

WALDEMAR SZAFERSKI  
LUBOMIRA BRONIARZ-PRESS

Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

## Porównanie pracy układów jedno- i dwumieszadłowych podczas dyspergowania gazu w cieczy

### Wprowadzenie

Przepuszczanie gazu w postaci pęcherzyków przez warstwę cieczy znalazło szerokie zastosowanie w oczyszczalniach ścieków, gdzie system drobnopęcherzykowego napowietrzania za pomocą dyfuzorów cechuje wysoka sprawność transferu tlenu, dlatego też można uzyskać znaczące oszczędności energetyczne. Na proces napowietrzania w mieszalniku wpływa szereg parametrów fizycznych, kinetycznych oraz konstrukcyjnych. Rodzaj i ilość mieszadeł zamocowanych na wspólnym wale będą odgrywać rolę zasadniczą. Zadaniem każdego mieszadła jest równomierne rozprowadzanie gazu w aparacie, rozbijanie dużych pęcherzyków gazu na mniejsze w celu zwiększenia kontaktu międzyfazowego reagujących ośrodków oraz doprowadzanie powietrza z zewnątrz dzięki właściwościom samozasysającym [1–7].

Ważną wielkością, charakteryzującą mieszanie mechaniczne układu ciecz – gaz jest moc mieszania, niezbędna do zapewnienia założonych warunków hydrodynamicznych. Wprowadzenie gazu do mieszanej cieczy powoduje spadek mocy mieszania, z wyjątkiem niektórych mieszadeł w zakresie małych wydatków gazu i przy niskich częstościach obrotów mieszadła, gdzie moc może wzrastać. Natężenie przepływu gazu również wpływa na moc mieszania.

Celem niniejszej pracy była ocena wpływu natężenia dopływającego gazu i częstości obrotów mieszadła oraz rodzaju mieszadeł na wspólnym wale na ilość gazu zatrzymanego w cieczy dla mieszalnika wyposażonego w membranowy dystrybutor gazu z elastomeru EPDM (monomer etylenowo-propylenowo-dienowy).

### Stanowisko pomiarowe i analiza wyników badań

Badania przeprowadzono w mieszalniku składającym się z wykonanego z polimetakrylanu metylu płaskodennego zbiornika o średnicy 0,300 m, wyposażonego w cztery płaskie przegrrody o szerokości  $B = 0,1D$  oraz mieszadła turbinowe. Wykorzystano trzy typy mieszadeł: standardowe mieszadło turbinowe *Rushtona* (RT), mieszadło turbinowe-tarczowe *Smitha* (ST) i mieszadło turbinowe z łopatkami pochylonymi pod kątem 45° (PBT). Średnice mieszadeł, wysokość zawieszenia pojedynczego mieszadła lub dolnego w zestawie mieszadeł nad dnem mieszalnika oraz odległość między mieszadłami w układach niestandardowych wynosiły 0,100 m. W badaniach wykorzystano dyfuzor membranowy wykonany z mieszaniny poliamidu i polipropylenu z dodatkiem włókna szklanego (30%) wytwarzający pęcherzyki o średnicach 1,8–3 mm. Zastosowano dyfuzor o średnicy 0,270 m i wysokości 0,020 m. Wysokość

początkowa słupa cieczy równa była średnicy mieszalnika. Układ napowietrzający zbudowany był z pompy typu *HiBlow HP-200*, płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła, który regulował temperaturę podawanego powietrza, zbiornika wyrównującego ciśnienie podawanego powietrza, rotametry regulującego natężenie przepływu gazu oraz barbotera w postaci dyfuzora *GJ HD 270*.

