

Jacek PALIGE¹, Leszek RUDNIAK², Andrzej DOBROWOLSKI¹, Michał ZALEWSKI¹, Andrzej G. CHMIELEWSKI^{1,2}

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

¹ Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa

² Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

Optimalizacja parametrów mieszania biozawiesiny w fermentorze z wykorzystaniem metody CFD

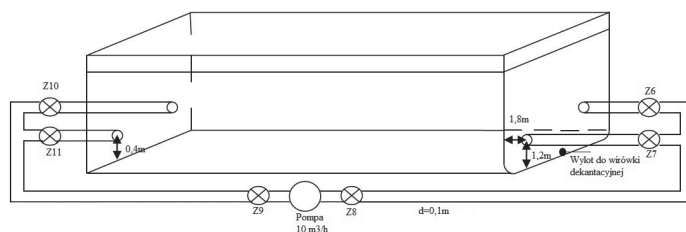
Wstęp

W chwili obecnej, w większości przypadków, proces fermentacji metanowej produkcji biogazu w skali przemysłowej prowadzony jest w instalacjach jednostadialnych, w których mieszanie surowców (biomasa, woda) realizowane jest przy pomocy dużych mieszadeł mechanicznych instalowanych wewnątrz fermentorów, co stwarza duże techniczne trudności w trakcie eksploatacji, w szczególności w przypadku awarii mechanicznych.

W oparciu o polski patent [1], sprawdzony w warunkach ćwierćtechnicznych w instalacji w Szewni Dolnej [2], proces fermentacji metanowej prowadzony jest w dwu stadiach (hydrolizer – fermentor), a mieszanie substratów i zawiesiny odbywa się hydraulicznie systemem strug cieczy wypływających z pomp cyrkulacyjnych. Dla potrzeb przygotowania projektu technicznego biogazowni o mocy około 230 kW (objętość hydrolizera około 60 m³, objętość cieczy w fermentorze około 470 m³) przeprowadzono symulacje numeryczne, z wykorzystaniem metod CFD, mieszania zawiesiny w fermentorze strugami cieczy zasilającej fermentor, wymuszonej cyrkulacji części cieczy z wypływu fermentora na jego wlot oraz strugami cyrkulacyjnymi cieczy pompowanej z dna fermentora na powierzchnię cieczy (równocześnie rozbijanie kożucha zawiesiny). Proponowane rozwiązanie mieszania zawiesiny powinno równolegle zapewnić stałość temperatury i pH w objętości fermentora

Modelowanie przepływu związanego ze strugami cieczy zasilającej fermentor

Projektowany fermentor przedstawia sobą w przybliżeniu prostopadłościan (o zaokrąglonych wszystkich narożach i stykach ścian) o wymiarach 21 x 7 x 3,5 m (długość × szerokość × wysokość słupa cieczy). Badanie wpływu strugi zatopionej na napływie do fermentora dotyczy w równym stopniu strugi materiału zasilającego fermentor z hydrolizera jak i strug zawrotu części zawiesiny z wypływu na napływ fermentora (Rys. 1).



Rys. 1. Schemat mieszania cyrkulacyjnego z wylotu na wlot w fermentorze

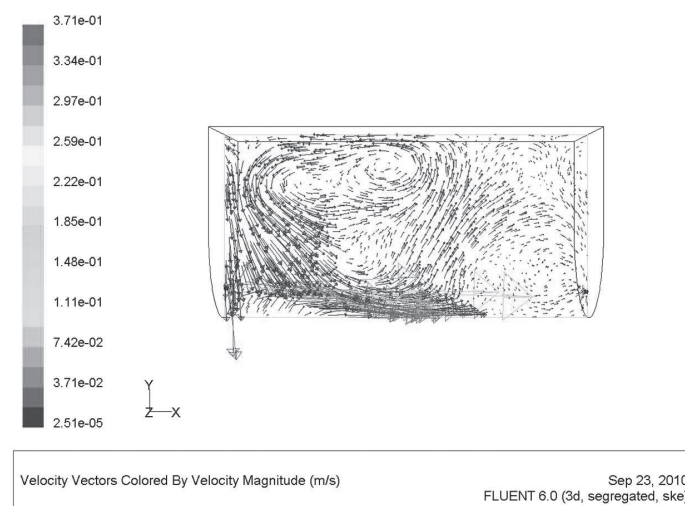
Modelowanie przeprowadzono dla uproszczonej geometrii fermentora:

- dno półcylicydryczne o promieniu 2,5 m;
- nad nim prostopadłościan o wysokości 2,5 m;
- sumaryczna, maksymalna wysokość słupa cieczy 5 m;
- napływ strugi rurą o średnicy 10 cm usytuowaną w osi fermentora;
- minimalne natężenie przepływu cieczy $Q = 5 \text{ m}^3/\text{godzinę}$

Obliczenia struktury przepływu prowadzono przy założeniach jego burzliwości z wykorzystaniem modelu burzliwości $k - \epsilon$ wg metodyki

