



Wpływ rozdrobnienia makulatury oraz odpadów kuchennych na wydajność procesu fermentacji metanowej

Andrzej Jędrczak, Dariusz Królik
Uniwersytet Zielonogórski

1. Wstęp

O prawidłowym przebiegu fermentacji decydują: rodzaj substratu, obecność odpowiednich populacji mikroorganizmów oraz parametry środowiskowe, wpływające na ich aktywność i szybkość przemian. W literaturze obszernie opisano wpływ na efektywność procesu fermentacji parametrów takich, jak: pH, temperatura, obciążenie komór ładunkiem organicznym i czas fermentacji oraz stężenia składników pokarmowych i związków toksycznych zarówno dla procesów „mokrych” i „suchych”, jak i przebiegających w układach jedno- lub w dwustopniowych, w sposób ciągły lub okresowy [1, 2, 4÷7].

Informacje o wpływie na przebieg fermentacji wymiarów cząstek odpadów są dotychczas nieliczne i stosunkowo skąpe. Wiadomo jedynie, że zmniejszenie rozmiarów cząstek i wynikające stąd zwiększenie ich powierzchni właściwej powoduje wzrost szybkości hydrolizy, pierwszego etapu fermentacji odpadów organicznych [3]. Efektem jest

zwiększenie produkcji gazu, zwłaszcza w przypadku fermentacji substratów o wysokiej zawartości materiałów o niskiej podatności na rozkład biologiczny. Według Palmowskiego i Müllera [8] w przypadku małych cząstek, o powierzchni właściwej większej niż $20 \text{ m}^2/\text{kg}$ wpływ ten jest niewielki, rośnie natomiast gwałtownie przy rozdrabnianiu cząstek dużych, o powierzchni właściwej od 3 do $20 \text{ m}^2/\text{kg}$. Wzrost szybkości produkcji gazu prowadzi do skrócenia czasu fermentacji, co stwarza możliwość zmniejszenia wielkości komory bez strat w produkcji gazu. Negatywnym efektem rozdrobnienia cząstek jest wzrost oporu właściwego przefermentowanych odpadów.

W artykule przedstawiono wpływ stopnia rozdrobnienia makulatury i odpadów kuchennych na wydajność procesu fermentacji metanowej prowadzonej w mezo- i termofilowym zakresie temperatury. Odpady objęte badaniami są głównymi ulegającymi biodegradacji składnikami odpadów komunalnych, o różnej podatności na biologiczny rozkład. Według Imhoffa [4] jednostkowa produkcja biogazu (JPB) z makulatury w procesach mezofilowych wynosi $220 \text{ dm}^3/\text{kg smo}$ ($260 \text{ m}^3/\text{kg smo}$) przy zawartości metanu 63% (v/v). JPB z odpadów kuchennych (pozostałości owoców i warzyw) wynosi od 350 do $500 \text{ dm}^3/\text{kg smo}$ przy zawartości metanu w gazie 60÷75% [5] lub od 400 do $700 \text{ dm}^3/\text{kg smo}$ przy zawartości metanu 58÷65% [9].

2. Metodyka badań

Badania wykonano, w skali laboratoryjnej, w 12 stanowiskowym „fermentatorze” do fermentacji okresowej. Każde stanowisko składa się z trzech elementów: komory fermentacyjnej – butla o pojemności 1 dm^3 , biurety gazowej do pomiaru ilości wyprodukowanego biogazu oraz butli z nasyconym roztworem chlorku sodu do wyrównywania ciśnień (rys. 1).

Reaktory, po napełnieniu surowcem, łącono szczelnie z biuretami gazowymi i ustawiano w wannie fermentatora (termostacie). Termostat stanowiła metalowa wanna wypełniona wodą. W wannie zamontowano pompy do cyrkulacji wody oraz dwa termometry kontaktowe połączone z urządzeniem sterującym, które w zależności od wskazań termometrów kontrolowało pracę grzałek (włączało lub wyłączało je). Termostat zapewniał utrzymywanie temperatury mieszaniny w reaktorach z dokładnością 1°C .



Rys. 1. Schemat stanowiska do badań

Fig. 1. Scheme of the test stand

2.1. Charakterystyka surowców

Próbki do badań stanowiły mieszaniny następujących składników (tab. 1):

- przefermentowane osady ściekowe z WKF w oczyszczalni ścieków w Gubin-Guben, dodawane w celu zaszczeplenia mieszaniny,
- roztwór NaHCO_3 – wodorowęglan sodu, dodawany w celu buforowania wsadu,
- woda

oraz badany odpad:

- makulatura (papier szary i gazetowy, zmieszane w proporcji wagowej 1:1), o różnym stopniu rozdrobnienia (tab. 2) lub
- odpady kuchenne (jabłko, marchew, ziemniak, zmieszane w proporcji wagowej 1:1:1), o różnym stopniu rozdrobnienia (tab. 2).

