

Lidia Ociecek*

ALBA MPGK Sp. z o.o. w Dąbrowie Górniczej

Wojciech Mniszek

Wyższa Szkoła Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach

Analiza możliwości energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego ze składowiska odpadów komunalnych w Dąbrowie Górniczej

The Analysis Of Power Utilisation Of Dump Gas
In The Communal Waste Dump In Dąbrowa Górnicza

Streszczenie

W pracy przedstawiono procesy biochemiczne zachodzące w składowiskach przy składowaniu odpadów komunalnych. Na przykładzie Składowiska Odpadów Komunalnych „Lipówka I” w Dąbrowie Górniczej przedstawiono trendy zmian składu gazu ujmowanego ze składowiska i przeanalizowano możliwość wykorzystywania biogazu do produkcji energii elektrycznej.

Słowa kluczowe: *biogaz, zmiany składu biogazu, energia odnawialna.*

Abstract

Biochemical processes in a dumping ground of municipal waste were presented. On example of "Lipówka I" situated in Dąbrowa Górnicza the trends of composition change of biogas captured from this municipal wastes were analyzed. The possibility of using biogas for production of electrical energy was discussed.

Keywords: *biogas, change of biogas composition, renewable energy.*

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania ujmowaniem i utylizacją gazów procesowych powstających na składowiskach odpadów komunalnych. Wynika to z uwarunkowań prawnych [3, 10, 12], które wprowadzają obowiązek wyposażania składowisk odpadów biodegradowalnych w instalacje do ujmowania, oczyszczania i wykorzystania biogazu do celów energetycznych. Przy braku systemu unieszkodliwiania biogazu wraz z podstawowymi jego

* Absolwentka studiów II stopnia w Wyższej Szkole Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach na kierunku zarządzanie i inżynieria produkcji, promotorem pracy magisterskiej jest prof. nzw.dr hab. inż. Wojciech Mniszek.

składnikami, tj. metanem i ditlenkiem węgla, do atmosfery dostają się liczne substancje toksyczne, często o charakterze nowotworowym, oraz odory obniżające komfort życia pobliskich mieszkańców [4]. Biogaz stwarza też zagrożenie wybuchem - zarówno na samym składowisku, jak i w jego bezpośrednim otoczeniu [2]. Powstawanie metanu w wyniku oddziaływania złożonego świata mikroorganizmów na składowiskach odpadów zachodzi podobnie jak w przyrodzie w warunkach naturalnych.

Metan jako gaz cięższy od powietrza może utrudniać dostęp powietrza do gleby i do roślin spowalniając lub nawet uniemożliwiając ich wegetację.

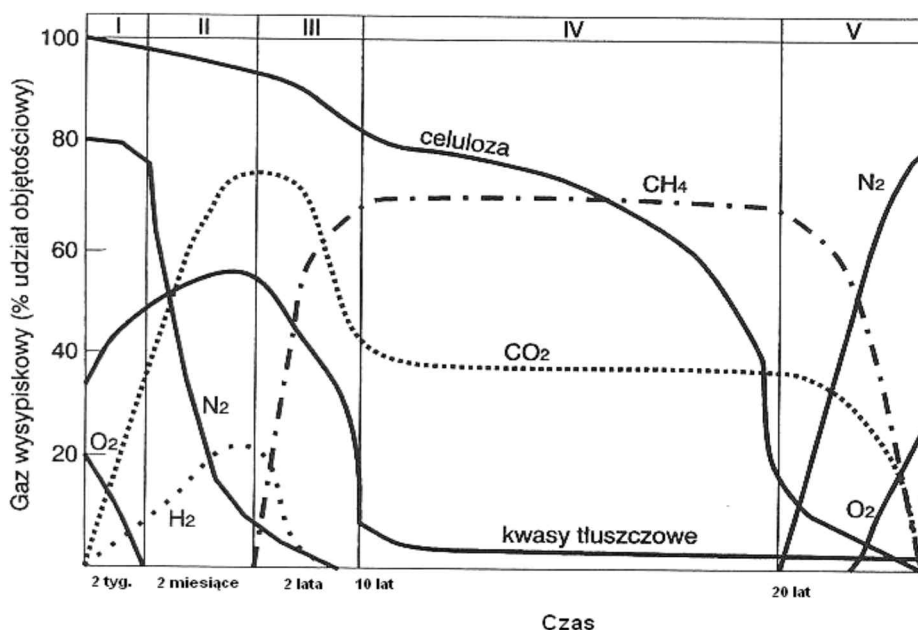
Składowanie odpadów powoduje także wzrost efektu cieplarnianego i powstawanie smogu. Przy niekontrolowanym wydzielaniu się gazu ze składowiska migruje on nawet kilkaset metrów poza jego teren, stwarzając zagrożenie w miejscach zupełnie nieoczekiwanych. Najlepszym ze znanych sposobów zapobiegania tej niekontrolowanej migracji gazu jest odgazowanie składowiska. W polskim prawodawstwie [11, 16] po raz pierwszy podana została definicja biogazu – jest to gaz pozyskany z biomasy, w szczególności z instalacji przeróbki odpadów zwierzęcych lub roślinnych, oczyszczalni ścieków i składowisk odpadów komunalnych.

W pracy przedstawiono procesy biochemiczne zachodzące w składowiskach przy składowaniu odpadów komunalnych. Na przykładzie Składowiska Odpadów Komunalnych „Lipówka I” w Dąbrowie Górniczej przedstawiono trendy zmian składu gazu ujmowanego ze składowiska i przeanalizowano możliwość wykorzystywania biogazu do produkcji energii elektrycznej.