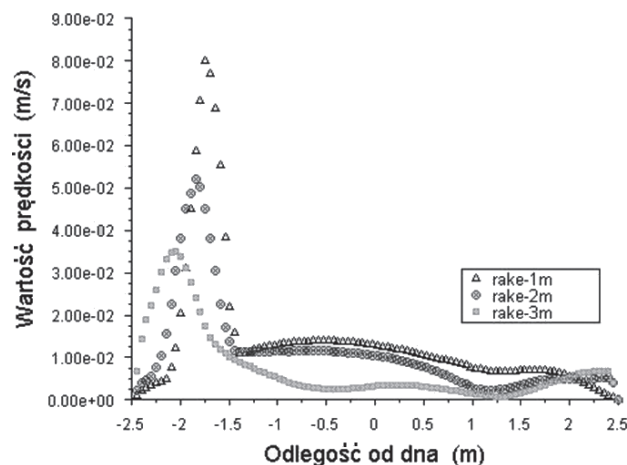
przedstawianej w pracach [3, 4]. Powierzchnia swobodna była modelowana jako ścianka bez tarcia. Na ściankach fermentora przyjęto brak poślizgu cieczy.

Na rys. 2 przedstawiono przykładowo dla napływowej części fermentora tj. około 10 m jego długości wykres wektorowy struktury przepływu przy natężeniu przepływu $Q = 10 \text{ m}^3/\text{godz.}$ (średnia prędkość napływu cieczy w rurze wynosiła około 35 cm/s) w osiowym przekroju fermentora (rura zasilająca była zlokalizowana w osi fermentora, 80 cm powyżej dna).



Rys. 2. Wykres wektorowy struktury przepływu

Uzyskane wyniki wskazują, że w przedstawionym przypadku zasięg oddziaływania strugi wynosi około 7–8 m oraz obserwowane jest korzystne zasysanie przez strugę cieczy z dna fermentora, co przeciwdziała sedymentacji zawiesiny. Na rys. 3 przedstawiono wykres zmian modułu prędkości na cięciwach w osi fermentora łączących powierzchnię cieczy z dnem (dno -2,5 m, powierzchnia +2,5 m) zlokalizowanych w odległościach 1, 2 i 3 m od napływu strugi.

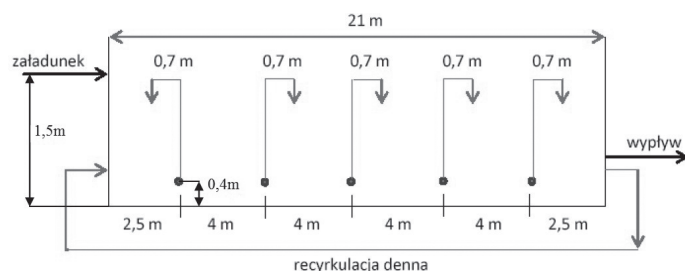


Rys. 3. Wykres zmian prędkości na cięciwach łączących powierzchnię cieczy z dnem

Wykresy te wskazują, że struga wywołuje ruch zawiesiny po całej wysokości fermentora, a w odległości 3 m od napływu wartości prędkości wynoszą jeszcze 1 cm/s. Zwiększenie natężenia przepływu strugi prowadzi do niekorzystnego przenoszenia nieprzereagowanej świeżej biomasy w głąb fermentora, skracając czas jej fermentacji, co może prowadzić do obniżenia wydajności produkcji biogazu.

Symulacje numeryczne przepływu pionowego zawiesiny wymuszonego pompami cyrkulacyjnymi w fermentorze

Schemat ideowy mieszania zawiesiny we wnętrzu fermentora systemem 10 pętli cyrkulacyjnych przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Schemat ideowy mieszania zawiesiny w fermentorze

Wybrano fermentor o wymiarach $21 \times 7 \times 3,5$ m (długość, szerokość, wysokość słupa cieczy). W obliczeniach przyjęto, że zawiesina jest cieczą homogeniczną o gęstości wody. Dla ułamka objętościowego fazy stałej 10% przyjęto lepkość zawiesiny jako 1,25 lepkości wody.

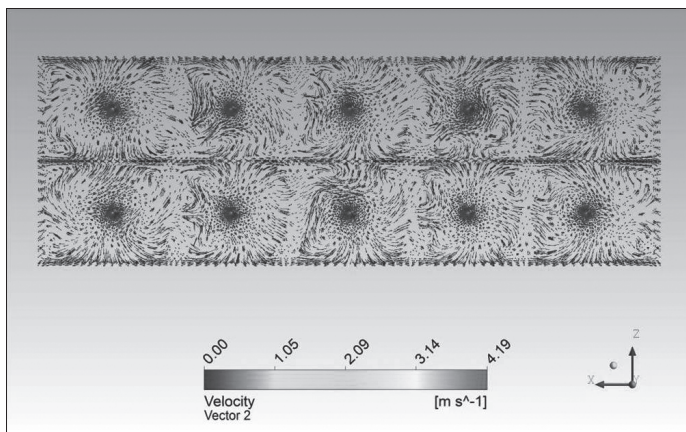
Model geometryczny fermentora został poddany dyskretyzacji elementami czworosiecznymi (liczba elementów wynosiła około 1,2 mln). Wydatek masowy dla zasilania i odbioru zawiesiny dla każdej rury (pętli) – 11 kg/s.

