

Jerzy DUDEK*, Piotr KLIMEK*

Doświadczenia związane z energetycznym wykorzystaniem biogazu ze składowisk odpadów komunalnych

STRESZCZENIE. W artykule opisano doświadczenia autorów uzyskane podczas prac prowadzonych na krajowych składowiskach odpadów komunalnych. Przedstawiono wyniki badań wykonanych na dwóch obiektach, na których prowadzono ciągły odbiór gazu składowiskowego. Odgazowanie tych składowisk prowadzono przyjmując odmienne założenia. Ze względu na niewielką migrację gazu poza granice składowiska „Barycz” priorytetem jest wykorzystanie gazu składowiskowego do wytwarzania energii w skojarzeniu z zastosowaniem jednostek CHP. Składowisko odpadów komunalnych „Nowosolna”, nie posiadające uszczelnienia, zlokalizowano na terenie byłej żwirowni. Przeprowadzone badania wykazały, że migracja gazu poza obszar składowiska sięgała około 200 m, stwarzając zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi mieszkających w budynkach sąsiadujących bezpośrednio ze składowiskiem. W związku z tym jako priorytet potraktowano zabezpieczenie środowiska zewnętrznego przed niekontrolowaną migracją i podjęto decyzję o maksymalizacji odbioru gazu ze składowiska i spalaniu go w pochodni. Konsekwencją tego działania było ograniczenie produktywności gazowej złoża odpadów i uzyskanie gazu o parametrach fizykochemicznych uniemożliwiających produkcję energii.

SŁOWA KLUCZOWE: biogaz, odpady komunalne

* Mgr inż. – Instytut Nafty i Gazu, Zakład Technologii Energii Odnawialnych;
e-mail: dudek@inig.pl, klimek@inig.pl

Wprowadzenie

Podstawowym dokumentem, który w sposób jednoznaczny kwalifikuje gaz składowiskowy/wysypiskowy do kategorii odnawialnych źródeł energii jest ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (Dz.U. 1997, nr 54, poz. 348 z późn. zm.). Zgodnie z ustawą, za odnawialne źródło energii uznaje się: „źródło wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego, a także biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych” (Ustawa Prawo energetyczne). Od dnia 1 października 2005 roku funkcjonuje w Polsce nowy system wsparcia produkcji energii elektrycznej wytwarzanej w odnawialnych źródłach energii. Zgodnie z ustawą – Prawo energetyczne, przedsiębiorstwa energetyczne zajmujące się sprzedażą energii elektrycznej odbiorcom końcowym mają obowiązek uzyskania i przedstawienia do umorzenia Prezesowi Urzędu Regulacji Energetyki określonej liczby świadectw pochodzenia energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnych źródłach energii bądź uiszczenia opłaty zastępczej. Wprowadzony w Polsce system wsparcia, będący formułą zielonych certyfikatów, jest mechanizmem rynkowym sprzyjającym optymalnemu rozwojowi i konkurencji. Rozdzielając świadectwa pochodzenia energii elektrycznej wytworzonej w źródłach odnawialnych od energii fizycznej, umożliwiono obrót na giełdzie prawami majątkowymi wynikającymi z tych świadectw (Dudek, Pałkowska 2003).

Uzupełnieniem tego mechanizmu, jako konsekwencja rozdziału fizycznego przepływu energii elektrycznej od świadectw pochodzenia, jest obowiązek zakupu przez przedsiębiorstwa energetyczne pełniące rolę sprzedawcy z urzędu całej energii elektrycznej wytworzonej w źródłach odnawialnych, przyłączonych do sieci znajdujących się w obszarze działania danego sprzedawcy.

Istotnym czynnikiem wpływającym na rozwój energetyki odnawialnej są regulacje prawne umożliwiające pozyskanie na inwestycje związane z odnawialnymi źródłami energii dotacji i preferencyjnych kredytów, udzielanych przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz wojewódzkie fundusze ochrony środowiska i gospodarki wodnej. Środki z tych funduszy, zgodnie z ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2008 r., nr 25, poz. 150), są przeznaczane m.in. na wspomaganie działalności wspierającej wykorzystanie lokalnych źródeł energii odnawialnej oraz pomoc przy wprowadzaniu bardziej przyjaznych dla środowiska nośników energii. Na inwestycje w tej dziedzinie przeznaczają się także środki finansowe Fundacji Ekofundusz.

Powstanie sprzyjających regulacji prawnych przyczyniło się do zwiększonego zainteresowania związanego z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Od kilkunastu lat w Polsce wykonuje się prace mające na celu nie tylko bezpieczne spalanie gazu produkowanego w składowiskach odpadów komunalnych, ale także wykorzystanie go jako cennego paliwa do wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej (Dudek, Pałkowska 2003).

1. Wykorzystanie gazu składowiskowego do celów energetycznych w Polsce

W Polsce na koniec 2007 roku zarejestrowano 929 czynnych kontrolowanych składowisk odpadów komunalnych o łącznej powierzchni około 3085,6 ha. Spośród nich 304 to składowiska wyposażone w instalacje odgazowywania, z których większość stanowią takie, gdzie gaz składowiskowy odprowadzany jest bezpośrednio do atmosfery (Główny Urząd Statystyczny). Szacuje się, że ilość gazu powstająca na krajowych składowiskach i emitowana do atmosfery wynosi obecnie około 900 mln m³. W Polsce odzysk energii elektrycznej i ciepłej realizowany jest jedynie na około 40 obiektach. Działania związane z opracowaniem technologii pozwalającej na wykorzystanie biogazu jako paliwa do celów energetycznych są ukierunkowane na:

- ✧ wytwarzanie w kotłach gazowych gorącej wody lub pary,
- ✧ wytwarzanie energii elektrycznej przez spalenie gazu w silnikach lub turbinach,
- ✧ produkcję energii elektrycznej i ciepłej w jednostkach skojarzonych,
- ✧ oddanie gazu do sieci dystrybucyjnych po doprowadzeniu gazu do odpowiedniej jakości,
- ✧ spalanie gazu w przemyśle do celów technologicznych.

Ponadto istnieje potrzeba prowadzenia prac nad technologiami oczyszczania i sprężania biogazu w celu wykorzystywania go do napędu silników pojazdów mechanicznych lub zatłaczania do sieci dystrybucyjnej gazu ziemnego.

Na składowiskach, zwłaszcza o dużej pojemności, coraz powszechniej stosuje się instalacje do energetycznego wykorzystania biogazu. Podejmowanie decyzji o sposobie utylizacji powstałego na składowisku gazu musi być poprzedzone fachową ekspertyzą ustalającą jego ilość oraz przyszłe zmiany produktywności gazowej składowiska wraz z wnikliwą wariantową analizą ekonomiczno-finansową realizacji przedsięwzięcia. Na podstawie doświadczeń w trakcie dotychczasowych zmagania z problematyką związaną z gazem składowiskowym opracowano w Instytucie Nafty i Gazu wytyczne do korzystnego zagospodarowania energii uzyskanej z biogazu. Wymiernym efektem wieloletnich badań na kilkudziesięciu składowiskach odpadów komunalnych jest opracowana technologia optymalizacji odbioru gazu pod kątem wykorzystania go na cele energetyczne.

W artykule przedstawiono opis dwóch składowisk odpadów komunalnych: „Barycz” w Krakowie i „Nowosolna” w Łodzi. Cechą wspólną obiektów jest prowadzenie ciągłego odbioru gazu składowiskowego. Różnica pomiędzy składowiskami polega na założeniu innego celu odgazowania złoża odpadów komunalnych. Ze względu na niewielką migrację gazu poza obręb składowiska „Barycz” priorytetem jest odgazowanie umożliwiające wykorzystanie gazu składowiskowego do wytwarzania energii w skojarzeniu z zastosowaniem jednostek CHP. W przypadku składowiska odpadów komunalnych „Nowosolna”, które zostało zlokalizowane na podłożu piaszczystym, migracja poza obręb składowiska stwarzała zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi, dlatego jako priorytet potraktowano zabezpieczenie środowiska zewnętrznego przed niekontrolowaną migracją i podjęto decyzję o maksymalizacji odbioru gazu ze składowiska. Konsekwencją tego działania było ograniczenie

produktywności gazowej złoża odpadów i uzyskanie gazu o parametrach fizykochemicznych uniemożliwiających produkcję energii.

1.1. Instalacja do odgazowania i produkcji energii na składowisku „Barycz”

Dobrym przykładem wykorzystania energii zawartej w biogazie jest instalacja odgazowania składowiska odpadów komunalnych „Barycz” w Krakowie. Budowę studni gazowych w zrekułtywowanym sektorze nr 1 składowiska rozpoczęto w 1993 roku, a instalację odgazowania oddano do eksploatacji w grudniu 1994 roku. Początkowo gaz w ilości około 250 m³/h był spalany w pochodni z zamkniętą komorą spalania. Równocześnie w sąsiednim sektorze nr 2 intensywnie składowano odpady komunalne. Po wykonaniu prognozy produktywności gazowej zrekułtywowanego sektora nr 1 składowiska i wykonaniu testów weryfikujących stwierdzono, że przez 8–10 następnych lat można będzie pozyskiwać biogaz o stężeniu metanu na poziomie 50–60% [v/v] w ilości 200–250 m³/h. Systematycznie wykonywane pomiary ilości i składu produkowanego gazu w latach 1993–2003 potwierdziły, że do prognozy produktywności gazowej zweryfikowanej testami połowymi przyjęto prawidłowe założenia. Uzyskane w latach 1993–2002 wyniki pomiarów wskazują na nieznaczny, systematyczny spadek stężenia metanu w badanym gazie. Istotny spadek stężenia metanu w gazie stwierdzono dopiero wiosną 2003 roku. Porównanie składu gazu z wybranych studni w latach 1993–2003 przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Różnice w składzie gazu na zrekułtywowanej części składowiska „Barycz” po 10-letniej eksploatacji biogazu do celów energetycznych

TABLE 1. Differences in landfill gas composition after 10 years biogas energy utilization

Nr studni	Skład gazu 1993 rok [%]			Skład gazu wiosna 2003 rok [%]		
	CH ₄	CO ₂	O ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂
10	60,5	39,1	0,0	32,2	25,3	0,8
18	54,2	42,3	0,0	41,6	27,8	1,0
24	63,6	30,3	0,0	38,9	25,9	6,2
29	59,8	26,3	0,2	47,6	19,8	1,5
33	60,7	37,9	0,3	54,9	25,4	0,6
35	66,3	32,7	0,2	28,6	16,6	1,1
42	59,9	35,4	0,0	9,3	4,3	16,9
44	63,2	36,5	0,0	16,6	17,3	2,4
46	67,0	19,9	0,0	36,0	9,8	0,8
47	66,9	20,0	0,0	26,4	13,3	2,3

Źródło: opracowanie własne – Instytut Nafty i Gazu.

Z satysfakcją można stwierdzić, że na podstawie wyników prac związanych ze stałym monitorowaniem zjawisk zachodzących na tym składowisku można było podjąć decyzję o energetycznym wykorzystaniu gazu składowiskowego. Już w roku 1997 zainstalowano pierwszy blok energetyczny o mocy 250 kW_e. Kolejnym etapem była rozbudowa instalacji odgazowania polegająca na połączeniu instalacji odgazowującej zrehabilitowanego sektora nr 1 składowiska z instalacją odgazowującą sektor nr 2 składowiska. Pozwoliło to na ograniczenie odbioru gazu ze zrehabilitowanego sektora nr 1 do poziomu 50–80 m³/h, w którym stężenie metanu spadło do około 45% [v/v] wiosną 2003 roku. Aktualnie ze składowiska odbiera się 300–400 m³/h biogazu, z którego produkuje się energię elektryczną oddawaną do sieci oraz ciepło wykorzystywane na potrzeby zaplecza składowiska. Zgodnie z wcześniej opracowaną koncepcją biogaz zasila trzy bloki energetyczne, w tym dwa o mocy 250 kW_e i jeden 375 kW_e (Dudek, Pałkowska 2003).

1.2. Instalacja odgazowania na składowisku „Nowosolna”

Na składowisku odpadów komunalnych w Łodzi od 1994 roku odgazowywano segment A (22 studnie odgazowujące), a biogaz z tego segmentu spalano w pochodni firmy

TABELA 2. Skład gazu w studniach segmentu A w kwietniu 2002 roku

TABLE 2. Landfill gas composition. Wells situated in sector A. April 2002

Nr studni	Skład gazu [% v/v]		
	CH ₄	CO ₂	O ₂
A1	61,9	33,2	0,0
A6	38,6	17,9	0,9
A7	0,0	0,0	20,6
A11	0,0	0,0	20,7
A12	64,1	24,5	1,7
A13	34,6	22,6	2,0
A14	46,3	22,1	4,9
A15	25,5	18,1	5,9
A16	28,3	20,6	0,3
A17	23,5	24,8	0,7
A18	0,0	0,0	20,8
A19	16,3	9,5	13,0
A20	53,4	30,4	2,4
A21	24,9	26,9	0,0

Źródło: opracowanie własne – Instytut Nafty i Gazu.

BSDV. Od 1999 roku prowadzono odgazowanie segmentu B (18 studni odgazowujących), a gaz spalano w drugiej pochodni (firmy Hoffstetter).

Segment A był odgazowany od roku 1994 z wydajnością 250 m³/h. Od samego początku priorytetem była maksymalizacja odbioru gazu powodująca zmniejszenie zasięgu migracji poza obszar składowania odpadów. W efekcie pracy instalacji cel ten był osiągnięty i w związku z tym nie prowadzono eksploatacji złoża pod kątem energetycznego wykorzystania. Badania Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa (od roku 2004: Instytut Nafty i Gazu) prowadzone w latach 1994–1995 wykazały, że przy prawidłowej regulacji instalacji i ograniczeniu odbioru możliwe było uzyskiwanie biogazu o wysokim (powyżej 50% [v/v]) stężeniu metanu. Kolejne pomiary Instytutu przeprowadzone w roku 1999 potwierdziły, że nadmierny odbiór gazu z segmentu A prowadził do infiltracji powietrza do złoża i zaburzenia przebiegu metanogenezy. W konsekwencji wieloletniej nadmiernej eksploatacji złoża nie udało się pozyskać znaczącej ilości gazu o wysokim stężeniu metanu.

TABELA 3. Skład gazu w studniach segmentu B w kwietniu 2002 roku.

TABLE 3. Landfill gas composition. Wells situated in sector B. April 2002.

Nr studni	Skład gazu [% v/v]		
	CH ₄	CO ₂	O ₂
B1	0,0	0,0	20,6
B3	23,0	20,4	1,3
B4	0,0	0,0	20,5
B5	19,3	17,2	2,3
B6	27,1	22,5	0,5
B7	20,8	17,2	3,9
B8	30,9	26,7	1,1
B9	0,0	0,0	20,5
B10	0,8	0,6	18,5
B11	28,8	23,1	1,2
B12	47,2	28,2	0,1
B13	33,7	23,1	2,9
B17	0,3	0,4	20,2
B18	0,2	2,0	16,1
B19	18,9	21,0	2,2
B20	27,1	23,3	0,3
B21	49,0	31,6	0,0
B22	68,5	31,0	0,0
B23	56,0	36,7	0,1

Źródło: opracowanie własne – Instytut Nafty i Gazu.

Segment B był odgazowany od 1999 roku. Jak wykazały badania Instytutu przeprowadzone w roku 1999, przy właściwej eksploatacji złoża istniała możliwość odbioru biogazu o wysokim stężeniu metanu z tego segmentu. Niestety, stosowanie podciśnienia w zakresie przekraczającym dopuszczalny poziom spowodowało dopływ powietrza do złoża i podobnie jak w segmencie A nastąpiły nieodwracalne zmiany w procesie wytwarzania gazu.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów jednoznacznie wykazały, że w złożu odpadów segmentów A i B konkurują ze sobą procesy tlenowego i beztlenowego rozkładu substancji organicznej. Świadczyły o tym przede wszystkim:

- ✧ niskie stężenie metanu w biogazie,
- ✧ wysoki stosunek stężenia dwutlenku węgla do metanu,
- ✧ wysokie stężenie azotu (w większości studni) i oraz
- ✧ obecność tlenu (w wielu studniach) (Dudek, Rachwalski 2002).

W tabelach 2 i 3 zestawiono wyniki pomiarów składu gazu wykonane w 2002 roku.

Z segmentu A odbierano około 70 m³/h gazu. Z segmentu B odbierano – 155 m³/h gazu.

TABELA 4. Zbiórny skład spalanego gazu w pochodniach w kwietniu 2002 roku

TABLE 4. Composition of landfill gas burned in flare. April 2002.

Punkt pomiarowy	Skład gazu [% v/v]		
	CH ₄	CO ₂	O ₂
Pochodnia BSDV	28,0	23,7	0,5
Pochodnia Hoffstetter	34,3	26,4	0,4

Źródło: opracowanie własne – Instytut Nafty i Gazu.

Brak kontroli nad procesem odgazowania składowiska odpadów komunalnych „Nowosolna” spowodował, że pozyskany gaz z segmentów A i B nie nadaje się do produkcji energii ze względu na niskie stężenie metanu w instalacji zbiorczej.

Podsumowanie

Decyzja o sposobie postępowania z gazem składowiskowym musi być poprzedzona fachową ekspertyzą ustalającą aktualną ilość gazu wytwarzanego w składowisku i zmiany jego produktywności w określonym horyzoncie czasowym oraz wnikliwą wariantową analizą ekonomiczną. Do podjęcia tej decyzji niezbędne jest wykonanie prognozy produktywności gazowej składowiska oraz jej weryfikacja polegająca na wykonaniu testów aktywnego odsysania biogazu. W Instytucie Nafty i Gazu opracowano program komputerowy do sporządzania prognozy produktywności wykorzystując wieloletnie doświadczenia w pra-

cach badawczych prowadzonych na krajowych składowiskach. Uzyskane za pomocą tego programu wyniki zweryfikowane w trakcie testów polowych są podstawą do podjęcia prawidłowych decyzji o sposobie zaprojektowania instalacji odgazowania składowiska i technologii wykorzystania gazu.

Literatura

- DUDEK J., PAŁKOWSKA H., 2003 – Możliwości i uwarunkowania pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych na przykładzie gazu składowiskowego. *Ekologia Praktyczna* nr 11/12, s. 20–23.
- DUDEK J., RACHWAŁSKI J., 2002 – Ocena możliwości odzysku biogazu z wysypiska odpadów komunalnych przy ulicy Kasprowicza w Łodzi. Opracowanie Raport INiG. Główny Urząd Statystyczny; <http://www.stat.gov.pl>
- Ustawa Prawo energetyczne (Dz.U. 1997, nr 54, poz. 348 z późn. zm.).

Jerzy DUDEK, Piotr KLIMEK

Experience connected with energy usage of landfill gas

Abstract

Experience of the authors who worked on the municipal landfills are described in the article. Presented conclusions are based on research that was done on the two structures, on which permanent acceptance of landfill gas took place. Landfill gas capture of those landfill sites was conducted on the basis of two different assumptions. Due to little migration of gas behind borders of the “Barycz” landfill site the priority is use of gas that may generate energy in association with use of CHP units. “Nowosolna” Landfill site does not have its own sealant located on the area of former gravel pit. Conducted research shows that move of the gas behind the area of landfill site was about 200 m. Being at the very same time dangerous for life and health of the people living in the buildings neighboring on the landfill site. In consideration of the above the priority is to protect environment from uncontrolled migration of the gas. Therefore, It was decided that maximization of the gas capture from the landfill site and burning it in flare had to take place. Consequently, productivity of gas and generating gas of physical and chemical parameters enabling energy production was limited.

KEY WORDS: energy, landfill gas