

# KOFERMENTACJA W BIOGAZOWNIACH ROLNICZYCH

Streszczenie

*Kofermentacja, czyli wykorzystanie dwóch lub więcej substratów w procesie fermentacji metanowej wydaje się być optymalnym rozwiązaniem dla wielu biogazowni rolniczych. W szczególnych przypadkach kofermentacja pozwala na uzyskanie większej wydajności biogazowej zmieszanych substratów niż każdego z osobna. Pomimo wielu zalet, prawidłowo przebiegająca kofermentacja jest trudnym do przeprowadzenia procesem z uwagi na szereg ściśle powiązanych ze sobą parametrów. Kofermentacja pozwala na wykorzystanie szerokiej gamy odpadów, m.in. z przemysłu rolno-spożywczego, co bezpośrednio przekłada się na korzyści finansowe i środowiskowe. W niniejszej pracy omówiono czynniki prowadzenia kofermentacji, oraz przedstawiono substraty, które mogą być wykorzystywane w tym procesie.*

**Słowa kluczowe:** biogaz, odpady, fermentacja metanowa, kofermentacja

## Wstęp

Wraz z rozwojem cywilizacji rośnie zapotrzebowanie na energię elektryczną przy jednoczesnym ubytku zasobu paliw tradycyjnych, takich jak ropa, gaz ziemny czy węgiel kamienny. Kraje Unii Europejskiej, w tym Polska, zobowiązały się do uzyskania określonego finalnego wykorzystania źródeł odnawialnych w całym zużyciu energii pierwotnej. W przypadku Polski jest to pozyskanie energii w 15% z odnawialnych źródeł energii do 2020 r. [12]. W świetle tych zmian, szczególnie biomasa przeznaczona na cele biogazowe, staje się atrakcyjnym substratem dla przemysłu energetycznego. Produkcja i wykorzystanie biogazu rolniczego wydaje się być jedną z najlepszych metod pozyskiwania energii elektrycznej oraz energii cieplnej w Polsce. Wynika to z faktu, że biomasa jest tanim i łatwym w pozyskaniu źródłem energii. Sprzyjające są ku temu również zmiany w polskim ustawodawstwie. Na koniec listopada 2016 roku w Polsce funkcjonowało 91 biogazowni rolniczych [6]. W porównaniu z ilością instalacji w Niemczech, Włoszech czy Wielkiej Brytanii o łącznej liczbie ponad 12 tys., sytuacja w Polsce nie wygląda korzystnie [5]. Słaby rozwój sektora biogazowni w Polsce spowodowany był przede wszystkim niską opłacalnością produkcji biogazu, co w głównej mierze wynikało z braku odpowiedniego systemu wsparcia dla omawianego źródła. Jak dotąd najczęściej wykorzystywanymi substratami w procesie fermentacji była gnojowica bydłowa i siewna z kiszonką kukurydzianą. W ostatnim czasie jednak wykorzystanie odpadów jako substratu zyskało na znaczeniu, co wynika z niskich kosztów pozyskania materiału wsadowego. Nie każdy substrat może być jednak wykorzystany do produkcji energii, co wynika z jego właściwości. Łącząc dwa lub więcej substratów można natomiast uzyskać materiał wsadowy o optymalnych parametrach, a tym samym ustabilizować pracę biogazowni oraz zwiększyć ilość produkowanej energii. Przykładowo, pomiot kurzy zawierający znaczne ilości azotu należy zmieszać w odpowiednich proporcjach z substratem o dużej zawartości węgla organicznego. W przeciwnym wypadku może dojść do akumulacji azotu amonowego i zatrzymania procesu. Kofermentacja zatem wydaje się być właściwym zabiegiem zarówno z procesowego, jak i ekonomicznego punktu widzenia.

