

Sylvia WŁODARCZAK, Marek OCHOWIAK, Lubomira BRONIARZ-PRESS, Magdalena MATUSZAK

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

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

Wytwarzanie emulsji w rozpylaczu wirowym z wielootworowym wtryskiwaczem oleju

Wstęp

Emulsje najczęściej wytwarza się poprzez intensywne mieszanie dwóch cieczy z użyciem emulgatora. W tym celu wykorzystuje się m.in.: mieszanie mechaniczne, mieszanie statyczne, siłę elektryczną czy magnetyczną, wytrząsanie, emulgowanie ultradźwiękami oraz rozpylanie [Lin i Wang, 2003; Srinivasan i in., 2003; Lin i Chen, 2008; Broniarz-Press i in., 2009; Bolszo i in., 2010; Gilewicz i in., 2012; Al-Yaari i in., 2014; Broniarz-Press i in., 2016;].

Jednym z układów wtryskowych stosowanych w silnikach o zapłonie iskrowym jest wtrysk bezpośredni DI (*Direct Injection*), w którym wtryskiwacz umieszczony jest w cylindrze. Układ taki wykorzystano do wytwarzania emulsji typu woda/olej (O/W), w którym rolę wtryskiwacza oleju pełni wielootworowy cylinder umieszczony wewnątrz komory mieszania, do której doprowadzono wodę. Wytworzone emulsje mogą pełnić rolę paliwa, którego zastosowanie może zmniejszyć ilość powstających zanieczyszczeń w porównaniu z paliwami tradycyjnymi [Lin i Wang, 2003; Lin i Chen, 2008].

Celem przeprowadzonych badań było wytworzenie emulsji O/W przy użyciu rozpylacza o zaproponowanej konstrukcji oraz określenie średnic kropeł fazy olejowej rozproszonej w fazie wodnej. Uzyskane dane pozwoliły na sporządzenie rozkładów objętościowych średnic kropeł (histogramów) oraz wyznaczenie wartości charakterystycznych średnic kropeł. Najczęściej stosowaną średnicą kropli jest średnia objętościowo-powierzchniowa średnica kropli D_{32} (średnica *Sautera*) opisana równaniem:

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

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

Badania doświadczalne

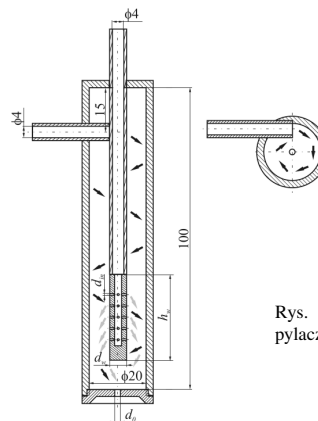
Stanowisko badawcze składało się z następujących głównych elementów: rozpylacz, rotametry cieczowe, aparat cyfrowy, wielopunktowy elektroniczny miernik temperatury, pompa wirnikowa, mikroskop *Nikon Eclipse 50i* z kamerą cyfrową i komputer z oprogramowaniem do komputerowej obróbki uzyskanych obrazów.

W badaniach doświadczalnych zastosowano rozpylacz wykorzystujący zjawisko ruchu wirowego z centralnie umieszczonym wielootworowym wtryskiwaczem oleju (Rys. 1). Wtryskiwacz oleju o wysokości $h_w = 0,038$ m i średnicy $d_w = 0,006$ m miał 40 otworów o średnicy $d_{in} = 0,0008$ m. Średnica otworu wylotowego rozpylacza wynosiła $d_o = 0,0025$ m.

Do analizy średnic kropeł fazy olejowej wykorzystano program *Image-Pro Plus* firmy *Media Cybernetics*. Dokładność pomiaru średnic kropeł wynosiła $\pm 0,1$ μm .

Materiały. Badanymi cieczami była woda oraz olej mineralny o nazwie handlowej 20-70 o lepkości $\nu = 70 \cdot 10^{-3}$ m^2/s , dostarczony przez Instytut Nafty i Gazu w Krakowie.

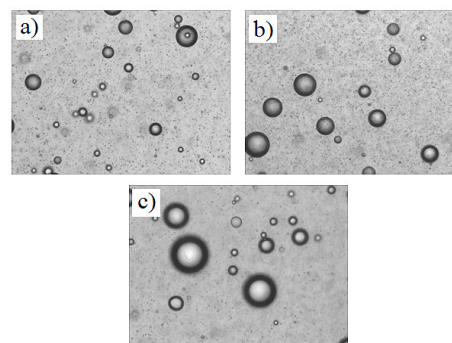
Zakres badań. Badania wykonano dla natężeń przepływu wody od $9,72 \cdot 10^{-6}$ do $5,00 \cdot 10^{-5}$ m^3/s oraz oleju od $1,39 \cdot 10^{-6}$ do $1,67 \cdot 10^{-5}$ m^3/s dla emulsji o stężeniu oleju c_{oleju} równym kolejno 10, 20 i 30 % obj. Olej dostarczany był za pomocą pompy *CHI 2-30* firmy *Grundfos* do króćca wlotowego oleju, a woda podawana była przez króciec wlotowy styczny do osi rozpylacza. Rozpylacz pełnił podwójną rolę – generatora emulsji i jej atomizera.



