

Jacek PALIGE¹, Otton ROUBINEK¹, Martyna CIĘŻKOWSKA², Adam PYZIK³, Andrzej DOBROWOLSKI¹,
Andrzej G. CHMIELEWSKI¹

e-mail j.palige@ichtj.waw.pl

¹ Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa

² Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski, Warszawa

³ Instytut Biochemii i Biofizyki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa

Badania wytwarzania biogazu z kiszonki kukurydzy w reaktorze okresowym z hydromieszaniem

Wstęp

Od wielu lat trwają badania związane z wytwarzaniem biogazu w skali przemysłowej. Obecnie w Europie i w Polsce następuje rozwój instalacji do wytwarzania energii odnawialnej w tym biogazowni. W Polsce istnieją wydzielone komory fermentacyjne (WKF) w oczyszczalniach ścieków. W komorach tych jako surowiec wykorzystywany jest osad pochodzący ze ścieków. Polska jest krajem, który posiada znaczny potencjał w rolnictwie i przemyśle spożywczym, których odpady mogą być wykorzystane w produkcji biogazu. Od kilku lat obserwuje się zwiększenie ilości biogazowni rolniczych, w których wykorzystuje się surowce pochodzenia roślinnego np. kiszonki kukurydzy i odpady pochodzące z przemysłu spożywczego.

Na rynku polskim oferowanych jest kilka rozwiązań technologicznych związanych z instalacjami do wytwarzania biogazu. Większość z nich jest pochodzenia zagranicznego. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej od kilku lat uczestniczy w pracach związanych z rozwojem polskich technologii wytwarzania biogazu i jego zatężania w metan.

W niniejszej pracy przedstawiono porównanie przebiegu procesów fermentacji metanowej, w których autochtoniczną mikroflorę uzupełniono wyizolowanymi konsorcjami drobnoustrojów z dwóch środowisk:

- z fermentora biogazowni rolniczej w Międzyrzecu Podlaskim, która zbudowana została według polskiej technologii [Chrzanoski i in., 2001] i wykorzystująca jako jeden z substratów kiszonkę kukurydzy (BF),
- z gnojowicy bydłowej z gospodarstwa wiejskiego Niemogłowy (GB),

oraz przedstawiono symulację rozkładu prędkości zawiesiny wewnątrz fermentora w trakcie hydromieszania.

Prace związane z izolacją mikroorganizmów ze środowiska i ustalenia ich składu były prowadzone na Wydziale Biologii Uniwersytetu Warszawskiego oraz w Instytucie Biochemii i Biofizyki PAN. Analiza amplikonów fragmentu genu 16S rDNA wyselekcjonowanych konsorcjów wykazała, że:

- **konsorcjum GB** zdominowane jest przez (I) bakterie z następujących rzędów: *Bacteroidales* (~54%), *Clostridiales* (~29%), *Synergistales* (~5%), *Spirochaetales* (3%) oraz (II) archeony reprezentujące następujące rzędy: *Methanosarcinales* (~59%), *Thermoplasmatales* (~16%), *Methanobacteriales* (~11%), *Methanomicrobiales* (~10%).
- **konsorcjum BF** tworzą (I) Bacteria: *Bacteroidales* (~30%), *Clostridiales* (~24%), *Puniceococcales* (~8%), *Sphingobacteriales* (~7%), oraz (II) Archaea: *Methanosarcinales* (~41%), *Miscellaneous Crenarchaeotic Group* (~34%), *Methanomicrobiales* (~18%), *Methanobacteriales* (~5%).

Badania doświadczalne

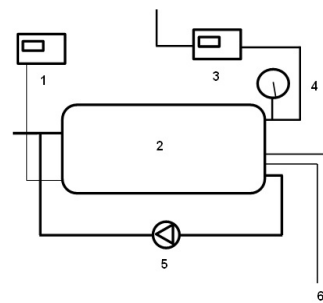
Materiały i metody

W trakcie badań w fermentorze mierzono następujące parametry fizykochemiczne i stężenie procentowe składników w gazie: (1) *pH*, (2) temperatura, (3) CH₄, (4) CO₂, (5) O₂, (6) H₂, (7) H₂S. Pomiar składu gazu wykonywany był za pomocą analizatora gazu GA 5000 firmy Geotech. Oznaczono metodą wagową suchą masę (s.m.)

i suchą masę organiczną (s.m.o.) kiszonki kukurydzy. Do badań użyto kiszonkę kukurydzy o zawartości s.m. = 36,6 % i s.m.o = 94%. Ilość produkowanego biogazu była mierzona miernikiem gazu MGCI firmy Ritter.

Aparatura

Prace prowadzono w reaktorze okresowym z hydromieszaniem. Na rys. 1 przedstawiono schemat reaktora do wytwarzania biogazu, a na rys. 2 układy reaktorów.



