

MAREK DZIUBIŃSKI  
ŁUKASZ PRZELAZŁY

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

# Wpływ wielkości i kształtów otworów na wartość współczynnika wypływu mieszanin dwufazowych ciecz – gaz ze zbiornika

## Wprowadzenie

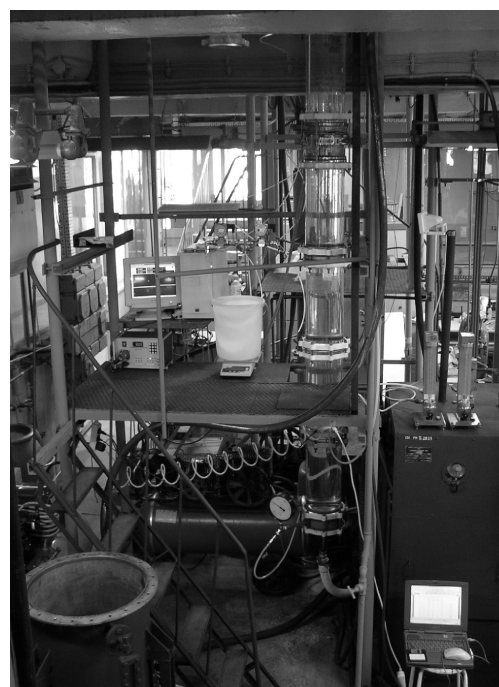
Problemy uwolnienia niebezpiecznych substancji do środowiska stały się w ostatnich latach istotnym zagadnieniem uwzględnianym podczas projektowania procesów i urządzeń przemysłowych. Przyczyną tego faktu jest ciągły wzrost wymagań dotyczących bezpieczeństwa i ograniczenia ryzyka przemysłowego. Aby móc w pełni przeciwdziałać niepożądanym skutkom awarii koniecznym jest szczegółowe poznanie podstawowych parametrów i zrozumienie mechanizmów rządzących danym procesem.

Zagadnienie wypływu mieszanin dwufazowych ciecz – gaz jest, jak na razie, we wstępnej fazie badań. Natomiast, zjawisku wypływu mieszanin dwufazowych ciecz – gaz przez otwory o nieregularnych kształtach nie poświęcono żadnej pracy badawczej w literaturze przedmiotu.

## Stanowisko doświadczalne i metodyka pomiarów

W celu przeprowadzenia badań doświadczalnych wypływu mieszanin dwufazowych ciecz newtonowska – gaz i ciecz nienewtonowska – gaz ze zbiornika przez otwory o nieregularnych kształtach zbudowano stanowisko doświadczalne, przedstawione na rys. 1, którego zasadniczym elementem była kolumna szklana o średnicy wewnętrznej 200 mm i wysokości 4 m. Szczegółowy opis budowy stanowiska oraz metodykę pomiarów przedstawiono w pracy [1]. W celu przeprowadzenia badań wypływu mieszanin dwufazowych przez otwory o nieregularnych kształtach przygotowano 11 elementów ze stali nierdzewnej, w których wykonano otwory różniące się wielkością i kształtem, uzyskując w ten sposób 11 różnych geometrii otworu wypływowego o średnicach zastępczych zdefiniowanych równaniem (6), równych  $d_z = 5; 8 \text{ i } 12,5 \text{ mm}$  (Rys. 2 a,b,c) [2]. Otwory, których pola powierzchni odpowiadały otworom okrągłym o średnicy  $d = 5 \text{ mm}$  oznaczono literą „A”, a dla odpowiedników otworów o średnicach 8 i 12,5 mm, kolejno „B” oraz „C”. Stosunek długości otworu do jego średnicy  $L/d \approx 0$ .

Mieszanie dwufazową wytwarzano za pomocą dyfuzora dyskowego umieszczonego w dolnej części kolumny. W celu

