

## Pozyskiwanie i wykorzystanie biogazu do celów energetycznych

**Słowa kluczowe:** biogaz, składowiska odpadów komunalnych, oczyszczalnie ścieków, biogazownie rolnicze

**Key words:** biogas, municipal waste landfills, wastewater treatment, agricultural biogas plants

### Biogaz

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki (Dz.U. z 2008r. Nr 156, poz. 969) biogazem nazywamy gaz pozyskany z biomasy, w szczególności z instalacji przeróbki odpadów zwierzęcych i roślinnych, oczyszczalni ścieków oraz składowisk odpadów<sup>1)</sup>. Otrzymuje się go jako produkt procesu fermentacji, któremu przy udziale bakterii ulegają związki pochodzenia organicznego zawarte w biomasie lub odpadach organicznych. Biogaz jest gazem palnym, który składa się głównie z metanu i dwutlenku węgla oraz śladowych ilości innych produktów gazowych H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> i H<sub>2</sub>O. Wartość opałowa biogazu waha się od 17 do 27 MJ/m<sup>3</sup>. Na cykl beztlenowych reakcji biochemicznych, w których wyniku z masy organicznej powstaje biogaz składają się etapy:

- hydrolizy, w której wyniku polimery (węglowodory, tłuszcze i białka) są rozkładane monomery (aminokwasy, kwasy tłuszczowe, cukry proste i glicerynę),
- acidogenezy, w której z monomerów powstają krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe, alkohole oraz H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub>
- acetogenezy, w której z kwasów tłuszczowych powstają kwas octowy oraz H<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>
- metanogenezy, w której wyniku z kwasu octowego i H<sub>2</sub> powstaje produkt końcowy mieszanina CH<sub>4</sub> i CO<sub>2</sub>.

W zależności od substratów (rodzaju materii organicznej) oraz warunków procesu powstawania skład wytwarzanego biogazu może się znacznie wahać – metan (CH<sub>4</sub>) od 40 do 80%, dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>) od 20 do 55%, siarkowodór (H<sub>2</sub>S) od 0,1 do 5,5% oraz wodór (H<sub>2</sub>), tlenek węgla (CO), azot (N<sub>2</sub>), tlen (O<sub>2</sub>) – w śladowych ilościach.

Biogaz może powstawać samorzutnie w procesach rozkładu substancji organicznych lub można go produkować celowo. Na składowiskach odpadów komunalnych biogaz powstaje samorzutnie w wyniku biodegradacji składowanych odpadów organicznych. Celową produkcję biogazu prowadzi się w oczyszczalniach ścieków oraz w biogazowniach rolniczych.

Mgr. inż. J. Dudek, mgr. inż. J. Zaleska-Bartosz – Instytut Nafty i Gazu – Kraków

Do celów energetycznych biogaz pozyskuje się w Polsce w trzech typach instalacji:

- instalacjach odgazowania składowisk odpadów komunalnych,
- komorach fermentacyjnych osadów ściekowych w komunalnych oczyszczalniach ścieków,
- biogazowniach rolniczych.

Obecnie techniczne możliwości wykorzystania energii zawartej w biogazie obejmują:

- bezpośrednie spalanie w urządzeniach ciepłych, w kotłach gazowych,
- wytwarzanie energii elektrycznej w silnikach gazowych z generatorem prądu,
- kogenerację lub trigenerację – produkcję energii elektrycznej i ciepłej w skojarzeniu,
- wytwarzanie biometanu (SNG), który następnie może zostać:
  - zatłoczony do sieci dystrybucyjnych gazu ziemnego,
  - wykorzystany jako paliwo transportowe,
  - wykorzystany w procesach technologicznych np. do produkcji metanolu.

### Biogaz pozyskiwany na składowiskach odpadów

Podstawowymi składnikami gazu składowiskowego są metan i dwutlenek węgla. Ponadto w gazie składowiskowym mogą występować w niewielkich ilościach azot, wodór, tlen, siarkowodór, tlenek węgla i amoniak. Proporcje metanu do dwutlenku węgla mogą się zmieniać w bardzo szerokich granicach w zależności od intensywności przebiegu dwóch zasadniczych procesów rozkładu: aerobowego i anaerobowego. W fazie zaawansowanej i stabilnej metanogenezy zawartość metanu waha się zwykle w granicach 50–60%, a dwutlenku węgla 30–40%. Gaz składowiskowy różni się od innych biogazów występowaniem w śladowych ilościach znacznej liczby substancji organicznych. Próbkę gazu pobierane ze składowisk, zawierają substancje śladowe należące niemal do wszystkich grup związków

<sup>1)</sup> Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. (Dz.U. z 2008r. Nr 156, poz. 969)

organicznych, w różnych jednak ilościach i proporcjach w zależności od warunków panujących na danym składowisku (rodzaju odpadów, sposobu składowania), a więc od szybkości oraz mechanizmu rozkładu odpadów.

