

Lubomira BRONIARZ-PRESS, Sylwia WŁODARCZAK, Marek OCHOWIAK, Magdalena MATUSZAK, Agnieszka MACIEJEWSKA

e-mail: lubomira.broniarz-press@put.poznan.pl

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

## Analiza kąta rozpylenia dla rozpylaczy wirowych

### Wstęp

Rozpylacze wirowe stosuje się w wielu dziedzinach – od energetyki po rolnictwo i ogrodnictwo włącznie. Ich szerokie zastosowanie wynika przede wszystkim z faktu, że przy stosunkowo małych oporach przepływu uzyskuje się dobrą jakość rozpylenia [Lefebvre, 1989; Khavkin, 2004; Moon i in., 2009; Santolaya i in., 2010; Fan i in., 2014].

**Kąt rozpylenia**, definiowany jako kąt wierzchołkowy strugi kropel, jest jednym z parametrów zewnętrznych opisujących rozpylanie cieczy. Określa on zewnętrzny kształt strugi kropel, co jest ważne, aby poprawnie wykorzystać strugę. W zależności od rodzaju rozpylacza wartości kątów rozpylenia mogą się różnić, co jest spowodowane głównie różnicami w wewnętrznej geometrii rozpylacza. Na wielkość kąta mają wpływ także parametry rozpylanej cieczy oraz otoczenia [Li i in., 2006; Rashid i in., 2012; Martinez-Galvan, 2013, Lan i in., 2014].

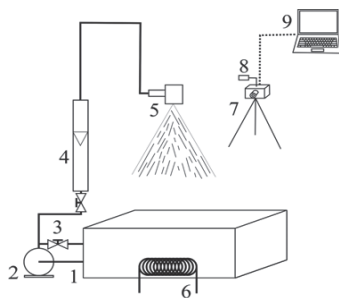
Ze względu na trudność w zdefiniowaniu i pomiarze kąta rozpylenia podejmuje się próby określenia wielkości tego parametru w sposób empiryczny. W literaturze zagadnienia znaleziono wiele empirycznych równań korelacyjnych opisujących kąt rozpylenia [Lefebvre, 1989; Zhou i in., 1996; Laryea i No, 2004; Chu i in., 2008], jednak dotyczą one konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych rozpylaczy.

Celem przeprowadzonych badań była analiza kąta rozpylenia dla różnych rozpylaczy wirowych w zależności od prędkości przepływu medium, konstrukcji rozpylacza i profilu otworu wylotowego.

### Badania doświadczalne

#### Stanowisko badawcze

Na rys. 1 przedstawiono układ pomiarowy, którego głównymi elementami były: rozpylacz wirowy, rotametry cieczowe firmy *Krohne Messtechnik* model *VA 40*, aparat cyfrowy firmy *Canon EOS D1 Mark III* ze stroboskopem oraz komputer.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – zbiornik, 2 – pompa, 3 – zawór, 4 – rotametr cieczowy, 5 – rozpylacz wirowy, 6 – węzownica, 7 – aparat fotograficzny, 8 – stroboskop, 9 – komputer

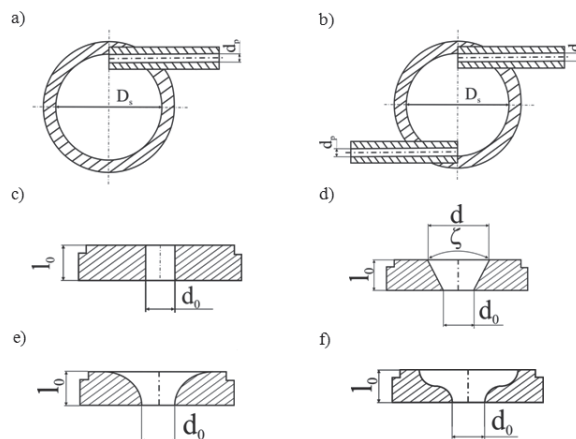
**Rozpylacze wirowe** wykorzystane w badaniach miały różne konstrukcje oraz różne profile otworu wylotowego. Zastosowano rozpylacz typu wirowego o średnicy komory wirowej  $D_s = 20$  mm i wysokości  $H_s = 20$  mm oraz średnicy otworu wylotowego  $d_0 = 2,5$  mm. Przebadano rozpylacz z jednym (R1) i dwoma króćcami wlotowymi (R2) o średniej średnicy  $d_p = 4$  mm oraz rozpylacze z cylindrycznymi otworami wylotowymi, o różnym stosunku długości  $l_0$  do średnicy  $d_0$  oraz z otworami stożkowymi i profilowanymi (Rys. 2). Wymiary wykorzystanych podczas badań profili otworu wylotowego zestawiono w tabeli 1.

