

Lubomira BRONIARZ-PRESS, Sylwia WŁODARCZAK, Marek OCHOWIAK

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

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

## Wytwarzanie emulsji w rozpylaczu o stożkowej komorze wirowej

### Wstęp

Emulsjami nazywane są układy złożone z dwóch faz, które nie mieszają się wzajemnie. Jedną z faz jest najczęściej woda charakteryzująca się budową polarną, natomiast drugą – olej, który jest złożoną cieczą o budowie niepolarną [Broniarz-Press i in., 2010].

Wytwarzanie emulsji powinno następować szybko i efektywnie. Emulsje najczęściej wytwarza się przez intensywne mieszanie, w wyniku czego dochodzi do rozpadu kropeł na mniejsze. Istnieją różne sposoby wytwarzania emulsji: mieszanie mechaniczne przy użyciu różnych typów mieszadeł, wykorzystanie siły elektrycznej czy magnetycznej, wytrząsanie, emulgowanie ultradźwiękami [Lin i Wang, 2003; Lin i Chen, 2008; Gilewicz i in. 2012].

Emulsje znajdują szerokie zastosowanie m.in. w przemyśle petrochemicznym, maszynowym, spożywczym, kosmetycznym i farmaceutycznym [Broniarz-Press i in., 2009; Broniarz-Press i in., 2010; Gilewicz i in., 2012; Califano i in., 2014]. Układy emulsyjne często stanowią półprodukt do dalszego przetwarzania. Emulsje jako postać alternatywnego paliwa są od dawna stosowane w komorach spalania w celu osiągnięcia lepszego zużycia paliwa i zmniejszenia ilości powstających zanieczyszczeń [Lin i Wang, 2003; Lin i Chen, 2008].

Podczas rozpylania emulsji znaczący wpływ na wielkość kropeł mają właściwości cieczy składowych [Tratnig i in., 2009] oraz konstrukcja rozpylacza [Lefebvre, 1989; Ochowiak, 2012]. Rozpylacze wirowe należą do najczęściej stosowanych typów rozpylaczy. Charakteryzują się prostotą i dużą efektywnością. Ich zapotrzebowanie na energię jest stosunkowo niskie ze względu na obecność wiru swobodnego [Moon i in., 2009; Broniarz-Press i in., 2014].

Celem przeprowadzonych badań było wytworzenie emulsji O/W w rozpylaczu o stożkowej komorze wirowej oraz określenie jej struktury. Następnie przeanalizowano wielkości charakteryzujące proces rozpylania wytworzonych emulsji, kąty rozpylania i spadki ciśnienia w rozpylaczu.

### Badania doświadczalne

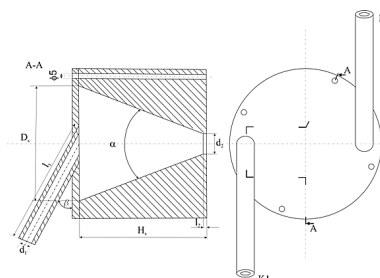
**Stanowisko badawcze** stanowiły: rozpylacz wirowy, rotametry cieczowe typu VA 40 firmy *Krohne Messtechnik*, aparat cyfrowy *Canon EOS D 1 Mark III*, elektroniczny miernik ciśnienia *DigiComb 1900* firmy *Tecsis*, elektroniczny miernik temperatury *Center 309*, pompa *Grundfoss CHI-2/20*, mikroskop *Nikon Eclipse 50i* wyposażony w kamerę *Opta-Tech* oraz komputer.

**Rozpylacz wirowy** posiadał stożkową komorę wirową oraz dwa króćce wlotowe nachylone pod kątem  $30^\circ$  w stosunku do osi rozpylacza (Rys. 1). Średnica komory wirowej wynosiła  $D_s = 20$  mm, wysokość  $H_s = 20$  mm, średnica otworów wlotowych  $d_1 = 2,5$  mm, średnica otworu wylotowego  $d_2 = 2,5$  mm.

