

Waldemar WIECHECKI, Rafał WIŚNIEWSKI

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

Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

Optimalizacja pracy węzła fermentacji metanowej w oczyszczalni ścieków

Wstęp

W trakcie dotychczas prowadzonych badań opracowano ogólny model mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków i za pomocą 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).

W kolejnych etapach badań opracowano modele pojedynczej KFM oraz całego węzła, składającego się z kilku KFM o zróżnicowanej organizacji przepływów strumieni ścieków w węźle, zróżnicowanym obciążeniu KFM i zróżnicowanych temperaturach fermentacji w poszczególnych KFM. W oparciu o dane doświadczalne wyznaczono i zweryfikowano parametry opracowanych modeli [3–7].

Zakres badań

Na podstawie wyników dotychczasowych prac przeprowadzono badania nad optymalizacją pracy węzła fermentacji metanowej, dotyczące określenia wpływu czasu przebywania ścieków w komorach fermentacji oraz temperatur fermentacji (T) na efektywność redukcji obciążników ścieków i wytwarzania biogazu. W tym celu modelowano pracę węzła fermentacji metanowej złożonego z trzech szeregowo połączonych KFM różnicując temperatury i czasy fermentacji w poszczególnych KFM w sposób przedstawiony w tab. 1. We wszystkich wariantach modelowania przyjęto jednakowe parametry strumieni ścieków doprowadzanych do węzła (przepływ $372 \text{ m}^3/\text{doba}$, stężenie BZT_5 9 kg/m^3).

Tab. 1. Temperatury i czasy fermentacji w poszczególnych komorach fermentacji metanowej (KFM)

Wariant	KFM1		KFM2		KFM3	
	Czas przebywania [doba]	Temperatura [°C]	Czas przebywania [doba]	Temperatura [°C]	Czas przebywania [doba]	Temperatura [°C]
1	4	20	11	20	14	15
2	4	20	11	20	14	20
3	2	25	11	20	14	20
4	2	30	11	20	14	15
5	2	30	11	20	14	20
6	1	35	10	20	13	20
7	2	30	10	30	12	15
8	2	25	10	30	12	20
9	2	30	10	30	12	15
10	2	30	10	30	12	20
11	1	35	9	30	12	15
12	1	35	9	30	12	20

Wyniki badań

W niniejszej pracy zamieszczono wybrane, przykładowe wyniki modelowania obejmujące produkcję biogazu w węźle i stężenie BZT_5 w strumieniu opuszczającym węzeł dla poszczególnych wariantów modelowania (Tab. 2) oraz wpływ temperatury w KFM2, a także wpływ zróżnicowania temperatur w KFM1 i KFM3 na efektywność pracy węzła.

Tab. 2. Produkcja biogazu w węźle i stężenie BZT_5 w strumieniu opuszczającym węzeł dla poszczególnych wariantów

Wariant	Całkowity czas przebywania ścieków w węźle [doba]	Produkcja biogazu w węźle [m^3]	Stężenie BZT_5 w strumieniu opuszczającym węzeł [kg/m^3]
1	29	359	0,91
2	29	379	0,67
3	27	388	0,76
4	27	392	0,96
5	27	412	0,71
6	24	405	0,94
7	24	468	0,68
8	24	481	0,52
9	24	487	0,63
10	24	499	0,49
11	22	485	0,83
12	22	500	0,63

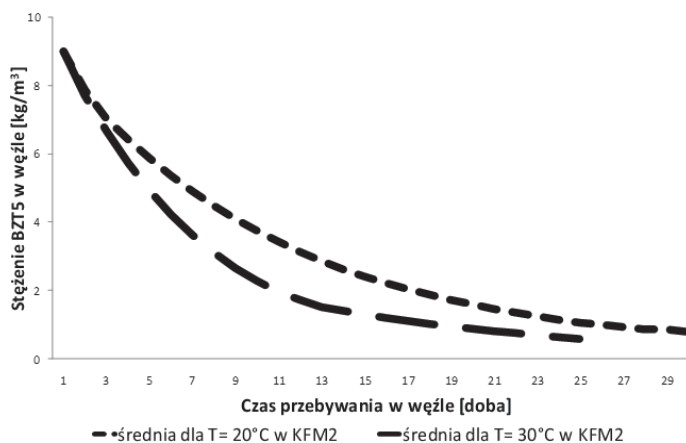
Wpływ temperatury w KFM2 na pracę węzła

Na rys. 1 i 2 przedstawiono wyniki badania wpływu temperatury w KFM2 na redukcję BZT_5 i produkcję biogazu w węźle, przy czym prezentowane przebiegi dotyczą wartości średnich wyliczonych dla analizowanych wariantów.

