

Iwona ZAWIEJA¹, Paweł WOLSKI¹ i Lidia WOLNY¹

POZYSKIWANIE BIOGAZU Z ODPADÓW DEPONOWANYCH NA SKŁADOWISKACH

RECEIVING OF BIOGAS FROM THE WASTES DEPOSITED ON THE STORAGE YARDS

Abstrakt: Składowisko jako obiekt uciążliwy dla środowiska może oddziaływać niekorzystnie na wszystkie jego elementy, bezpośrednio na powietrze, powierzchnię ziemi wraz z glebą, wody powierzchniowe i podziemne oraz pośrednio na zdrowie ludzi mieszkających w jego otoczeniu, a także świat zwierząt i roślin. W Polsce składowiska odpadów (wraz z kopalniami i oczyszczalniami ścieków) mają dominujący wpływ na emisję metanu z tzw. źródeł antropogennych. Metan jest drugim po ditlenku węgla gazem odpowiedzialnym za zjawisko cieplarniane. Ponadto jest wartościowym nośnikiem energii, wytwarzanym z substancji organicznych podczas złożonego pod względem biochemicznym procesu, jakim jest stabilizacja beztlenowa. Skład biogazu w pionowym przekroju złoża nie jest stały. Ilość i jakość gazu wysypiskowego zależą głównie od morfologii i procentowej zawartości części organicznych deponowanych odpadów oraz od ich wilgotności, efektywnego zagęszczenia, a także przykrycia izolacyjnego w trakcie eksploatacji składowiska. Jak podają dane literaturowe, ze 100 m³ biogazu można wyprodukować około 560÷600 kWh energii elektrycznej. Ze składowiska o powierzchni około 15 ha można uzyskać od 20 do 60 GWh energii w ciągu roku, jeżeli roczna masa składowanych odpadów to około 180 tys. ton. Poprzez swoją wielostronność i wielowymiarowość odnawialne źródła energii mogą znacząco przyczynić się zarówno do rozwoju polityki regionalnej kraju, wpływając bezpośrednio na zwiększenie poziomu bezpieczeństwa energetycznego, jak również dotrzymanie wprowadzonych przez Unię Europejską (UE) limitów emisyjnych, dotyczących między innymi wytwarzania gazów cieplarnianych. W ratyfikowanym przez Polskę Protokole z Kioto z 1997 r., kraje UE zobowiązały się zredukować do roku 2012 emisję gazów cieplarnianych o 8%. W artykule podjęto problematykę dotyczącą zarówno potencjału energetycznego biogazu, instalacji służących do ujmowania biogazu oraz jego zagospodarowania, jak również dokonano przeglądu aktów prawnych dotyczących wykorzystania biogazu powstającego na składowiskach odpadów.

Słowa kluczowe: biogaz, metan, stabilizacja beztlenowa, składowisko odpadów, odnawialne źródła energii (OZE)

Uwarunkowania prawne dotyczące wykorzystania biogazu jako alternatywnego źródła energii

Biogaz, powstający w procesie fermentacji metanowej biomasy lub biodegradowalnej części odpadów, jest jednym z biopaliw. Biopaliwa stanowią alternatywę dla powszechnie używanych paliw kopalnych. Intensywny zwrot polityki Unii Europejskiej w kierunku szerokiego wykorzystania OZE (odnawialnych źródeł energii) obserwowany jest od kilkunastu lat. Przemysł związany z produkcją energii odnawialnej jest jedną z najbardziej dynamicznie rozwijających się gałęzi gospodarki. W prawie UE zagadnienie to reguluje Dyrektywa 2001/77/EC o promocji energii elektrycznej pochodzącej z tych źródeł energii [1]. Nakłada ona na państwa Wspólnoty obowiązki w zakresie wprowadzania rozwiązań prawnych służących upowszechnianiu odnawialnych źródeł energii, usuwania barier administracyjnych i raportowania postępów tych działań. Polska, kandydując do Unii Europejskiej, zobowiązana była przenieść regulacje Dyrektywy 2001/77/EC do systemu prawa krajowego. Dokumenty unijne kształtujące krajową politykę rozwoju energii

¹ Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii i Ochrony Środowiska, Politechnika Częstochowska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa, tel. 34 325 73 34 wew. 64

pochodzącej ze źródeł odnawialnych, jak „II polityka ekologiczna państwa” czy „Strategia rozwoju energetyki odnawialnej”, wyznaczyły cele ilościowe i harmonogram wdrożenia energii odnawialnej do systemu produkcji energii elektrycznej w kraju.