W Polsce zyski z produkcji energii elektrycznej w biogazowni rolniczej wynoszą obecnie 450-500 zł/MWh,

natomiast w wielu krajach Europy kwota ta sięga nawet 1200 zł/MWh [5]. Istnieje zatem konieczność szukania nowych rozwiązań podnoszących opłacalność produkcji. Do tej pory tradycyjnymi substratami wykorzystywanymi m.in. w technologii NaWaRo była gnojowica oraz kiszunka z kukurydzy. Mając na uwadze koszty pozyskania kiszunki poszukuje się coraz to nowych substratów. Prawidłowo dobrana mieszanina wsadu powinna zawierać od 11 do 15% suchej masy ze względu na konieczność jej pompowania. Substratami o dużym potencjale, ze względu na brak kosztów zakupu oraz ogólnodostępność, są odpady z przemysłu spożywczego (odpady tłuszczowe i serowe, odpady z produkcji żelatyny i skrobi), gdzie dostępne są ogromne ilości zepsutej żywności o znacznej zawartości materii organicznej. Niestety, większość tych substratów jest niezdatna do monofermentacji z powodu niekorzystnych parametrów, m.in. dużej zawartości azotu powodującego powstawanie amoniaku działającego już od niewielkich ilości inhibicyjnie na proces fermentacji metanowej. Do tego należy również dołączyć fakt, że niektóre substraty występują sezonowo, a przechowywanie znacznych ilości wsadu jest zazwyczaj nieopłacalne. Coraz nowsze technologie pozwalają na fermentację substratów, które do tej pory nie były wykorzystywane. Kompleksowym rozwiązaniem jest więc łączenie substratów tworząc optymalne warunki dla procesu fermentacji, tym samym znacznie zwiększając wydajność procesu.

## Kofermentacja

Kofermentacja, inaczej nazywana współfermentacją, jest procesem polegającym na połączeniu ze sobą dwóch lub więcej substratów w celu przeprowadzenia fermentacji metanowej. Rozkład beztlenowy zachodzi w czterech etapach: hydrolizy, kwasogenezy, octanogenezy oraz metanogenezy, tak samo jak w przypadku fermentacji jednego substratu [9].

Kofermentacja jest wydajnym rozwiązaniem, ponieważ często pozwala na uzyskanie większej ilości biogazu z połączenia dwóch substratów niż z ich sumy w monofermentacji. Ponadto, nie każdy substrat ma odpowiednie właściwości, by móc poddać go fermentacji. Jednym z takich parametrów jest odczyn pH. Innym ważnym wymaganym parametrem w celu optymalizacji procesu jest stosunek węgla względem azotu. Optymalnym przykładem jest kurzy pomiot, który odznacza się

wąskim zakresem C/N. Przy zwiększonej ilości azotu dochodzi do powstawania amoniaku działającego inhibicyjnie już przy niewielkich ilościach (2,7 g/l) na proces fermentacji metanowej [11]. Pomiot kurzy o średnim stosunku C/N, wynoszącym około 9, należy zatem połączyć z substratami o szerokim stosunku C/N, czyli bogatymi w węgiel organiczny. Proces kofermentacji posiada zarówno zalety, jak i wady. Pomimo dostępności szerokiej gamy substratów na rynku biomasy, trudnym zadaniem jest odpowiednie dobranie materiałów uzupełniających się w taki sposób, by proces rozkładu materii organicznej przebiegał prawidłowo. Kolejnym zadaniem jest konieczność dokonania homogenizacji substratów, celem uzyskania jednorodnej mieszanki. W przypadku niektórych wsadów wiąże się to z dużą energochłonnością procesu. W najgorszym wypadku skutkować to może niezdatnością substratu do użycia, co z kolei pociąga za sobą konieczność pozyskania innego wsadu. Pamiętać jednak należy o konieczności przetwarzania takich odpadów, jak odpady spożywcze, komunalne czy przemysłowe. Wynika to z regulacji prawnych oraz ograniczenia ryzyka rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń do środowiska [4, 13].

