

Marek OCHOWIAK, Angelika ZAJCHER

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

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

Wpływ kształtu otworu wylotowego na wartość współczynnika wypływu dla rozpylaczy pęcherzykowych

Wstęp

Rozpylanie cieczy występuje między innymi w suszeniu rozpryskowym, granulowaniu pyłów, destylacji, absorpcji i desorpcji, krystalizacji wtryskowej, wymywaniu gazu itd. [Lefebvre, 1989; Williams i in., 1999; Orzechowski i Prywer, 1991; Liu, 2000; Crowe, 2006].

Współczynnik wypływu C_D jest ważnym parametrem opisującym przepływ cieczy [Chen i Lefebvre, 1994; Miller, 1996; Catlin i Swithenbank, 2001; Ramamurthi i in., 2009]. Jego znajomość jest niezwykle istotna w projektowaniu rozpylaczy i ich systemów kontrolnych. Współczynnik wypływu definiowany jest jako stosunek rzeczywistego strumienia objętości płynu przepływającego przez rozpylacz do strumienia teoretycznego.

Współczynnik wypływu dla przepływu jednofazowego cieczy jest dość dobrze opisany. W literaturze zagadnienia można znaleźć wiele różnych równań korelacyjnych pozwalających przewidzieć jego wartość [Lefebvre, 1989; Orzechowski i Prywer, 1991].

Opublikowane dla przepływu dwufazowego ciecz-gaz w rozpylaczach pęcherzykowych modele pozwalające przewidywać wartości współczynnika wypływu najczęściej bazują na danych empirycznych lub półempirycznych [Ochowiak i in., 2010; Jedelski i Jicha, 2011]. Podawane w literaturze równania ogólne podają jedynie informacje orientacyjne, które należy następnie sprawdzić doświadczalnie [Lefebvre, 1989; Orzechowski i Prywer, 1991]. Wartości współczynnika wypływu wyznacza się z równania:

$$C_D = \frac{w_c \rho_c}{(2 \rho_c \Delta P)^{0,5}} \quad (1)$$

gdzie:

w_c – prędkość przepływu cieczy przez rozpylacz [m/s],

ρ_c – gęstość cieczy [kg/m³],

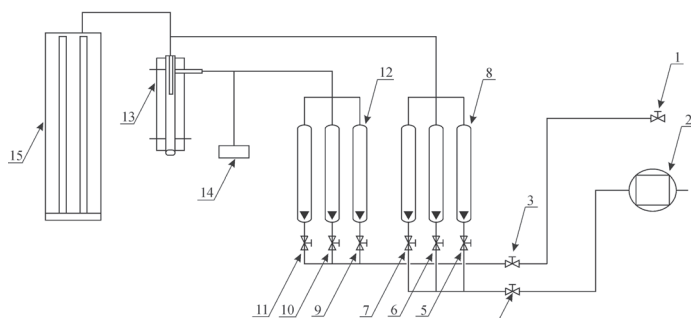
ΔP – spadek ciśnienia [Pa].

Przedmiotem niniejszej pracy była analiza wpływu kształtu otworu wylotowego rozpylacza na współczynnik wypływu podczas jedno- i dwufazowego rozpylania cieczy w rozpylaczach pęcherzykowych, zaopatrzone w końcówki o różnych kształtach otworu wylotowego.

Badania doświadczalne

Stanowisko badawcze

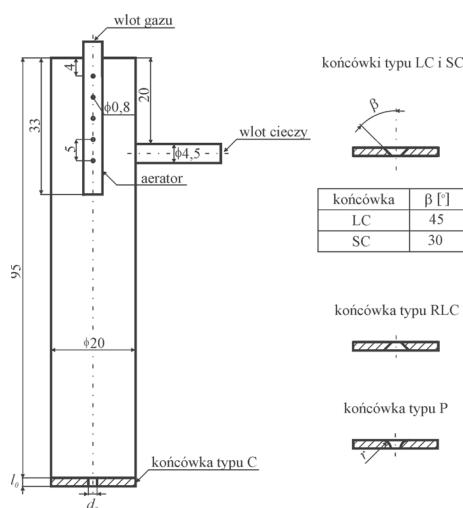
Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska doświadczalnego; 1, 3, 9, 10, 11 – zawory strumienia cieczy, 2 – sprężarka, 4, 5, 6, 7 – zawory strumienia gazu, 8 – rotametry do gazu, 12 – rotametry do cieczy, 13 – rozpylacz pęcherzykowy, 14 – cyfrowy miernik ciśnienia, 15 – U-rurka

W badaniach wykorzystano rozpylacz pęcherzykowy typu *inside-out*, wyposażony w dwa króćce doprowadzające gaz i ciecz o średnicy

4,5 mm oraz aerator. W aeratorze wykonano 40 otworów wylotowych gazu o średnicy 0,8 mm, rozmieszczonych w 8 rzędach po 5 otworów. Rozpylacz zaopatrywano w końcówki wylotowe (Rys. 2) o otworach cylindrycznym (C) i stożkowym (LC, SC), ostrokrawędziowe (RLC, odwrócone LC) i profilowane (P, $r = d_0$).