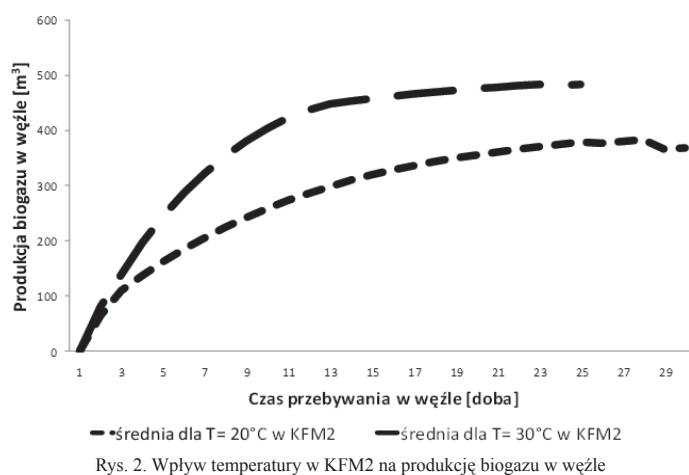
Widoczne jest, że temperatura w KFM2 wywiera istotny wpływ na redukcję BZT_5 i produkcję biogazu, niezależnie od warunków panujących w KFM1 i KFM3.

Jako ogólną tendencję obserwuje się znaczące pogłębienie redukcji BZT_5 i zwiększenie produkcji biogazu w węźle dla fermentacji prowadzonej w KFM2 w temperaturze 30°C w porównaniu z fermentacją w temperaturze 20°C .

Przykładowo dla całkowitego czasu przebywania w węźle wynoszącego 23 dni i temperatury 30°C w KFM2 uzyskuje się zwiększenie ilości wytworzonego biogazu o około 30% oraz zmniejszenie stężenia BZT_5 o około 30% w porównaniu do efektów pracy węzła, gdy temperatura w KFM2 wynosi 20°C .



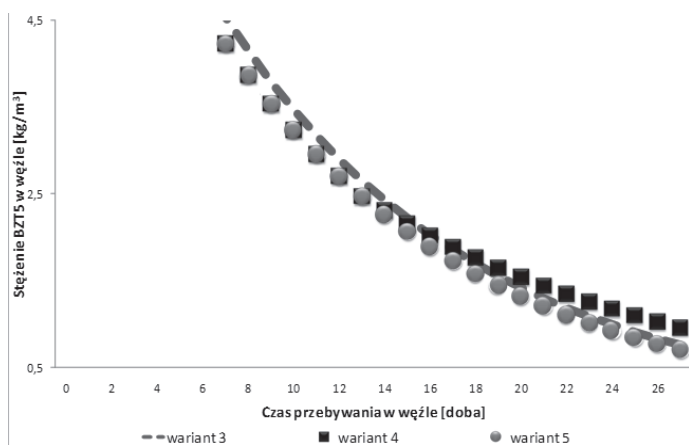
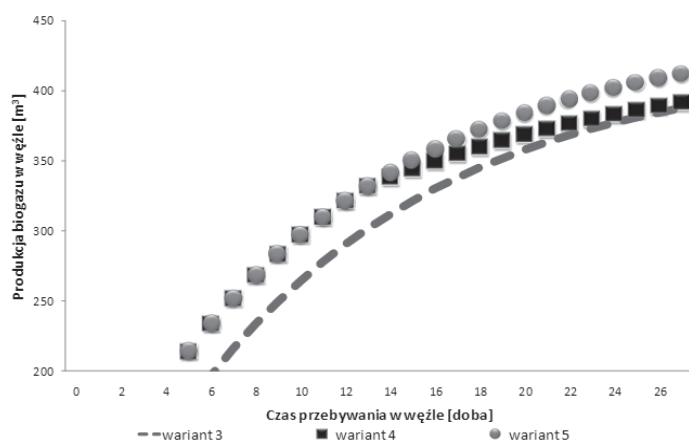
Rys. 1. Wpływ temperatury w KFM2 na redukcję BZT_5 w węźle



Rys. 2. Wpływ temperatury w KFM2 na produkcję biogazu w węźle

Wpływ zróżnicowania temperatur w KFM1 i KFM3 na efektywność pracy węzła

Na rys. 3 i 4 przedstawiono wyniki badania wpływu zróżnicowania temperatur w KFM1 i KFM3 na redukcję BZT₅ i produkcję biogazu w węźle dla wariantów modelowania 3, 4 i 5 dla których całkowity czas przebywania w węźle wynosił 27 dni.

