

WALDEMAR SZAFERSKI
LUBOMIRA BRONIAZ-PRESS

Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

Efektywność systemu napowietrzania stosowanego w oczyszczalniach ścieków

Wprowadzenie

Mieszanie mechaniczne cieczy w obecności gazu stosuje się, gdy zachodzi proces wymiany masy, której szczególnym przypadkiem jest napowietrzanie cieczy. Zwiększając powierzchnię kontaktu międzyfazowego, przez rozbicie dużych pęcherzyków gazu na drobniejsze można znacznie zintensyfikować przebieg procesu. W takim przypadku sam barbotaż jest niewystarczający, a mieszanie poza zwiększeniem powierzchni kontaktu międzyfazowego i skróceniem czasu odtwarzania warstwy granicznej, odpowiada za równomierną cyrkulację w całej objętości aparatu [1–3]. Bardzo szerokie zastosowanie tego procesu można zauważyć w oczyszczalniach ścieków, gdzie system drobnopęcherzykowego napowietrzania za pomocą dyfuzorów membranowych cechuje wysoka sprawność transferu tlenu, co znacząco obniża nakłady energetyczne. Dyfuzory membranowe są odporne na działanie większości czynników występujących w ściekach komunalnych oraz przemysłowych i mogą pracować w szerokim zakresie wydatków powietrza. Analiza układów gaz-ciecz-ciecz z wykorzystaniem dyfuzorów membranowych znalazła zastosowanie w pracach projektowych urządzeń stosowanych w oczyszczalniach ścieków, gdzie materiałami poprodukcyjnymi może być olej mineralny lub roślinny.

Stanowisko pomiarowe i media robocze

Badania doświadczalne prowadzono w temperaturze 20°C w przezroczystym płaskodennym zbiorniku o średnicy

0,300 m wykonanym z polimetakrylanu metylu. Aparat zaopatrzone był w cztery płaskie przegrody o szerokości 0,026 m, oddalone od ścianek zbiornika o 0,004 m. Aparat wyposażono w dwa mieszadła na wspólnym wale (standardowe turbinowe mieszadła *Rushtona*, mieszadła turbinowe *Smitha* i mieszadła z łopatkami pochylonymi pod kątem 45°) o średnicy 0,100 m. Wysokość zawieszenia dolnego mieszadła względem dna aparatu wynosiła 0,100 m. Były one oddalone od siebie o 0,100 m. Mieszadła zamocowane były na wale wykonanym ze stali kwasoodpornej 1H18N9T o średnicy 0,010 m. W eksperymencie zastosowano chłodzony powietrzem silnik prądu stałego typu PZ Bb32b o mocy 1,1 kW i liczbie obrotów 1500 [obr/min] firmy *KOMEL* współpracujący z przekładnią pasową umożliwiającą uzyskanie 2500 [obr/min]. Układ napowietrzający zbudowany był z pompy HiBlow HP-200, płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła, zbiornika wyrównującego ciśnienie podawanego powietrza, rotametry regulującego natężenie przepływu gazu oraz barbotera w postaci dyfuzora GJ 270 o średnicy 270 mm i wysokości 20 mm o wydajności od 0 do 4 [Nm³/h]. Dyfuzor wytwarzał drobne pęcherzyki o średnicy od 1,8 do 3 mm rozmieszczone równomiernie na całej jego powierzchni. Pomiar wykonywano dla objętości gazu w przedziale od 0,139 do 0,600 [Nm³], a prędkości obrotów mieszadła w zakresie od 3 do 30 [1/s].

Badania przeprowadzono dla mieszaniny wody destylowanej i oleju roślinnego *Kujawski* produkcji *ZT Kruszwica S.A.* o gęstości 915,0 [kg/m³] i lepkości 18,0 · 10⁻³ [Pa · s] oraz oleju

mineralnego 20–90 z *Instytutu Technologii Nafty* z Krakowa o gęstości 868,9 [kg/m³] i lepkości 77,7 · 10⁻³ [Pa · s]. Udział procentowy olejów w poszczególnych próbach wynosił odpowiednio 10, 20 i 30%.

