

AGATA BŁASZCZYK-PASTEczKA, WITOLD ŻUKOWSKI*

ENERGETYCZNE WYKORZYSTANIE BIOGAZU

BIOGAS USE AS AN ENERGY SOURCE

Streszczenie

W artykule przedstawiono metody wytwarzania oraz zagospodarowania biogazu w kontekście współczesnych wymagań gospodarki odpadami oraz racjonalnej polityki energetycznej. Scharakteryzowano zrealizowane inwestycje dotyczące zastosowania biogazu oparte na zasadach polityki zrównoważonego rozwoju.

Słowa kluczowe: energetyczne wykorzystanie biogazu

Abstract

The paper summarizes the methods of biogas production and management as the one of waste management and energy requirements. Some biogas utilization investments based on sustainable development were characterized.

Keywords: energy biogas utilization

* Mgr inż. Agata Błaszczuk-Pasteczka, dr hab. inż. Witold Żukowski, Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska.

Polityka zrównoważonego rozwoju ma na celu analizę wpływu oraz usuwanie negatywnych skutków działalności człowieka na otaczające go środowisko naturalne. W obliczu wzrostu liczby ludności na Ziemi, wzrastającego poziomu życia i uprzemysłowienia uzasadnione jest poszukiwanie i wdrażanie nowych technologii w zakresie energetyki, gospodarki odpadami, ochrony czystości powietrza, gleb oraz wód.

Idea utylizacji biogazu jest zdeterminowana przede wszystkim wymaganiami gospodarki odpadami, których podstawowym problemem jest kontrola zarządzania wysypiskami odpadów, jak i praca oczyszczalni ścieków. Dodatkowym aspektem jest racjonalna polityka energetyczna, zakładająca wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, w tym biomasy (definiowanej w Dyrektywie 2001/77/WE jako frakcje i odpady zarówno przemysłu rolnego, jak i odpady przemysłowe i miejskie).

Biogaz zdalny do celów energetycznych może powstawać w procesie fermentacji beztlenowej odpadów zwierzęcych w biogazowniach rolniczych, osadu ściekowego w oczyszczalniach ścieków oraz odpadów organicznych na komunalnych wysypiskach odpadów. W zależności od pochodzenia surowca używanego do fermentacji skład biogazu jest zmienny i kształtuje się następująco: 50–75% CH₄, 25–37% CO₂, 2–7% pary wodnej, 20–20 000 ppm H₂S, do 2% N₂, do 1% H₂, do 1% O₂. Wartość opałowa zależy od objętościowego udziału metanu w mieszaninie gazowej; średnią wartość opałową szacuje się w granicach 6,4–6,5 kWh/Nm³ (dla gazu ziemnego wysokometanowego GZ-50 wartość opałowa wynosi 9,56 kWh/Nm³, natomiast dla gazu ziemnego zaazotowanego GZ-35 wartość opałowa wynosi 6,94 kWh/Nm³).

Metan jest drugim po CO₂ gazem mającym największy udział w powstawaniu efektu szklarniowego, pochłania promieniowanie podczerwone 60 razy bardziej niż CO₂ i tym samym bardziej przyczynia się do zatrzymania energii cieplnej w otoczeniu Ziemi [1]. Dlatego spalanie do ditlenku węgla metanu w biogazie powstającym w procesach niekontrolowanych (np. rozkład frakcji organicznych na wysypiskach odpadów), z punktu widzenia ochrony atmosfery i przeciwdziałania efektowi cieplarnianemu, jest uzasadnione.

Proces fermentacji obejmuje początkowo hydrolizę węglowodanów, tłuszczów i białek, następnie rozkład w fazie kwaśnej powstałych substancji organicznych do wodoru, CO₂, kwasów organicznych i alkoholi. Kolejnym etapem jest kwasogeneza, tzn. powstawanie kwasu octowego, który przereagowuje do biogazu w procesie metagenezy.