Wartość opałowa gazu składowiskowego zależy od procentowego udziału metanu w jego składzie i wynosi średnio około 22 MJ/m<sup>3</sup>. Jest ona zbliżona do wartości opałowej gazu średniokalorycznego, lecz znacznie odbiega od powszechnie stosowanego zarówno w gospodarce komunalnej jak i w przemyśle – gazu ziemnego (32 do 34 MJ/m<sup>3</sup>). Dla porównania wartość opałowa węgla kamiennego wynosi 24–29 MJ/kg.

Zmiennym parametrem jest także gęstość gazu składowiskowego, która w zależności od proporcji głównych składników – metanu i dwutlenku węgla zmienia się w granicach 1,04–1,22 kg/m<sup>3</sup>. Właściwość ta wpływa na parametry transportowe oraz na szybkość spalania gazu charakteryzowaną przez liczbę Wobbego. Niskie liczby Wobbego powodują, że nie jest możliwe stosowanie typowych palników do spalania gazu bez ich modyfikacji.

Prawidłowo zaprojektowana instalacja odgazowania pozwala na uzyskanie z 1 miliona ton odpadów komunalnych średnio 700 m<sup>3</sup>/h gazu składowiskowego podczas fazy stabilnej metanoogenezy i 350 m<sup>3</sup>/h po upływie 10 lat [1]. Średnio w Polsce jest zbieranych 10 x 10<sup>6</sup> ton odpadów komunalnych co stanowi potencjał do produkcji 61,32 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> gazu składowiskowego rocznie. Produkcja gazu składowiskowego polega jednak na stosunkowo krótkim okresie eksploatacji źródła gazu oraz zmiennej w czasie jego produktywności gazowej.

W wielu wypadkach może nastąpić konflikt pomiędzy zasadą maksymalizacji odbioru gazu ze składowiska, wynikającą z celów ekologicznych stawianych odgazowaniu, a koniecznością dotrzymania reżimu dostaw gazu do urządzeń energetycznych. Problemy te są najczęściej rozwiązywane przez rezygnację z pełnego wykorzystania gazu odebranego ze składowiska i spalanie jego nadwyżek w pochodni.

Instalacje do pozyskiwania biogazu ze składowiska odpadów komunalnych składają się z następujących elementów: studni gazowych, rurociągów do transportu biogazu i stacji zbiorczej gazu. Wyposażenie stacji zbiorczej stanowią sprężarki ssąco-tłoczące, odwadniacze oraz aparatura kontrolno-pomiarowa. W stacji wykonuje się pomiary ilości odbieranego ze studni gazu, rejestruje jego skład i ciśnienie, a następnie w zależności od jego jakości kieruje do spalania lub energetycznego wykorzystania. Nowoczesne instalacje do utylizacji gazu składowiskowego są wyposażone w urządzenia do produkcji energii oraz pochodnie do spalania gazu, które uruchamia się w razie występowania nadwyżek biogazu lub podczas remontów bądź awarii urządzeń energetycznych. [2] Wyprodukowana

energia elektryczna jest najczęściej oddawana do sieci państwowej, a energia cieplna, zwykle tylko w części, jest wykorzystywana na miejscu na potrzeby własne składowiska odpadów. Ze względu na brak odbiorców ciepła w pobliżu składowiska, nadwyżki energii cieplnej są bezpowrotnie tracone.

### Biogaz pozyskiwany w oczyszczalniach ścieków

Biogaz na oczyszczalniach ścieków powstaje podczas fermentacji osadu ściekowego w Wydzielonych Komorach Fermentacyjnych (WKF) zwanych również Zamkniętymi Komorami Fermentacyjnymi (ZKF).

