

Zastosowanie procesów biotechnologicznych do utylizacji odpadów

Renata Przywarska
Krzysztof Pszczółka
Katedra Technologii i Urządzeń
Zagospodarowania Odpadów
Politechnika Śląska
Gliwice

1. Wprowadzenie

Dotychczasowy sposób gospodarowania odpadami komunalnymi, polegający głównie na ich składowaniu, powoduje w skali światowej negatywne skutki sanitarne, ekologiczne i gospodarcze.

Obecnie na świecie zmierza się w kierunku maksymalnego wykorzystania wytworzonych odpadów komunalnych drogą segregacji i kompleksowego przerobu, którego celem jest odzysk materiałów i energii. Kompleksowy przerób odpadów komunalnych polega na wstępnej segregacji odpadów, zastosowaniu metod unieszkodliwiania frakcji organicznej, a następnie — alternatywnie albo na spalaniu lub składowaniu w zależności od warunków lokalnych (1).

Do utylizacji organicznej frakcji odpadów znalazły zastosowanie procesy biotechnologicznego unieszkodliwiania — kompostowanie i produkcja biogazu. Przyszłościowy rozwój tych metod jest ściśle związany z rozwojem biotechnologii.

W ostatnich latach zmienia się rola oraz miejsce kompostowania w systemie gospodarki odpadami i ochrony środowiska. Generalnie odstępuje się od tradycyjnego kompostowania całej masy odpadów komunalnych. W związku z wprowadzeniem selektywnej zbiórki odpadów, do kompostowania przeznaczają się organiczną frakcję odpadów komunalnych (głównie odpady kuchenne i ogrodowe). Jest to skuteczny sposób zapobiegania zanieczyszczeniu kompostu, między innymi metalami ciężkimi, szkłem oraz tworzywami sztucznymi (2). Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że istnieją duże trudności w zakresie wprowadzania selektywnej zbiórki bioodpadów (3).

Udział składników organicznych w kompostowanej masie można zwiększyć dodając do przerabianych odpadów komunalnych, np. odpady organiczne pochodzące z przemysłu rolno-spożywczego. Wyniki badań w tym zakresie zostaną przedstawione w niniejszym artykule.

Pozyskiwanie i wykorzystywanie biogazu związane jest z nieustannie zachodzącymi reakcjami rozkładu biochemicznego w masie składowanych od-

padów komunalnych. Biogaz z odpadów komunalnych można uzyskać również w instalacjach przeznaczonych do fermentacji metanowej.

Proces fermentacji odpadów stałych na większą skalę stosowany jest w sektorze rolniczym już od kilkudziesięciu lat (4,5). W państwach Europy Zachodniej istniejące instalacje dotyczą przede wszystkim odzysku biogazu z wysypisk odpadów komunalnych.

W Polsce prowadzono dotychczas badania w zakresie uzyskiwania biogazu z rolniczych odpadów organicznych. W artykule przedstawione zostaną wyniki badań fermentacji odpadów komunalnych w powiązaniu z fermentacją metanową osadów ściekowych.

2. Kompostowanie odpadów komunalnych z udziałem składników organicznych

W literaturze pisze się na temat metod wytwarzania kompostu z odpadów z dodatkiem różnych komponentów organicznych oraz biochemicznych przemian zachodzących w procesie kompostowania (7 - 9).

Wśród odpadów przemysłowych nadających się do kompostowania na szczególną uwagę zasługują odpady przemysłu spożywczego. W celu dokonania wyboru odpowiednich komponentów do badań rozpoznano stan zagospodarowania odpadów w poszczególnych gałęziach przemysłu spożywczego. Rozpoznanie wykazało, że najczęściej wykorzystuje się te odpady do produkcji paszy, nie obejmuje to jednak całej masy powstających odpadów. W związku z tym wiele z nich trafia na wysypiska powodując zagrożenie ekologiczne.

Przy typowaniu odpadów do badań jako ich źródło brano pod uwagę zakłady położone w zasięgu kompostowni w Katowicach. W badaniach uwzględniono odpady przemysłu mięsnego, mleczarskiego, fermentacyjnego, owocowo-warzywnego, cukierniczego i olejowego. Przykładowo przedstawione zostaną wyniki badań procesu kompostowania odpadów komunalnych z odpadami przemysłu owocowo-warzywnego.

