

LUBOMIRA BRONIARZ-PRESS  
SYLWIA RÓŻAŃSKA  
JACEK RÓŻAŃSKI

Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

# Czas mieszania w micelarnych roztworach środków powierzchniowo czynnych dla mieszadeł turbinowych

## Wprowadzenie

Lepkosprężyste roztwory kationowych środków powierzchniowo czynnych, w których tworzą się micelle ślimakowe znajdują zastosowanie nie tylko jako dodatki płynne przy wydobyciu ropy naftowej i redukcji oporów przepływu [1], lecz także jako środki zagęszczające i płyny modelowe w procesach biotechnologii [2] oraz w przemyśle kosmetycznym jako układy nadające produktom odpowiednie właściwości organoleptyczne (np. przy produkcji szamponów i żelów do mycia ciała). Celem prezentowanej pracy jest charakterystyka czasu mieszania w roztworach środków powierzchniowo czynnych, w których powstają długie pręcikowe struktury micelarne zwane micelami ślimakowymi, dla różnych konstrukcji mieszadeł turbinowych. W większości prac [3, 4] czas mieszania  $t_m$  przedstawiany jest w postaci zależności od współczynnika rozpraszania energii:

$$\varepsilon = \frac{P}{\rho V} \quad (1)$$

oraz od liczby *Reynoldsa*, która dla płynów newtonowskich przyjmuje postać:

$$Re = \frac{n d^2 \rho}{\eta} \quad (2)$$

Do korelacji danych doświadczalnych wygodne jest także stosowanie tak zwanej liczby przemieszania [5]:

$$t_m n = \text{const} \quad (3)$$

## Część doświadczalna

Głównym elementem stanowiska badawczego były zbiorniki cylindryczne o średnicach  $D_w = 0,19$  m i  $D_w = 0,29$  m. Pomiaru wykonywano dla następujących parametrów geometrycznych układu:  $H = D = 1$ ,  $h/D = 1/3$  i  $b/D = 1/10$ . Mieszalniki wyposażone były w mieszadła turbinowe: turbinę *Rushtona* (RT) oraz mieszadła turbinowe z łopatkami pochylonymi pod kątami  $\beta = 45^\circ$  (PBTU) i  $135^\circ$  (PBTD). W badaniach do oceny czasu mieszania zastosowano odmianę metody optycznej opartą o analizę cyfrową filmów. Wykorzystano dwa kationowe środki powierzchniowo czynne: bromek tetracylotrimetyloamoniowy (TTAB) ( $u_s = 2 \cdot 10^{-4}$ ;  $3 \cdot 10^{-4}$  i  $6 \cdot 10^{-4}$  [kg<sub>s</sub>/kg]) oraz chlorek heksadecylotrimetyloamoniowy (HTAC) ( $u_s = 3 \cdot 10^{-4}$  i  $6 \cdot 10^{-4}$  [kg<sub>s</sub>/kg]). Jako dodatek wspomagający proces asocjacji micelarnej zastosowano salicylan sodu (NaSal). Stosunek molowy surfaktanta do salicylanu sodu wynosił 1.

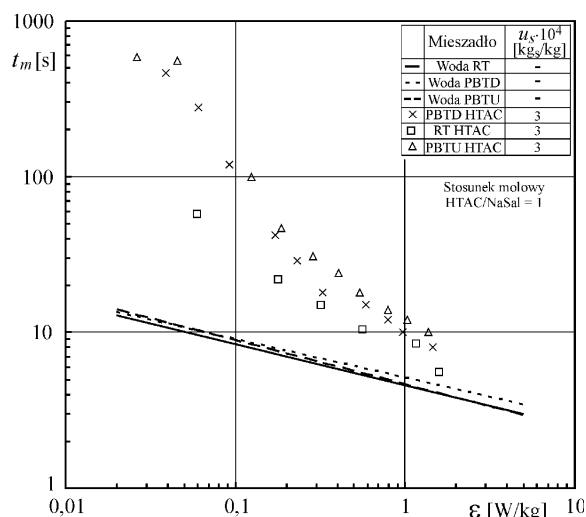
W literaturze przedmiotu podane są wartości krytycznych stężeń micelizacji dla roztworów HTAC i TTAB w wodzie lub w roztworze wodnym soli (NaCl, NaBr), brak jest natomiast

danych dla układów HTAC/NaSal i TTAB/NaSal. Z przeprowadzonych badań własnych nad redukcją oporów przepływu w rurach wynika, że dolna granica stężenia SPC, powyżej którego to zjawisko występuje wynosi dla roztworu TTAB/NaSal  $u_s = 9 \cdot 10^{-5}$  [kg<sub>s</sub>/kg], natomiast dla HTAC/NaSal  $u_s = 5 \cdot 10^{-5}$  [kg<sub>s</sub>/kg]. Ponieważ warunkiem koniecznym wystąpienia redukcji oporów przepływu w rurach jest powstanie miceli ślimakowych [2], uznano, że powyżej przytoczonych wartości stężeń w roztworze powstają takie struktury. Dla układu HTAC/NaSal o stężeniu surfaktanta  $u_s = 2 \cdot 10^{-4}$  [kg<sub>s</sub>/kg] i wyższym obecność długich struktur micelarnych została także potwierdzona badaniami przeprowadzonymi przez *Myskę* i współpracowników [6].

