



Możliwość wykorzystania substratów organicznych w procesie fermentacji

Zofia Sadecka, Monika Suchowska-Kisielewicz
Uniwersytet Zielonogórski

1. Substraty do wykorzystania w biogazowniach

Istotnym aspektem w poprawie efektywności i optymalizacji procesów fermentacji metanowej ukierunkowanej na odzysk energii jest odpowiedni dobór substratów oraz odpowiednich dla tych substratów rozwiązań technicznych (Dąbrowska 2015, Sadecka 2010, Czechowska-Kosacka 2013). Biogaz może być produkowany z szerokiego spektrum odpadów zarówno komunalnych jak i pochodzących z przemysłu rolnego i spożywczego. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001r. w sprawie katalogu odpadów fermentacja metanowa zalecana jest dla:

- osadów ściekowych,
- odpadów z rolnictwa, sadownictwa, leśnictwa, łowiectwa i rybołówstwa: w tym odpady roślinne, odpady z upraw roślin energetycznych, odpady i odchody zwierzęce,
- odpadów z przemysłu skórzanego, futrzanego, tekstylnego, z przetwórstwa drewna, produkcji płyt, mebli i masy celulozowej oraz osadów z zakładowych oczyszczalni ścieków,
- organicznych odpadów ulegających biodegradacji z przemysłu spożywczego (odpady roślinne i zwierzęce),
- ulegających biodegradacji frakcji odpadów komunalnych łącznie z frakcjami gromadzonymi selektywnie: odpady z gospodarstw domowych, bioodpady, papier i tektura, odpady zielone, odpady organiczne z zakładów rzemieślniczych.

Szczególnie atrakcyjnymi substratami do fermentacji metanowej są odpady pochodzące z chowu zwierząt oraz z rolnictwa. Charakteryzują się one wysokim potencjałem produkcji biogazu oraz niską ceną zakupu. Proces fermentacji tych substratów jest źródłem energii, oraz sposobem ich utylizacji oraz ostatecznego zagospodarowania osadów pofermentacyjnych przykładowo jako nawozu. Dobrym substratem jest pomiot kurzy, charakteryzujący się wysoką zawartością substancji organicznych, co pozwala uzyskać wysoką produkcję biogazu. Według danych literaturowych pomiot kurzy charakteryzuje się znaczną zawartością suchej masy organicznej w zakresie od 63 do 80% s.m., produkcją biogazu od 250 do 450 m³/Mg s.m.o., oraz 60% (obj.) zawartością metanu w biogazie (Romaniuk 2014).

Wykorzystanie pomiotu drobiowego jako substratu w biogazowniach rolniczych stwarza jednak problemy eksploatacyjne. Związane są one przede wszystkim z wysokimi stężeniami azotu amonowego oraz niekorzystnym stosunkiem węgla organicznego do azotu (C/N), w granicach od 2:1 do 14:1. Optymalny zaś iloraz C/N dla procesu fermentacji metanowej wynosi od 20:1 do 30:1 (Myszograj 2011). Prawidłowo przebiegająca fermentacja metanowa pomiotu kurzego wymaga więc zbilansowania ilorazu C/N przez wprowadzanie odpowiedniej ilości dodatkowych ko-substratów, bogatych w węgiel organiczny.

Ko-substratami tymi mogą być: odpady szklarniowe (łęty pomidorów, ogórków), odpady rolnicze (obierki, wysłodki, melasa), biomasa, w tym rośliny energetyczne (kiszonki kukurydzy, traw), frakcja organiczna odpadów komunalnych, osady ściekowe (Jędrzak 2007, Rosik-Dulewska 2001).

Łatwo dostępnym substratem do procesu fermentacji są odpady komunalne, w których frakcje organiczne produkowane przez 1 mieszkańca w Polsce wynoszą około 100 kg/rok (łącznie z odpadami restauracyjnymi, z punktów żywienia i ze sklepów). Przyjmując odzysk tej grupy odpadów w wyniku selektywnej zbiórki na poziomie 10% (w Szwecji obecnie gromadzi się 17%), pozyskuje się około 385 tysięcy ton rocznie wysokoenergetycznego wsadu do biogazowni. Zakładając, że docelowo możliwe jest zebranie do 50% tych odpadów, teoretycznie zwiększy się potencjał surowcowy (d'Obryn 2005, Jędrzak 2007).