Tabela 1. Charakterystyka próbek do badań**Table 1.** Characteristics of the test samples

Wyszczególnienie	Jednostka	Numer próbki							
		Fermentacja mezofilowa				Fermentacja termofilowa			
		Makulatura		Odpady kuchenne		Makulatura		Odpady kuchenne	
		P-1	P-2÷P-6	P-1	P-2÷P-6	P-1	P-2÷P-6	P-1	P-2÷P-6
Odpady	g sm	–	11,1	–	10,3	–	11,0	–	11,5
Osad ściekowy	dm ³	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700
	g sm	15,6	15,6	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1
Bufor	dm ³	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
Woda	dm ³	0,167	0,156	0,153	0,142	0,167	0,156	0,167	0,156
Objętość próbki	dm ³	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Zawartość sm osadów i odpadów	%	1,56	2,67	1,41	2,44	1,41	2,51	1,41	2,46
Iloraz smo odpadów do smo osadów	–	–	0,91	–	1,09	–	0,91	–	1,22

2.2. Zakres i kontrola procesu

Fermentację mezofilową makulatury oraz odpadów kuchennych prowadzono przez kolejno 25 i 26 dni w temperaturze ok. 36°C, a termofilową przez 21 dni w temperaturze ok. 55°C.

Proces fermentacji metanowej kontrolowano mierząc każdego dnia objętości wyprodukowanego biogazu i okresowo zawartość metanu i ditlenku węgla w biogazie. Skład gazu oznaczano aparatem ALTER WAG-1, po nagromadzeniu się go w kolumnie w ilości umożliwiającej dokonanie pomiaru.

Table 2. Wymiary i powierzchnia ziarn

Tabela 2. Dimensions and grain size

Parametry \ Numer próbek	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
Stopień rozdrobnienia, sześciąt o boku w mm	ok. 1	2,5	5,0	10,0	15,0
Wysokość ziarna (mm)	ok. 0,1	2,5	5,0	10,0	15,0
Powierzchnia ziarna makulatury, w mm ²	2,4	13,5	52,0	204,0	456,0
Powierzchnia ziarna odpadów kuchennych, w mm ²	6,0	37,5	150,0	600,0	1350,0

Właściwości fermentowanego materiału kontrolowano przed i po fermentacji oznaczając w próbkach m.in.: pH, suchą masę, suchą masę organiczną, OWO (ogólny węgiel organiczny), ChZT (chemiczne zapotrzebowanie na tlen). Oznaczenia wykonano zgodnie z metodykami określonymi w PN.

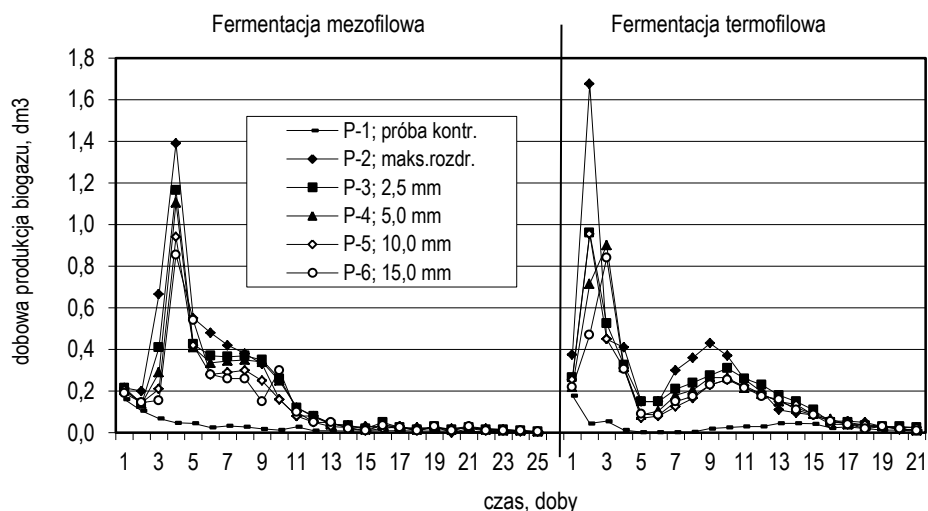
3. Wyniki

3.1. Wydajność produkcji biogazu dla makulatury oraz odpadów kuchennych o różnym rozdrobnieniu

Wyniki pomiarów dobowej produkcji biogazu z badanych mieszanin, w procesach fermentacji mezofilowej i termofilowej, przedstawiono na rysunkach 2 i 3.

