

Marcin JAGODZIŃSKI, Lubomira BRONIARZ-PRESS, Waldemar SZAFERSKI, Adrian MRÓWCZYŃSKI

e-mail: mirka@box43.pl

Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

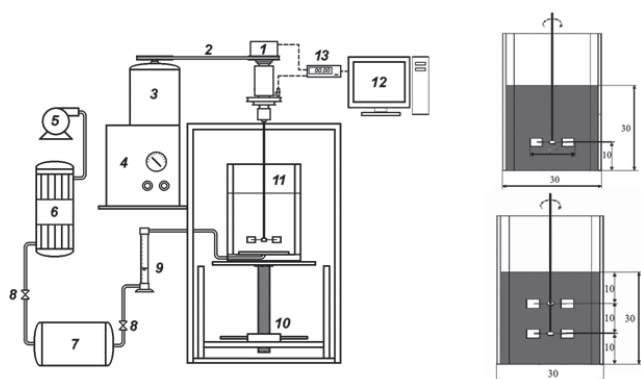
## Testowanie napowietrzaczy membranowych w mieszalnikach zbiornikowych

### Wstęp

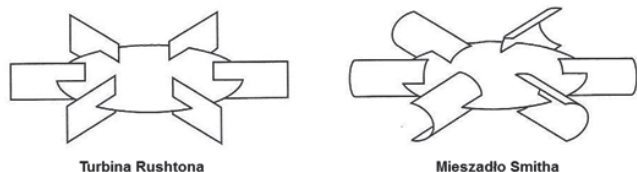
Mieszanie układów ciecz – gaz ma liczne zastosowania w wielu gałęziach przemysłu spożywczego, petrochemicznego, farmaceutycznego oraz w biotechnologiach. Napowietrzanie cieczy za pomocą dyfuzorów membranowych jest szczególnym przypadkiem procesu wymiany masy. Przebieg całego procesu jest ograniczony prędkością wnikania pęcherzyków powietrza do cieczy. W celu zintensyfikowania przebiegu procesu stosuje się mieszanie, które powoduje rozbijanie pęcherzyków, przez co zwiększa się powierzchnia kontaktu międzyfazowego [Stręk, 1971; Kamiński, 1993; Karcz, 2002; Kamiński, 2004]. W pracy przedstawiono wyniki badań stopnia zatrzymywania gazu w cieczy i jednostkowego zapotrzebowania energii mieszania układu gaz – ciecz w warunkach wykorzystania mieszadeł turbinowych i napowietrzaczy membranowych, stosowanych obecnie w systemach uzdatniania ścieków powietrzem i czystym tlenem oraz celem poprawy jakości wód w stawach, zbiornikach rekreacyjnych oraz hodowlanych [Akwatech, 2012].

### Część doświadczalna

Zasadniczymi elementami stanowiska pomiarowego były: zbiornik płaskodenny (Rys. 1) z PMMA (polimetakrylan metylu) o średnicy  $D = 0,300$  m wyposażony w cztery płaskie przegrody o szerokości  $B = 0,026$  m, oddalone od ścianek naczynia o  $E = 0,004$  m, o objętości czynnej  $V = 1,915 \cdot 10^{-2}$  m<sup>3</sup>, mieszadła turbinowe o średnicy  $d = 0,100$  m (Rys. 2) oraz dystrybutory gazu. Mieszalnik posiadał podwójne dno, jedno zamontowane na stałe, a drugie wymienne. W elemencie wymiennym zamontowano przewody doprowadzające gaz. Zastosowanie takiego rozwiązania ułatwia wymianę dyfuzorów oraz zapewnia stabilność układu [Kamiński, 1993].



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – tensometryczny momentomierz, 2 – przekładnia pasowa, 3 – silnik, 4 – układ regulacji prędkości obrotowej  $n$ , 5 – wentylator, 6 – wymiennik ciepła płaszczowo-rurowy, 7 – zbiornik wyrównujący ciśnienie, 8 – zawór kulowy, 9 – rotometr, 10 – podnośnik śrubowy, 11 – układ zbiornik-mieszadło-dyfuzor, 12 – komputer, 13 – miernik prędkości obrotowej z automatyczną obróbką wyników

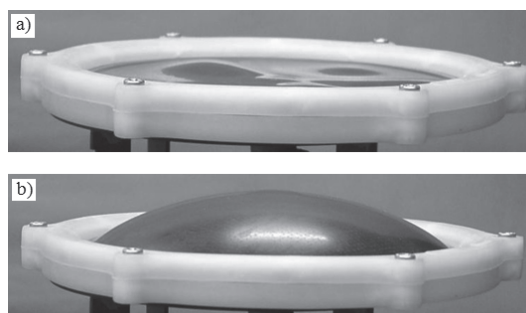


Rys. 2. Rodzaje mieszadeł stosowanych w badaniach

Mieszadła montowano na wale wykonanym ze stali kwasoodpornej 1H18N9T o średnicy  $d_w = 0,010$  m. Celem wymuszenia obrotów mieszadeł zastosowano chłodzony powietrzem silnik prądu stałego typu PZ

Bb32b o mocy 1,1 kW i  $n = 1500$  obr/min firmy KOMEL. Badania przeprowadzono dla następujących rozwiązań konstrukcyjnych mieszalnika (Rys. 3):

- pojedyncza turbina Rushtona (1RT),
- dwie turbiny Rushtona na wspólnym wale (2RT),
- pojedyncze mieszadło Smitha (1ST),
- dwa mieszadła Smitha na wspólnym wale (2ST).



Rys. 3. Obraz pracy dyfuzorów membranowych: a) bez napowietrzania, b) podczas napowietrzania

Zastosowane mieszadła turbinowe powodują wytworzenie w cieczy bardzo dużych naprężeń stycznych [Kamiński, 1993; Broniarz-Press i Szaferski, 2008], od których w sposób znaczący zależy wielkość pęcherzyków w strumieniu gazu dookoła mieszadła.

W pracy wykorzystano trzy dyfuzory firmy Akwatech, Poznań, których podstawa zbudowana była z polipropylenu z 30% dodatkiem włókna szklanego, a membrany wykonane z EPDM (monomer etyleno-propylenowo-dienowy) posiadały otwory o odpowiedniej wielkości w zależności od rodzaju napowietrzania.

Dyfuzor PG 50 (powierzchnia czynna 10 cm<sup>2</sup>) wytwarzał pęcherzyki o średnicy od 5 do 30 mm, natomiast dyfuzory 240 PD (powierzchnia czynna 260 cm<sup>2</sup>) i HD 270 (powierzchnia czynna 370 cm<sup>2</sup>) wytwarzały pęcherzyki drobne o średnicy mniejszej niż 3 mm. W tym miejscu należy zaznaczyć, dyfuzory wybrane do badań doskonale nadają się do prowadzenia zmiennego, a nawet cyklicznego procesu napowietrzania oraz posiadają pamięć, albowiem po odcięciu dopływu gazu membrana wraca do pierwotnego kształtu (Rys. 3).

Charakterystykę stosowanych dyfuzorów przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Dyfuzory membranowe wykorzystane w badaniach

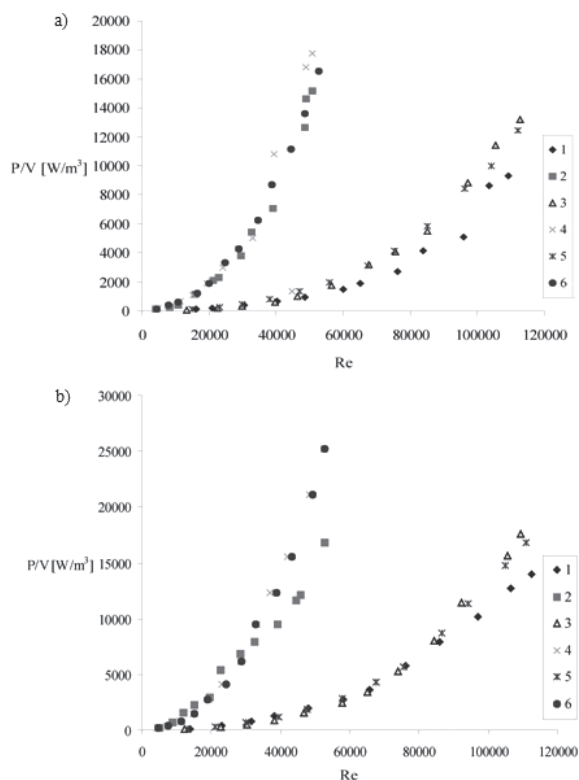
Symbol	Dyfuzor	Wysokość $h_p$	Średnica $d_p$	Wydajność [Nm <sup>3</sup> /h]
		[m]	[m]	
50 PG		0,05	0,050	0-4
240 PD		0,05	0,240	0-4
HD 270		0,05	0,270	0-4

W badaniach zastosowano wodny roztwór poliakryloamidu (*Rokrysol* WF1) o średniej masie molowej  $M = 4,4 \cdot 10^6$  kg/kmol. Badania porównawcze przeprowadzono dla roztworu o stężeniu 1000 ppm w zakresie częstości obrotów w zakresie od 4 do 25 s<sup>-1</sup> przy zmiennym objętościowym natężeniu przepływu gazu  $\dot{V}_g \in (0,139; 0,833)$  dm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Stopień zatrzymywania gazu w cieczy oceniano jako udział objętościowy gazu w mieszaninie dwufazowej  $\Phi$ :

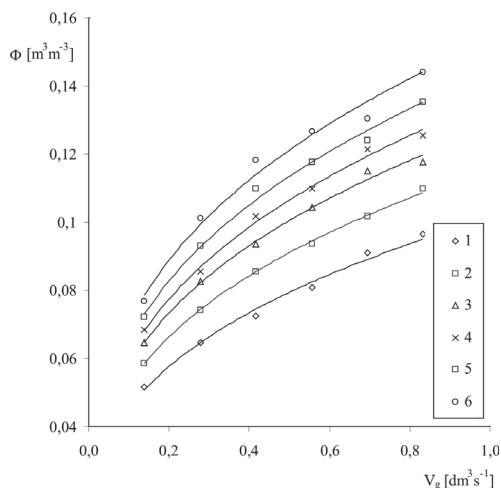
$$\Phi = \frac{V_g}{V_m} = \frac{V_m - V_c}{V_m} = \frac{H_m - H_c}{H_m} = \frac{\rho_c - \rho_m}{\rho_c - \rho_g} \quad (1)$$

gdzie:  $V$  – objętość [m<sup>3</sup>],  $H$  – wysokość [m],  $\rho$  – gęstość [kg/m<sup>3</sup>]. Indeksy oznaczają  $c$  – ciecz,  $g$  – gaz,  $m$  – układ dwufazowy.

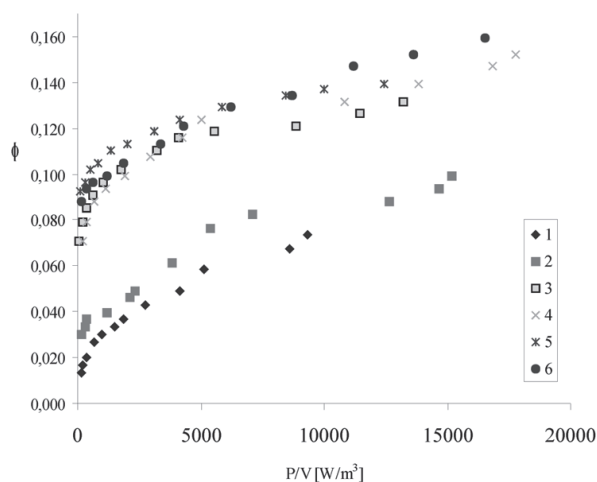
Przykładowe wyniki badań zależności jednostkowej mocy mieszania od liczby *Reynoldsa* oraz współczynnika zatrzymywania gazu w cieczy dla przedmiotowego wodnego roztworu poliakryloamidu przedstawiono na rys. 4, 5 i 6.



