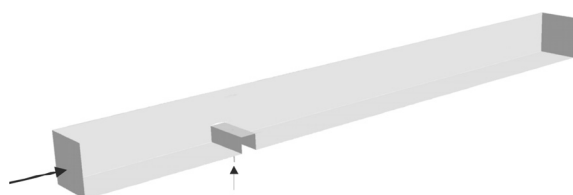


ŁUKASZ MAKOWSKI
WOJCIECH ORCIUCH

Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

Wpływ mieszania na precypitację siarczanu baru w reaktorze przepływowym z dozowaniem poprzecznym

Zjawisko poprzecznego dozowania składnika do głównego strumienia płynu jest szeroko stosowane w licznych aplikacjach przemysłu chemicznego i pokrewnych [1]. Celowe jest więc uzyskanie informacji na temat stref mieszania w takich układach. Analiza wyników pozwoli na dobór optymalnych warunków prowadzenia procesu w zależności od szybkości dozowania i wartości liczby *Reynoldsa*. Jako reaktor doświadczalny wybrano kanałowy reaktor przepływowy o przekroju kwadratowym, z zainstalowanym wewnątrz progiem, w którym umieszczono dozownik. Przekrój poprzeczny kanału wynosił – 46×46 mm, prostokątny próg o wymiarach 15×46×15 mm umieszczony był na dnie kanału. W centrum górnej ściany progu umieszczony był wylot z dozownika o średnicy 1 mm. Długość reaktora wynosiła 2600 mm. Schemat reaktora badawczego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat kanałowego reaktora badawczego

Obliczenia pola przepływu i stężenia niereagującego trase-ra wykonano z wykorzystaniem pakietu obliczeniowej mechaniki płynów *Fluent 6.3*. Do odwzorowania geometrii układu

zastosowana została siatka strukturalna, silnie zagęszczona wokół dozownika, czyli na obszarze w którym spodziewane są największe wartości gradientów stężenia, oraz w okolicach ścianek układu, gdzie spodziewane są największe wartości gradientów prędkości. W obliczeniach pola przepływu zastosowano standardowy model burzliwości *k-ε*, zaś współczynnik dyfuzji burzliwej niereagującego trase-ra D_T wyznaczono z następującego równania:

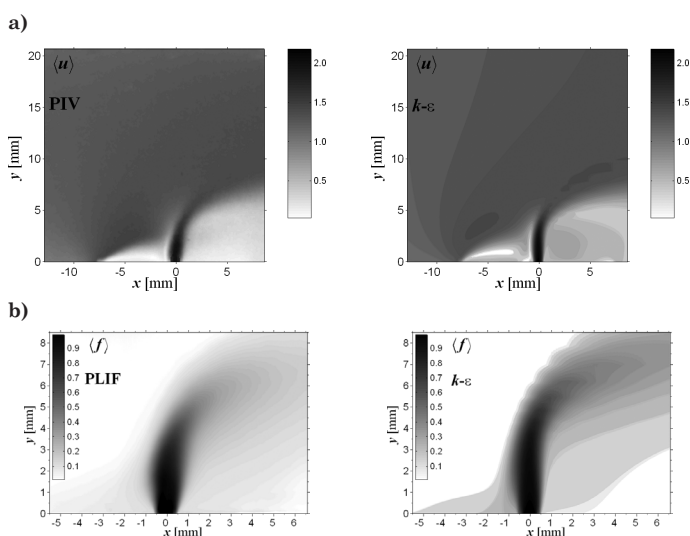
$$D_T = 0,1 \frac{k^2}{\epsilon} \quad (1)$$

W niniejszej pracy obliczenia przeprowadzono dla liczb *Reynoldsa* w kanale w zakresie $Re = 10000 \div 30000$, oraz dla $Ru = 4 \div 16$, gdzie Ru jest wielkością zdefiniowaną jako stosunek średniej prędkości płynu podawanego z dozownika do średniej prędkości płynu w reaktorze.

W celu weryfikacji rezultatów otrzymanych z obliczeń numerycznych skorzystano z najnowszych technik doświadczalnych: PIV (*Particle Image Velocimetry*) oraz PLIF (*Planar Laser Induced Fluorescence*). Układ pomiarowy składał się z dwupulsacyjnego lasera typu Nd-YAG o długości fali równej 532 nm i maksymalnej energii równej 50 mJ na puls. Skolimowana, płaska wiązka laserowa (o grubości $\delta = 300 \mu\text{m}$) przecinała badany układ w płaszczyźnie wyznaczonej przez oś kanału i oś otworu dozującego i umiejscowiona była nad wylotem z dozownika. W wyznaczaniu pola prędkości (PIV)

wykorzystano poliamidowe cząstki sferyczne o średniej średnicy równej $20\ \mu\text{m}$. Jako fluorescencyjny traser w pomiarach stężenia (PLIF) użyto roztwór *Rodaminy B* o stężeniu wlotowym równym $200\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Przestrzenna rozdzielczość w pomiarach PLIF wynikała z rozdzielczości cyfrowego zdjęcia i grubości płaszczyzny laserowej, w omawianych pomiarach wartość ta wynosiła $9 \times 9 \times 300\ \mu\text{m}$. W przypadku pomiarów PIV przestrzenna rozdzielczość zależy dodatkowo od obszaru próbkowania i w tym przypadku wynosiła $100 \times 100 \times 300\ \mu\text{m}$.