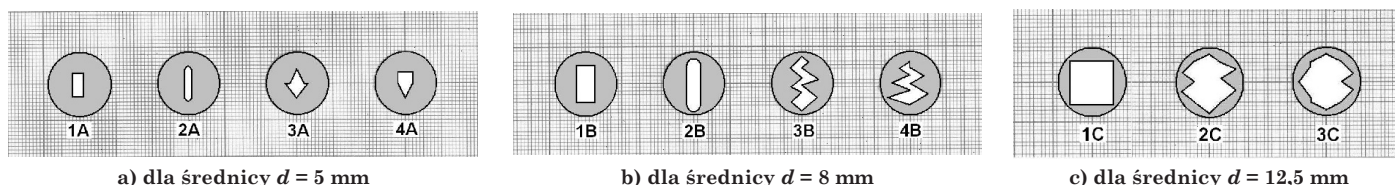


Rys. 1. Aparatura do badań wypływu mieszanin dwufazowych ze zbiornika

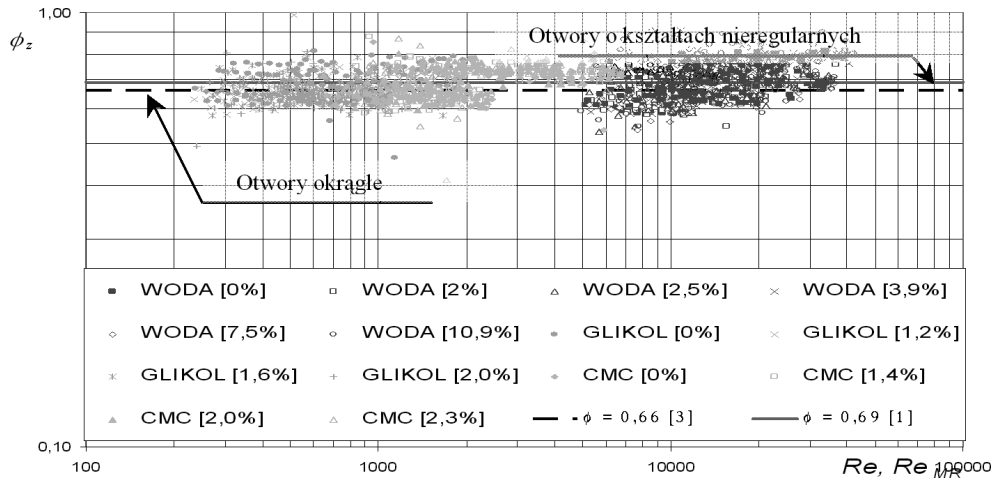
uzyskania homogeniczności mieszaniny ciecz – gaz, utworzono odcinek stabilizacyjny o długości 2,2 m, natomiast część pomiarowa kolumny (odcinek znajdujący się powyżej poziomu otworów) miała wysokość 1,6 m.

W badaniach jako ciecz newtonowska stosowano wodę oraz glikol trójetylenowy, zaś mediami nienewtonowskimi, służącymi do sporządzenia mieszanin dwufazowych ciecz nienewtonowska – gaz, były wodne roztwory karboksymetylocelulozy CMC o stężeniach 1,6% wag. oraz wodne roztwory poliakrylamidu PAA o stężeniach 0,07 i 0,1% wag.

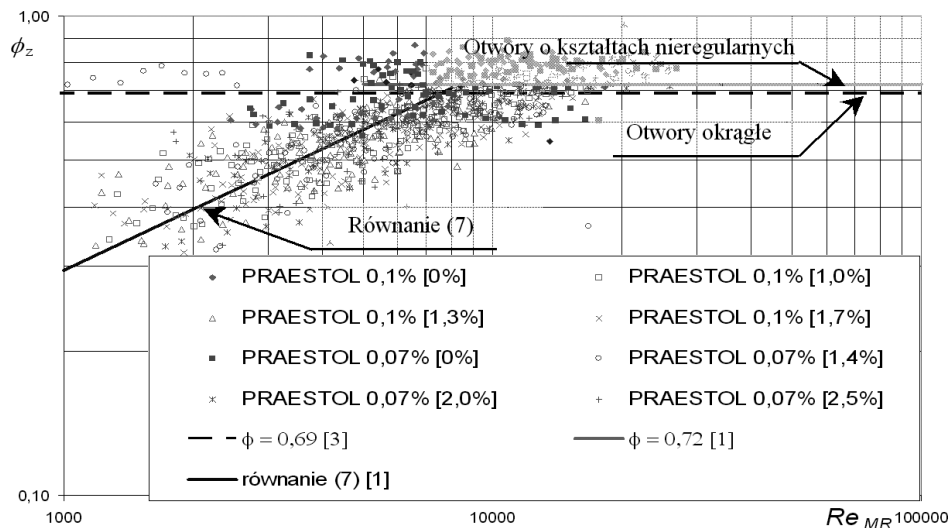
Właściwości fizykochemiczne oraz parametry reologiczne wszystkich cieczy określono dla temperatury mierzonej każdorazowo podczas trwania pomiarów.