Rys. 2. Schemat rozpylacza i kształty otworów wylotowych

Badania testowe

Przeprowadzono je dla rozpylaczy o średnicy otworu wylotowego $d_0 \approx 2,5$ mm oraz $l_0 \approx 2,5$ mm w zakresach zmienności natężenia przepływu wody od 0,0014 do 0,07 [dm³/s] i powietrza od 0,28 do 1,4 [dm³/s].

Wyniki i badań i ich analiza

Dla przepływu jednofazowego liczbę *Reynoldsa* opisuje wzór:

$$Re = \frac{w_c d_0 \rho_c}{\eta_c} \quad (2)$$

gdzie:

d_0 – średnica otworu wylotowego [m],

η_c – lepkość cieczy [Pa·s].

Dla przepływu dwufazowego w literaturze [Ramamurthi i in., 2009, Jedelski i Jicha, 2011] najczęściej podaje się zależność C_D od stosunku masowego natężenia przepływu gazu do masowego natężenia przepływu cieczy, zdefiniowanego równaniem:

$$GLR = \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_c} \quad (3)$$

gdzie:

\dot{m}_g – masowe natężenie przepływu gazu [kg/s],

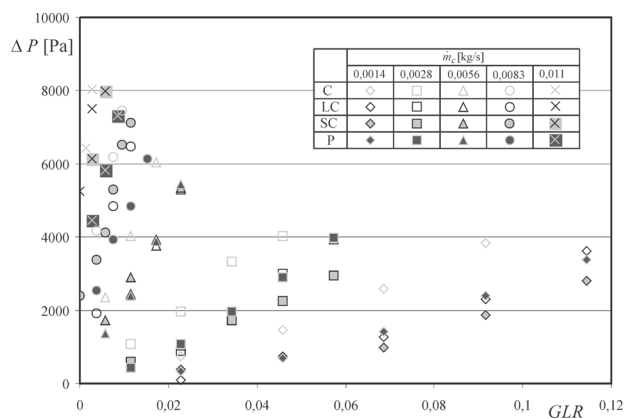
\dot{m}_c – masowe natężenie przepływu cieczy [kg/s].

Dla przepływu jednofazowego cieczy badany rozpylacz ma cechy rozpylacza strumieniowego. W zakresie wartości liczby *Reynoldsa* od 10000 do 40000 nie stwierdzono znaczącego wpływu liczby *Reynoldsa* na współczynnik wypływu. Najwyższą wartość współczynnika wypływu uzyskano dla końcówki profilowanej P, dla której C_D przyjmuje wartość około 0,99, natomiast najniższe wartości otrzymano dla końcówki RLC (wartość współczynnika wypływu – 0,67). Uśrednione wartości współczynników wypływu dla przebadanych rozpylaczy zestawiono w tab. 1.

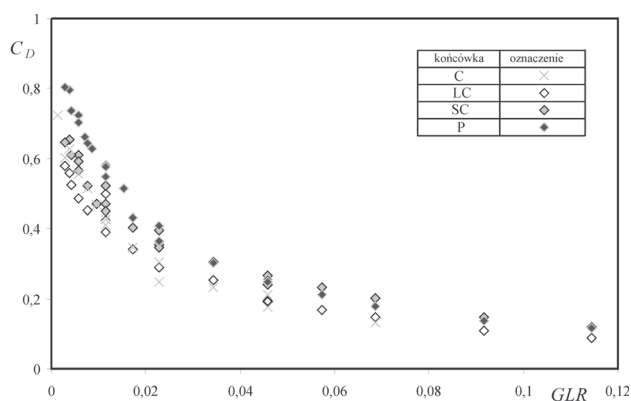
Tab. 1. Średnie wartości współczynników wypływu dla poszczególnych otworów wylotowych w przepływie jednofazowym

Końcówka	C_D	Błąd
C	0,71	±0,03
LC	0,76	±0,02
SC	0,86	±0,03
RLC	0,67	±0,04
P	0,99	±0,02

Na rys. 3 przedstawiono przykładową zależność spadku ciśnienia na końcówce rozpylacza od GLR . Wartość ΔP wzrasta wraz ze wzrostem wartości GLR oraz ze wzrostem wartości strumienia cieczy. Przy stałym strumieniu cieczy wartość ΔP wzrasta ze wzrostem strumienia gazu. Największe wartości ΔP zaobserwowano dla rozpylacza z końcówką typu C. Związane jest to niewątpliwie ze zjawiskiem kontrakcji strugi [Orzechowski i Prywer, 1991].