Wytwarzanie energii cieplnej z biogazu powstałego w procesie fermentacji beztlenowej wymaga linii technologicznej uwzględniającej: odbiór biogazu z komór fermentacyjnych, oczyszczenie mechaniczne i odsiarczanie biogazu, magazynowanie w zbiornikach stabilizujących, osuszanie, spalanie robocze (silnik, kocioł czy piec) oraz spalanie biogazu awaryjne – w pochodni [2].

Każda biogazownia rolnicza składa się z następujących elementów: zbiornika na substrat zaopatrzonego w automatyczny podajnik, zamkniętej komory fermentacyjnej, bloku elektryczno-energetycznego, rur i mieszadeł. W fazie projektu, określając rodzaj, ilość substratu i warunki prowadzenia procesu, przewiduje się produkcję gazu, wielkość planowanej elektrociepłowni oraz wielkość i typ komory fermentacyjnej. Niewielka, pozioma komora o objętości ok. 50–150 m³ ze względu na warunki mieszania wsadu, cenę i uciążliwość ewentualnego transportu odpowiada wymaganiom małego gospodarstwa rolnego. Standardowa komora stosowana w rolnictwie przy obróbce do 10 000 m³ wsadu rocznie ma objętość do 1000 m³, dwa lub więcej mieszadeł oraz dach z podwójną membraną stanowiącą zbiornik gazu. Okres przechowywania, zależnie od wejściowego substratu, wynosi

40–80 dni. Przy dużych ilościach substratu wejściowego (powyżej 30 000 m³ rocznie) stosuje się stalowe, pionowe komory fermentacyjne. Ich objętość waha się pomiędzy 1500–5000 m³; stosunkowo krótki okres przechowywania (ok. 20 dni) osiągany jest dzięki ciągłemu mieszaniu i wstępnemu podgrzewaniu.

Uzysk biogazu w sposób ścisły zależy od substratu. Przykładowe zależności przedstawiono w tabelicy 1.

T a b l i c a 1

Uzyski biogazu dla różnych odmian surowców

Substrat	Uzysk biogazu m ³ /t substratu
Zmiksowane kolby kukurydzy	400–600
Słoma pocięta	280–300
Kiszonka z kukurydzy	180–290
Trawa z łąki	80–120
Obornik	20–40

Pierwszą polską biogazownię rolniczą otwarto 9 czerwca 2005 r. w Pawłótku (woj. pomorskie). Produkuje ona biogaz o przybliżonej zawartości 65% CH₄ i 35% CO₂ w ilości 790 000 m³/rok. Planuje się wykorzystywać 25 000 ton nawozu zwierzęcego rocznie pochodzącego z fermy w Pawłótku i 3500 ton odpadów pochodzących z zakładów mięsnych Prime Food, zapewniając produkcję energii elektrycznej i ciepłej w skojarzeniu o mocach rzędu 240 kW_e i 360 kW_t. Dzięki optymalizacji procesu fermentacji i zastosowaniu dodatkowych składników w postaci kiszonki z kukurydzy i gliceryny (odpadu z produkcji estrów metylowych oleju rzepakowego), docelowa moc pod koniec tego roku osiągnie 720 kW_e i 900 kW_t. Gliceryna stanie się w niedługim czasie odpadem z własnej instalacji do produkcji biopaliwa.

Biogazownia składa się z dwóch komór fermentacyjnych o łącznej objętości efektywnej 1500 m³, zbiornika wstępnego na surowce energetyczne, stacji przyjęć odpadów organicznych, lagun o pojemności 20 000 m³, urządzeń umożliwiających higienizację odpadów poubojowych, filtra biologicznego oraz modułu kogeneracyjnego. Zapotrzebowanie na energię elektryczną biogazowni stanowi ok. 20% jej ogólnej produkcji, pozostała część energii jest sprzedawana do sieci energetycznej. Około 40% ogólnej produkcji ciepła to potrzeby własne, reszta jest wykorzystywana do ogrzewania ferm i budynków technicznych.