Reprezentatywne próby odpadów komunalnych pobrano na wysypisku, zgodnie z ogólnie przyjętą metodyką. Następnie, wydzielono z nich metale, szkło i ceramikę, a po wysuszeniu pozostałość rozdrobniono ręcznie i mechanicznie. Przygotowanie właściwych prób do badań polegało na wymieszaniu odpadów komunalnych z odpadami owocowo-warzywnymi. Kompostowanie przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych w zestawach naczyń Dewara. Do napowietrzania odpadów zastosowano sprężarki akwaryjne. Badania obejmowały serie składające się z prób o różnej ilości komponentu (10, 25, 50, 75% wagowych) oraz próby, do której odnoszono wyniki (odpady komunalne).

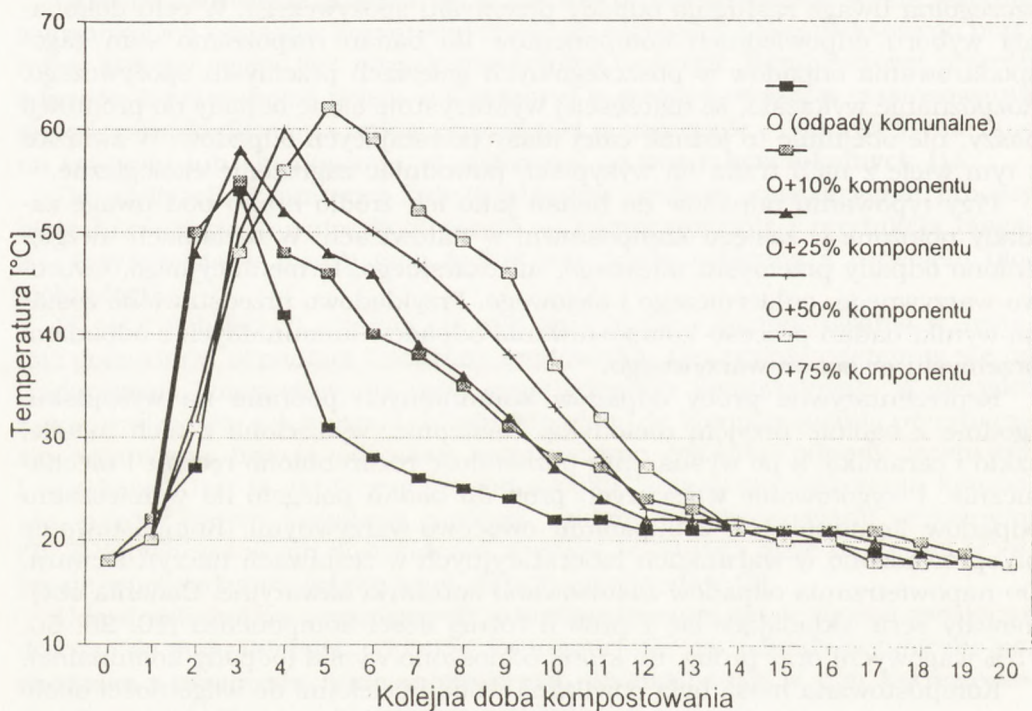
Kompostowana masa była dowilżana wodą i ściekami do wilgotności około 50% i zaszepiana kompostem. W czasie kompostowania wykonywano codziennie pomiary temperatury. Badania samozagrzewalności uważano za zakończone z chwilą wyrównania temperatury w komorach z temperaturą otoczenia.

W czasie trwania procesu kompostowania masę poddawano analizie chemicznej. Oznaczenie chemiczne wykonano zgodnie z obowiązującą w tym zakresie metodyką.