Podczas fermentacji mezofilowej próbek z makulaturą, niezależnie od jej rozdrobnienia, w 4 dobie prowadzenia procesu wystąpiła maksymalna produkcja biogazu, która wynosiła od 0,86 (P-6) do 1,39 dm^3 (P-2). W okresie od 5 do 10 doby produkcja biogazu ze wszystkich próbek była nadal wysoka i wynosiła od 0,15 do 0,55 dm^3/d , a po 11 dobie zmalała i nie przekraczała 0,08 dm^3/d , w żadnej z próbek.

Dla fermentacji termofilowej zaobserwowano dwa maksima. Pierwsze wystąpiło w 2 lub w 3-ciej dobie, z maksymalną dobową produkcją biogazu od 0,47 (P-6) do 1,68 dm^3 (P-2). Drugie maksimum wystąpiło w 9 lub 10 dobie z produkcją biogazu w zakresie od 0,23 do 0,43 dm^3 . Od 13 doby trwania doświadczenia produkcja biogazu stale malała i w 18 dniu nie przekraczała wartości 0,05 dm^3/d w żadnej z próbek. W obu procesach w próbie kontrolnej produkcja biogazu była niska i systematycznie malała.



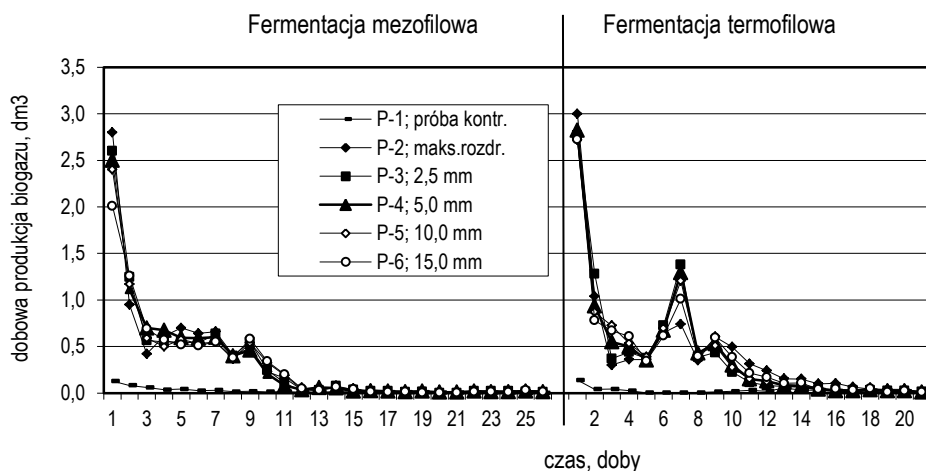
Rys. 2. Dobowa produkcja biogazu z makulatury o różnym rozdrobnieniu w procesie fermentacji mezo- i termofilowej

Fig. 2. Daily production of biogas generated by mesophilic and thermophilic digestion of waste paper of various size reduction

W przypadku fermentacji mezofilowej odpadów kuchennych (rys. 3) przebieg krzywych obrazujących zmiany dobowej produkcji biogazu

w czasie trwania badań był niemal identyczny. W pierwszych trzech dniach produkcja dobową biogazu malała od wartości bardzo wysokich, od 2,01 (P-6) do 2,80 dm³/d (P-2), do odpowiednio od 0,42 do 0,70 dm³/d i utrzymywała się na tym poziomie przez 6 dni. Następnie malała, najpierw szybko do ok. 0,05 dm³/d w 12 dniu, a następnie wolniej do 0,01÷0,02 dm³/d w ostatnim dniu badań.

W przypadku fermentacji termofilowej zaobserwowano dwa maksima. Najwyższa produkcja dobową biogazu miała miejsce w pierwszej dobie trwania procesu i mieściła się w przedziale od 2,83 (P-4) do 3,00 dm³/d (P-2). W kolejnej dobie nastąpił gwałtowny spadek produkcji gazu ze wszystkich próbek. W 5 dniu badań wynosiła ona od 0,35 dm³/d (P-6) i ok. 0,39 dm³/d (P-5). Od 6 doby produkcja biogazu rosła osiągając w dobie 7 drugie maksimum dla wszystkich próbek, w dm³/d: 0,74 (P-2), 1,38 (P-3), 1,30 (P-4), 1,21 (P-5) i 1,01 (P-6). W kolejnych dniach produkcja biogazu ponownie malała i w ostatnim dniu badań wynosiła około 0,01 dm³/d.



