

Marek OCHOWIAK¹, Andżelika KRUPIŃSKA¹, Sylwia WŁODARCZAK¹, Magdalena MATUSZAK¹, Tomasz SZULC²

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

¹Instituto Technologii i Inżynierii Chemicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

²Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych, Poznań

Analiza rozkładu przestrzennego wielkości kropeł powstających w rozpylaczach dwufazowych o przepływie zawirowanym

Wstęp

Pod pojęciem rozpylania rozumie się rozpad strugi cieczy na krople, w wyniku działania różnorodnych sił. Ta operacja jednostkowa jest obecnie wykorzystywana na coraz szerszą skalę w przemyśle, lakiernictwie, budownictwie, leśnictwie oraz rolnictwie. Aby rozpylona ciecz mogła zostać odpowiednio wykorzystana jej ruch musi odbywać się w sposób zamierzony. Oznacza to, iż efektem będzie zatamowana ciecz o kroplach mających żądaną średnicę, charakteryzująca się równomiernością rozpylenia i strudze o określonym zasięgu, kącie, kontrakcji i gęstości [Orzechowski i Prywer, 1991].

Ze względu na wiele zalet zauważa się wzrost zainteresowania techniką rozpylania dwufazowego wykorzystującego zjawisko ruchu wirowego. Rozpylacze dwufazowe wykazują niską wrażliwość na właściwości reologiczne rozpylanej cieczy przy jednocześnie szerokim zakresie natężeń przepływu cieczy, co zapewnia dobre rozpylenie [Sovani i in., 2001]. Rozpylacze wirowe są często wykorzystywane z uwagi na możliwość uzyskania kropeł o niewielkich rozmiarach przy dużej wydajności i niezawodności działania [Ramamurthi i in., 2009; Wimmer i Brenn, 2013].

Ważnym aspektem w procesie rozpylania dwufazowego jest konstrukcja samego rozpylacza, której modyfikacja może znacząco wpłynąć na parametry rozpylonej strugi [Lefebvre 1989; Orzechowski i Prywer, 1991; Broniarz-Press i in., 2010; Lan i in., 2014]. Jednymi z najbardziej znaczących wymiarów geometrycznych rozpylacza, z punktu widzenia parametrów rozpylonej strugi, są średnica i wysokość komory wirowej. Na efekt rozpylenia wpływają także właściwości rozpylanej cieczy oraz warunki operacyjne procesu. Pracę rozpylacza dwufazowego o strumieniu zawirowanym najlepiej opisują takie parametry rozpylonej strugi jak: współczynnik wypływu, kąt rozpylania, średnia objętościowo-powierzchniowa średnica kropli oraz rozkład cieczy w rozpylonej strudze.

Celem pracy była analiza pracy rozpylaczy dwufazowych wykorzystujących zjawisko ruchu wirowego wykonanych w różnych inwariantach geometrycznych przy różnych wartościach natężeń przepływu czynników. Badano wielkości tworzących się kropeł, a następnie analizowano rozkłady promieniowe, widma rozpylenia oraz średnie objętościowo-powierzchniowe średnice kropli.

Badania doświadczalne

Stanowisko pomiarowe przedstawione schematycznie na rys. 1 składało się z rozpylaczy dwufazowych o zawirowanym strumieniu ruchu, zbiornika ze stali kwasoodpornej, rotametrów firmy *Krohne Messtechnik GmbH* typu VA 40, pompy *CHI 2-30* firmy *Grundfos Pompy Sp. z o.o.*, termometru cyfrowego *Center 309*, sprężarki *Metabo Mega 350-100D*, analizatora *Spraytec* firmy *Malvern Instruments*.

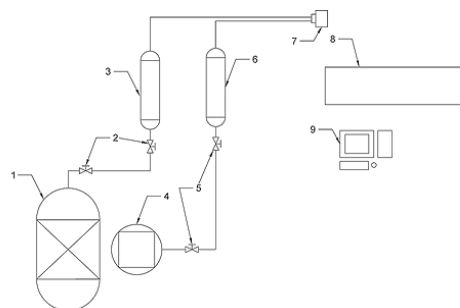
Badaniom poddano dwufazowe rozpylacze o przepływie zawirowanym, których konstrukcję opisano w pracy [Ochowiak i in., 2017], z dwoma króćcami wlotowymi o średnicach $d_p = 2,5$ mm oraz otworem wylotowym o średnicy $d_0 = 2,5$ mm. Średnica komory wirowej D_s (pełniającej funkcję komory mieszania fazy gazowej z ciekłą) wynosiła 20 oraz 40 mm, a jej wysokość H_s zmieniano w zakresie od 20 do 80 mm.