2.1. Omówienie wyników badań

Zmiany temperatury w czasie kompostowania stałych odpadów komunalnych (próba porównawcza „0”) oraz komunalnych z dodatkiem odpadów przemysłu owocowo-warzywnego przedstawiono na rys. 1. Wyniki analiz chemicznych podano w tab. 1. Temperatura w czasie procesu kompostowania odpadów komunalnych wzrastała od pierwszego do trzeciego dnia osiągając maksymalnie 54°C, a następnie malała. Czas kompostowania do osiągnięcia temperatury otoczenia wynosił 20 dni. Proces kompostowania stałych odpadów komunalnych charakteryzuje się następującymi właściwościami:

- zawartość wody utrzymuje się w granicach 51,3% do 54,6%,
- odczyn w granicach 6,8 – 7,1,
- zawartość rozkładalnej substancji organicznej (RSO) oraz zawartość węgla organicznego zmniejsza się odpowiednio od 35,66 do 18,83% oraz od 16,76 do 8,85%.



Rys. 1. Przebieg zmian temperatury w procesie kompostowania stałych odpadów komunalnych z dodatkiem odpadów przemysłu owocowo-warzywnego.

- zawartość azotu utrzymuje się w granicach 0,75% do 0,98%,
- stosunek C:N zmniejsza się z 17,1:1 do 11,8:1,
- zawartość fosforu i potasu mieści się odpowiednio w granicach 0,44 – 0,62% oraz 0,42 – 0,61%,
- zawartość związków humusowych wzrasta z 5,8 do 7,9%.

TABELA 1
WYNIKI ANALIZ CHEMICZNYCH ODPADÓW KOMUNALNYCH KOMPOSTOWANYCH
Z ODPADAMI PRZEMYSŁU OWOCOWO-WARZYWNEGO

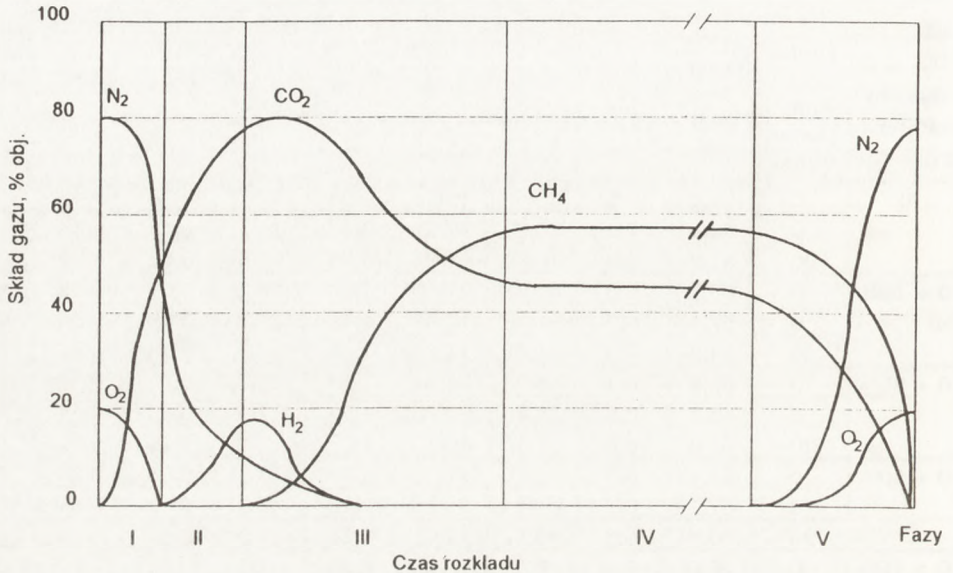
Symbol próby	Liczba dni kompostowania	Zawartość wody %	pH	RSO	C _{org}	N _{org}	C:N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Związki humusowe
				% s.m.				% s.m.		
0	0	54,6	6,8	35,66	16,76	0,98	17,1	0,48	0,42	5,8
	6	52,1	7,1	26,96	12,67	0,86	14,7	0,44	0,52	7,2
	20	51,3	6,9	18,83	8,85	0,75	11,8	0,62	0,61	7,9
0 + 10%	0	58,1	6,5	44,68	21,00	1,30	16,2	0,61	0,38	6,8
	6	57,4	6,7	31,23	14,68	1,16	12,7	0,68	0,45	7,9
	20	54,9	6,6	31,08	14,61	1,08	13,5	0,73	0,41	8,8
0 + 25%	0	56,8	6,4	45,34	21,31	1,38	15,4	0,57	0,37	7,6
	6	53,1	6,8	32,68	15,36	1,22	12,6	0,63	0,44	8,2
	20	52,9	6,6	32,13	15,10	1,18	12,8	0,71	0,41	9,0
0 + 50%	0	58,4	6,5	45,70	21,48	1,53	14,1	0,68	0,35	7,8
	6	57,1	6,7	44,32	20,83	1,36	15,3	0,71	0,41	8,4
	20	56,9	6,5	33,21	15,61	1,22	12,9	0,62	0,39	9,5
0 + 75%	0	59,5	6,6	46,59	21,90	1,25	17,5	0,61	0,39	7,9
	6	58,1	6,9	36,36	17,09	1,11	15,4	0,57	0,44	8,6
	20	57,5	6,8	34,55	16,24	1,09	14,9	0,70	0,41	9,8

