

Ewa STELMACH¹, Jacek STELMACH², Liliana KRZYTEK¹, Stanisław LEDAKOWICZ¹

e-mail: krzystek@wipos.p.lodz.pl

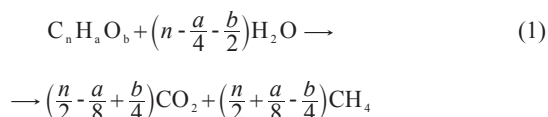
¹Katedra Inżynierii Bioprosesowej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź²Katedra Aparatury Procesowej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Wpływ zawartości węgla i azotu na szybkość produkcji biogazu z organicznej frakcji stałych odpadów komunalnych

Wstęp

Produkcja energii ze źródeł odnawialnych staje się coraz ważniejszym zagadnieniem związanym zarówno z ochroną środowiska, jak i ze zrównoważonym rozwojem wytwórczości i usług. Jednym z takich źródeł energii jest biogaz pozyskiwany z biologicznie degradablej frakcji stałych odpadów komunalnych. Produkcja wysokometanowego gazu podczas anaerobowej fermentacji związana jest z doбором zarówno ilości jak i składu substratów kierowanych do procesu.

Fermentacja metanowa jest złożonym procesem biochemicznym, ale ogólny jej przebieg można opisać równaniem reakcji



Nowoczesne metody analityczne pozwalają na określenie zawartości różnych pierwiastków w próbach stałych i ciekłych. Jest więc możliwe porównanie rzeczywistej i teoretycznej wydajności metanu.

Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu zawartości węgla i azotu w masie odpadów organicznych, kierowanych do procesu na szybkość produkcji biogazu, a także porównanie teoretycznych i rzeczywistych wydajności metanu.

Materiały i metodyka badań

Badania procesu fermentacji metanowej prowadzono w fermentorze mieszadłowym FL-42, o objętości roboczej 30 dm³, zaopatrzonym w dwa mieszadła turbinowe z pochyłymi łopatkami. Proces prowadzono w warunkach mezofilnych w systemie quasi-ciągłym.

Raz dziennie z fermentora odbierano określoną objętość zawiesiny fermentacyjnej, a poziom uzupełniano wodną zawiesiną 800 g rozdrobnionych organicznych stałych odpadów komunalnych o modelowym składzie [1, 2]. W tab. 1 przedstawiono zawartość suchej masy (sm) w zawieszynie dodawanej do fermentora dla różnych czasów retencji (HRT).

W próbach zawiesiny z fermentora określano zawartość suchej masy (sm) wg PN-75 C-04616/01 oraz zawartość węgla, azotu, wodoru i siarki w analizatorze elementarnym Carlo Erba CE2500, zaś zawartość tlenu określano w analizatorze Costech ECS410.

W cieczy nadosadowej (po odwirowaniu) określano zawartość całkowitego węgla organicznego (TOC) i azotu całkowitego (TN) w aparacie IL550 TOC-TN, Lachat Instruments.

Strumień biogazu wypływający z fermentora mierzono w sposób ciągły przepływomierzem Ritter TG01/05, natomiast skład biogazu określano raz na dobę miernikiem LMS Gas Data.

Tab. 1. Zawartość sm w zawieszynie dodawanej do fermentora dla różnych czasów przebywania (HRT)

HRT [doba]	10	15	20	25	37,5	37,5*
sm [g/dm ³]	61,32	91,30	125,28	144,01	239,55	245,54