Rys. 3. Wpływ zróżnicowania temperatur w KFM1 i KFM3 na redukcję BZT₅ w węźle

Rys. 4. Wpływ zróżnicowania temperatur w KFM1 i KFM3 na produkcję biogazu w węźle

Wyniki modelowania dla wariantów 3 i 4 określają wpływ temperatury w KFM3 na pracę węzła. W obu tych wariantach uzyskano jednakową ilość wyprodukowanego biogazu w węźle przy jednoczesnym ok. 10% wyższym stężeniu BZT₅ w strumieniu opuszczającym węzeł dla

wariantu 4. Wskazuje to, że temperatura w KFM3 wywiera znaczący wpływ na redukcję BZT₅ w węźle. Jednocześnie wyniki modelowania wskazują, że podwyższanie temperatury w KFM1 nie kompensuje obniżenia temperatury w KFM3.

Z porównania wariantów 3 i 5 można wnioskować o wpływie temperatury w KFM1 na produkcję biogazu w węźle. W obu tych wariantach uzyskano podobną redukcję BZT₅ ale dla wariantu 5 produkcja biogazu była większa o ok. 15%.

Wnioski

Wyniki pracy wskazują, że kluczową rolę w optymalizacji pracy węzła fermentacji metanowej odgrywa dobór temperatur fermentacji w poszczególnych KFM. Wpływ temperatury fermentacji w KFM na pracę węzła nie jest możliwy do skompensowania poprzez zmiany czasów przebywania w poszczególnych KFM.

Z badań wynika, że nie w każdym przypadku działania nakierowane na maksymalizację produkcji biogazu w węźle prowadzą do jednoczesnej minimalizacji redukcji ładunku BZT₅ w strumieniu opuszczającym węzeł. W związku z tym w zależności od postawionych celów (optymalizacja produkcji biogazu albo maksymalizacja redukcji BZT₅) w różny sposób powinny być dobierane temperatury w poszczególnych KFM.

Na podstawie wyników modelowania ustalono następujące **zalecenia dotyczące temperatur fermentacji** w poszczególnych KFM:

- dla pogłębienia redukcji BZT₅ i jednoczesnego zwiększenia produkcji biogazu w węźle w pierwszej kolejności należy zwiększyć temperaturę w KFM2 – przykładowo zwiększenie tej temperatury z 20°C do 30°C pozwala uzyskać zwiększenie o około 30% produkcji biogazu oraz obniżenie o około 30% stężenia BZT₅ w strumieniu opuszczającym węzeł,
- jeśli celem jest maksymalizacja produkcji biogazu należy także zwiększać temperaturę w KFM1 ale działanie takie nie przyniesie istotnej poprawy redukcji BZT₅ w węźle – przykładowo zwiększenie tej temperatury z 25 do 30°C pozwala zwiększyć o około 10% produkcję biogazu przy zachowaniu praktycznie niezmiennego stężenia BZT₅ w strumieniu opuszczającym węzeł,
- dla uzyskania maksymalnej redukcji BZT₅ w węźle należy zwiększać temperaturę w KFM3, jednak działanie takie wywoła jedynie niewielkie zwiększenie ilości wytwarzanego biogazu – przykładowo zwiększenie tej temperatury z 15 do 20°C pozwala uzyskać zwiększenie o około 4% produkcji biogazu oraz obniżenie o około 20% stężenia BZT₅ w strumieniu opuszczającym węzeł.

Na podstawie wyników modelowania ustalono następujące **zalecenia dotyczące czasów przebywania** w poszczególnych KFM:

- celowe jest wydłużanie czasu przebywania w KFM2 kosztem skracania czasu przebywania w pozostałych KFM – działanie takie prowadzi do zwiększenia redukcji BZT₅ i zwiększenia produkcji biogazu w węźle,
- zwiększenie temperatury w KFM2 pozwala zredukować czas przebywania ścieków w węźle – przykładowo zwiększenie tej temperatury z 20 do 30°C pozwala uzyskać zwiększenie o około 30% produkcji biogazu oraz obniżenie o około 30% stężenia BZT₅ w strumieniu opuszczającym węzeł przy jednoczesnym skróceniu czasu przebywania w węźle z 27 do 24 dni.

Wyniki przeprowadzonej optymalizacji będą mogły być wykorzystane do określenia właściwych wartości parametrów eksploatacyjnych węzła fermentacji metanowej oraz do tworzenia systemu sterowania pracą węzła.

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] W. Wiechecki, R. Wiśniewski: Inż. Ap. Chem. **49**, nr 2, 123 (2010).