

JERZY SĘK  
MAREK DZIUBIŃSKI  
MICHAŁ BEDNARSKI

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

# Symulacje numeryczne ruchu kropeł cieczy w polu zderzających się strumieni powietrza

## Wprowadzenie

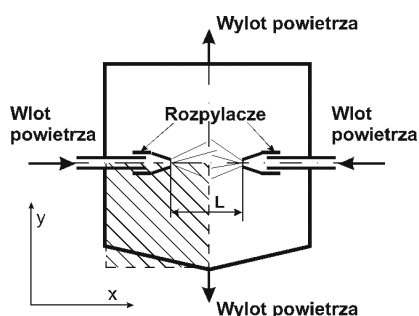
Emulsje należą do dwufazowych układów dyspersyjnych. Stanowią one dużą grupę płynów przetwarzanych w przemyśle spożywczym, kosmetycznym, włókienniczym, farb i lakierów, farmaceutycznym i innych. Produkuje się je za pomocą urządzeń emulgujących różnych typów. Ostatnio rozważane są możliwości wykorzystania do otrzymywania emulsji aparatów działających w oparciu o metodę zderzających się strumieni. Metoda ta pozwala wykorzystać zjawiska zachodzące w strefie zderzenia się dwóch strumieni aerozoli. Powstający w strefie zderzenia obszar o dużej burzliwości i dużych naprężeniach sprzyja otrzymywaniu emulsji o małej średnicy kropeł i wysokiej monodispersyjności [1].

Zasadę działania urządzeń do otrzymywania emulsji metodą zderzających się strumieni przedstawiono w pracy [2]. Jednak hydrodynamika przepływu gazu przez komorę mieszającą takich urządzeń jest bardzo słabo poznana. Niniejszej pracy zawiera wyniki badań uzyskane na drodze symulacji numerycznych, dotyczących hydrodynamiki przepływu gazu w komorze urządzenia emulgującego oraz ruchu kropeł cieczy wtryskiwanej za pomocą wtryskiwacza. Badano w jaki sposób trajektoria kropeł wtryskiwanej cieczy jest zależna od ich średnicy, ich prędkości oraz od odległości pomiędzy rozpylaczami.

## Symulacje numeryczne

Aparatura badawcza służąca do otrzymywania emulsji metodą zderzających się strumieni została szczegółowo opisana w pracy [3]. Na rys. 1 przedstawiono schemat budowy komory mieszającej urządzenia z ustawionymi naprzeciwko siebie rozpylaczami pneumatycznymi.

Symulacje działania przedstawionego na rys. 1 urządzenia wykonano korzystając z programu *Fluent*. W ramach tych badań wykonano komputerowy dwuwymiarowy obraz komory urządzenia (Rys. 2). Gaz do komory doprowadzany był dwoma otworami wlotowymi o wysokości 0,01 m, znajdującym się