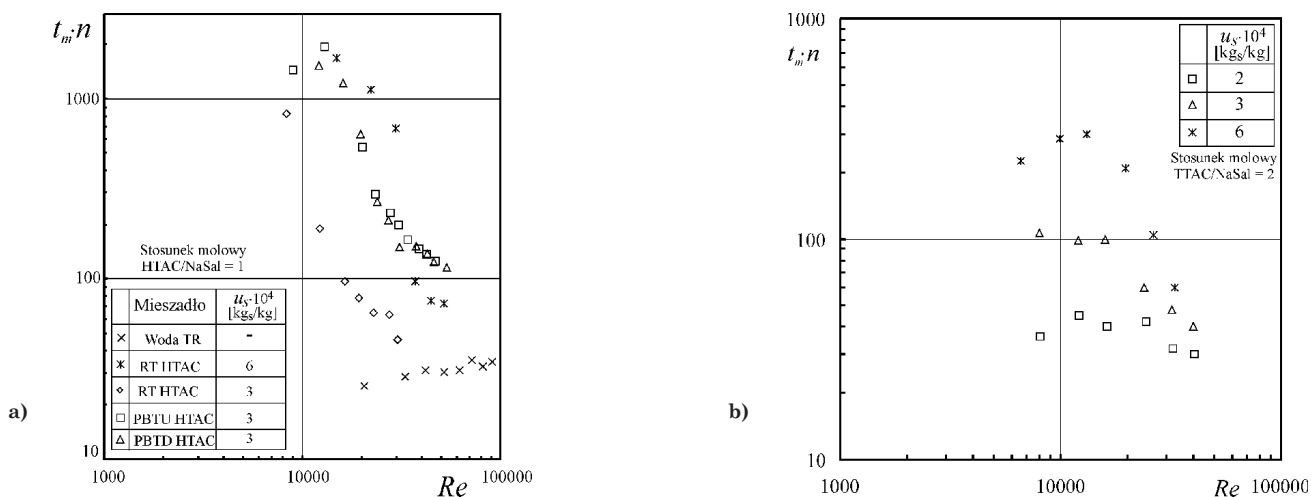
## Wyniki badań

Na rys. 1 przedstawiono przykładowe zależności  $t_m = f(\varepsilon)$  dla roztworu HTAC/NaSal o stężeniu  $u_s = 3 \cdot 10^{-4}$  [kg<sub>s</sub>/kg]. Z przebiegu punktów doświadczalnych wynika, że w przypadku mieszania układów micelarnych następuje gwałtowny wzrost czasu mieszania w stosunku do czystej wody. Wzrost ten jest większy dla mieszadeł z łopatkami pochylonymi pod kątami  $45^\circ$  i  $135^\circ$  niż dla standardowego mieszadła turbinowego *Rushtona*.

Wzrost czasu mieszania w przypadku roztworów HTAC/NaSal i TTAB/NaSal jest najprawdopodobniej związany z powstaniem w roztworze długich miceli ślimakowych, które ulegają wzajemnemu splątaniu, wynikiem czego jest wytworzenie się przestrzennej sieci micelarnej [7]. Takie roztwory charakteryzują się właściwościami lepkościowymi [8], przy



Rys. 1. Zależność czasu mieszania od współczynnika rozpraszania energii dla roztworu HTAC/NaSal o stężeniu surfaktanta  $u_s = 3 \cdot 10^{-4}$  [kg<sub>s</sub>/kg] ( $D_w = 0,29$  m)

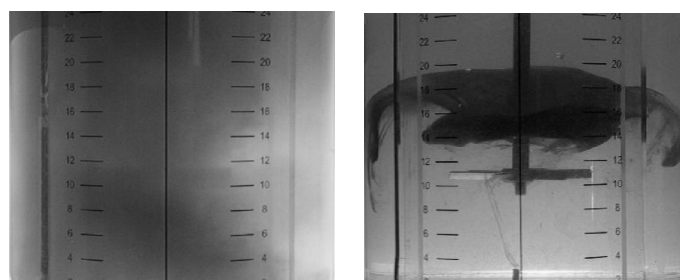
Rys. 2. Zależność bezwymiarowej liczby mieszania  $t_m n$  od liczby Reynoldsa  $Re$ : a) roztwór HTAC/NaSal, b) roztwór TTAB/NaSal

czym wzrost ich lepkości w stosunku do lepkości czystego rozpuszczalnika jest dość niewielki (dla roztworu HTAC/NaSal o stężeniu surfaktanta  $u_s = 3 \cdot 10^{-4}$  [kg<sub>s</sub>/kg] lepkość określona przy użyciu wiskozymetru *Ubbelohde'a* wynosiła 2,7 mPa · s).

