

Lubomira BRONIARZ-PRESS, Daniela DULSKA

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

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

## Spływ filmowy emulsji typu O/W po powierzchni płaskiej

### Wprowadzenie

Spływ filmowy cienkiej warstwy cieczy wykorzystuje się w elementach konstrukcyjnych aparatury procesowej, stosowanej w przemyśle chemicznym, spożywczym, farmaceutycznym, metalurgii czy energetyce atomowej. Ze względu na swój charakter emulsje znajdują szerokie zastosowanie. Nawet nie będąc finalnym produktem, często stanowią półprodukt do dalszego przetwarzania w przemyśle. Wykorzystywane są między innymi w przemyśle petrochemicznym, spożywczym, tekstylnym, farmaceutycznym oraz kosmetycznym. W tym ostatnim stanowią nośniki do kontrolowanego uwalniania substancji aktywnych. Emulsje wykorzystuje się również do tworzenia homogenicznych preparatów zawierających substancje wzajemnie nierozpuszczalne. Przykładowo farba, której bazę stanowi woda, zawiera stosunkowo niewielkie krople emulgatora farb olejnych w fazie wodnej. Umożliwia to użycie bardziej skoncentrowanego preparatu zamiast rozpuszczalników. Takie rozwiązanie pozwala na obniżenie kosztów preparatu [1].

W przypadku spływu filmowego emulsji oraz czystego oleju należy wziąć pod uwagę możliwość występowania sił adhezji [2]. W niektórych przypadkach jest to zjawisko pożądane, gdyż pozwala stworzyć powłokę olejową na materiale, co może znaleźć zastosowanie w przemyśle kosmetycznym (odżywkę), produkcji środków chroniących powierzchnie oraz pestycydów. W przypadku emulsji „olej w wodzie” (O/W) osadzanie części olejowej na powłoce hydrofobowej jest znacznie utrudnione, gdy jej stabilność utrzymywana jest na wysokim poziomie. Mimo szerokiego zastosowania emulsji w wielu dziedzinach przemysłu oraz wykorzystania zjawiska spływu filmowego cieczy w procesach wymiany, istnieje niewiele prac opisujących to zagadnienie.

Celem pracy było zbadanie hydrodynamiki spływu filmowego emulsji typu O/W.

### Metodyka badań i dyskusja wyników

Badania doświadczalne przeprowadzono na stanowisku pomiarowym, którego głównym elementem była płyta wykonana ze szkła organicznego, o długości 1,25 m i szerokości 0,24 m, o nachyleniu względem poziomu  $\theta = 19^\circ$ . W pracy przedstawiono wyniki analizy hydrodynamiki spływu filmowego wody, oleju roślinnego (*Kujawski*) oraz emulsji typu O/W o różnych zawartościach objętościowych  $\varphi$  oleju w wodzie (0,111; 0,25; 0,428; 0,666), gdzie  $\varphi$  zdefiniowano zależnością (1)

$$\varphi = \frac{V_o}{V_w} \quad (1)$$

Tab. 1. Charakterystyka badanych układów

Badany układ cieczy	Udział objętościowy fazy olejowej w emulsji $\varphi$	$\eta$ [Pa·s]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\delta_{e,\theta} \cdot 10^5$
woda	0	0,0010004	998,2	6,80
emulsja I	0,111	0,001303	989,3	8,16
emulsja II	0,250	0,001808	978,1	10,23
emulsja III	0,429	0,002818	963,8	13,89
emulsja IV	0,667	0,005847	944,7	22,89
olej	1	0,018	918	49,41

Badania wykonywano w temperaturze  $T = 293 \pm 0,1$  K. Właściwości fizykochemiczne badanych płynów przedstawiono w tab. 1.

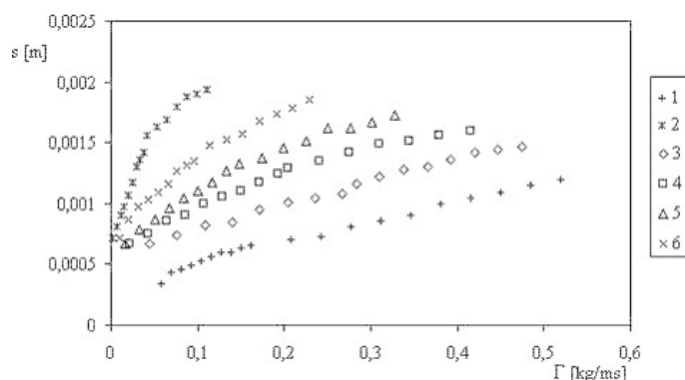
Praca obejmowała analizę średniej grubości filmu emulsji w zależności od natężenia zraszania powierzchni oraz średniej zredukowanej grubości filmu  $s_r$  od liczby *Reynoldsa*  $Re_e$ . Lepkość emulsji  $\eta_e$ , przy założeniu jej newtonowskiego charakteru, wyznaczono z zależności *Vermuelena* [3],

$$\eta_e = \frac{\eta_w}{1-\varphi} \left( 1 + \frac{1,5\varphi\eta_e}{\eta_w + \eta_o} \right), \quad (2)$$