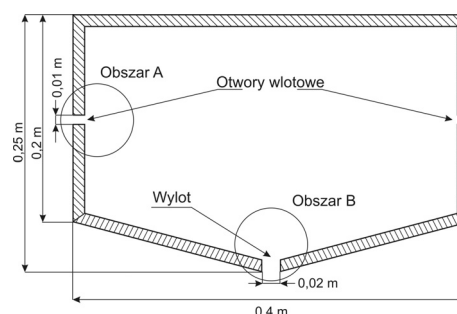


Rys. 1. Schemat budowy komory mieszającej

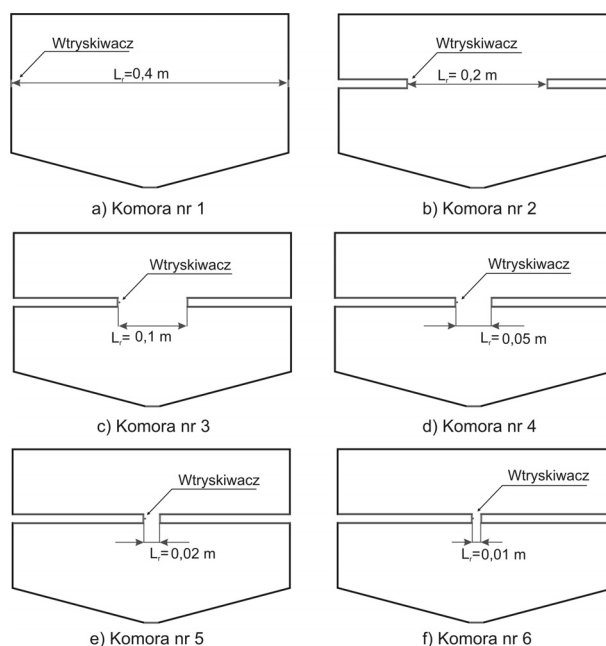
w połowie wysokości ścianki bocznej. Otwór wylotowy został umieszczony w połowie szerokości aparatu w lekko pochylonym dnie.

W celu zbadania wpływu odległości między wtryskiwaczami na kształt trajektorii kropeł cieczy zbudowano dodatkowo pięć komór (Rys. 3). Wymiary zewnętrzne reaktora, wielkość otworów wlotowych i wylotu z komory nie ulegają zmianie. Zmianie ulega odległość między otworami wlotowymi, w wyniku czego w komorze powstają kanały doprowadzające gaz z rozpyloną cieczą.

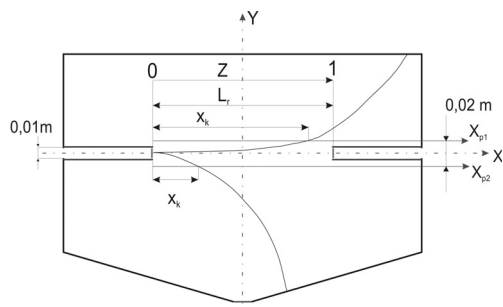
W wyniku przepływu strumieni gazu w komorze urządzenia prostoliniowe trajektorie kropeł wtryskiwanych przez rozpylacz ulegają stopniowemu odchyłaniu w wyniku oddziaływania strumieni przepływającego w komorze gazu, tak jak to przedstawiono na schemacie (Rys. 4).



Rys. 2. Obraz obszaru w którym symulowano przepływ



Rys. 3. Położenie końców rozpylaczy w komorze mieszającej



Rys. 4. Trajektorie kropeł w komorze mieszającej

Przyjęto, że największe prawdopodobieństwo zderzenia się i dalszej fragmentacji mają krople znajdujące się w obszarze wyznaczonym pomocniczymi poziomymi liniami  $x_{p1}$  i  $x_{p2}$  (Rys. 4). Celem analizy wyników symulacji numerycznych było więc określenie jakie odległości  $x_k$  przebywają krople zanim opuszczą obszar wyróżniony obszar zależności od innych parametrów procesu.

### Analiza wyników badań

Zasięg kropli cieczy zdefiniowano jako odległość jaką pokonuje kropla cieczy  $x_k$  w stosunku do odległości pomiędzy otworami wlotowymi  $L_r$ :

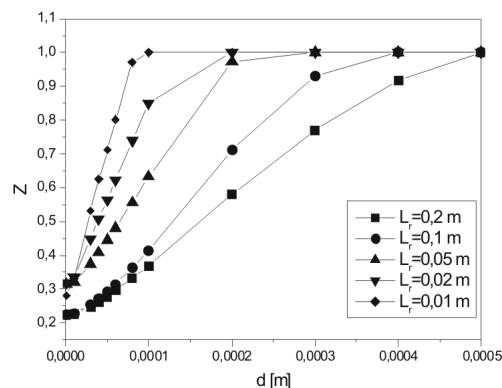
$$Z = \frac{x_k}{L_r} \quad (1)$$

gdzie:

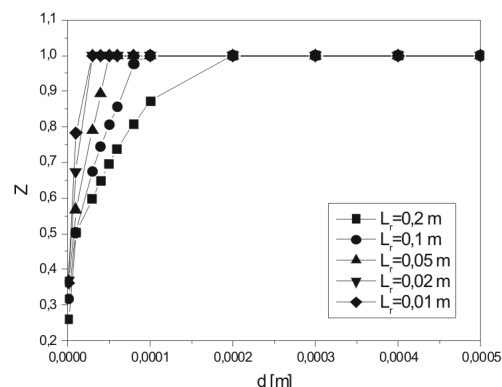
- $Z$  – zasięg kropli cieczy, [-],
- $x_k$  – maksymalna odległość od wtryskiwacza przed opuszczeniem strefy zderzeń, [m],
- $L_r$  – odległość pomiędzy otworami wlotowymi, [m].

