

Waldemar WIECHECKI, Rafał WIŚNIEWSKI

e-mail: w.wiechecki@ichip.pw.edu.pl

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Warszawa

## Modelowanie pracy węzła fermentacji metanowej w warunkach zróżnicowanych temperatur

### Część II: Model pracy układu wielu komór i jego weryfikacja

#### Wstęp

W trakcie dotychczas prowadzonych badań opracowano ogólny model mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków i przy pomocy modelowania badano jej funkcjonowanie [1, 2]. Wyniki modelowania wykazały, że istotną rolę w pracy oczyszczalni odgrywa węzeł fermentacji metanowej, składający się z kilku komór fermentacji metanowej (KFM). Opracowano więc i przebadano model takiego węzła [3–5], a następnie przeprowadzono badania wpływu temperatury fermentacji metanowej na efektywność pracy węzła i produkcji biogazu. Ze względu na złożoność tego zagadnienia w pierwszej części pracy [6] zbadano pracę pojedynczej KFM w warunkach zróżnicowanych temperatur, opracowując jej poszerzony model matematyczny, który został zweryfikowany w oparciu o dane z przemysłowych KFM. Wyniki modelowania były zgodne z danymi doświadczalnymi.

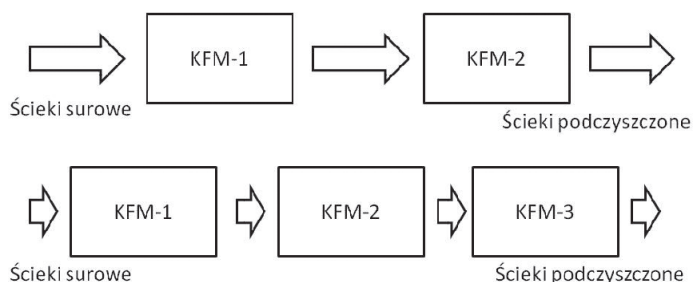
Przedmiotem części drugiej jest modelowanie pracy węzła składającego się z kilku KFM o zróżnicowanych temperaturach fermentacji. Zakres tej części obejmował opracowanie modelu układu kilku połączonych KFM, wyznaczenie i zweryfikowanie parametrów opracowanego modelu a następnie modelowanie pracy układu, obejmujące badanie efektywności redukcji obciążników ścieków oraz wytwarzania biogazu.

#### Model matematyczny układu wielu komór

Przedstawiony w pierwszej części model pracy pojedynczej KFM w warunkach zróżnicowanych temperatur został wykorzystany do opracowania modelu pracy węzłów, stanowiących układy dwóch oraz trzech szeregowo połączonych KFM pracujących w warunkach zróżnicowanych temperatur. Schematy ideowe modelowanych układów przedstawiono na rys. 1.

Przy opracowywaniu konfiguracji modelowanych układów uwzględniono fakt, że w procesie fermentacji metanowej można wyróżnić następujące po sobie etapy: hydrolizy, acidogenezy, acetogenezy i metanogenezy, których parametry procesowe mają zróżnicowane wartości. Dzięki zastosowaniu przyjętej konfiguracji węzłów możliwe będzie zróżnicowanie wartości parametrów procesowych dla poszczególnych etapów fermentacji.

Wstępne modelowanie układów komór wykazało, że konieczne jest przeprowadzenie dokładnej analizy parametru modelu  $P_{m0}$  [6], który nazwano potencjałem wytwarzania biogazu. Celowe okazało się przy-



Rys. 1. Schematy ideowe modelowanych układów

jęcie założenia, że dla danego strumienia ścieków w kolejnych KFM wartość parametru  $P_{m0}$  będzie ulegała zmniejszeniu proporcjonalnie do ilości już wytworzonego biogazu. Poszerzono zatem model układu wielu KFM o opracowane dodatkowe równanie, ujmujące zmianę  $P_{m0}$  w układzie  $n$  komór:

$$P_{m0_{KFM(n)}} = P_{m0_{KFM(n-1)}} \left( 1 - \frac{P_{KFM(n-1)}}{P_{mKFM(n-1)}} \right) \quad (1)$$

Opracowany model układu wielu komór został następnie zweryfikowany w oparciu o dane z obiektów przemysłowych [7]. Wyniki weryfikacji potwierdziły poprawność modelu.