**Materiały.** W badaniach wykorzystano wodę wodociągową oraz olej mineralny o lepkości  $\eta = 42,8 \cdot 10^{-3}$  Pa·s dostarczony przez *Instytut Nafty i Gazu* w Krakowie.

**Metodyka.** Wodę rozpylano przy prędkości przepływu cieczy liczonej w przekroju poprzecznym otworu wylotowego poniżej wartości  $w_w = 10$  [m/s], natomiast olej przy prędkości poniżej  $w_o = 6$  [m/s]. Do analizy rozpylanej cieczy wykorzystano program *Image-Pro Plus* firmy *Media Cybernetics*. Dokładność odczytu kąta rozpylania wynosiła  $\pm 4^\circ$ , a dokładność pomiaru średnicy kropli wynosiła  $\pm 0,3$   $\mu\text{m}$ .

Wielkość kropeł opisano za pomocą średniej objętościowo-powierzchniowej średnicy kropli  $D_{32}$  (średnica *Sautera*):



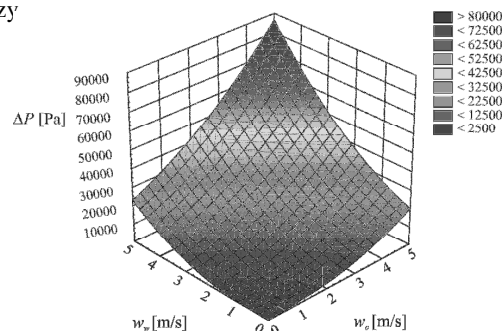
Rys. 1. Schemat konstrukcji rozpylacza wykorzystanego do badań

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

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

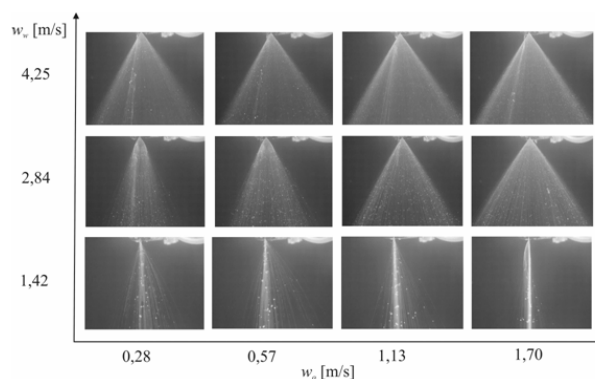
### Wyniki i ich analiza

Na rys. 2 przedstawiono zależność spadków ciśnienia na rozpylaczu od prędkości przepływu wody oraz oleju. Wartość spadków ciśnienia rośnie wraz ze wzrostem prędkości przepływu obu cieczy



Rys. 2. Zależność spadków ciśnienia od prędkości przepływu wody oraz oleju

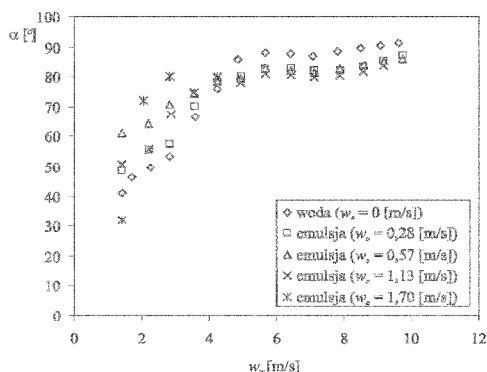
Na rys. 3 przedstawiono przykładowe obrazy rozpylania emulsji. Badania wykazały, że przy małej prędkości przepływu wody i rosnącej prędkości przepływu oleju kąt rozpylania zmniejsza się i coraz bardziej widoczna staje się zwarta struga w osi rozpylacza.