Osady ściekowe są naturalnym produktem oczyszczania ścieków. Wydzielanie osadu ze ścieków jest nieodłączną częścią procesu ich oczyszczania i wiąże się ze wszystkimi metodami oczyszczania. Osady ściekowe wykazują dużą zmienność składu chemicznego zależną od właściwości ścieków, technologii oczyszczania i przeróbki osadów. Budowane obecnie oczyszczalnie, w których stosuje się wysokoefektywne metody biologicznego oczyszczania ścieków i w których bardzo często usuwanie związków biogenych wspomaga się dodatkowo metodami chemicznymi, gromadzą bardzo duże ilości osadów ściekowych. Ilość osadów wydzielanych po oczyszczeniu ścieków komunalnych na współczesnych oczyszczalniach, zajmuje od 0,5% do nawet 3,0% objętości wód ściekowych. W celu zneutralizowania niebezpiecznych organizmów oraz substancji organicznych zawartych w osadzie zebranym w oczyszczalniach, osad poddaje się fermentacji z udziałem, bądź też bez udziału tlenu. Produktem ubocznym stosowania fermentacji beztlenowej jest powstawanie biogazu.

Fermentacja metanowa zachodząca w WKF jest biochemicznym procesem gazyfikacji złożonych wielkocząsteczkowych substancji organicznych (białek, węglowodanów i tłuszczów) bez obecności tlenu. Produktem procesu jest gaz, którego podstawowymi składnikami są: metan i dwutlenek węgla. Proces fermentacji osadów ściekowych jest procesem znacznie bardziej zintensyfikowanym od biodegradacji zachodzącej na wysypisku.

W tabeli 2 podano procentowy udział głównych składników pozyskiwanego biogazu na przykładzie oczyszczalni ścieków w Częstochowie. Wartość opałowa otrzymywanego gazu wynosi 23,3 MJ/m<sup>3</sup>.

Tab. 2. Skład chemiczny biogazu dla oczyszczalni ścieków w Częstochowie [3]

Składnik biogazu	Stężenie, %
Metan (CH <sub>4</sub> )	65,0
Dwutlenek węgla (CO <sub>2</sub> )	32,2
Wodór (H <sub>2</sub> )	–
Azot (N <sub>2</sub> )	1,8
Tlen (O <sub>2</sub> )	1,0

Z doświadczeń funkcjonujących oczyszczalni biologicznych wynika, że z 1 Mg ścieków komunalnych uzyskuje się do 600 m<sup>3</sup> biogazu w przeliczeniu na 1 Mg suchej masy. Przy obliczaniu potencjału technicznego oczyszczalni przyjmuje się, że z 1000 m<sup>3</sup> rzeczywiście wpływających do oczyszczalni ścieków można uzyskać ok. 100 m<sup>3</sup> biogazu.

W dużych biologicznych oczyszczalniach ścieków biogaz pozyskiwany w wyniku fermentacji metanowej osadu ściekowego służy do produkcji energii cieplnej (kotły) lub energii elektrycznej i ciepłej (jednostki kogeneracyjne). Oba rodzaje energii są wykorzystywane i zagospodarowywane z reguły na potrzeby własne oczyszczalni, w tym m.in. na podgrzewanie osadów ściekowych i ogrzewanie obiektów oczyszczalni, a także zasilanie energią elektryczną urządzeń technologicznych oczyszczalni. Wynika to z dużego zapotrzebowania na energię w procesie fermentacji osadu.

### Biogaz pozyskiwany w biogazowniach rolniczych

Biogazownie rolnicze służą do celowej produkcji biogazu z odchodów zwierzęcych i biomasy roślinnej, w tym organicznych odpadów. Najczęściej surowcem do produkcji biogazu w biogazowniach rolniczych są odchody zwierząt hodowlanych, słoma, trawa, łodygi i liście roślin uprawnych, uprawy w plonie głównym (tzw. uprawy celowe), odpady z przemysłu rolno-spożywczego (obierki, wysłodki, melasa) oraz osady ściekowe. Podstawowymi produktami są biogaz i nawóz organiczny. Produktywność biogazu waha się od 90–750 m<sup>3</sup>/Mg s.m.org. w zależności od rodzaju surowca wsadowego. Do najwyższych należy wydajność metanu uzyskiwana z kukurydzy, co wynika zarówno z wielkości uzyskiwanych plonów tej rośliny, ale także z wydajności jednostkowej biogazu. Wydajność biogazu z 1 tony kiszonki z kukurydzy najczęściej jest przyjmowana na poziomie 200 m<sup>3</sup>, a z zielonki z kukurydzy – 180 m<sup>3</sup>/t. Dobrym substratem dla biogazowi jest gnojowica, jednakże ze względu na zbyt małą koncentrację suchej masy stanowi ona zwykle dodatek rzędu 10–20% zadawanej masy. Od surowca wsadowego, ale także od parametrów samego procesu (dokładności wymieszania, czasu fermentacji i temperatury procesu) zależy jakość (skład) uzyskanego biogazu. Skład biogazu z biogazowni rolniczej przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Skład chemiczny biogazu z biogazowni rolniczej [4]