Metodyka. Podczas badań rozkładów wielkości kropeł w przestrzeni rozpylacza przesuwano ponad optycznym obszarem pomiarowym z prędkością 50 mm/s. Dalszej analizie poddano uzyskane wartości średnich objętościowo-powierzchniowych średnic kropeł

opisanych zależnością:

$$D_{32} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} N_i d_i^3}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i d_i^2} \quad (1)$$

gdzie i jest zakresem wielkości, N_i jest liczbą kropeł w zakresie i , a d_i jest średnicą środkową zakresu wielkości i .



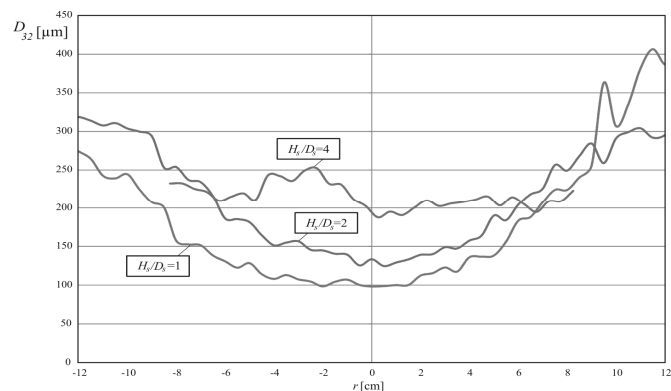
Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – zbiornik cieczy, 2 – zawory strumienia cieczy, 3 – rotametr przepływu cieczy, 4 – sprężarka, 5 – zawory strumienia gazu, 6 – rotametr przepływu gazu, 7 – rozpylacz, 8 – analizator Spraytec, 9 – komputer

Zakres badań. Badania przeprowadzono w zakresie natężeń przepływu gazu do $5,6 \cdot 10^{-4}$ [m³/s] i cieczy do $1,11 \cdot 10^{-5}$ [m³/s]. Badaną cieczą była woda. Badania prowadzono w temperaturze $T = 20 \pm 1$ °C.

Wyniki i ich analiza

Na rys. 2 przedstawiono zależność średnich średnic kropli w strumieniu rozpylanej strugi od wymiarów komory wirowej rozpylacza wyrażonych poprzez stosunek H_s/D_s dla różnych wartości odległości od osi aerozolu r . Dla badanych rozpylaczy wartości stosunku H_s/D_s wynosiły od 0,5 do 4. Można zauważyć, że zmiana wartości H_s/D_s wpływa przede wszystkim na centralny obszar strugi aerozolu.

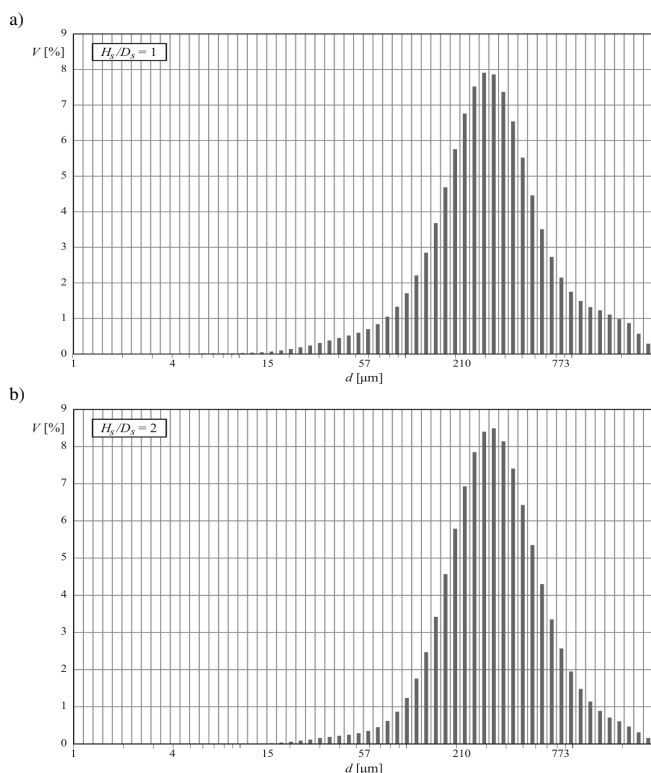
Zaobserwowano, że średnia objętościowo-powierzchniowa średnica kropli wzrasta wraz ze wzrostem stosunku H_s/D_s , co znajduje potwierdzenie w danych literaturowych [Elkott i in., 1978].



