

**Andrzej JĘDRZAK**  
Politechnika Zielonogórska

## **FERMENTACJA METANOWA. MIEJSCE W SYSTEMACH GOSPODARKI ODPADAMI KOMUNALNYMI**

### *Streszczenie*

*W artykule, po krótkim wprowadzeniu, określono miejsce technologii stosowanych do beztlenowego unieszkodliwiania odpadów komunalnych, z odzyskiem energii w postaci biogazu, w systemach gospodarki odpadami komunalnymi. Przedstawiono bilanse masowe procesu „mokrej” fermentacji zmieszanych odpadów komunalnych, przy zastosowaniu do wydzielenia biofrakcji z odpadów sita bębnowego o oczkach 70 i 150 mm. Podano koszty budowy i eksploatacji instalacji do fermentacji odpadów oraz określono ich oddziaływanie na środowisko.*

### **WSTĘP**

Dobór metod unieszkodliwiania odpadów przy kształtowaniu systemu gospodarki odpadami komunalnymi wynika:

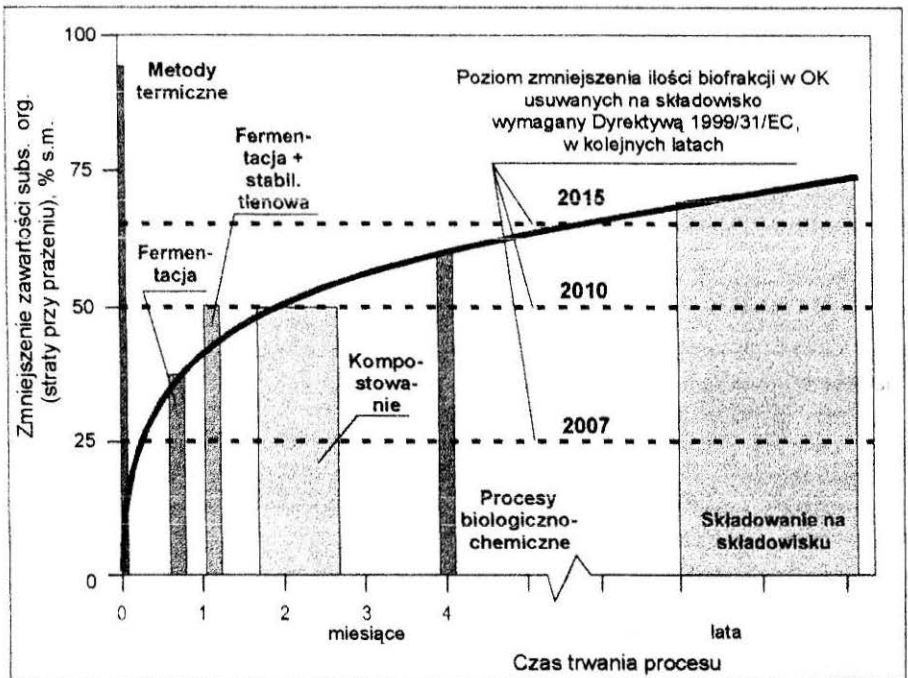
- z ustawy o odpadach, która bazując na stwierdzeniu, że również w przyszłości nie uniknie się składowisk jako miejsc ostatecznego unieszkodliwiania odpadów, nakłada na wytwórców (w pierwszej kolejności) obowiązek minimalizacji strumienia odpadów poprzez unikanie ich powstawania, wykorzystania niektórych rodzajów odpadów jako surowców wtórnych oraz wyłączenia ze składowania odpadów nadających się do biologicznej przeróbki [11],
- z naszych aspiracji do integracji z krajami Unii Europejskiej, które zobowiązane są do zmniejszania ilości bioodpadów usuwanych na składowiska zgodnie z dyrektywą 99/31/EC (rys. 1) [3],
- z wieloletnich doświadczeń krajów Europy Zachodniej, które znacznie wcześniej poszukiwały optymalnego sposobu zarządzania odpadami.

