

# **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 dedykowanych dla tych substratów rozwiązań technicznych (Dąbrowska 2015, Sadecka 2010, Czechowska-Kosacka 2013). Biogaz może być produkowany z szerokiego spektrum odpadów. Substratem do produkcji biogazu są odpady zarówno komunalne jak i pochodzące 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 atrakcyjnym substratem 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 może być źródłem energii, sposobem ich utylizacji oraz ostatecznego zagospodarowania osadów pofermentacyjnych jako np. nawozu. Dobrym substratem jest pomiot

kurzy, z którego z uwagi na wysoką zawartość substancji organicznych, można uzyskać wysoką produkcję biogazu. Wg danych literaturowych pomiot kurzy charakteryzuje się zawartością suchej masy organicznej w zakresie: 63-80% s.m., produkcją biogazu od 250 do 450m<sup>3</sup>/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 jest to przede wszystkim z wysokimi stężeniami azotu amonowego oraz niekorzystnym ilorazem 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. Frakcje organiczne tych odpadów produkowane przez 1 mieszkańca w Polsce wynoszą około 100 kg/rok (łącznie z odpadami restauracyjnymi, z punktów żywienia i ze sklepów). Przyjmując odzysk tych odpadów w wyniku selektywnej zbiórki na poziomie 10% tej ilości (w Szwecji obecnie gromadzi się 17%), uzyskujemy około 385 tysięcy ton rocznie wysokoenergetycznego wsadu do biogazowni. Przy założeniu, że docelowo możliwe jest zebranie do 50% tych odpadów potencjał surowcowy jest bardzo wysoki (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. Spożycie mięsa drobiowego w naszym kraju przekroczyło 25 kg/osobę, przy średniej europejskiej ok. 22,5 kg/osobę. Szacuje się, że

blisko 75% krajowej produkcji drobiu stanowi mięso z kurczaka, natomiast 18% mięso indycze. W Polsce jest obecnie ok. 3000 kurników. W sektorze przetwórstwa mięsnego rocznie produkuje się około 661 tys. ton odpadów natomiast około 377 tys. ton z przetwórstwa owoców i warzyw, które są dobrym substratem dla biogazowni.

Polskie rolnictwo produkuje rocznie 80750 tys. ton obornika i około 35 mln m<sup>3</sup> gnojowicy, z czego około 30% może być wykorzystana do produkcji biogazu. Hodowcy drobiu i innego inwentarza mają aktualnie duże problemy z wypełnieniem rygorystycznych wymagań prawnych. Szczególnie trudny do wypełnienia dla hodowców jest obowiązek zagospodarowania co najmniej 70% gnojówki i gnojowicy powstającej podczas chowu zwierząt na użytkach rolnych, których są właścicielami i na których prowadzą uprawę roślin. Wymusza to na hodowcach posiadanie dużego areалу gruntów. Roczna dawka azotu deponowanego w gruncie wraz z pomiotem nie może przekroczyć 170 kgN/ha.

Z trwałych użytków zielonych można pozyskać około 2300 tys. ton biomasy traw do wykorzystania energetycznego, bez szkody dla produkcji pasz i wytworzyć od 1,1 do 1,7 mld m<sup>3</sup> biogazu. Źródłem substratów dla biogazowni mogą być również odpady powstające podczas pielęgnacji terenów zieleni ogólnodostępnej i osiedlowej.

W Polsce substratem do procesu fermentacji mogą być odpady z produkcji pieczarek. Polska, obok Holandii, jest liderem w produkcji pieczarek w Europie. Na nasz kraj przypada aż 1/4 całej produkcji Unii Europejskiej. Z naszego kraju pochodzi ok. 270 tys. ton pieczarek produkowanych przez ok. 5 tys. firm.

Potencjał odpadowy jest więc bardzo duży, a problem z zastosowaniem atrakcyjnej cenowo technologii zagospodarowania odpadów jest bardzo ważny i aktualny.

### **3. Efektywność biogazowa substratów organicznych**

Efektywność produkcji biogazu zależy przede wszystkim od podatności substratu na rozkład biologiczny oraz od ilorazu C/N (zawartości węgla organicznego w substracie do azotu ogólnego) (Myszograj 2011, Jędrzak 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 dla trawy, 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 org., % s.m.	C/N	Ilość, m <sup>3</sup> /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	bd.
Odpady zielone i ogrodowe	20-75	15-75	20-60	0,2-0,5	bd.
Papier	70-75	75	170-800	0,23	63
Liście	80	90	20-60	0,1-0,3	bd.
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	bd.
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	bd.
Wywar gorzelniczny, wyciągi, 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	bd.
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
Odchody kurze	10-30	70-80	3-10	0,35-0,6	60-80
Obornik	10-40	65-90	11-50	0,17-0,35	bd

b.d. – brak danych

Czynnikiem determinującym proces biologicznego rozkładu substratów zarówno w warunkach tlenowych i beztlenowych jest optymalny iloraz

C:N. Dla prawidłowego przebiegu procesu fermentacji zalecane wartości ilorazów są następujące (Romaniuk 2014, Jędrzak 2007):

- C/N od 20 do 30:1
- C/P 113:1
- C/N/P/S (500-10000):(15-20):5:3.

Dane zawarte w tabeli 1 wykazują, że w przypadku wielu substratów wartość ilorazu C/N jest 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, ilorazu C/N, BMP (biochemiczny potencjał metanowy oraz AT<sub>4</sub> (test respiracji tlenowej).

#### **4. Metodyka i zakres badań**

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

Skład fizyczno-chemiczny oceniano na podstawie następujących parametrów: zawartość suchej masy, suchej masy organicznej (LOI), ChZT, pH, stężenie 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 AT<sub>4</sub>.

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

Badania biochemicznego potencjału metanowego substratów prowadzono w beztlenowych reaktorach o pojemności 2,5 dm<sup>3</sup> (Owen 1979, Gaw-Lin, 1999). Proces prowadzono przez okres 21-30 dób, w temperaturze 37°C. w szafie termostatycznej. Powstający biogaz pobierany był z reaktorów za pomocą 300 ml strzykawki. W biogazie określano zawartości: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S. Widok na stanowisko badawcze przedstawiono na rys. 2.



**Rys. 1.** Stanowisko badań – test AT<sub>4</sub>

**Fig. 1.** The test bench – AT<sub>4</sub>



**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/kg s.m.	0,7	10,8	1,7	6,6	0,6
Fosfor og., g/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 760-945g/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/kg s.m.) charakteryzował się pomiot kurzy.

Wyznaczony dla substratów iloraz C/N mieścił się w zakresie od 11 do 57. Najwyższą wartość ilorazu C/N uzyskano dla kiszonki kukurydzy. Spośród badanych substratów tylko dla podłoża pieczarek wyznaczony iloraz C/N=31 zbliżony był do optymalnego zakresu dla fermentacji metanowej. Uzyskane w badaniach ilorazy C/N dla pomiotu, trawy, kiszonki i łęt dobrze korespondują z danymi literaturowymi (Romaniuk 2014, Myszograj 2011).

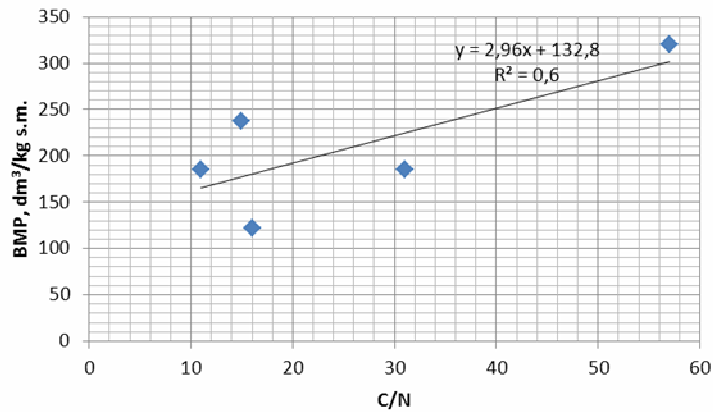
Wyniki testu AT<sub>4</sub> i BMP dla badanych odpadów zestawiono w tabeli 3.

**Tabela 3.** Wyniki testu AT<sub>4</sub> i BMP

**Table 3.** Result of AT<sub>4</sub> i BMP test

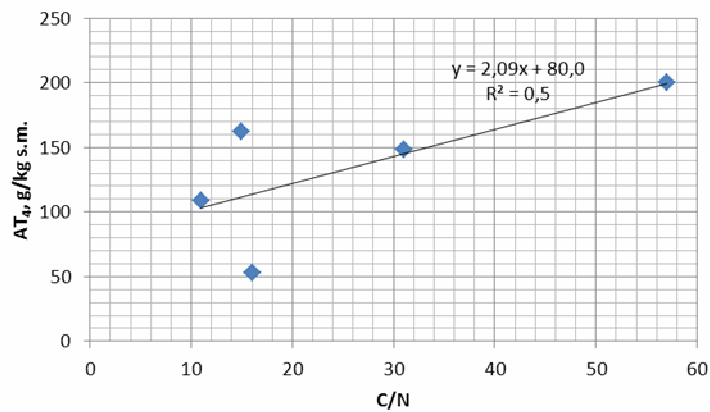
Parametry	Podłoże pieczarek	Pomiot kurzy	Kiszonka kukurydzy	Trawa	Łęty pomidorów
AT <sub>4</sub> , g O <sub>2</sub> /kgs.m.	53	109	200	162	148
BMP, dm <sup>3</sup> /kgs.m.	122	185	320	237	185

Wyniki badań wykazują, że największą wartość AT<sub>4</sub> na poziomie 200 g O<sub>2</sub>/kg s.m. uzyskano dla kiszonki kukurydzy, a najniższą 53 g O<sub>2</sub>/kg s.m. dla podłoża pieczarek. Największą produkcję metanu (320 dm<sup>3</sup>/kgs.m.) w teście BMP uzyskano z rozkładu beztlenowego kiszonki kukurydzy, przy wyznaczonej wartości ilorazu C/N na poziomie 57. Analiza matematyczna wyników badań pozwoliła wyznaczyć zależności pomiędzy parametrami służącymi do oceny podatności substratów na rozkład biochemiczny. Korelacje pomiędzy BMP a C/N oraz AT<sub>4</sub>, a C/N przedstawiono kolejno na rys. 3 i 4.



**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 AT<sub>4</sub>, a wartością ilorazu C/N dla wybranych substratów

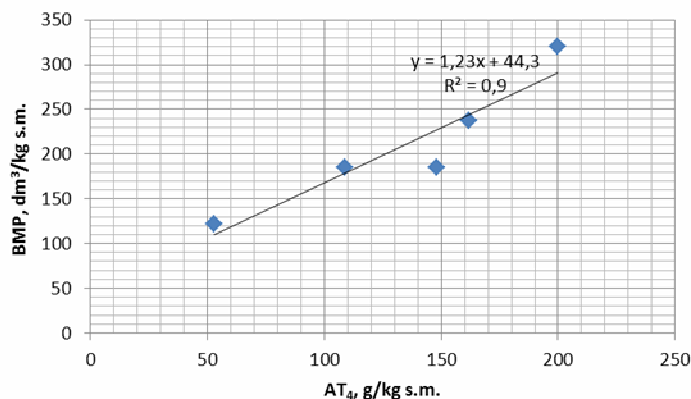
**Fig. 4.** The correlation between the AT<sub>4</sub> and the value of quotient C/N for selected substrate

Dla substratów stosowanych w badaniach uzyskano niską korelację między BMP i AT<sub>4</sub> a ilorazem C/N. Uzyskane wartości R<sup>2</sup> wynoszą kolejno: 0,6 i 0,5. Niskie wartości R<sup>2</sup> potwierdzają, że iloraz C/N nie jest jednoznacznym parametrem określającym podatność substratów na rozkład biochemiczny, zarówno beztlenowy jaki również tlenowy. W



przypadku substratów o ilorazie C/N < 20 uzyskiwano wysokie wartości BMP jak i AT<sub>4</sub>.

Analiza wyników badań wykazuje, że istnieje zależność pomiędzy BMP a AT<sub>4</sub> (rys.5).



**Rys. 5.** Korelacja pomiędzy BMP, a wartością AT<sub>4</sub> dla wybranych substratów

**Fig. 5.** The correlation between the BMP and the value of AT<sub>4</sub> for selected substrate

Uzyskano zależność liniową postaci:

$$\text{BMP} = 1,23 \text{ AT}_4 + 44,3 \text{ przy } R^2 = 0,9$$

która wykazuje, że wraz ze wzrostem udziału w substratach biodostępnej materii organicznej oznaczanej testem AT<sub>4</sub> wzrasta wydajność metanowa mierzona parametrem BMP.

W literaturze można znaleźć informacje dotyczące korelacji pomiędzy AT<sub>4</sub> i potencjałem metanowym (BMP) (Cossu 2008, Ponsa 2008, Gómez 2006, Wagland 2009). Wysoką korelację potwierdzają wyniki badań Cossu i in. 2008 czy też Ponsa i in. 2008. Autorzy Ci uzyskali dla odpadów ze składowiska korelację pomiędzy tymi parametrami z R<sup>2</sup> w zakresie od 0,63 do 0,94.

Przedstawione w pracy wyniki badań potwierdzone wynikami innych autorów wskazują, że zarówno BMP jak i AT<sub>4</sub> są odpowiednimi wskaźnikami do oceny podatności substratów na rozkład. Z praktycznego punktu widzenia AT<sub>4</sub> jest bardziej rekomendowany ze względu na krótki

czas pomiaru, a zatem powinien być wskaźnikiem wykorzystywanym do oceny podatności substratów również na rozkład beztlenowy.

## 6. Wnioski

Przedstawione wyniki badań wykazują, że:

1. Wyznaczone ilorazy C/N dla kiszonki kukurydzy, podłoża pieczarek, pomiotu kurzego, trawy oraz łęt pomidorów dobrze korespondują 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.  $AT_4$  na poziomie 200 gO<sub>2</sub>/kgs.m oraz największą produkcję metanu (320 dm<sup>3</sup>/kgs.m.) uzyskano dla kiszonki kukurydzy, dla której iloraz C/N=57.
4. Analiza statystyczna wykazała wysoką korelację pomiędzy BMP a  $AT_4$ .
5. Test BMP można zastąpić testem  $AT_4$ . Dla badanych substratów wyznaczono zależność postaci:  $BMP = 1,23 AT_4 + 44,3$  przy  $R^2 = 0,9$ .
6. Z praktycznego punktu widzenia  $AT_4$  jest bardziej rekomendowany ze względu na krótki czas pomiaru i powinien być wskaźnikiem wykorzystywanym do oceny podatności substratów również na rozkład 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

1. Adani, F., Ubbiali, C., et al. (2002). *Static and dynamic respirometric indexes - Italian research and studies*. Biological treatment of biodegradable waste - Technical Aspects, Brussels.
2. Bożym M., (2011). *Wykorzystanie testów do oceny stopnia stabilizacji odpadów*. Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych, 7, 79-88.

3. Cossu R., Raga R., (2008). *Test methods for assessing the biological stability of biodegradable waste*. Waste Management, 28, 381-388.
4. Czechowska-Kosacka A., (2013). *Osady ściekowe jako źródło energii odnawialnej*. Rocznik ochrona Środowiska, 15, 314-323.
5. d' Obryn K.; Szalińska E., (2005). *Odpady komunalne – zbiórka, recykling, unieszkodliwianie odpadów komunalnych i komunalnopodobnych*. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków.
6. Dąbrowska L., (2015). *Wpływ sposobu prowadzenia fermentacji osadów ściekowych na produkcję biogazu*. Rocznik Ochrony Środowiska, 17, 943-957.
7. Gaw – Lin J., Shih Ma Y., et al., (1999). *BMP test on chemically pretreated sludge*. Bioresource Technology, 68(2), 187-192.
8. Godley A., Lewin K., et al., (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.
9. 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.
10. Jędrzak A., (2007). *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
11. Myszograj S., (2011). *Biodegradowalność hydrolizatów z dezintegracji termicznej odpadów komunalnych*. Inżynieria i Ochrona Środowiska, 14(3) 281-290.
12. Owen W.F., Stuckey D.C., et.al., (1979) *Bioassay for Monitoring biochemical methane potencial and anaerobic toxicity*. Journal Water Researches, 13, 485-492.
13. Romaniuk W., Domasiewicz T., (2014). *Substraty dla biogazowni rolniczych*. Wyd. Hortpress, Warszawa.
14. Ponsa S., Gea T., et al., (2008). *Comparison of aerobic and anaerobic stability indices through a MSW biological treatment process*. Waste Management, 28 (12), 2732-2742.
15. Rosik – Dulewska Cz., (2001). *Basics of waste management*, PWN, Warsaw.
16. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2001, nr 112, poz. 1206).
17. Sadecka Z., (2010). *Fundamentals of biological wastewater treatment*. ed. Seidel-Przywecki, Warsaw.
18. 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.

19. Wagland S.T., Tyrrel S.F., et al., (2009). *Test methods in the evaluation of the diversion of biodegradable municipal waste (BMW) from landfill.* Waste Management, 29, 1218-1226.

## **Streszczenie**

Ocenę podatności odpadów na rozkład biochemiczny można dokonać na podstawie ich właściwości fizyczno-chemicznych. Zalecanym parametrem jest iloraz C/N. Dodatkowymi parametrami są: BMP (biochemiczny potencjał biogazowy) dla rozkładu beztlenowego oraz  $AT_4$  (test respiracyjny) dla procesów tlenowych. Substratem do produkcji biogazu mogą być odpady zarówno komunalne jak i pochodzące z przemysłu rolnego i spożywczego. Szczególnie atrakcyjnym substratem do fermentacji metanowej są odpady pochodzące z chowu zwierząt oraz z rolnictwa. Charakteryzują się one wysokim potencjałem produkcji biogazu oraz niską ceną zakupu. Jednak substraty te często wymagają fermentacji z innymi substratami. 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 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.

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

W badaniach stosowano rozdrabniane do wymiarów  $< 20\text{mm}$  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

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 AT<sub>4</sub>.

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

Największą produkcję metanu (320 dm<sup>3</sup>/kgs.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 AT<sub>4</sub> na poziomie 200 gO<sub>2</sub>/kg s.m. uzyskano dla kiszonki kukurydzy, a najniższą 53 gO<sub>2</sub>/kg s.m. dla podłoża pieczarek. Dla substratów uzyskano niską korelację między BMP i AT<sub>4</sub> a ilorazem C/N. Uzyskane wartości R<sup>2</sup> wnosily kolejno: 0,6 i 0,5. Niskie wartości R<sup>2</sup> 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 AT<sub>4</sub>. Przedstawione w pracy wyniki badań potwierdzone wynikami innych autorów wskazują, że zarówno BMP jak i AT<sub>4</sub> są odpowiednimi wskaźnikami do oceny podatności substratów na rozkład. Z praktycznego punktu widzenia AT<sub>4</sub> 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, AT<sub>4</sub>

## **The possibility of using organic substrates in the fermentation process**

### **Summary**

Evaluation of waste susceptibility on the biochemical decomposition can be made on the basis of their physico-chemical properties. The preferred parameter is the ratio of C/N. Additional parameters are: BMP (biochemical methane potential) for anaerobic digestion and AT<sub>4</sub> (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 physico-chemical properties, the ratio C / N, BMP (biochemical methane potential and AT<sub>4</sub> (test aerobic respiration)). In the studies was used shredded to the size of <20mm the following substrates: maize silage, ground mushrooms, chicken manure, grass and haulm tomatoes. The physico-chemical 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<sub>4</sub>. 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 dm<sup>3</sup>/kgs.m.) 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<sub>4</sub> of 200 gO<sub>2</sub>/kg dm obtained for corn silage, and the lowest 53 gO<sub>2</sub>/kg dm for ground mushrooms. For tested substrates were obtained low correlation between BMP and AT<sub>4</sub> and the quotient C/N. R<sup>2</sup> values were obtained successively: 0.6 and 0.5. Low values of R<sup>2</sup> 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<sub>4</sub>. Presented at work the results confirmed by of other authors indicate that both BMP and AT<sub>4</sub> 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.

**Keywords:**

waste, biochemical methane potential, respirometric index