Wyniki badań, tj. właściwy przebieg temperatury, odpowiedni czas trwania procesu i prawidłowa dynamika przemian fizycznych i chemicznych (np. rozkład 47% substancji organicznej oraz wzrost związków humusowych o 36%) wskazują na odpowiedni dobór odpadów komunalnych do badań.

Dla kompostowanych mieszanin zachowane były na ogół parametry wyjściowe. Uzyskane w procesie samozagrzewania maksymalne temperatury były wysokie i zawierały się w granicach 54 – 63°C. Zmniejszenie zawartości RSO dla wszystkich prób było duże i wynosiło od 26 do 30%. Wzrost związków humusowych wyniósł od 16 do 23%. Pozytywne wyniki badań pozwalają zakwalifikować odpady przemysłu owocowo-warzywnego do odpowiednich komponentów organicznych w procesie kompostowania, przy czym istnieje możliwość stosowania bardzo wysokich dawek tego komponentu.

3. Biogaz z wysypisk odpadów komunalnych

Teoretycznie wytwarzanie gazu w warunkach wysypiska komunalnego zachodzi w następujących po sobie fazach rozkładu (rys. 2), (7, 10): I — tlenowa, trwająca do wyczerpania tlenu z powietrza zawartego w wysypisku, oraz bez-tlenowe: II — fermentacja kwaśna, III — fermentacja metanowa niestabilna, IV — fermentacja metanowa stabilna.



Rys. 2. Zmiany składu gazu w zależności od wieku wysypiska.

Najdłużej trwa faza IV — około 20 lat, a rozpoczyna się po upływie 180 do 500 dni od rozpoczęcia procesu. Przewiduje się, że w tym okresie może nastąpić odzysk i utylizacja gazu. Gaz powstały w IV fazie składa się w 50 do 60% z metanu oraz w 40 do 50% z dwutlenku węgla. W jego skład wchodzi również inne składniki (siarkowodór, merkaptan etylowy, aldehyd octowy, amoniak), ale w ilościach śladowych. Zainteresowanie tym gazem nastąpiło przede wszystkim ze względu na bezpieczeństwo i higienę oraz na stosunkowo niewielkie szkody ekologiczne wywołane jego emisją.

W wielu krajach wystąpiły zjawiska migracji gazu na dalsze odległości i zagrożenie związane przede wszystkim z eksplozjami metanu z powietrzem — zanotowano wiele tragicznych wypadków. W Polsce miały miejsce jak dotąd dwa poważniejsze incydenty. Pierwszy w 1980 r. we Włocławku, gdzie przez teren zamkniętego już wysypiska poprowadzono drogę szybkiego ruchu — w studzienkach, które wraz z przewodami kanalizacji deszczowej i wodociągowej zaczęły spełniać rolę instalacji do odgazowywania wysypiska, zaczął

gromadzić się metan, przy czym jego koncentracja dochodziła do 5% (dolna granica wybuchowości), drugi na wysypisku w Nowosolnej, gdzie w wyniku wybuchu uszkodzony został budynek socjalny.

Na temat biogazu z wysypisk w literaturze krajowej znajdują się informacje oparte najczęściej na danych zagranicznych (11 – 14). Z danych literaturowych wynika, że 1 tona odpadów komunalnych zawiera około 200 kg substancji, które mogą ulec rozkładowi. Z ilości tej można otrzymać około 160 m³ gazu. Zależy to od indywidualnych właściwości wysypiska, tj. m.in. od wilgotności, rodzaju odpadów, a także zawartości substancji organicznych. Gaz z wysypisk jest potencjalnym źródłem energii. Istnieją stosunkowo proste metody wykorzystania gazu o niskiej (12 – 15 MJ/m³) i średniej (15 – 18 MJ/m³) kaloryczności — spalanie w urządzeniach odzysku energii cieplnej w postaci wody, pary i prądu elektrycznego.