Rys. 1. Schemat bioreaktora do wytwarzania biogazu, 1 – miernik temperatury, 2 – reaktor, 3 – miernik ilości gazu, 4 – manometr, 5 – pompa, 6 – dopływy i odpływy cieczy z termostatu.



Rys. 2. Reaktory do prowadzenia badań procesu fermentacji metanowej.

Proces fermentacji metanowej z kiszonką kukurydzy z różnymi konsorcjami mikroorganizmów prowadzono w takich samych warunkach.

Przed przystąpieniem do badań fermentacji metanowej w reaktorach okresowych przeprowadzono badania procesu realizowanego w sposób *quasi*-ciągły w układzie dwustopniowym (hydrolizator – fermentor). Opracowano metodykę rozruchu instalacji przerabiającej kiszonkę kukurydzy, określono oczekiwane wydajności procesu ilości biogazu oraz jego skład. Wyniki przedstawiono w pracy [Palige i in., 2014].

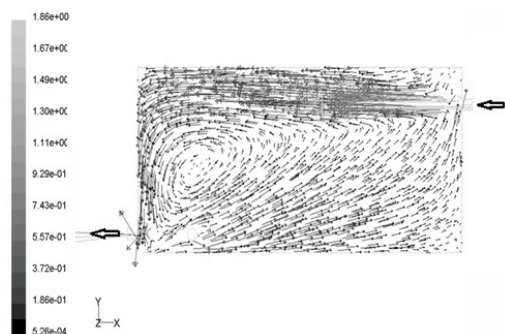
W badaniach nad wytwarzaniem biogazu z kiszonki kukurydzy wykorzystywano poziome cylindryczne fermentory o średnicy $d = 30,5$ cm i długości $l = 60$ cm. Objętość fermentora wynosiła $V = 44$ dm³. Objętość początkowej zawiesiny w fermentorze wynosiła 32 dm³.

Wyniki i dyskusja

Dla wybranej geometrii fermentora z wykorzystaniem metod obliczeniowej mechaniki płynów CFD (*Computational Fluid Dynamics*) za pomocą pakietu *Fluent* przeprowadzono symulacje rozkładu prędkości zawiesziny wewnątrz fermentora w trakcie hydromieszania.

Schemat rozkładu prędkości w przekroju podłużnym, zawierającym oś symetrii fermentora, dla natężenia objętościowego przepływu cieczy $Q = 30 \text{ dm}^3/\text{min}$. i średnicy otworów napływowego i odpływowego $d = 2 \text{ cm}$ przedstawiono na rys. 3.

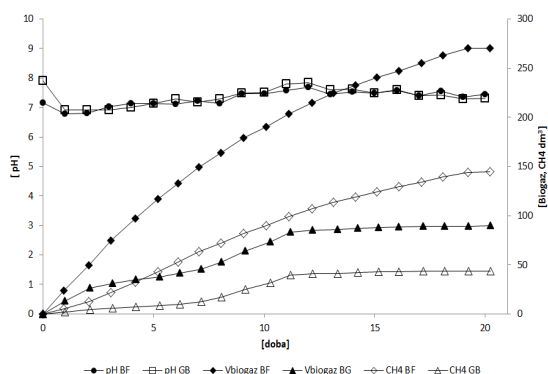
Uzyskane wyniki wykazujące obecność pętli cyrkulacyjnych wiadczy, że hydromieszanie strugą cieczy powoduje dobre wymieszanie zawartości fermentora.



Rys. 3. Rozkład prędkości w przekroju podłużnym zawierającym oś symetrii w fermentorze dla natężenia objętościowego przepływu $Q=30 \text{ dm}^3/\text{min}$. i średnicy króćców $d=2,0 \text{ cm}$.

Badania przeprowadzono w reaktorze okresowym z różnymi konsorcjami mikroorganizmów i kisonką kukurydzy. Początkowa wartość s. m. we wsadzie wynosiła 2%. Próby cieczy były pobierane codziennie, przez 21 dni do oznaczeń analitycznych i pomiaru pH . Pomiar ilości produkowanego gazu, były prowadzone codziennie przez kilka godzin. Z pomiarów tych wyliczono sumaryczną ilość powstającego biogazu. Przez dwie pierwsze doby trwania procesu (hydroliza) temperatura w fermentorze wynosiła około 30°C , w pozostałym okresie około 38°C .

Na rys. 4 i 5 przedstawiono przebiegi krzywych zmian stężeń mierzonych składników w fazie gazowej. Przebieg zmian pH i ilości pozyskanego biogazu przedstawiono na rys. 6.