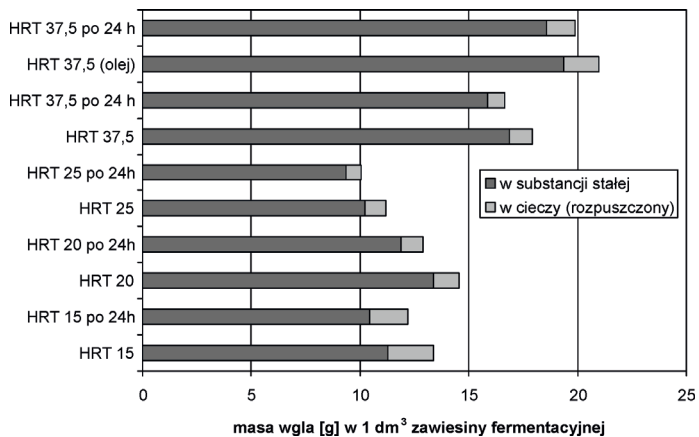
*z dodatkiem oleju roślinnego

Wyniki badań i ich omówienie

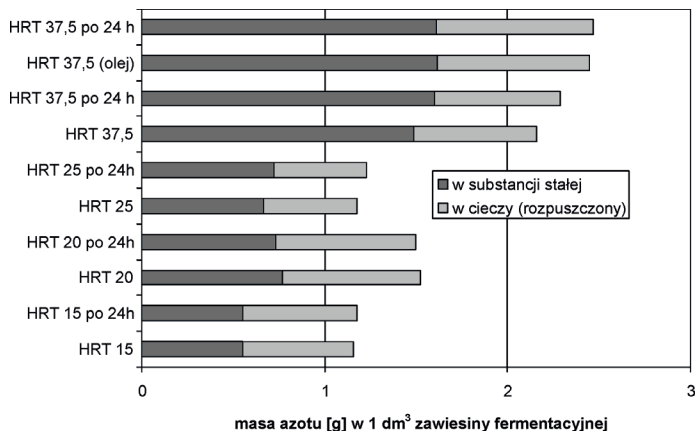
Metoda analizy elementarnej pozwala na określenie całkowitej zawartości węgla (z wyjątkiem węglanowego), azotu, wodoru oraz tlenu w pobranych próbkach. Po odjęciu zawartości pierwiastków zawartych w związkach rozpuszczonych otrzymuje się zawartość odpowiednich pierwiastków w substancji stałej. Do dalszych obliczeń przyjęto wartości uśrednione uzyskane w warunkach stanu ustalonego. Zmiany zawartości węgla odniesione do 1 dm³ zawiesiny fermentacyjnej, dla przeprowadzonych procesów fermentacji metanowej przy różnych czasach przebywania, przedstawiono na rys. 1.

Z analizy rys. 1 wynika, że tylko od 4,6 do 15,8% węgla znajduje się w związkach rozpuszczonych w wodzie. Ten węgiel jest bezpośrednio wykorzystywany przez mikroorganizmy na podtrzymywanie procesów życiowych, których efektem jest produkcja CH₄ i CO₂. Powoduje to zmniejszenie zawartości węgla, który w postaci biogazu wypływa z fermentora. Na tym etapie badań nie stwierdzono czy rozpuszczone związki węgla znajdują się w stanie nasycenia. Można sądzić, że w wyniku zachodzących procesów hydrolizy część związków węgla z substancji stałej przechodzi w formy rozpuszczalne.

Na rys. 2 przedstawiono zmiany zawartości azotu w zawieszynie fermentacyjnej. Pierwiastek ten nie bierze bezpośredniego udziału w pro-



Rys. 1. Zawartość węgla w cieczy i w substancji stałej



Rys. 2. Zawartość azotu w cieczy i w substancji stałej

dukcji biogazu, ale jest składnikiem białek mikroorganizmów, które go produkują. Ponieważ ich część jest każdego dnia usuwana, to w efektywnie pracującym fermentorze muszą być stworzone warunki do przyrostu biomasy. Jak wynika z analizy rys. 2, od 1/3 do 1/2 masy azotu znajduje się w formie rozpuszczonej. Jednocześnie, nie obserwuje się zmian masy azotu w fermentorze. Zatem udział biomasy wytwarzającej CH₄ jest mały w porównaniu do masy wprowadzanych odpadów organicznych.

Potwierdzeniem niewielkich tylko zmian zawartości azotu w fermentorze jest również minimalna ilość powstającego amoniaku, którego zmierzone stężenie w biogazie wynosiło kilkanaście ppm.