2. Produkcja odpadów rolniczych

Polska jest obecnie czwartym w Europie producentem brojlerów i trzecim co do wielkości indyków. Jak podaje Krajowa Rada Drobiarstwa, produkcja mięsa drobiowego w Polsce w 2012 roku wyniosła ponad 1500 tys. ton, a spożycie mięsa drobiowego przekroczyło 25 kg/osobę, przy średniej europejskiej ok. 22,5 kg/osobę. Ocenia się, że blisko 75% krajowej produkcji drobiu stanowi mięso z kurczaków, natomiast 18% mięso indyche.

W sektorze przetwórstwa mięsnego rocznie powstaje około 661 tys. ton odpadów, oraz z przetwórstwa owoców i warzyw około 377 tys. ton, które są dobrym substratem dla biogazowni.

Polskie rolnictwo produkuje rocznie 80750 tys. ton obornika i około 35 mln m³ gnojowicy, z czego około 30% może być wykorzystana do produkcji biogazu (Widz i in., 2015). Hodowcy drobiu i inwentarza mają aktualnie duże problemy z wypełnieniem rygorystycznych wymagań prawnych. Dotyczy to m.in. rolniczego zagospodarowania co najmniej 70% gnojówki i gnojowicy wytworzonych we własnym gospodarstwie. Wymusza to, bowiem na hodowcach posiadanie dużego areалу gruntów ze względu na wymóg prawny dopuszczający stosowanie nawozów naturalnych w ilości równoważnej 170 kgN/ha.

Z trwałych użytków zielonych można pozyskać około 2300 tys. ton biomasy do wykorzystania energetycznego, bez szkody dla produkcji pasz i wytworzyć od 1,1 do 1,7 mld m³ biogazu. Źródłem substratów dla biogazowni są również odpady powstające podczas pielęgnacji trenów zieleni ogólnodostępnej i osiedlowej.

W Polsce substratem do procesu fermentacji mogą być również odpady z produkcji pieczarek. W naszym kraju produkuje się około 270 tys. ton pieczarek, co stanowi około ¼ całej produkcji w Unii Europejskiej. Należy więc podkreślić, że potencjał odpadowy w Polsce jest bardzo duży, co daje możliwość wykorzystania podłoża pieczarek jako ko-substratu do procesu fermentacji.

3. Efektywność biogazowa substratów organicznych

Efektywność produkcji biogazu zależy przede wszystkim od podatności substratu na rozkład biologiczny oraz od stosunku C/N (Myszograj 2011, Jędrczak 2007).

Właściwości i efektywność produkcji biogazu dla wybranych substratów zestawiono w tabeli 1.

Dane literaturowe (Romaniuk 2014, Myszograj 2011, Sadecka 2010) wykazują, że największe ilości biogazu uzyskuje się z wysegregowanych tłuszczów, odpadów kuchennych i przeterminowanej żywności oraz bioodpadów, odpadów z targowisk, osadów ściekowych oraz pomiotu kurzego. Największy udział metanu w biogazie uzyskuje się z traw, gnojowicy i pomiotu kurzego.

Tabela 1. Właściwości i efektywność produkcji biogazu dla wybranych substratów
Table 1. Properties and efficiency of biogas production for selected substrates

Rodzaj substratu	Surowiec			Biogaz	
	Sucha masa %	Sucha masa organiczna % s.m.	C/N	Ilość, m ³ /kg s.m.o.	Metan, %
Odpady domowe	50-75	25-50	30-40	0,1-0,2	55-70
Bioodpady	20-48	34-81	10-25	0,5-0,6	b.d.
Odpady zielone i ogrodowe	20-75	15-75	20-60	0,2-0,5	b.d.
Papier	70-75	75	170-800	0,23	63
Liście	80	90	20-60	0,1-0,3	b.d.
Wysegregowane tłuszcze	25-70	80-96	50-200	0,7-0,9	60-75
Przeterminowane produkty żywnościowe	8-30	70-85	4-20	0,4-0,75	b.d.
Osady ściekowe	40-70	70	10-13	0,4-0,6	78
Odpady z targowisk	15-40	90-95	10-50	0,35-0,6	b.d.
Wywar gorzelniczny, wytłoki, wypraski	27	81-94	50	0,30-0,45	75
Odpady owoców i warzyw	12-40	75-95	20-49	0,35-0,5	60-75
Słoma	70-90	90-95	48-150	0,15-0,35	78
Odpady roślinne	60-70	90	100-150	0,20-0,5	b.d.
Trawa	20-25	60-70	12-25	0,55	ok. 80
Gnojowica świńska	3-10	70-80	3-10	0,25-0,5	70-80
Gnojowica bydłęca	5-12	75-85	6-20	0,20-0,3	55-75
Ochody kurze	10-30	70-80	3-10	0,35-0,6	60-80
Obornik	10-40	65-90	11-50	0,17-0,35	b.d.