Istota procesu stabilizacji beztlenowej

Biogaz jest cennym energetycznie paliwem, będącym produktem specyficznej metody utylizacji odpadów pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Metoda ta polega na beztlenowej (anaerobowej) stabilizacji odpadów. Jest to złożony biochemicznie proces przebiegający etapowo, zachodzący w odpowiednim reżimie temperatur. Odpady składowane na składowisku są mieszaniną materiałów organicznych i nieorganicznych o różnej wilgotności. Jeżeli zostaną stworzone odpowiednie warunki składowania, tj. ugniatanie i szybkie przykrycie następną warstwą odpadów lub ziemi przesypanej, to okres, w którym występuje działanie tlenu i światła, jest bardzo krótki. Stwarza to warunki do wystąpienia beztlenowego procesu rozkładu odpadów. W trakcie składowania odpadów wyodrębnić można pięć podstawowych faz procesów chemicznych i biochemicznych prowadzących do wytwarzania gazu fermentacyjnego, tj. fazę tlenową, fazę acetogenezy, fazę metanogenezy niestabilną, fazę metanogenezy stabilną oraz fazę metanogenezy zanikającą [2].

Potencjał energetyczny biogazu

Metan jest najprostszym z węglowodorów. Molekuła metanu ma kształt tetraedru (czworoscianu foremny). Jest to gaz dość powszechnie występujący w przyrodzie [3]. Metan powstaje głównie w procesie odtlenienia (redukcji) ditlenku węgla wodorem $\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ oraz z metabolicznego rozkładu kwasu octowego: $\text{CH}_3\text{COOH} = \text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{energia}$. Podczas spalania metanu powstaje ditlenek węgla i woda. Reakcja ta jest wysoce egzotermiczna, dlatego też metan zmieszany z powietrzem tworzy groźną mieszaninę wybuchową w stosunku 5-15:100 (dolna granica wybuchowości wynosi 5, a górna 15). W czasie spalania 1 m³ metanu powstaje ok. 1,6 kg wody w postaci pary. Do spalania 1 m³ metanu potrzeba ok. 10 m³ powietrza [4]. Ciepło spalania metanu to 13 264 kcal/kg, czyli 55,53 MJ/Mg, a jego wartość opałowa wynosi 11 954 kcal/kg, tj. 50,05 MJ/Mg. Wartość opałowa biogazu mieści się w zakresie 18÷24 MJ/m³ [5]. Z rozkładu beztlenowego teoretycznie uzyskać można [6]:

- z 1 kg węglowodanów - 456 dm³ CO₂ + 453 dm³ CH₄,
- z 1 kg białek - 516 dm³ CO₂ + 547 dm³ CH₄,
- z 1 kg tłuszczów - 449 dm³ CO₂ + 1095 dm³ CH₄.

Znając skład chemiczny odpadów, można obliczyć ilość metanu i ditlenku węgla z jednostki masy odpadów. Procent zawartości metanu w gazie składowiskowym determinuje sposób zagospodarowania biogazu. W fazie stabilnej metanogenezy ilość metanu w gazie wynosi ok. 60%, co wg normy PN-87/C-96001 kwalifikuje go do 30 podgrupy gazów ziemnych [7]. Szczegółowe wymagania co do składu jakościowego biogazu normowane są przez producentów urządzeń wykorzystujących biogaz. Odnoszą się one głównie do całkowitej zawartości w biogazie związków siarki, chloru, fluoru oraz pyłu. Najważniejszym czynnikiem rzutującym na sposób zagospodarowania biogazu jest potencjał gazowy składowisk. Ilość wytwarzanego gazu składowiskowego waha się w granicach od 60 do 180 m³/Mg deponowanych odpadów.

