

LUBOMIRA BRONIARZ-PRESS
WALDEMAR SZAFERSKI
DANIELA DULSKA

Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

Napowietrzanie roztworów polimerów w mieszalniku z dwoma mieszadłami na wspólnym wale

Wprowadzenie

Mieszanie mechaniczne cieczy w obecności gazu stosuje się, gdy zachodzi proces wymiany masy, której szczególnym przypadkiem jest napowietrzanie cieczy. Napowietrzanie cieczy w mieszalniku najczęściej realizowano poprzez zastosowanie bełkotki lub mieszadła samozasysającego osadzonego na wydrążonym wale. Analizę dotychczasowych badań przedstawiono w pracach [1–6]. Celem niniejszej pracy była ocena wpływu natężenia dopływającego gazu i częstości obrotów mieszadła oraz rodzaju mieszadeł na wspólnym wale na ilość gazu zatrzymywanego w cieczy dla mieszalnika wyposażonego w membranowy dystrybutor gazu z elastomeru EPDM (monomer etylenowo-propylenowo-dienowy).

Stanowisko pomiarowe i analiza wyników badań

Badania doświadczalne prowadzono w temperaturze 20°C w przezroczystym płaskodennym zbiorniku o średnicy 0,300 m wykonanym z polimetakrylanu metylu. Mieszalnik zaopatrzone był w cztery płaskie przegrody o szerokości 0,026 m, oddalone od ścianek zbiornika o 0,004 m. W badaniach zastosowano standardowe mieszadło turbinowe *Rushtona* oraz mieszadło turbinowe z łopatkami prostymi o średnicy 0,100 m i wysokości zawieszenia dolnego mieszadła od dna aparatu $h = d$. Mieszadła oddalone były względem siebie na odległość 0,100 m. Zastosowano chłodzony powietrzem silnik prądu stałego typu PZ Bb32b o mocy 1,1 kW i $n_s = 1500$ [obr./min] firmy KOMEL współpracujący z przekładnią pasową umożliwiającą uzyskanie $n_s = 2500$ [obr./min].

Układ napowietrzający zbudowany był z wentylatora, płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła, który regulował temperaturę podawanego powietrza, zbiornika wyrównującego ciśnienie powietrza, rotametry regulującego natężenie przepływu gazu oraz barbotera w postaci dyfuzora GJ HD 270 o średnicy $d_p = 270$ mm i wysokości $e = 20$ mm o wydajności od 0 do 4 [Nm³/h]. Dyfuzor GJ HD 270 wytwarzał drobne pęcherzyki o średnicy około 2 mm równomiernie na całej powierzchni.

W badaniach wykorzystano wodne roztwory wysokocząsteczkowego poliakryloamidu (*Rokrysol WF1*) o stężeniach od 500 do 1500 ppm, które spełniały prawo potęgowe *Ostwalda i de Waele'a*:

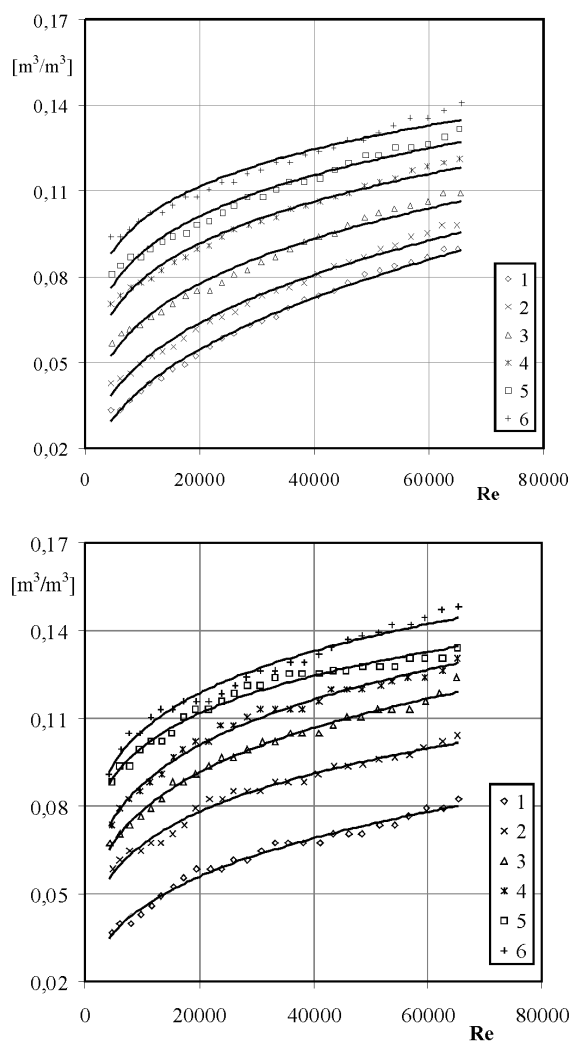
$$\tau_w = K \dot{\gamma}_w^m \quad (1)$$

w zakresie zmienności charakterystycznych parametrów reologicznych $m \in (0,686; 0,730)$ i $K \in (0,00519; 0,0548)$ [Pa·s^m].