2. Procesy biochemiczne przebiegające na składowisku odpadów

Na składowiskach zachodzą przemiany fizykochemiczne oraz procesy rozkładu substancji organicznych z udziałem mikroorganizmów. Procesom przemian na składowisku odpadów podlegają zarówno odpady organiczne, które podlegają biodegradacji w warunkach tlenowych i beztlenowych, jak i nieorganiczne. W przypadku tych ostatnich o przemianach decydują procesy typowe dla przemian substancji mineralnych, jak rozpuszczanie, strącanie, wymywanie, hydroliza itp. Frakcja nieorganiczna (metale, żużel, kamienie, szkło, gruz budowlany), aczkolwiek nie podlega biodegradacji, ma jednak wpływ na

intensywność procesów biochemicznych. Metale ciężkie mają toksyczny wpływ na mikroorganizmy, zatem spowalniają procesy ich metabolizmu. W warstwach odpadów zagęszczonych, np. kompaktorami, dominują procesy beztlenowe z udziałem mikroorganizmów. Substancje organiczne ulegają procesom hydrolyzy, po czym intensyfikują się procesy fermentacyjne z udziałem mikroorganizmów tlenowych i beztlenowych. Rozkład odpadów w składowisku zachodzi etapami - przyjęto dla nich określenie „faza”. W każdej z tych faz obserwowane są charakterystyczne dla nich zmiany liczebności populacji określonych grup bakterii oraz tworzenie i utylizacja pewnych produktów metabolicznych. W sekwencji przemian na etapie tworzenia produktów gazowych można wyróżnić fazy zilustrowane na rysunku 1.



Rys. 1. Zmiany składu gazowy na składowisku w funkcji czasu w kolejnych fazach rozkładu [18]

Gazy powstające na składowisku są zbliżone składem do gazu pofermentacyjnego, a więc składają się głównie z metanu i ditlenku węgla. Końcowym produktem beztlenowego rozkładu odpadów organicznych są:

- metan [CH_4] - 45–65% objętości,
- ditlenek węgla [CO_2] - 25–35% objętości,
- azot [N_2] - 7–10% objętości,

- tlen [O₂] - < 3% objętości,
- pozostałe domieszki -około 1% objętości.

Skład gazu w pionowym przekroju złoża nie jest stały. Odzwierciedla on wpływ warunków zewnętrznych, zwłaszcza że penetracja powietrza w głąb złoża powoduje obecność tlenu, azotu i w niewielkim stopniu innych składników. W literaturze[18] wymienia się najczęściej występujące pozostałe składniki biogazu (1ppm = 0,0001%):

• siarkowodór (H ₂ S)	-	0 – 100 ppm (0,01%),
• amoniak (NH ₃)	-	0 – 100 ppm (0,01%),
• merkaptan etylowy (C ₂ H ₅ SH)	-	0 – 120 ppm (0,012%),
• aldehyd octowy (CH ₃ CHO)	-	0 – 150 ppm (0,015%),
• etan [C ₂ H ₆]	-	0 – 30 ppm (0,003%),
• aceton	-	0 – 100 ppm (0,01%),
• węglowodory C ₂ –C ₁₁	-	0 – 50 ppm (0,005%),
• benzen	-	0 – 15 ppm (0,002%),
• toluen	-	0 – 15 ppm (0,02%),
• ksylen	-	0 – 15 ppm (0,02%),
• związki chloroorganiczne	-	0 – 100 ppm (0,01%).

Gazami o bardzo intensywnym i odrażającym zapachu są m.in. merkaptany, siarkowodór, aldehyd octowy. Ich próg wyczuwalności jest bardzo niski i wynosi 0,0007mg/m³ dla siarkowodoru i 0,005mg/m³ dla merkaptanu etylowego. Typowy model procesów fermentacyjnych wyodrębnia pięć podstawowych faz procesów chemicznych i biochemicznych prowadzących do wytwarzania gazu:

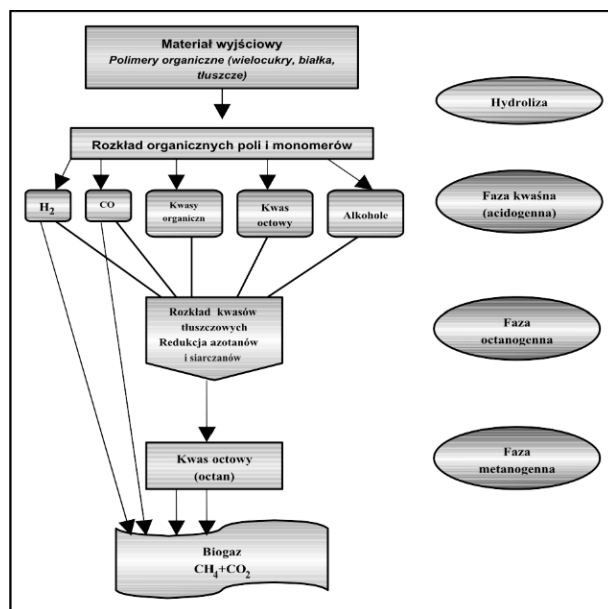
1. fazę tlenową,
2. fazę acetogenezy,
3. fazę metanogenezy niestabilną,
4. fazę metanogenezy stabilną,
5. fazę metanogenezy zanikającą.

Każda z wymienionych faz charakteryzuje się określonym, dominującym procesem biologicznym, w wyniku czego powstający w jej trakcie gaz ma specyficzny skład. Dominującymi procesami rozkładu w masie odpadów na składowisku są przemiany anaerobowe. Jedynie w początkowym stadium, zaraz po ułożeniu warstwy odpadów procesy biologiczne mają charakter aerobowy. Jest to możliwe dzięki niewielkim ilościom tlenu zamkniętego w przestrzeniach między fragmentami odpadów.

W procesie aerobowym trwającym kilka dni wydziela się ciepło, co prowadzi do zagrzewania masy odpadów, po czym następuje spadek do temperatury otoczenia. Na składowiskach prowadzonych w sposób kontrolowany ta początkowa faza trwa od kilku dni do kilku tygodni. Z drugiej strony, na składowiskach gorzej prowadzonych, słabo zagęszczanych faza ta może być dominująca. W procesie aerobowym tlen zawarty w odpadach i porach ciał stałych jest zużywany w procesach hydrolizy. Powstaje ditlenek węgla, który zaczyna dominować w składzie biogazu. Przebiega wiele reakcji między związkami organicznymi z udziałem tlenu i wody. Możliwa jest dalsza dyfuzja tlenu poprzez górne warstwy uszczelniające, ale jest on szybko zużywany w górnych warstwach odpadów i nie wpływa znacząco na przebieg procesów w całej masie odpadów.