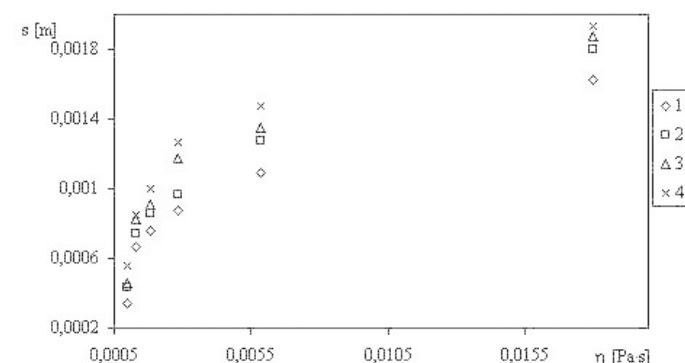
a gęstość badanych układów ze wzoru [4]

$$\rho_e = \varphi\rho_o + (1-\varphi)\rho_w. \quad (3)$$

Na podstawie pomiarów średniej grubości spływających warstw emulsji metodą odcinania *Classena* [5], stwierdzono wzrost jej wartości nie tylko ze wzrostem natężenia zraszania powierzchni, lecz również ze wzrostem udziału objętościowego fazy olejowej (Rys. 1), a więc ze wzrostem lepkości układu (Rys. 2).



Rys. 1. Zmiany wartości średniej grubości filmu w zależności od natężenia zraszania: 1 – woda; 2 – olej; 3 – emulsja  $\varphi = 0,111$ ; 4 – emulsja  $\varphi = 0,250$ ; 5 – emulsja  $\varphi = 0,469$ ; 6 – emulsja  $\varphi = 0,667$



Rys. 2. Wpływ lepkości badanego układu na średnią grubość filmu dla stałych wartości natężenia zraszania powierzchni: 1 –  $\Gamma = 0,05$  [kg/m<sup>2</sup>s]; 2 –  $\Gamma = 0,07$  [kg/m<sup>2</sup>s]; 3 –  $\Gamma = 0,08$  [kg/m<sup>2</sup>s]; 4 –  $\Gamma = 0,11$  [kg/m<sup>2</sup>s]

Z punktu widzenia analizy porównawczej hydrodynamiki spływu filmowego różnych cieczy większe znaczenie ma zależność zredukowanej grubości filmu uwzględniająca w swej definicji kąt nachylenia powierzchni względem poziomu oraz właściwości fizykochemiczne analizowanych układów od liczby *Reynoldsa*

$$s_r = \frac{S}{\delta_{e,\theta}} = C \cdot Re_e^A \quad (4)$$

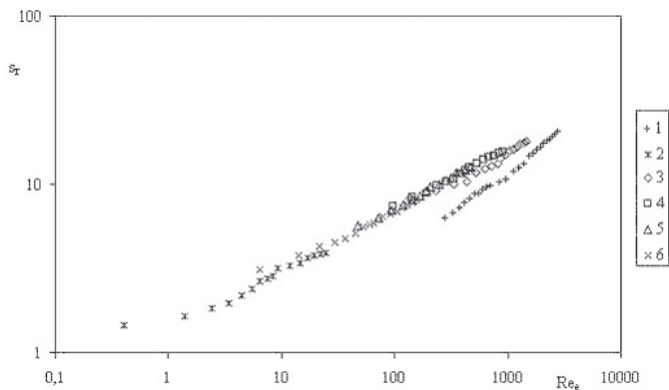
gdzie

$$\delta_e = \sqrt[3]{\frac{\eta^2}{g \sin(\theta) \rho^2}} \quad (5)$$

$$Re_e = \frac{4\Gamma}{\eta} \quad (6)$$

Z obrazu przedstawionego na rys. 3 wynika, że przy tych samych wartościach liczby *Reynoldsa*, dla emulsji o różnych udziałach objętościowych oraz dla czystego oleju, uzyskano porównywalne wartości średniej zredukowanej grubości filmu cieczy, znacznie większe niż charakterystycznego dla wody.

