

Marek OCHOWIAK, Magdalena MATUSZAK, Sylwia WŁODARCZAK, Joanna WÓJCIK, Dagmara BRZEZIŃSKA

e-mail: marek.ochowiak@put.poznan.pl

Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

Analiza kąta rozpylenia dla rozpylacza pęcherzykowo-wirowego

Wstęp

Rozpylenie cieczy występuje między innymi w suszeniu rozpryskowym, destylacji, absorpcji i desorpcji, krystalizacji wtłokowej, zabiegach agrotechnicznych itd. [Lefebvre, 1989; Williams i in., 1999]. Jedną z istotniejszych wielkości opisujących ten proces jest kąt rozpylenia.

Wyniki dotychczasowych badań [Wade i in., 1999; Sovani i in., 2001; Jedelski i Jicha, 2010] wykazały, że wartość kąta rozpylenia wzrasta wraz ze wzrostem wartości stosunku masowych strumieni gazu \dot{m}_g do cieczy \dot{m}_c . Stosunek ten definiuje następująca zależność:

$$GLR = \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_c} \quad (1)$$

Wzrost ten jest spowodowany większą energią gazu. W innych pracach [Chen i Lefebvre, 1994; Ochowiak i in., 2010] zaobserwowano podobny wzrost wartości kąta rozpylenia wraz ze wzrostem GLR , jednak po osiągnięciu maksymalnej wartości (przy GLR około 0,07÷0,1), z dalszym wzrostem GLR , kąt rozpylenia zmniejsza się nieznacznie. Zmniejszenie kąta poniżej wartości maksymalnej spowodowane jest prawdopodobnie stopniową zmianą wewnętrzną strukturą przepływu z pęcherzykowego do pierścieniowego.

W literaturze dotyczącej tego zagadnienia można znaleźć nieliczne równania korelacyjne opisujące kąt rozpylenia. Równania te podają jedynie informacje orientacyjne, które należy następnie sprawdzić doświadczalnie [Lefebvre, 1989; Sovani i in., 2001; Ochowiak, 2014], przy czym wartość kąta rozpylenia silnie zależy od konstrukcji rozpylacza.

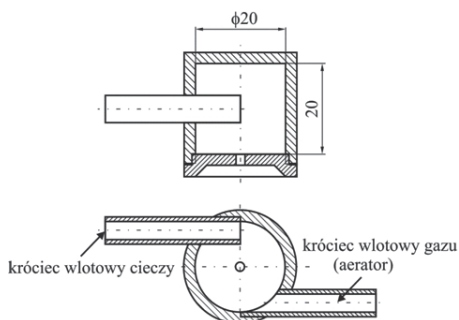
Przedmiotem niniejszej pracy jest analiza wpływu masowych strumieni gazu i cieczy na kąt rozpylenia podczas jedno- i dwufazowego rozpylenia cieczy w rozpylaczu pęcherzykowo-wirowym z cylindrycznym otworem wylotowym.

Badania doświadczalne

Stanowisko pomiarowe

Stanowisko pomiarowe szczegółowo opisane w pracach [Ochowiak i Zajcher, 2013; Ochowiak, 2014] wyposażono w aparat fotograficzny Canon EOS-1D Mark III i stroboskop DrelloScop 210 wraz z lampą. Analizy zdjęć dokonano w programie Image-Pro Plus.

Badania testowe przeprowadzono dla rozpylacza pęcherzykowego (Rys. 1), wyposażonego w króciec o średnicy 4,5 mm doprowadzający ciecz oraz zamontowany stycznie do komory mieszania, jednootworowy aerator. Średnica cylindrycznego otworu wylotowego wynosiła $d_0 = 2,4$ mm a jego wysokość $l_0 = 2,4$ mm.