Energetyczne wykorzystywanie biogazu ujmowanego ze składowiska odpadów jest zasadne, gdy dominującym składnikiem gazu jest metan, gdy składowisko jest w fazie metanogenezy stabilnej. Wtedy głównie przebiegają procesy anaerobowe (beztlenowe). Fermentacja metanowa jest beztlenowym rozkładem substancji organicznych do metanu i ditlenku węgla przy udziale bakterii.

Przebiega w ekosystemach naturalnych i sztucznie stworzonych przez człowieka, które nie zawierają tlenu. Proces fermentacji metanowej składa się z czterech faz, co przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Fazy anaerobowego rozkładu substancji organicznej [13]

Hydroliza, podczas której spolimeryzowane w większości nierozpuszczalne związki organiczne zostają przetworzone przez enzymy odpowiednich szczepów bakterii hydrolizujących w rozpuszczalne monomery i dimery. W tej fazie związki organiczne (białka, węglowodory, tłuszcze) podlegają reakcjom hydrolizy przy katalitycznym udziale enzymów bakterii z grupy względnych beztlenowców (*Streptococcus*, *Enterobacterium*). Powstają substancje rozpuszczalne w wodzie. Węglowodany (celuloza, skrobia, sacharoza, pektyny, hemicelulozy) rozkładane są na cukry proste; tłuszcze, lipidy, trójglicerydy do glicerolu, cholesterolu i wyższych kwasów tłuszczowych (od C₁₅), natomiast białka (proste i złożone) do aminokwasów.

Fermentacja kwaśna (acidogenna), środowisko w złożu odpadów zaczyna być ubogie w tlen i bakterie fakultatywne przechodzą na metabolizm związany z fermentacją beztlenową.

Głównymi składnikami odpadów, które mogą ulec biodegradacji są celulozy i hemicelulozy (stanowiące 90% potencjału metanogenego). Występują one w ilości od 45 do 60% suchej masy odpadów. W mikroflorze składowiska wyodrębniono wiele bakterii celulolitycznych - z rodzajów *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Cellulomonas*, *Microbacterium*, *Lactobacillus*, *Cytophagaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Enterococcus*. Różnorodne populacje bakterii hydrolitycznych hydrolizują powyższe polisacharydy oraz występujące w mniejszych ilościach białka i tłuszcze do odpowiednio rozpuszczalnych cukrów, aminokwasów, długołańcuchowych kwasów karboksylowych i glicerolu. Te produkty hydrolizy są następnie rozkładane dalej do krótkołańcuchowych kwasów karboksylowych, ditlenku węgla, wodoru, octanu i alkoholi [6].

Głównie przebiegają następujące reakcje chemiczne:



Następuje znaczne obniżenie odczynu (do pH=5,5) związane z produkcją lotnych kwasów tłuszczowych. Jest ono jednak buforowane jednoczesną przemianą powstających związków do produktów końcowych. Powoduje to utrzymanie odczynu w granicach pH 6,8-7,4.

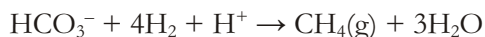
Faza metanowa niestabilna (octanogenna) w tej fazie odczyn odpadów zaczyna być stabilizowany w związku z wykorzystywaniem przez bakterie

kwasów jako źródła węgla [6]. Innym czynnikiem buforującym odczyn środowiska jest uwalnianie jonów metali (w wyniku reakcji kwasów z metalicznymi i nieorganicznymi odpadami), które to jony rozcieńczają jony wodorowe. Zmienne buforowanie jonów wapnia w niskich pH wraz z ciągłym buforowaniem sodu i potasu w neutralnym pH, umożliwia bakteriom osiągnięcie homeostazy oraz neutralizuje obecność lotnych kwasów tłuszczowych (substratu). Osiągnięcie neutralnego pH pozwala składowisku na przejście do zasadniczej fazy rozkładu, która charakteryzuje się najbardziej złożonymi interakcjami między drobnoustrojami. Bakterie octowe (redukujące protony) przekształcają dalej krótkołańcuchowe kwasy karboksylowe do octanów, wodorowęglanów i wodoru. Przykładowo dla kwasu propionowego reakcja opisana równaniem:



Reakcje te mogą przebiegać tylko, gdy wodór cząsteczkowy jest usuwany ze środowiska ponieważ utlenianie zredukowanych związków organicznych przez bakterie octowe jest niekorzystne z termodynamicznego punktu widzenia. Dlatego też bakterie produkujące kwasy zazwyczaj żyją w symbiozie mutualnej z bakteriami metanowymi.

Wodór cząsteczkowy jest wiązany w następującej reakcji:



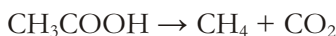
Jeśli w składowisku obecne są azotany lub siarczany, bakterie metanowe nie rozwijają się w nim i nie obserwuje się produkcji metanu. W normalnych warunkach, w tej fazie składowiska, metan jest produkowany z niskocząsteczkowych produktów bakterii produkujących kwasy poprzez redukcję ditlenku węgla, rozszczepienie octanu lub redukcję grupy metylowej związków, takich jak trimetyloamina czy metanol. Reakcje te zazwyczaj przebiegają z udziałem różnych bakterii metanowych (przykłady reakcji wraz z drobnoustrojami katalizującymi te reakcje zostały zebrane w tabeli 3).