b.d. – brak danych

Czynnikiem determinującym proces biologicznego rozkładu substratów w warunkach tlenowych i beztlenowych jest optymalny stosunek C/N. Dla prawidłowego przebiegu procesu fermentacji zalecane wartości ilorazów są następujące (Romaniuk 2014, Jędrzszak 2007):

- C/N od 20 do 30:1

- C/P 113:1
- C/N/P/S (500-10000):(15-20):5:3.

Przedstawione dane w tabeli 1 wykazują, że w przypadku niektórych substratów wartości stosunku C/N są poza zakresem optymalnym dla procesu fermentacji, a jednocześnie z danego substratu uzyskuje się wysoką produkcję biogazu. W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące oceny możliwości wykorzystania wybranych substratów organicznych w procesie fermentacji. Ocenę dokonano na podstawie właściwości fizyczno-chemicznych, stosunku C/N, BMP (biochemiczny potencjał metanowy) oraz AT₄ (test respiracji tlenowej).

4. Metodyka i zakres badań

W badaniach zastosowano rozdrabnione do wymiarów < 20 mm następujące substraty: kiszonka kukurydzy, podłoże pieczarek, pomiot kurzy, trawa oraz łęty pomidorów.

Skład fizyczno-chemiczny oceniano na podstawie następujących parametrów: zawartość suchej masy, suchej masy organicznej (LOI), ChZT, pH, zawartości azotu Kjeldahla, azotu amonowego i fosforu. Podatność tych substratów na biodegradację beztlenową oceniano na podstawie ilorazu C/N oraz w teście BMP. W badaniach dodatkowo określano dla substratów podatność na biodegradację tlenową z zastosowaniem testu AT₄.

Oznaczenie AT₄ wykonano metodą statyczną aparatem Oxi Top (Adani 2002, Godley 2004, Bożym 2011, Scaglia 2011). Widok na elementy stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1. Czas pomiaru aktywności mikrobiologicznej wynosił 4 doby. Badania prowadzono w stałej temperaturze 20°C w szafie termostaticznej.

Badania biochemicznego potencjału metanowego substratów wykonano w beztlenowych reaktorach o pojemności 2,5 dm³ (Owen 1979, Lin et al., 1999), przez okres 21-30 dób, w temperaturze 37°C w szafie termostaticznej. Powstający biogaz pobierany był z reaktorów za pomocą strzykawki o pojemności 300 ml. W biogazie określano zawartości: CH₄, CO₂, O₂, NH₃ i H₂S. Widok na stanowisko badawcze przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Stanowisko badań – test AT₄
Fig. 1. The test bench – AT₄



Rys. 2. Stanowisko badań – test BMP
Fig. 2. The test bench – BMP

Wyżej wymienione oznaczenia wykonano zgodnie z obowiązującą w Polsce metodyką.

5. Wyniki badań i dyskusja

Parametry fizyczno-chemiczne substratów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Skład fizyczno-chemiczny substratów

Table 2. The physico-chemical composition of substrates

Parametry	Podłoże pieczarek	Pomiot kurzy	Kiszonka kukurydzy	Trawa	Łęty pomidorów
pH	6,2	7,7	5,8	6,5	5,5
sucha masa, g/kg	414,5	212,3	264,2	220,6	133,1
LOI, % s.m.	59	70	94	77	76
C/N	16	11	57	15	31
azot Kjeldahla, g/kg s.m.	25,4	59,6	16,5	48,8	24,2
azot amonowy, g N-NH ₄ /kg s.m.	0,7	10,8	1,7	6,6	0,6
fosfor og., g P/kg s.m.	576	1072	352	688	728
ChZT, g/kg s.m.	740,1	1156,1	1884,2	1345,3	1184,1

