

JOANNA KARCZ  
 ŁUKASZ KACPERSKI  
 MARCELINA BITENC

Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

# Numeryczne modelowanie przepływu zawiesiny lekkiej w mieszalniku

## Wprowadzenie

Rozwój technik komputerowych umożliwia prowadzenie coraz bardziej skomplikowanych obliczeń, w których można uwzględnić czynniki, dotychczas pomijane ze względu na czasochłonność obliczeń i brak odpowiedniego sprzętu. Metody numerycznej mechaniki płynów (CFD) są ostatnio również stosowane [1–5] do modelowania przepływu płynu w mieszanych mechanicznie zawiesinach lekkich, czyli takich, w których gęstość rozpraszanych cząstek jest mniejsza niż gęstość fazy ciągłej. W obliczeniach numerycznych [1–5], najczęściej wykorzystywano model burzliwości  $k-\epsilon$ . *Ozcan-Taskin* i *Wei* [1] na podstawie danych doświadczalnych i numerycznych analizowali wpływ średnicy mieszadła, wytwarzającego osiowy przepływ płynu w kierunku powierzchni swobodnej cieczy, na powstanie zawiesiny lekkiej. Autorzy ci stwierdzili, że charakterystyki przepływu otrzymane metodami CFD oraz LDA są podobne.

W tej pracy przedstawiono wyniki numerycznych symulacji przepływu zawiesiny lekkiej w zbiorniku z przegrodami i mieszadłem turbinowym z łopatkami pochylonymi. W obliczeniach wykorzystano model burzliwości  $k-\omega$  [6].

## Zakres symulacji

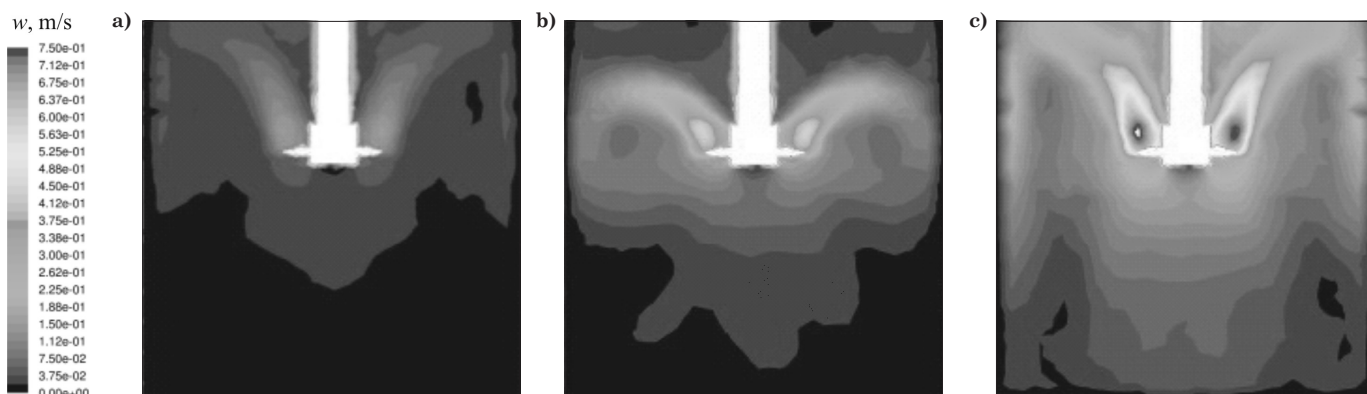
Obliczenia numeryczne przeprowadzono dla mieszalnika o średnicy  $D = 0,295$  m, wyposażonego w cztery symetrycznie rozmieszczone przegrody o szerokości  $B = 0,1D$ . Zbiornik był wypełniony płynem do wysokości  $H = D$ . Sześciolopatkowe mieszadło turbinowe (PBT $\uparrow$ ) o średnicy  $d = 0,33D$  znajdowało się na wysokości  $h = 0,67H$  licząc od płaskiego dna zbiornika. Kąt pochylecia łopatki mieszadła był równy  $45^\circ$ . Mieszadło pompowało płyn w kierunku powierzchni swobodnej.

Mieszaną cieczą była woda destylowana, natomiast fazę stałą (lekkie cząstki, lżejsze niż ciecz) stanowiły granulki polietylenu o średniej średnicy  $d_p = 3,8$  mm, gęstości  $\rho = 952$  kg/m<sup>3</sup> oraz średnim stężeniu  $x_m$ , wynoszącym 10% objętościowych.

