

Sylwia WŁODARCZAK, Marek OCHOWIAK, Magdalena MATUSZAK, Małgorzata MARKOWSKA, Krzysztof SZEWCZYK

e-mail: sylwia.wlodarczak@put.poznan.pl

Zakład Inżynierii i Aparatury Chemicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

Wpływ cylindrycznej przegrody na proces rozpylania w rozpylaczach wirowych

Wstęp

Rozpylacze wirowe są urządzeniami przepływowymi, wewnątrz których ciecz ulega zawirowaniu, co w efekcie wpływa na lepsze jej rozpylenie. Rozpylacze wirowe znajdują szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach, zwłaszcza w rolnictwie oraz przemyśle energetycznym [Lefebvre, 1989; Maly i in., 2018].

Pomimo ciągłego rozwoju technologicznego, rozpylacze wirowe są nadal chętnie wykorzystywane, nawet w połączeniu z nowymi typami rozpylaczy, przykładowo hybrydowymi, co obserwuje się m.in. w przypadku spalania w silnikach lotniczych [Liu i in., 2018].

Rozpylacze wirowe charakteryzują się dobrą jakością rozpylania przy względnie niewielkim zapotrzebowaniu na moc, są niezawodne, zapewniają stabilność rozpylanej strugi, a ich produkcja nie jest skomplikowana [Lefebvre, 1989].

Współczynnik wypływu należy do najbardziej znaczących makroparametrów wpływających na rozpyloną strugę. Jego wartość zależy od spadku ciśnienia na rozpylaczu:

$$C_D = \frac{w_c \rho_c}{(2\rho_c \Delta P)^{0.5}} \quad (1)$$

gdzie:

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

ρ – gęstość cieczy, [kg/m³],

ΔP – spadek ciśnienia na rozpylaczu, [Pa].

Kąt rozpylania jest parametrem trudnym do określenia ze względu na działanie otaczającego gazu na wypływającą z rozpylacza strugę cieczy. Znajomość kąta rozpylania umożliwia zaprojektowanie aparatury, która pozwoli na jednorodne rozpylenie cieczy i pokrycie danej powierzchni. Wielkość kąta rozpylania zależy od czasu wtrysku i ciśnienia wtrysku. Kąt rozpylania określa zachowanie aerozolu, wpływa na charakterystykę spalania i emisji spalin oraz osiągi silnika. Jego wielkość pozwala m.in. na określenie maksymalnego ciśnienia spalania, maksymalnej szybkości uwalniania ciepła oraz opóźnienia zapłonu [Kim i in., 2016].

Konstrukcja rozpylacza wpływa m.in. na charakter przepływu wewnątrz rozpylacza oraz parametry rozpylonej strugi [Broniarz-Press i in., 2013, Broniarz-Press i in., 2015, Rashad i in., 2016, Zhang i in., 2017, Maly i in., 2018]. Budowa rozpylacza wirowego przede wszystkim ma znaczenie dla przepływu wewnętrznego oraz dynamiki powietrzno-rdzeniowej, co w rezultacie decyduje o stabilności uzyskiwanego aerozolu [Liu i in., 2017].

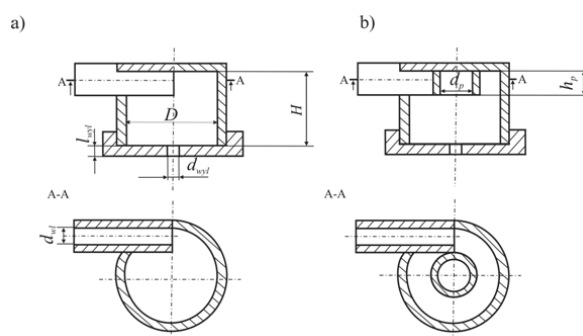
Stabilność rdzenia gazowego zależy od wartości liczby *Reynoldsa* i tym samym od średnicy otworu wylotowego, średnicy i wysokości komory wirowej, stosunku długości do średnicy otworu wylotowego, stosunku długości do średnicy komory wirowej oraz stałej geometrycznej rozpylacza [Kim i in., 2009, Lee i in., 2010]. Niektóre aspekty przepływu wewnętrznego są trudne do wyjaśnienia, jednak zasadnym wydaje się analizowanie wpływu zmodyfikowanej budowy rozpylacza wirowego na proces rozpylania.