Analiza wyników badań

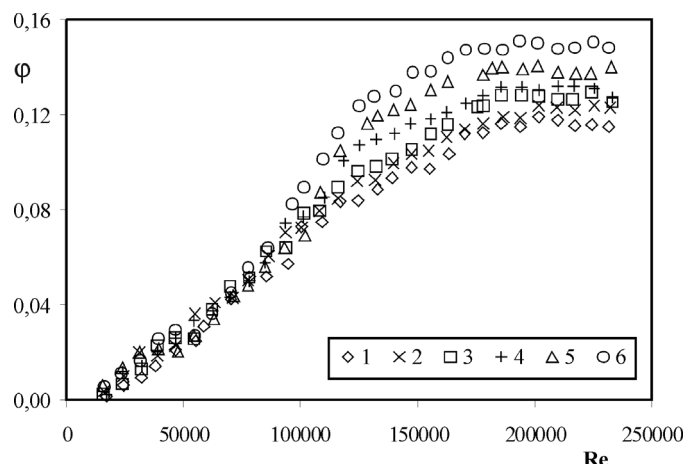
Analizę wyników badań doświadczalnych przeprowadzono w oparciu o wprowadzone kryterium efektywności w postaci współczynnika zatrzymywania gazu w cieczy odniesionego do stopnia obniżenia mocy mieszania ϕ , zdefiniowanego związkiem [2, 4]:

$$\phi = \frac{\Phi}{P} \quad (1)$$

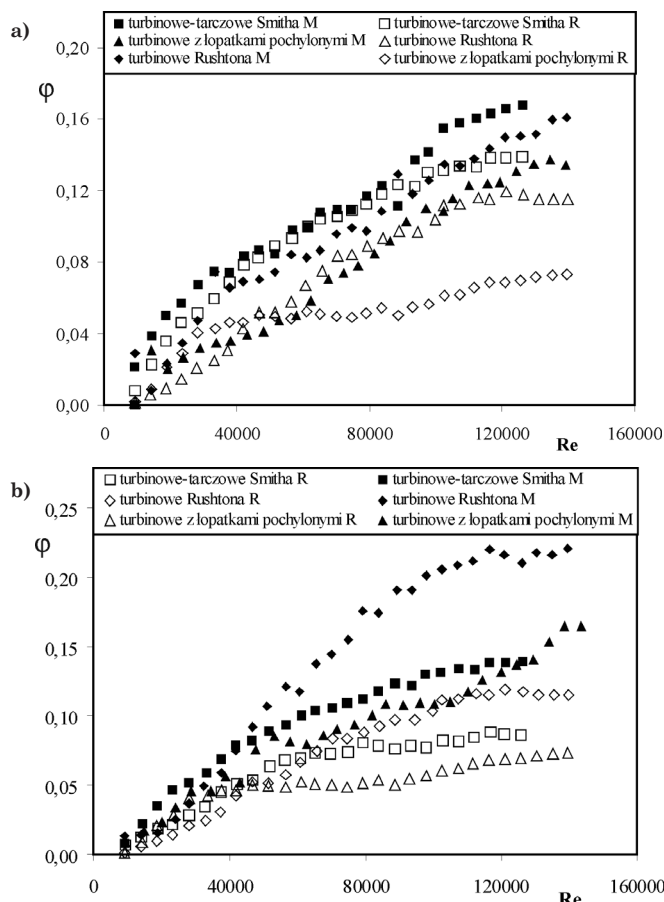
Wyznaczono warunki prowadzenia procesu napowietrzania w dwumieszadłowym mieszalniku. Z analizy przebiegu zależności $\phi = f(Re)$ uzyskanego dla układu woda destylowana – powietrze i jednego mieszadła turbinowego *Rushtona* na wale wynika, że dla wartości $Re \leq Re_{kr}$ ma ona charakter liniowy [2, 4]. Dla wartości $Re > Re_{kr1}$ współczynnik efektywności jest praktycznie niezależny od liczby *Reynoldsa*, a krytyczna wartość liczby *Reynoldsa* zależy od wartości objętościowego natężenia przepływu powietrza.