#### Materiały

Pomiary wykonano dla układu jednofazowego, gdzie przepływającym medium była woda wodociągowa o temperaturze  $t = 20^\circ\text{C}$ .

#### Metodyka

Ciecz rozpylano przy prędkości przepływu liczonej w przekroju poprzecznym otworu wylotowego o wartości poniżej  $w_c = 15$  [m/s].

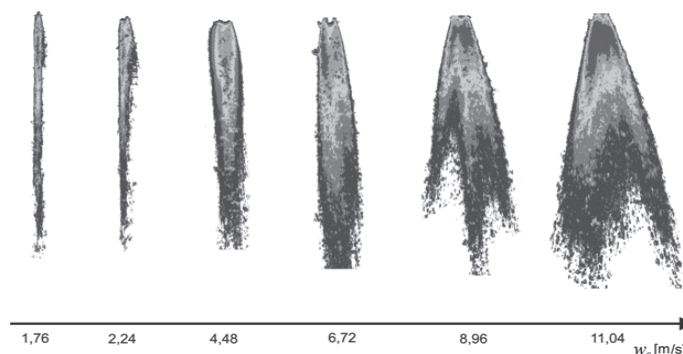


Rys. 2. Schemat konstrukcji rozpylaczy wirowych oraz profili otworu wylotowego: a) rozpylacz wirowy z jednym króćcem wlotowym, b) rozpylacz wirowy z dwoma króćcami wlotowymi, c) profil cylindryczny (C1-C5), d) profil stożkowy (SC, LC), e) otwór profilowany (P), f) otwór podwójnie profilowany (DP)

Tab. 1. Wymiary profili otworu wylotowego rozpylacza wirowego

Profil otworu wylotowego	$d_0$ [m]	$d$ [m]	$l_0$ [m]	$l_0/d_0$
C1	0,00242	-	0,0100	4,13
C2	0,00245	-	0,00695	2,84
C3	0,00241	-	0,0049	2,04
C4	0,00248	-	0,0039	1,57
C5	0,00242	-	0,0025	1,01
SC	0,00250	0,0053	0,0024	0,96
LC	0,00275	0,0073	0,0023	0,84
P	0,00243	-	0,0024	0,99
DP	0,00246	-	0,0025	1,01

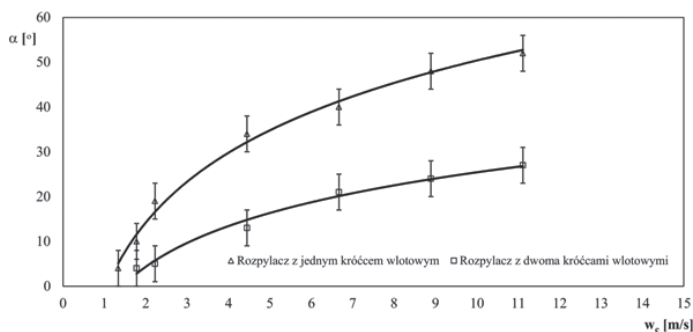
Podczas wypływu wody z rozpylacza wykonywano zdjęcia, które następnie poddawano obróbce w programie *Image-Pro Plus*. Błąd pomiaru wynosił  $\pm 4^\circ$ . Po wyznaczeniu kątów rozpylenia otrzymane zdjęcia zamieniano na skalę odcieni szarości, a następnie w programie *Image-Pro Plus* na *pseudo kolor*. Przykładową wizualizację kąta rozpylenia w zależności od prędkości przepływu przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Wykres zależności kąta rozpylenia od prędkości przepływu cieczy dla rozpylacza wirowego z otworem cylindrycznym (C1)

