

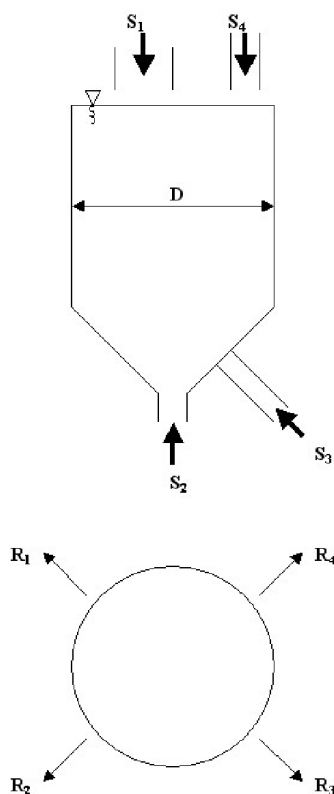
JACEK PALIGE
 ANDRZEJ DOBROWOLSKI
 SYLWIA PTASZEK
 ANDRZEJ G. CHMIELEWSKI

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa

Optymalizacja parametrów mieszacza-dystrybutora ścieków z wykorzystaniem metod znacznikowych i CFD

Wstęp

W większości dużych zakładów przemysłowych ścieki produkowane na różnych etapach produkcji różnią się znacząco składem chemicznym, ilością, obecnością fazy organicznej, udziałem wód opadowych oraz wód powstających przy czyszczeniu instalacji. Przed skierowaniem tych wód do procesu biologicznego oczyszczania, ze względu na wrażliwość tego procesu na duże i nagłe wahania składu chemicznego, ścieki muszą być poddane procesowi uśrednienia. Operacja ta, w zależności od specyfiki zakładu, może być realizowana okresowo lub w sposób ciągły w mieszalnikach z wykorzystaniem energii kinetycznej napływających strug ścieków do ich ujednorodnienia. Zalety mieszalników strumieniowych (*jet mixers*) polegają na braku mechanicznych części ruchomych, energooszczędności oraz niskich kosztach eksploatacyjnych. Obecnie nie są znane podstawowe zasady i korelacje dotyczące projektowania tego typu mieszalników oraz wpływu ich geometrii, natężeń przepływu itp. na efektywność ich pracy. Podstawy metodologii badań cylindrycznych mieszalników strumieniowych z wykorzystaniem metod znacznikowych i CFD przedstawione zostały w pracy [1]. Badania wpływu lokalizacji i kąta napływu strugi, liczby strug oraz natężeń przepływu strug na efektywność mieszania zostały przedstawione w pracach [2, 3]. Badania te prowadzone w instalacjach laboratoryjnych wykazały, że przy dwustronnym wprowadzeniu strug cieczy uzyskuje się znaczącą redukcję czasu mieszania.



Rys. 1. Schemat mieszalnika strumieniowego. (S₁, S₂, S₃, S₄ – źródła ścieków, R₁, R₂, R₃, R₄ – ścieki odprowadzane do reaktorów biologicznych)

W niniejszej pracy przedstawiono próbę wykorzystywania metod znacznikowych i CFD do badania parametrów pracy przemysłowego mieszalnika strumieniowego pracującego w jednym z zakładów chemicznych.

Badany mieszalnik-dystrybutor ścieków

Schemat badanego czterostrumieniowego mieszalnika cylindrycznego o objętości 29 m³ i średnicy $D = 2,5$ m przedstawiono na rys. 1. Ścieki z źródeł S₂ i S₃ doprowadzane są w dennej części mieszalnika rurami o średnicach $d_2 = 0,6$ m i $d_3 = 0,35$ m w postaci strug zatopionych. Ścieki ze źródeł S₁ i S₄ doprowadzane są w postaci strugi swobodnej spadającej na powierzchnię cieczy w mieszalniku (średnice rur doprowadzających $d_1 = 0,6$ m, $d_4 = 0,35$ m). Odpływ ścieków odbywa się przelewem do koryta odpływowego z którego ścieki rozprowadzane są na cztery reaktory biologiczne R₁ ÷ R₄. Obserwacje technologiczne wskazywały na znaczną niejednorodność wypływających ścieków przejawiającą się dużymi różnicami ładunków zanieczyszczeń chemicznych kierowanych na poszczególne zestawy biologiczne.