W grupie analizowanych substratów największą zawartością suchej masy organicznej w zakresie od 760 do 945 g/kg s.m. charakteryzowała się kiszonka kukurydzy oraz trawa i łęty pomidorów. Pomiot kurzy zawierał suchą masę organiczną na poziomie 700 g/kg s.m. oraz w porównaniu do pozostałych substratów, najwyższą zawartość azotu rzędu 60 g/kg s.m. Wartości ChZT w substratach wynosiły od 740 dla podłoża pieczarek do 1884 g/kg s.m. dla kiszonki kukurydzy. Najwyższą

zawartością fosforu ogólnego (1070 g P/kg s.m.) charakteryzował się pomiot kurzy.

Wyznaczony dla substratów iloraz C/N mieścił się w zakresie od 11 do 57. Najwyższą wartość uzyskano dla kiszonki kukurydzy, natomiast dla podłoża pieczarek stosunek C/N = 31 był zbliżony do zakresu optymalnego dla fermentacji metanowej. Uzyskane w badaniach stosunki C/N dla pomiotu, trawy, kiszonki i łęt były zbliżone do danych literaturowych (Romaniuk 2014, Myszograj 2011).

Wyniki testu AT₄ i BMP dla badanych odpadów zestawiono w tabeli 3.

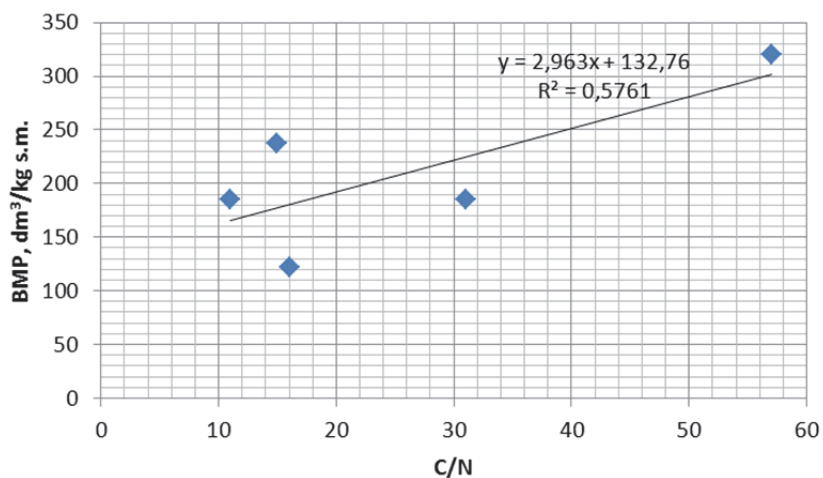
Tabela 3. Wyniki testu AT₄ i BMP

Table 3. Result of AT₄ i BMP test

Parametry	Podłoże pieczarek	Pomiot kurzy	Kiszonka kukurydzy	Trawa	Łęty pomidorów
AT ₄ , g O ₂ /kg s.m.	53	109	200	162	148
BMP, dm ³ /kg s.m.	122	185	320	237	185

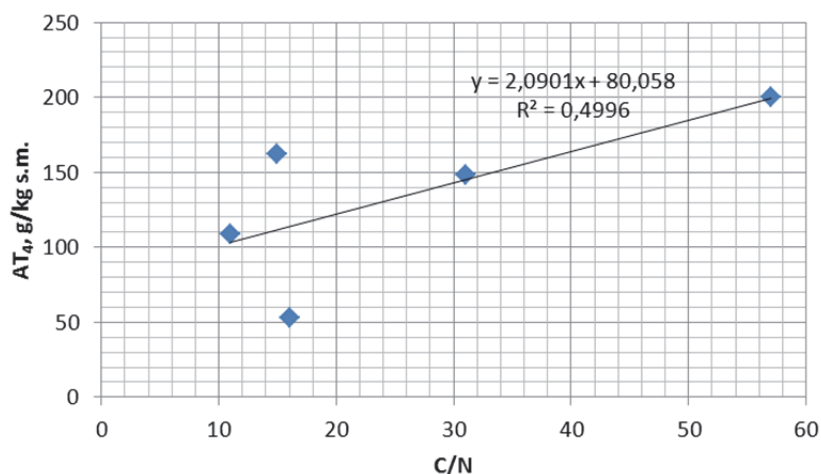
Wyniki badań wykazują, że największą wartość AT₄ na poziomie 200 g O₂/kg s.m. uzyskano dla kiszonki kukurydzy, a najniższą 53 g O₂/kg s.m. dla podłoża pieczarek. Z kolei największą produkcję metanu (320 dm³/kg s.m.) w teście BMP uzyskano z rozkładu beztlenowego kiszonki kukurydzy, przy wyznaczonej wartości stosunku C/N na poziomie 57. W oparciu o analizę matematyczną wyników wyznaczono korelacje pomiędzy parametrami służącymi do oceny podatności substratów na rozkład biochemiczny (rysunki 3 i 4).