Skład biogazu powstającego na składowiskach [8]

Tabela 1

Composition of the biogas generated at landfills [8]

Table 1

Składnik	Zakres występowania [%]	Wartość średnia [%]
Metan CH ₄	30÷65	45
Ditlenek węgla CO ₂	20÷40	35
Azot N ₂	5÷25	15
Wodór (gaz palny) H	1÷3	1
Tlen O ₂	0÷5	1
Argon Ar	0,04	0,1
Siarkowodór H ₂ S	0÷0,01	0,003
Siarka razem	0÷0,01	0,003
Chlor razem	0÷0,005	0,002

Jak przedstawiono w tabeli 1, stopień stężenia głównych składników biogazu, tj. metanu oraz ditlenku węgla i azotu, jest bardzo zróżnicowany, zależy głównie od rodzaju i zawartości składnika, okresu składowania odpadów oraz sposobu eksploatacji składowiska [6]. Metan ma wiele wspólnych właściwości z gazem ziemnym, jednakże różnice między nimi są znaczące (tab. 2). Wynika z nich konieczność znacznego dostosowania właściwości biogazu przy zamiarze włączenia go do regionalnej sieci gazu ziemnego (podobnie jak przy sprężaniu do butli stalowych dla pojazdów samochodowych) [9].

Różnice pomiędzy właściwościami biogazu i gazu ziemnego dystrybuowanego w sieci [9]

Tabela 2

Differences between the properties of biogas and natural gas distributed in the network [9]

Table 2

Składnik	Jednostka	Biogaz	Gaz ziemny
Metan	[% mol]	50÷70	>94
Ditlenek węgla	[% mol]	25÷45	≤2
Amoniak	[mg/Nm ³]	≤1000	brak
Siarkowodór	[mg/Nm ³]	≤2000	≤5
Tlen	[% mol]	≤2	≤0,5
Azot	[% mol]	≤8	≤5
Wartość opałowa	[kWh/Nm ³]	6,8÷8,4	10,7÷12,8

Ekonomika instalacji wykorzystującej gaz składowiskowy

Odnawialne źródła energii to źródła lokalne, mogące zwiększyć poziom bezpieczeństwa energetycznego w skali kraju, zapewnić odpowiednie standardy w ochronie atmosfery oraz całego środowiska naturalnego przed zanieczyszczeniami, a także stworzyć nowe miejsca pracy [10]. Z modelowych badań laboratoryjnych oraz praktycznych pomiarów biogazu wykonywanych na składowiskach ustalono, że z 1 Mg wilgotnych odpadów, zbieranych z gospodarstw domowych i zakładów pracy, powstaje 80÷160 m³ gazu składowiskowego. Biorąc pod uwagę przeciętną wartość opałową biogazu wynoszącą 4,5 kWh/m³ i przy ilości wydobywanego biogazu > 50 m³/h, okazuje się, że składowiska śmieci domowych stanowią opłacalne źródła energii odnawialnej [11]. Szacuje się, iż energetyczne wykorzystanie gazu składowiskowego jest opłacalne ekonomicznie dla

składowisk, na których łączna masa deponowanych odpadów wynosi co najmniej $0,5 \cdot 10^6$ Mg odpadów. Na podstawie analizy składowisk odpadów, wykonanej przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Ekologii Miast (OBREM), pod względem ekonomicznej opłacalności energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego, stwierdzono, iż inwestycje takie są opłacalne dla składowisk o powierzchni powyżej 3 ha i miąższości złoża minimum 5 m. W zależności od ilości, sposobu zagospodarowania biogazu, zastosowanej technologii pozyskiwania biogazu, od samych jego właściwości paliwowych oraz od cen rynkowych uzyskanego ciepła bądź energii elektrycznej okres poniesionych nakładów inwestycyjnych zwraca się po 2-10 latach [12]. Należy podkreślić, iż gaz składowiskowy jest produkowany intensywnie przez 10-15 lat po zakończeniu eksploatacji składowiska. Stanowi to niezaprzeczalny argument, że energetyczne wykorzystanie gazu składowiskowego może przynieść zarówno korzyści środowiskowe, jak i wymierne korzyści ekonomiczne.

Podsumowanie

Głównym celem zastosowania technologii biogazowych jest konieczność utylizacji odpadów organicznych, natomiast drugorzędny produkcja biogazu. Biogaz jest tym samym traktowany jako produkt uboczny procesu utylizacji odpadów, stanowiąc jednocześnie wartościowe energetycznie paliwo. W aspekcie ekologicznym odgazowanie składowisk jest równie ważnym elementem, świadczącym bezpośrednio o bezpieczeństwie eksploatacyjnym składowiska, jak zabezpieczenie jego struktury przed migracją odcieków wodnych dostających się do środowiska gruntowo-wodnego. Zastosowanie znajdujących tutaj bierne i aktywne (z zasysaniem) systemy odgazowania, a także ich kombinacje.