Celem badań było określenie wpływu cylindrycznej przegrody umiejscowionej w osi rozpylacza wirowego na wartości współczynnika wypływu oraz kąta rozpylania.

Badania doświadczalne

Stanowisko badawcze składało się z: rozpylacza wirowego, rotametrów cieczowych firmy *Krohne Messtechnik* typu VA 40, pompy

CHI 2-30 firmy *Grunfos* oraz cyfrowego miernika ciśnienia *Digi-Comb 1900* firmy *Tecsis*. W badaniu użyto dwóch rozpylaczy (Rys. 1), które charakteryzowały się takimi samymi wymiarami cylindrycznej komory wirowej $D = 0,024$ m i $H = 0,02$ m, otworu wylotowego $d_{wyl} = 0,0025$ m i $l_{wyl} = 0,0025$ m oraz króćca wlotowego $d_{wyl} = 0,004$ m. Jeden z nich posiadał cylindryczną pustą przegrodę o średnicy $d_p = 0,008$ m i wysokości $h_p = 0,006$ m umieszczoną w osi rozpylacza.



Rys. 1. Schemat konstrukcji rozpylaczy wirowych: a) rozpylacz bez przegrody, b) rozpylacz z przegrodą

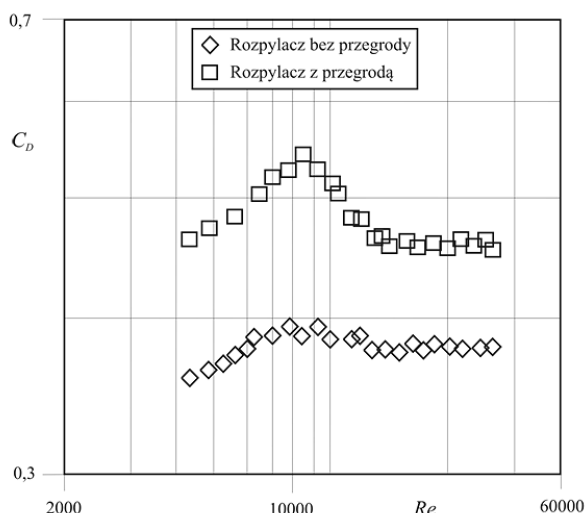
Materiały. Cieczą modelową była woda wodociągowa o temperaturze 20°C. Badania prowadzono dla prędkości przepływu wody nieprzekraczającej $w_c < 15$ m/s.

Metodyka. Podczas procesu rozpylania wykonywano serię zdjęć rozpylonej strugi cieczy opuszczającej rozpylacz, a także mierzono spadek ciśnienia na wlocie do rozpylacza za pomocą miernika ciśnienia. W badaniach wykorzystano aparat fotograficzny *Canon EOS-1D Mark III* z lampą stroboskopową oraz komputer z odpowiednim oprogramowaniem. Uzyskane zdjęcia poddano obróbce komputerowej w programach *Image-Pro Plus* oraz *Corel Photo-Paint 12*. Dokładność pomiaru kąta rozpylania wynosiła $\pm 4^\circ$.

Wyniki i dyskusja

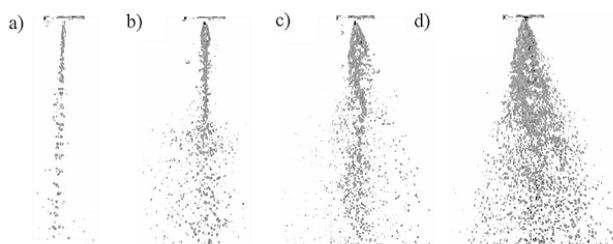
Uzyskane wartości spadków ciśnienia pozwoliły na wyznaczenie współczynników wypływu. Wartości współczynnika wypływu C_D dla każdego z rozpylaczy obliczono ze wzoru (1).