Tab. 3. Przykładowe reakcje i mikroorganizmy odpowiedzialne za produkcję metanu [6]

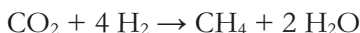
Reakcje	Mikroorganizmy
$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^-$	<i>Methanobacterium soehngeni</i> <i>Methanococcus mazei</i>
$4\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 7\text{CH}_4 + 5\text{CO}_2$	<i>Methanobacterium propionicum</i> <i>Methanococcus mazei</i>

$2C_3H_7COOH + 2H_2O \rightarrow 5CH_4 + 3CO_2$	<i>Methanosarcina methanica</i> <i>Methanobacterium suboxydans</i>
$2C_2H_5OH \rightarrow 3CH_4 + CO_2$ $2C_2H_5OH + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2CH_3COOH$	<i>Methanobacterium omelianskii</i>
$CO_2(g) + 4H_2(g) \rightarrow CH_4(g) + 2H_2O$	<i>Methanobacterium bryanti</i>

Faza metanowa stabilna, w tej fazie bakterie metanowe wykorzystują produkty końcowe poprzednich faz: fermentacji octanowej (kwas octowy) do metanu, ditlenku węgla i wody. Przemianom tym towarzyszy wzrost odczynu pH. Zdecydowana większość metanu (72%) powstaje w wyniku rozkładu kwasu octowego przez bakterie heterotroficzne według reakcji:



Pozostała część (28%) jest produktem redukcji ditlenku węgla przez bakterie autotroficzne:



W końcowej fazie przemian w gazie znajduje się około 60% metanu i 40% ditlenku węgla. Proporcje te ulegają zmianie w zależności od warunków składowiska. Temperatura stabilizuje się do około 40°C. Czas trwania tej fazy określa się na około 20 lat. Wartość potencjału redoks w tym okresie jest najniższa, skutkiem tego azotany i siarczany ulegają redukcji do amoniaku i siarczków. Ponadto mają miejsce reakcje kompleksowania i strącania jonów metali zredukowanymi jonami, np. siarczkowymi bądź w wyniku połączenia z organicznymi ligandami.

Szybkość produkcji metanu osiąga maksimum, po czym powoli maleje wraz z wykorzystaniem rozpuszczalnych substratów (kwasów karboksylowych). W tej fazie szybkość produkcji biogazu zależy od szybkości hydrolizy celuloz i hemiceluloz. Kwasy karboksylowe są wykorzystywane równie szybko, jak są produkowane. Następuje powolna humifikacja związków organicznych zawartych w odpadach. Związki humusowe wiążą metale ciężkie.

Ostatnia faza metanogenna to faza metanogenezy zanikającej (faza dojrzewania końcowego, faza wyciszenia). O tym etapie najmniej jest danych naukowych. Przypuszcza się, że w tym stadium procesy zostają wyhamowane i składowisko znajduje się w stanie ustabilizowanym, o czym świadczyć może

biologiczne ustabilizowanie węgla organicznego proporcjonalnie do zmniejszenia produkcji gazu [6].

3. Charakterystyka składowiska odpadów komunalnych Lipówka I w Dąbrowie Górniczej

Składowisko Odpadów Komunalnych „Lipówka I” zlokalizowane jest w dzielnicy Dąbrowy Górniczej - Strzemieszycach Małych i przeznaczone do składowania odpadów innych niż niebezpieczne oraz obojętne o całkowitej pojemności 642 806 Mg odpadów [17]. Zostało wybudowane w roku 1992 wykorzystując w części północno-wschodniej składowiska skarpe zbocza, a zaczęło funkcjonować w listopadzie 1992 r. Od roku 1996 administratorem składowiska jest ALBA MP GK Sp. z o.o. w Dąbrowie Górniczej. Składowisko jest już eksploatowane 17 lat. Eksploatacja składowiska prowadzona jest zgodnie z zaprojektowanymi liniami podziału poziomów deponowanych odpadów, rzędnymi, spadkami, pochyleniem (1:2,5) skarp zewnętrznych oraz wykonywaniem przejściowych tarasów (ławek) na skarpach. Technologia eksploatacji składowiska [7] polega na przestrzeganiu zasady składowania przywiezionych odpadów równoległymi warstwami do wysokości 2,9 m z jednoczesnym ich zagęszczaniem, przewarstwieniem żużlem, zraszaniem oraz równoległym wykonywaniem rekultywacji tj. budowa „zewnętrznego płaszcza” z ziemi schodkowo, uskokami pionowymi co 1,0 m oraz budowa studni odgazowania biogazu. Płaszcz utrwali zbocze stożka zwału i pozwoli na wysiewanie i wysadzenie roślinności. Każda warstwa o wysokości 2,0 m składa się z warstwy odpadów o wysokości 1,8 m zagęszczonych kompaktorem w stosunku 1:4 oraz warstwy żużla o wysokości 0,2 m zagęszczonej w stosunku 1:2. Działalność prowadzona na składowisku powoduje emisję zanieczyszczeń pyłowo-gazowych do powietrza.

W I fazie eksploatacji dla opanowania emisji gazu przewidziano cztery studnie z kręgów żelbetowych perforowanych otworami stożkowymi budowane równoległe z formowaniem złoża odpadów, wypełnione wewnątrz kruszywem o grubej granulacji. Studnie te miały za zadanie zbierać gaz wędrujący przede wszystkim poziomymi warstwami żużla.

W roku 2001 został wykonany projekt rekultywacji składowiska [9], w którym szczegółowo została zaprojektowana sieć drenażu odgazowującego w czterech niezależnych od siebie poziomach:

Poziom (warstwa) I - przewidziano 4 studnie + 18 studni wierconych,

Poziom (warstwa) II - przewidziano 19 studni wierconych,

W 2008 roku wykonano projekt zmiany odgazowania składowiska i umiejscowienia kolejnych studni [8] w taki sposób, że w zależności od potrzeb każdy z tych poziomów będzie mógł być oddzielnie kontrolowany, ograniczony lub wyłączony z eksploatacji.

Poziom (warstwa) III - przewidziano 12 studni wierconych;

Poziom (warstwa) IV - przewidziano 10 studni wierconych,

Obecnie wraz z nadbudowywaniem składowiska wykonywane są kolejne studzienki i rurociągi. Zbierany gaz jest spalany w otwartej pochodni kontenerowej (rys.3), zainstalowanej na końcu kolektora dosyłowego biogazu. W kontenerze znajdują się urządzenia zasilające – sterownicze służące do kontrolowanego spalania gazu.