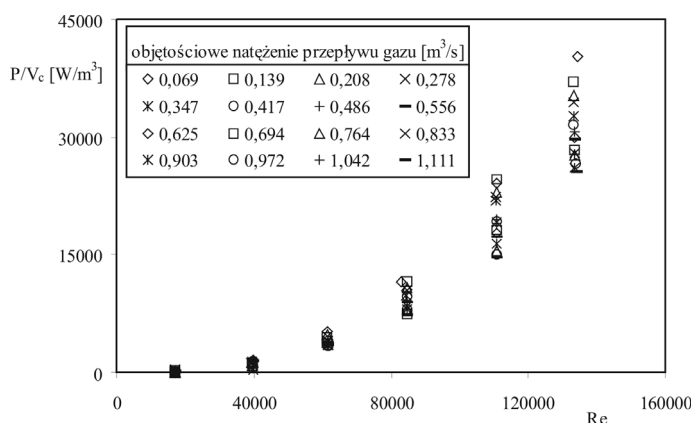
Badania przeprowadzono w zakresie zmian objętościowego natężenia przepływu gazu od 0,025 do 1,111 [dm<sup>3</sup>/s] oraz w zakresie liczb *Reynoldsa* zmodyfikowanych [8] dla mieszania płynów potęgowych  $Re \in (17000, 140000)$  o postaci:

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

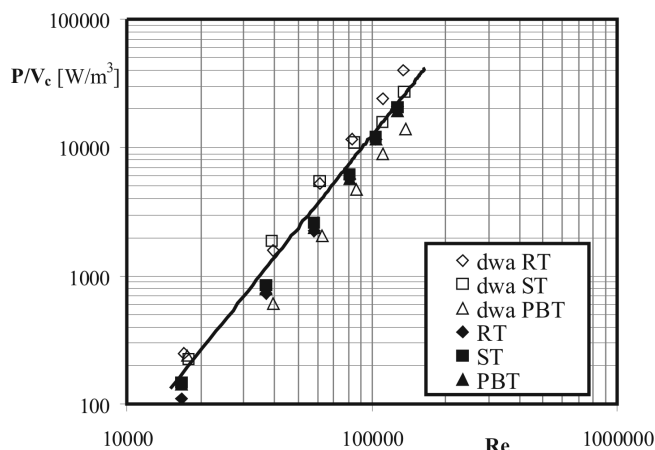
gdzie  $m$  jest charakterystycznym wskaźnikiem płynięcia, a  $K$  współczynnikiem konsystencji. W testach doświadczalnych wykorzystano wodny roztwór polimeru (wysokocząsteczkowy poliakryloamid o średniej masie molowej 4,4·10<sup>6</sup> [kg/kmol], *Rokrysol WF1*) o stężeniu 1000 ppm ( $m = 0,680$ ,  $K = 0,03060$  [Pa·s<sup>m</sup>]).

Wyniki badań doświadczalnych analizowano pod kątem nakładów energetycznych potrzebnych do dyspergowania gazu w cieczy przez jedno lub dwa mieszadła mechaniczne na wspólnym wale.

Na podstawie przeprowadzonych badań potwierdzono uprzednie obserwacje, że wartość jednostkowego zużycia energii zależy od wielkości objętościowego natężenia przepływu gazu oraz od liczby *Reynoldsa* (Rys. 1), nie stwierdzono jednak zasadniczego wpływu mieszadeł (Rys. 2). Przy



Rys. 1. Przykładowy obraz wpływu objętościowego natężeniu przepływu na jednostkowe zużycie mocy dla wytwarzanego układu dwufazowego



Rys. 2. Wpływ zastosowanego mieszadła lub zestawu dwumieszadlowego na jednostkowe zapotrzebowanie energii

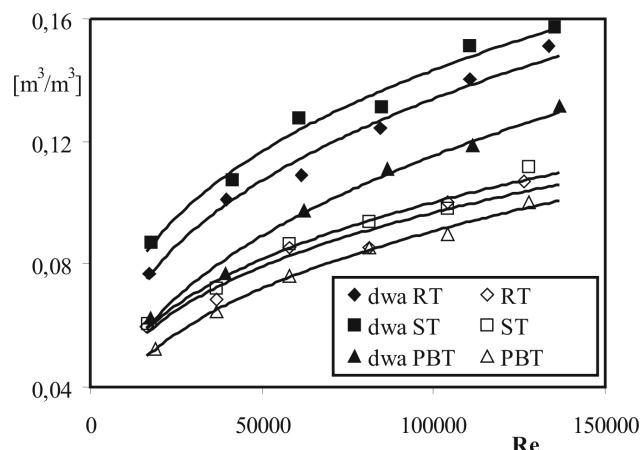
małych wartościach liczby *Reynoldsa*, a tym samym częstości obrotów mieszadła, ilość gazu dostarczanego do wodnego roztworu poliakryloamidu nie wpływa na zużycie energii potrzebnej do wytworzenia układu dwufazowego gaz – ciecz. Następnie analizowano (Rys. 3, 4) wpływ rodzaju i ilości zastosowanych mieszadeł, liczby *Reynoldsa* oraz jednostkowego zużycia energii na stopień zatrzymywania gazu w cieczy. Zaobserwowano, że najwyższe wartości ilości gazu zatrzymywanego w cieczy uzyskuje się dla dwóch mieszadeł na wspólnym wale.