Na rys. 2 przedstawiono zależność współczynnika wypływu od liczby *Reynoldsa* dla przepływu burzliwego. W przypadku obydwóch konstrukcji początkowo obserwuje się wzrost wartości współczynnika wypływu ze wzrostem liczby *Reynoldsa* aż do osiągnięcia pewnego maksimum i ostatecznie stabilizacji współczynnika wypływu. Początkowy wzrost wartości współczynnika wypływu wynikał z faktu sukcesywnego zwiększania przepływu cieczy przy jej nieznacznym rozpyleniu. Stąd struga, bez większych zakłóceń, rosła niemal proporcjonalnie do prędkości przepływu. W chwili osiągnięcia znacznych przyrostów spadków ciśnienia współczynnik wypływu malał, a następnie osiągnął wartość stałą. Jak można zauważyć wartości współczynnika wypływu w przypadku rozpylacza z przegrodą są wyższe niż w przypadku rozpylacza bez przegrody. Wartość współczynnika wypływu dla rozpylacza bez przegrody dla przepływu burzliwego wynosi $C_D \approx 0,39$, natomiast w przypadku rozpylacza z przegrodą wynosi $C_D \approx 0,46$. Przyczyną takiej zależności może być prawdopodobnie różny sposób tworzenia się rdzenia gazowego, co spowodowane jest odmienną geometrią badanych rozpylaczy.



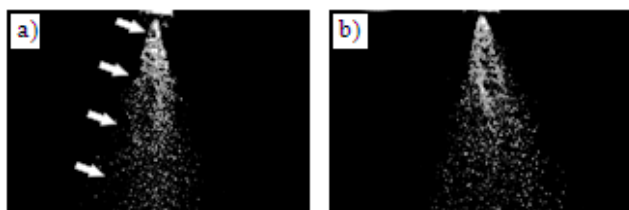
Rys. 2. Zależność współczynnika wypływu od liczby Reynoldsa dla rozpylacza bez przegrody i z przegrodą

Na rys. 3 przedstawiono wizualizację procesu rozpylania z wykorzystaniem rozpylacza wirowego z przegrodą. Jak można zauważyć początkowo rozpad strugi jest niewielki. U wylotu z rozpylacza obserwuje się zwartą strugę, która ulega różnego rodzaju przewężeniom, przy czym można zaobserwować również tworzącą się błonę. W dolnej części strugi pojawiają się krople. Właściwe rozpylenie występuje dopiero przy prędkości przepływu wody $w_c \approx 6$ m/s.



Rys. 3. Etapy rozpadu strugi podczas rozpylania z wykorzystaniem rozpylacza z przegrodą: a) $w_c = 1,13$ m/s, b) $w_c = 2,55$ m/s, c) $w_c = 3,68$ m/s, d) $w_c = 6,23$ m/s

Na rys. 4 przedstawiono przykładowe zdjęcia obrazujące kąty rozpylania dla rozpylacza bez przegrody (Rys. 4a) i dla rozpylacza z przegrodą (Rys. 4b). Obecność przegrody skutkowałą stabilizacją powierzchni kąta rozpylania. W przypadku rozpylacza bez przegrody na powierzchni rozpylonej cieczy pojawiały się tzw. pofałdowania (zaznaczone strzałkami). Może to być spowodowane niestabilnością rdzenia gazowego, która prowadzi do fluktuacji grubości warstwy cieczy w otworze wylotowym. Niestabilność rdzenia gazowego spowodowana jest tym, że początkowy moment pędu na stycznym wlocie jest mniejszy niż moment pędu wymagany do rozwiniętego w pełni rdzenia gazowego.



Rys. 4. Przykładowe kąty rozpylania uzyskane dla: a) rozpylacza bez przegrody, b) rozpylacza z przegrodą

Generalnie, zarówno dla rozpylacza bez przegrody, jak i rozpylacza z przegrodą wartość kąta rozpylania wzrasta wraz ze wzrostem prędkości przepływu wody, przy czym zależność ta nie ma charakteru liniowego. Wzrost wartości kąta rozpylania w przypadku rozpylacza z przegrodą następuje początkowo znacznie wolniej niż w przypadku rozpylacza bez przegrody, jednak ostatecznie wartości kąta rozpylania dla rozpylacza z przegrodą są nieznacznie większe w porównaniu do rozpylacza bez przegrody. Wzrost wartości kąta rozpylania dla rozpylacza bez przegrody ma łagodniejszy charakter niż w przypadku rozpylacza z przegrodą. Na różnicę w sposobie tworzenia się rozpylonej strugi cieczy oraz w wartościach kąta rozpylania najprawdopodobniej miało wpływ zachowanie strugi cieczy w komorze wirowej oraz sposób powstawania i stabilizacji rdzenia gazowego.