### Wyniki i ich analiza

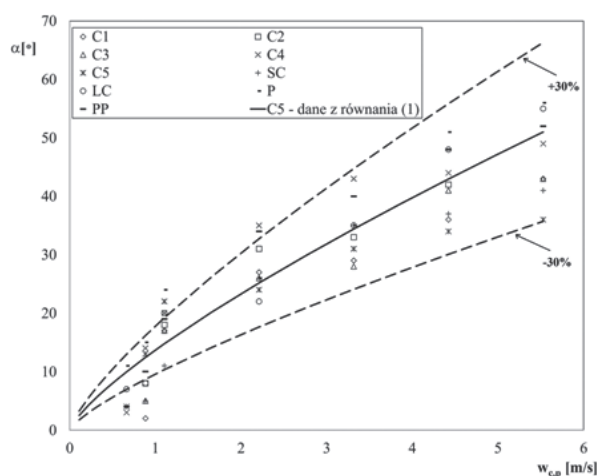
Na rys. 4 przedstawiono porównanie wartości kąta rozpylenia dla rozpylacza wirowego z jednym i dwoma króćcami wlotowymi, w zależ-



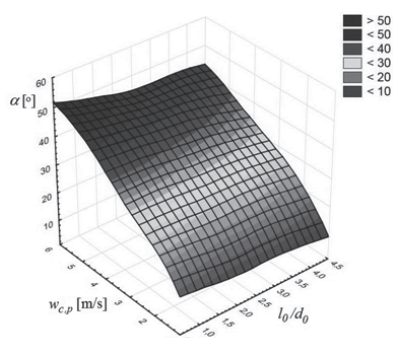
Rys. 4. Wykres zależności kąta rozpylenia od prędkości przepływu cieczy dla otworu cylindrycznego (C1)

ności od prędkości przepływu cieczy. Dla rozpylacza z jednym króćcem wlotowym kąt rozpylenia jest około dwa razy większy niż dla rozpylacza z dwoma króćcami wlotowymi. Różnica w uzyskanych danych może wynikać z konstrukcji rozpylacza, a także ze zjawisk towarzyszących wlotowi cieczy do komory wirowej.

Na rys. 5 przedstawiono zależność kąta rozpylenia od prędkości przepływu cieczy liczonej w przekroju poprzecznym otworu wlotowego dla różnych konstrukcji otworu wylotowego rozpylacza z jednym króćcem wlotowym. Przykładowo dla otworu cylindrycznego C5 porównano wartości kąta rozpylenia uzyskane na podstawie danych eksperymentalnych z danymi uzyskanymi z równania (1). Rozrzut wartości kąta rozpylenia wynosił  $\pm 30\%$  dla wszystkich przebadanych kształtów otworu wylotowego. Analiza wyników przeprowadzonych badań wykazała, że ze wzrostem prędkości przepływu cieczy, następuje wzrost wartości kąta rozpylenia. Największe wartości kąta rozpylenia zaobserwowano dla rozpylacza o stożkowym profilu otworu wylotowego LC, zaś najmniejsze dla otworów cylindrycznych.



Rys. 5. Wykres zależności kąta rozpylenia od prędkości przepływu cieczy liczonej w przekroju poprzecznym otworu wlotowego



Rys. 6. Obraz zależności korelacyjnej (1)

Analiza uzyskanych danych pozwoliła na wyznaczenie zależności opisującej kąt rozpylenia w postaci:

$$\alpha = Aw_{c,p}^B \left( \frac{l_0}{d_0} \right)^C \quad (1)$$

dla której stałą i wykładniki podano w tab. 2, a obraz na rys. 4.