Rys. 3. Pochodnia wraz z kontenerem do spalania biogazu (źródło: własne)

W przyszłości planuje się zabudowę agregatu prądowórczego w celu odzysku energii ze spalanego gazu. Pochodnia umożliwi spalanie biogazu

w ilości 350m³/h (przy 50% zawartości metanu) w temperaturze płomienia 900°C.

Pochodnia zapewnia pełne, ekologiczne „czyste” spalanie biogazu, płomień jest niewidoczny na zewnątrz a emisja pyłów wynosi < 2 ppm.

W celu energetycznego wykorzystania biogazu w przyszłości przy użyciu agregatów prądotwórczych stanowisko wyposażone jest w stację pomiarowo – analityczną ujmowanego gazu. Stacja w sposób ciągły rejestruje w biogazie parametry ciśnienia, temperatury oraz zawartości metanu i tlenu [17]. Stacja ciągłych analiz biogazu umożliwia również wytarowanie zaworu regulacji przepływu gazu względem zawartości w nim metanu. Regulacja taka optymalizuje ograniczenie emisji komponentów toksycznych biogazu wraz ze zmiennością ich występowania spowodowaną warunkami klimatycznymi otoczenia (opady, ciśnienie atmosferyczne, pora roku itp.).

4. Badania składu gazu wysypiskowego

Pierwsze badania składu gazu i pomiary emisji biogazu ze studni odgazowujących w SOK „Lipówka I” w Dąbrowie Górniczej zostały przeprowadzone w sierpniu 2000 r. przez Ośrodek Badań i Kontroli Środowiska w Katowicach [14] i powtórzone w sierpniu 2001 r. [15]. W celu określenia emisji zanieczyszczeń gazowych do powietrza ze studzienek odgazowujących mierzono, między innymi następujące wartości:

1. Temperaturę gazów odlotowych - elektronicznym aparatem „TESTO-405-V1” niemieckiej firmy Testoterm, poprzez wprowadzenie sondy pomiarowej w punkcie pomiarowym do kolektora gazów, Zakres pomiaru aparatu „TESTO-405-V1” od -20°C do 50°C.
2. Prędkość liniową gazu elektronicznym aparatem „TESTO-405-V1”, zakres pomiarowy 0,0 – 10,0m/s.
3. Skład chemiczny gazów odlotowych mierzono metodami:
 - CO₂, CO, O₂, CH₄ oznaczono na chromatografie gazowym VARIAN GC 3600.
 - Siarkowodór (H₂S) oznaczono wg Katalogu „Metody Manualnych Pomiarów Zanieczyszczeń Atmosfery” tzn. zmodyfikowanej normy PN-70/Z-040042 „Oznaczanie zawartości siarkowodoru w powietrzu”.
 - Amoniak (NH₃) oznaczono wg Katalogu IOS „Metody Manualnych Pomiarów Zanieczyszczeń Atmosfery”.

W 2004 roku Firma SEMATECH POŁUDNIE SA w Zabrze opracowała instrukcję badania biogazu na wysypisku, w której stosowano inne analizatory gazu:

- Infra – Red Portale Landfill Gas Analyser GA64 produkcji Geotechnical Instruments, Wielka Brytania
 - dane techniczne:
 - zakresy pomiarowe
 - metan - 0–100%
 - ditlenek węgla - 0–50%
 - tlen - 0–21%
 - ciśnienie - 700–1100mbar
 - dokładność dla zakresów pomiarowych: A: (0-5%); B: (5-15%); C: (15%)
 - metan odpowiednio dla zakresów – A: $\pm 0,5\%$; B: $\pm 1\%$; C: $\pm 3\%$
 - ditlenek węgla odpowiednio dla zakresów – A: $\pm 0,5\%$; B: $\pm 1\%$; C: $\pm 3\%$
 - tlen odpowiednio dla zakresów - A: $\pm 0,5\%$; B: $\pm 0,5\%$; C: $\pm 1\%$
 - ciśnienie - ± 5 mbar;
 - AUER EX–OX–METER II – ręczny analizator gazów produkcji AUERGESELSCHAFT/MSA 12059, Berlin
 - dane techniczne:
 - dokładność dla zakresów pomiarowych:
 - metan $\pm 2\%$ DGW (0,1% obj.) przy 0,40% DGW
 - $\pm 5\%$ przy 40, 100% DGW
 - $\pm 2\%$ przy DGW, 100%
 - tlen $\pm 1\%$

Dla gazów resztkowych: CO, SO₂, HCN, Cl₂, H₂S, NO₂, H₂, N₂, NH₄, C₂H₅SH, CH₃CHO, C₆H₆, C₂H₆, CH₃COOH, C₂-C₁₁, C₆H₆CH₃, dokładność wynosi $\pm 0,1$ ppm.

Biogaz jest mieszaniną CH₄, CO₂, O₂, N₂ i ponad 100 różnych związków, głównie węgla, siarki czy chloru. Biogaz ze złoża jest nasycony 99% parą wodną. Gęstość biogazu przy zawartości CH₄ powyżej 54% jest niższa od gęstości powietrza (1,293kg/m³ w warunkach normalnych), a przy zawartości poniżej 54% wyższa. Właściwość ta ma istotny wpływ na emisję gazu ze złoża.