Dla substratów stosowanych w badaniach uzyskano małą zależność korelacyjną między BMP i AT₄ a ilorazem C/N. Uzyskane wartości R² wynoszą kolejno: 0,5761 i 0,4996. Niskie wartości R² potwierdzają, że iloraz C/N nie jest jednoznacznym parametrem określającym podatność substratów na rozkład biochemiczny, zarówno beztlenowy jaki również tlenowy. W przypadku substratów o stosunku C/N < 20 uzyskiwano wysokie wartości BMP jak i AT₄.



Rys. 3. Korelacja pomiędzy BMP, a wartością ilorazu C/N dla wybranych substratów

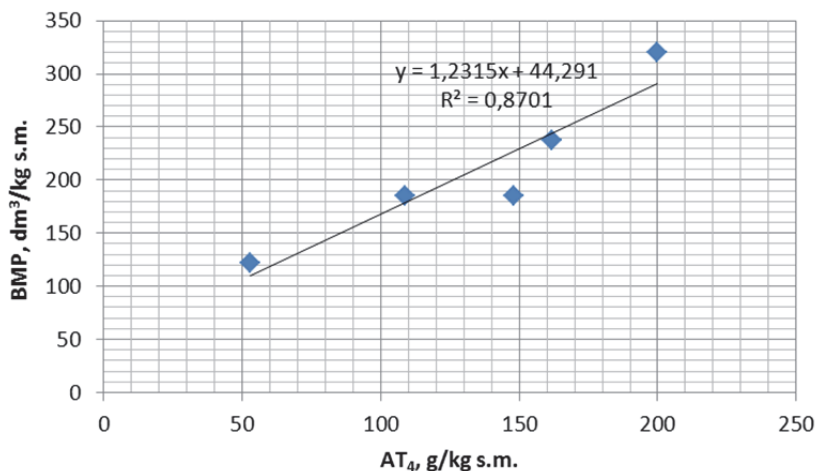
Fig. 3. The correlation between the BMP and the value of quotient C/N for selected substrate



Rys.4. Korelacja pomiędzy AT₄ a wartością ilorazu C/N dla wybranych substratów

Fig. 4. The correlation between the AT₄ and the value of quotient C/N for selected substrate

Analiza wyników badań wykazuje, że istnieje zależność pomiędzy BMP a AT_4 (rysunek 5).



Rys. 5. Korelacja pomiędzy BMP, a wartością AT_4 dla wybranych substratów
Fig. 5. The correlation between the BMP and the value of AT_4 for selected substrate

Uzyskano zależność liniową postaci:

$$BMP = 1,23 AT_4 + 44,3 \text{ przy } R^2 = 0,8701$$

która wykazuje, że wraz ze wzrostem udziału w substratach biodostępnej materii organicznej oznaczanej testem AT_4 wzrastała wydajność metanowa mierzona parametrem BMP.

W literaturze można znaleźć informacje dotyczące korelacji pomiędzy AT_4 i potencjałem metanowym (BMP) (Cossu 2008, Ponsa 2008, Gómez 2006, Wagland 2009). Wysoką korelację między tymi parametrami potwierdzają wyniki badań Cossu i in. (2008) czy też Ponsa i in. (2008). Autorzy dla powyższych parametrów uzyskali korelację w zakresie od 0,63 do 0,94.

