

LUBOMIRA BRONIARZ-PRESS  
MAREK OCHOWIAK  
JACEK RÓŻAŃSKI  
SZYMON WOZIWOZKI

Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

# Analiza procesu napowietrzania emulsji podczas rozpylania pneumatycznego

## Wprowadzenie

Emulsją nazywamy układ heterogeniczny, składający się z dwóch niemieszających się ze sobą cieczy, z których jedną stanowi faza ciągła, a drugą fazą rozproszona. Emulsje mogą przyjmować różne formy np. mleczka, kremu, rozpylonej emulsji, mogą również występować w postaci piany (emulsji z pęcherzykami gazu) [1]. Emulsjami są zarówno mleko, majonez, emulsje olejów roślinnych i aromaty, jak również ciecz chłodząca elementy skrawające maszyn i obrabiarek, farby i lakiery, paliwa i oleje opałowe, środki ochrony roślin i nawozy [2]. Rozpylanie emulsji jest procesem szeroko rozpowszechnionym w przemyśle rolno-spożywczym, maszynowym i energetyce [3–6]. Podczas rozpylania pneumatycznego może zachodzić proces dyspergowania gazu w emulsji. Napowietrzanie emulsji jest ważne zarówno z punktu widzenia rozpylania paliw i suszenia rozpryskowego, jak i wykorzystania produktów spożywczych, takich jak bita śmietana czy lody [7]. Mikroskopowo, napowietrzane emulsje mają biały, nieprzezroczysty wygląd i względnie niewielką gęstość, proporcjonalną do ilości pęcherzyków powietrza zawartych w emulsji. Zmiany w strukturze emulsji mogą zachodzić np. pod wpływem ubijania czy też napowietrzania [7, 8].

## Część eksperymentalna i wyniki pomiarów

Przedmiotem niniejszej pracy była wizualizacja i analiza zdjęć przedstawiających emulsje przed i po rozpyleniu w dyszy pneumatycznej. Wizualizację przeprowadzono metodą mikrofotografii cyfrowej z wykorzystaniem mikroskopu *Nikon Eclipse 50i*. Do cyfrowej analizy obrazów wykorzystano programy *MultiScanBase* i *Image Pro Plus*. W badaniach doświadczalnych wykorzystano oleje mineralne (Tabl. 1) dostarczone przez *Instytut Technologii Nafty* z Krakowa. Do wytworzenia emulsji stosowano olej, wodę destylowaną i środek powierzchniowo czynny EMB-2 produkcji *PCC Rokita S.A.* z Brzegu Dolnego. Badania wykonano na stanowisku pomiarowym opisanym szczegółowo w pracy [9] zaopatrzonym w dyszę pneumatyczną (o średnicy wylotowej miesz-

niny gaz-ciecz  $d_0 = 3$  mm i średnicy otworu wylotowego cieczy  $d_w = 1,65$  mm) przedstawioną na rys. 1.

Charakterystyka olejów

Tablica 1

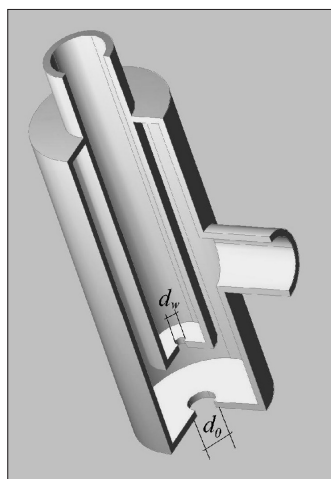
Olej	Lepkość $\eta$ [Pa·s]	Gęstość $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
20–30	$26,4 \cdot 10^{-3}$	866
20–50	$42,8 \cdot 10^{-3}$	866
20–70	$59,9 \cdot 10^{-3}$	865
20–90	$77,7 \cdot 10^{-3}$	869

Na rys. 2 przedstawiono przykładowe zdjęcia emulsji powstałych na bazie olejów 20–30 i 20–90. Wyniki analizy obrazów mikroskopowych wykazały, że powstałe emulsje są układami monodispersyjnymi. W tablicy 2 przykładowo przedstawiono średnice kropli i pęcherzyków powietrza zatrzymanych w emulsji. Średnią objętościowo-powierzchniową średnicę kropli cieczy rozproszonej ( $d_{32}$ ) opisuje równanie [3, 5, 6]:

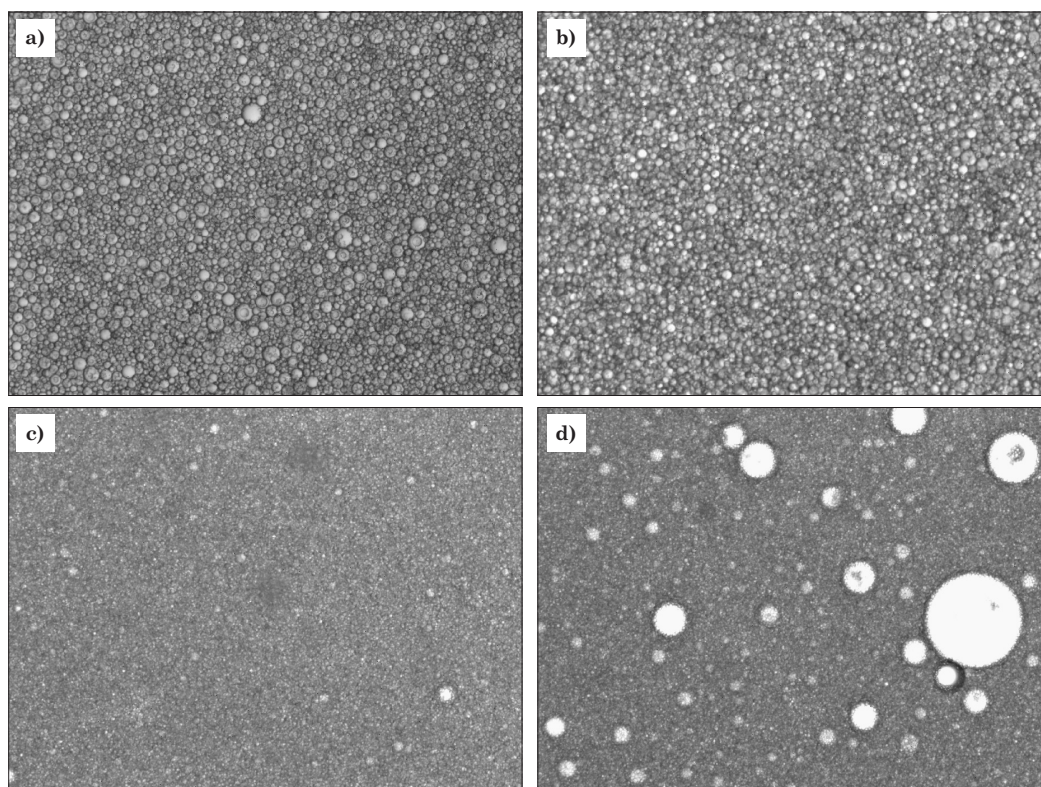
$$d_{32} = \frac{\sum D^3 \Delta n}{\sum D^2 \Delta n} \quad (1)$$

Bardzo ważny z punktu widzenia tworzącej się struktury emulsji jest czas jej wytwarzania (mieszania). Zaobserwowano zmniejszanie się średnic kropli fazy rozproszonej w czasie. Wielkość kropli osiągała stałą wartość po czasie mieszania równym 40 minut. Taką wartość czasu mieszania przyjmowano jako minimalny czas wytwarzania emulsji, w której wielkość kropli fazy rozproszonej jest „stabilna” i nie ulega dalszemu zmniejszeniu.

Badania wykazały, że proces rozpylania praktycznie nie wpływa na wielkość kropli fazy rozproszonej, jeśli krople fazy rozproszonej mają niewielkie średnice w porównaniu z wielkością kropli rozpylonej cieczy oraz średnicą dyszy (Rys. 3a). W innym przypadku rozpylanie może prowadzić do zmniejszenia kropli fazy rozproszonej. Możliwe jest napowietrzanie cieczy z wykorzystaniem dyszy pneumatycznych (Rys. 3b). Badania wykazały, że emulsje na bazie olejów o większej lepkości mogą lepiej wchłaniać (zatrzymywać) powietrze. Może to być związane z ich większą lepkością, przez co pęcherzyki powietrza trudniej się poruszają i w efekcie pozostają w emulsji. Obserwowane pęcherzyki powietrza miały różne rozmiary, przeważnie od 20 do 50  $\mu\text{m}$ . Jednak obserwowano również pęcherzyki powietrza o średnicach dochodzących do 250  $\mu\text{m}$ . Dla porównania pęcherzyki powietrza w lodach mają rozmiary od 50 do 100  $\mu\text{m}$  [7, 10]. Wielkość pęcherzyków powietrza zależy od udziału objętościowego oleju w emulsji. Im



Rys. 1. Konstrukcja badanej dyszy pneumatycznej



Rys. 2. Przykładowe zdjęcia mikroskopowe emulsji: a) emulsja 20-30  $\phi = 0,2$ ; b) emulsja 20-30  $\phi = 0,2$  po rozpyleniu; c) emulsja 20-90  $\phi = 0,4$ ; d) emulsja 20-90  $\phi = 0,4$  po rozpyleniu