Po uzyskaniu pełnej optymalizacji całkowita redukcja emisji zanieczyszczeń wyniesie: SO₂ – 66,3 t/rok, NO_x – 30 t/rok i CO₂ – 68 000 t/rok odnośnie do węgla, a redukcja emisji metanu – 98 000 m³/rok oraz podtlenku azotu – 370 kg/rok odnośnie do gnojowicy surowej. Uruchomienie biogazowni spowoduje również zmniejszenie ryzyka zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych (spadek zawartości związków azotu oraz czynników chorobotwórczych zawartych w odchodach zwierzęcych, takich jak bakterie Salmonelli, Escherichia Coli, bakterie gruźlicy czy wirusy pryszczycy) [3].

Systematycznie wzrasta liczba pracujących biogazowni w Europie Zachodniej (m.in. w Niemczech). Szybki postęp w tym sektorze umożliwiło głównie uruchomienie rozwiązań prawnych wspomagających finansowanie i rekompensaty za każdą kilowatogodzinę dostarczoną do publicznej sieci energetycznej.

Stosowanie biogazu w celach energetycznych, przy jednoczesnej redukcji negatywnych skutków emisji biometanu, jest również istotnym aspektem w projektowanych i istniejących już składowiskach odpadów, ponieważ dobrym surowcem do fermentacji są biodegradowalne odpady komunalne. W polskich warunkach praktyczny wskaźnik produkcji gazu wynosi 50–200 m³/Mg odpadów. Najintensywniejsze wydzielanie biogazu zaczyna się po ok. 2 latach od zamknięcia złoża. Całkowity czas przebiegu fermentacji z wydzieleniem produktów trwa ok. 20 lat.

Gaz wysypiskowy powoduje powstanie ryzyka samozapłonu i wybuchu. Niewielkie pożary na wysypiskach odpadów są jednymi z większych utrudnień w obsłudze składowisk odpadów. Migrujący poza wysypisko gaz może także gromadzić się w pustych przestrzeniach, jak np. fundamentach budynków, piwnicach, studniach itp., powodując groźne eksplozje. Wybuchy są powszechnym problemem w końcowych fazach eksploatacji oraz po zakończeniu przyjmowania odpadów. Wydostający się biogaz grozi również zatruciem ludzi i zwierząt poprzez działanie zawartego w nim siarkowodoru i innych trujących związków chemicznych. Długotrwałe przebywanie w atmosferze nawet rozrzedzonego gazu powoduje większe prawdopodobieństwo zachorowań na choroby nowotworowe [4].

Oprócz zagrożenia dla atmosfery (efekt cieplarniany pochodzący od silnie absorbującego promieniowanie podczerwone metanu; 10% emisji metanu pochodzi z wysypisk odpadów), budowli oraz ludzi (wybuchy, pożary) nieodgazowane odpady mogą być przyczyną degradacji gleb (zagrożenie dla roślin poprzez dyfuzję gazu do strefy korzenia) oraz zanieczyszczenia wód gruntowych.

Podstawą prawną w zakresie wymagań dotyczących eksploatacji składowisk odpadów w Polsce, opartą na wytycznych Dyrektywy Rady UE 1999/31/EC z 26 kwietnia 1999 r., jest obecnie Rozporządzenie Ministra Środowiska z 24 marca 2003 r. (DzU Nr 61, poz. 549). Zgodnie z tym dokumentem konieczne jest wyposażenie składowiska zamierzającego składować odpady ulegające biodegradacji w instalacje służące do odprowadzania gazu składowiskowego. Gaz ten powinno się oczyścić i wykorzystać do celów energetycznych, a jeśli jest to niemożliwe – spalić w pochodni.