Wnioski

Wykazano, że zastosowanie cylindrycznej przegrody w osi rozpylacza wirowego, przy niezmienności pozostałych wymiarów, wpływa na przepływ wewnątrz rozpylacza, a tym samym na wartości współczynnika wypływu i sposób kształtowania się kąta rozpylania.

W przypadku rozpylacza z przegrodą uzyskano większe wartości współczynnika wypływu w porównaniu do rozpylacza bez przegrody. Obecność cylindrycznej przegrody przyczyniła się do stabilizacji powierzchni kąta rozpylania i wyeliminowaniu pofałdowań, które występują w przypadku zastosowania rozpylacza bez przegrody.

Wartości kątów rozpylania wzrastały wraz ze zwiększeniem natężenia przepływu wody, jednak w przypadku rozpylacza z przegrodą właściwe rozpylenie nastąpiło przy większej prędkości.

Zasadnym byłoby przeprowadzenie badań z wykorzystaniem cieczy o różnej lepkości pod kątem zastosowania rozpylacza z przegrodą np. w systemach spalania.

LITERATURA

- Broniarz-Press L., Ochowiak M., Włodarczak S., Markuszewska M., (2013). Analiza współczynnika wypływu cieczy dla rozpylaczy wirowych o różnych kształtach otworu wylotowego. *Inż. Ap. Chem.*, 52 (5), 403-404
- Broniarz-Press L., Włodarczak S., Ochowiak M., (2015). Analiza kąta rozpylania dla rozpylaczy o stożkowej komorze wirowej. *Inż. Ap. Chem.*, 54 (5), 230-232
- Kim H.J., Park S.H., Lee C.S., (2016). Impact of fuel spray angles and injection timing on the combustion and emission characteristics of a high-speed diesel engine. *Energy*, 107, 572-279. DOI: 10.1016/j.energy.2016.04.035
- Kim S., Khil T., Kim D., Yoon Y., (2009). Effect of geometric parameters on the liquid film thickness and air core formation in a swirl injector. *Measur. Sci. Technol.* 20(1), 1-11. DOI: 10.1088/0957-0233/20/1/015403
- Lee E.J., Oh S.Y., Kim H.Y., James S.C., Yoon S.S., (2010). Measuring air core characteristics of a pressure-swirl atomizer via a transparent acrylic nozzle at various Reynolds numbers. *Exp. Therm. Fluid Sci.* 34(8), 1475-1483. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2010.07.010
- Lefebvre A.H., (1989). *Atomization and Sprays*. Hemisphere Publ. Corp., New York
- Liu C., Liu F., Yang J., Mu Y., Hu C., Xu G., (2018). Experimental investigations of spray generated by a pressure swirl atomizer. *J. Energy Inst.*, 1-12. DOI: 10.1016/j.joei.2018.01.014
- Liu Z., Huang Y., Sun L., (2017). Studies on air core size in a simplex pressure-swirl atomizer. *Int. J. Hydrogen. Energ.*, 42, 18649-18657. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.04.188
- Maly M., Jedelsky J., Slama J., Janackova L., Sapik M., Wigley G., Jicha M., (2018). Internal flow and air core dynamics in simplex and spill-return pressure-swirl atomizers. *Int. J. Heat Mass Tran.*, 123, 805-814. DOI: 10.4995/ILASS2017.2017.4995
- Rashad M., Young H., Zekun Z., (2016). Effect of geometric parameters on spray characteristics of pressure swirl atomizers. *Int. J. Hydrogen. Energ.* 41, 15790-15799.
- Zhang T., Dong B., Chen X., Qiu Z., Jiang R., Li W., (2017). Spray characteristics of pressure-swirl nozzles at different nozzle diameters. *App. Thermal Eng.*, 121, 984-991. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.04.089

Praca została wykonana w ramach działalności statutowej Politechniki Poznańskiej 03/32/DSMK/0822