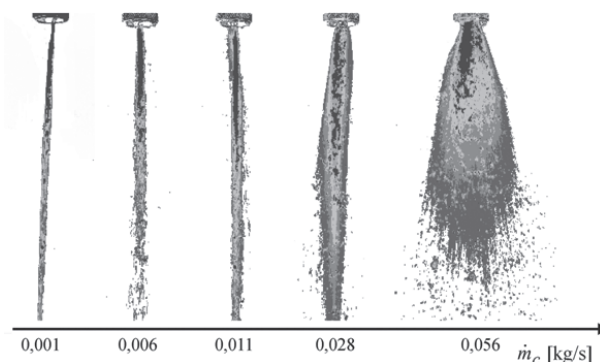
Rys. 1. Schemat rozpylacza pęcherzykowo-wirowego

Materiały

Badania przeprowadzono w zakresach zmienności natężenia przepływu wody od 0,001 do 0,056 [kg/s] i powietrza od $3,1 \cdot 10^{-5}$ do $4,7 \cdot 10^{-4}$ [kg/s].

Wyniki badań i ich analiza

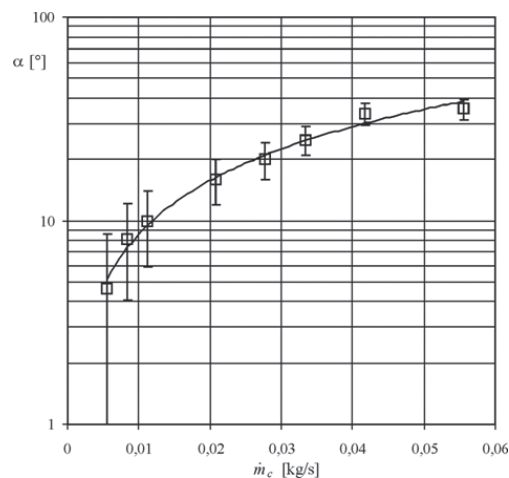
Dla przepływu jednofazowego cieczy badany rozpylacz ma cechy rozpylacza wirowego. Na rys. 2 przedstawiono przykładowe obrazy rozpadu strugi cieczy wraz ze wzrastającym strumieniem cieczy.



Rys. 2. Kolejne etapy rozpadu strugi cieczy wraz ze zmianą masowego strumienia cieczy

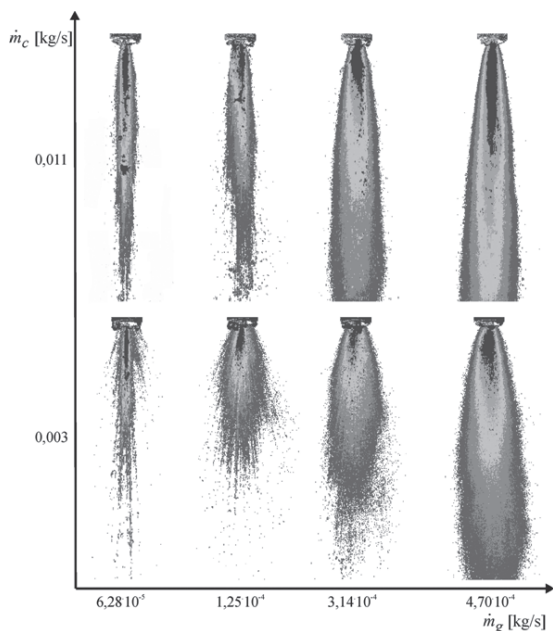
Wizualizacja i analiza wartości kątów rozpylenia uzyskanych przy różnych wartościach masowego strumienia cieczy wykazała, że przy stosunkowo niedużych wartościach strumienia cieczy zachodzi słabe rozpylenie strugi, w efekcie uzyskuje się niewielkie wartości kąta rozpylenia (wypływ kropłowy lub strugę cieczy). Przy większych wartościach strumienia cieczy zaobserwowano właściwe rozpylenie cieczy. Wypływająca z rozpylacza struga cieczy od pewnej odległości od wylotu z rozpylacza zwięża się. Zwiężenie to wynika głównie z działania otaczającego gazu, co jest zgodne z danymi literaturowymi [Mishra i Singh, 2009].