Przedstawione w pracy wyniki badań potwierdzone przez innych autorów (Cossu 2008, Ponsa 2008, Gómez 2006, Wagland 2009) wskazują, że zarówno BMP, jak i AT_4 są odpowiednimi wskaźnikami do oceny podatności substratów na rozkład. Z praktycznego punktu widzenia AT_4 jest bardziej rekomendowany ze względu na krótki czas pomiaru, a zatem powinien być wskaźnikiem powszechniej wykorzystywanym do oceny podatności substratów również na rozkład beztlenowy.

6. Wnioski

1. Wyznaczone stosunki C/N dla kiszonki kukurydzy, podłoża pieczarek, pomiotu kurzego, trawy oraz łęt pomidorów dobrze korespondowały z danymi literaturowymi.
2. Nie wykazano wysokiej korelacji między ilorazem C/N, a wskaźnikami oceny podatności substratów na rozkład tlenowy (AT_4) oraz na rozkład beztlenowy (BMP).
3. Kiszonka z kukurydzy charakteryzowała się największą produkcją metanu ($320 \text{ dm}^3/\text{kg s.m.}$) przy AT_4 na poziomie $200 \text{ g O}_2/\text{kg s.m.}$ i najwyższym stosunkiem $C/N = 57$.
4. Analiza statystyczna wykazała bardzo silną korelację pomiędzy BMP a AT_4 .
5. Wykazano, że powszechnie stosowany test BMP można zastąpić testem AT_4 . Dla badanych substratów wyznaczono korelację postaci: $BMP = 1,23 AT_4 + 44,3$ przy $R^2 = 0,87$.
6. Wyniki badań wykazały, że wskaźnik AT_4 z powodzeniem można wykorzystać w ocenie podatności substratów na rozkład w tym również beztlenowy.

Badania wykonano w ramach projektu dofinansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach Programu Gekon – Generator Koncepcji Ekologicznych.

Literatura

- Adani, F., Ubbiali, C., Tambone, F., Scaglia, B., Centemero, M. & Genevini, P. (2002). *Static and dynamic respirometric indexes - Italian research and studies*. Biological treatment of biodegradable waste – Technical Aspects, Brussels.
- Bożym, M. (2011). Wykorzystanie testów do oceny stopnia stabilizacji odpadów. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, 7, 79-88.
- Cossu, R., Raga, R. (2008). Test methods for assessing the biological stability of biodegradable waste. *Waste Management*, 28, 381-388.
- Czechowska-Kosacka, A. (2013). Osady ściekowe jako źródło energii odnawialnej. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, 314-323.
- d'Obrzyn, K., Szalińska, E. (2005). *Odpady komunalne – zbiórka, recykling, unieszkodliwianie odpadów komunalnych i komunalnopodobnych*. Kraków: Wyd. Politechniki Krakowskiej.

- Dąbrowska, L. (2015). Wpływ sposobu prowadzenia fermentacji osadów ściekowych na produkcję biogazu. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 943-957.
- Lin, J.-G., Ma, Y.-S., Chao, A.C., Huang, C.-L. (1999). BMP test on chemically pretreated sludge. *Bioresource Technology*, 68(2), 187-192.
- Godley, A.R., Lewin, K., Graham, A., Barker, H., Smith, R. (2004). Biodegradability determination of municipal waste: an evaluation of methods. In: *Proc. Waste 2004 Conf. Integrated Waste Management and Pollution Control: Policy and Practice, Research and Solutions*. Stratford-upon-Avon, UK, 40-49.
- Gómez, R.B., Lima, F.V., Ferrer, A.S. (2006). The use of respiration indices in the composting process: a review. *Waste Management Research*, 24(1), 37-47.
- Jędrzak, A. (2007). *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. Warszawa: Wyd. Naukowe PWN.
- Myszograj, S. (2011). Biodegradowalność hydrolizatów z dezintegracji termicznej odpadów komunalnych. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 14(3), 281-290.
- Owen, W.F., Stuckey, D.C., Healy Jr., J.B., Young, L.Y., McCarty, P.L. (1979). Bioassay for Monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. *Journal Water Researches*, 13(6), 485-492.
- Romaniuk, W., Domasiewicz, T. (2014). *Substraty dla biogazowni rolniczych*. Warszawa: Wyd. Hortpress.
- Ponsá, S., Gea, T., Alerm, L., Cerezo, J., Sánchez, A. (2008). Comparison of aerobic and anaerobic stability indices through a MSW biological treatment process. *Waste Management*, 28(12), 2732-2742.
- Rosik-Dulewska, Cz. (2007). *Podstawy gospodarki odpadami*. Warszawa: Wyd. Naukowe PWN.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2001, nr 112, poz. 1206).
- Sadecka, Z. (2010). *Fundamentals of biological wastewater treatment*. Warsaw: Seidel-Przywecki.
- Scaglia, B., Acutis, M., Adani, F. (2011). Precision determination for the dynamic respirometric index (DRI) method used for biological stability evaluation on municipal solid waste and derived products. *Waste Management*, 31(1), 2-9.
- Wagland, S.T., Tyrrel, S.F., Godley, A.R., Smith, R. (2009). Test methods in the evaluation of the diversion of biodegradable municipal waste (BMW) from landfill. *Waste Management*, 29, 1218-1226.
- Widz, A., Kubecka, P., Pańczyk, O., Jakubaszek, S., Burek, K., Stanek, P., Brodziak, A. (2015). Wykorzystanie biogazowi do zagospodarowania nawozów organicznych. *Inżynieria środowiska – młodym okiem*, 16, 216-227.