W celu ochrony przed niekontrolowaną migracją produktów fermentacji w składowisku wykonuje się odwierty. Jest to tzw. metoda bierna, gdy gaz wydobywa się pod własnym ciśnieniem (w praktyce jednak skuteczna tylko w określonych sytuacjach i w niewielu przypadkach, np. przy wysypiskach o niewielkiej pojemności i usytuowanych w znacznej odległości od zabudowań) lub tzw. metoda aktywna, gdy studnie poboru połączone są ze sobą kolektorami poziomymi, a całość podłączona jest do odpowiednich urządzeń wytwarzających w układzie podciśnienie o stałej wartości. Metoda aktywna daje większe możliwości zagospodarowania gazu w procesach przetwórczych i jest szczególnie zalecana przy eksploatacji większych wysypisk (powyżej 14 000 t odpadów rocznie). Dlatego też o sposobie zagospodarowania pozyskanego biogazu decydują zazwyczaj lokalne warunki, takie jak np. linia energetyczna, odległość od najbliższych zabudowań.

Technologiczny proces pozyskiwania biogazu musi uwzględniać jego odwadnianie oraz oczyszczanie. Skraplanie pary wodnej przebiega samoistnie przy schładzaniu gazu, następującym po podwyższeniu jego temperatury, spowodowanym sprężaniem przy wejściu do dmuchawy odsysającej ze złoża. Oczyszczenie wstępne konieczne jest jeszcze przed odesaniem, w kolejnym etapie usuwana jest reszta agresywnego H₂S oraz CO₂.

Proces beztlenowego rozkładu zachodzi tym lepiej, im krótszy jest czas, w którym odpady podlegają działaniu światła i tlenu. Uzysk biogazu można zatem powiększyć przez

ugniatanie warstw odpadów, a następnie szybkie przykrycie kolejną warstwą odpadów lub ziemi przesypowej. Szybkość fermentacji zależy od składu odpadów i ich wilgotności. Biogaz jest wytwarzany kolejno w fazach: tlenowej, acetogenezy i metagenezy.

Końcowym etapem systemu odgazowania wysypiska połączonego z unieszkodliwianiem jest pochodnia, instalowana nawet wówczas, gdy gaz wysypiskowy jest wykorzystywany jako paliwo do produkcji energii. Spełnia ona swoje zadanie w sytuacjach awaryjnych lub w okresach, gdy występuje nadmiar gazu w stosunku do możliwości odbioru energii [4].

Według PN-87/C-96001 biogaz jest klasyfikowany do trzydziestej podgrupy gazów ziemnych i najczęściej stosowany jest do otrzymywania energii cieplnej (dostarczanie gazu do sieci lub ogrzewanie wody) lub energii elektrycznej (z lub bez odzysku ciepła). Wytwarzanie energii elektrycznej z gazu wysypiskowego wymaga jednak dużej elastyczności w dostosowywaniu się do zróżnicowanego dopływu gazu oraz zmiennego zapotrzebowania na energię, zarówno w skali dobowej, jak i rocznej. Jeżeli obok energii elektrycznej wytwarza się jednocześnie energię cieplną, kompletna instalacja zawiera ssawę, pochodnię, silnik gazowy, generator elektryczny oraz moduł cieplny. Ciepło może być przesyłane rurociągiem, odległość do odbiorcy ciepła nie powinna być jednak większa niż 4 km.

W krajach Europy zachodniej pracuje obecnie ok. 200 instalacji energetycznego wykorzystania gazu wysypiskowego. Natomiast w Polsce do 1996 r. istniało tylko 9 instalacji odgazowujących, w tym zaledwie 5 z odzyskiem energii. Obecnie w kraju działa ok. 20 takich instalacji.