Badania znacznikowe

W badaniach znacznikowych poszczególne źródła ścieków S₁ ÷ S₄ kolejno znakowane były ze stałym wydatkiem znacznika, (fluoresceiny). Odległość punktu dozowania od mieszalnika przekroczyła ponad 100-krotnie średnicę rurociągów, co przy turbulentnym charakterze przepływu zapewniło całkowite wymieszanie znacznika w objętości znakowanych ścieków. Natężenia przepływu ścieków Q_i (i = 1, ..., 4) w trakcie eksperymentów wynosiły odpowiednio Q₁ = 230 m³/godz, Q₂ = 270 m³/godz, Q₃ = 420 m³/godz, Q₄ = 350 m³/godz. Po uzyskaniu na napływie do mieszalnika stałego stężenia znacznika pobierano serię próbek ścieków z każdego wypływu R_i. Pomiar stężenia znacznika w próbkach ścieków prowadzono z wykorzystaniem fluorymetru TURNER.

Wyniki pomiarów, z podaniem dla każdego strumienia wypływającego średniego stężenia znacznika \bar{x} , odchylenia standardowego σ oraz indeksu mieszania $M = \sigma/\bar{x}$ przedstawiono w tabelcy 1.

Otrzymane wyniki wskazują, że jedynie ścieki ze źródła S₁ (podawane osiowo strugą na powierzchnię cieczy w mieszalniku) rozprowadzane są równomiernie na poszczególne zestawy biologiczne R_i. Ścieki ze źródeł S₂ i S₃ kierowane są głównie do reaktorów R₁ i R₂.

Wyniki pomiarów

Tablica 1

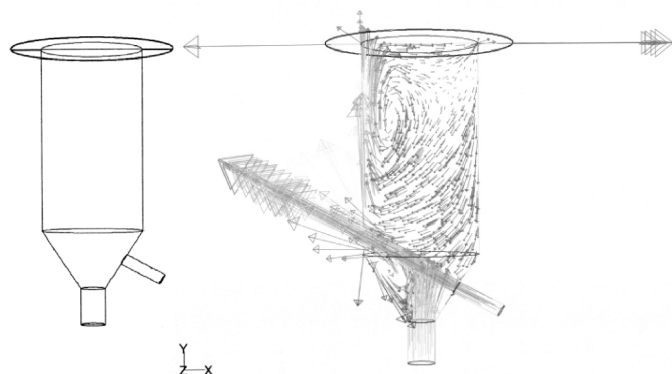
Symulacje CFD przepływu w mieszalniku

Znakowane źródło	Natężenie przepływu znacznika q [kg/min]	Reaktory biologiczne	Wartość średnia stężenia znacznika	Odchylenie standardowe σ	Indeks mieszania
S ₁	0,2	R ₁	46,7	3,1	6,6
		R ₂	42,9	2,3	5,4
		R ₃	52,1	0,8	1,5
		R ₄	51,7	1,5	2,9
S ₂	0,022 ± 0,003	R ₁	42,8	12,7	29,7
		R ₂	41	12,7	31
		R ₃	14,8	5,3	35,8
		R ₄	13	5,1	39,2
S ₃	0,015 ± 0,002	R ₁	56,2	18,5	32,9
		R ₂	66,4	17	25,6
		R ₃	13,6	2,8	20,6
		R ₄	13,8	4,2	30,4
S ₄	0,018 ± 0,001	R ₁	1,2	0,2	16,6
		R ₂	1,1	0,2	18,2
		R ₃	42,5	5,1	12
		R ₄	42,5	6,1	14,3

Praktycznie niemożliwe jest prawidłowe modelowanie napływu powierzchniowego strugi swobodnej do objętości mieszacza-dystrybutora. Modelowanie CFD ograniczono do obliczeń struktury przepływu wywołanej obecnością tylko strumieni zatopionych S₂ i S₃. Metodyka tego typu obliczeń przedstawiona została w pracy [4].

Przykłady zastosowania metod CFD do modelowania przepływów w urządzeniach oczyszczalni ścieków przedstawiono w pracach [5, 6].