The Possibility of Using Organic Substrates in the Fermentation Process

Abstract

Evaluation of waste susceptibility on the biochemical decomposition can be made on the basis of their physicochemical properties. The preferred parameter is the ratio of C/N. Additional parameters are: BMP (biochemical methane potential) for anaerobic digestion and AT_4 (respiratory test) for aerobic processes. The substrate for biogas production can be both municipal waste and from agricultural and foodstuff industry. Particularly attractive substrate for methane fermentation are the waste from animal husbandry and agriculture. They are characterized a high potential for production of biogas and low purchase price. However, these wastes often requires the fermentation of other substrates. For example, chicken manure due to the high content of organic material has a high biogas production, but a high content of ammonium nitrogen contributes to the inhibition of the fermentation process. Methane fermentation of chicken manure therefore requires balancing the ratio C/N by entering co-substrates, rich in organic carbon. These co-substrates can be: waste Greenhouse (haulm tomatoes, cucumbers), agricultural wastes (peels, pulp, molasses), biomass, at this energy crops (corn silage, grass), the organic fraction of municipal waste, sewage sludge.

The article presents the results of research on the assessment of the possibility of the use of selected organic substrates in the process of fermentation. The evaluation was based on physicochemical properties, the ratio C/N, BMP (biochemical methane potential and AT_4 (test aerobic respiration)). In the studies was used shredded to the size of <20 mm the following substrates: maize silage, ground mushrooms, chicken manure, grass and haulm tomatoes. The physicochemical composition was evaluated based on the following parameters: dry matter, organic dry matter (LOI), COD, pH, Kjeldahl nitrogen, ammonia nitrogen and phosphorus. The susceptibility of these substrates on anaerobic biodegradability was evaluated based on the ratio C/N and BMP test. The study also determined biodegradability of substrates using aerobic test AT_4 . The designated for substrates quotient C/N was within the range from 11 to 57. The highest value of the ratio C/N was obtained for corn silage. Among the examined substrates only for ground mushroom designated quotient C/N = 31 was similar to the optimum range for methane fermentation.

The highest methane production ($320 \text{ dm}^3/\text{kg dm}$) in the test BMP obtained from the anaerobic digestion of corn silage (ratio C/N value of 57). Studies have shown that the highest value of AT_4 of $200 \text{ g O}_2/\text{kg dm}$ obtained for corn silage, and the lowest $53 \text{ g O}_2/\text{kg dm}$ for ground mushrooms. For tested

substrates were obtained low correlation between BMP and AT_4 and the quotient C/N . R^2 values were obtained successively: 0.6 and 0.5. Low values of R^2 confirm that the quotient C/N is not a good parameter for determining the susceptibility distribution of biochemical substrates, both anaerobic and aerobic. In the case of substrates with the quotient $C/N < 20$ obtained high values of BMP and AT_4 . Presented at work the results confirmed by of other authors indicate that both BMP and AT_4 are appropriate indicators to assess the susceptibility of substrate degradation. From a practical point of view, AT_4 is more recommended due to the short measurement time, and should therefore be an indicator used to evaluate the susceptibility of substrates also anaerobic digestion.