Rys. 2. Kształty wybranych otworów wypływowych zastosowane w badaniach



Rys. 3. Zależność zastępczego współczynnika wypływu  $\phi_z$  od liczby *Reynoldsa*  $Re_F, Re_{MR}$  dla wypływu mieszanin dwufazowych ciecz newtonowska – gaz o różnych udziałach objętościowych gazu  $\varepsilon$  i o różnych geometriach otworu wypływowego



Rys. 4. Zależność zastępczego współczynnika wypływu  $\phi_z$  w funkcji liczby *Reynoldsa Metznera-Reeda*  $Re_{MR}$  dla wypływu mieszanin dwufazowych ciecz nienewtonowska – gaz o różnych udziałach objętościowych gazu  $\varepsilon$  i o różnych geometriach otworu wypływowego

Średni udział objętościowy powietrza  $\varepsilon$  określano metodą manometryczną:

$$\varepsilon = \frac{\Delta p_m}{h_m \rho g} \quad (1)$$

gdzie:

- $\Delta p_m$  – różnica ciśnień wskazywana przez manometr;
- $h_m$  – różnica poziomów zamocowania górnej i dolnej rurki manometrycznej.

Na podstawie uzyskanych danych doświadczalnych, dla każdego punktu pomiarowego wyznaczono wartości średniej prędkości wypływającej mieszaniny dwufazowej ze wzoru:

$$v_M = \frac{4m}{\pi d_z^2 \rho_M \tau} = \frac{m}{S[(1-\varepsilon)\rho + \varepsilon\rho_G] \tau} \quad (2)$$

gdzie:

- $\rho_M$  – gęstość mieszaniny dwufazowej;
- $\rho_G$  – gęstość powietrza.

Zastępczy współczynnik wypływu mieszanin dwufazowych obliczono z równania:

$$\phi_z = \frac{2S_z(\sqrt{H_p} - \sqrt{H_k})}{\tau S \sqrt{2g}} \quad (3)$$

gdzie:

- $S$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego otworu wypływowego,
- $S_z$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego zbiornika.

Wyznaczono także wartości liczby *Reynoldsa* dla wypływu mieszanin dwufazowych ciecz newtonowska – gaz z zależności:

$$Re_{2F} = \frac{v_M d_z \rho_M}{\eta_M} = \frac{v_M d_z [(1-\varepsilon)\rho + \varepsilon\rho_G]}{[(1-\varepsilon)\eta + \varepsilon\eta_G]} \quad (4)$$

gdzie:

- $\eta_M$  – lepkość mieszaniny dwufazowej;
- $\eta_G$  – lepkość powietrza.

Natomiast dla wypływu mieszanin dwufazowych ciecz nienewtonowska – gaz wyznaczano wartości liczby *Reynoldsa Metznera-Reeda* z równana:

$$Re_{MR} = \frac{vd_z \rho_M}{k \left( \frac{3n+1}{4n} \right)^n \left( \frac{8v}{d_z} \right)^{n-1}} = \frac{v^{2-n} d_z^n \rho_M}{k \left( \frac{3n+1}{4n} \right)^n 8^{n-1}} \quad (5)$$

gdzie:

$k$  i  $n$  – parametry reologiczne modelu potęgowego Ostwalda-de Waele.

Średnice zastępcze dla otworów o nieregularnych kształtach wyznaczono na podstawie porównania powierzchni poprzecznej przekroju otworu o kształcie niekołowym z jego okrągłym odpowiednikiem. Zakładając, że obie rozpatrywane powierzchnie są sobie równe, średnicę zastępczą otworu o kształcie nieregularnym można opisać równaniem:

$$d_z = \frac{\sqrt{4S}}{\pi} \quad (6)$$

### Omówienie wyników i wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań doświadczalnych otrzymano szeroki zakres danych opisujących zjawisko wpływu mieszanin dwufazowych ciecz newtonowska – gaz i ciecz nienewtonowska – gaz przez otwory o nieregularnych kształtach umieszczonych w bocznej ścianie zbiornika. Uzyskane dane doświadczalne przedstawiono w postaci wykresów zależności  $\phi = f(Re)$  oraz  $\phi_Z = f(Re_{MR})$ .