Tablica 2

Średnie średnice objętościowo-powierzchniowe kroplel oraz pęcherzyków powietrza zatrzymanych w emulsji

Emulsja	Ciecz rozproszona		Powietrze	
	$d_{32}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$d_{min}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$d_{max}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$d_{sr}$ [ $\mu\text{m}$ ]
20-30 $\phi = 0,2$ po czasie mieszania $t = 40$ min	15	-	-	-
20-90 $\phi = 0,2$ po czasie mieszania $t = 40$ min	15	20	90	40
20-90 $\phi = 0,4$ po czasie mieszania $t = 40$ min	6	20	100	50
20-90 $\phi = 0,6$ po czasie mieszania $t = 40$ min	6	30	140	80
20-90 $\phi = 0,8$ po czasie mieszania $t = 40$ min	6	70	250	200
20-90 $\phi = 0,8$ po czasie mieszania $t = 1$ min	16	-	-	-
20-90 $\phi = 0,8$ po czasie mieszania $t = 15$ min	11	-	-	-
20-90 $\phi = 0,8$ po czasie mieszania $t = 20$ min	7	-	-	-

większa jest jego zawartość tym średnice pęcherzyków powietrza są większe. Dla układów o niewielkim udziale objętościowym oleju i stosunkowo niewielkiej lepkości praktycznie nie obserwowano pęcherzyków powietrza, co jednak nie oznacza, że ciecz nie mogła zostać napowietrzona. Tlen zawarty w powietrzu mógł rozpuścić się w wodzie, a pęcherzyki powietrza w emulsji mogły bardzo szybko pękać, przez co nie można było zaobserwować ich optycznie.

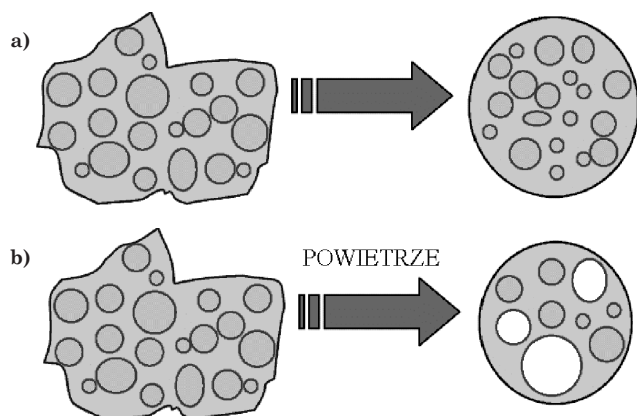
### Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że proces rozpylania praktycznie nie wpływa na wielkość kroplel fazy rozproszonej. Jest to efekt stosunkowo dużych średnic otworów dyszy w porównaniu ze średnicą kroplel fazy rozproszonej. Istotny wpływ ma czas wytwarzania emulsji w mieszalniku. Wykazano, że możliwe jest napowietrzanie cieczy z wykorzystaniem dyszy pneumatycznych, przy czym średnice pęcherzyków powietrza zawierają się w przedziale od 20 do 250  $\mu\text{m}$  i zależą od rodzaju napowietrzanej emulsji.

*Praca wykonana w ramach grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N207 043 31/1786 dla Politechniki Poznańskiej.*

### LITERATURA

1. R. Zieliński: Surfaktanty towaroznawcze i ekologiczne aspekty ich stosowania, Poznań, Akademia Ekonomiczna, 2000.
2. L. Broniarz-Press, D. Dulcka, M. Ochowiak, J. Różański, W. Szaferowski, S. Woźniowiczki: Inż. Ap. Chem. 46, nr 4-5, 13 (2007).
3. A.H. Lefebvre: Atomization and Sprays, New York, Hemisphere P.C., 1989.
4. G.G. Nasr, A.J. Yule, L. Bendig: Industrial Sprays and Atomization. Design, Analysis and Applications, London, Springer, 2002.
5. Z. Orzechowski, J. Prywer: Rozpylanie cieczy, Warszawa, WNT, 1991.
6. Z. Orzechowski, J. Prywer: Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy, Warszawa, WNT, 2008.
7. G.A. Aken: Coll. Surf. 190, 333 (2001).
8. H.D. Goff: J. Dairy Sci. 80, 2620 (1997).
9. L. Broniarz-Press, M. Ochowiak, J. Różański, S. Woźniowiczki: Proc. ILASS '2008, Como Lake, P-3 (2008).
10. K.B. Caldwell, H.D. Goff, D.W. Stanley: Food Structure J. 11, 1 (1992).



Rys. 3. Wpływ rozpylania cieczy na średnice kroplel fazy rozproszonej oraz strukturę emulsji a) brak wpływu, b) napowietrzanie emulsji