

JACEK RÓŻAŃSKI  
LUBOMIRA BRONIARZ-PRESS  
SYLWIA RÓŻAŃSKA

Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

# Wpływ twardości wody na redukcję oporów przepływu wywołaną dodatkiem chlorku heksadecylotrimetyloamoniowego

## Wprowadzenie

Dodatek środka powierzchniowo czynnego do cieczy może wywołać obniżenie oporów przepływów turbulentnych. Układy takie mogą zostać wykorzystane do obniżenia kosztów transportu hydraulicznego cieczy, w szczególności w zamkniętych układach centralnego ogrzewania. Do środków powierzchniowo czynnych (SPC) wywołujących zjawisko redukcji oporów przepływu można zaliczyć przykładowo mydła, czwartorzędowe sole amoniowe i amfoteryczne środki powierzchniowo czynne typu betain.

Warunkiem koniecznym wystąpienia redukcji oporów przepływu jest powstanie w roztworze długich pręcikowych asocjatów micelarnych, zwanych micelami nitkowymi lub ślimakowymi. Na kształt i rozmiar powstających w roztworze asocjatów micelarnych wpływa wiele czynników, między innymi temperatura, pH, stężenie soli z jonem wspólnym, a także obecność innych soli w roztworze, w tym także wywołujących twardość wody. Poszczególne grupy SPC są w różnym stopniu odporne na jony wywołujące twardość wody [1–3]. Na przykład mydła tworzą nierozpuszczalne sole z kationami wapnia i magnezu.

Większość opublikowanych do tej pory prac koncentrowała się nad wpływem jonów wody twardej na właściwości reologiczne roztworów surfaktantów. W pracach [1–3] wykazano, że jony wywołujące twardość wody nieznacznie wpływają na właściwości reologiczne kationowych SPC, natomiast surfaktanty produkowane na bazie betain są stosunkowo mało odporne [3]. Tylko w pracy *Myski* i współpracowników [3] przedstawiono pojedynczy wykres określający wpływ soli na redukcję oporów przepływu. Celem tej pracy jest przedstawienie wpływu twardości wody nie tylko na właściwości reologiczne roztworów surfaktantów, ale także bezpośrednio na zjawisko redukcji oporów przepływu.

## Część doświadczalna

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych nad wpływem soli wywołujących twardość wody, takich jak:  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ , na zjawisko redukcji oporów przepływu wywołane przez dodatek mieszaniny chlorku heksadecylotrimetyloamoniowego (HTAC) i salicylanu sodu (NaSal). W badaniach zastosowano układ o stężeniu surfaktanta 0,03% i stosunku molowym HTAC:NaSal równym 1:1. Wszystkie testy wykonano w rurze o średnicy wewnętrznej  $d_w = 1,6 \cdot 10^{-2}$  m i długości 4 m w temperaturze 30°C. Badania reologiczne przeprowadzono przy użyciu reometru

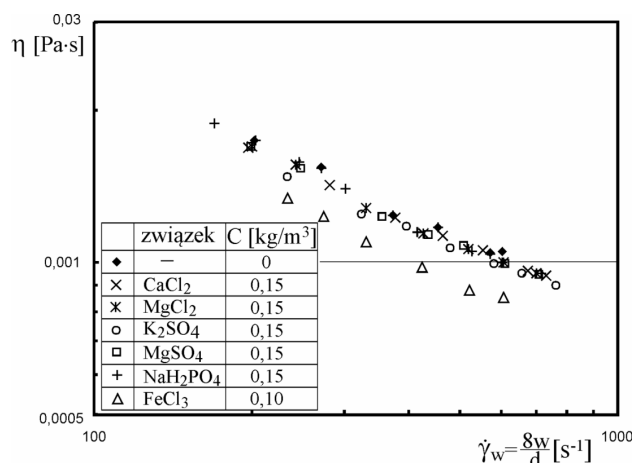
rurowego z wykorzystaniem rury o średnicy wewnętrznej  $4 \cdot 10^{-3}$  m. Stężenia soli dobrano na podstawie norm określających jakość wody do układów centralnego ogrzewania (PN-85/C-04601, PN-93/C-04607).