Obecnie występuje silna tendencja do unieszkodliwiania odpadów z wykorzystaniem technologii, które są ukierunkowane na ponowne ich użycie lub zwracanie do naturalnego obiegu. Beztlenowy rozkład odpadów organicznych dobrze pasuje do tej koncepcji, ponieważ prowadzi do przekształcenia odpadów organicznych w produkty, kompost oraz biogaz, które można wykorzystać gospodarczo.

Fermentacja jako proces unieszkodliwiania substancji organicznych początkowo była wykorzystywana do oczyszczania ścieków, później zaś do stabilizacji osadów ściekowych z oczyszczalni biologicznych, o całkowitej zawartości ciał stałych od 3 do 10 %. W 1936 roku Buswell wykazał, że fermentacja może być stosowana również do

rozkładu odpadów stałych (łodyg kukurydzy), w postaci zawiesiny o stężeniu większym niż 10 % s.m. [1]. W 1970 stwierdzono, że proces ten może przebiegać z dobrą wydajnością, nawet przy wyższych zawartościach ciał stałych do 40 %, np. na składowiskach.

Od około 20 lat budowane są przemysłowe instalacje do beztlenowego unieszkodliwiania odpadów komunalnych. Kilkadziesiąt takich obiektów powstało, przede wszystkim, w Niemczech, Szwajcarii, Danii, Holandii i we Włoszech. Łączna przepustowość instalacji do fermentacji metanowej odpadów stanowi obecnie ok. 5 % całkowitej przepustowości kompostowni w Europie, a w kilku krajach, jej udział jest wyższy niż 10%; są to: Szwajcaria – 26,6 %, Holandia 15,6 % i Belgia 11,9 % (tabela 1) [2].



Rys. 1 Stopień zmniejszenia ilości substancji organicznych w odpadach komunalnych w różnych metodach ich unieszkodliwiania

TABELA 1

Przepustowość zakładów fermentacji odpadów w kilku krajach europejskich

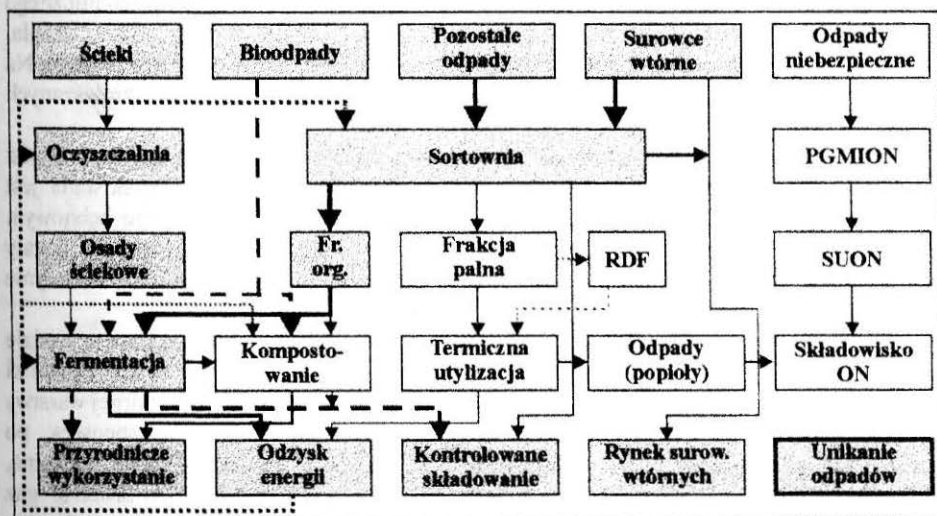
Kraj	Przepustowość Mg/rok	% przepustowości kompostowni
Niemcy	449605	6 %
Belgia	67000	15,6 %
Holandia	197000	11,9 %
Szwajcaria	8500	26,6 %

## 2. MIEJSCE FERMENTACJI W SYSTEMACH GOSPODARKI ODPADAMI

Ogólny model gospodarki odpadami obejmuje następujące podstawowe metody postępowania z odpadami:

- odzysk odpadów przydatnych do wykorzystania (tzw. surowców wtórnych) poprzez, wielopoziomowo rozbudowaną, selektywną zbiórkę w miejscu powstawania oraz ich oczyszczanie, rozdział na rodzaje i dystrybucję do odbiorców, realizowane w tzw. Sortowniach,
- selektywne pozyskiwanie organicznej frakcji z odpadów komunalnych, nadającej się do biologicznej przeróbki i przetwarzania na kompost,
- eliminowanie ze strumienia odpadów składników niebezpiecznych i poddawanie ich oddzielnej procedurze unieszkodliwiania bądź dalszego wykorzystania,
- termiczną utylizację pozostałości odpadów w ekologicznie bezpiecznych i efektywnych spalarniach, z odzyskiem energii,
- kontrolowane składowanie odpadów, nie dających się wykorzystać lub unieszkodliwić w inny sposób, na składowiskach bezpiecznych dla środowiska.

Schemat organizacji takiego modelu obrazuje rysunek 2.



RYS. 2 Schemat ogólnego modelu kompleksowego zagospodarowania odpadów

## 3. CHARAKTERYSTYKA PROCESU

Główną zaletą procesu beztlenowego rozkładu bioodpadów jest produkcja biogazu, wysokoenergetycznego paliwa, które może być wykorzystane do produkcji energii przyjaznej dla środowiska. Produkcja gazu wynosi do ok. 100 Nm<sup>3</sup> na tonę surowych odpadów. Wykorzystanie gazu, po odwodnieniu, w zblokowanej elektrociepłowni



(wartość energetyczna gazu  $6,2 \text{ kW/Nm}^3$ ) pozwala uzyskać 200 kWh energii elektrycznej i 300 kWh energii cieplnej. Około 30-50 % wyprodukowanej energii elektrycznej i ok. 20-40% energii cieplnej zostaje zużyta na potrzeby własne instalacji, zaś pozostała ilość może być eksportowana do odbiorców obcych.

Fermentacja może być prowadzona różnymi technikami. O rozwiązaniu technologicznym decydują cztery podstawowe parametry wynikające głównie z mechanizmu procesu powstawania metanu oraz z wymogów prowadzenia procesów biologicznych w skali technicznej [10]. Są nimi:

- wilgotność substratu; fermentacja „mokra” (< 15 % s.m. we wsadzie) i „sucha” (od 15 do 40 % s.m. we wsadzie),
- temperatura fermentacji; fermentacja mezofilowa (ok. 35 °C) i termofilowa (ok. 55 °C),
- przepływ substancji; ciągła lub okresowa,
- stopień fermentacji; technologie jedno- i wielostopniowa.

Przy praktycznej realizacji technologii fermentacji odpadów, każde przyjęte rozwiązanie wykazuje określone wady i zalety [6]. Proponowane na rynku technologie oparte są zawsze na kompromisie, które z zalet zostaną szczególnie wykorzystane, a jakie wady będą tolerowane.

Biofrakcja może być wydzielana z odpadów komunalnych w procesach mechanicznego i/lub ręcznego sortowania, lub poprzez selektywną zbiórkę bioodpadów u źródła. Technologia sortowania w dużym stopniu wpływa na ilość produkowanego biogazu. Na rys. 3 przedstawiono schemat technologiczny fermentacji „mokrej” zmieszanych odpadów komunalnych.