Uzyskane dane pozwoliły na wyznaczenie zależności kąta rozpylenia od strumienia cieczy przedstawionej na rys. 3. Wartość kąta rozpylenia wzrasta wraz ze wzrostem wartości masowego strumienia cieczy. Różnice w wartościach mierzonych kątów dla tych samych warunków przepływu nie przekraczały 4° .



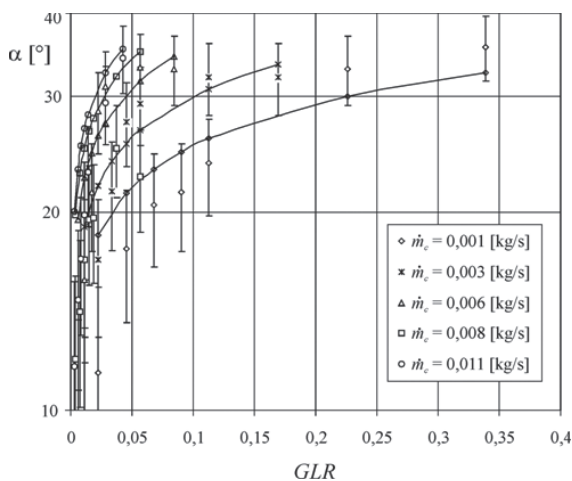
Rys. 3. Zależność kąta rozpylenia od masowego strumienia cieczy

Na rys. 4 przedstawiono przykładowe obrazy rozpylenia dwufazowego. Analiza uzyskanych danych doświadczalnych wykazała, że kąt rozpylenia wzrasta ze wzrostem strumienia gazu do wartości około $3 \cdot 10^{-4}$ [kg/s]. Z dalszym wzrostem wartości strumienia gazu kąt rozpylenia jest praktycznie stały (lub nieznacznie maleje).



Rys. 4. Obrazy rozpylanej cieczy wraz ze zmianą masowych strumieni gazu i cieczy

Na rys. 5 przedstawiono przykładową zależność kąta rozpylenia od *GLR* dla wybranych wartości masowego strumienia cieczy dla przepływu dwufazowego. Dla stałej wartości *GLR* wartość kąta rozpylenia wzrasta ze wzrostem masowego strumienia cieczy.



Rys. 5. Zależność kąta rozpylenia od *GLR* dla różnych wartości masowego strumienia cieczy

Wykazano, że najmniejsza wartość kąta rozpylenia dla przepływu dwufazowego przy zadanej wartości masowego strumienia cieczy odpowiada wartości kąta rozpylenia dla przepływu jednofazowego cieczy. Dla przebadanych konstrukcji rozpylaczy gaz (w przebadanym zakresie) może powodować tylko zwiększenie wartości kąta rozpylenia, co nie jest tak oczywiste w przypadku rozpylaczy pneumatycznych z zewnętrznym oddziaływaniem gazu [Lefebvre, 1989].

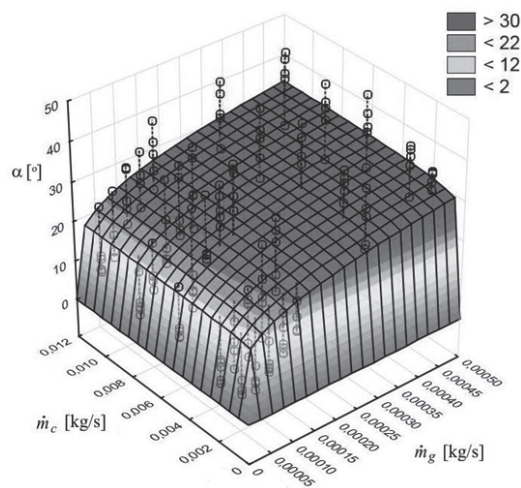
Analiza danych uzyskanych dla przepływu dwufazowego pozwoliła na wyznaczenie zależności opisującej kąt rozpylenia o postaci:

$$\alpha = A \cdot \dot{m}_g^B \cdot \dot{m}_c^C \quad (2)$$

Dla przebadanej konstrukcji rozpylacza wartości stałej i wykładników wynoszą odpowiednio: $A = 212$, $B = 0,21$ oraz $C = 0,04$. Współczynnik determinacji dla równania (2) wynosi $R = 0,79$.