Na świecie działa już około 500, w tym w krajach UE 172 instalacji do ujmowania i gospodarczego wykorzystania biogazu.

Dotychczas w kraju eksploatowano przede wszystkim stosunkowo niewielkie wysypiska bez ugniatania odpadów lub z bardzo niewielkim ich zagęszczeniem i problem biogazu prawie nie istniał.

Z chwilą wprowadzenia wymogu budowania dużych wysypisk o wysokim stopniu zagęszczania składowanych odpadów, oraz obowiązku rekultywacji tworzą się warunki do fermentacji substancji organicznej wewnątrz wysypiska, których efektem jest intensywniejsze powstawanie gazu. Pomimo niewielkich doświadczeń w warunkach polskich przystąpiono już do konkretnych badań w zakresie ujmowania i gospodarczego wykorzystywania gazu z wysypisk.

Przykładem wysypiska, gdzie prowadzi się tego typu badania eksploatacyjne jest obiekt zlokalizowany w Łodzi — Nowosolna.

W Siemianowicach Śl. trwa obecnie przy współpracy z włoską firmą DIFRABI eksploatacja wysypiska z odgazowaniem i wykorzystaniem biogazu.

Należy stwierdzić, że istnieje pilna potrzeba wprowadzenia w warunkach krajowych instalacji ujmowania biogazu na wysypiskach komunalnych dla zapobieżenia katastrofom nie zapominając jednak o energetycznych walorach biogazu.

4. Otrzymywanie biogazu z odpadów komunalnych w procesie fermentacji metanowej

W krajach Europy Zachodniej i w Stanach Zjednoczonych A.P. obserwuje się obecnie duże zainteresowanie odzyskiem energii w procesie fermentacji metanowej odpadów komunalnych. Funkcjonuje już szereg instalacji wykorzystujących biogaz z odpadów komunalnych, rolniczych i przemysłowych. Niektóre systemy polegają na przerobieniu całej masy odpadów komunalnych inne opierają się tylko na odpadach organicznych.

Uzasadniona jest potrzeba przeprowadzenia badań w zakresie fermentacji odpadów komunalnych w warunkach polskich.

Badania prowadzono w warunkach dynamicznych w skali laboratoryjnej. Zastosowana do badania procesu modelowa instalacja laboratoryjna składa się z dwóch komór fermentacyjnych (kontrolnej i roboczej) każda o pojemności 21 dm³ i z oprzyrządowaniem (mieszadło dostosowane do ciągłego mieszania zawartości komory, termostat z wężownicą do utrzymywania temperatury mieszaniny fermentacyjnej 33°C, termometr, urządzenie pomiarowe służące do ujmowania gazu), izolowana termicznie. Szczelność całego układu zapewnia beztlenowe warunki procesu.

Przygotowanie odpadów do badań polegało na suszeniu, oddzieleniu nieorganicznych składników (metale, szkło, inne części mineralne), zmieleniu wysuszonego materiału w młynku udarowym do granulacji około 2 mm. Jako materiału zaszczipiającego zastosowano osad przefermentowany, pochodzący z komory fermentacyjnej oczyszczalni ścieków.

Badania przeprowadzono dla mieszaniny odpadów z osadem przefermentowanym w stosunku 4:1 w przeliczeniu na suchą masę organiczną.

Równoległe prowadzono badania kontrolne dla osadu przefermentowanego.

W celu scharakteryzowania wsadu do komór mieszaninę odpadów i osadów poddawano analizie fizykochemicznej.