Inwestycje komercyjne w budowę elektrowni biogazowych są dość kosztowne, niemniej przy zastosowaniu nowoczesnych technologii połączonych z solidnością wykonawcy dają gwarancję zwrotu nakładów w ciągu 5 lat. W przypadku inwestycji dofinansowywanych czas zwrotu jest jeszcze krótszy. Przykładem może być otwarta w listopadzie 2002 r. bioelektrownia na wysypisku komunalnym w Gliwicach. Instalacja pozwala na odgazowanie starego, nieeksploatowanego już składowiska o powierzchni 11 ha, z którego uzysk biogazu wynosi 680 m³/h. Docelowo do bioelektrowni zostaną podłączone także studnie ujęcia biogazu z nowego składowiska, funkcjonującego od 2000 r. Gaz spalany jest w napędzających prądnice silnikach wysokoprężnych, a energia elektryczna przekazywana jest Górnośląskiemu Zakładowi Energetycznemu. Projekt biogazowni przewiduje także możliwość uzyskania ok. 1 MW mocy cieplnej. Projekt „Ujęcie i energetyczne wykorzystanie biogazu” przyniósł Gminnemu Zakładowi Budżetowemu „Wysypisko Komunalne” nagrodę w konkursie „Gmina chroni klimat”. Koszt inwestycji wynosi ok. 3 mln zł, z czego 47,5% pokryje EkoFundusz, natomiast 52,5% płaci gmina Gliwice. Czas zwrotu poniesionych nakładów wyniesie w tym przypadku nie więcej niż 2 lata [5].

W dobie polityki środowiskowej istotne są nie tylko nowatorskie metody zastosowania biogazu, ale także jego pozyskania na cele energetyczne. Duże możliwości w tym zakresie daje fermentacja osadów w oczyszczalniach ścieków komunalnych. Taki sposób pozyskania biogazu staje się w Polsce coraz bardziej popularny, mimo że najpowszechniej stosuje się osady ściekowe głównie w rolnictwie, np. w uprawach roślin przeznaczonych na pasze lub kompost, rekultywacji gruntów itp. (Rozporządzenie Ministra Środowiska z 1 sierpnia 2002 r., DzU Nr 134, poz. 1140). Od 1994 r. zainstalowano w kraju około 30 biogazowni spalających biogaz pochodzący z oczyszczalni ścieków, a ich całkowitą zdolność wytwórczą określa się na 14,5 MW energii elektrycznej oraz 24,4 MW energii cieplnej.

Fermentacja metanowa jest podstawowym procesem stosowanym w przeróbce osadów. Jej głównym celem jest przemiana silnie uwodnionego, sanitarnie niebezpiecznego osadu surowego o dużej lepkości w łatwo odwadniającego się, o małej lepkości, ziarnisty osad prefermentowany. W czasie fermentacji metanowej prawie połowa substancji organicznych ulega rozkładowi z wytworzeniem biogazu.

Energetyczne wykorzystanie produktu fermentacji jest możliwe tylko w nowoczesnych, zmechanizowanych i zautomatyzowanych oczyszczalniach komunalnych, obsługujących co najmniej 50 000–100 000 mieszkańców. Ścieki z bloków biologicznych kierowane są do osadników wtórnych, gdzie następuje oddzielenie zawiesiny z osadu czynnego. Zagęszczony odpowiednio osad wstępny jest pompowany do wydzielonych, zamkniętych komór fermentacyjnych, gdzie w warunkach beztlenowych powstaje biogaz. Uzysk biogazu zależy od technologii zgazowania osadów. W wyniku badań przeprowadzonych w kilkunastu niemieckich oczyszczalniach dysponujących nowoczesnymi technikami odgazowania, określono go na 16,5–30 dm³/mieszkańca · dobę. Wartość opałowa, w zależności od zawartości metanu (60–70% obj.) waha się pomiędzy 6–7 kWh/m³.

Produkowany w zamkniętych komorach fermentacyjnych biogaz jest odwadniany, a następnie kierowany do reaktorów odsiarczania. Proces ten prowadzi się w cylindrycznych absorberach za pomocą np. rudy darniowej (tlenek żelaza), która musi być okresowo poddawana regeneracji. Biogaz magazynowany jest w niskociśnieniowych zbiornikach [6].

Wytwarzana w bazującym na biogazie gazowym bloku energetycznym energia elektryczna i ciepła jest najczęściej w całości przeznaczana na potrzeby oczyszczalni. Nadwyżki paliwa mogą być sprzedawane zewnętrznym zakładom gospodarki ciepłej i zakładom energetycznym.