Rys. 3. Zależność ΔP od wartości GLR

Na rys. 4 przedstawiono zależność wartości współczynnika wypływu od wartości stosunku masowego natężenia przepływu gazu do masowego natężenia przepływu cieczy. Analiza uzyskanych danych doświadczalnych dla przepływu dwufazowego wykazała, że C_D jest nieliniową funkcją GLR . Wraz ze wzrostem wartości GLR współczynnik wypływu dla cieczy maleje, co oznacza wzrastające z natężeniem przepływu gazu opory przepływu dla cieczy. Wzrost strumienia gazu w stosunku do strumienia cieczy powoduje zmniejszenie powierzchni przekroju poprzecznego otworu wylotowego rozpylacza, zajmowanej przez ciecz.

Rys. 4. Zależność współczynnika wypływu cieczy od wartości GLR

Największe wartości współczynnika wypływu zaobserwowano dla otworu profilowanego, a najmniejsze dla otworu cylindrycznego. Różnica ta zauważalna jest szczególnie dla wartości $GLR < 0,07$, czyli w zakresie przepływu pęcherzykowego. Im mniejsze jest natężenie przepływu gazu, tym charakter przepływu dwufazowego jest coraz bardziej zbliżony do przepływu jednofazowego cieczy. Zatem zmniejszeniu wartości GLR towarzyszy coraz większy wpływ kształtu otworu wylotowego rozpylacza. Dla bardzo dużych wartości GLR (przepływ

pierścieniowy) charakter przepływu jest zbliżony do przepływu gazu, dla którego kształt otworu wylotowego nie ma tak dużego znaczenia.

Uzyskane krzywe przeanalizowano z wykorzystaniem zależności logarytmicznej o postaci:

$$C_D = A \ln(GLR) - B \quad (4)$$

Wartości stałych A i B równania korelacyjnego (4) zestawiono w tab. 2.

Tab. 2. Wartości stałych A i B równ. (4)

Końcówka	A	B	R^2
C	-0,161	-0,304	0,979
LC	-0,143	-0,230	0,965
SC	-0,151	-0,207	0,985
P	-0,207	-0,375	0,988

Uzyskane wyniki mają znaczenie nie tylko poznawcze, ale i praktyczne. Dzięki takim danym można zoptymalizować konstrukcję rozpylacza oraz jego parametry pracy i/lub stworzyć model matematyczny korelujący współczynnik wypływu.

Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono zależności współczynnika wypływu dla jedno- i dwufazowego przepływu w rozpylaczu pęcherzykowym o różnych kształtach otworu wylotowego.

- Na podstawie uzyskanych badań stwierdzono, że:
 - dla jednofazowego przepływu turbulentnego wartość współczynnika wypływu dla danego kształtu otworu wylotowego jest stała,
 - współczynnik wypływu zależy od kształtu otworu wylotowego,
 - wartość współczynnika wypływu maleje wraz ze wzrostem wartości GLR ,
 - największe wartości współczynnika wypływu zaobserwowano dla otworu profilowanego, najmniejsze dla otworu cylindrycznego,
 - wraz ze wzrostem wartości GLR różnica w wartościach współczynnika wypływu dla poszczególnych kształtów otworu wylotowego maleje.

LITERATURA

- Catlin C.A., Swithenbank J., 2001. Physical processes influencing effervescent atomizer performance in the slug and annular flow regimes. *Atomization and Sprays* 11, 575-595. DOI: 10.1615/AtomizSpr.v11.i5.60
- Chen S.K., Lefebvre A.H., 1994. Discharge coefficients for plain-orifice effervescent atomizers. *Atomization and Sprays* 4, 275-290. DOI: 10.1615/AtomizSpr.v4.i3.30
- Crowe C.T., 2006. *Multiphase Flow Handbook*. Taylor and Francis Group, Boca Raton
- Jedelsky J., Jicha M., 2011. Prediction of discharge coefficient of internally mixed twin-fluid atomizers. 24th European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems ILASS 2011. Lisbon, Portugal, 5-7 September 2011, 0310, 1-4
- Lefebvre A.H., 1989. *Atomization and Sprays*. Hemisphere Publishing Corporation, New York
- Liu H., 2000. *Science and engineering of droplets – Fundamentals and applications*. William Andrew Publishing/Notes, New York
- Miller R.W., 1996. *Flow Measurement engineering handbook*. McGraw-Hill Professional, New York
- Ochowiak M., Broniarz-Press L., Rozanski J., 2010. The discharge coefficient of effervescent atomizers. *Exp. Thermal Fluid Sci.* 34, nr 8, 1316-1323. DOI: 10.1016/j.expthermflsci.2010.06.003
- Orzechowski Z., Prywer J., 1991. *Rozpylanie cieczy*. WNT, Warszawa
- Ramamurthi K., Sarkar U.K., Raghunandan B.N., 2009. Performance characteristics of effervescent atomizer in different flow regimes. *Atomization and Sprays* 19, 41-56. DOI: 10.1615/AtomizSpr.v19.i1.30
- 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 32/368/13 DS-PB.