### Podsumowanie

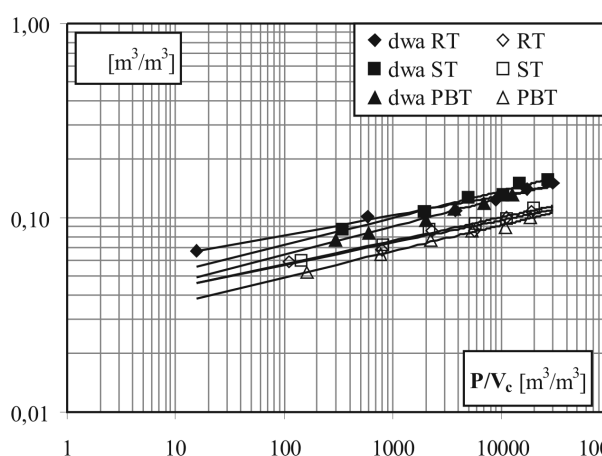
W pracy wykazano, że objętościowe natężenie przepływu gazu w dużym stopniu wpływa na wartość jednostkowego zapotrzebowania energii przy wartościach liczby *Reynoldsa* powyżej 80000. Przy małych wartościach liczby *Reynoldsa*, a tym samym częstości obrotów mieszadła, ilość gazu dostarczanego do wodnego roztworu poliakryloamidu nie wpływa na zużycie energii potrzebnej do wytworzenia układu dwufazowego gaz – ciecz. Nie zaobserwowano znaczącego wpływu konstrukcji mieszalnika na zużycie jednostkową moc mieszania. Najwyższe ilości gazu zatrzymywanego w mieszaninie uzyskano dla układu dwóch mieszadeł na wspólnym wale. Najlepsze rezultaty napowietrzania przy porównywalnym jednostkowym zużyciu energii otrzymano dla dwóch mieszadeł turbinowych *Rushtona* oraz dwóch mieszadeł turbinowych-tarczowych *Smitha*.

### LITERATURA

1. J. Kamiński: Mieszanie układów wielofazowych, Warszawa, WNT, 2004.



Rys. 3. Obraz wpływu ilości zastosowanych mieszadeł na ilość gazu zatrzymywanego w cieczy przy objętościowym natężeniu przepływu gazu 0,556 [dm³s⁻¹]



Rys. 4. Wpływ mieszadeł oraz jednostkowej mocy mieszania na ilość gazu zatrzymywanego w roztworze polimeru przy objętościowym natężeniu przepływu gazu 0,486 [dm³s⁻¹]

- O. Hiruta, K. Yamamura, H. Takebe, T. Futamura, K. Inuma, H. Tanaka: J. Ferment. and Bioengineering 83, No. 1, 79 (1997).
- A. Heim, A. Krasławski, E. Rzycki, J. Stelmach: Chem. Eng. J. 58, 59 (1995).
- J. Kamiński: Inż. Chem. Proc. 17, 555 (1996).
- W. Szaferski: Badania napowietrzania układów złożonych w mieszalnikach mechanicznych, Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań, 2005.
- L. Broniarz-Press, J. Borowski, W. Szaferski: Polish J. Chem. Tech., 8, 1, 54 (2006).
- L. Broniarz-Press, W. Szaferski, M. Ochowiak, J. Sadowska: Inż. Ap. Chem., 45, nr 6s, 34 (2006).
- M.D. Gluz, I.S. Pawtuszenko: Ž. Prikl. Chimii 40, 2475 (1967).