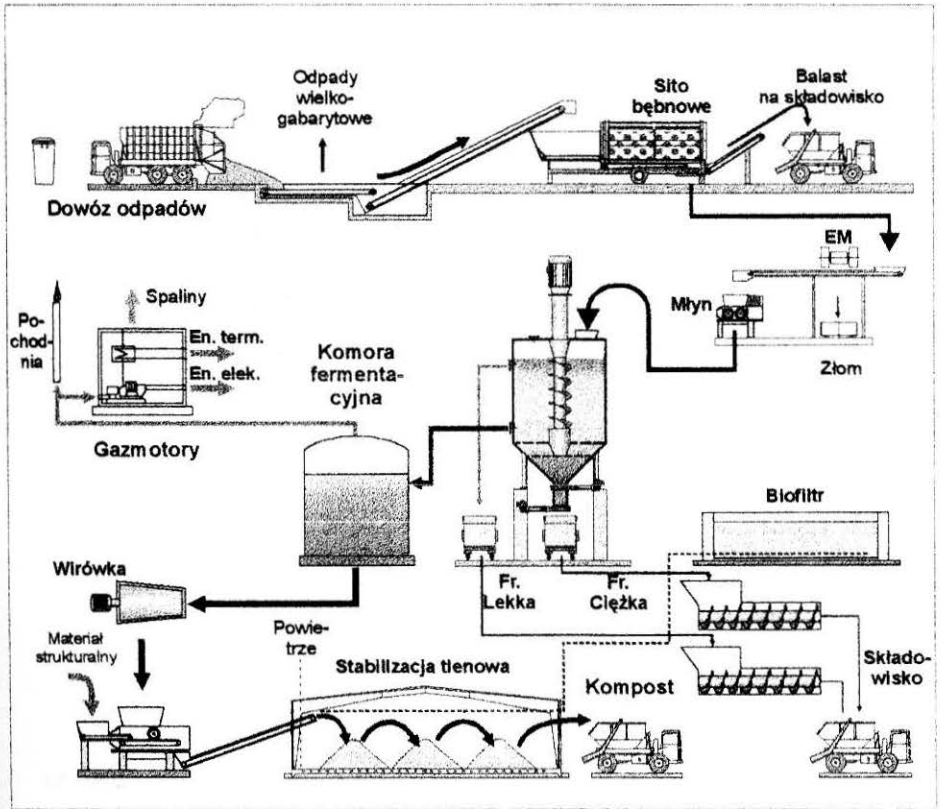
W procesie fermentacji „mokrej” (instalacja taka została wybudowana i jest eksploatowana w Zgorzelcu) biofrakcja z odpadów komunalnych odzyskiwana jest mechanicznie [7]. Odpady dowożone do Stacji przesiewane są na sicie bębnowym o prześwicie 70 mm. Odsiew kierowany jest na składowisko, a przesiew bogaty w składniki organiczne, po usunięciu metali, zostaje rozdrobniony w młynie młotkowym

i przetransportowany do suspensera. W suspenseraze odpady są roztworzone w wodzie za pomocą szybkoobrotowego mieszadła oraz wydzielane są z nich składniki przeszkadzające. Frakcje lekka (tworzywa sztuczne, drewno) zbierana z górnej warstwy zawiesiny i ciężka (szkło, piasek), zbierana w śluzie, w dnie suspensera, po odwodnieniu usuwane są na składowisko. Pozbawiona zanieczyszczeń zawiesina, o stężeniu ok. 6 % s.m. podawana jest fermentacji. Powstający w procesie gaz przekształcany jest w gazmotorach w energię elektryczną i ciepłą. Przefermentowany osad, po odwodnieniu i krótkiej stabilizacji tlenowej, może być wykorzystywany przyrodniczo lub składowany na składowisku.

#### 4. BILANSE MASOWE PROCESÓW

Na rys. 4 i 5 przedstawiono bilanse masowe procesu fermentacji „mokrej” zmieszanych odpadów komunalnych, przy zastosowaniu do wydzielenia biofrakcji odpadów sita

bębnowego o oczkach, kolejno 70 i 150 mm. Bilanse wyznaczono dla odpadów komunalnych, o składzie grupowym przedstawionym w tabeli 2 [8].