Rys. 3. Dobowa produkcja biogazu z odpadów kuchennych o różnym rozdrobnieniu w procesie fermentacji mezo- i termofilowej

Fig. 3. Daily production of biogas generated by mesophilic and thermophilic digestion of kitchen waste of various size reduction

Produkcja dobowa biogazu z próbki kontrolnej podczas procesu systematycznie malała od 0,13 dm³/d do zera w 26 dobie (fermentacja mezofilowa) oraz od 0,14 do 0,003 dm³/d (fermentacja termofilowa).

3.2. Zawartość metanu w biogazie

Zawartość metanu w analizowanych próbkach biogazu z makulatury oraz odpadów kuchennych przedstawiono w tabelach 3 i 4. Podczas fermentacji mezofilowej makulatury skład chemiczny biogazu mierzono 4-krotnie, w 3, 4, 7 i ostatnim dniu trwania doświadczenia. W okresie trwania fermentacji termofilowej skład chemiczny biogazu mierzono 4-krotnie w 2, 4, 10 i ostatnim dniu trwania doświadczenia (tab. 3).

Tabela 3. Średnie zawartości metanu w biogazie z procesów fermentacji mezofilowej i termofilowej próbek z makulaturą

Table 3. Average methane content in the biogas produced by mesophilic and thermophilic digestion of the samples of waste paper

Nr próbki	Zawartość metanu w % (v/v), w kolejnych dniach badań																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
Fermentacja mezofilowa																												
P-1	75																											
P-2	50		28		43																					69		
P-3	38				44																						62	
P-4	37				43																						62	
P-5	42				43																						64	
P-6	46				41																						69	
Fermentacja termofilowa																												
P-1	80																											
P-2	23		32		69																						89	
P-3	32		27		63																							82
P-4	31		25		62																							83
P-5	27		29		63																							83
P-6	28		27		55																							79
																												-
																												-
																												-
																												-

Zawartość metanu w biogazie w małym stopniu zależała od stopnia rozdrobnienia makulatury i rosła w miarę upływu czasu trwania procesu zarówno podczas fermentacji mezofilowej, jak i termofilowej.

W gazie wytworzonym w pierwszych 7 dniach fermentacji mezofilowej średni udział metanu w biogazie oscylował wokół wartości 40% (v/v) a w okresie od 8 do 25 doby – mieścił się w zakresie od 62 do 69% (v/v).

W procesie fermentacji termofilowej udział metanu w biogazie zgromadzonym z pierwszych 4 dni fermentacji wynosił od 23 do 32% (v/v). W gazie wytworzonym w dniach od 5 do 10 średnie stężenie metanu wzrosło i wahało się od 55 do 69% (v/v), a w biogazie z dni od 11 do od 21, aż od 79 do 89% (v/v).

Średni udział metanu w biogazie wyprodukowanym z próbki kontrolnej wynosił 75 (fermentacja mezofilowa) i 80% (v/v) (fermentacja termofilowa).

Podczas fermentacji mezofilowej próbek z odpadem kuchennym skład chemiczny biogazu mierzono 5-krotnie, w czasie badań fermentacji termofilowej 7-krotnie, a w próbkach kontrolnych jeden raz (tab. 4).

Tabela 4. Średnie zawartości metanu w biogazie z procesu fermentacji mezo- i termofilowej mieszanin owoców i warzyw

Table 4. Average methane content in the biogas produced by mesophilic and thermophilic digestion of the mixtures of fruits and vegetables

Nr próbki	Zawartość metanu w % (v/v), w kolejnych dniach badań																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Fermentacja mezofilowa																											
P-1	85																										
P-2	13	35		58				74																			75
P-3	10	27		55				74																			74
P-4	12	30		55				73																			74
P-5	9	22		54				73																			74
P-6	9	23		51				72																			76
Fermentacja termofilowa																											
P-1	87																										
P-2	19	39	43	52	68	79									89												
P-3	18	30	42	64	76	85									91												
P-4	13	34	39	59	76	84									90												
P-5	11	31	38	62	77	84									90												
P-6	11	30	36	59	74	82									90												

Zawartość metanu w biogazie wytwarzanym z próbek z odpadami w pierwszym dniu fermentacji mezofilowej wynosiła od 9 (P-5 i P-6) do 13% (v/v) (P-2) i wzrosła do wartości od 74 (P-3, P-4 i P-5) do 76% (v/v) (P-6) w ostatnim dniu trwania doświadczenia. Podczas fermentacji termofilowej podobnie jak podczas fermentacji mezofilowej udziały metanu w biogazie wytwarzanym w pierwszym dniu były niskie, od 11 do 19% (v/v). W każdym następnym pomiarze odnotowano wzrost średnich

udziałów metanu w gazie. Biogaz nagromadzony z okresu od 10 do 21 dnia badań zawierał aż ok. 90% (v/v) metanu.