Rys. 3. Wizualizacja kąta rozpylania dla emulsji powstającej przy różnych prędkościach przepływu wody i oleju

Wzrost prędkości wody wpływa korzystnie na rozpylenie emulsji. Wraz ze wzrostem prędkości przepływu wody wzrasta kąt rozpylenia aż do uzyskania stałej wartości. Podczas procesu można było zaobserwować charakterystyczne struktury rozpylanej strugi cieczy – fazę zakrzywionego ołówka przy małych prędkościach przepływu wody i maksymalnych prędkościach przepływu oleju, fazę tulipana przy małych prędkościach przepływu oleju i pośrednich prędkościach przepływu wody oraz właściwe rozpylenie przy największych prędkościach przepływu wody.

Zaobserwowane kąty rozpylenia dla oleju były dużo niższe niż dla wody. Na rys. 4 przedstawiono zależność kąta rozpylenia od prędkości przepływu emulsji o różnej zawartości wody i oleju.



Rys. 4. Zależność kąta rozpylenia od prędkości przepływu wody przy zmieniającej się prędkości przepływu oleju

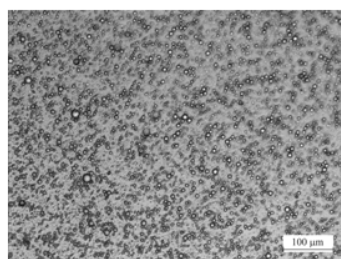
Dla prędkości przepływu wody większej od około  $w_w = 4$  m/s wartość kąta jest niemal stała. W tym zakresie zaobserwowano także wzrost kąta rozpylenia wraz ze zmniejszeniem prędkości przepływu oleju. Dla niższej wartości prędkości przepływu wody trudno zauważyć jednoznaczność zależności kąta rozpylenia od prędkości przepływu oleju. Jednak można stwierdzić, że wartości kąta wzrastają wraz ze wzrostem prędkości przepływu wody.

Przykładowe obrazy mikroskopowe struktur wytworzonej emulsji przy różnej prędkości przepływu wody i oleju przedstawiono na rys. 5. Można zaobserwować, że przy stałej wartości prędkości przepływu wody i różnej prędkości przepływu oleju uzyskano emulsje monodispersyjne o zbliżonej strukturze i wartości średniej średnicy kropli,  $D_{32} = 6,2 \mu\text{m}$  (Rys. 5a) i  $D_{32} = 4,8 \mu\text{m}$  (Rys. 5b). Wzrost prędkości przepływu wody skutkowało wzrostem Liczby kropeł o stosunkowo większych średnicach ( $d_k \approx 10 \mu\text{m}$ ) oraz małych kropeł o średnicach ( $d_k \approx 1 \mu\text{m}$ ). W tym przypadku średnia średnica kropli wynosiła  $D_{32} = 12,3 \mu\text{m}$  (Rys. 5c).

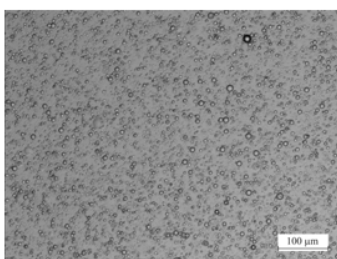
## Podsumowanie i wnioski

Badania wykazały, że możliwe jest wytworzenie emulsji O/W przy użyciu proponowanego rozpylacza wirowego.

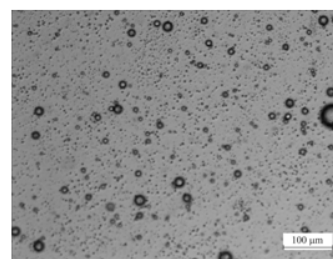
Wartość spadków ciśnienia wzrastała wraz ze wzrostem prędkości przepływu emulsji. Zaobserwowano nieliniową zależność kąta rozpylenia od prędkości przepływu wody i oleju.