Wyniki badań opracowano w formie zależności współczynnika oporu przepływu  $\lambda$ , zdefiniowanego równaniem *Darcy-Weisbacha*, od liczby *Reynoldsa*, zaproponowanej przez *Metznera* i *Reeda*. Współczynnik oporu przepływu był także zastępowany parametrem określającym stopień redukcji oporów przepływu:

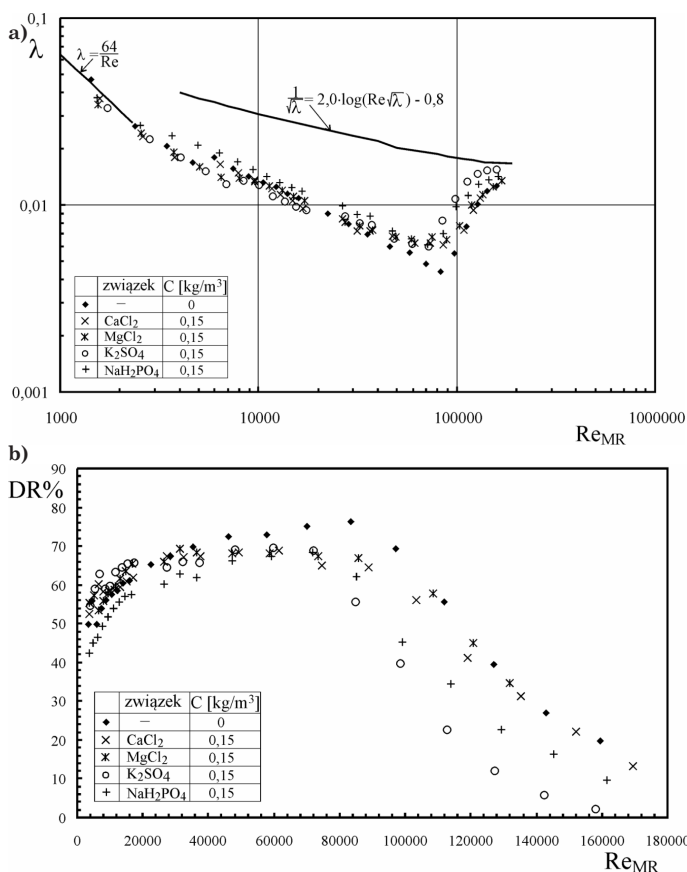
$$DR = \frac{\lambda_{N,t} - \lambda_s}{\lambda_{N,t}} 100 \quad (1)$$

gdzie  $\lambda_{N,t}$  – współczynnik oporu dla przepływu burzliwego płynu newtonowskiego, wyznaczony z równania *Prandtl-Karmana*, a  $\lambda_s$  – współczynnik oporu uzyskany dla roztworów surfaktanta.

Na rys. 1 przedstawiono zależność lepkości nienewtonowskiej  $\eta$  w funkcji przyściennej szybkości ścinania  $\dot{\gamma}_w$  dla wodnego roztworu HTAC/NaSal z dodatkiem soli prostych. W przypadku obecności w roztworze chlorku wapnia, chlorku magnezu, siarczanu VI potasu i kwaśnego fosforanu sodu o stężeniu anionu 0,15 [ $\text{kg/m}^3$ ] można zaobserwować nieznaczne obniżenie lepkości roztworów w stosunku do lepkości roztworu HTAC/NaSal w wodzie destylowanej. Inny obraz zmian lepkości w funkcji szybkości ścinania można zaobserwować po dodaniu do roztworu HTAC/NaSal chlorku żelaza III. Analizowany roztwór nadal zachowuje charakter płynu



Rys. 1. Zależność lepkości w funkcji szybkości ścinania dla układu HTAC/NaSal z dodatkiem różnych soli prostych

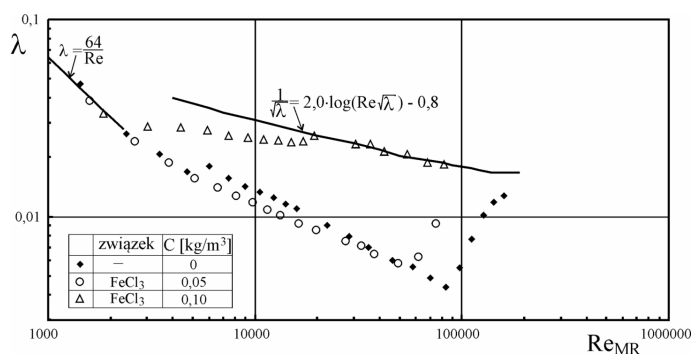


Rys. 2. Wpływ różnych soli wywołujących twardość wody na redukcję oporów przepływu wywołaną przez dodatek HTAC/NaSal: a)  $\lambda = f(Re_{MR})$ ; b)  $DR = f(Re_{MR})$

rozrzedzanego ścinaniem, ale jego lepkość jest zdecydowanie niższa. Przyczyny zaobserwowanych zmian lepkości można wiązać z oddziaływaniem między anionem salicylanowym a kationem żelazowym i tworzeniem przez ten układ nierozpuszczalnej soli.