Rys. 3 Schemat technologiczny fermentacji „mokrej” zmieszanych odpadów komunalnych

TABELA 2

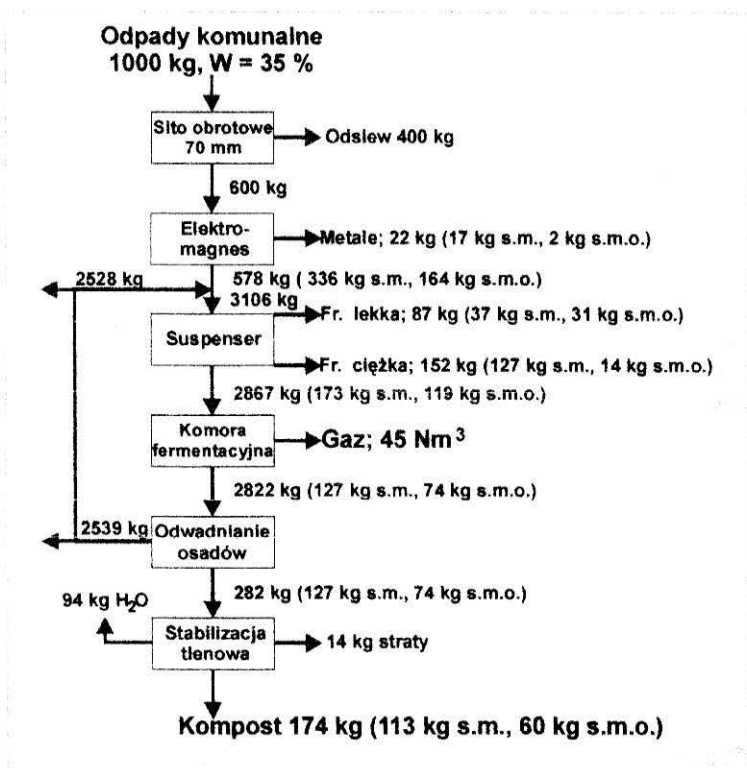
Skład grupowy odpadów z gospodarstw domowych, % wag. [8]

Składniki	Udział masowy, %	Składniki	Udział masowy, %
Fracja < 10 mm	13,4	Tw. sztuczne	10,1
Papier i kartony	20,8	Drewno	0,3
Odp. rośl. i zw.	32,9	Metale żelazne	4,1
Szkło	10,2	Inne org.	1,6
Tekstyli	2,0	Inne nieorg.	4,6

Podstawowymi produktami powstającymi w procesie są biogaz i kompost. Stosując sito o prześwicie 70 mm, z jednej tony surowych odpadów powstaje około 45 Nm<sup>3</sup> biogazu i ok. 0,17 tony kompostu (W = 35 %, zawartość substancji org. – 53 % s.m.). Stosując



sito o prześwicie 150 mm, przy tych samych odpadach, produkcja gazu z jednej tony odpadów rośnie do ok.  $66 \text{ Nm}^3$ , zaś ilość kompostu do 0,26 tony.



Rys. 4 Bilans masowy procesu fermentacji zmieszanych odpadów komunalnych przy zastosowaniu sita o oczkach 70 mm

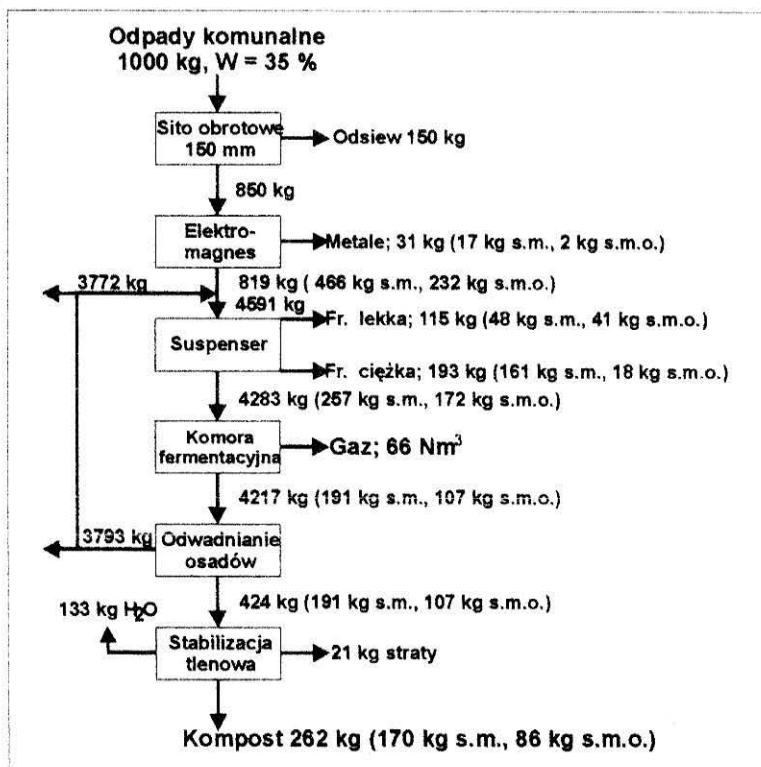
Powyższe wartości bilansowe wyznaczone zostały dla fermentacji zmieszanych odpadów komunalnych. W przypadku fermentacji bioodpadów zbieranych selektywnie produkcja gazu jest wyższa i wynosi do ok.  $110 \text{ Nm}^3$  na tonę surowych odpadów.