Przyjęto, że przepływ zawiesiny jest przepływem burzliwym. Do obliczeń wykorzystano zmodyfikowany model burzliwości $k - \epsilon$.

Symulację przeprowadzono dla dwóch przypadków:

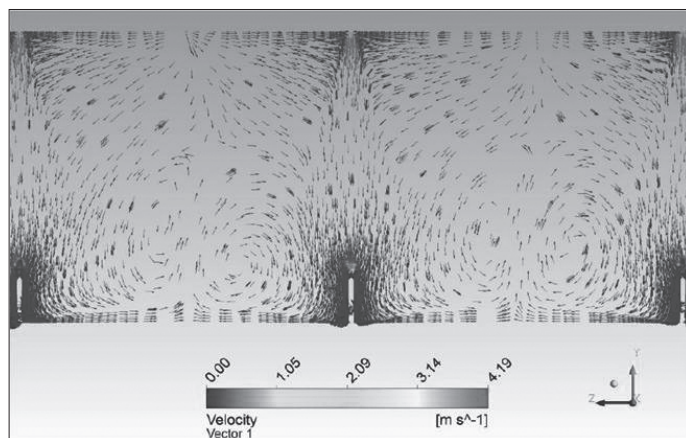
- struga rozproszona opadająca na powierzchnię cieczy na obszar o średnicy 0,8 m;
- struga zwarta opadająca na obszar o średnicy 0,2 m.

Wyniki obliczeń dla strugi zwartej przedstawiono na rys. 5 i 6.



Rys. 5. Wektor prędkości na płaszczyźnie poziomej, usytuowanej na poziomie wylotu zawiesiny.

Obliczona prędkość cieczy w objętości fermentora osiąga wartości rzędu 1,5–2 cm/s, co przy czasie trwania cyrkulacji rzędu 2 min. powoduje przemieszczanie się i mieszanie pionowe elementów cieczy na



Rys. 6. Wektor prędkości na płaszczyźnie pionowej, przechodzącej przez oś rur w dolnej części fermentora

odległość rzędu 2–2,5 m tj. na odległości porównywalnej z wysokością słupa cieczy w fermentorze.

Dla strugi rozproszonej prędkości cieczy wynosiły 0,1–0,2 cm/s, co praktycznie nie zabezpiecza wymieszania zawiesiny.

Wnioski

Uzyskane w trakcie obliczeń numerycznych wyniki potwierdzają, że w instalacji przemysłowej można uzyskać, przy racjonalnych wartościach natężeń przepływu strug, podobnych jak ma to miejsce w instalacji ćwierćtechnicznej, warunki przepływu biozawiesiny zabezpieczające:

- wymieszanie w części napływowej fermentora biomasy podawanej z hydrolizera z aktywnymi szczepami mikroorganizmów znajdujących się w fermentorze;
- dobre wymieszanie zawiesiny po wysokości fermentora;
- stopniowe przemieszczanie się biomasy od napływu do wypływu, związane z pętlą cyrkulacyjną wypływ – napływ, która dodatkowo dostarcza na wlot fermentora biomasa bogatą w mikroorganizmy.

Intensywność oraz zasięg strefy mieszania może być regulowany natężeniem przepływu oraz czasem trwania cyrkulacji. Dla średnicy rur $\Phi = 10$ cm optymalną wartością natężenia przepływu jest $q = 10 \text{ m}^3/\text{godz}$.

Zwiększanie natężeń przepływu prowadzi do intensyfikacji procesów mieszania, ale równolegle stwarza możliwość występowania zjawiska bezpośredniego przebiccia substratów na wypływ z fermentora oraz zwiększa w przepływie siły ścinające, które mogą niekorzystnie wpływać na rozwój mikroorganizmów.

LITERATURA

- [1] A. Kryłowicz, K. Chrzanowski, J. Usidus: Patent nr 197595: Sposób i układ wytwarzania metanu i energii elektrycznej i cieplnej, 2001.
- [2] M. Zalewski, O. Roubinek, A.G. Chmielewski, J. Palige, A. Kryłowicz, K. Chrzanowski, J. Usidus: „Utylizowanie odpadów roślinnych i spożywczych w produkcji biogazu”, Materiały konferencyjne: „Dla miasta i środowiska – VIII Konferencja: Problemy Unieszkodliwiania Odpadów, s. 171, 2010.
- [3] J. Palige, A. Dobrowolski, A. Owczarczyk, A.G. Chmielewski, S. Ptaszek: Inż. Ap. Chem. **44**, nr 4s, 72 (2003).
- [4] J. Palige, A. Owczarczyk, S. Ptaszek: Inż. Ap. Chem. **46**, nr 4, 24 (2005).

Praca wykonana w ramach realizacji projektu INITECH, umowa nr ZPB/14/67054/IT2/10.