Analiza danych pomiarowych dla badanych mieszanin woda-olej pozwoliła na stwierdzenie, że dla umiarkowanych wartości liczby *Reynoldsa* wielkość ϕ zależy liniowo od liczby *Reynoldsa* i praktycznie jest niezależna od natężenia doprowadzonego do układu powietrza. Po przekroczeniu kolejnej wartości krytycznej $Re_{kr2} = 175000$, pozostaje na stałym poziomie (Rys. 1). Przedstawione na rys. 1 wyniki są przykładowymi dla dwóch mieszadeł turbinowych *Rushtona*. Krzywe dla pozostałych badanych mieszadeł mają podobny charakter, a różnice wartości kryterium efektywności są niewielkie.

Z porównania wyników pomiarów dla badanych olejów (Rys. 2), wynika, że efektywność systemu napowietrzająco-mieszającego zależy od właściwości fizykochemicznych badanych mieszanin. Przedstawione dane są przykładowymi dla dwóch skrajnych wartości objętościowego natężenia przepływu powietrza i maksymalnej.



Rys. 1. Wpływ natężenia przepływu gazu i wartości liczby *Reynoldsa* na zaproponowane kryterium efektywności dla 10-procentowej zawartości oleju kujawskiego w mieszaninie oraz dla objętościowego natężenia przepływu powietrza: 1 – 0,139 [dm³/s], 2 – 0,278 [dm³/s], 3 – 0,417 [dm³/s], 4 – 0,556 [dm³/s], 5 – 0,694 [dm³/s], 6 – 0,833 [dm³/s]



Rys. 2. Przykładowy obraz wpływu zastosowanego zestawu dwóch mieszadeł na wspólnym wale na kryterium efektywności dla zawartości oleju w mieszaninie 30%: R – olej roślinny, M – olej mineralny, a) $\dot{V}_g = 0,278$ [dm³·s⁻¹], b) $\dot{V}_g = 0,833$ [dm³·s⁻¹]

Podsumowanie

Wprowadzenie jako miary efektywności współczynnika ϕ pozwoliło na stwierdzenie, że dla umiarkowanych wartości liczby *Reynoldsa* współczynnik nie zależy od objętościowego natężenia przepływu gazu. Po osiągnięciu krytycznej wartości liczby *Reynoldsa*, różnej dla poszczególnych typów badanych mieszadeł, współczynnik efektywności uzyskuje stałą wartość. Przy małych wartościach objętościowego natężenia przepływu gazu najlepsze rezultaty otrzymujemy dla mieszadeł turbinowych-tarczowych *Smitha*, natomiast przy dużych wartościach objętościowego natężenia przepływu gazu lepiej wypadają mieszadła turbinowe *Rushtona*. Porównując badane emulsje najlepsze rezultaty kryterium efektywności uzyskujemy dla oleju mineralnego, co wynika z ponad 4-krotnej różnicy lepkości pomiędzy badanymi olejami.

LITERATURA

1. J. Kamiński: Mieszanie układów wielofazowych. WNT, Warszawa, 2004.
2. W. Szaferki: Badania napowietrzania układów złożonych w mieszalnikach mechanicznych, Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2005.
3. L. Broniarz-Press, W. Szaferki: Proceeding of 7th World Congress of Chemical Engineering, Paper No. P42-059, pp. 1, Glasgow 2005.
4. L. Broniarz-Press, W. Szaferki, J. Sadowska: Inż. Ap. Chem., 44, nr 5s, 17 (2005).
5. L. Broniarz-Press, W. Szaferki, M. Ochowiak: Polish J. Chem. Tech., 8, 4, 42 (2006).