Na rys. 6 przedstawiono zestawienie danych doświadczalnych i uzyskanych z zaproponowanego równania korelacyjnego (2).

Uzyskane wyniki mają znaczenie nie tylko poznawcze, ale i praktyczne. Dzięki takim danym można zoptymalizować konstrukcję rozpylacza oraz parametry jego pracy.



Rys. 6. Zależność kąta rozpylenia od masowych strumieni gazu i cieczy

Podsumowanie

W pracy przedstawiono zależności kąta rozpylenia dla jedno- i dwufazowego przepływu w rozpylaczu pęcherzykowo-wirowym. Na podstawie uzyskanych badań wykazano, że:

- dla przepływu jednofazowego, w przebadanym zakresie wartości masowego strumienia cieczy, wartość kąta rozpylenia wzrasta ze wzrostem strumienia cieczy,
- wartość kąta rozpylenia wzrasta wraz ze wzrostem wartości masowych strumieni gazu i cieczy, przy czym większy wpływ ma strumień gazu,
- najmniejsza wartość kąta rozpylenia dla przepływu dwufazowego odpowiada praktycznie wartości kąta rozpylenia dla przepływu jednofazowego cieczy.

Ponadto zaproponowano równanie korelacyjne (2) opisujące kąt rozpylenia w zależności od masowych strumieni gazu i cieczy. Uzyskane dane mogą być wykorzystane przy projektowaniu rozpylaczy pęcherzykowo-wirowych oraz pomocne podczas rozmieszczenia rozpylaczy pracujących grupowo.

LITERATURA

Chen S.K., Lefebvre A.H., 1994. Spray cone angles of effervescent atomizers. *Atomization and Sprays*, **4**, 3, 291-301

Jedelsky J., Jicha M., 2010. *Novel modifications of twin-fluid atomizers: performance, advantages and drawbacks*. 23th European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems ICLASS-Europe, Brno, Czech Republic, 6-8 September 2010, 1-5. (06.2014) http://www.ilasseurope.org/ICLASS/ilass2010/FILES/FULL_PAPERS/203.pdf

Lefebvre A.H., 1989. *Atomization and Sprays*. Hemisphere Pub., New York

Mishra D.P., Singh G., 2009. *Experimental study of an internally mixed liquid atomizer for an air-breathing engine application*. 11th International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems ICLASS, Vail, USA, 26-30 July 2009, 1-6. (06.2014) <ftp://ftp.mines.edu/pub/tparker/Papers/ICLASS2009-071.pdf>

Ochowiak M., 2014. *Analiza procesu rozpylania cieczy w rozpylaczach pęcherzykowych i pęcherzykowo-wirowych*. Monografia habilitacyjna. Wyd. Pol. Poznańskiej, Poznań (w druku)

Ochowiak M., Broniarz-Press L., Woźniakowski S., 2011. The analysis of silica suspensions atomization. *Int. J. Heat Fluid Flow*, **32**, 1208-1215. DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2011.09.004

Ochowiak M., Zajcher A., 2013. Wpływ kształtu otworu wylotowego na wartość współczynnika wpływu dla rozpylaczy pęcherzykowych. *Inż. Ap. Chem.*, **52**, nr 5, 451-452

Sovani S.D., Chou E., Sojka P.E., Gore J.P., Eckerle W.A., Crofts J.D., 2001. High pressure effervescent atomization: effect of ambient pressure on spray cone angle. *Fuel*, **80**, 427-435. DOI: 10.1016/S0016-2361(00)00105-8

Wade R.A., Weerts J.M., Sojka P.E., Gore J.P., Eckerle W.A., 1999. Effervescent atomization at injection pressures in MPa range. *Atomization and Sprays*, **9**, 651-667

Williams C.C., Goode M.G., Ramamurthy A.V., 1999. Control of solution catalyst droplet size with an effervescent spray nozzle. US Patent 5,962,606

Praca została wykonana w ramach działalności statutowej Politechniki Poznańskiej 32/442/14 DS-PB.