

Grzegorz WAŁOWSKI,

e-mail: g.walowski@itp.edu.pl

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Raszyn, Zakład Odnawialnych Źródeł Energii, oddział w Poznaniu

Ocena hydrodynamiki przepływu wielofazowego w reaktorze monosubstratowym ze złożem adhezyjnym przy zastosowaniu immobilizacji mikroorganizmów metanogennych

Wstęp

Światowa strategia gospodarcza oraz polityka *Unii Europejskiej* wymusza wspieranie i rozwój niskoemisyjnych systemów gospodarowania i wytwarzania energii [Myczek, 2012; Myczko i in., 2012]. Zakłada się, że systemy wsparcia działań niskoemisyjnych będą uwzględniały odnawialne źródła energii (OZE) w niewielkim stopniu. Pojawia się więc potrzeba poprawy efektywności stosowanych obecnie w zakresie OZE technik produkcji biogazu w celu optymalności dla indywidualnych rolników.

W przypadku biogazowni efektywność musi dotyczyć również poprawy stopnia wykorzystania biomasy. Stosowane technologie posiadają jeszcze bardzo duże rezerwy w tym zakresie [Klimiuk, 2012]. Ich uruchomienie umożliwi intensywny rozwój biogazowni przy oszczędnym zaangażowaniu powierzchni dostępnych użytków rolniczych i ograniczonym wykorzystaniu powierzchni upraw paszowych i konsumpcyjnych.

Rozpowszechnienie metod fermentacji wiąże się przede wszystkim z rozwiązaniem problemu wolnego czasu namnażania się bakterii prowadzących ten proces. Szczególnie dotyczy to bakterii metanogennych, odpowiedzialnych za ostatni najważniejszy etap fermentacji. Częściowo rozwiązano ten problem przez technologiczne wyodrębnienie dwu zasadniczych etapów fermentacji. Pierwszy etap obejmuje szybkie fazy hydrolizy, acido- i acetogenne, a drugi fazę metanową. To rozwiązanie pozwoliło także na zmniejszenie zagrożenia stabilności procesu wynikającego z nagromadzenia produktów pierwszych faz, co wpływa hamująco na fazę ostatnią. Jednak największy postęp spowodowało skuteczne uzyskanie populacji drobnoustrojów o dobrych własnościach sedymentacyjnych, o granulowanej formie lub też zastosowanie nośników do immobilizacji drobnoustrojów.

Metody i techniki immobilizacji

Immobilizacja polega na częściowym lub całkowitym ograniczeniu swobodnego ruchu drobnoustrojów przy jednoczesnym zapewnieniu im dostępu do składników odżywczych i odpływu produktów przemiany.

Nośnik powinien być nierozpuszczalny w środowisku, w którym drobnoustroje będą unieruchamiane. Ważna jest jego odporność na degradację chemiczną i mikrobiologiczną. Właściwości chemiczne determinują także możliwości sterylizacji i oczyszczania, czyli tzw. higienizacji. Dodatkowo obecność odpowiednich grup funkcyjnych może wpływać na przyleganie komórek bakterii do powierzchni nośnika. Pokrywanie matrycy przez drobnoustroje może zatykać pory i znacząco obniżyć jej przepuszczalność. Na przydatność materiału wpływa także jego cena, dostępność, możliwości regeneracji i zastosowania w skali przemysłowej, prostota i parametry biologiczne podczas unieruchamiania. Struktura porów określana jest przez ich wielkość, rozmieszczenie oraz głębokość, która w nośniku determinuje zasięg interakcji między immobilizowanymi komórkami bakterii a środowiskiem zewnętrznym – obszar wewnątrz bioreaktora. Nośniki porowe, zgodnie z klasyfikacją IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) definiowane są jako mikroporowate (średnica porów niższa niż 2 nm), mezoporowate (średnica między 2 a 50 nm) i makroporowate (średnica powyżej 50 nm). Tylko niewielkie cząsteczki jak np. tlen mogą penetrować materiały mikroporowate.

Unieruchamianie drobnoustrojów może następować:

- na powierzchni nośnika, gdzie zachodzi adsorpcja, adhezja, wiązanie kowalencyjne;

- wewnątrz nośnika dla inkluzji (pułapkowanie), kapsułowanie nano i mikro (kapsułka) oraz makro (kapilara);
- bez nośnika dla sieciowania przestrzennego, flokulacja indukowana lub naturalna (samoagregacji).

W metodach wykorzystujących wiązanie do powierzchni nośnika należy zwracać szczególną uwagę na zmiany środowiska (np. spadek *pH* może powodować odklejanie się komórek bakterii). Ponadto obserwuje się częściowe uwalnianie materiału biologicznego związane z autolizą komórek bakterii z niższych warstw, turbulencjami czy przepływem fazy ciekłej [Bakuła i in., 2013].