## 5. KOSZTY INWESTYCYJNE

Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne zależą od rodzaju technologii, stopnia jej zautomatyzowania oraz przepustowości zakładu. Na rys. 6 przedstawiono zmiany jednostkowych wskaźników kosztów budowy ( $\$/\text{Mg}$  odpadów) instalacji do fermentacji i, dla porównania, kompostowania odpadów w zależności od rocznej ich przepustowości.

Generalnie należy stwierdzić, że koszty budowy zakładu do beztlenowej przeróbki odpadów, o małej przepustowości, są większe niż koszty budowy kompostowni o tej samej przepustowości. Różnica nakładów maleje ze wzrostem przepustowości obiektu i

dla zakładów przetwarzających więcej niż 35000 Mg odpadów rocznie koszty inwestycyjne są porównywalne.



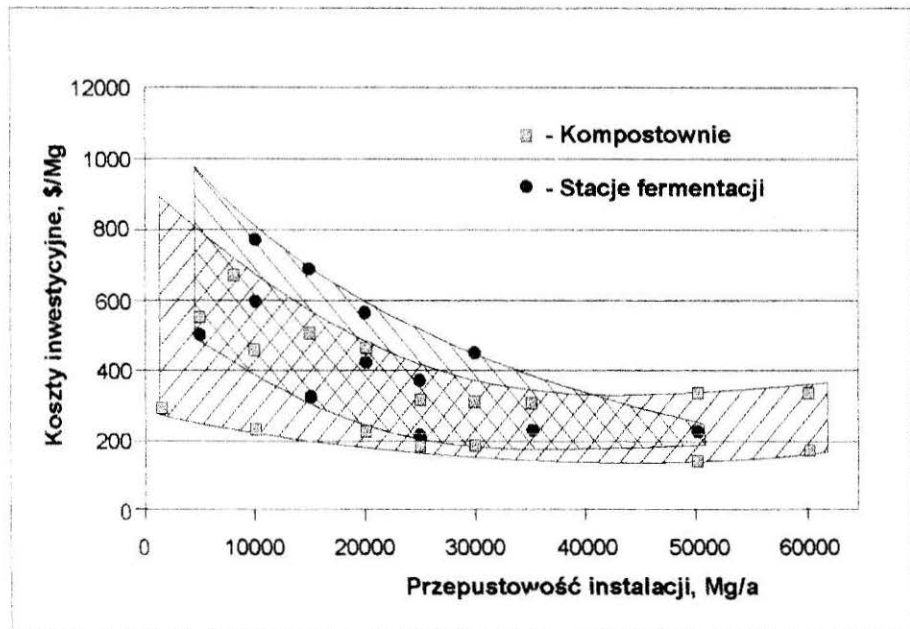
Rys. 5 Bilans masowy procesu fermentacji zmieszanych odpadów komunalnych przy zastosowaniu sita o oczkach 150 mm

Charakterystyczna jest bardzo duża rozpiętość wartości wskaźników kosztów dla instalacji o tej samej przepustowości. Jest ona najczęściej wynikiem różnego technicznego uzbrojenia instalacji.