### Kofermentacja jako sposób na zagospodarowanie odpadów

Odpady organiczne, zwłaszcza pochodzące z przemysłu rolno-spożywczego zazwyczaj nadają się do biologicznego przetworzenia. Wynika to przede wszystkim z obecności materii organicznej oraz dostępności składników pokarmowych dla mikroorganizmów produkujących biogaz. Biogazownia rolnicza wydaje się więc idealnym miejscem do zagospodarowania omawianej grupy substratów. Poza produkcją metanu za dużą zaletę należy uznać ograniczenie warunków sprzyjających rozwojowi patogenów. Rozkładająca się materia organiczna nieodpowiednio składowanych odpadów powoduje emisję do atmosfery szkodliwych gazów, takich jak: CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S i CH<sub>4</sub> [10]. Konieczne jest więc jej przetworzenie w warunkach kontrolowanych, np. poprzez produkcję biogazu. Z uwagi na znaczne ilości produkowanych odpadów oraz ich specyficzne właściwości zagospodarowanie ich w celu produkcji biogazu rolniczego posiada niewątpliwy potencjał. Odpady spożywcze, pochodzące z domostw i restauracji, korzystnie połączyć można m.in. z obornikiem świńskim. Łącząc odpady, konieczne jest poszukiwanie odpowiednich proporcji wykorzystywanych substratów. Mając na uwadze prawidłowy przebieg procesu należy pamiętać również o ustaleniu odpowiednich proporcji w mieszankach, tak aby uzysk biogazu był możliwie największy, a rozkład stabilny. Odpady spożywcze często mają stosunkowo niskie pH, nawet poniżej 5. Poszukuje się więc innych substratów o wyższej wartości tego parametru. Z prowadzonych przez Eurostat statystyk w 2012 roku wynika, że domostwa w Polsce produkują ponad 9 milionów ton odpadów spożywczych rocznie [7]. Kofermentacja stwarza możliwość wykorzystania ich do produkcji energii. Badania wykazały, że taki substrat, jak skórki aloesu jest znakomitym materiałem do kofermentacji [8]. Podczas zmieszania skórek aloesu oraz obornika bydlęcego w proporcjach 3:1 otrzymano uzysk metanu na poziomie 195,1 mL·g<sup>-1</sup> suchej masy organicznej oraz zaobserwowano redukcję suchej masy organicznej w 59,91% (najwyższą ze wszystkich badanych proporcji). Skórki aloesu oraz obornik bydlęcy podczas monofermentacji wykazały uzysk biogazu na poziomie kolejno 230 mL·g<sup>-1</sup> suchej masy i 270 mL·g<sup>-1</sup> suchej masy organicznej, co jest wynikiem gorszym w stosunku do mieszanki tych substratów (3:1), gdzie uzyskano wynik 310 mL·g<sup>-1</sup> [8]. Uwagę należy również zwrócić na osady ściekowe, które fermentując z odpadami spożywczymi pozwalają osiągać 2-3-krotnie większy uzysk

biogazu niż sam osad. Wynika to w głównej mierze z niedoboru węgla w osadach, którego z kolei jest dużo w odpadach spożywczych. W tym przypadku niewątpliwie kofermentację traktować można jako formę utylizacji odpadów, ponieważ odpady spożywcze to substancje zawierające duże zawartości substancji organicznej, które zazwyczaj trafiają do kanalizacji i rozkładane są przez mikroorganizmy, co prowadzi z kolei do skutków szkodliwych dla środowiska. Zagospodarowanie odpadów jest więc racjonalnym zabiegiem ekonomicznym i środowiskowym.

### Dobór substratów pod względem wymaganych parametrów procesu

Kofermentacja jest procesem niosącym wiele korzyści, jednak należy pamiętać, żeby proces przebiegał prawidłowo, z uwzględnieniem optymalnych warunków dla danego substratu. Dlatego wszelkie działania powinny być prowadzone w sposób przemyślany. Dobrym rozwiązaniem jest również skorzystanie z porad specjalistów w zakresie doboru wsadu do biogazowni. Poza obecnością materii organicznej oraz makroelementów konieczne jest również zapewnienie innych pierwiastków. Dostępność łatwo rozpuszczalnych form potasu, magnezu, sodu, żelaza i wapnia oraz zawartość śladowych ilości manganu, molibdenu, miedzi, cynku, seleniu, kobaltu, niklu odpowiada za przyrost mikroorganizmów w fermentorze [1, 9]. Odpowiednie parametry procesu fermentacji są również niezwykle istotne z uwagi na prawidłowy przebieg rozkładu materii organicznej do biogazu. Niewielkie zmiany temperatury, odczynu czy też zawartość zbyt dużej ilości metali ciężkich lub innych szkodliwych substancji prowadzić może nawet do całkowitego zatrzymania procesu fermentacji. Inhibitorem może być prawie każda substancja, jeśli przekroczy dopuszczalną wartość graniczną. W tabeli wyszczególniono wybrane inhibitory wraz ze stężeniem hamującym proces.