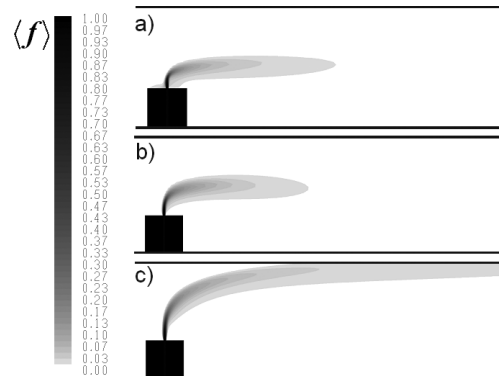
Na rys. 2 przedstawiono dla przykładu porównanie doświadczalnych i obliczeniowych fragmentów pola prędkości i pola stężenia bezpośrednio nad dozownikiem dla $Re = 20000$ i $Ru = 4$. Uzyskano dobrą zgodność wartości przewidywanych z doświadczalnymi. Potwierdza to prawidłowo przeprowadzone obliczenia i umożliwia modelowanie procesu precypitacji w rozważanym układzie.



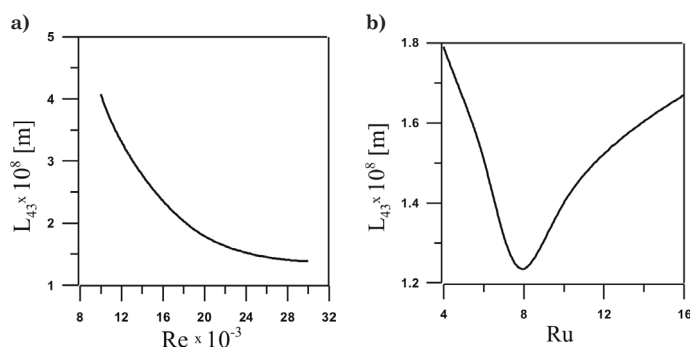
Rys. 2. Porównanie wyników eksperymentalnych (PIV i PLIF) z przewidywaniami ($k-\epsilon$) dla $Re = 20000$ i $Ru = 4$; a) rozkłady średniej wartości prędkości; b) rozkłady średniego stężenia niereagującego traseru bezpośrednio nad miejscem dozowania roztworu traseru

Na rys. 3 a, b, c przedstawiono przewidywane rozkłady średniego stężenia niereagującego traseru dla 3 różnych wartości liczby Ru . Wyraźnie widać zmianę wielkości strefy mieszania traseru. Dla niskich wartości Ru strumień dozowany z rurki „spłaszczany” jest przez główny strumień, następnie wraz ze wzrostem liczby Ru przebija się poprzez obszar intensywnego mieszania, aż osiąga górną ścianę układu, przebywając w otoczeniu o niskiej burzliwości. Podsumowując, odpowiedni dobór prędkości wlotowych pozwala kontrolować proces mieszania składników.

W pracy rozważamy teoretycznie proces precypitacji jonywej typu $A^{++} + B^{-} \rightarrow P\downarrow$. Jako reakcję testową wybrano precypitację siarczanu baru z wodnych roztworów siarczanu sodu i chlorku baru. Roztwór BaCl_2 o stężeniu $1,5\ \text{M}$ wstrzykiwano poprzez dozownik do reaktora, w którym przepływał roztwór Na_2SO_4 o wlotowym stężeniu $0,015\ \text{M}$. Proces precypitacji modelowano wykorzystując metodę momentów i kinetykę procesu, które zostały opisane w pracy [2].



Rys. 3. Rozkład średniego stężenia niereagującego traseru w osiowym przekroju reaktora dla $Re = 20000$; a) $Ru = 4$; b) $Ru = 8$; c) $Ru = 16$



Rys. 4. Wpływ liczb Re i Ru na średni rozmiar kryształów L_{43}

Na rys. 4 przedstawiono przewidywany wpływ mieszania na średni rozmiar cząstek siarczanu baru obserwowanych na wylocie z reaktora. Wyraźnie widać (Rys. 4a) spadek średniego rozmiaru L_{43} ze wzrostem liczby Re . Spowodowane jest to wzrostem efektów mieszania bezwładnościowo-konwekcyjnego dla wyższych wartości prędkości. Ciekawy efekt obserwujemy analizując wpływ wartości liczby Ru na rozmiar kryształów. Najpierw obserwujemy spadek rozmiarów ze wzrostem Ru , co jest spowodowane zmniejszaniem się strefy mieszania (Rys. 3a, b) czyli wzrostem intensywności mieszania. Dla $Ru > 8$ następuje natomiast wzrost rozmiarów cząstek w wyniku przebicia się dozowanego strumienia do górnej ściany kanału (Rys. 3c), gdzie panują gorsze warunki mieszania. Wytwarzane cząstki są wyjątkowo małe w porównaniu z kryształami BaSO_4 wytwarzanymi w innych aparatach. Spowodowane to jest tym, że w prezentowanym przypadku chlorek baru bardzo szybko ulegał wyczerpaniu.

W pracy pokazano, że odpowiedni dobór prędkości wlotowych przy zasilaniu krzyżowym pozwala wpływać na proces mieszania oraz kontrolować własności produktów reakcji.

LITERATURA

1. Paul, E.D.V.A. Atiemo-Obeng, S.M. Kresta: Handbook of Industrial mixing, science and practice, Wiley, 2004.
2. J. Baldyga and W. Orciuch: Chem. Engng Sci. 56, 2435 (2001).

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2010 jako projekt badawczy (Grant nr N N208 0303 33).