W technologicznie zmodernizowanej oczyszczalni ścieków w Tychach–Urbanowicach przewiduje się kogeneracyjne wytwarzanie energii ciepłej i elektrycznej. Przed przetłoczeniem ze zbiornika do silników sprzężonych generatorami energii elektrycznej biogaz jest oczyszczany w filtrze ceramicznym. Ciepło odbierane z układów chłodzenia silnika oraz spalin przekazywane jest strumieniowi wody obiegowej układu grzewczego komór fermentacyjnych i CO oczyszczalni. Łączna sprawność energetyczna wykorzystania biogazu wynosi ok. 82–90%, z czego na produkcję energii elektrycznej przypada ok. 35%. Przy docelowej produkcji biogazu 5500 m³/d możliwe jest uzyskanie ok. 500 kW energii elektrycznej i ok. 800 kW energii ciepłej [7].

Podobny system kogeneracyjny zainstalowano we wrocławskiej oczyszczalni ścieków. Od 2001 r. eksploatowane są tam trzy generatory silników gazowych OTTO, zblokowane z generatorami prądu elektrycznego i instalacjami odzysku ciepła firmy Jenbacher AG. Agregaty te zamontowano w osobnym budynku ze ścianami tłumiącymi hałas pracy silników napędzających generatory prądu. Silniki gazowe agregatów przystosowane są do spalania biogazu pochodzącego z oczyszczalni z możliwością przełączenia na gaz ziemny. Każdy z agregatów spala ok. 242 m³/h biogazu, z którego wytwarza się 738 kW mocy ciepłej oraz 601 kW mocy elektrycznej. Efektywnie wytwarzana energia elektryczna używana jest do zasilania silników, urządzeń sterowania i pompowania oraz do oświetlania obiektów i całego terenu oczyszczalni. Natomiast gorąca woda o temperaturze 70–90°C służy do podgrzewania reaktorów stosowanych w procesie fermentacji mezofilnej osadu odbywającym się w temperaturze 38°C oraz do ogrzewania budynków obsługi oczyszczalni [6].

Koszt modernizacji instalacji związanej z zagospodarowaniem energetycznym biogazu w przykładowej oczyszczalni ścieków opiewa na sumę ok. 3 mln zł. Czas zwrotu inwestycji to ok. 4 lata.

Opłacalność kolejnych inwestycji prośrodowiskowych w zakresie rozwoju nowoczesnej energetyki i gospodarki odpadami (w tym budowa i modernizacja instalacji utylizujących i wykorzystujących biogaz), wyznaczająca tempo rozwoju nowych, ekologicznych technologii, w ścisły sposób zależy od wdrażanych przez państwo oraz samorządy korzystnych rozwiązań prawnych i pomocnych narzędzi finansowych.

Literatura

- [1] Climate Change, IPCC Third Assessment Report, 2001, http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/.
- [2] Fischer T., Krieg A., *Projektowanie i budowa biogazowni*, Materiały Międzynarodowej Konferencji: „Odnawialne źródła energii u progu XXI wieku”, Warszawa, 10–11 grudnia 2001.
- [3] Materiały nt. biogazowni w Pawłótku, witryna inwestora, <http://www.poldanor.com.pl>, 13 XII 2006.
- [4] Rosik-Dulewska C., *Podstawy gospodarki odpadami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- [5] Materiały nt. bioelektrowni na wysypisku komunalnym w Gliwicach, witryna Urzędu Miasta, <http://www.um.gliwice.pl/index.php?id=8908/1&bium=357>, 19 XII 2006.
- [6] Stępnia k S., *Energia z oczyszczalni*, EkoProfit, 1/2006, 36-41.
- [7] Materiały nt. zmodernizowanej oczyszczalni ścieków w Tychach–Urbanowicach, witryna Regionalnego Centrum Gospodarki Wodno-Ściekowej S.A. w Tychach, http://www.rcgw.pl/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=30&Itemid=41, 21 XII 2006.