Z uzyskanych danych pomiarowych wyznaczono, zależności korelacyjne osobne dla wody oraz wspólne dla emulsji i oleju, co pokazano w tab. 2.



Rys. 3. Porównanie wartości zredukowanej grubości filmu emulsji od zmodyfikowanej liczby *Reynoldsa*: 1 – woda; 2 – olej; 3 – emulsja  $\varphi = 0,111$ ; 4 – emulsja  $\varphi = 0,250$ ; 5 – emulsja  $\varphi = 0,469$ ; 6 – emulsja  $\varphi = 0,667$

Tab. 2. Zestawienie wyników analizy matematycznej opisującej średnią zredukowaną grubość filmu badanych układów

Badany układ cieczy	Równanie postaci: $s_r = C \cdot Re_e^A$	Zakres słuszności $Re_e$
woda	$s_r = 0,7292 Re_e^{0,39}$	280–1012
	$s_r = 0,1591 Re_e^{0,61}$	1012–2800
emulsje + olej	$s_r = 1,3796 Re_e^{0,35}$	1–1000
	$s_r = 0,8158 Re_e^{0,42}$	1000–1500

Porównano uzyskane wyniki z uśrednionymi danymi literaturowymi [5] przedstawionymi zależnościami:

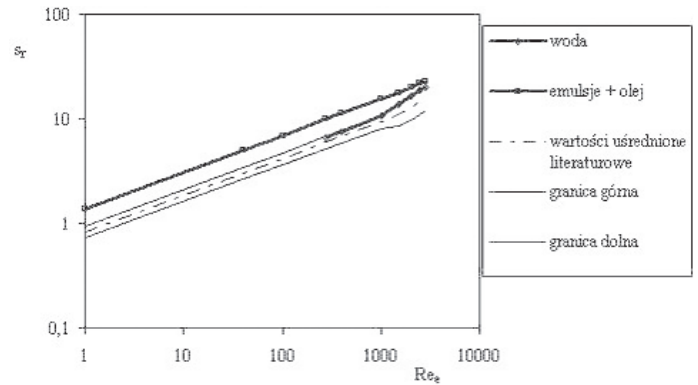
– dla  $Re_e < 1230$

$$s_{r,m} = 0,8326 Re_e^{0,35} \pm 13,2\% \quad (7)$$

– dla  $Re_e > 1230$

$$s_{r,m} = 0,2485 Re_e^{0,52} \pm 24,1\% \quad (8)$$

W przypadku wody stwierdzono zgodność wyników, zarówno w zakresie splywu o charakterze przejściowym, jak i burzliwym (Rys. 4).



Rys. 4. Porównanie uzyskanych wyników z danymi literaturowymi opisanymi zależnościami (7) i (8)

W przypadku emulsji i oleju zredukowane grubości filmu są większe od literaturowych dla czystych cieczy o 48,2% w zakresach laminarnym, pseudolaminarnym i przejściowym oraz o 31,7% w obszarze splywu o charakterze burzliwym. Zaobserwowane odstępstwa dla emulsji i oleju mogą potwierdzać sugestie literaturowe [2] odnośnie występowania zjawiska adhezji na płycie wykonanej z tworzywa o właściwościach hydrofobowych (szkło organiczne).

## Wnioski

Średnia grubość splywającego po powierzchni gładkiej filmu emulsji uzależniona jest od udziału objętościowego fazy olejowej do fazy wodnej oraz od jej właściwości fizykochemicznych. Wartości średnich grubości splywających warstw emulsji wzrastają wraz ze wzrostem jej lepkości.

Wartości średniej zredukowanej grubości filmu dla emulsji oraz oleju w zakresie wartości liczby *Reynoldsa*  $Re_e \in (1; 1500)$  wykazują dość znaczne odstępstwa od uśrednionych danych literaturowych dla czystych cieczy, co może potwierdzać występowanie zjawiska adhezji na hydrofobowej powierzchni, po której splywa film cieczy.

## LITERATURA

- [1] R. Pal, P. Beche: Encyclopedia of Emulsion Technology, 4, Marcel Dekker, New York 1996.
- [2] W. Essafi, K. Wong, J. Bibette: J. Coll. Int. Sci., 286, 730 (2005).
- [3] T. Vermuelen, G.M. Williams, G.E. Langlois: Chem. Eng. Sci., 51, 85F (1995).
- [4] J. Kamiński: Mieszanie układów wielofazowych. WNT, Warszawa 2004.
- [5] L. Broniarz-Press, Hydrodynamika splywu filmowego cieczy i zjawiska przenoszenia w aparatach warstewkowych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.