Rys. 2. Rozmiary średnic kropeł w zależności od odległości r w zależności od zastosowanej konstrukcji przy objętościowym natężeniu przepływu gazu $2,78 \cdot 10^{-4}$ m³/s i objętościowym natężeniu cieczy $8,33 \cdot 10^{-6}$ m³/s

Otrzymane rozkłady promieniowe średnic średnic kropli dowiodły, że wartości D_{32} w osi aerozolu i na jego obrzeżach różnią się znacznie, nawet 4 krotnie. Im większa wartość stosunku H_s/D_s , tym profil bardziej płaski, co oznacza, że w osi aerozolu powstają krople o średnicach porównywalnych z kroplami powstającymi na obrzeżach rozpylanej strugi. Zwiększenie wartości H_s/D_s skutkuje zmniejszeniem średnicy kropli na obrzeżu uzyskiwanego aerozolu. Najmniejsze wartości w osi uzyskano dla wartości stosunku $H_s/D_s = 1$.

Na rys. 3 przedstawiono przykładowe objętościowe rozkłady wielkości kropli w aerozolu. Zaobserwowano, że przy zadanych wartościach natężenia przepływu gazu i cieczy, wzrost wartości stosunku H_s/D_s przyczynia się do otrzymania aerozolu charakteryzującego się mniejszym udziałem objętościowym kropli o większych średnicach oraz większym udziałem objętościowym kropli w średnim zakresie rozmiarów.



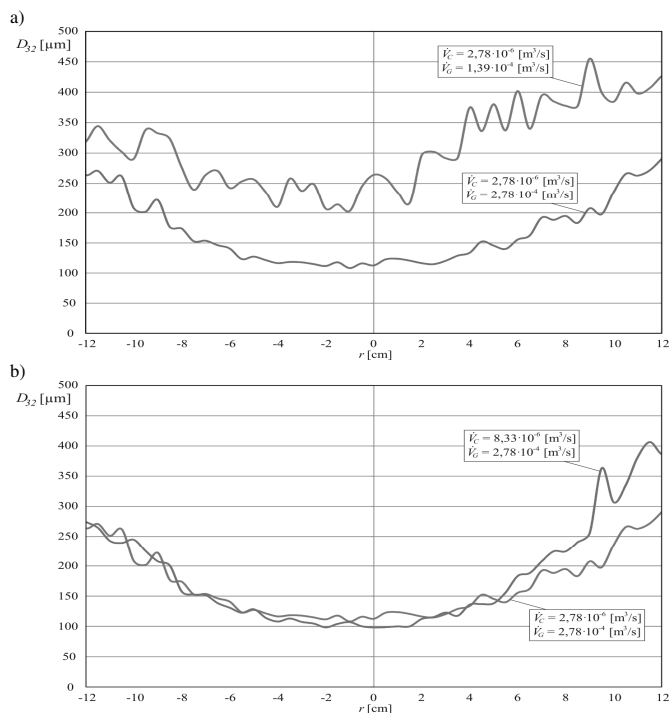
Rys. 3. Objętościowe rozkłady średnic kropli uzyskane przy objętościowym natężeniu przepływu gazu równym $2,78 \cdot 10^4$ [m^3/s] i objętościowym natężeniu cieczy $8,33 \cdot 10^6$ [m^3/s] dla dwóch rozpylaczy o stosunku: a) $H_s/D_s = 1$, b) $H_s/D_s = 2$

Na rys. 4 przedstawiono wpływ parametrów operacyjnych pracy rozpylacza na otrzymywany charakter strugi. Analiza uzyskanych wyników wykazała, że wraz ze wzrostem objętościowego natężenia przepływu gazu oraz cieczy uzyskuje się mniejsze średnie średnice kropli w osi aerozolu, przy czym większe znaczenie ma natężenie przepływu gazu. Wraz ze wzrostem natężenia przepływu cieczy wzrastała wartość D_{32} na obrzeżach powstającego aerozolu. Wzrost wartości strumienia gazu wpływa korzystnie na jakość rozpylanej strugi cieczy.