Tak zdefiniowany zasięg kropli jest wielkością bezwymiarową, co pozwala to na porównanie jego wartości w poszczególnych komorach. Przyjmuje on wartości od 0 do 1: wartość 0 odpowiada punktowi wtrysku cieczy do komory, natomiast wartość 1 oznacza przebycie przez krople odległości równej odległości pomiędzy otworami wlotowymi do komory.

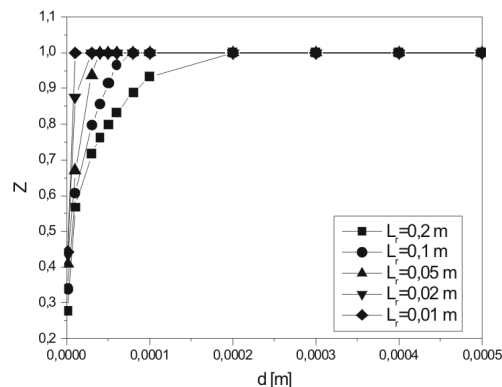
Wyniki badań symulacyjnych zamieszczono na wykresach (Rys. 5–7) jako zależności wielkości  $Z$  od średnicy kropeł przy różnych odległościach  $L_r$  i różnych prędkościach początkowych kropeł cieczy. Z wykresu (Rys. 5) uzyskanego przy prędkości początkowej kropeł równej  $u_0 = 1$  m/s wynika, że przy dużej odległości pomiędzy rozpylaczami  $L_r = 0,2$  m tylko krople o największej średnicy  $d = 0,0005$  m docierają do przeciwległego rozpylacza. Krople o mniejszych średnicach zostają usunięte przez powstające wiry ze zdefiniowanej strefy zderzeń. W przypadku najmniejszej symulowanej odległości pomiędzy rozpylaczami równej  $L_r = 0,01$  m krople o średnicy równej  $0,0001$  m i wszystkie większe pozostają w strefie zderzeń. W przypadku większych prędkości przepływu  $u_0 = 100$  m/s (Rys. 6) oraz  $u_0 = 1000$  m/s (Rys. 7) można zauważyć, że odległość pomiędzy rozpylaczami nie ma istotnego wpływu na pozostawanie kropeł w obszarze zderzania się przeciwnych strumieni. Krople o średnicach rzędu  $0,00005$  m



Rys. 5. Wykres zależności  $Z = f(d)$  przy  $u_0 = 1$  m/s



Rys. 6. Wykres zależności  $Z = f(d)$  przy  $u_0 = 100$  m/s



Rys. 7. Wykres zależności  $Z = f(d)$  przy  $u_0 = 1000$  m/s

i mniejszych przebywają odległość  $Z = 1$ , czyli pozostają w strefie, gdzie zderzenie z kroplami napływającymi z przeciwnego kierunku jest największe.

Uzyskane wyniki symulacji numerycznych wykazały, że wielkością decydującą o poprawnej pracy urządzenia służącego do wytwarzania emulsji metodą zderzających się strumieni nie jest odległość pomiędzy rozpylaczami, ale prędkość wprowadzania kropeł cieczy ze strumieniami gazu.

### LITERATURA

1. A. Tamir: *Impinging-streams reactors*, Amsterdam, Elsevier, 1994.
2. A. Tamir, S. Sobhi: *AICHE J.* 31, nr 12, 2089 (1985).
3. Z. Kemblowski, J. Sęk, A. Bobiński, M. Pingot: *Inż. Ap. Chem.* 39, nr 3s, 70 (2000).