W czasie procesu fermentacji rejestrowano dobową ilość biogazu, określano jego skład (w rozszerzonym aparacie Orsata) oraz kaloryczność (na podstawie udziału objętościowego składników). Codziennie wykonywano oznaczenia następujących parametrów kontrolnych biomasy: odczyn, zasadowość ogólną, lotne kwasy tłuszczowe oraz co 7 dni oznaczenia: uwodnienie, sucha pozostałość ogólna, ogólna zawartość substancji organicznych oraz sucha pozostałość mineralna, węgiel organiczny, metale (chrom, cynk, kadm, kobalt, mangan, miedź, nikiel, ołów, sód, wapń, żelazo). Oznaczenia fizykochemiczne wykonywano zgodnie z obowiązującymi przepisami i normami. Metale oznaczono za pomocą spektrofotometru do absorpcji atomowej. Stopień fermentacji określano za pomocą modułu fermentacji.

4.1. Omówienie wyników badań

Fermentacja odpadów komunalnych prowadzona była przez 90 dni. Okres uruchamiania komory wynosił około 3 tygodnie.

Niektóre wyniki badań fizykochemicznych przebiegu fermentacji zawiera tab. 2. Wynika z niej, że biomasa posiadała odpowiednie parametry wyjściowe oraz, że proces fermentacji przebiegał prawidłowo. Optymalny zakres pH wynoszący 6,8 – 7,5 utrzymywano przez wapnowanie. Efektem procesu był biogaz i rozkład związków organicznych.

Przebieg zmian objętości biogazu oraz procentowy udział metanu i dwutlenku węgla przedstawiono na rys. 3 i 4. Objętość biogazu wynosiła 343 ndm³/kg s.m.o., tj. 240 ndm³/kg odpadów komunalnych. Gaz fermentacyjny zawierał m.in. 19,4 – 49% dwutlenku węgla, 29,3 – 63,8% metanu. Po wpracowaniu komór fermentacyjnych stężenie metanu w biogazie utrzymywało się na poziomie powyżej 60%. Ciepło spalania biogazu wynosilo 14,2 – 23,2 kJ/nm³.

W wyniku fermentacji odpadów komunalnych oprócz cennego biogazu uzyskano zmniejszenie zawartości suchej pozostałości organicznej od 67,1 do 57,3%. Zawartość substancji mineralnych wzrosła od 32,9 do 42,7% s.m., moduł fermentacji wyniósł 34,2%. W biomacie oznaczono zawartość metali uzyskując następujące wyniki w mg/g s.m.:

chrom — 0,057; cynk — 0,117; kadm — 0,078; kobalt — 0,006; mangan — 0,119; miedź — 0,106; nikiel — 0,018; ołów — 0,146; żelazo — 6,618. Zawartość metali ciężkich w biomacie nie przekracza granicy, przy której widoczne jest wyraźne zahamowanie procesu fermentacji (15).