Tabela. Wykaz inhibitorów i ich dopuszczalne stężenie [9]  
Table. The list of inhibitors and their acceptable levels [9]

Inhibitor	Stężenie	
Jon amonowy	od 2,7 mg/l	
Amoniak	od 4000 mg/l NH <sub>3</sub>	
Wapń	od 2500 mg/l Ca <sup>2+</sup>	
Magnez	od 3000 mg/l Mg <sup>2+</sup>	
Sód	od 3500 mg/l	
Potas	od 3000 mg/l	
Siarka	od 50 mg/l H <sub>2</sub> S od 100 mg/l S <sup>2-</sup>	
Metale ciężkie	w formie wolnych jonów	w formie węglanowej
	od 10 mg/l Ni, od 40 mg/l Cu, od 130 mg/l Cr, od 340 mg/l Pb, od 400 mg/l Zn	od 160 mg/l Zn, od 170 mg/l Cu, od 180 mg/l Cd, od 530 mg/l Cr <sup>3+</sup> , od 1750 mg/l Fe

Jednym z parametrów, w którym wymagana jest stabilność to pH. Odpowiednia wartość tego wskaźnika wynosi 6,8-7,4. Zmiany pH należy stale obserwować i w przypadku konieczności w odpowiednim czasie interweniować, dodając np. dawkę świeżej gnojowicy. Kolejnymi, nie mniej istotnymi, parametrami są: sucha masa, zawartość materii organicznej, stosunek węgla do azotu i dostępność składników pokarmowych dla mikroorganizmów. Mikroorganizmy biorące udział w fazie przemiany kwasu octowego, dwutlenku węgla i wodoru

w metan są niezwykle wrażliwe na zmiany środowiska. Dlatego istotny jest również odpowiedni skład substratów, ze względu na możliwość zanieczyszczenia antybiotykami lub innymi substancjami. Należy zatem stale monitorować skład chemiczny substratów i pofermentu [3]. Ważnym problemem jest również odpowiednie ujednorodnienie składu opierając się na zasadach doboru ilościowego [2]. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na czynniki ekonomiczne związane z transportem i przechowywaniem różnych substratów.

## Podsumowanie

Technologia NaWaRo stanowiła doskonałą bazę dla rozwoju biogazowni rolniczych w całej Europie. Optymalny dobór ilościowy substratów oraz ogólnodostępność materiału to największe zalety wykorzystywanej w technologii mieszanki kiszunki z kukurydzy i gnojowicy. Technologia ta jednak staje się aktualnie nieopłacalna z powodu wysokich kosztów zakupu substratu. Rozwiązaniem jest poszukiwanie nowych, niezbadanych połączeń substratów łatwo dostępnych oraz niewykorzystywanych w innych gałęziach przemysłu. W ostatnich latach przemysł drobiarski w Polsce doczekał się znacznego rozkwitu. Wykorzystanie pomiotu kurzego do fermentacji metanowej staje się właściwym ekonomicznie kierunkiem, jednakże stawia również szereg wyzwań. Badania wykazały [11], że kofermentacja pomiotu kurzego oraz gnojowicy bydłowej jest możliwa, jednak wyzwaniem jest niezwykle trudne utrzymanie stabilności procesu. Z punktu widzenia ochrony środowiska i uwarunkowań ekonomicznych, zagospodarowanie odpadów spożywczych staje się również odpowiednim kierunkiem badań. Doświadczenia pokazały, że łączenie substratów i kofermentacja pozwala na uzyskanie większych ilości biogazu. Z punktu widzenia inwestorów w najbliższych latach można się spodziewać rozwoju biogazowni rolniczych w przedsiębiorstwach, w których na utylizację odpadów ponoszone są ogromne koszty. Zlokalizowanie biogazowni w najbliższym sąsiedztwie zakładów przetwarzających żywność może znacznie podwyższyć jej opłacalność ekonomiczną.

