty polityki energetycznej. *Polityka Energetyczna* t. 14, z. 2. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- Monitor Polski, rok 2010, nr 101, poz. 1183.
- Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej: Ocena strategii rozwoju energetyki odnawialnej oraz kierunki rozwoju energetycznego wykorzystania biogazu wraz z propozycją działań. Warszawa 2005.
- SOŁOWIEJ P., NEUGEBAUER M., 2008 – Energetyczne wykorzystanie gazu wysypiskowego na podstawie wybranego obiektu. *Inżynieria Rolnicza* 6(104).
- ŚLIWKA M., 2013 – Możliwości wykorzystania gazu składowiskowego jako paliwa pojazdów mechanicznych w Polsce. *Inżynieria Ekologiczna* nr 34. Wyd. Zarząd Główny PTIE, Warszawa
- www.inig.pl
www.mos.gov.pl
www.pga.org.pl
www.proekologia.pl

Małgorzata PIASKOWSKA-SILARSKA

Opportunities to use landfill gas in Poland

Abstract

According to the data of the Environmental Ministry from 2009, 87.2% of landfills in Poland either don't have degasification facilities or only passive degasification takes place. In both cases landfill gas goes to the atmosphere, which is illegal under international treaties and European Union directives. Therefore, the problem of biogas emissions from Polish landfills is considered to be enormous.

This paper describes the characteristics of municipal waste in Poland. Its quantity and structure are related to household income, GDP indicator, and the regional characteristics related to its disposal. Factors are specified which influence the structure of landfill gas and its properties like the humidity of waste, landfill temperature, pH indicator, density, and weather conditions. The next part of the paper contains a description of the influence of biogas on the environment and human health. Methane and carbon dioxide are the main ingredients of biogas, and are seen as two of the most potent greenhouse gases. Landfill gas also causes contamination of groundwater and degradation of topsoil. Methane constitutes a threat of self ignition and explosion, especially in the last stages of landfill utilization after stopping the intake of waste.

The article also details certain conditions which are needed to achieve profitability. It further describes the technologies of landfill gas use for energetic purposes.

KEY WORDS: landfill gas, waste landfill