Mikroorganizmy wykształciły mechanizmy, dzięki którym zdolne są do wykorzystywania węglowodorów w charakterze substratu pokarmowego [Kotwzan, 2008; Kotwzan i in., 2005]. Mechanizmy te umożliwiają drobnoustrojom rozkład węglowodorów zawieszonych w postaci drobnych kropeł (miceli) w roztworach wodnych. Wytwarzane przez mikroorganizmy biosurfaktanty powodują zwiększenie dostępności nierozpuszczalnych w wodzie substratów, a w ich obecności substancje te przechodzą do miceli i są rozprowadzane po powierzchni komórki. Substraty będące ciałami stałymi są natomiast zwilżane i dyspergowane, przez co zwiększa się ich powierzchnia. To z kolei umożliwia ich kolonizację przez mikroorganizmy. Biodegradację węglowodorów prowadzi wiele gatunków bakterii i grzybów. Skutkiem działalności mikroorganizmów degradujących węglowodory są problemy z funkcjonowaniem wielu urządzeń, wynikające ze zmiany właściwości fizyczno-chemicznych substratów. Biodegradacja węglowodorów przez mikroorganizmy w niektórych przypadkach prowadzi do wytworzenia kwasów organicznych, jako produktów rozkładu, które powodują korozję metali [López i in., 2010].

Pilotażowa produkcja surowego biogazu

W *Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym* oddział Poznań opracowano instalację pilotażową o pojemności czynnej fermentatora 15 m³, którą zlokalizowano na terenie gospodarstwa rolnego posiadającego 1100 tuczników utrzymywanych w systemie rusztowym. Węzeł produkcji surowego biogazu stanowi system transportu biogazu produkowanego w zbiorniku fermentacyjnym (Rys.1) wraz z wyposażeniem, umożliwia prowadzenie procesu fermentacji, jego kontrolę i regulację.

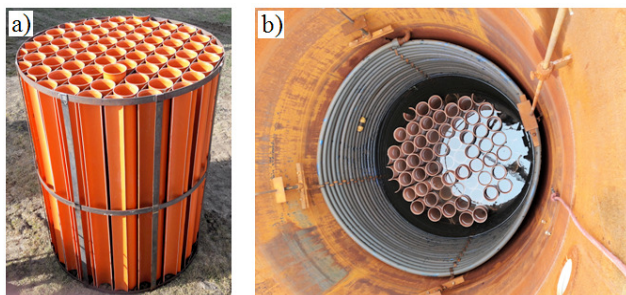
Zbiornik fermentacyjny jest zaprojektowany dla układu w pozycji pionowej. Dno zbiornika jest w kształcie stożka ściętego z centralnie umieszczonym spustem. Szczelność zbiornika fermentacyjnego zapewnia pokrywa zamykająca fermentator wraz z elementem uszczelniającym.

System cyrkulacji. Zbiornik fermentacyjny napełniany jest biomasa od góry, co zapewni kierunkowe przemieszczanie frakcji fermentu przez cały układ. Do mieszania zawartości zbiornika fermentacji służy układ cyrkulacji pionowej biomasy oraz układ cyrkulacji świeżo pozyskanym biogazem. Zastosowany system mieszania biomasy zapewnia ujednorodnienie składu i temperatury fermentu, jak również dostarczenie określonych składników wspomagających jakościowo proces fermentacji. Mieszanie zawartości fermentatora dla uśredniania jego składu realizowane jest za pomocą barbotażu. Odbywa się to w ten sposób, że część biogazu pobierana jest z przestrzeni gazowej fermentatora za pomocą dmuchawy i wprowadzana poprzez zawór zwrotny do dolnej części bioreaktora poprzez system barbotek. Gaz wypływa z barbotek w formie pęcherzyków i wędrując ku górze miesza zawiesinę.



Rys. 1. Reaktor przepływowy monosubstratowy do fermentacji metanowej gnojowicy wraz z instalacją do produkcji biogazu [foto G. Wałowski]

System immobilizacji. Wewnątrz zbiornika fermentacyjnego znajduje się wypełnienie w postaci złoża szkieletowego, wykonane z pionowych rur (PCV) i tworzące tzw. kosz (Rys. 2), którego zadaniem jest zwiększenie powierzchni czynnej dla flory bakterii fermentacyjnych. Wypełnienie znajduje się na wysokości 1,22 m od dna zbiornika. Kosz oparty jest na podporach, które jednocześnie centrują go względem osi układu.