W próbkach kontrolnych średnia zawartość metanu w biogazie wynosiła kolejno 85 i 87% (v/v).

3.3. Właściwości fizyczno-chemiczne mieszanin po fermentacji

Stopień rozkładu substancji organicznych zawartych w makulaturze oraz w owocach i warzywach w wyniku fermentacji próbek odpadów o różnym uziarnieniu, wyrażony jako zmniejszenie zawartości suchej masy, suchej masy organicznej, ogólnego węgla organicznego przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Stopień rozkładu suchej masy, suchej masy organicznej oraz OWO podczas fermentacji mezofilowej i termofilowej próbek makulatury oraz odpadów kuchennych

Table 5. The degree of the degradation of the dry matter, dry organic matter and TOC during mesophilic and thermophilic fermentation of paper and kitchen waste

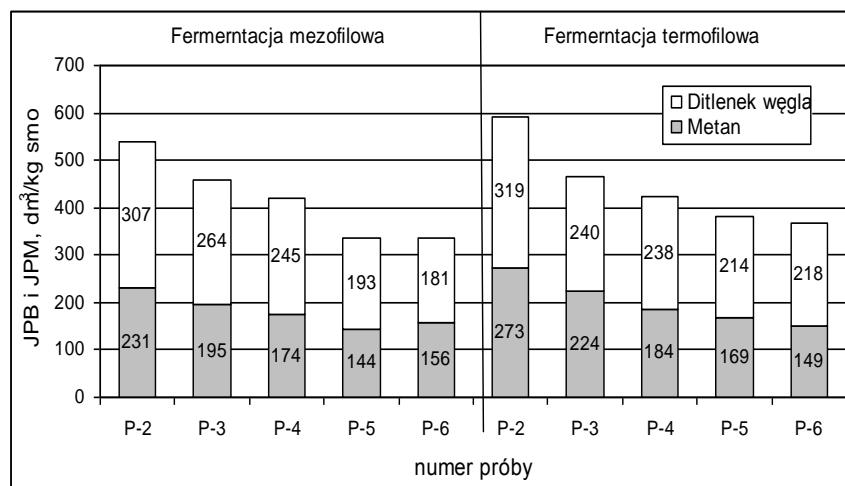
Numer próbki	Stopień rozkładu, %											
	Makulatura						Odpady kuchenne					
	Fermentacja mezofilowa			Fermentacja termofilowa			Fermentacja mezofilowa			Fermentacja termofilowa		
	Sm	smo	OWO	sm	smo	OWO	sm	smo	OWO	sm	smo	OWO
P-2	32,3	52,5	46,7	35,5	57,2	50,1	76,3	78,0	94,4	73,4	77,7	91,4
P-3	28,8	43,7	38,5	26,4	43,1	40,2	74,9	76,6	88,4	71,5	76,1	87,9
P-4	25,9	41,9	37,4	24,7	41,5	36,7	74,6	76,8	92,8	71,6	77,0	89,1
P-5	21,9	33,7	30,2	22,1	37,2	31,2	73,3	74,5	95,0	72,2	76,1	88,7
P-6	21,9	33,7	27,4	22,1	35,9	31,2	71,7	73,4	88,2	70,8	75,1	87,7

Zmniejszenie wielkości cząstek miało znaczący wpływ na rozkład substancji organicznych zawartych w makulaturze. Stopień rozkładu odpadów malał ze wzrostem wielkości cząstek zarówno w procesie fermentacji mezofilowej, jak i podczas fermentacji termofilowej. W procesie fermentacji mezofilowej zawartość suchej masy w próbkach zmniejszyła się o – od 21,9 (P-6) do 32,3% (P-2), suchej masy organicznej od 33,7 (P-6) do 52,5% (P-2) i OWO – od 27,4 (P-6) do 46,7% (P-2). W procesie fermentacji termofilowej w porównaniu z fermentacją mezofilową stopień rozkładu suchej masy organicznej i OWO, w próbkach o tym samym rozdrobnieniu, był porównywalny (P-3 i P-4) lub do 14% wyższy. Zmieszenie zawartości suchej masy kształtowało się podobnie.

Stożenie rozkładu odpadów kuchennych w procesie fermentacji mezofilowej był bardzo wysoki zarówno podczas fermentacji mezofilowej, jak i termofilowej. Zawartości w próbkach suchej masy, suchej masy organicznej i OWO wprawdzie malały ze wzrostem wielkości cząstek, ale zmiany te były niewielkie. Zawartość suchej masy we wszystkich próbkach zmniejszyła się o ponad 70%, suchej masy organicznej o ponad 73%, a OWO o ponad 87%, zarówno podczas fermentacji mezo-, jak i termofilowej.