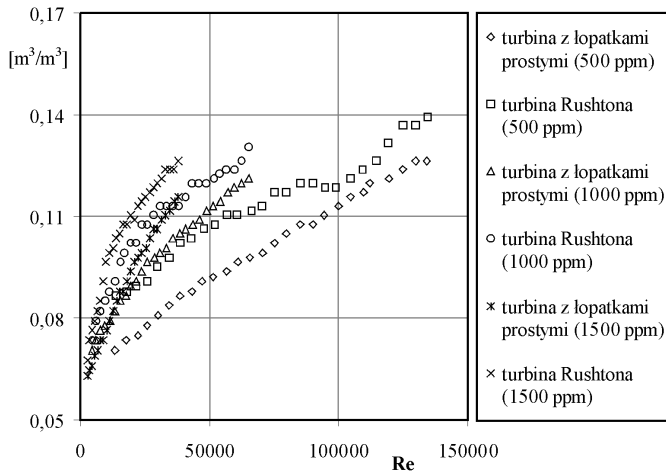
W pracy przeprowadzono analizę wpływu liczby *Reynoldsa* oraz stężenia wodnych roztworów polimerów na współczyn-

nik zatrzymywania *gas hold-up* Φ . Przykładowe wyniki badań eksperymentalnych przedstawiono na rys. 1 i 2. Na rys. 2 przedstawiono porównanie wpływu liczby *Reynoldsa* na ilość gazu zatrzymywanego w cieczy dla zestawu dwóch mieszadeł z łopatkami prostymi oraz dwóch standardowych mieszadeł turbinowych *Rushtona* na wspólnym wale dla badanych roztworów polimeru.

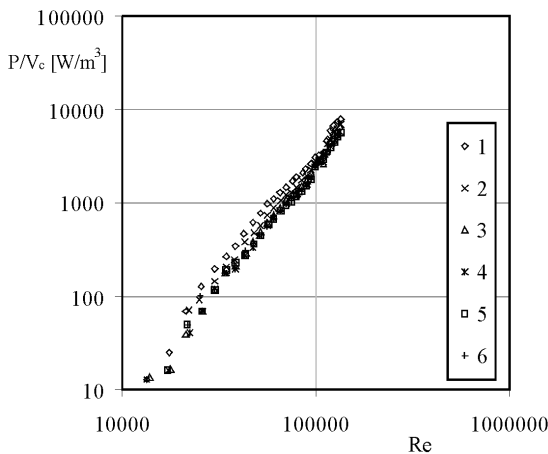
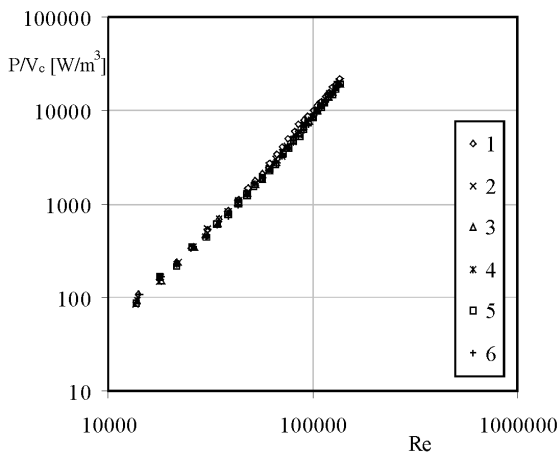
W zakresie częstości obrotów mieszadła n od 2 do 30 s⁻¹ przy stałym objętościowym natężeniu przepływu gazu wykazano jego wpływ na ilość gazu zatrzymanego w cieczy dla



Rys. 1. Zależność współczynnika zatrzymania gazu od liczby *Reynoldsa* i natężenia przepływu gazu dla roztworu polimeru (1000 ppm): a) turbinowe z łopatkami prostymi, b) turbina *Rushtona*, 1 - $\dot{V}_g = 0,139$ [dm³s⁻¹], 2 - $\dot{V}_g = 0,278$ [dm³s⁻¹], 3 - $\dot{V}_g = 0,417$ [dm³s⁻¹], 4 - $\dot{V}_g = 0,556$ [dm³s⁻¹], 5 - $\dot{V}_g = 0,694$ [dm³s⁻¹], 6 - $\dot{V}_g = 0,833$ [dm³s⁻¹]



Rys. 2. Wpływ liczby *Reynoldsa* na ilość gazu zatrzymywanego w układzie dla badanych mieszadeł przy objętościowym natężeniu przepływu gazu 0,278 [dm³s⁻¹]