Rys. 1. Schemat konstrukcji rozpylacza wykorzystanego do badań

Wyniki i analiza badań doświadczalnych

Wybrane obrazy mikroskopowe struktur wytworzonej emulsji przy różnych wartościach prędkości przepływu wody i oleju przedstawiono na rys. 2. Najmniejsze zaobserwowane krople oleju miały średnicę około $0,4$ μm , a największe niespełna 500 μm (niekiedy przycięzione były do nich mniejsze krople).

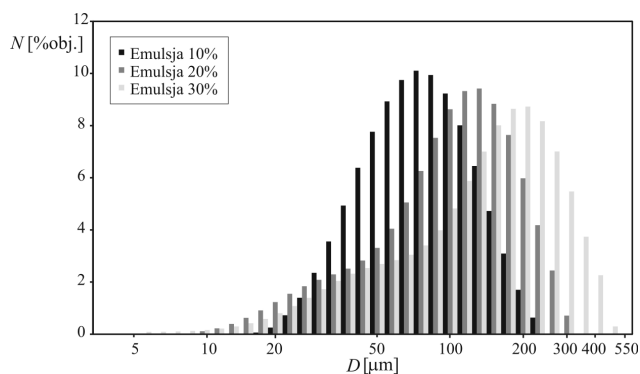


Rys. 2. Przykładowe zdjęcia mikroskopowe emulsji dla $V_{emulsji} = 1,39 \cdot 10^{-5}$ m^3/s : a) $c_{oleju} = 10$ %obj., b) $c_{oleju} = 20$ %obj., c) $c_{oleju} = 30$ %obj.]

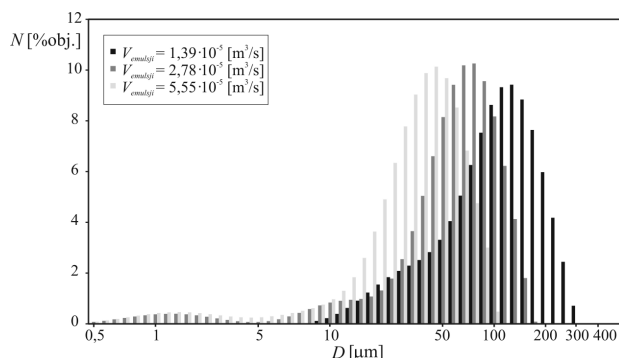
Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem stężenia fazy olejowej w emulsji liczba kropeł o większych rozmiarach ulega zwiększeniu (Rys. 3). Jednocześnie zaobserwowano niewielkie zmniejszenie liczby kropeł o najmniejszych średnicach. Widmo rozkładu średnic oleju w uzyskanych emulsjach rozszerza się wraz ze wzrostem stężenia oleju w emulsji. Natomiast wzrost natężenia przepływu emulsji przy stałym stężeniu fazy olejowej powoduje zwiększenie liczby kropeł o najmniejszych średnicach i zmniejszenie liczby kropeł o największych rozmiarach (Rys. 4).

Jednorodność zbioru kropeł można scharakteryzować przez średnice, które oznaczają, że 10%, 50% lub 90% objętości fazy rozproszonej składa się odpowiednio z kropeł o średnicach mniejszych od $D_{0,1}$, $D_{0,5}$ i $D_{0,9}$. Drugą ze średnic jest mediana, która jest wartością środkową zbioru kropeł dzielącą go na dwie objętościowo równe części.

Analiza uzyskanych obrazów wykazała, że charakterystyczne dla rozkładów średnic kropeł średnice $D_{0,1}$, $D_{0,5}$ i $D_{0,9}$ [Lefebvre, 1989] zależą od składu wytwarzanej emulsji oraz od natężeń przepływu faz. Generalnie ich wartości (Tab. 1) wzrastają ze wzrostem stężenia oleju w emulsji oraz maleją ze wzrostem sumarycznego natężenia przepływu wody i oleju.



Rys. 3. Histogramy średnic kropelek w emulsjach dla natężenia przepływu emulsji $1,39 \cdot 10^{-5} \text{ [m}^3/\text{s]}$

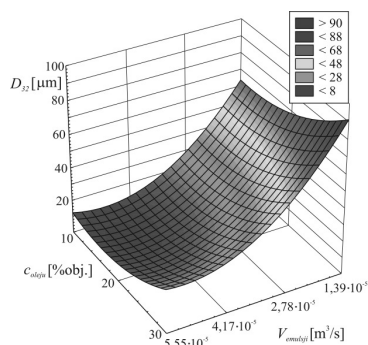


Rys. 4. Histogramy średnic kropelek w emulsjach o stężeniu fazy olejowej 20% dla wybranych natężeń przepływu wytwarzanej emulsji