4. Dyskusja wyników

Wartości jednostkowej produkcji biogazu (JPB) i jednostkowej produkcji metanu (JPM) uzyskane w badaniach fermentacji próbek makulatury oraz odpadów kuchennych w warunkach mezofilowych i termofilowych przedstawiono na rysunkach 4 i 5.



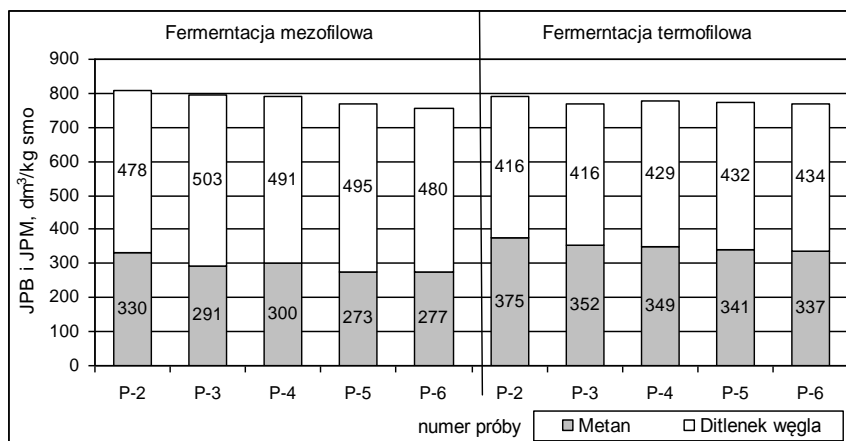
Rys. 4. Jednostkowa produkcja biogazu i metanu w procesie mezofilowej i termofilowej fermentacji makulatury

Fig. 4. Unit biogas production during mesophilic and thermophilic digestion of paper waste

Najwyższą JPB podczas fermentacji mezofilowej odpadów makulatury uzyskano dla próbki o maksymalnym rozdrobnieniu odpadu P-2 (538 dm³/kg smo), a najniższą dla próbki o największych wymiarach P-6

(337 dm³/kg smo). JPM przyjmowała wartości od 231 dm³/kg smo (P-2) do 144 dm³/kg smo (P-5). Podczas fermentacji termofilowej najwyższą JPB osiągnięto również dla próby P-2 (592 dm³/kg smo), a najniższą dla P-6 (367 dm³/kg smo). JPM przyjmowała wartości od 273 dm³/kg smo (P-2) do 149 dm³/kg smo (P-6).

JPB z odpadów kuchennych o maksymalnym rozdrobieniu w procesie fermentacji mezofilowej wynosiła 808 dm³/kg smo, a podczas fermentacji termofilowej 791 dm³/kg smo (rys. 5). Wraz ze wzrostem rozmiarów ziaren odpadów JPB zmalała do 757 dm³/kg smo (P-6) w procesie fermentacji mezofilowej i do 768 dm³/kg smo (P-3) i 771 dm³/kg smo (P-6).



Rys. 5. Jednostkowa produkcja biogazu i metanu w procesie mezofilowej i termofilowej fermentacji odpadów kuchennych

Fig. 5. Unit biogas production during mesophilic and thermophilic digestion of kitchen waste

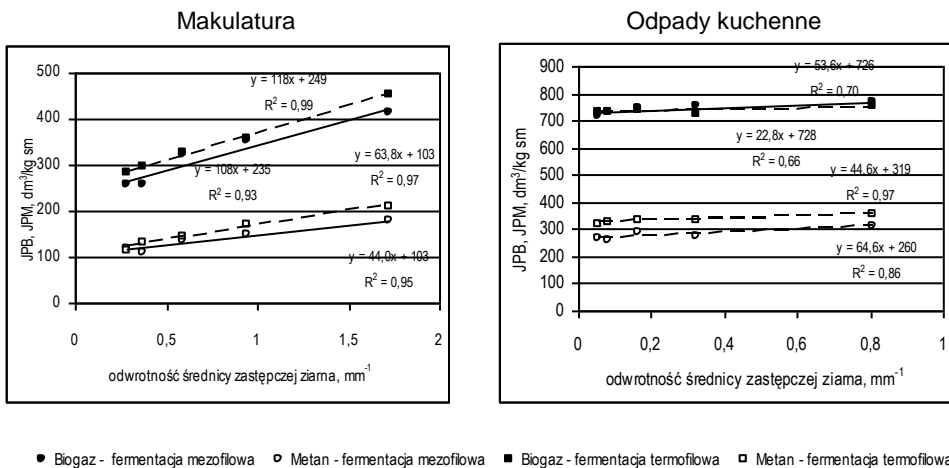
JPM z próbki o maksymalnym rozdrobieniu (P-2) wynosiła 330 dm³/kg smo podczas fermentacji mezofilowej i 375 dm³/kg smo podczas fermentacji termofilowej. Malala ona wraz ze wzrostem wymiarów ziarna odpadów do 273 dm³/kg smo (P-5) podczas fermentacji mezofilowej i do 337 dm³/kg smo (P-6) w procesie fermentacji termofilowej.