Tab. 2. Wartości stałych i wykładników w równaniu (1)

	Wartość	Średni błąd standardowy
A	13,71	0,57
B	0,77	0,03
C	-0,084	0,03
Poziom ufności: 95%, R = 0,95		

Stwierdzono, że wartości kąta rozpylenia wzrastają wraz ze wzrostem prędkości przepływu cieczy na wlocie rozpylacza. W niewielkim stopniu zależy on również od wartości stosunku długości otworu wylotowego do jego średnicy.

## Podsumowanie

Wykazano, że w przypadku rozpylacza z jednym króćcem wlotowym kąt rozpylenia jest większy niż obserwowany dla rozpylacza z dwoma króćcami wlotowymi.

Wartość kąta zależna jest także od kształtu otworu wylotowego, przy czym wpływ stosunku długości otworu wylotowego do jego średnicy jest niewielki.

Kąt rozpylenia rośnie wraz ze wzrostem prędkości przepływu wody dla obu rozpylaczy oraz wszystkich badanych profili otworu wylotowego. Zależność kąta rozpylenia od prędkości przepływu jest nieliniowa.

Na podstawie danych eksperymentalnych wyznaczono równanie korelacyjne (1) opisujące kąt rozpylenia w rozpylaczach z jednym króćcem wlotowym.

Uzyskane dane mogą być istotne przy projektowaniu opryskiwaczy czy silników z wtryskiem ciekłego paliwa. Konieczne jest jednak przeanalizowanie wpływu właściwości cieczy, a zwłaszcza lepkości, na wartość kąta rozpylenia.

## LITERATURA

- Chu C.C., Chu S.F., Lin H.I., Liann Y.H., 2008. An experimental investigation of swirl atomizer sprays. *Int. J. Heat Mass Transfer*, **45**, 11-22. DOI: 10.1007/s00231-008-0389-1
- Fan Y., Hashimoto N., Nishida H., Ozawa Y., 2014. Spray characterization of an air-assist pressure-swirl atomizer injecting high-viscosity Jatropa oils. *Fuel*, **121**, 171-283. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.12.036
- Khavkin Y.I. 2004. *Theory and Practise of Swirl Atomizers*. Taylor and Francis Group, New York
- 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
- Laryea G.N., No S.Y., 2004. Spray angle and breakup length of charge-injected electrostatic pressure-swirl nozzle. *J. Elektrostat.*, **60**, 37-47. DOI: 10.1016/j.jelstat.2003.11.001
- Lefebvre A.H., 1989. *Atomization and Sprays*. Hemisphere Pub., New York.
- Li B.Q., Cader T., Schwarzkopf J., Okamoto K., Ramaprian B., 2006. Spray angle effect during spray cooling of microelectronics: Experimental measurements and comparison with inverse calculations. *Appl. Therm. Eng.*, **26**, 1788-1795. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2006.01.023
- Martinez-Galvan E., Anton R., Ramos J. C., Khodabandeh R., 2013. Effect of the spray cone angle in the spray cooling with R134a. *Exp. Therm. Fluid Sci.*, **50**, 127-138. DOI: 10.1016/j.expthermflusc.2013.05.012
- Moon S., Abo-Serie E., Bae C., 2009. Air flow and pressure inside a pressure-swirl spray and their effects on spray development. *Exp. Therm. Fluid Sci.*, **33**, 222-231. DOI: 10.1016/j.expthermflusc.2008.08.005
- Rashid M.S.F.M., Hamid A.H.A., Sheng O.C., Ghaffar Z.A., 2012. Effect of inlet slot number on the spray cone angle and discharge coefficient of swirl atomizer. *Procedia Eng.*, **41**, 1781-1786. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.07.383
- Santolaya J.L., Aisa L.A., Calvo E., García I., García J.A., 2010. Analysis by droplet size classes of the liquid flow structure in a pressure swirl hollow cone spray. *Chem. Eng. Process.*, **49**, 125-131. DOI: 10.1016/j.cep.2009.12.003
- Zhou Q., Miller P.C.H., Walklate P.J., Thomas N.H., 1996. Prediction of spray angle from flat fan nozzles. *J. Agr. Eng. Res.*, **64**, 139-148. DOI: 10.1006/jaer.1996.0055

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