## Bibliografia

- [1] Biega B.: Substraty do produkcji biogazu na przykładzie wybranych biogazowni rolniczych. Uniwersytet Wrocławski, 2012.
- [2] Czekala W., Kwiatkowska A.: Kofermentacja kluczem do zwiększenia wydajności biogazowej. *Magazyn Biomasa*, 2016, 3(21), 22-24.
- [3] Czekala W., Pilarski K., Dach J., Janczak D., Szymańska M.: Analiza możliwości zagospodarowania pofermentu z biogazowni. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2012, 4, 13-15.
- [4] Czekala W., Szewczyk P., Kwiatkowska A., Kozłowski K., Janczak D.: Produkcja biogazu z odpadów komunalnych. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2016, 5, 21-25.
- [5] Ćwil M.: Kolorowo dla rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce. *Magazyn Biomasa, Rynek biogazu*, 2016, 4-7.
- [6] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
- [7] <http://ec.europa.eu/eurostat>
- [8] Huang X., Yun S., Zhu J., Du T., Zhang C.: Mesophilic anaerobic co-digestion of aloe peel waste with dairy manure in the batch digester: Focusing on mixing ratios and digestate stability. *Bioresource technology*, 2016, 218, 62-68.
- [9] Kozłowski K., Dach J., Lewicki A., Cieślak M., Czekala W., Janczak D.: Parametry środowiskowe oraz procesowe fermentacji metanowej prowadzonej w trybie ciągłym (CSTR). *Inżynieria Ekologiczna*, 2016, 50, 153-160.
- [10] Ledakowicz S., Krzystek L.: Wykorzystanie fermentacji metanowej w utylizacji odpadów przemysłu rolno-spożywczego. *Katedra Inżynierii Bioprocessowej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska*, 2002.
- [11] Lewicki A., Kozłowski K., Pietrowski M., Zbytek Z.: Methane fermentation of chicken droppings. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2016, 61(4), 28-30.
- [12] Rejestr wytwórców biogazu rolniczego z dnia 20.12.2016. Agencja Rynku Rolnego 2016. [http://www.arr.gov.pl/data/02004/rejestr\\_wytworcow\\_biogazu\\_rolniczego\\_21122016.pdf](http://www.arr.gov.pl/data/02004/rejestr_wytworcow_biogazu_rolniczego_21122016.pdf).
- [13] Wojnowska-Baryła I., Bernat K.: Produkcja biogazu w procesach fermentacji i ko-fermentacji. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, 2012. <http://www.imp.gda.pl/bf2016/BF2012/prezentacje/p111.pdf>.

## CO-DIGESTION IN AGRICULTURAL BIOGAS PLANTS

### Summary

*Co-digestion, that is application of two or more substrates in the process of methane fermentation seems to be the best solution for many agricultural biogas plants. In particular conditions the co-digestion allows obtaining greater biogas efficiency of mixed substrates than each individually. Despite many advantages, a proper co-digestion is a difficult to perform due to a number of closely related parameters. The process allows to use a wide range of waste from agri-food industry, which directly transfers into financial and environmental benefits. The work discusses the co-digestion factors and presents substrates that can be successfully used in this process.*

**Key words:** biogas, waste, methane fermentation, co-digestion

**Praca została zrealizowana w ramach projektu: „IN-OIL: Innowacyjna metoda biokonwersji produktów ubocznych przemysłu spożywczego”; finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju; Program Lider VII, wniosek 0148/L-7/2015, kwota finansowania 1 198 750,00 zł, kierownik projektu dr inż. Wojciech Czekala.**



### A DICTIONARY OF AGRICULTURAL ENGINEERING IN SIX LANGUAGES

**Jest pierwszym tego typu słownikiem wydany w Polsce.**

**Zawiera on ponad 13.350 wiodących angielskich terminów podanych w układzie alfabetycznym z odpowiednikami w języku polskim, niemieckim, francuskim, włoskim i rosyjskim.**

**Wydawca: PIMR Poznań.**