Tab. 1. Wybrane wielkości kropelek wytworzonych emulsji

| c_{oleju} [%obj.] | $V_{emulsji}$ [m^3/s] | $D_{0,1}$ [μm] | $D_{0,5}$ [μm] | $D_{0,9}$ [μm] | D_{32} [μm] |
|---------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 10 | $1,39 \cdot 10^{-6}$ | 35 | 75 | 145 | 65 |
| | $2,08 \cdot 10^{-5}$ | 30 | 70 | 130 | 50 |
| | $2,78 \cdot 10^{-5}$ | 15 | 50 | 110 | 15 |
| 20 | $1,39 \cdot 10^{-6}$ | 35 | 120 | 220 | 80 |
| | $2,08 \cdot 10^{-5}$ | 30 | 65 | 120 | 45 |
| | $2,78 \cdot 10^{-5}$ | 20 | 60 | 120 | 18 |
| 30 | $1,39 \cdot 10^{-6}$ | 40 | 210 | 420 | 90 |
| | $2,08 \cdot 10^{-5}$ | 40 | 80 | 140 | 60 |
| | $2,78 \cdot 10^{-5}$ | 35 | 75 | 130 | 50 |

Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem stężenia oleju w emulsji średnia średnica kropli D_{32} wzrasta, co jest odzwierciedleniem uzyskanych histogramów średnic kropelek. Badania wykazały, że wzrost natężenia przepływu obu faz (przy zachowaniu stałego stężenia uzyskiwanej emulsji) przyczynia się do wyraźnego zmniejszenia średniej średnicy kropli D_{32} (Rys. 5). Uzyskane wyniki badań potwierdzają wcześniejsze doniesienia literaturowe [Bolszo i in., 2010]. Największy spadek wartości D_{32} jest widoczny dla wzrastającego natężenia przepływu emulsji przy



Rys. 5. Zależność D_{32} od stężenia oleju i natężenia przepływu emulsji

stosunkowo niewielkich natężeniach przepływu. Dla zmiany natężenia przepływu emulsji z $4,17 \cdot 10^{-5}$ do $5,55 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ średnia średnica kropli D_{32} zmienia się nieznacznie.

Ponadto badania wykazały, że przy zadanym (stałym) natężeniu przepływu oleju i wzrastającym natężeniu przepływu wody (przykładowo dla $V_{oleju} = 2,77 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ i wody $V_{wody} = 1,11 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ oraz dla $V_{oleju} = 2,77 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ i wody $V_{wody} = 2,50 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$) średnia średnica kropli zmniejszała się, co mogło być związane z konstrukcją rozpylacza. Dla rozpylaczy wirowych o stożkowej komorze wirowej [Broniarz-Press i in., 2016] wykazano, że wzrost prędkości przepływu wody skutkował wzrostem jednocześnie – liczby kropelek o stosunkowo małych i dużych średnicach.

Podsumowanie i wnioski

Badania wykazały, że możliwe jest wytworzenie emulsji O/W przy użyciu rozpylacza o zaproponowanej konstrukcji z wielootworowym wtryskiwaczem oleju wykorzystującym zjawisko ruchu wirowego.

Histogramy średnic kropelek oleju ulegają rozszerzeniu wraz ze wzrostem stężenia oleju w emulsji przy jednoczesnym przesunięciu się w prawo (w kierunku większych wartości). Wzrost prędkości przepływu emulsji zmniejsza wielkość wytworzonych kropelek oleju. Średnica D_{32} również wzrasta ze wzrostem stężenia oleju w wytwarzanej emulsji.

Proponowane rozwiązanie jest alternatywą dla procesu wytwarzania emulsji w mieszalnikach mechanicznych szczególnie, jeśli w istniejącej instalacji procesowej możliwe jest osiągnięcie odpowiedniego przepływu dwóch faz. Zyskuje się zatem nie tylko na koscie zakupu aparatu (rozpylacz jest tańszy niż mieszalnik), lecz również na zmniejszeniu zużycia energii oraz lepszym wykorzystaniu przestrzeni.

LITERATURA

- Al-Yaari M., Al-Sarkhi A., Husseina I.A., Chang F., Abbad M., (2014). Flow characteristics of surfactant stabilized water-in-oil emulsions. *Chem. Eng. Res. Design* 92, 405-412. DOI:10.1016/j.cherd.2013.09.001
- Bolszo C.D., Narvaez A.A., McDonell V.G., Dunn-Rankin D., Sirignano W.A., (2010). Pressure-swirl atomization of water-in-oil emulsions. *Atom. Sprays*, 12, 1077-1099. DOI: 10.1615/AtomizSpr.v20.i12.50
- 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., Włodarczyk S., Ochowiak M., (2016). Wytwarzanie emulsji w rozpylaczu o stożkowej komorze wirowej. *Inż. Ap. Chem.*, 55(1), 14-15
- 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. Wyd. Pol. Krakowskiej, Kraków
- Lefebvre A.H., (1989). *Atomization and sprays*. Hemisphere Pub. Corp., 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
- 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/DSMK/0622.