Rys. 4. Przykładowa zależność  $P/V = f(Re)$  i  $\dot{V}_g = 0,833$  [dm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>] przy zastosowaniu turbin *Rushtona* (a) i *Smitha* (b) dla przedmiotowych dyfuzorów: 1 – 1RT, 50 PG; 2 – 2RT, 50 PG; 3 – 1RT, 240 PD; 4 – 2RT, 240 PD; 5 – 1RT, HD 270; 6 – 2RT, HD 270



Rys. 5. Zależność współczynnika zatrzymywania gazu od objętościowego natężenia przepływu gazu i częstości obrotowych dla pojedynczego turbiny *Rushtona* i dystrybutora gazu dyfuzora 240 PD: 1 –  $n = 5$  [s<sup>-1</sup>]; 2 –  $n = 10$  [s<sup>-1</sup>]; 3 –  $n = 15$  [s<sup>-1</sup>]; 4 –  $n = 20$  [s<sup>-1</sup>]; 5 –  $n = 25$  [s<sup>-1</sup>]; 6 –  $n = 30$  [s<sup>-1</sup>]



Rys. 6. Przykładowa zależność  $\Phi = f(P/V)$  dla  $\dot{V}_g = 0,833$  [dm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>] przy zastosowaniu turbin *Rushtona* dla przedmiotowych dyfuzorów: 1 – 1 turbina, 50 PG; 2 – 2 turbiny, 50 PG; 3 – 1 turbina, 240 PD; 4 – 2 turbiny, 240 PD; 5 – 1 turbina, HD 270; 6 – 2 turbiny, HD 270

Wynika z nich, że przy zastosowaniu tych samych mieszadeł dyfuzory HD 270 i 240 PD dają znacznie lepsze nasycenie cieczy gazem niż dyfuzor PG50, co można tłumaczyć rodzajem wytwarzanych pęcherzyków powietrza oraz wielkością powierzchni czynnej porównywanych dyfuzorów. W przypadku dyfuzora 240 PD jest ona 26 razy większa niż dyfuzora PG 50, a jej stosunek do powierzchni przekroju poprzecznego mieszalnika wynosi 0,367. Odpowiednio powierzchnia czynna dyfuzora HD 270 jest większa 37 razy, a jej stosunek do przekroju poprzecznego wynosi 0,523. Dodatkowo na stopień zatrzymywania gazu w cieczy wpływa lepsze napowietrzanie cieczy pod powierzchnią mieszadła. Najslabiej napowietrza tę strefę mieszadło 50 PG, najsilniej HD 270.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że najlepsze efekty daje zastosowanie dyfuzora o możliwie największej powierzchni, w tym przypadku był to dyfuzor HD 270. Charakteryzuje go nie tylko najwyższy stopień zatrzymywania gazu w cieczy, lecz również najlepszy stosunek pobieranych mocy jednostkowych do stopnia napowietrzania układu. Wynika to również z faktu, że dyfuzor HD 270 wytwarza drobne pęcherzyki o średnicy od 1,8 do 3 mm rozmieszczone równomiernie na całej jego powierzchni.

Jednocześnie wykazano, przy takich samych wartościach natężenia dopływającego gazu dla danego układu mieszadeł zapotrzebowanie energetyczne jest porównywalne dla wszystkich trzech testowanych dyfuzorów. Pod względem konstrukcyjnym należy wyróżnić układ dwóch mieszadeł *Smitha* na jednym wale w mieszalniku zaopatrzonym w dyfuzor HD 270.

## LITERATURA

- Akwatech Sp. z o.o., 2012 – Przedsiębiorstwo Inżynierii Komunalnej, Poznań, (02.2010): <http://www.akwatech.com.pl>
- Broniarz-Press L., Szaferki W., 2008. Aeration using membrane diffusers in a tank equipped with two impellers on a common shaft. *Inż. Chem. Proc.*, **29**, nr 1, 61-73
- Broniarz-Press L., Szaferki W., 2009. Moc mieszania układu ciała stałe – ciecz – gaz w mieszalniku z dwoma mieszadłami na wspólnym wale. *Inż. Ap. Chem.*, **48**, nr 1, 88-89
- Kamieński J., 1993. *Wybrane zagadnienia mechanicznego mieszania układów ciecz – gaz*. Wyd. Pol. Krakowskiej, Kraków
- Kamieński J., 2004. *Mieszanie układów wielofazowych*. WNT, Warszawa
- Karcz J., 2002. Mieszanie układu ciecz-gaz w aparatach z mieszadłem szybkoobrotowym. *Inż. Ap. Chem.*, **41**, nr 1, 3-14
- Stręk F., 1971. *Mieszanie i mieszalniki*. WNT, Warszawa.
- Szaferki W., 2005. *Badania napowietrzania układów złożonych w mieszalnikach mechanicznych*. Rozprawa doktorska, Wydział Technologii Chemicznej, Pol. Poznańska, Poznań