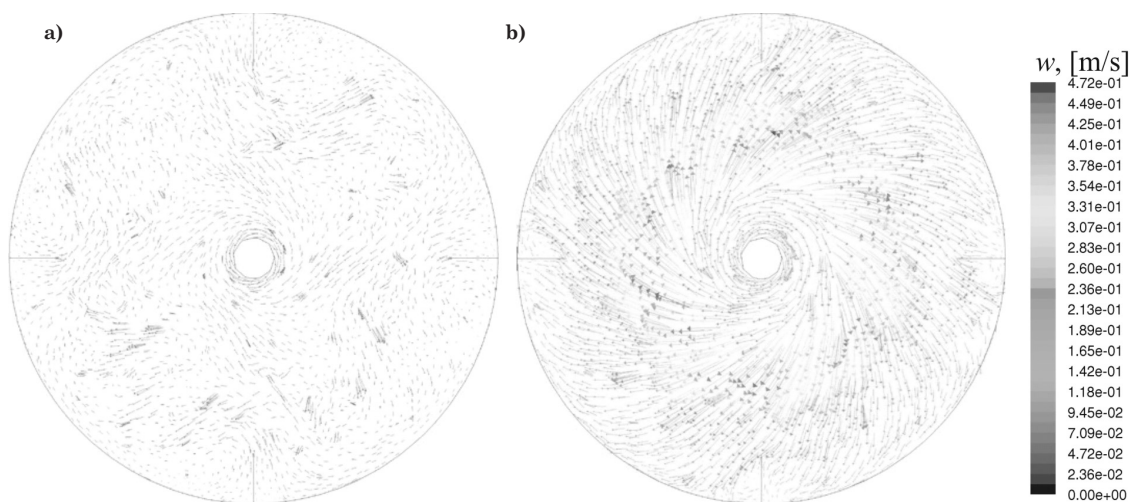
Modelowanie przeprowadzono w zakresie burzliwego przepływu płynu w mieszalniku korzystając z komercyjnego pakietu *FLUENT 6.2*. Siatkę numeryczną z układem wielokrotnego odniesienia (MRF), zawierającą 260 tysięcy komórek obliczeniowych, wygenerowano w preprocesorze *MixSim 2.0*. W obliczeniach zastosowano model burzliwości  $k-\omega$  oraz model wielofazowy mixture.

## Wyniki badań

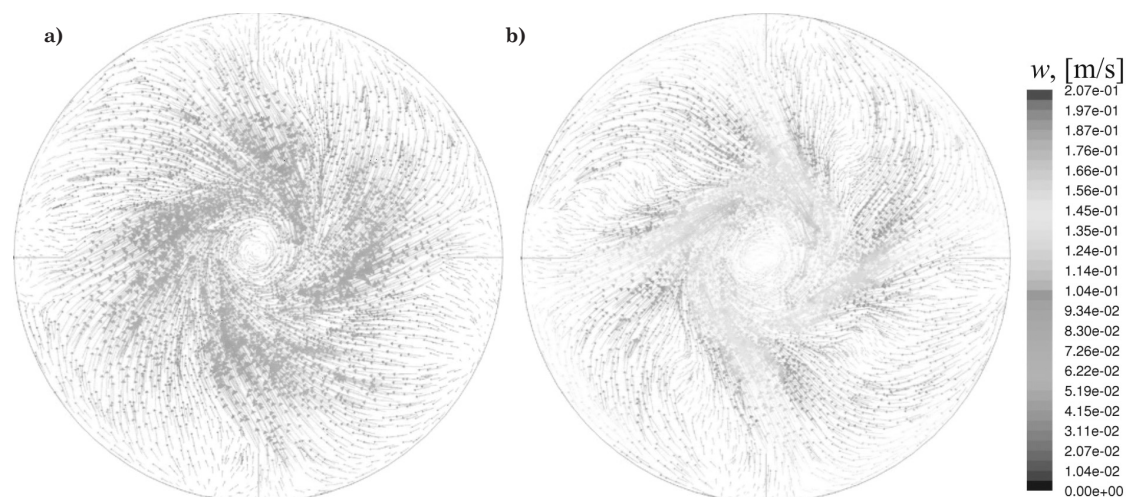
Wyniki symulacji przepływu płynu w mieszanych mechanicznie zawiesinach lekkich opracowano w postaci rozkładu wektorów prędkości oraz konturów rozkładu prędkości mieszaniny w zbiorniku. Przykładowe rezultaty są przedstawione na rys. 1–3. Na rys. 1 zostały zamieszczone wyniki symulacji rozkładów prędkości w przekroju osiowym mieszalnika w płaszczyźnie obróconej o kąt  $45^\circ$  względem dwóch przeciwnych przegród. Porównano na nim kontury prędkości płynu dla trzech różnych wartości częstości obrotów mieszadła  $n$ . Najlepsze rozproszenie cząstek lekkich w objętości cieczy występuje w przypadku zastosowania najmniejszych częstości obrotów mieszadła (Rys. 1a). Ze wzrostem częstości obrotów  $n$  rozpraszanie cząstek ciała stałego zwiększa się (Rys. 1b) tak, że dla wartości  $n = 4,17$  1/s cząstki osiągają już dno mieszalnika (Rys. 1c). Rozkład wektorów prędkości mieszaniny w płaszczyźnie promieniowej mieszalnika na dwóch różnych bezwymiarowych wysokościach  $z/H$  (licząc od dna zbiornika) jest pokazany na rys. 2, 3. Rys. 2