Z badań nad przepływem roztworów micelarnych w rurach prostych wynika, że struktura micelarna prowadzi do tłumienia wirów turbulentnych, co objawia się obniżeniem oporów przepływów w zakresie burzliwym [9]. Podobnie można wyjaśnić zaobserwowane zmiany w czasie mieszania roztworów micelarnych w stosunku do czystego rozpuszczalnika. Wytworzona w roztworze sieć micelarna powoduje tłumienie wirów w objętości mieszalnika i zakłóca rozpad dużych struktur wirowych, co prowadzi do wydłużenia czasu mieszania. Wzrost prędkości obrotowej mieszadła powoduje jednocześnie wzrost naprężeń, które odpowiadają za rozpad struktury wytworzonej przez micelle ślimakowe. Rozbicie struktury micelarniej prowadzi do wzrostu burzliwości przepływu w mieszalniku i zbliżenia się wartości czasu mieszania w roztworze SPC do wartości uzyskanej w wodzie.

Potwierdzeniem podanego mechanizmu zmian w czasie mieszania dla roztworów micelarnych są dane przedstawiane na rys. 2 w postaci zależności  $t_m n = f(Re)$ . Wartość  $t_m n$  dla płynów newtonowskich jest w zakresie przepływu burzliwego niezależna od wartości liczby Reynoldsa. Zupełnie odmienny charakter ma zależność  $t_m n = f(Re)$  dla roztworów HTAC/NaSal i TTAB/NaSal, obserwuje się gwałtowny spadek bezwymiarowego czasu mieszania ze wzrostem liczby Reynoldsa dla wszystkich mieszadeł zastosowanych w badaniach.

W trakcie pomiarów czasu mieszania w zakresie częstości obrotowych od 2–3,5 [s<sup>-1</sup>] zaobserwowano także, że warstwa roztworu surfaktanta o grubości od 3 do 7 mm przy zwierciadle cieczy nawet po okresie około 1000 s nie ulegała zabarwieniu. Ta martwa strefa zanikała przy najniższych obrotach w przypadku turbiny *Rushtona* i przy najwyższych obrotach dla mieszadła pompującego ciecz w dół (PBDT). Na rys. 3 przedstawiono zdjęcia obrazujące rozkład barwnika w obszarze zawieszenia mieszadła. Wyraźnie jest widoczne, że czysta woda została praktycznie równomiernie zabarwiona. W roztworach micelarnych SPC można zaobserwować wyraźną granicę między barwnikiem a czystym roztworem i powstawanie struktur pasmowych. Obserwacje wizualne potwierdzają różnice w zachowaniu się cieczy newtonowskich i micelarnych roztworów środków powierzchniowo czynnych.

Rys. 3. Porównanie obrazów rozkładu barwnika w obszarze mieszalnika po 2 s od momentu wstrzyknięcia wskaźnika dla prędkości obrotowej  $n = 3$  [s<sup>-1</sup>] dla roztworu: a) woda destylowana RT, b) HTAC/NaSal  $u_s = 3 \cdot 10^{-4}$  [kg<sub>s</sub>/kg], PBTU

### Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika, iż w przypadku mieszania roztworów micelarnych następuje gwałtowny wzrost czasu mieszania w stosunku do czystego rozpuszczalnika. Jest to najprawdopodobniej związane z powstaniem w roztworze długich miceli ślimakowych, które powodują zmiany w strukturze przepływu turbulentnego w mieszalniku.

### Oznaczenia

- $D$  – średnica zbiornika, [m]
- $H$  – wysokość cieczy w zbiorniku, [m]
- $P$  – moc mieszania, [W]
- $d$  – średnica mieszadła, [m]
- $h$  – wysokość zawieszenia mieszadła, [m]
- $n$  – prędkość obrotowa mieszadła, [s<sup>-1</sup>]
- $u_s$  – udział masowy surfaktanta, [kg<sub>s</sub>/kg]
- $\varepsilon$  – współczynnik rozpraszania energii, [W/kg]

### LITERATURA

1. J. Yang: Curr. Opinion Coll. Int. Sci. **7**, 276 (2002).
2. S. Ezrahi, E. Tuval, A. Aserin: Adv. Coll. Int. Sci. **128-130**, 77 (2006).
3. S. Ruszkowski: Proc. 8<sup>th</sup> European Conference on Mixing, Cambridge (UK), 283 (1994).
4. J. Szoplik, J. Karcz: Chem. Pap. **59**, nr 6a, 373 (2005).
5. F. Stręk: Warszawa, WNT, 1981.
6. J. Myska et al.: J. Non-Newton. Fluid Mech. **97**, 251 (2001).
7. L. Broniarz-Press, S. Różańska, J. Różański: Inż. Chem. Proc. **28**, nr 3, 591 (2007).
8. Y. Qi, J. L. Zakin: Ind. Eng. Chem. Res. **41**, 6326 (2002).
9. L. Broniarz-Press, J. Różański, S. Różańska: Rev. Chem. Eng. **23**, nr 3-4, 149 (2007).