Streszczenie

Ocenę podatności odpadów na rozkład biochemiczny można dokonać na podstawie ich właściwości fizyczno-chemicznych. Zalecanym parametrem jest stosunek C/N , oraz dodatkowo BMP (biochemiczny potencjał biogazowy) dla rozkładu beztlenowego oraz AT_4 (test respiracyjny) dla procesów tlenowych. Substratem do produkcji biogazu mogą być odpady komunalne jak i pochodzące z przemysłu rolno-spożywczego. Atrakcyjnym substratem do fermentacji metanowej są również odpady z rolnictwa, w tym z chowu zwierząt. Jednak ich wadą jest konieczność wprowadzenia dodatkowych substratów w celu zapewnienia prawidłowego przebiegu procesu fermentacji. Na przykład pomiot kurzy z uwagi na wysoką zawartość substancji organicznych charakteryzuje się wysoką produkcją biogazu, jednak wysoka zawartość azotu amonowego przyczynia się do inhibicji procesu fermentacji. Fermentacja metanowa pomiotu kurzego wymaga więc zbilansowania stosunku C/N przez wprowadzanie odpowiedniej ilości dodatkowych ko-substratów, bogatych w węgiel organiczny.

Ko-substratami tymi mogą być: odpady szklarniowe (łęty pomidorów, ogórków), odpady rolnicze (obierki, wysłodki, melasa), biomasa w tym rośliny energetyczne (kiszonki kukurydzy, traw), frakcja organiczna odpadów komunalnych i osady ściekowe.

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące oceny możliwości wykorzystania wybranych substratów organicznych w procesie fermentacji. Ocenę dokonano na podstawie właściwości fizyczno-chemicznych, stosunku C/N , BMP (biochemiczny potencjał metanowy oraz AT_4 (test respiracji tlenowej)).

W badaniach stosowano rozdrabniane do wymiarów < 20 mm następujące substraty: kiszonka kukurydzy, podłoże pieczarek, pomiot kurzy, trawa oraz łęty pomidorów.

Skład fizyczno-chemiczny oceniano na podstawie następujących parametrów: zawartość suchej masy, suchej masy organicznej (LOI), ChZT, pH, stężenia azotu Kjeldahla, azotu amonowego i fosforu. Podatność tych substra-

tów na biodegradację beztlenową oceniano na podstawie stosunku C/N oraz w teście BMP. W badaniach dodatkowo określano dla substratów podatność na biodegradację tlenową z zastosowaniem testu AT₄.

Wyznaczony dla substratów stosunek C/N mieścił się w zakresie od 11 do 57. Najwyższą wartość stosunku C/N uzyskano dla kiszonki kukurydzy. Spośród badanych substratów tylko dla podłoża pieczarek wyznaczony stosunek C/N = 31 był zbliżony do optymalnego zakresu dla fermentacji metanowej.

Największą produkcję metanu (320 dm³/kg s.m.) w teście BMP uzyskano z rozkładu beztlenowego kiszonki kukurydzy, przy wyznaczonej wartości ilorazu C/N na poziomie 57. Wyniki badań wykazują, że największą wartość AT₄ na poziomie 200 g O₂/kg s.m. uzyskano dla kiszonki kukurydzy, a najniższą 53 g O₂/kg s.m. dla podłoża pieczarek. Dla substratów uzyskano niską korelację między BMP i AT₄ a ilorazem C/N. Uzyskane wartości R² wnoszą kolejno: 0,6 i 0,5. Niskie wartości R² potwierdzają, że iloraz C/N nie jest jednoznacznym parametrem określającym podatność substratów na rozkład biochemiczny, zarówno beztlenowy jak również tlenowy. W przypadku substratów o ilorazie C/N < 20 uzyskiwano wysokie wartości BMP jak i AT₄. Przedstawione w pracy wyniki badań potwierdzone przez innych autorów wskazują, że zarówno BMP jak i AT₄ są odpowiednimi wskaźnikami do oceny podatności substratów na rozkład. Z praktycznego punktu widzenia AT₄ jest bardziej rekomendowany ze względu na krótki czas pomiaru, a zatem powinien być wskaźnikiem wykorzystywanym do oceny podatności substratów również na rozkład beztlenowy.

Słowa kluczowe:

odpady, BMP, AT₄

Keywords:

waste, biochemical methane potential, respirometric index