Rys. 2. Złoże szkieletowe: a) wykonane z pionowych rur - widok, b) zalane wodą dla prób ciśnienia - widok. [foto G. Wałowski]

System ogrzewania. Na wewnętrznej ścianie zbiornika fermentacyjnego umieszczono spiralę grzewczą w postaci rury o średnicy DN32 wykonanej z tworzywa sztucznego. Czynnikiem grzewczym jest ciepła woda pobierana z wymiennika ciepła głównego umieszczonego przy kogeneratorze. Dla zapewnienia optymalnych warunków powstawania biogazu, ścianki, dno stożkowe i pokrywa fermentatora są zaizolowane dla ograniczenia emisji ciepła na zewnątrz. Optymalne warunki pracy fermentatora to temperatura $35\pm 40^{\circ}\text{C}$ oraz nadciśnienie gazu $10\pm 20\text{ kPa}$.

Faza rozruchu instalacji na gnojowicy świńskiej nastąpiła po dokonaniu odbiorze instalacji. Rozruch przeprowadzono przez 10 dni na *inoculum* typu ciecz pofermentacyjna z instalacji biogazowej z województwa wielkopolskiego o parametrach analitycznych procesu podanych w tab. 1 [Protokół, 2018]. Substrat płynny stanowiła gnojowica tuczniaków o parametrach analitycznych procesu podanych w tab.1. [Protokół, 2018]

Tab.1. Parametry analityczne procesu rozruchu instalacji

Parametr	Inoculum (ciecz pofermentacyjna z instalacji biogazowej)	Substrat płynny (gnojowica tuczniaków)
Temperatura	27,2 ^o C	26,5÷30,5 ^o C
pH	8	7,8÷8,0
Sucha masa	4,37% śm	3,92% śm
Sucha masa organiczna	62,25% sm	66,70% sm
OWN	17,641 mg/l	19,678 mg/l
LKT	3,117 mg CH ₃ COOH/l	8,958 mg CH ₃ COOH/l
APB	0,177 dla objętości startowej 10 m ³	0,450 dla objętości dokarmiającej 250÷500 litrów

W efekcie rozruchu uzyskano w instalacji ciśnienie gazu wynoszące $15\pm 25\text{ mbar}$ oraz biogaz o następujących stężeniach składników: CH₄ – 80%, CO₂ – 15%, O₂ – 0,8%, H₂S – 232 ppm.

Obecnie trwają intensywne prace przy testowaniu oprogramowania do sterowania instalacją dla procesu technologicznego w trybie ciągłym.

Podsumowanie i wnioski

Instalacje fermentacji beztlenowej są instalacjami biotechnologicznymi, których prawidłowe funkcjonowanie wymaga spełnienia ściśle określonych warunków i przestrzegania procedur związanych z obsługą, kontrolą i wspomaganie procesu namnażania specyficznych kultur mikroorganizmów odpowiedzialnych za syntezę produktu końcowego.

Uwzględniając fazę rozruchu trwającą 10 dni otrzymano interesujące wyniki, które pozwalają na przeprowadzenie wstępnych badań dla właściwego procesu technologicznego.

Dużym wyzwaniem jest adoptowanie mikroorganizmów dla produkcji biogazu w warunkach procesowych dla instalacji demonstracyjnych, które związane są z bardzo zróżnicowaną strukturą materiałów o powierzchni chropowatej, zwłaszcza w kontekście kształtu złoża adhezyjnego, które umożliwi immobilizację mikroorganizmów metanogennych.

LITERATURA

- Bakula Z., Stachowiak R., Wiśniewski J., Granicka L., Bielecki J., (2013). Immobilizacja komórek – znaczenie biomedyczne. *Postępy Mikrobiol.*, 52(3), 233
- Klimiuk E., Pawłowska M., Pokój T., (2012). Biopaliwa. Technologie dla zrównoważonego rozwoju. PWN, Warszawa, 154
- Kołzhan B., (2008). Ocena przydatności inokulantów do bioremediacji gleby zanieczyszczonej produktami naftowymi. *Ochr. Środ.*, 30(4), 3-14
- Kołzhan B., Adamiak W., Grabas K., Pawełczyk A., (2005). *Podstawy mikrobiologii w ochronie środowiska*. Wyd. Pol. Wrocławskiej, Wrocław
- López D., Vlamakis H., Kolter R., (2010). Biofilms. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.*, 2, 1-12, DOI: 10.1101/cshperspect.a000398
- Myczko A., (2012). Scenariusz rozwoju sieci mikroproducentów energii. *Czysta Energia*, 5, 129, 26-27
- Myczko A., Myczko R., Kołodziejczyk T., Golimowska R., Lenarczyk J., Janas Z., Kliber A., Karłowski J., Dolska M., (2011). *Podstawowe rodzaje instalacji biogazowych* [w:] Myczko A. (red.) Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych. Wyd. ITP, Warszawa-Poznań, 122-129
- Protokół przekazania procesu technologicznego, (2018). Dokument wydany przez Laboratorium Badawcze Technologii i Biosystemów Rolniczych, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy

Praca wykonana w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju realizowanego w programie BIOSTRATEG, umowa nr BIOSTRATEG1/269056/5/NCBR/2015