JPB uzyskana w procesie mezofilowym dla próbek z makulaturą była od 1,2 (P-5 i P-6) do 1,9 (P-2) razy wyższa od wartości podanej

przez Imhoffa w odniesieniu do suchej masy i odpowiednio od 1,3 do 2,1 razy wyższa w odniesieniu do suchej masy organicznej [4]. Był to jednak gaz znacznie uboższy w metan. JPM z papieru stanowiła od 80% (P-5) do 130% (P-2) wartości podanej przez Imhoffa w odniesieniu do suchej masy i od 90% (P-5) do 140% (P-2) wartości odniesionej do suchej masy organicznej.

JPB z badanych odpadów kuchennych była o ok. 90% wyższa od średniej wartości podawanej przez Jędrzaka [5] i o ok. 40% wyższa od średniej wartości podawanej przez Wilfert'a i Schattauera [9]. Uzyskiwany biogaz był jednak bardzo ubogi w metan – 37% (v/v). W efekcie wartości JPM wyznaczone w badaniach dla próbek odpadów kuchennych mieściły się w zakresach podawanych w literaturze. Były one od 10% (P-2) do 30% (P-6) niższe od wartości średniej podawanej przez Wilferta i Schattauera [9] i równe (P-5 i P-6) lub do 20% wyższe (P-2) od wartości średniej podawanej przez Jędrzaka [5].

Na rysunku 6 przedstawiono zależności JPB i JPM z makulatury (po lewej stronie rysunku) oraz owoców i warzyw (po prawej stronie rysunku) od odwrotności średnicy zastępczej ziarna.



Rys. 6. Zależność jednostkowej produkcji biogazu i metanu od średnicy zastępczej ziarna odpadów makulatury i odpadów kuchennych

Fig. 6. Dependence between unit biogas and methane production and hydraulic diameter of paper and kitchen waste

Dla makulatury zarówno JPB i JPM rosły liniowo ze spadkiem średnicy zastępczej ziarna w doświadczeniach prowadzonych zarówno w mezofilowym, jak i termofilowym zakresie temperatury. Współczynniki determinacji dla większości zależności były bardzo wysokie. Dla papieru wahały się od 0,93 do 1,00, a dla odpadów kuchennych od 0,66 do 0,98.

W przypadku odpadów kuchennych wpływ rozdrobnienia na JPB i JPM był nieznaczny w porównaniu do obserwowanego dla makulatury. Głównym składnikiem papieru jest celuloza, która jest słabo podatna na biologiczny rozkład w warunkach beztlenowych. W przypadku takich odpadów rozdrobnienie jest szczególnie korzystne.

5. Wnioski

Przeprowadzone badania potwierdzają pozytywny wpływ rozdrabniania organicznych odpadów stałych trudnorozkładalnych (makulatury) na ich biodegradację w warunkach beztlenowych.

Produkcja biogazu rosła praktycznie liniowo ze spadkiem średnicy zastępczej ziarna zarówno podczas fermentacji mezofilowej, jak i termofilowej.

W przypadku fermentacji metanowej odpadów trudno rozkładalnych (makulatura) ich rozdrobnienie jest zasadne natomiast nie ma praktycznego znaczenia dla odpadów łatwo ulegających biodegradacji.

Rozdrobnienie odpadów trudno ulegających biodegradacji zapewnia większą ilość wytwarzanego biogazu oraz uzyskanie mniejszej masy odpadów stałych po fermentacji.

Literatura

1. **Cecchi F., Pavan P., Mata-Alvarez J., Bassetti A., Cozzolino C.:** *Anaerobic digestion of municipal solid waste: thermophilic versus mesophilic performance at high solids.* Waste Management Res., 9, 305÷315. 1991.
2. **Heidrich Zb., Nieścier A.:** *Stabilizacja beztlenowa osadów ściekowych.* Wyd. PZLiTS, Monografie, Seria Wodociągi i Kanalizacja nr 4. Warszawa 1999.
3. **Hills D.J., Nakano K.:** *Effects of Particles Size on Anaerobic Digestion of Tomato Solid Wastes.* Agricultural Wastes, 10, 285÷295. 1984.
4. **Imhoff K., Imhoff K.R.:** *Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków. Poradnik.* Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO. Bydgoszcz 1996.
5. **Jędrczak A.:** *Biologiczne przetwarzanie odpadów.* PWN. Warszawa 2007.