Składnik biogazu	Stężenie, %
Metan (CH <sub>4</sub> )	52 – 85
Dwutlenek węgla (CO <sub>2</sub> )	14 – 48
Siarkowodor (H <sub>2</sub> S)	0,08 – 5,5
Wodór (H <sub>2</sub> )	0 – 5,5
Tlenek węgla (CO)	0 – 2,1
Azot (N <sub>2</sub> )	0,6 – 7,5
Tlen (O <sub>2</sub> )	0 – 1,0

Zasadniczymi elementami technologicznymi biogazowi są: układ podawania biomasy, komory fermentacyjne, zbiornik magazynowy przefermentowanego substratu oraz zbiornik biogazu.

Najbardziej ekonomicznym sposobem wykorzystania biogazu jest produkcja energii elektrycznej i ciepła w agregatach kogeneracyjnych.

### Produkcja energii elektrycznej i ciepłej w jednostkach skojarzonych (kogeneracja)

Optymalnym sposobem na wykorzystanie biogazu jest produkcja energii w jednostkach CHP ze względu na wysoką sprawność energetyczną procesu oraz elastyczność polegającą na możliwości wytwarzania ciepłej wody lub pary z odzyskiwanego ciepła.

Biogaz powstający podczas biologicznej konwersji biomasy, w razie wysokiej zawartości metanu (na poziomie 40–70%) jest szczególnie atrakcyjnym nośnikiem energetycznym dla układów CHP. Kogeneracja oparta na biogazie jest wyjątkowo opłacalna w wypadku dostępu do odnawialnego, praktycznie darmowego nośnika energii w oczyszczalniach ścieków, składowiskach odpadów komunalnych lub odpowiednio ukierunkowanych gospodarstwach rolno-przemysłowych. Szczególne uzasadnienie ekonomiczne mają biogazownie oraz układy kogeneracyjne oparte na biogazie usytuowane w oczyszczalniach ścieków ze względu na ich wysokie zapotrzebowanie własne na energię cieplną oraz elektryczną. Również zastosowanie biogazu do produkcji elektryczności i ciepła na sprzedaż może stanowić cenne źródło dochodu dla wielu przedsiębiorstw, np. składowisk odpadów. Funkcjonujące jednak obecnie w Polsce zachęty regulacyjne, w tym m.in. wprowadzone świadectwa pochodzenia „zielonej” energii, instrumenty podatkowe (np. zwolnienie energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych z podatku akcyzowego) czy 50% ulgi w kosztach przyłączenia do sieci przesyłowej i dystrybucyjnej dla producentów energii elektrycznej z OZE koncentrują się w większym stopniu na producentach energii elektrycznej z OZE, niż na wytwórcach ciepła. Rezultatem wprowadzonego systemu wsparcia produkcji energii elektrycznej z OZE jest ponad dwukrotny wzrost produkcji energii elektrycznej z biogazu z 48 GWh w 2002 r. do 117 GWh w 2006 roku, przy znaczącym udziale gazu składowiskowego (wzrost odpowiednio z 48 GWh do 80 GWh).

W tabeli 4 przedstawiono wielkość zainstalowanej mocy w instalacjach wykorzystujących biogaz oraz ilość energii elektrycznej wytworzonej w tych źródłach.

### Podsumowanie

Jak dotąd w Polsce największą dynamiką zwiększania produkcji energii elektrycznej z biogazu mogły pochwalić się oczyszczalnie ścieków. Wynika to przede wszystkim



Tab. 4. Moc jednostek CHP zainstalowanych na terenie Polski wraz z ilością wytworzonej przez nie energii elektrycznej

Biogaz	2002	2003	2004	2005	2006	I poł. 2007
<b>Produkcja energii elektrycznej, GWh</b>	<b>48</b>	<b>56</b>	<b>66</b>	<b>104</b>	<b>117</b>	<b>70</b>
Gaz wysypiskowy	48	45	50	74	80	46
Biogaz z oczyszczalni ścieków komunalnych	b.d.	8	12	30	35	23
Biogaz rolniczy	b.d.	3	4	1	2	1
<b>Moc zainstalowana [MW]</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>22</b>	<b>33</b>	<b>35</b>	<b>43</b>
Gaz wysypiskowy	15	15	17	24	27	30
Biogaz z oczyszczalni ścieków komunalnych	-	2	3	7	7	13
Biogaz rolniczy	-	1	2	1	1	1

z powstawania nowych obiektów, a ze względu na duże zapotrzebowanie energetyczne tego typu instalacji produkcja energii cieplnej i elektrycznej jest tu szczególnie uzasadniona ekonomicznie.