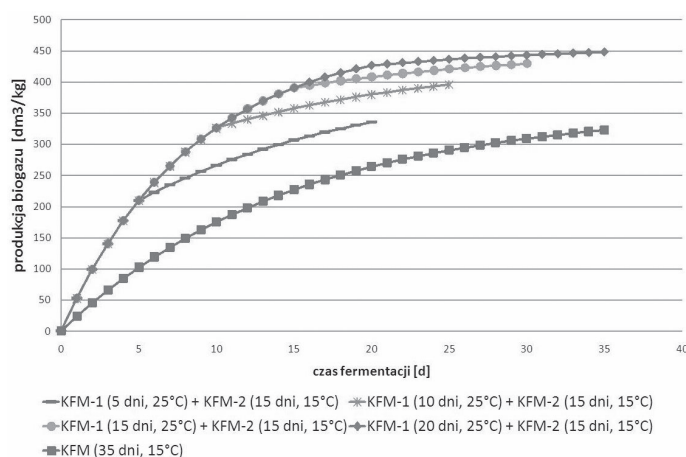
#### Modelowanie pracy układów wielu komór

Drogą modelowania zbadano wpływ temperatur i czasu przebywania w poszczególnych KFM na stężenie BZT<sub>5</sub> oraz produkcję biogazu w modelowanym węźle.

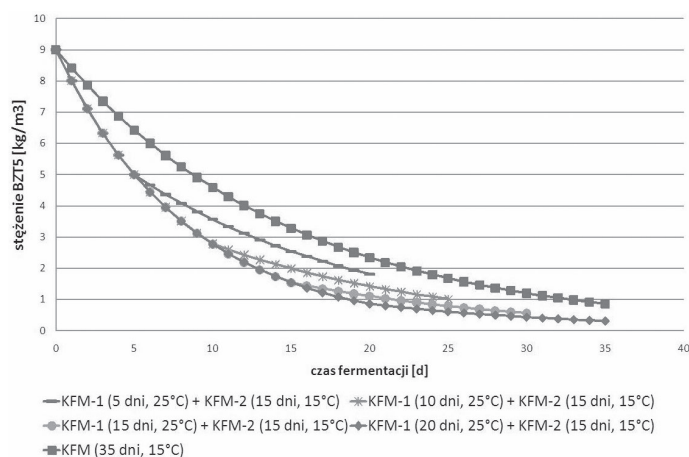
Przykładowo na rys. 2 przedstawiono produkcję biogazu, a na rys. 3 wielkość redukcji BZT<sub>5</sub> dla procesu fermentacji prowadzonego w węźle złożonym z szeregowo połączonych KFM-1 i KFM-2 o zróżnicowanych temperaturach (15 i 25°C) i czasach przebywania (5, 10, 15 i 20 dni). Uzyskane wyniki porównano z przebiegiem procesu prowadzonego w pojedynczej KFM w stałej temperaturze (15°C, 35 dni), zastępującej układ KFM-1 + KFM-2.

Z kolei na rys. 4 przedstawiono produkcję biogazu, a na rys. 5 wielkość redukcji BZT<sub>5</sub> dla procesu fermentacji prowadzonego w węźle złożonym z trzech szeregowo połączonych KFM-1, KFM-2 i KFM-3 o zróżnicowanych temperaturach (15, 25 i 30°C).

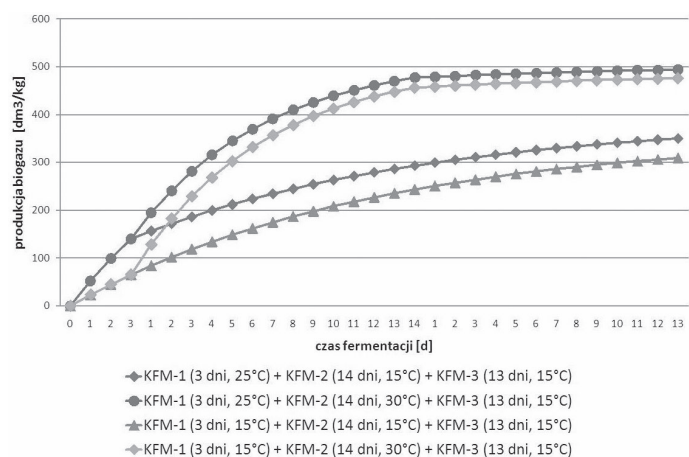
Analiza wyników modelowania układu dwóch KFM o zróżnicowanych temperaturach wskazuje, że prowadzenie w nim fermentacji prowadzi do przyspieszenia przebiegu procesu, przejawiającego się zarówno większą redukcją BZT<sub>5</sub> jak i większą ilością wytworzonego biogazu w porównaniu do procesu prowadzonego w niskiej temperaturze w pojedynczej KFM.