6. **Leeschber R., Loll U.:** *Klärschlamm. ATV-Handbuch*. Wyd. 4. Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1996.
7. **Malina J.F., Pohland F.D.:** *Design of Anaerobic Processes for the Treatment of Industrial and Municipal Wastes*. Technomic Publishing Co. Inc., 7, 3÷33. 1992.
8. **Palmowski L., Müller J.:** *Influence of the size reduction of organic waste on their anaerobic*. In: Mata-Alvarez J., Tilche A., Cecchi F. (Eds.), *Proceedings of the Second International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Wastes*, Barcelona, 15÷18 June 1999, 136÷144. 1999.
9. **Wilfert R., Schattauer A.:** *Biogasgewinnung und –nutzung – Eine technische, ökonomische und ökologische Analyse; DBU-Projekt, 1*. Institut für Energetik und Umwelt GmbH, Leipzig, Federalny Zakład Badawczy Rolnictwa (FAL). Braunschweig 2002.

Influence of Paper Waste and Kitchen Waste Size Reduction on the Yield of Digestion Process

Abstract

The hydrolysis of polymers which are difficult to decompose, such as cellulose, lignin, and even decomposable fats, proteins and carbohydrates, is generally considered as a step limiting the fermentation of solid wastes. Reduction of size of molecules and increasing specific surface area available for microbial may improve the speed and efficiency of gas production during the fermentation. The article presents the effects of granulation of paper and kitchen waste for efficiency of methane fermentation in thermophilic and mesophilic environment. The study was performed in a laboratory scale. Wastes were divided into five different grain sizes.

During the mesophilic fermentation of paper the highest biogas production unit (JPB) was obtained for samples with a maximum reduction of grain size P-2 (538 dm³/kg VS), and lowest for the largest sample size P-6 (337 dm³/kg VS). Unit production of methane (JPM) ranged from 231 dm³/kg VS (P-2) to 144 dm³/kg VS (P-5). During thermophilic fermentation, JPB also achieved the highest value for the sample P-2 (592 dm³/kg VS), and lowest for P-6 (367 dm³/kg VS). JPM ranged from 273 dm³/kg VS (P-2) to 149 dm³/kg VS (P-6).

Mesophilic fermentation of kitchen waste with the smallest grain size showed maximum JPB amounted to 808 dm³/kg VS, during the thermophilic

fermentation of 791 dm³/kg VS (Fig. 5). With the increasing grain size of samples JPB decreased to 757 dm³/kg VS (P-6) in mesophilic fermentation and to 768 dm³/kg VS (P-3) and 771 dm³/kg VS (P-6).

JPM from maximum fragmented samples (P-2) was 330 dm³/kg VS during the mesophilic fermentation and 375 dm³/kg VS during thermophilic fermentation. It decreased with increasing grain size of waste up to 273 dm³/kg VS (P-5) during the mesophilic fermentation and to 337 dm³/kg VS (P-6) in thermophilic process.

JPB of paper during mesophilic fermentation was from 1.2 (P-5 and P-6) to 1.9 (P-2) times higher than the value given by Imhoff in relation to dry matter and respectively from 1.3 to 2.1 times higher in relation to the dry organic matter [4]. Unfortunately received gas was much poorer in methane production. JPB of paper accounted from 80% (P-5) to 130% (P-2) values specified by Imhoff in relation to dry matter and 90% (P-5) to 140% (P-2) values referred to the dry organic matter.

For paper both JPB and JPM increased linearly with the decrease of grain replacement diameter in experiments conducted in mesophilic and thermophilic range of temperatures. The coefficients of determination for most relationships were very high. For paper ranged from 0.93 to 1.00, and for kitchen waste from 0.66 to 0.98.

Fermentation of kitchen waste showed that impact of fragmentation on the JPB and JPM was negligible compared to the paper.

The studies confirm the positive effect of fragmentation of organic solid waste which are hardly decomposable (paper) for their biodegradability under anaerobic conditions.

Biogas production increased almost linearly with decreasing replacement grain diameter for both types of fermentation.

Methane fermentation of difficult degradable waste (paper) their fragmentation is reasonable but it's showed no practical importance for the easily biodegradable waste.

Fragmentation of wastes hardly biodegradable provides greater amounts of produced biogas and obtain a smaller mass of solid waste after fermentation.