$w_w = 2,83$  m/s,  $w_o = 0,28$  m/s



$w_w = 2,83$  m/s,  $w_o = 1,13$  m/s



$w_w = 5,66$  m/s,  $w_o = 0,57$  m/s

Rys. 5. Przykładowe zdjęcia mikroskopowe emulsji

Wzrost prędkości przepływu wody początkowo powoduje wzrost kąta rozpylenia, po czym (od prędkości około  $w_w = 4$  m/s) wartość kąta stabilizuje się.

Wzrost prędkości przepływu wody (podczas wytwarzania emulsji o zawartości fazy olejowej poniżej 30% wag.) powoduje powstawanie kropeł o dużo większych rozmiarach.

Wzrost prędkości przepływu oleju (przy stałej prędkości przepływu wody) nie wpływa istotnie na wielkość kropeł oleju w wodzie.

Proponowane rozwiązanie może być pewną alternatywą względem wytwarzania emulsji w standardowych mieszalnikach mechanicznych. Mieszalniki mechaniczne charakteryzują się bardziej skomplikowaną budową i dużym zużyciem energii, produkując krople o zbliżonych rozmiarach do tych uzyskanych w pracy [Srinivasan i in., 2003].

## LITERATURA

- Broniarz-Press L., Ochowiak M., Różański J., Szaferki W., Woźniowski S., (2010). *Przebieg trójfazowy gaz-ciecz-ciecz w dyszach rozpryskowych*. Wyd. Pol. Poznańskiej, Poznań
- Broniarz-Press L., Ochowiak M., Różański J., Woźniowski S., (2009). The atomization of water-oil emulsions. *Exp. Therm Fluid Sci.* 33, 955-962. DOI:10.1016/j.expthermflusc.2009.04.002
- Broniarz-Press L., Ochowiak M., Włodarczyk S., Matuszak M., Maciejewska A., (2014). Analiza kąta rozpylenia dla rozpylaczy wirowych. *Inż. Ap. Chem.*, 53(4), 227-228
- Califano V., Calabria R., Massoli P., (2014). Experimental evaluation of the effect of emulsion stability on micro-explosion phenomena for water-in-oil emulsions. *Fuel* 117, 87-94. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.08.073
- Gilewicz P., Tal-Figiel B., Figel W., Kwiecień M., (2012). Nowoczesne rozwiązania w zakresie wytwarzania i kontroli jakości emulsji. *Czas. Tech.*, *Chemia* 17(109), 25-40
- Lefebvre A.H., (1989). *Atomization and sprays*. Hemisphere Publ., New York
- Lin C.Y., Chen L.W., (2008). Comparison of fuel properties and emission characteristics of two- and three-phase emulsions prepared by ultrasonically vibrating and mechanically homogenizing emulsification methods. *Fuel*, 87, 2145-2161. DOI: 10.1016/j.fuel.2007.12.017
- Lin C.Y., Wang K.H., (2003). The fuel properties of three-phase emulsions as an alternative fuel for diesel engines. *Fuel* 82, 1367-1375. DOI: 10.1016/S0016-2361(03)00021-8
- 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
- Ochowiak M., 2012. The effervescent atomization of oil-in-water emulsions. *Chem. Eng. Process.* 52, 92-101. DOI: 10.1016/j.cep.2011.11.007
- Tratnig A., Brenn G., Strixner T., Fankhauser P., Laubacher N., Stranzinger M., (2009). Characterization of spray formation from emulsions by pressure-swirl atomizers for spray drying. *J. Food Eng.*, 95, 126-134. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2009.04.015
- Srinivasan M., Singh H., Munro P.A., (2003). Influence of retorting (121 °C for 15 min), before or after emulsification, on the properties of calcium caseinate oil-in-water emulsions. *Food Chem.*, 80, 61-69. DOI:10.1016/S0308-8146(02)00238-8

*Praca została wykonana w ramach działalności statutowej Politechniki Poznańskiej 03/32/DSPB/0502 i 03/32/DSMK/0522*