Wnioski i podsumowanie

W badanych rozpylaczach dwufazowych rozpylanie cieczy odbywa się z udziałem gazowego medium pomocniczego. Medium pomocnicze, którym jest powietrze, dostarcza dodatkowej energii do procesu rozpylania cieczy. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu warunków prowadzenia procesu oraz wymiarów na rozpylaną strugę cieczy dla rozpylaczy dwufazowych charakteryzujących się dodatkowo wewnętrznym przepływem zawirowanym.

Analiza średnic powstających kropli wykazała, że objętościowo-powierzchniowa średnica kropli jest zależna od wymiarów geometrycznych komory wirowej rozpylacza. Udowodniono, że wraz ze wzrostem stosunku H_s/D_s , wzrasta wartość średniej średnicy kropli w osi rozpylanej strugi, a profil staje się bardziej płaski. Jak widać, niewielkie zmiany wymiarów



Rys. 4. Rozmiary średnic kropli w zależności od odległości r uzyskany przy: a) stałym objętościowym natężeniu przepływu cieczy, b) stałym objętościowym natężeniu przepływu gazu

komory wirowej mogą skutkować zmianą charakterystyki otrzymanego aerozolu. Wykazano, że zarówno wzrost natężenia przepływu gazu oraz cieczy powoduje wypełnianie centralnego obszaru strugi kroplami o mniejszych średnicach oraz obniża wartość średniej objętościowo-powierzchniowej średnicy kropli, przy czym większy wpływ ma strumień gazu.

Uzyskane wyniki mogą przyczynić się do lepszego poznania zjawiska rozpylania dwufazowego i zasady działania tego typu rozpylaczy, co może przyczynić się do precyzyjniejszego doboru rozpylaczy oraz poszerzenia ich spektrum zastosowania. Ponadto mogą one zostać użyte do zaprojektowania i skonstruowania regulowanego rozpylacza o zmiennej charakterystyce otrzymywanego aerozolu, który mógłby zostać użyty m.in. w zabiegach rolniczych.

LITERATURA

- Broniarz-Press L., Ochowiak M., Różański J., Szaferski W., Woźniowski S., (2010). *Przeptyw trójfazowy gaz-ciecz-ciecz w dyszach rozpryskowych*, Wyd. Pol. Poznańskiej, Poznań
- Elkoth M.M., Rafat N.M., Hanna M.A., (1978). *The influence of swirl atomizer geometry on the atomization performance*. Proc. of the 1st International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems. Tokyo, 109-115
- Lan Z., Zhu D., Tian W., Su G., Qiu S., (2014). Experimental study on spray characteristics of pressure-swirl nozzles in pressurizer. *Ann. Nucl. Energy* 63, 215-227. DOI: 10.1016/j.anucene.2013.07.048
- Lefebvre A.H., (1989). *Atomization and Sprays*. Hemisphere, , New York
- Ochowiak M., Krupińska A., Włodarczyk S., Matuszak M., Szulc T., (2017) Badania przepływu dwufazowego w stożkowych rozpylaczach wirowych. *Inż. Ap. Chem.*, 56, 6, 215-216
- Orzechowski Z., Prywer J., (1991). *Rozpylanie cieczy*, WNT, Warszawa
- Orzechowski Z., Prywer J., (2008). *Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy*. WNT, Warszawa
- Ramamurthi K., Sarkar L.K., Raghunandan B.N., (2009). Performance characteristics of effervescent atomizer in different flow regimes. *Atom. Sprays*, 19, 41-56. DOI: 10.1615/AtomizSpr.v19.il.30
- Sovani S.D., Sojka P.E., Lefebvre A.H., (2001). Effervescent atomization. *Prog. Energy Comb. Sci.*, 27, 483-521. DOI: 10.1016/S0360-1285(00)00029-0
- Wimmer E., Brenn G., (2013). Viscous flow through the swirl chamber of a pressure-swirl atomizer. *Int. J. Multiphase Flow* 53, 100-113. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2013.02.003

Praca została wykonana w ramach działalności statutowej nr 03/32/DSPB/0802 finansowanej przez MNiSW