Dla uzyskania dużej produktywności metanu powinien być utrzymywany w fermentorze odpowiedni stosunek masy węgla do masy azotu (C/N). Wartości uzyskane w trakcie doświadczeń przedstawiono na rys. 3. W zawieszynie dodawanej do fermentora całkowity stosunek C/N jest na poziomie 30, a dla substancji stałej dochodzi do niemal 40. Natomiast dla związków rozpuszczonych stosunek ten jest mniejszy i zawiera się w granicach od 15 do 27. Inaczej te proporcje kształtują się w zawieszynie fermentacyjnej, gdzie stosunek C/N zawiera się w przedziale od 10 do 20, a dla związków rozpuszczonych wynosi on kilka. Należy także zauważyć, że proporcje C/N w podłożu zasilającym i w fermentorze są różne. O ile w podłożu zasilającym C/N w cieczy stanowi ok. 50% C/N w zawieszynie, o tyle w fermentorze jest to tylko kilkanaście procent. Należy również stwierdzić, że dodatek oleju roślinnego w bardzo małym stopniu zwiększył stosunek C/N.

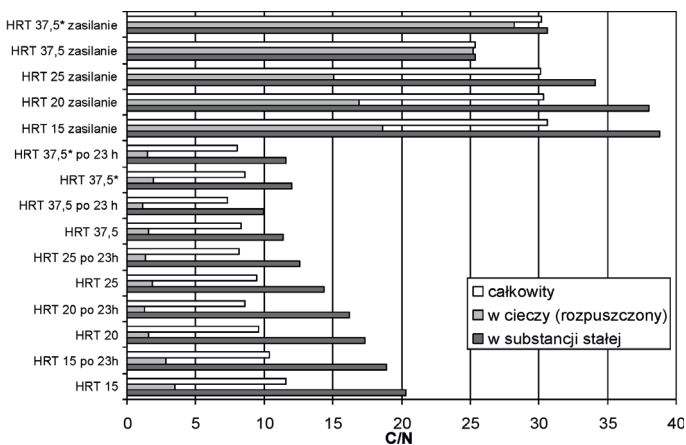
W tab. 2 zestawiono zmiany zawartości wodoru w zawieszynie fermentacyjnej przed i po dodaniu kolejnej porcji świeżych odpadów. Średni ubytek masy wyniósł ok. 9,5%. Natomiast zawartość tlenu oscylowała ok. 25% suchej masy, a średni ubytek masy tego pierwiastka wyniósł ok. 1,57%.

Znajomość ubytków mas pozwala w oparciu o równanie (1) obliczyć objętości CO₂ i CH₄, które powinny zostać wytworzone z objętości 1 dm³ zawartości fermentora w czasie w jakim nastąpił ubytek masy, tj. 23 godzin. Obliczone i zmierzone wartości dobowej szybkości produkcji biogazu przedstawiono na rys. 4.

Z jego analizy wynika, że występują znaczne różnice tych wartości. Jest to spowodowane właściwościami zastosowanej metody pomiarowej. Jednakże, pomimo stwierdzonych niedoskonałości, zastosowana metoda określania zawartości pierwiastków w próbkach stałych jest jedną z najdokładniejszych.

Różnice w obliczonym i zmierzonym stężeniu metanu w biogazie są znacznie mniejsze i wynoszą od 4,6 do 25,3%.

Dla przeprowadzonego zakresu badań wzrost zawartości azotu w związkach rozpuszczonych w cieczy skutkował wzrostem szybkości