TABELA 2
WYNIKI ANALIZY FIZYKOCHEMICZNEJ BIOMASY W CZASIE TRWANIA PROCESU

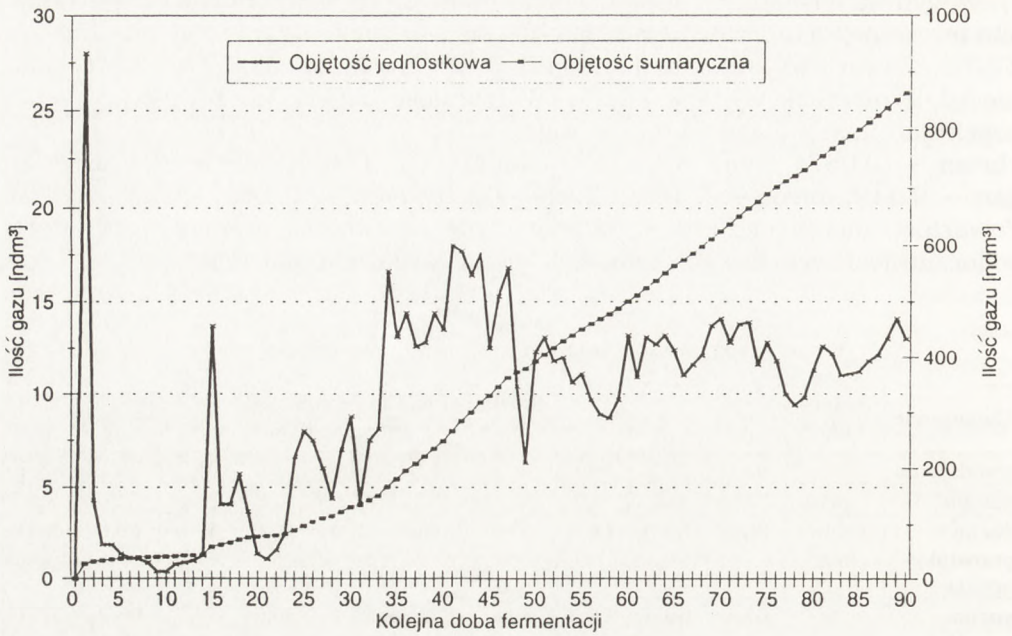
Oznaczenie	Jednostka	Kolejne tygodnie fermentacji									
		0	3	4	5	6	7	8	9	10	13
uwodnienie	%	92,0	93,7	94,0	94,3	94,5	94,8	95,0	95,1	95,1	95,2
odczyn	pH	7,8	6,5	6,9	7,0	7,0	6,9	7,1	7,4	7,3	7,4
sucha pozostałość ogólna	g s.m./dm ³	80,0	63,0	60,0	57,0	55,0	52,0	50,0	49,0	49,0	48,0
sucha pozostałość organiczna	%	67,1	66,3	65,2	63,1	62,2	61,1	59,5	58,7	58,2	57,3
	g s.m./dm ³	53,7	41,8	39,1	36,0	34,2	31,8	29,8	28,8	28,5	27,5
sucha pozostałość mineralna	%	32,9	33,7	34,8	36,9	37,8	38,9	40,5	41,3	41,8	42,7
	g/dm ³	26,3	21,2	20,9	21,0	20,8	20,2	20,2	20,2	20,5	20,5
moduł fermentacji	%	0,0	3,5	8,1	16,2	19,3	23,0	28,0	30,3	31,7	34,2
węgiel organiczny	% s.m.	20,5	18,4	16,2	15,8	15,4	14,2	13,8	13,6	13,1	12,5
	g/dm ³	16,4	11,6	9,7	9,0	8,5	7,4	6,9	6,7	6,4	6,1

Uzyskaną w procesie fermentacji biomase oceniono w aspekcie rolniczego wykorzystania. Zawartości azotu organicznego oraz fosforanów w przefermentowanej biomacie wynoszą odpowiednio ok. 3% s.m. i ok. 1,5% s.m., co jest zgodne z kryterium azotowym i fosforowym, dotyczącym możliwości wykorzystania przefermentowanej biomasy dla celów rolniczych. Ilości metali, szczególnie tych, które zaliczane są do grupy o dużym zagrożeniu dla środowiska (cynk, chrom, ołów, miedź, nikiel i kadm) spełniają odpowiednie kryterium dotyczące rolniczego wykorzystania (16).

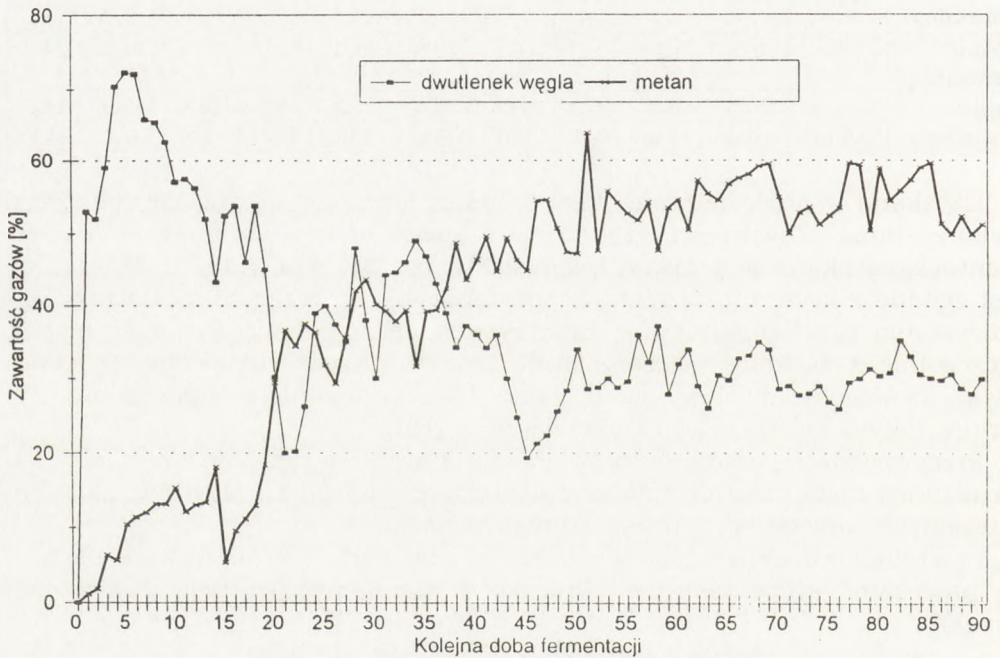
Przeprowadzone badania potwierdzają możliwość zastosowania procesu fermentacji metanowej do unieszkodliwiania organicznej frakcji odpadów komunalnych, połączonej z uzyskiwaniem biogazu.