Do przeliczeń objętości gazu wilgotnego przy parametrach mierzonych na gaz suchy w warunkach normalnych ($t=273\text{K}$, $p=1013\text{Pa}$) stosowano wzór [5] [1]:

$$V_0 = V_t \frac{273}{273+t} \times \frac{(P_{at} - P_g)P_s}{101} [m^3 / h]$$

gdzie:

V_0 - strumień objętości biogazu suchego w warunkach normalnych m^3/h ,

V_t - strumień objętości biogazu w warunkach mierzonych,

t - temperatura biogazu w $^{\circ}\text{C}$,

P_{at} - ciśnienie atmosferyczne, hPa,

P_g - ciśnienie gazu, hPa,

P_s - ciśnienie nasycenia H_2O w temp. t , hPa

Do przeliczeń mierzonej prędkości gazu na strumień objętości stosowano wzór:

$$V = A \cdot v \cdot 3600 [m^3/h]$$

gdzie:

V – strumień objętości biogazu, m^3/h ,

A – pole przekroju rurociągu w miejscu pomiaru, m^2 ,

v – prędkość przepływu gazu, m/s ,

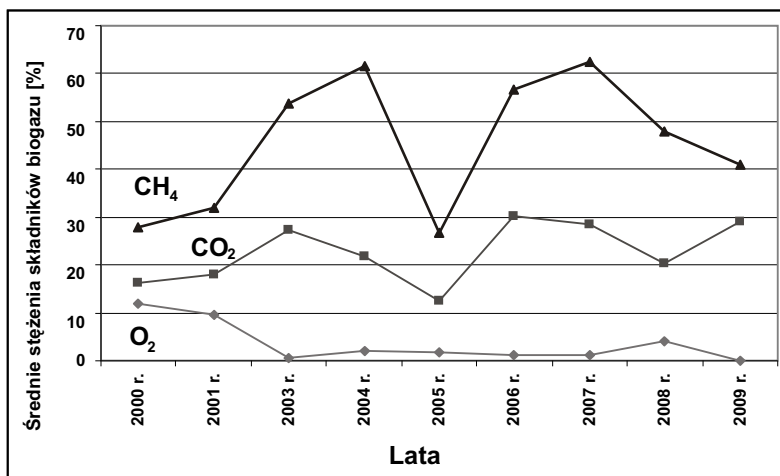
W miejscu pomiaru średnica wewnętrzna rurociągu wynosi $D=108,1+/-0,05\text{mm}$, co daje $A=0,009173\text{m}^2$, zatem:

$$V = 3600 \cdot 0,009173 \cdot v = 33,023 \cdot v [m^3/h]$$

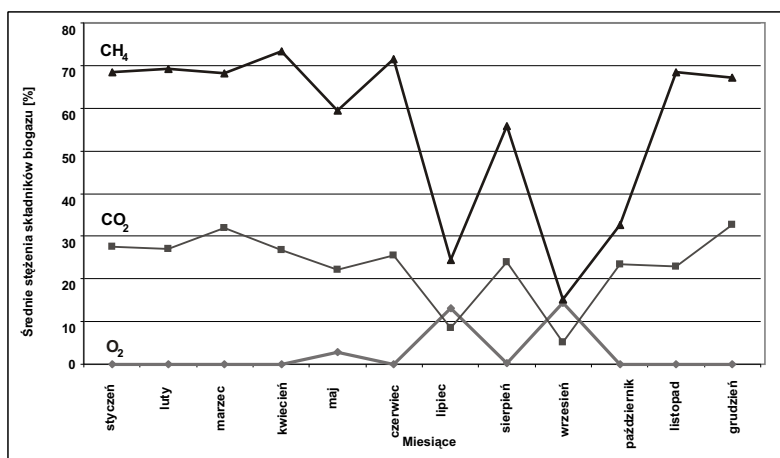
Tab. 4. Średnie parametry gazów odlotowych ze studzienek odgazowujących w 2000 r. [14]

2000 rok						
Źródło emisji	Średnia temperatura gazów odlotowych $^{\circ}\text{C}$	Średnie natężenie przepływu gazów odlotowych Nm^3/h	Zawartość %			
			CO_2	O_2	CO	CH_4
Studzienka odgazowująca nr 1	23	69	21,0-21,85	8,45-7,9	0	39,7-42,0

Studzienka odgazowująca nr 2	24	34	11,3-11,42	13,8-13,82	0	23,05-23,3
Studzienka odgazowująca nr 3	24	35	10,56-11,1	14,95-15,22	0	18,36-17,35
Studzienka odgazowująca nr 4	20	66	20,0-21,0	10,72-11,22	0	29,25-30,7



Rys. 5. Wyniki średnich stężeń i głównych składników biogazu w latach 2000 do 2009 [źródło: własne]



Rys. 6. Zmienność składu biogazu w 2008 r. [źródło: własne]

Prognozę zasobności gazowej sporządzono stosując wzór Rettenberga/Tabasarana [1]

$$G_t = 1,868 \cdot C_{org} \cdot (0,014T + 0,28)(1 - 10^{-kt})$$

gdzie:

G_t - zbiorcza produkcja gazu w czasie t [m^3/MSW]

C_{org} - zawartość węgla organicznego w odpadach [kg/t]

T - temperatura $^{\circ}C$,

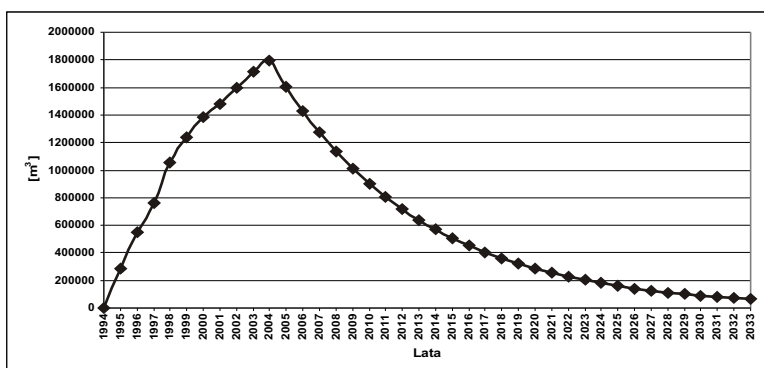
k - stopień rozkładu [$1/a$]

t - czas [rok]

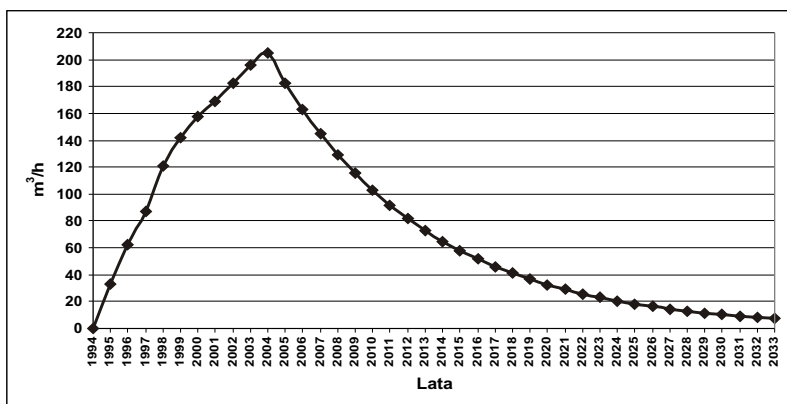
Założenia:

- początek składowania -1993 r.
- roczne raty składowanych śmieci -ok. 41,1 tys. Mg
- okres uznany za „bezmetynowy” -1 rok
- udział odpadów komunalnych -72%
- zawartość części organicznych -38%
- temperatura fermentacji -16 $^{\circ}C$
- zawartość węgla w części organicznej we frakcji rozkł. -200kg/Mg
- obliczeniowy skład biogazu -50% CH_4 , 50% CO_2
- współczynnik rozkładu odpadów -k = 0,05

Zakładając, że składowisko odpadów zostałooby obecnie zakończone, teoretyczna produkcja biogazu na składowisku będzie przebiegała zgodnie z danymi przedstawionymi na rys.7 i 8.



Rys. 7. Teoretyczna produkcja gazu na składowisku Lipówka w Dąbrowie Górniczej [1]

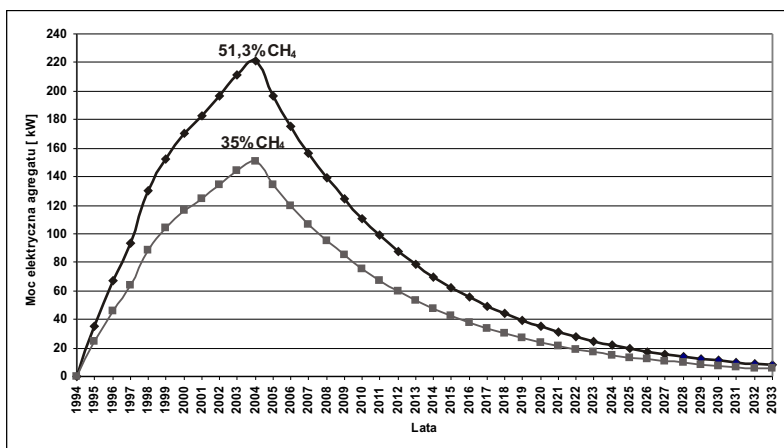


Rys. 8. Teoretyczna jednostkowa produkcja gazu na składowisku Lipówka w Dąbrowie Górniczej [1]

Obliczenie możliwości pozyskania gazu wysypiskowego i energii przeprowadzono przy następujących założeniach [1]:

- 1) ilość wyprodukowanego gazu nie jest równoznaczna z możliwością jego pozyskania – przyjęto współczynnik korygujący 0,7,
- 2) ilość pozyskanego gazu nie może być wykorzystana w całości do produkcji energii elektrycznej – przyjęto współczynnik przetwarzania gazu na energię elektryczną 0,3.

Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Prognozowana moc elektryczna agregatu do przetwarzania gazu na składowisku Lipówka w Dąbrowie Górniczej [1]

Z przedstawionego szacunku prognostycznego zasobności gazowej wynika, że w 2003 roku moc elektryczna agregatu mogłaby wynieść 211kW przy zawartości metanu w gazie 51,3%.

Natomiast moc elektryczna przy zmierzonej wydajności 50m³/h i wartości energetycznej gazu $W_u = 5,13 \text{ kWh/m}^3$ wynosi:

$$50 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5,13 \text{ kWh/m}^3 \cdot 0,3 = 77 \text{ kW}$$

5. Podsumowanie i wnioski

W wyniku odgazowania składowiska odpadów komunalnych, ujmowania i spalania gazu, powinno się uzyskać efekty w postaci znacznego obniżenia emisji gazu wysypiskowego do środowiska. Biorąc pod uwagę skład gazu, gdzie dominującym składnikiem jest metan, pozytywnym skutkiem dla środowiska jest obniżenie efektu cieplarnianego. Metan jest odpowiedzialny za efekt cieplarniany około 20 razy więcej niż ditlenek węgla. Pozostałe toksyczne składniki gazu wysypiskowego, między innymi cyjanowodór, siarkowodór, amoniak, aldehyd octowy, węglowodory alifatyczne i aromatyczne, związki chloroorganiczne, zagrażają okolicznym mieszkańcom i wpływają niekorzystnie na zdrowie i środowisko.

Metan, jako główny składnik gazu wysypiskowego, może być wykorzystywany do produkcji energii odnawialnej w postaci energii cieplnej lub elektrycznej.

Takie cele stawia się przed dobrze eksploatowanym składowiskiem odpadów komunalnych. Odpady komunalne stanowią niejednorodną mieszaninę wielu składników morfologicznych, gdzie zawartość składników podlegających anaerobowej fermentacji metanowej stanowi przeciętnie tylko 30 do 40% całości. Niejednorodność składu na obszarze całego składowiska nie ułatwia ujmowania gazu w taki sposób, aby jego skład był możliwie stabilny i o wysokiej, dochodzącej do 60 - 70 % objętościowych zawartości metanu. Ponadto, dopiero gaz wysypiskowy powstający w stabilnej fazie metanogenezy nadaje się do wykorzystania jako nośnik energetyczny.

Badania składu biogazu ujmowanego ze składowiska odpadów Lipówka I rozpoczęto w 2000 roku i trwają nadal. W 2000 roku istniały cztery studnie odgazowujące wysypisko. Zawartość metanu w gazach badanych w poszczególnych studniach zawierała się w granicach 18 do 42 % i była zmienna, co

przedstawiono w tab. 4. Wtedy też obserwowano wysoką zawartość tlenu w gazie. Parametry te świadczą o tlenowej fazie fermentacji odpadów, co nie stwarza warunków do uzyskiwania gazu o wysokiej zawartości metanu. W następnych latach budowano kolejne studnie odgazowujące i badano skład odpadów. Na rys. 5 przedstawiono zmienność podstawowych składników gazu w funkcji czasu istnienia składowiska. Na podstawie przedstawionych wyników można także zaobserwować zmienność składu gazu w poszczególnych latach.

Na podstawie obserwacji wyników można postawić wniosek, że:

- składowisko odpadów komunalnych Lipówka I „weszło” w stan fermentacji beztlenowej w 2006 roku, choć w następnych latach nie obserwuje się stabilnego składu gazu.

Obecnie gaz składowiskowy jest ujmowany i spalany w pochodni, gdzie spalanie jest regulowane zależnie od składu i natężenia przepływu gazu. Spalanie odbywa się szybko i całkowicie, można stwierdzić, że:

- chroni się środowisko przed emisją metanu i innych gazów niebezpiecznych dla zdrowia i środowiska, pewna niewielka ilość metanu nie ujmowanego w instalacji gazu jest emitowana do środowiska, niemniej jednak efekt ekologiczny jest osiągnięty.

Wykorzystanie ciepła spalanego gazu do celów energetycznych jest przewidziane w przyszłości, jednak ilość ujmowanego gazu o stabilnym składzie w stosunku do obliczeń teoretycznych (rys. 8) jest dużo mniejsza, co nie prognozuje opłacalności takiego przedsięwzięcia. Także prognozowana moc elektryczna agregatu do przetwarzania gazu (rys. 9) nie zapewni długotrwałej i o wystarczającej mocy produkcji energii elektrycznej. Można stwierdzić, że:

- obecna instalacja ujmowania gazu i prognozowane obniżanie produkcji gazu nie są czynnikami sprzyjającymi dla energetycznego wykorzystania gazu w następnych latach.

Instalowane są nowe studnie odgazowujące i są prowadzone pomiary składu i ilości gazu, wyniki pomiarów mogą wykazać wzrost objętości ujmowanego gazu i stabilizację jego składu co uzasadni produkcję energii elektrycznej. Opłacalność przedsięwzięcia będzie także zależać od możliwości sprzedawania energii na zewnątrz.

LITERATURA

- [1] Badanie Gazu Wysypiskowego na Składowisku Odpadów Komunalnych „Lipówka” w Dąbrowie Górniczej, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Ekologii Miast, Łódź, maj 2003.
- [2] Ciupryk M., Gaj K.: *Ekologiczne przesłanki utylizacji biogazu składowiskowego*, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej - Artykuł, luty 2004 r.
- [3] Dyrektywa Rady UE nr 1999/31/EC z 26 kwietnia 1999 r. w sprawie ziemnych składowisk.
- [4] Gaj K. i in.: *Składowiska odpadów komunalnych jako źródła emisji zanieczyszczeń powietrza*, Chemia i Inżynieria Ekologiczna 1999, nr 4, s. 337.
- [5] Instrukcja „Badanie biogazu na wysypiskach”, Sematech Południe S.A. Zabrze, 2004.
- [6] Kaczorek K., Ledakowicz S., Prace Przeglądowe Biotechnologia 2 – Analiza pracy składowiska odpadów z punktu inżynierii bioreaktorowej, Katedra Inżynierii Bioprocessowej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź 2005.
- [7] Plan realizacyjny Wysypiska Odpadów Komunalnych Lipówka I w Dąbrowie Górniczej – Strzemieszycach, Pracownie Projektowe „Wariant” Sp. z o.o. w Katowicach, Katowice listopad 1991.
- [8] Projekt Zmiany Układu Odgazowania Składowiska Odpadów Komunalnych „Lipówka” w Dąbrowie Górniczej obejmującego umiejscowienie nowych 12 studzien odgazowujących – Etap I, Energoekspert Sp. z o.o. w Katowicach, kwiecień 2008.
- [9] Reaktywacja Składowiska Odpadów Komunalnych Lipówka I. Opracowanie projektowe, 2001, red. S. Klusza, R. Baranowski, Arka Konsorcjum S.A., Poznań.
- [10] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz. U. Nr 61, poz. 549).
- [11] Rozporządzeniu Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 30 maja 2003 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii (Dz. U. Nr 104/2003, poz. 971).
- [12] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 lutego 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz. U. Nr 39, poz. 320).
- [13] Sadecka Z., Toksyczność, biodegradacja insektycydów w procesie fermentacji metanowej osadów ściekowych, Redakcja Wydawnictw Naukowo-Technicznych, Zielona Góra, 2002.
- [14] Sprawozdanie z pomiarów biogazu - sierpień 2000 r. - Ośrodek Badań i Kontroli Środowiska w Katowicach, opracowanie Katowice wrzesień 2000.
- [15] Sprawozdanie z pomiarów biogazu - sierpień 2001 r. - Ośrodek Badań i Kontroli Środowiska w Katowicach, opracowanie Katowice sierpień 2001.

- [16] Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz. U. 2006 nr 169, poz. 1199, z późn. zm.; ust.1 pkt.11 lit.f).
- [17] Wniosek o wydanie pozwolenia zintegrowanego dla składowiska odpadów innych niż niebezpieczne oraz obojętne „Lipówka I” w Dąbrowie Górniczej – Strzemieszycach Małych, Invest – Eko Katowice, luty 2007.
- [18] Zespół autorów pod redakcją dr Krzysztofa Skalmowskiego (Koordynator prac autorów zespołu dr Krystyna Lelicińska) – Wydawnictwo VERLAG DASHÖFER Sp. z o.o.: Poradnik gospodarowania odpadami, Warszawa 2003, aktualizacja kwiecień 2009.