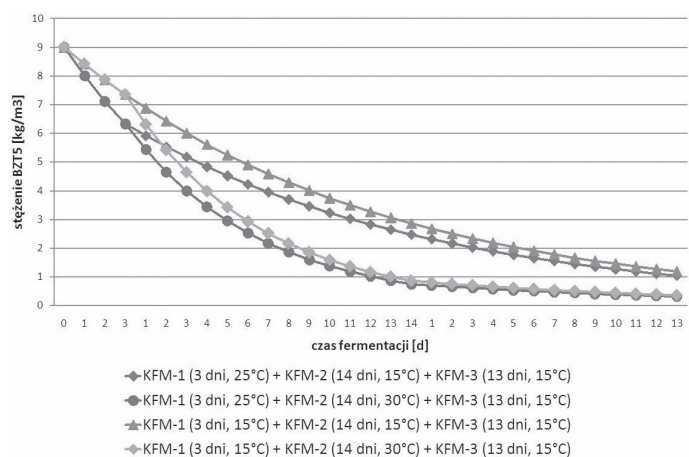
Rys. 2. Produkcja biogazu w węźle złożonym z dwóch KFM oraz w pojedynczej KFM



Rys. 3. Wielkość redukcji BZT<sub>5</sub> w węźle złożonym z dwóch KFM oraz w pojedynczej KFM



Rys. 4. Produkcja biogazu w węźle złożonym z trzech KFM



Rys. 5. Wielkość redukcji BZT<sub>5</sub> w węźle złożonym z trzech KFM

Przykładowo, po 10 dniach fermentacji w temperaturze 25°C w KFM-1 i następnym 15 dniach w temperaturze 15°C w KFM-2, uzyskuje się taki sam poziom redukcji BZT<sub>5</sub> jak po 33 dniach prowadzenia procesu w pojedynczej KFM w temperaturze 15°C. Jednocześnie w takim układzie dwóch KFM po 25 dniach procesu ilość wytworzonego biogazu jest o około 30% większa niż w pojedynczej KFM o temperaturze 15°C.

W przypadku prowadzenia procesu w układzie trzech komór stwierdza się wpływ podwyższonej temperatury w KFM-1 na wydajność wytwarzania biogazu w węźle, przy czym wielkość tego wpływu maleje ze wzrostem temperatury w KFM-2.

Przykładowo, przy temperaturze 15°C w KFM-2 zwiększenie temperatury w KFM-1 z 15 do 25°C zwiększa produkcję biogazu o około 15%, natomiast przy temperaturze 30°C w KFM-2 zwiększenie temperatury w KFM-1 z 15 do 25°C zwiększa produkcję biogazu tylko o około 3%.

Odnośnie redukcji BZT<sub>5</sub> wyniki potwierdzają występowanie niewielkiego wpływu temperatury w KFM-1 na stopień redukcji w całym węźle.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że w węźle złożonym z trzech komór w przypadku prowadzenia procesu w wysokiej temperaturze w KFM-2, nie jest konieczne jednoczesne podwyższenie temperatury w KFM-1, gdyż zmiana temperatury w tej komorze nie wywiera wówczas istotnego wpływu na efektywność pracy całego węzła.

## Podsumowanie i wnioski

Opracowano model węzła fermentacji metanowej składającego się z kilku KFM o zróżnicowanych temperaturach i czasach przebywania. Przeprowadzona weryfikacja modelu wykazała, że model prawidłowo opisuje pracę rzeczywistych węzłów fermentacji metanowej w oczyszczalni ścieków.

Wyniki modelowania pracy węzłów wskazują, że zróżnicowanie temperatury komór (podwyższenie temperatury w KFM-1 dla układu dwóch komór lub w KFM-2 dla układu trzech komór) prowadzi do znacznego zwiększenia wytwarzania biogazu oraz pogłębienia stopnia redukcji BZT<sub>5</sub> w węźle w porównaniu do procesu prowadzonego w niskiej temperaturze w pojedynczej KFM.

Zróżnicowanie temperatur w komorach fermentacji umożliwia także skrócenie czasu przebywania oczyszczanych ścieków w węźle przy zachowaniu takiego samego stopnia redukcji BZT<sub>5</sub> i jednoczesnym zwiększeniu ilości wytwarzanego biogazu.

Opracowany model pracy układu kilku komór o zróżnicowanych temperaturach i czasach przebywania oraz wyniki modelowania będą mogły być wykorzystane przy tworzeniu systemu sterowania i optymalizacji pracy węzła fermentacji metanowej w oczyszczalni ścieków.

## LITERATURA

- [1] W. Wiechecki, R. Wiśniewski: Inż. Ap. Chem. **42**, nr 4s, 86 (2003).
- [2] W. Wiechecki, R. Wiśniewski: Inż. Ap. Chem. **43**, nr 3s, 167 (2004).
- [3] W. Wiechecki, R. Wiśniewski: Inż. Ap. Chem. **44**, nr 4s, 115 (2005).
- [4] W. Wiechecki, R. Wiśniewski: Inż. Ap. Chem. **45**, nr 5s, 137 (2006).
- [5] W. Wiechecki, R. Wiśniewski: Inż. Ap. Chem. **46**, nr 4-5, 133 (2007).
- [6] W. Wiechecki, R. Wiśniewski: Inż. Ap. Chem. **48**, nr 5, 105 (2009).
- [7] K. Imhoff, K.R. Imhoff: Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków, Bydgoszcz, Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, 1996.