Przeróbka odpadów na kompost oraz pozyskiwanie i wykorzystanie biogazu są procesami, które obok celu unieszkodliwiania uwzględniają dwa istotne aspekty:

- zwiększenie wymagań odnośnie do ochrony środowiska,
- wykorzystanie zawartych w odpadach materiałów wartościowych i energii.



Rys. 3. Przebieg zmian objętości biogazu w procesie fermentacji.



Rys. 4. Procentowy udział metanu i dwutlenku węgla w biogazie.

Literatura

1. Przywarska R., Cebula J., Loska K., (1993), *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 3, 155, 53 – 55.
2. Przywarska R., (1993), *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 4, 156, 70 – 73.
3. Przywarska R., Pszczołka K., (1993), *Materiały międzynarodowej konferencji naukowo-technicznej pt. „Nowoczesna gospodarka odpadami”*, Arka Konsorcjum, Poznań.
4. Buraczewski G., (1989), *Fermentacja metanowa*, PWN, Warszawa.
5. Buraczewski G., Bartoszek B., (1990), *Wytworzenie i wykorzystanie biogazu*, PWN, Warszawa.
6. Piger J. M., (1981), *La production de methane a partir des oratures-service collectivites locales de J'A.N.R.F.D.*, 4.
7. Kempa E. S., (1983), *Gospodarka odpadami miejskimi*, Arkady, Warszawa.
8. Hirschheydt A. V., (1981), *Müll und Abfall*, 7.
9. Viel M., Sayag D., Andre L., (1986), *Optimisation of agricultural industrial wastes management through in – vessel composting*, J.C.A. Universita Napoli.
10. Willumsen H. G., (1991), *Materiały seminarium nt.: „Pozyskiwanie gazu z wysypiska w Nowosolnej”*, MGPIB, OBROM w Łodzi, Warszawa.
11. Pietrzyk Z., Stypka T., (1987), *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 6, 127 – 129.
12. Piotrowska H., (1990), *Człowiek i Środowisko*, 1, 81 – 115.
13. Siuta J., Wasiak G., Litwin B., (1983), *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2, 50 – 51.
14. Grzeszczak A., (1992), *Materiały II międzynarodowej konferencji nt. „Utrzymywanie czystości i gospodarka odpadami na terenach wiejskich”*, PZITS, Poznań, 652, 26 – 29.
15. Lewandowska-Suschka A., (1984), *Zastosowanie procesu fermentacji metanowej dla osadów ściekowych zawierających znaczne ilości metali ciężkich*, w: *Problemy zagospodarowania odpadów stałych w warunkach aglomeracji śląskiej*, PZITS, Warszawa-Katowice, 52 – 62.
16. Cebula J., (1981), *Kryterium przydatności osadów ściekowych w rolniczym ich wykorzystaniu*, IMiGW, Warszawa.

The application of biotechnological processes to wastes utilization

Summary

The future development of the biotechnologies connected with wastes utilization concerns the wastes recovery into compost and the process of obtaining and applying of the biogas.

In the era of the world economic crisis, obtaining the biogas from the wastes turns out to be one of the most effective methods of neutralizing them.

The processes mentioned above were discussed in the article on the basis of literary sources and author's own research.

Key words:

biogas, waste utilization.

Adres dla korespondencji:

Renata Przywarska, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice.