



Ko-fermentacja pomiotu kurzego

Zofia Sadecka, Monika Suchowska-Kisielewicz
Uniwersytet Zielonogórski

1. Wstęp

W gospodarce ściekami i osadami pochodzącymi z różnych sektorów, beztlenowe, biologiczne metody przeróbki z produkcją metanu mają zasadniczą przewagę nad innymi procesami. Rozkład beztlenowy należy do najstarszych procesów biologicznych, który stosowano już w czasach, gdy praktycznie nic jeszcze nie wiedzano o jego mikrobiologicznych podstawach. Metoda gromadzenia fekałi czy gnojowicy w zbiornikach, z przeznaczeniem do wykorzystania rolniczego w okresach poza wegetacyjnymi roślin była stosowana od stuleci, stosowana jest też obecnie. Od ponad stu lat stosuje się ten proces do celowego już oczyszczania wysoko stężonych ścieków i do stabilizacji osadów ściekowych. Rozwój technologii fermentacji metanowej jest bardzo intensywny, czego dowodem jest wprowadzanie innowacyjnych modyfikacji prowadzenia tego procesu. Obok powszechnie stosowanej fermentacji metanowej osadów ściekowych, coraz większego znaczenia nabierają metody biologicznego, beztlenowego przetworzenia wielu rodzajów odpadów organicznych, zarówno stałych jak i ciekłych. Dzięki tym rozwiązaniom ogranicza się składowanie tych odpadów na składowiskach (Sadecka 2010, Jędrzak 2007, Sidelko 2013, Lebiocka 2013). O efektywności procesu oraz o ilości produkowanego biogazu decyduje skład chemiczny substratu i jego podatność na rozkład beztlenowy. Praktycznie każda substancja organiczna, nie zawierająca inhibitorów, może być substratem wykorzystanym do produkcji biogazu.

Duży udział w substratach odpadowych białek i tłuszczu korzystnie wpływa na efektywność biodegradacji, podczas gdy wysoka zawartość lignin i hemicelulozy znacznie ją obniża. Podatność substratów or-

ganicznych na biodegradację ocenia się na podstawie ilorazu C/N, który powinien dla procesu fermentacji metanowej mieścić się w zakresie: od 20:1 do 30:1.

Wartości ilorazów C/N dla wybranych substratów z podziałem na substraty o niskiej i wysokiej zawartości azotu zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości ilorazu C/N dla wybranych substratów (Khanakl 2008, Jędrzszak 2007)

Table 1. The value of quotient of C/N for the selected substrates (Khanakl 2008, Jędrzszak 2007)

Substraty odpadowe o niskiej zawartości azotu		Substraty odpadowe o wysokiej zawartości azotu	
Substrat	Iloraz C/N	Substrat	Iloraz C/N
Słoma	80-100:1	Odpady kuchenne	12-20:1
Liście i chwasty	90:1	Odpady żywności	15:1
Siano	40:1	Odpady zielone	10-25:1
Papier	170-800:1	Obornik	18:1
Trociny	200-500:1	Pomiot kurzy	15:1
Drewno	700:1	Rośliny nie strączkowe	11-12:1
Kora	100-130:1	Rośliny motylkowe	18-20:1
Kolby kukurydzy	40-80:1	Świeża trawa	12-20:1

Przedstawione w tabeli 1 dane wykazują, że nie wszystkie substraty charakteryzują się korzystnym dla procesu fermentacji ilorazem C/N. Optymalizację składu substratów, a w szczególności: zawartości suchej masy, suchej masy organicznej, proporcji C/N czy też stężenia inhibitorów można uzyskać stosując ko-fermentację, czyli wspólną fermentację dwóch lub więcej składników połączonych w jednorodną mieszaninę.

Najczęściej spotyka się rozwiązanie, gdy udział jednego z substratów przekracza 50%. Obecnie rozwój technologii fermentacji nabiera innego wymiaru i w miarę prowadzonych doświadczeń w skali półtechnicznej czy też technicznej zwiększa się spectrum wykorzystywanych substratów. Można wymienić tu kilka z nich, a są to gnojowica, odpady z rolnictwa lub przemysłu rolno-spożywczego, frakcje organiczne odpadów komunalnych, bioodpady (zbierane selektywnie), odpady

papiernicze, biomasa czy kiszonki. W przypadku fermentacji odpadów mieszanych konieczne jest zbilansowanie składu substratów, parametrów procesowych oraz wstępne przygotowanie substratów (Sadecka 2010, Jędrzak 2007, Dąbrowska 2015).

W tabeli 2 przedstawiono wydajność produkcji metanu z substratów (wykorzystywanych do ko-fermentacji w biogazowniach), charakteryzujących się wysoką podatnością na rozkład biologiczny i wysoką produkcją metanu ze wskazaniem miejsc ich powstawania wraz z zawartością suchej masy (s.m.) i suchej masy organicznej (s.m.o.).

Zgodnie z rządowym programem „Innowacyjna Energetyka – Rolnictwo Energetyczne” coraz większą rolę w energetyce odnawialnej powinna odgrywać energia pochodząca z biogazu rolniczego. Potencjał biomasy rolniczej do produkcji biogazu umożliwia wyprodukowanie od 5 do 6 mld m³ gazu rocznie, którego parametry są zbliżone do gazu ziemnego. Roczne zapotrzebowanie na gaz w Polsce wynosi około 14 mld m³, podczas gdy krajowe wydobycie gazu ziemnego kształtuje się na poziomie 4,5 mld m³ (Popczyk 2008, Romaniuk 2014). Szacuje się, że odbiorcy indywidualni z terenów wiejskich zużywają około 500 mln m³ gazu. Przewidywana produkcja biogazu w biogazowniach mogłaby pokryć około 10% zapotrzebowania kraju na gaz lub w całości zapotrzebowanie odbiorców z terenów wiejskich. Dodatkowo można uzyskać 125 tys. MW_{el} (energii elektrycznej) i 200 MW_{th} (ciepła).

W biogazowniach rolniczych w pierwszej kolejności powinny być wykorzystywane produkty uboczne z rolnictwa, płynne i stałe odchody zwierzęce oraz pozostałości przemysłu rolno-spożywczego. Szczególnym substratem jest pomiot kurzy, z którego z uwagi na wysoką zawartość substancji organicznych, można uzyskać wysoką produkcję biogazu. Według danych literaturowych pomiot kurzy charakteryzuje się zawartością suchej masy organicznej od 63 do 80% s.m., produkcją biogazu: 250-450 m³/Mg s.m.o., oraz 60% (obj.) zawartością metanu w biogazie (Fugol 2010, 2011, Szlachta 2009).

Tabela 2. Grupy ko-substratów charakteryzujących się wysokim potencjałem produkcji metanu (Romaniuk 2014)**Table 2.** Co-substrates with high potential for methane production (Romaniuk 2014)

Nazwa substratu	Sucha masa, %	Sucha masa organiczna, % s.m.	Produkcja CH ₄ m ³ /Mg s.m.o.
Odpady z hodowli zwierzęcej			
Gnojowica bydłęca	9,5	77,4	222,5
Gnojowica świńska	6,6	76,1	301,0
Odchody drobiowe mokre ze ściółką	15,1	75,6	320,0
Odchody drobiowe podsuszone	30,0	72,7	230,0
Odchody indyzyce	15,1	75,6	320,0
Gnojowica krów	8,5	85,5	154,0
Gnojówka	2,1	60,0	222,5
Odpady poubojowe			
Odpady poflotacyjne z rzeźni	14,6	90,6	680,0
Zawartość zołądków bydłęcych	15,0	84,0	264,0
Tkanka tłuszczowa	14,3	49,1	700,0
Rośliny energetyczne i odpady rolnicze			
Trawa – kiszonka	40,3	83,4	396,6
Trawa	11,7	88,0	587,5
Siano	87,8	89,6	317,6
Ziemiaki liście	25,0	79,0	291,0
Kukurydza – kiszonka	32,6	90,8	376,5
Bób – kiszonka	24,1	88,6	546,6
Rzepak – kiszonka	50,8	87,6	444,0
Burak pastewny	13,5	85,0	360,3
Burak cukrowy	23,0	92,5	–
Cebula	12,9	94,8	–
Przetwórstwo spożywcze			
Odpady i resztki owoców	45,0	61,5	400,0
Odpady i pozostałości warzyw	13,6	80,2	370,0
Wysłodziny browarnicze	20,5	81,2	545,1
Wywar pogorzelniany ziemniaczany	13,6	89,5	387,7
Odpady z produkcji oleju	78,8	97,0	600,0
Serwatka	5,4	86,0	383,3
Odpady z produkcji serów	79,3	94,0	610,2
Odpady piekarnicze	87,7	97,1	403,4

Wykorzystanie pomiotu kurzego 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 w granicach od 2:1 do 14:1. Prawidłowo przebiegająca fermentacja metanowa pomiotu kurzego wymaga więc zbilansowania ilorazu C/N przez wprowadzanie odpowiedniej ilości dodatkowych ko-substratów, bogatych w węgiel organiczny (Carmona 2014). Ko-substratami tymi mogą być: odpady szklarniowe (łąty pomidorów, ogórków), odpady rolnicze (obierki, wysłodki, melasa), biomasa w tym rośliny energetyczne (kiszonki kukurydzy, traw), frakcja organiczna odpadów komunalnych i osady ściekowe. Konkurencyjnym ko-substratem w przypadku małych biogazowni rolniczych może być podłoże popieczarkowe. Należy je traktować jako szeroko dostępny i tani substrat.

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące przebiegu procesu fermentacji pomiotu kurzego z różnymi ko-substratami w aspekcie uzyskania wysokiej produkcji metanu. Efektywność produkcji biogazu z poszczególnych substratów określano na podstawie metodyki podanej przez Owena (Owena 1979), a wydajność produkcji metanu podano w dm^3/g suchej masy substratów i ich mieszanek.

2. Cel i metodyka badań

Głównym celem badań było ustalenie optymalnych udziałów ko-substratów do procesu fermentacji w celu uzyskania wysokiej produkcji metanu (BMP). Głównym substratem był pomiot kurzy, a jako ko-substraty wykorzystywano: podłoże pieczarek, kiszonkę kukurydzy, słomę, trawę oraz łąty pomidorów. Udział ko-substratów we wsadzie do fermentacji pomiotu kurzego ustalano w oparciu o iloraz C/N. Substraty rozdrabniano do wymiarów mniejszych od 20mm. Skład fizyczno-chemiczny oceniano na podstawie następujących parametrów: zawartość suchej masy, suchej masy organicznej, 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. Badania procesu beztlenowego rozkładu z produkcją biogazu prowadzono w reaktorach nieprzepływowych (batch scale) (rysunek 1) o obj. $2,5 \text{ dm}^3$ w czasie 21-30 dób.



Rys. 1. Bioreaktory do testu BMP

Fig. 1. Bioreactors to BMP test

Potencjał biogazowy określono dla różnego procentowego udziału pomiotu kurzego i ko-substratów. W badaniach testowano następujące mieszanki:

- pomiot kurzy, kiszonka kukurydzy,
- pomiot kurzy, łęty pomidorów,
- pomiot kurzy, słoma,
- pomiot kurzy, podłoże pieczarek.

Procentowy udział pomiotu w mieszankach wynosił: 20, 60, 70 i 90%.

Analizy wykonano zgodnie z obowiązującymi polskimi i europejskimi normami, a w procesie fermentacji mierzono ilości i skład produkowanego biogazu oraz skład osadów pofermentacyjnych.

3. Wyniki badań i ich interpretacja

3.1. Iloraz C/N substratów

Podatność substratów na rozkład określano na podstawie ilorazu C/N. Wyniki obliczonych wartości C/N dla stosowanych w badaniach substratów przedstawiono w tabeli 3. Wyznaczone wartości C/N dla substratów wynosiły od 12 do 169. Do zakresu optymalnego dla procesu fermentacji zbliżony był tylko iloraz C/N = 31 wyznaczony dla łęt pomidorów. Pomiot kurzy charakteryzował się wartością tego ilorazu na poziomie 12. Wyniki uzyskane dla pomiotu, trawy, kiszonki kukurydzy

dobrze korespondują z wartościami C/N podawanymi w literaturze (Romaniuk 2014, Fugol 2011, Carmona 2014). Dla słomy stosowanej w badaniach uzyskano iloraz C/N = 169 i odbiegał on od zakresu podawanego w literaturze (80:1-100:1).

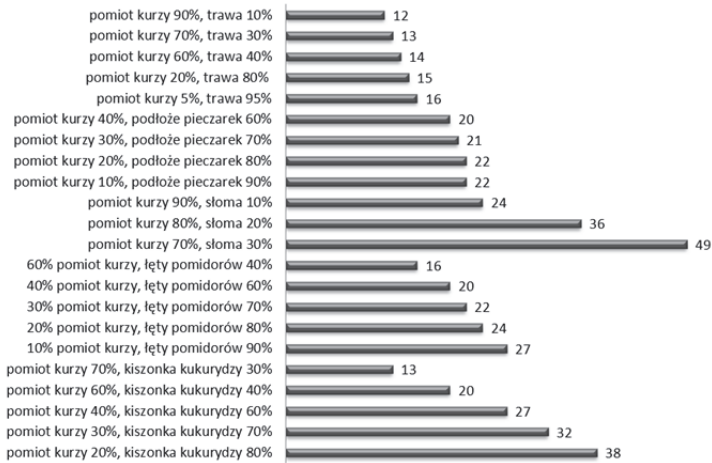
Tabela 3. Wartość ilorazu C/N badanych substratów

Table 3. The value of C/N quotient of tested substrates

Rodzaj substratu	C/N
pomiot kurzy	12
podłoże pieczarek	16
kiszonka kukurydzy	57
słoma	169
trawa	16
łęty pomidorów	31

Aby skorygować wartość ilorazu C/N, do substratu podstawowego (pomiot kurzy) dodawano w różnych proporcjach inne substraty. Wyznaczone wartości C/N dla mieszanin substratów przedstawiono na rysunek 4. Dla mieszaniny pomiotu kurzego z kiszonką kukurydzy iloraz C/N był w zakresie 13-38. Iloraz C/N od 20 do 30 uzyskano dla mieszanin: 40% pomiot kurzy+60% kiszonka kukurydzy oraz 60% pomiot kurzy+40% kiszonka kukurydzy. Dobrym ko-substratem do pomiotu kurzego okazały się łęty pomidorów. Dla udziału łęt od 60 do 90% wartości C/N mieszaniny oscylowały w zakresie od 20 do 27.

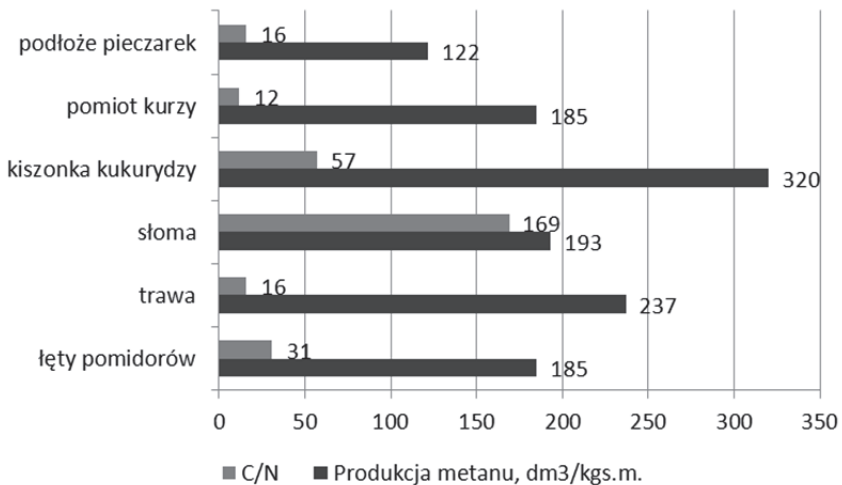
Wyniki badań mieszaniny pomiotu i słomy wykazują, że tylko w przypadku 10% udziału słomy wartość ilorazu wynosiła C/N=24. Gdy do pomiotu kurzego dodawano podłoże pieczarek w proporcjach od 60 do 90% uzyskano zadawalający iloraz C/N w zakresie 20-22. Trawa natomiast nie była dobrym ko-substratem do pomiotu, ponieważ jej udział od 10 do 95% nie spowodował poprawy ilorazu C/N. Określając podatność pomiotu kurzego z ko-substratami na rozkład beztlenowy na podstawie ilorazu C/N należy stwierdzić, że przy założeniu jak największego udziału pomiotu w mieszaninie optymalną wartości ilorazu C/N wynoszące 20 i 24 uzyskano kolejno dla mieszanin 60% pomiotu+40% kiszonki kukurydzy oraz 90% pomiotu+10% słomy.



Rys. 4. Ilorazy C/N mieszanki pomiotu kurzego z ko-substratami
Fig. 4. The quotient C/N mixture of chicken manure with co-substrates

3.2. Potencjał metanowy substratów

Wyniki badań dotyczące potencjału metanowego substratów przedstawiono na rysunku 5. Największą ilość metanu (na poziomie 320 dm³/kg s.m.) uzyskano dla kiszonki kukurydzy oraz dla trawy (rzędu 237 dm³/kg s.m.).



Rys. 5. Potencjał metanowy oraz iloraz C/N substratów
Fig. 5. The potential of the methane and the quotient C/N of substrates

Wyniki badań procesu ko-fermentacji dla pomiotu kurzego z ko-substratami przedstawiono w tabeli 4.

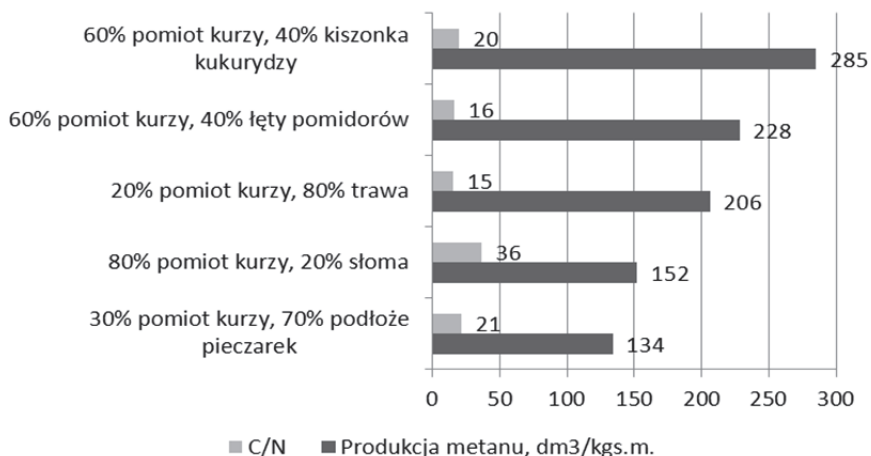
Dane zawarte w tabeli 4 wskazują, że kiszonka kukurydzy i lęty pomidorów są dobrymi ko-substratami do procesu fermentacji pomiotu kurzego. Największe ilości metanu jakie uzyskano podczas ko-fermentacji mieszanin pomiotu z ko-substratami przedstawiono na rysunku 6.

Tabela 4. Wyniki badań procesu ko-fermentacji pomiotu kurzego z różnymi substratami

Table 4. The research results of the chicken manure co-fermentation process with a variety of substrates

Substrat	pH	s.m., g/kg	s.m.o. g/kg s.m.	ChZT g/kg s.m.	N _{Kield.} g/kg s.m.	Metan ³ m ³ /t s.m.	Metan ³ m ³ /t s.m.o.
PK 20%, KK 80%	8,62	253,0	903,4	1546,0	25,8	–	–
PK 30%, KK 70%	8,63	248,6	871,9	1321,0	–	–	–
PK 40%, KK 60%	8,81	243,0	844,3	1362,0	25,3	–	–
PK 60%, KK 40%	8,85	232,0	801,6	1341,0	22,6	285,0	356,0
PK 70%, KK 30%	6,79	227,0	774,0	752,2	46,6	247,0	319,0
PK 10%, ŁP 90%	8,34	142,7	763,6	1076,8	31,1	–	–
PK 20%, ŁP 80%	8,64	152,8	697,9	720,5	36,0	84,0	138,0
PK 30%, ŁP 70%	8,57	218,1	742,1	885,3	30,1	108,1	145,7
PK 40%, ŁP 60%	8,51	165,8	578,9	591,8	46,1	212,4	366,7
PK 60%, ŁP 40%	8,83	180,7	724,2	319,4	46,9	228,0	393,0
PK 70%, S 30%	7,92	428,7	774,3	228,6	–	–	–
PK 80%, S 20%	7,95	322,6	817,3	547,4	38,2	152,0	202,5
PK 90%, S 10%	7,97	299,3	707,3	858,2	44,1	125,3	177,1
PK 10%, PP 90%	8,51	389,9	559,1	800,0	29,4	–	–
PK 20%, PP 80%	8,46	378,9	575,5	786,9	31,0	–	–
PK 30%, PP 70%	8,30	353,8	623,2	835,0	34,0	134,4	212,2
PK 40%, PP 60%	8,12	333,6	634,2	633,5	36,9	124,8	196,7
PK 5%, T 95%	7,90	277,3	607,8	790,7	40,5	–	–
PK 20%, T 80%	8,70	218,9	756,3	801,4	53,4	206,0	272,0
PK 60%, T 40%	8,85	215,6	728,3	830,6	59,7	163,0	223,0
PK 70%, T 30%	7,55	214,0	714,0	854,5	61,3	147,0	119,0
PK 90%, T 10%	8,89	213,2	767,6	840,0	62,9	85,3	111,4

PK – pomiot kurzy, KK – kiszonka kukurydzy, ŁP – lęty pomidorów, S – słoma, PP – podłoże pieczarek, T – trawa



Rys. 6. Potencjał metanowy oraz iloraz C/N substratów 2-składnikowych
Fig. 6. The methane potential and the quotient C/N of two-component substrates

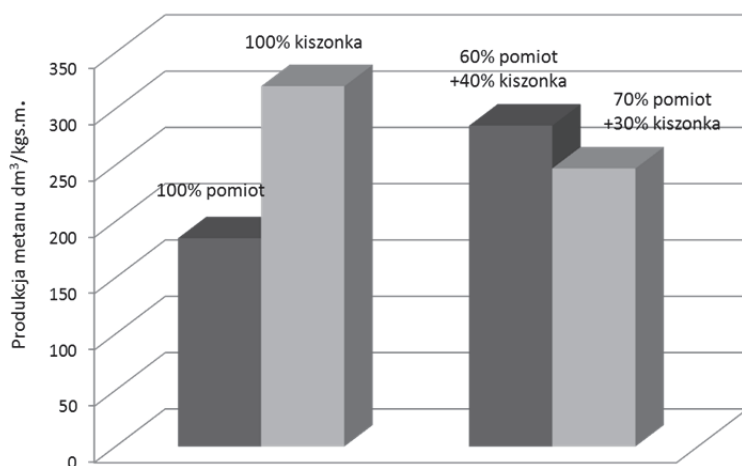
Mieszanina składająca się z 60% pomiotu i 40% kiszonki kukurydzy charakteryzowała się największą produkcją metanu. Produkcję metanu powyżej 200 dm³/kg s.m. uzyskano również dla mieszanin 60% pomiotu i 40% łęt pomidorów oraz 20% pomiot kurzy i 80% trawa. W przypadku dwóch ostatnich mieszanin wartości ilorazu C/N były mniejsze od 20 i wynosiły kolejno 16 i 15.

Interpretacja wyników badań przedstawiona na rysunkach 7 i 8 pozwala ocenić wpływ ko-substratów na efektywność produkcji metanu z pomiotu kurzego.

Dodatek 30 i 40% kiszonki kukurydzy (rysunek 7) powodował wzrost produkcji biogazu w stosunku do ilości produkowanej z pomiotu kurzego kolejno o: 25 i 35%. Porównując produkcję metanu z tych mieszanin odnotowano spadek tej produkcji w porównaniu do produkcji uzyskiwanej z samej kiszonki.

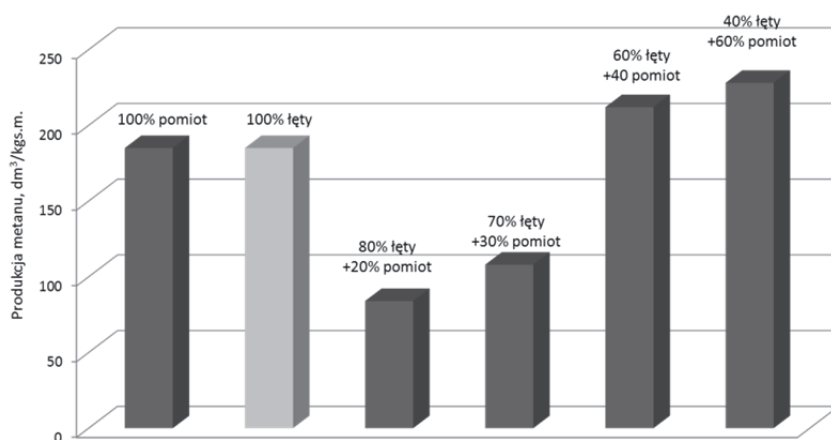
Z mieszaniny pomiotu z łętami pomidorów z zawartością 40 i 60% pomiotu uzyskano większą produkcję metanu w porównaniu do produkcji uzyskanej dla pomiotu lub łęt gdy fermentowano je oddzielnie (rysunek 8). Dodatek od 40 do 80% łęt do pomiotu powodował wzrost wartości ilorazu C/N (rysunek 4), co jednak nie wpłynęło na zwiększenie produkcji metanu. Największą produkcję metanu uzyskano w procesie ko-fermentacji mieszaniny: 60% pomiotu i 40% łęt pomidorów przy C/N=16. Przedstawione zależności wykazują, że iloraz C/N nie jest jed-

noznaczny parametrem oceniających podatność substratów i ich mieszanin na rozkład beztlenowy.



Rys. 7. Produkcja metanu z pomiotu i kiszonki oraz ich mieszanin

Fig. 7. Methane production from chicken manure and silage corn and its mixtures



Rys. 8. Produkcja metanu z pomiotu i łęt pomidorów oraz ich mieszanin

Fig. 8. Methane production from chicken manure and haulm tomatoes and its mixtures

4. Wnioski

Wyniki badań składu substratów do procesu ko-fermentacji pomiotu kurzego wykazały, że:

1. Optymalne dla procesu fermentacji wartości ilorazu C/N czyli w zakresie 20-30 uzyskano dla mieszanin:
 - kiszonka kukurydzy 60%, pomiot kurzy 40% – **27**,
 - kiszonka kukurydzy 40%, pomiot kurzy 60% – **20**,
 - łęty pomidorów 90%, 10% pomiot kurzy – **27**,
 - łęty pomidorów 80%, 20% pomiot kurzy – **24**,
 - łęty pomidorów 70%, 30% pomiot kurzy – **22**,
 - łęty pomidorów 60%, 40% pomiot kurzy – **20**,
 - słoma 10%, pomiot kurzy 90% – **24**,
 - podłoże pieczarek 90%, pomiot kurzy 10% – **22**,
 - podłoże pieczarek 80%, pomiot kurzy 20% – **22**,
 - podłoże pieczarek 70%, pomiot kurzy 30% – **21**,
 - podłoże pieczarek 60%, pomiot kurzy 40% – **20**.
2. Największą produkcję metanu uzyskano z kiszonki kukurydzy (C/N=57) oraz z trawy (C/N=16). Dla tych substratów ilorazy C/N nie mieściły się w zakresie optymalnym dla procesu fermentacji.
3. W procesie ko-fermentacji pomiotu kurzego z różnymi substratami największe ilości metanu (285 oraz 228 dm³/kg s.m.) uzyskano kolejno dla mieszaniny: 60% pomiotu + 40% kiszonka kukurydzy (przy C/N = 27) oraz 60% pomiotu + 40% łęt pomidorów (przy C/N = 16). W przypadku ko-fermentacji pomiotu z łętami pomidorów największą produkcję uzyskano dla C/N<20.
4. Wyniki badań wykazują, że zalecany w literaturze iloraz C/N w zakresie 20-30:1 nie jest jednoznacznym parametrem oceniających podatność substratów i ich mieszanin na rozkład beztlenowy oceniany na podstawie ilości produktowego metanu (biogazu).

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.

Litaratura

- Carmona, P.C.R. & Witaszek, K., (2014). Fermentacja metanowa pomiotu kurzego jako alternatywa i przyjazna środowisku technologia jego zagospodarowania. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 16(1), 21-26.
- Dąbrowska, L. (2015). Wpływ sposobu prowadzenia fermentacji osadów ściekowych na produkcję biogazu. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 943-957.
- Fugol, M. & Prask, H. (2011). Porównanie uzysku biogazu z trzech rodzajów kiszzonek: z kukurydzy, lucerny i trawy. *Inżynieria Rolnicza*, 9(134), 31-38.
- Fugol, M. & Szlachta J. (2010). Zasadność używania kiszzonki z kukurydzy i gnojowicy świńskiej do produkcji biogazu. *Inżynieria Rolnicza*, 1(119), 169-174.
- Jędrzak, A. (2007). *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Khanal, S.K. (2008). *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production*. Wiley-Blackwell, A John Wiley&Sons Publications.
- Lebiocka, M. (2013). Wpływ współfermentacji starych odcieków z osadami ściekowymi na stężenia metali ciężkich w osadzie przefermentowanym. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, 466-478.
- 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.
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*. (2009). Warszawa: Ministerstwo Gospodarki.
- Popczyk, J. (2008). Innowacyjna energetyka – rolnictwo energetyczne. *Rynek Instalacyjny*, 4, 70-74.
- Romaniuk, W., Domasiewicz, T. (2014). *Substraty dla biogazowni rolniczych*. Warszawa: Wyd. Hortpress.
- Sadecka, Z. (2010). *Podstawy biologicznego oczyszczania ścieków*. Warszawa: Wydawnictwo Seidel-Przywecki.
- Sidelko, R. (2013). Zastosowanie reaktora kompaktowego do fermentacji metanowej odpadów komunalnych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, 683-693.
- Szlachta, J. (2009). *Możliwości pozyskiwania biogazu rolniczego jako odnawialnego źródła energii*. Ekspertyza, AgEngPol.

Co-fermentation of Chicken Manure

Abstract

In addition to the commonly used methane fermentation of sewage sludge also organic wastes both solid and liquid they are increasingly being processed in anaerobic process. The effectiveness of the process and the amount

of biogas produced depends on the type of substrate and its susceptibility to anaerobic digestion.

The susceptibility of organic substrates to biodegradation is assessed on the basis of the ratio C/N, which for methane fermentation process should be in the range of from 20 to 30: 1. The optimization of the composition of substrates, in particular a dry matter content of organic dry matter, the ratio C/N or the concentration of inhibitor may be obtained using co-fermentation means fermentation of two or more ingredients combined in a homogeneous mixture. The most common is a solution where one of the substrates is proportion > 50%.

As research on a pilot scale and technical scale increases spectrum used co-substrates. The process of co-fermentation requires a balancing of the composition of the feedstock and pretreatment. One of the substrates for biogas plants can be chicken manure. However, the use of manure causes operational problems. This is due to high levels of ammonia nitrogen and negative quotient of organic carbon to nitrogen in the range from 2 to 14: 1. Properly runs methane fermentation of chicken manure therefore requires balancing the ratio C/N by entering the appropriate number of additional co-substrates, rich in organic carbon. Co-substrates of these may be: greenhouse waste (haulm tomatoes, cucumbers), agricultural wastes (peels, pulp, molasses), biomass including energy crops (corn silage, grass), the organic fraction of municipal waste and sewage sludge. Competitive co-substrate in the case of small agricultural biogas plants can be ground mushrooms.

The paper presents results of research on the process of fermentation chicken manure along with various co-substrates. The main aim of the study was to determine the optimal part of co-substrates for the fermentation process to obtain high production of methane gas (BMP). The main substrate was chicken manure, and as co-substrates were used: grant mushrooms, corn silage, straw, grass and haulm tomatoes. The share of the co-substrates in the feed to the poultry manure fermentation was determined based on the quotient of C / N. Substrates was shredded to a size <20 mm. The physicochemical composition was evaluated based on the following parameters: dry matter content, organic matter, COD, pH, concentration of Kjeldahl nitrogen, ammonia nitrogen and phosphorus. The susceptibility of these substrates on anaerobic biodegradation was evaluated based on the ratio C/N and BMP test. The study of the anaerobic decomposition of biogas production was carried out in the reactors with a volume 2.5 dm³ at the time of 21-30 days. The potential of biogas specified for different percentages chicken manure and co-substrates. In the studies were tested a mixture of: chicken manure + corn silage, chicken manure + haulm tomatoes, chicken manure + straw, chicken manure + ground mushroom. A good co-substrate for chicken manure proved haulm tomatoes. For the portion haulms came from 60 to 90% of the C/N of the mixture fluctuated in the range of 20 to 27.

The highest methane production at the level of 320 dm³/kg DM obtained for corn silage and grass for at the level of 237 dm³/kg DM. The results showed that maize silage and haulm tomatoes are good co-substrates for fermentation of chicken manure. A mixture consisting of 60% manure, and 40% corn silage characterized by the highest production of methane. Methane production at the level of >200 dm³/kg DM were also obtained for mixtures of 60% manure and 40% haulms came tomatoes and chicken manure 20% and 80% grass. For the last two mixtures, the ratio of C/N was <20 and were 16 and 15, respectively.

The addition of 30 and 40% corn silage caused an increase the biogas production relative to the amount of poultry manure produced successively by 25 and 35%. Comparing the production of methane from these mixtures to produce the same corn silage recorded a decrease of these production. The addition of 30 and 40% corn silage caused an increase the biogas production relative to the amount of poultry manure produced successively by 25 and 35%. Comparing the production of methane from these mixtures to produce the same corn silage recorded a decrease production.

With a mixture of manure with haulm tomatoes with the contents of 40 and 60% reported greater manure methane production compared to the production obtained for manure and haulm tomatoes. The addition of from 40 to 80% of the tomato haulm to manure caused an increase of the ratio C/N of the mixture, which did not affect the increase in methane production. The highest methane production achieved in the co-fermentation with a mixture of 60% manure, and 40% tomato haulm at C/N = 16.

The test results show that recommended in the literature quotient C/N in the range of 20-30:1 is not a unique parameter for assessing the susceptibility of substrates and mixtures for anaerobic digestion.

Streszczenie

Obok powszechnie stosowanej fermentacji metanowej osadów ściekowych, coraz większego znaczenia nabierają metody biologicznego, beztlenowego przetworzenia wielu rodzajów odpadów organicznych, zarówno stałych jak i ciekłych. O efektywności procesu oraz o ilości produkowanego biogazu decyduje charakter substratu i jego podatność na rozkład beztlenowy.

Podatność substratów organicznych na biodegradację ocenia się na podstawie ilorazu C/N, który powinien dla procesu fermentacji metanowej mieścić się w zakresie od 20 do 30:1. Optymalizację składu substratów, a w szczególności: zawartości suchej masy, suchej masy organicznej, ilorazu C/N czy też stężenia inhibitorów można uzyskać stosując ko-fermentację, czyli wspólną fermentację dwóch lub więcej składników połączonych w jednorodną mieszaninę. Najczęściej spotyka się rozwiązanie, gdy jeden z substratów jest w przeważającej ilości (>50%).

W miarę prowadzonych doświadczeń w skali półtechnicznej czy też technicznej zwiększa się spectrum wykorzystywanych ko-substratów. Proces ko-fermentacji wymaga wprowadzenia bilansowania składu substratów i ich wstępnego przygotowania. Jednym z substratów do biogazowni rolniczych może być pomiot kurzy. Wykorzystanie pomiotu stwarza jednak problemy eksploatacyjne. Związane jest to przede wszystkim z wysokimi stężeniami azotu amonowego oraz niekorzystnym ilorazem węgla organicznego do azotu w granicach od 2 do 14:1. 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 i osady ściekowe. Konkurencyjnym ko-substratem w przypadku małych biogazowni rolniczych może być podłoże popieczarkowe.

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące przebiegu procesu fermentacji pomiotu kurzego wraz z różnymi ko-substratami. Głównym celem badań było ustalenie optymalnych udziałów ko-substratów do procesu fermentacji w celu uzyskania wysokiej produkcji metanu (BMP). Głównym substratem był pomiot kurzy, a jako ko-substraty wykorzystywano: podłoże pieczarek, kiszonkę kukurydzy, słomę, trawę oraz łęty pomidorów. Udział ko-substratów we wsadzie do fermentacji pomiotu kurzego ustalano w oparciu o iloraz C/N. Substraty rozdrabniano do wymiarów $< 20\text{mm}$. Skład fizyczno-chemiczny oceniano na podstawie następujących parametrów: zawartość suchej masy, suchej masy organicznej, 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. Badania procesu beztlenowego rozkładu z produkcją biogazu prowadzono w reaktorach nie przepływowych o obj. $2,5\text{ dm}^3$ w czasie 21-30 dób. Potencjał biogazowy określono dla różnego procentowego udziału pomiotu kurzego i ko-substratów. W badaniach testowano mieszaniny: pomiot kurzy + kiszonka kukurydzy, pomiot kurzy + łęty pomidorów, pomiot kurzy + słoma, pomiot kurzy + podłoże pieczarek.

Wyznaczone wartości C/N dla substratów wynosiły od 12 do 169. Do zakresu optymalnego dla procesu fermentacji zbliżony był tylko iloraz C/N = 31 wyznaczony dla łęt pomidorów. Pomiot kurzy charakteryzował się wartością tego ilorazu na poziomie 12. Wyniki uzyskane dla pomiotu, trawy, kiszonki kukurydzy dobrze korespondują z wartościami C/N podawanymi w literaturze. Dla słomy stosowanej w badaniach uzyskano iloraz C/N=169 i odbiegał on od zakresu 80-100:1 podawanego w literaturze. Aby skorygować wartość ilorazu C/N do substratu podstawowego (pomiot kurzy) dodawano w różnych proporcjach inne sub-

straty. W mieszaninach pomiot kurzy stanowił od 20 do 90%. Dla mieszaniny pomiotu kurzego z kiszonką kukurydzy uzyskano ilorazy C/N w zakresie 13-38. Iloraz C/N od 20 do 30 uzyskano dla mieszanin: 40% pomiot kurzy+ 60% kiszonka kukurydzy oraz 60% pomiot kurzy+40% kiszonka kukurydzy.

Dobrym ko-substratem do pomiotu kurzego okazały się łęty pomidorów. Dla udziału łęt od 60 do 90% wartości C/N mieszaniny oscylowały w zakresie od 20 do 27.

Najwyższą produkcję metanu na poziomie $320 \text{ dm}^3/\text{kg}$ s.m. uzyskano dla kiszonki kukurydzy oraz dla trawy rzędu $237 \text{ dm}^3/\text{kg}$ s.m. Wyniki badań wykazały, że kiszonka kukurydzy i łęty pomidorów są dobrymi ko-substratami do procesu fermentacji pomiotu kurzego. Mieszanina składająca się z 60% pomiotu i 40% kiszonki kukurydzy charakteryzowała się największą produkcją metanu. Produkcję metanu rzędu $>200 \text{ dm}^3/\text{kg}$ s.m. uzyskano również dla mieszanin: 60% pomiotu i 40% łęt pomidorów oraz 20% pomiot kurzy i 80% trawa. W przypadku dwóch ostatnich mieszanin wartości ilorazu C/N były < 20 i wynosiły kolejno 16 i 15.

Dodatek 30 i 40% kiszonki kukurydzy powodował wzrost produkcji biogazu w stosunku do ilości produkowanej z pomiotu kurzego kolejno o: 25 i 35%. Porównując produkcję metanu z tych mieszanin odnotowano spadek tej produkcji w porównaniu do produkcji uzyskiwanej z samej kiszonki.

Z mieszaniny pomiotu z łętami pomidorów z zawartością 40 i 60% pomiotu uzyskano większą produkcję metanu w porównaniu do produkcji uzyskanej dla samego pomiotu i samych łęt. Dodatek od 40 do 80% łęt do pomiotu powodował wzrost wartości ilorazu C/N mieszaniny, co nie wpłynęło na zwiększenie produkcji metanu. Największą produkcję metanu uzyskano w procesie ko-fermentacji mieszaniny: 60% pomiotu i 40% łęt pomidorów przy $C/N = 16$.

Wyniki badań wykazują, że zalecany w literaturze iloraz C/N w zakresie 20-30:1 nie jest jednoznacznym parametrem oceniających podatność substratów i ich mieszanin na rozkład beztlenowy oceniany na podstawie ilości produkowanego metanu (biogazu).

Słowa kluczowe:

poimot kurzy, ko-fermentacja, C/N, biogaz

Keywords:

chicken manure, co-fermentation, C/N ratio, biogas