## 6. KOSZTY EKSPLOATACJI

Koszty fermentacji odpadów organicznych zależą przede wszystkim od wielkości oraz zróżnicowania technicznego i budowlanego instalacji i wahają się w granicach od 37 do 150 \$/Mg wsadu w technologiach „mokrych” i od 35 do 90 \$/Mg wsadu w fermentacji „suchej”. Ze wzrostem przepustowości urządzeń koszty eksploatacji maleją. Najwyższe koszty eksploatacji wykazywane są dla technologii jednostopniowej BTA (10000 Mg/a, fermentacja mokra) od 125 do 150 \$/Mg wsadu, a najniższe podane zostały dla technologii DRANCO od 35 do 55 \$/Mg wsadu.

Dotychczasowe doświadczenia w Niemczech wykazują, że koszty fermentacji bioodpadów w Zakładach o przepustowości 15000 Mg/rok są porównywalne z kosztami ich przeróbki w kompostowniach. W Zakładach o większych wydajnościach bardziej opłacalna staje się fermentacja odpadów.



**Rys. 6** Zmiany jednostkowych wskaźników kosztów budowy (\$/Mg odpadów) instalacji do kompostowania i fermentacji odpadów w zależności od rocznej ich przepustowości

## 7. WPŁYW INSTALACJI NA ŚRODOWISKO

Oddziaływanie na środowisko instalacji do fermentacji wiąże się przede wszystkim z emisją do środowiska ścieków i gazów.

W procesie fermentacji należy się liczyć z powstawaniem ścieków w ilości od 0,1 do 0,825 m<sup>3</sup>/Mg wsadu, średnio 0,5 m<sup>3</sup>/Mg wsadu. Więcej ścieków powstaje w technologiach suchych niż mokrych. Ścieki z procesów fermentacji zawierają znaczne ładunki zanieczyszczeń (rozp. substancje organiczne, zawiesiny), zwłaszcza związków azotu (ponad 1000 mg/l). Obciążenie zanieczyszczeniami ścieków z procesów termofilowych jest większe niż z procesów mezofilowych.

Stabilizowany tlenowo kompost z procesu fermentacji ma właściwości fizyczne i skład chemiczny porównywalne do klasycznego produktu procesu kompostowania. Zawartości substancji szkodliwych w kompoście beztlenowym są takie same jak w kompostach tlenowych, natomiast nie zawierają one szkła i większych kawałków tworzyw sztucznych [4].



Procesy beztlenowe są realizowane w instalacjach zamkniętych, z energetycznym wykorzystaniem produkowanego biogazu. Zużyte powietrze z wentylacji hal technologicznych jest oczyszczane na filtrach biologicznych. Nie ma zatem problemów emisji odorów i aerozoli bakteryjnych.

Przeróbka odpadów metodą tlenową zwiększa emisję CO<sub>2</sub> do atmosfery w porównaniu do emisji naturalnej o 13%, w związku z zapotrzebowaniem dodatkowej energii na operacje techniczne. Konsekwencją jest wzrost stężenia CO<sub>2</sub> w granicach atmosfery ziemi. W przeciwieństwie do kompostowania, emisja CO<sub>2</sub> z procesu fermentacji jest mniejsza niż naturalna, w związku z produkcją energii w nadmiarze (zastępowanie pierwotnej energii). Obniżenie emisji dwutlenku węgla, stosownie do możliwości wykorzystania odpadowego ciepła, może wynosić ok. 30 - 70 % [9]. Jest to o tyle istotne, że ranga ekologicznego bilansu emisji dwutlenku węgla do atmosfery stale wzrasta.

## 8. PODSUMOWANIE

Biologiczne metody przeróbki odpadów organicznych posiadają silną pozycję w gospodarce odpadowej. O wyborze kompostowania bądź fermentacji decydują zawsze specyficzne uwarunkowania lokalne.