W przypadku wpływów mieszanin dwufazowych ciecz newtonowska – gaz uzyskane dane doświadczalne mieściły się w zakresie wartości liczby *Reynoldsa*  $Re > 100$  i można je było z zadowalającą dokładnością opisać wartością stałą współczynnika wpływu cieczy  $\phi = 0,69$  (Rys. 3).

Uzyskane wartości zastępczego współczynnika wpływu mieszanin dwufazowych ciecz newtonowska – powietrze, przez otwory o nieregularnych kształtach były nieznacznie wyższe od wartości zastępczych współczynników wpływu mieszanin przez ich okrągłe odpowiedniki, opisane w pracy [3] (Rys. 3).

Dla wpływu mieszanin dwufazowych ciecz nienewtonowska – gaz przez otwory o nieregularnych kształtach, uzyskane dane doświadczalne opisano dwiema różnymi korelacjami. Dla wartości liczby *Reynoldsa* z przedziału  $1200 < Re_{MR} < 7000$  oryginalnym równaniem o postaci:

$$\phi_z = 0,0161 Re_{MR}^{0,421} \quad (7)$$

Natomiast dla wartości liczby *Reynoldsa* Metznera-Reeda z przedziału  $Re_{MR} > 7200$ , wartością stałą zastępczego współczynnika wpływu  $\phi_Z = 0,72$  (Rys. 4).

Równanie (7) jest słuszne w zakresie:  $0,005 \text{ m} < d_z < 0,0125 \text{ m}$ ;  $0,0147 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n < k < 0,04266 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$ ;  $0,692 < n < 0,766$

Wartości zastępczych współczynników dla wpływu mieszanin dwufazowych ciecz nienewtonowska – gaz przez otwory o nieregularnych kształtach były nieznacznie wyższe od wartości współczynników wpływu przez analogiczne otwory okrągłe (Rys. 4).

### LITERATURA

1. Sz. Kulczycki: Praca magisterska, Politechnika Łódzka, Łódź 2006.
2. Ł. Przelazły: Praca magisterska, Politechnika Łódzka, Łódź 2005
3. A. Marcinkowski: Rozprawa doktorska, Politechnika Łódzka, Łódź 2003.

Komitet Inżynierii Chemicznej i Procesowej Polskiej Akademii Nauk  
oraz  
Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Chemicznej i Procesowej  
zapraszają do udziału  
w  
**XX JUBILEUSZOWEJ OGÓLNOPOLSKIEJ KONFERENCJI NAUKOWEJ  
INŻYNIERII CHEMICZNEJ I PROCESOWEJ**  
Gdańsk, 6÷10 września 2010 r.

#### TERMINY

- 10.12.2009 – nadesłanie streszczeń prac (max. 1 strona A4) oraz kart wstępnego zgłoszenia uczestnictwa z deklaracją dot. wyboru numeru czasopisma ICh dla druku artykułu, co jest równoznaczne z zobowiązaniem nadesłania pełnego tekstu pracy w terminie odpowiednim do dokonania wyboru; komitet organizacyjny bardzo prosi o deklarację druku w numerach 1 i 2 /2010
- 10.01.2010 – informacja o wstępnym zakwalifikowaniu prac
- 15.03.2010 – ostateczny termin dokonania opłaty konferencyjnej; opłatę można przekazać także w roku 2009.

#### MATERIAŁY KONFERENCYJNE

Na druk materiałów zarezerwowano cały rocznik 2010 czasopisma „Inżynieria i Aparatura Chemiczna”. Zakwalifikowane prace zostaną opublikowane w kolejnych sześciu zeszytach. Terminy nadesłania pełnych tekstów do druku w poszczególnych zeszytach są następujące:

nr 1 – 15.02.2010; nr 2 – 15.03.2010; nr 3 – 15.04.2010; numery 4, 5, 6 – 01.06.2010.

Przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego *Prof. dr hab. inż. Bożenna Kawalec-Pietrenko*  
Sekretarz Komitetu Organizacyjnego *Dr inż. Tomasz Andrzejewski*

e-mail: kawalec@pg.gda.pl kawalec@chem.pg.gda.pl tand@pg.gda.pl  
tel.: (58) 347 26 10; (58) 347 18 10 tel/fax.: (58) 347 28 10