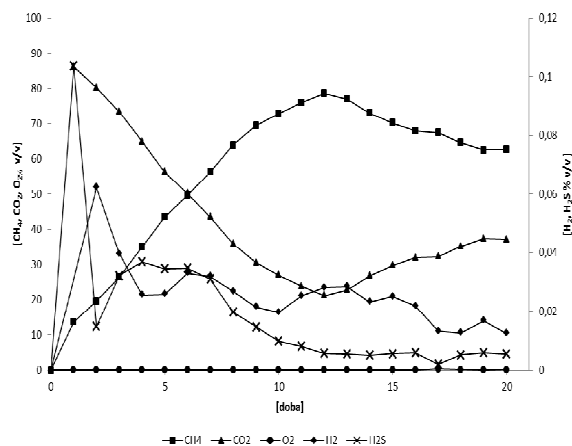


Rys. 4. Przebieg zmian stężenia składników w gazie podczas fermentacji metanowej z kisonką kukurydzy i konsorcjum mikroorganizmów BF.

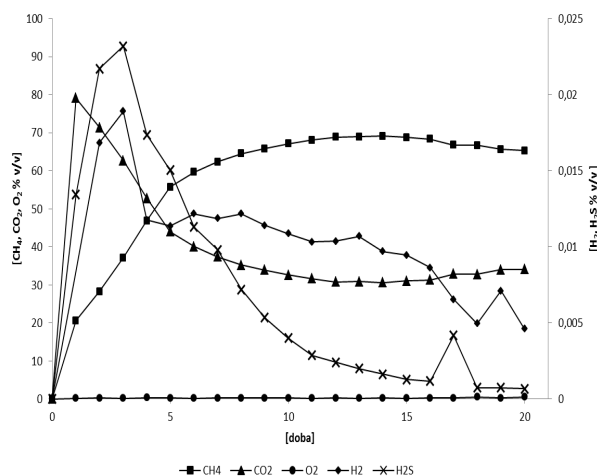
Sumaryczna ilość uzyskanego gazu po 21 dniach prowadzenia procesu wynosiła: (a) BF – $270,452 \text{ dm}^3$, (b) GB – $89,611 \text{ dm}^3$.

Sumaryczne ilości gazu dla poszczególnych składników biogazu były następujące:

- metan: (a) BF – $144,429 \text{ dm}^3$, (b) GB – $43,812 \text{ dm}^3$,
- dwutlenek węgla: (a) BF – $125,283 \text{ dm}^3$, (b) GB – $45,664 \text{ dm}^3$,
- siarkowodór: (a) BF – $0,029 \text{ dm}^3$, (b) GB – $0,027 \text{ dm}^3$
- wodór: (a) BF – $0,030 \text{ dm}^3$, (b) GB – $0,025 \text{ dm}^3$,
- tlen: (a) BF – $0,682 \text{ dm}^3$, (b) GB – $0,084 \text{ dm}^3$.



Rys. 5. Przebieg zmian stężenia składników w gazie podczas fermentacji metanowej z kisonką kukurydzy i konsorcjum mikroorganizmów GB.



Rys. 6. Przebieg zmian pH i skumulowanej produkcji biogazu i metanu podczas fermentacji metanowej z kisonką kukurydzy i konsorcjów mikroorganizmów BF i GB.

Wnioski

Przeprowadzono badania nad procesem fermentacji metanowej w reaktorach okresowych z kisonką kukurydzy i autochtoniczną mikroflorą uzupełnioną wyizolowanymi konsorcjami drobnoustrojów z dwóch środowisk. W badaniach otrzymano o 302 % więcej biogazu w procesie fermentacji metanowej z użyciem konsorcjum BF niż z konsorcjum GB. Dla poszczególnych składników biogazu otrzymano większe ilości gazów z zastosowaniem konsorcjum BF w stosunku do GB: (a) metan – o 330 % v/v, (b) dwutlenku węgla – o 274 % v/v, (c) siarkowodór – o 107 % v/v, (d) wodoru – o 120 % v/v, (e) tlen – 812 % v/v.

LITERATURA

- Chrzanowski K., Kryłowicz A., Usidus J., (2001). *Sposób i układ wytwarzania metanu i energii elektrycznej i ciepłej*. Patent PL 197595
- Palige J., Roubinek O., Wawryniuk K., Modzelewski Ł., Jakowiuk A., Dobrowolski A., DREWNIĄK Ł., CIĘŻKOWSKA M., (2014). Badania procesu fermentacji metanowej z wykorzystaniem metod radioizotopowych technik gamma skaningu. *Inż. Ap. Chem.*, 53(4), 280-281

Pracę realizowano w ramach Programu Badań Stosowanych Narodowego Centrum Badań i Rozwoju pt. "Optymalizacja pracy dwustopniowego reaktora do wytwarzania wysokometanowego biogazu – opracowanie biostarterów i biomarkerów fermentacji metanowej", umowa nr PBS1/A8/3/2012