Rys. 3. Wpływ liczby *Reynoldsa* na jednostkowe zapotrzebowanie energii dla dwóch standardowych mieszadeł turbinowych Rushtona (a) oraz dwóch mieszadeł z łopatkami prostymi (b) na wspólnym wale i roztworu polimeru o stężeniu 500 ppm dla objętościowego natężenia przepływu gazu: 1 – 0,139 [dm³s⁻¹], 2 – 0,278 [dm³s⁻¹], 3 – 0,417 [dm³s⁻¹], 4 – 0,556 [dm³s⁻¹], 5 – 0,694 [dm³s⁻¹], 6 – 0,833 [dm³s⁻¹]

wszystkich badanych roztworów poliakryloamidu. W wyniku przeprowadzonej analizy danych doświadczalnych dla jednostkowej mocy mieszania stwierdzono, że aproksymują je związki korelacyjne:

$$\frac{P}{V_c} = A Re^B \quad (2)$$

gdzie P jest mocą mieszania, V_c oznacza objętość cieczy w zbiorniku, a liczba *Reynoldsa* ma postać zaproponowaną przez *Gluz* i *Pawłuszenko* [7]:

$$Re = (4\pi)^{1-m} \frac{n^{2-m} d^2 \rho}{K} \quad (3)$$

Tablica 1
Wartości współczynników i wykładników równania korelacyjnego (2)

Rodzaj mieszadła	\dot{V}_g [dm ³ s ⁻¹]	Stężenie roztworu polimeru [ppm]					
		500		1000		1500	
		A	B	A	B	A	B
	0,139	0,705 · 10 ⁻⁸	2,4	1,340 · 10 ⁻⁶	2,2	0,624 · 10 ⁻⁵	2,1
	0,278	0,731 · 10 ⁻⁸		0,436 · 10 ⁻⁶		0,261 · 10 ⁻⁵	
	0,417	0,889 · 10 ⁻⁸		0,502 · 10 ⁻⁶		0,658 · 10 ⁻⁵	
	0,556	1,000 · 10 ⁻⁸		0,475 · 10 ⁻⁶		0,650 · 10 ⁻⁵	
	0,694	1,000 · 10 ⁻⁸		0,760 · 10 ⁻⁶		0,860 · 10 ⁻⁵	
	0,833	1,490 · 10 ⁻⁸		0,772 · 10 ⁻⁶		0,699 · 10 ⁻⁵	
	0,139	3,500 · 10 ⁻¹⁰	2,7	0,267 · 10 ⁻⁶	2,1	1,413 · 10 ⁻⁶	2,1
	0,278	0,551 · 10 ⁻¹⁰		0,108 · 10 ⁻⁶		1,370 · 10 ⁻⁶	
	0,417	0,787 · 10 ⁻¹⁰		0,434 · 10 ⁻⁶		3,460 · 10 ⁻⁶	
	0,556	0,435 · 10 ⁻¹⁰		0,172 · 10 ⁻⁶		1,270 · 10 ⁻⁶	
	0,694	0,479 · 10 ⁻¹⁰		0,608 · 10 ⁻⁶		0,484 · 10 ⁻⁶	
	0,833	0,709 · 10 ⁻¹⁰		2,058 · 10 ⁻⁶		1,730 · 10 ⁻⁶	

Wnioski

W pracy wykazano, że stopień zatrzymywania gazu w roztworach polimerów wzrasta ze wzrostem objętościowego natężenia przepływu gazu i szybkości obrotowej mieszadła i maleje ze wzrostem stężenia polimeru, co wiąże się bezpośrednio ze wzrostem nienewtonowskiego charakteru roztworu. Ponadto zaobserwowano, że wartości ilości gazu zatrzymywanego w cieczy w obu typach mieszalników dwumieszadłowych są zbliżone, jednak dla dwóch mieszadeł z łopatkami prostymi na wspólnym wale stwierdzono niższe jednostkowe zapotrzebowanie energii.

LITERATURA

1. P.M. Doran: Bioprocess Engineering Principles, London, Academic Press, 1995.
2. J. Kamiński: Mieszanie układów wielofazowych, Warszawa, WNT, 2004.
3. O. Hiruta, K. Yamamura, H. Takebe, T. Futamura, K. Inuma, H. Tanaka: J. Ferment. and Bioengineering 83, No. 1, 79 (1997).
4. A. Heim, A. Krastawski, E. Rzycki, J. Stelmach: Chem. Eng. J. 58, 59 (1995).
5. J. Kamiński: Inż. Chem. Proces. 17, 555 (1996).
6. M. Fijasowa., V. Linek, T. Moucha, E. Prokopov: Chem. Eng. Sci. 39, 123 (2004).
7. M.D. Gluz, I.S. Pawłuszenko: Ż. Prił. Chemii 40, 2475 (1967).