Obliczenia CFD struktury przepływu ścieków w mieszaczu wywołanej strugami S₂ i S₃ przeprowadzono dla średnicy mieszacza $D = 2,5$ m, średnicy rurociągów napływowych $d_2 = 0,6$ m i $d_3 = 0,35$ m, wysokości cylindrycznej części mieszalnika $H = 5$ m, kąta 30° nachylenia do poziomu strugi S₃. Liczby Re dla rur napływowych i mieszacza wynosiły odpowiednio $Re(2) = 120\ 000$, $Re(3) = 200\ 000$, $Re = 50\ 000$ co wskazuje na turbulentny charakter przepływu. Swobodna powierzchnia cieczy traktowana była jako ściana bez tarcia. Odptyw cieczy odbywał się przelewem równomiernie na całym obwodzie mieszacza



Rys. 2. Struktura przepływu w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez oś mieszacza oraz napływ S₃

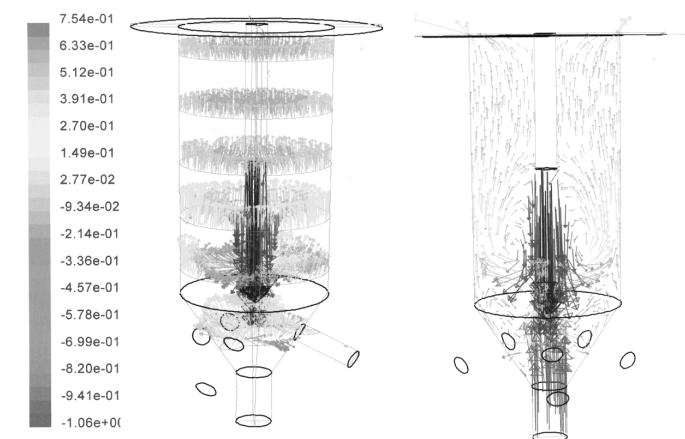
Dla danej geometrii mieszacza przeprowadzono obliczenia 3D przepływu rozwiązując odpowiedni układ równań *Naviera-Stokesa*, równanie ciągłości oraz stosując standardową procedurę $k-\epsilon$ dla opisu turbulencji (intensywność turbulencji $I = 10\%$). Liczba komórek obliczeniowych wynosiła 1 225 946. Otrzymaną w wyniku obliczeń strukturę przepływu w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez oś mieszacza oraz napływ S₃ przedstawiono na rys. 2. Obliczenia potwierdzają, że w przypadku obecności dwóch strug cieczy w prezentowanej geometrii mieszacza obserwujemy uprzywilejowany przekrój cieczy stroną mieszacza przeciwną do lokalizacji strugi S₃.

Zaproponowano nową lokalizacją napływów S₁÷S₄ w postaci napływu S₁ osiowo, na dnie mieszacza, napływu S₄ osiowo, rurą zanurzoną w przeciwną stronę do strugi S₁, napływy S₂ i S₃ doprowadzane łącznie do mieszacza układem trzech rur (co 120°) zlokalizowanych w stożkowej dennej części mieszacza. Uzyskaną w wyniku obliczeń CFD strukturę przepływu, dla nowej konfiguracji strug przedstawiono na rys. 3.

Otrzymana struktura charakteryzuje się równomiernym wypływem cieczy z mieszacza co powinno prowadzić do uzyskania jednorodnej mieszaniny ścieków odprowadzanych do zestawów biologicznych a tym samym do ich równomiernego obciążenia znacznym ładunkiem zanieczyszczeń.

LITERATURA

1. S. Jayanti: Chem. Eng. Sci. **56**, 193 (2001).
2. Z.D. Zughbi, M. A. Rakib: Chem. Eng. Sci. **59**, 829 (2004).
3. Ch. Niamnuy, S. Davahastin: Chem. Eng. Sci. **60**, 1701 (2005).
4. A.W. Patwardhan: Chem. Eng. Sci., **57**, 1307, (2002).
5. J. Palige i in.: Inż. Ap. Chem. **42**, nr 4s, 72, (2003).
6. J. Palige i in.: Inż. Ap. Chem. **44**, nr 4, 24, (2005).



Rys. 3. Struktura przepływu dla pięciu strumieni w mieszalniku cylindrycznym. Natężenia przepływu w rurach S₁ = 600 m³/godz, S₂ + S₃ = 540 m³/godz. (180 m³/godz dla każdej rury), S₄ = 350 m³/godz.