Rys. 1. Kontury prędkości przepływu zawiesiny w przekroju osiowym mieszalnika przesuniętym o  $45^\circ$  względem płaszczyzny przegród dla stężenia fazy stałej  $x_m = 10\%$  i częstości obrotów  $n$ : a) 0,83; b) 2,5; c) 4,17 1/s



Rys. 2. Rozkład wektorów prędkości mieszanki o stężeniu  $x_m = 10\%$  w przekroju promieniowym mieszalnika  $z/H = 0,89$  dla częstotliwości obrotów: a)  $n = 2,5$  1/s; b)  $n = 4,17$  1/s



Rys. 3. Rozkład wektorów prędkości mieszanki o stężeniu  $x_m = 10\%$  w przekroju promieniowym mieszalnika  $z/H = 0,5$  dla częstotliwości obrotów: a)  $n = 2,5$  1/s; b)  $n = 4,17$  1/s

ilustruje wyniki dla płaszczyzny promieniowej znajdującej się w odległości  $z/H = 0,89$ , czyli nad mieszadłem, natomiast na rys. 3 przedstawione są rozkłady wektorów prędkości w strefie zlokalizowanej poniżej mieszadła ( $z/H = 0,5$ ). W obu przypadkach zostały porównane rezultaty dla dwóch częstotliwości obrotów mieszadła  $n$  (odpowiednio dla  $n = 2,5$  1/s oraz  $n = 4,17$  1/s).

Przedstawiona na rys. 2 i 3 wizualizacja rozkładu prędkości w płaszczyznach promieniowych mieszalnika ujawnia strefy, w których przepływ jest lokalnie bardzo intensywny, a także obszary, w których jest on słaby. Duża intensywność wymieszania występuje w obszarach mieszadła, zarówno nad nim (Rys. 2b), jak i pod nim (Rys. 3b). Mniejsza intensywność wymieszania charakteryzuje strefy zlokalizowane w pobliżu przegród (Rys. 2a, 3a), zwłaszcza rejonów za przegrodami, blisko ścianek zbiornika.

#### Podsumowanie

Z przeprowadzonych za pomocą oprogramowania *FLUENT* 6.2 numerycznych symulacji pola prędkości mieszanej mecha-

nicznie zawiesiny lekkiej w zakresie przepływu burzliwego wynika, że stosując tę metodę badań można uzyskać ilościowy opis pola prędkości płynu w takim układzie oraz zidentyfikować strefy wymiany pędu o różnej intensywności. Wyniki modelowania w mieszalniku przepływu zawiesiny o dość wysokim stężeniu cząstek lekkich (10%) są bardzo cenne, gdyż badania doświadczalne wielkości lokalnych w takim układzie są bardzo trudne do zrealizowania.

#### LITERATURA

1. G. Ozcan-Taskin, H. Wei: Chem. Eng. Sci., **58**, 2011 (2003).
2. N. Kantarci, K.O. Ulgen., F. Borak: Canadian J. Chem. Eng., **83**, 4, 764 (2005).
3. B.N. Murthy, R.S. Ghadge R.S., J.B. Joshi: Chem. Eng. Sci., **62**, 7184 (2007).
4. B. Mackiewicz, J. Karcz: Chem. Proc. Eng., **30**, 111 (2009).
5. B. Mackiewicz: Praca doktorska, Politechnika Szczecińska, Szczecin, 2008.
6. Instrukcja Fluent, User's Guide, 2003.