Podobnie, jak w przypadku właściwości reologicznych, chlorek magnezu, chlorek wapnia, siarczan (VI) potasu i kwaśny fosforan sodu wpływają stosunkowo nieznacznie na redukcję oporów przepływu. Dla CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> i K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> można zaobserwować nieznaczny wzrost redukcji oporów przepływu (2–3%) do wartości liczby Reynoldsa około 28000, a następnie sytuacja ulega odwróceniu i wartość parametru DR obniża się od około 74% dla czystego układu HTAC/NaSal do około 68% w przypadku obecności chlorku magnezu, chlorku wapnia lub siarczanu (VI) potasu. W przypadku dodatku K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> zaobserwowano także obniżenie krytycznej wartości liczby Reynoldsa  $Re_{MR,kr}$ , przy której efekt redukcji zanika do wartości około 71000 (dla układu HTAC/NaSal w czystej wodzie wartość ta wynosiła 83400).

W przypadku dodatku do układu kwaśnego fosforanu sodu o stężeniu anionu 0,15 kg/m<sup>3</sup> w całym zakresie zmienności liczby Reynoldsa można zaobserwować zmniejszenie stopnia



Rys. 3. Wpływ dodatku FeCl<sub>3</sub> na redukcję oporów przepływu wywołaną przez dodatek do wody HTAC/NaSal

redukcji oporów przepływu od 5 do 10% i obniżenie  $Re_{MR,kr}$  do poziomu 72000.

Na rys. 3. przedstawiono porównanie przebiegu zależności  $\lambda = f(Re_{MR})$  dla czystego roztworu HTAC/NaSal i z dodatkiem chlorku żelaza (III) o stężeniu 0,05 i 0,1%. W przypadku dodatku FeCl<sub>3</sub> o stężeniu 0,05% można zaobserwować niewielki wzrost redukcji oporów przepływu i jednocześnie obniżenie krytycznej wartości liczby Reynoldsa do wartości około 49500. Drastyczne zmiany w przebiegu zależności  $\lambda = f(Re_{MR})$  dla roztworu surfaktanta powoduje wzrost stężenia chlorku żelaza (III) do poziomu 0,1%. W tym przypadku obserwujemy jedynie nieznaczną redukcję oporów do wartości liczby Reynoldsa 19300 a następnie całkowity jej zanik. W tym przypadku, jak wcześniej wspomniano, zaobserwowano znaczne obniżenie lepkości roztworu.

### Wnioski

Z uzyskanych danych doświadczalnych wynika, że układ złożony z chlorku heksadecylotrimetyloamoniowego i salicylanu sodu jest stosunkowo odporny na oddziaływanie jonów magnezowych, wapniowych, chlorkowych, siarczanowych i wodorofosforanowych. Charakteryzuje się natomiast niską odpornością na obecność jonów żelaza (III). Z przedstawionych danych wynika również, że znacznemu zmniejszeniu stopnia redukcji oporów przepływu towarzyszy obniżenie lepkości roztworu. Nie można wykorzystać tej zależności przy opisie ilościowym zjawiska, ale można posłużyć się przystępnej ocenie wpływu poszczególnych soli na układ wywołujący redukcję oporów przepływu.

### LITERATURA

1. Y.T. Hu, E.F. Matthys: J. Colloid Interface Sci., **186**, 352 (1997).
2. J. Myska, P. Stern: Colloid Polym. Sci., **276**, 816 (1998).
3. J. Myska, Z. Lin, P. Stepanek, J.L. Zakin: J. Non-Newton. Fluid Mech., **97**, 251 (2001).

Praca wykonana w ramach badań własnych Instytutu Technologii i Inżynierii Chemicznej, Politechniki Poznańskiej BW 32/004/2009