Źródłem dostarczającym największej ilości energii elektrycznej z biogazu były jednak składowiska odpadów komunalnych, które z konieczności dostosowania składowisk do wymogów prawa podyktowanych głównie względami ochrony środowiska, zostały najwcześniej zmuszone do obowiązku zagospodarowania powstającego biogazu. Jedynie energia elektryczna produkowana z gazu składowiskowego jest sprzedawana do sieci energetycznej. Energia cieplna jest natomiast zagospodarowywana na miejscu w procesach technologicznych (np. kompostownia) i do ogrzewania pomieszczeń zaplecza składowiska.

Do roku 2005 działała w Polsce tylko jedna biogazownia rolnicza. W 2008 r. powstały kolejne dwie biogazownie, a w ciągu 2009 r. uruchomiono następne trzy. Wiele więc wskazuje na to, że w najbliższym czasie kierunek ten bę-

dzie rozwijał się dynamicznie. Należy się spodziewać, że jak dotychczas w dużej mierze biogazownie rolnicze będą nastawione na produkcję energii elektrycznej. W świetle trwają jednak prace nad technologiami przeróbki biogazu i wtłaczania go do gazociągów jako alternatywy i uzupełnienia dla gazu ziemnego, a także prace nad oczyszczaniem biogazu do uzyskania czystego metanu i stosowania go jako paliwa w pojazdach.

#### LITERATURA

- [1] Gradziuk P.: Biopaliwa, Wydawnictwo Wieś Jutra. Warszawa 2003
- [2] Dudek J. i in.: Opracowanie zasad eksploatacji systemów odgazowania wysypisk odpadów komunalnych oraz dobór metod kontroli efektywności odgazowania. IGNiG 1995
- [3] Cupiał K., Dużyński A., Grzelka J.: Techniczne i ekonomiczne aspekty eksploatacji biogazowego zespołu CHP w oczyszczalni ścieków w Częstochowie, Politechnika Częstochowska, ZN Mechanika 25, Silniki gazowe 2003, Częstochowa 2003
- [4] Steppa M.: Biogazownie rolnicze IBMER, Warszawa 1988

## Zaprosili nas

Katedra Inżynierii Bioprocessowej Politechniki Łódzkiej na X Ogólnopolską konferencję naukową „Postępy inżynierii bioreaktorowej” w Łodzi, w dniach 2–4 września 2009 r.

\*\*\*

Wydział Leśny Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie na Międzynarodową konferencję naukową organizowaną z okazji 60-lecia powołania Wydziału „Leśnictwo w górach i regionach przemysłowych” w Krakowie, w dniu 22 września 2009 r. i w Krynicy-Zdroju w dniu 22 września 2009 r.

\*\*\*

Katedry Ekonomiki i Zarządzania w Przemśle oraz Górnictwa Odkrywkowego AGH, Sekcje Ekonomiki i Organizacji Górnictwa oraz Górnictwa Odkrywkowego Komitetu Górnictwa PAN na XIV Konferencję „Szkoła ekonomiki i zarządzania w górnictwie” w Krynicy-Zdroju, w dniach 23–25 września 2009 r.

Dyrekcja Kampinowskiego Parku Narodowego na „Konferencję 50 LAT”, w Izabelinie, w dniach 24–26 września 2009 r.

\*\*\*

Szkoła Ochrony i Inżynierii Środowiska im. Walerego Goetla AGH na IV Konferencję „Ochrona i inżynieria środowiska – zrównoważony rozwój” w Krakowie, w dniach 24–26 września 2009 r.

\*\*\*

Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie oraz Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych na Konferencję „Ochrona jakości zasobów wód” w Krynicy, w dniach 27–29 września 2009 r.

\*\*\*

Główny Instytut Górnictwa na II Konferencję „Geologia, hydrogeologia i geofizyka w rozwiązywaniu problemów współczesnego górnictwa i energetyki” w Katowicach oraz Katowicach–Podlesiach w dniach 4–7 października 2009 r.