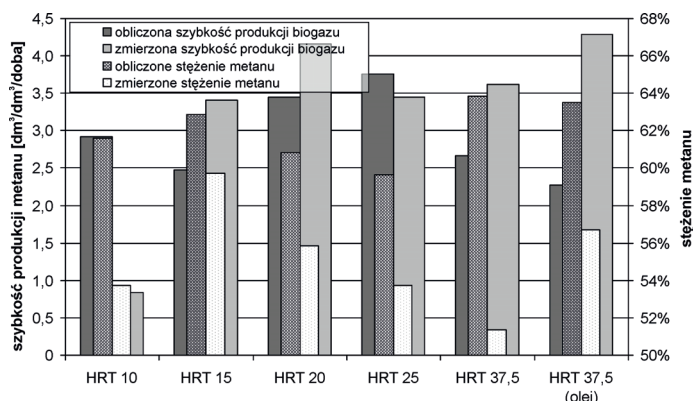


Rys. 3. Zmiany stosunku węgla do azotu

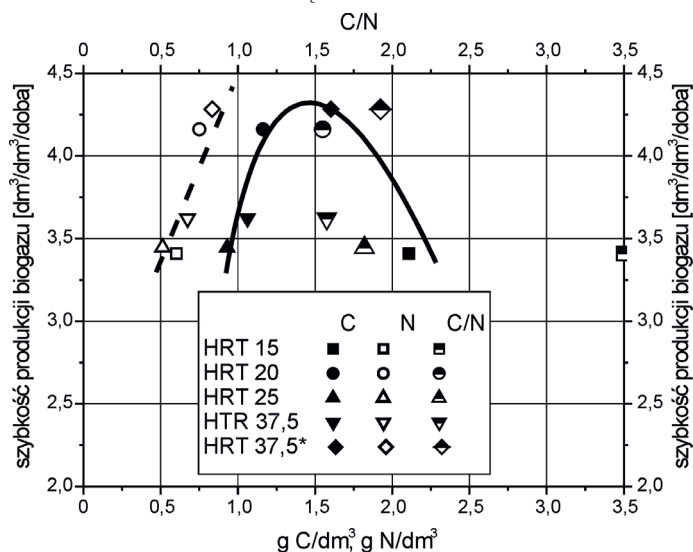
Tab. 2. Zawartość wodoru w suchej masie w 1 dm³ zawartości fermentora

HRT [doba]	10	15	20	25	37,5	37,5*
zawartość H [g/dm ³]	1,853	1,977	2,048	1,643	2,559	3,044
zawartość H po 23 h [g/dm ³]	1,658	1,787	1,820	1,453	2,354	2,846

*z dodatkiem oleju roślinnego



Rys. 4. Porównanie obliczonych i zmierzonych szybkości produkcji i stężenia metanu



Rys. 5. Zależność szybkości produkcji biogazu w zależności od zawartości węgla i azotu w zawieszynie fermentacyjnej

produkcji biogazu. W przypadku węgla obserwuje się maksimum szybkości dla zawartości węgla w związkach rozpuszczonych w cieczy ok. 1,5 g/dm³. Natomiast dla stosunku C/N nie stwierdzono jednoznacznego trendu, ale w zakresie 1,5 < C/N < 2 występuje maksimum szybkości produkcji. Obserwowane zmiany szybkości produkcji biogazu przedstawiono na rys. 5.

Wnioski

Przeprowadzone badania doświadczalne procesu fermentacji metanowej wskazują, że szybkość produkcji biogazu jest uzależniona od zawartości węgla i azotu w zawieszynie dodawanej do fermentora i skutkiem tego od ich wzajemnych proporcji w zawieszynie fermentacyjnej. Dla stosowanej dawki odpadów organicznych i przebadanych czasów przebywania w zakresie od 10 do 37,5 h największą szybkość produkcji biogazu osiągnięto przy hydraulicznym czasie retencji 20 dni.

W przebadanym zakresie zawartości węgla w cieczy największą szybkość produkcji biogazu osiągnięto przy stężeniu tego pierwiastka wynoszącym 1,5 g/dm³. Stwierdzono też, że maksimum szybkości produkcji biogazu występuje dla stosunku C/N zawierającym się w zakresie od 1,5 do 2.

LITERATURA

- [1] L. Krzystek, S. Ledakowicz, H-J. Kahle, K. Kaczorek: J. Biotechnology, 92 (2), 103–112 (2001).
- [2] S. Ledakowicz, K. Kaczorek: Waste Management & Research, 22, 149–157 (2004).

Praca została wykonana w ramach grantu PBZ nr R14 017 01 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.