Zgodnie z zaleceniami Unii Europejskiej, instalacje odgazowujące powinny posiadać składowiska o rocznej masie gromadzonych odpadów wynoszącej powyżej 10 tys. Mg. W Polsce w 2006 r. istniało około 125 spełniających ten warunek składowisk, głównie w miastach powyżej 30 tys. mieszkańców [6].

Podziękowania

Badania przeprowadzono w ramach BW-401/202/07.

Literatura

- [1] Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market.
- [2] Kempa E.S.: Gospodarka odpadami na wysypiskach. Wyd. Arka Konsorcjum s.c., Poznań 1993.
- [3] Metan. Encyklopedia WIEM, <http://portalwiedzy.onet.pl>
- [4] Matuzik M.: *Biogazownie w zachodniopomorskim - patent na paliwo i lepszy zapach*. Energia Gigawat, 2005, (8-9), <http://gigawat.info/archiwum/index.php/article/articleview>
- [5] Rosik-Dulewska C.: Podstawy gospodarki odpadami. WN PWN, Warszawa 2006.
- [6] Skorek J. i Kalina J.: Gazowe układy kogeneracyjne. WNT, Warszawa 2005.
- [7] Czurejno M.: *Biogaz środowiskowy jako źródło alternatywnej energii*. Energetyka i Ekologia, 2006, (10), 777-781.
- [8] Manczarski P.: *Systemy odgazowania składowisk odpadów komunalnych - zagadnienia procesowe i technologiczne*, www.drewnozamiastbenzyny.pl
- [9] Kotowski W.: *Wylapać metan*. Energia Gigawat, 2006, (10), <http://gigawat.info/archiwum/index.php/article/articleview>
- [10] Wiśniewski G.: *Odnawialne źródła energii jako element rozwoju lokalnego*. Przewodnik dla samorządowców terytorialnych i inwestorów. EC BREC, Warszawa 2003.

- [11] Stępnia S.: *Problemy określania potencjału gazowego wysypisk*. Gaz, Woda i Techn. Sanit., 2003, 6, 221-225.
- [12] Czurejno M.: *Energetyczne wykorzystanie gazu składowiskowego*. Ekonatura, 2005, 3(16), 20-22.

RECEIVING OF BIOGAS FROM THE WASTES DEPOSITED ON THE STORAGE YARDS

Faculty of Environmental Engineering and Protection, Czestochowa University of Technology

Abstract: The waste dump as the place, which is burdensome for the environment, can have disadvantageous influence on all its elements. It can affect directly: the air, the ground surface together with the soil, the surface and the underground waters and it can affect indirectly: the health of the population which lives in its surrounding and the animal world. In Poland the waste dumps have (together with mines and water treatment plants) have dominant influence on the methane emission from so-called anthropogenic sources. The methane is the second gas, after carbon dioxide, which is responsible for the greenhouse effect. What is more, it is a valuable source of energy carrier, which is produced from the organic substances during the sophisticated process, as regards biochemistry, called oxygen-free stabilization. The content of gas in the vertical structure section of the deposit is not stable. The amount and the quality of waste dump gas depend mainly on the morphology and on the percentage content of the organic parts of the deposited wastes and on their humidity, on their effective concentration and on the insulating cover during the exploitation of the waste dump. According to the literature data, from 100 m³ of biogas there can be produced about 560÷600 kWh of electric energy. The waste dump of the surface: 15 ha can give from 20 GWh up to 60 GWh of energy during a year if the year-long mass of the deposited wastes is about 180 000 tons. The multilateral and multidimensional character of the renewable energy sources causes that they can have a significant influence both on the development of regional politics of the country, directly affecting the increase of the country energy safety level. They can also have an influence on the keeping to the emission limits which were imposed by European Union (EU), concerning, among others, the production of greenhouse gases. In the Kyoto report ratified in 1997 by Poland, all countries of EU are obliged to reduce the emission of greenhouse gases of 8% up to 2012. In the article there have been discussed the issue concerning both the biogas energy potential and the management of biogas as well as there have been reviewed the legal acts concerning the usage of biogas which arises on the wastes dumps.

Keywords: biogas, methane, oxygen-free stabilization, waste dump, renewable energy sources (RES)