Za beztlenową przeróbką odpadów przemawiają:

- produkcja biogazu, wysokoenergetycznego paliwa, które może być wykorzystane do produkcji energii przyjaznej dla środowiska,
- samowystarczalność energetyczna, a z reguły nadmiar energii umożliwiający jej sprzedaż; wytworzenie nośnika energii w formie gazu prowadzi do dodatniego bilansu energii z procesu fermentacji. W zależności od techniki procesów przetwórczych nadwyżka osiąga 30-60% energii elektrycznej i/lub 30-70% cieplnej,
- *nadrzędna perspektywa użycia regeneratywnych źródeł energii; produkcja energii odnawialnej wpływa pozytywnie na prawie wszystkie kategorie oceny oddziaływania na środowisko; zastępowanie paliw kopalnych zmniejsza emisję pyłów, SO<sub>2</sub>, CO NO<sub>x</sub> i gazów cieplarnianych do atmosfery,*
- niezależność od struktury materiału,
- niewielkie zapotrzebowanie terenu; zapotrzebowanie powierzchni dla zakładów fermentacyjnych jest o około 50-80% mniejsze niż dla kompostowni o podobnej przepustowości,
- brak odorów; instalacje do fermentacji odpadów są w pełni hermetyczne; emisja zanieczyszczeń do atmosfery jest minimalna,
- koszty eksploatacyjne dla instalacji o przepustowości 15000 Mg/rok są porównywalne do kosztów stwierdzanych na kompostowniach, a dla zakładów o wyższej przepustowości bardziej efektywna jest fermentacja.

Najlepsze efekty uzyskuje się lokalizując instalację fermentacji w pobliżu zakładu przemysłowego, który będzie odbierał odpadowe ciepło z produkcji energii elektrycznej, przez cały rok.

## 9. LITERATURA

- [1] BRUMMELER E.T., Koster I.W., Zeevalkink J.A., 1986; *Biogas production from the organic fraction of municipal solid waste by anaerobic digestion*. Proceedings of the International Symposium „Materials and Energy from Refuse”, Antwerp, Belgium, 6.49-6.58. [3]
- [2] DE BAERE L., 1999; *Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art*. Proceedings of the II International symposium on anaerobic digestion of solid waste. Vol. I, pp. 290-299. [4]
- [3] Dyrektywa Rady 99/31/EC, w sprawie ziemnych składowisk odpadów. Official Journal L 182 16/07/1999, ss. 0001-0019. [2]
- [4] GOTTSCHALL, R., Biala, J., Vogtmann, H. (1995). Gartenbauliche Verwertung von kompostiertem BTA-Hydrolyserest aus Bioabfall. Müll und Abfall, 27, S. 829-840. [9]
- [5] IMHOFF R. K. K., 1996; *Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków. Poradnik*. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1996. [7]
- [6] JĘDRCZAK A., 1996; *Beztlenowa przeróbka bioodpadów metodą „mokrą” i „suchą”*. Przegląd Komunalny. Część I; Nr 1, s. 16-19, Część II, Nr 2, s. 18-20.
- [7] JĘDRCZAK A. in., 1997; *Projekt Budowlany Zakładu Utylizacji Odpadów Komunalnych i Stabilizacji Osadów Ściekowych w Jędrzychowicach dla miasta i gminy Zgorzelec - ZAKŁAD nr 2*. PBP „EKOSYSTEM”, Sp. z o.o. w Zielonej Górze (kierownik zespołu).
- [8] JĘDRCZAK A., Butrymowicz T., Kowalczyk A., 1999a; *Wskaźniki nagromadzenia i skład grupowy odpadów w Zielonej Górze*. Badania niepublikowane. [8]
- [9] KÜBLER H., Rumphorst M., 1999; *Evaluation of processes for treatment of biowastes under the aspects of energy balance and co2-emission* II International symposium on anaerobic digestion of solid waste. Vol. I, Barcelona 1999, pp. 405-410. [10]
- [10] SCHÖN M., 1994; *Verfahren zur Vergärung organischer Rückstände in der Abfallwirtschaft*. Verlag E. Schmidt GmbH&Co., Berlin, S. 145. [5]
- [11] Ustawa o odpadach, Dz.U. Nr 96, poz. 592, z dnia 27.06.1997. [1]