Prosimy cytować jako: Inż. Ap. Chem. 2013, 52, 4, 315-316

Przemysław GRĄDZIK, Marian KORDAS , Stanisław MASIUK, Rafał RAKOCZY

e-mail: rrakoczy@zut.edu.pl

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

Badania mocy mieszania cieczy w mieszalniku strumieniowym nowej konstrukcji

Wstęp

W praktyce przemysłowej stosuje się wiele typów urządzeń mieszających. Najbardziej znane i rozpowszechnione są mieszalniki zbiornikowe z mieszadłami mechanicznymi [*Harnby i in., 2001*]. Alternatywnymi rozwiązaniami względem klasycznych urządzeń mieszających są mieszalniki strumieniowe. Mieszanie w tych aparatach polega na wprowadzeniu strumienia płynu o dużej prędkości przepływu do strumienia o innej prędkości przepływu lub wsadu mieszalnika. Ta metoda mieszania jest szczególnie polecana do płynów cechujących się małą lepkością [*Harnby i in., 2001*]. Mieszalniki strumieniowe są również stosowane w wielu procesach, np.: wytwarzanie nanocząstek [*Han i in., 2012*], alternatywny sposób mieszania cieczy [*Manjula i in., 2009*], mieszanie gazów [*Patkar i Patwardhan, 2011*].

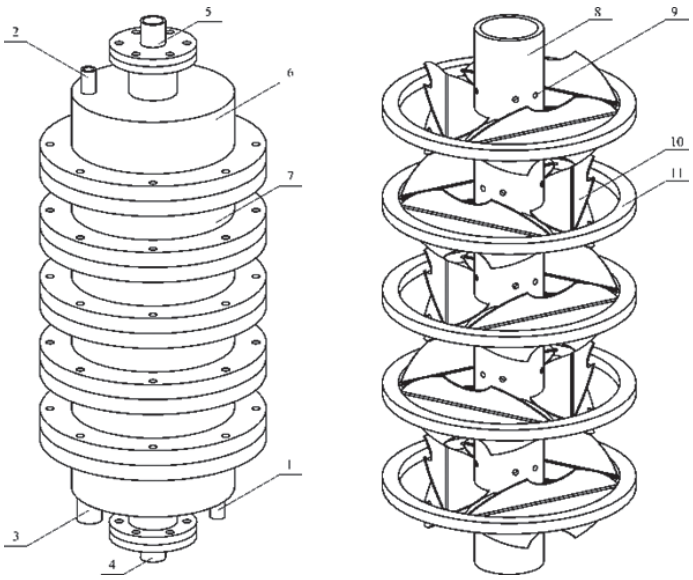
Pod względem konstrukcji mieszalniki strumieniowe można sklasyfikować jako zbiornikowe lub rurowe. W mieszalnikach zbiornikowych strumień doprowadzany jest z boku zbiornika. W mieszalnikach rurowych rozróżnia się doprowadzenie strumienia z boku lub w osi aparatu. Przykładem mieszalnika strumieniowego jest kolumna typu *airlift*. W kolumnie tej ruch płynu wywoływany jest poprzez unoszenie pęcherzyków gazu w cieczy.

Głównym celem prezentowanej pracy jest analiza mieszalnika strumieniowego nowej konstrukcji [*Rakoczy i in., 2012*]. Badania podstawowe tego mieszalnika polegały na pomiarze spadku ciśnienia w aparacie mieszającym. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono liczby *Eulera*, które uzależniono od warunków hydrodynamicznych panujących w urządzeniu mieszącym.

Część doświadczalna

Opis aparatury badawczej

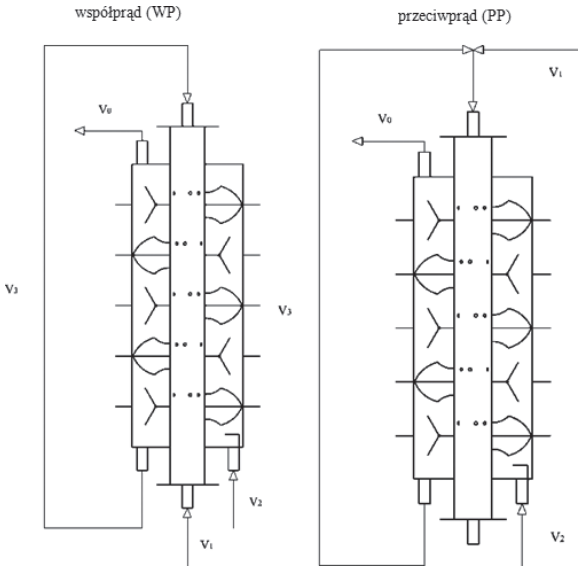
Widok mieszalnika strumieniowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Widok mieszalnika strumieniowego nowej konstrukcji: *1* – wlot do przestrzeni międzyrurowej, *2* – wylot z mieszalnika, *3* – wylot z przestrzeni międzyrurowej (recykl), *4,5* – wlot do rury wewnętrznej, *6* – pokrywa, *7* – moduł zbiornika, *8* – rura wewnętrzna, *9* – otwór w rurze wewnętrznej, *10* – mieszadło, *11* – pierścień montażowy mieszadeł

Urządzenie składa się z dwóch pionowych, współosiowych rur o różnych średnicach. Rura wewnętrzna posiada otwory na powierzchni bocznej. W przestrzeni międzyrurowej umieszczono moduły mieszające. W skład jednego modułu wchodzą trzy mieszadła zamontowane na pierścieniu o średnicy wewnętrznej równej średnicy wewnętrznej obudowy. Osie obrotu mieszadeł tworzą trójkąt równoboczny. Moduły umieszczone są jeden nad drugim, kolejny moduł obrócony jest w osi aparatu względem poprzedniego o kąt 60°. Otwory w ścianie bocznej rury wewnętrznej znajdują się na wysokości osi mieszadeł W badanym urządzeniu zamontowano pięć modułów mieszających.

Do aparatu kierowany jest główny strumień wlotowy, rozdzielający się na strumień zasilający wchodzący do rury wewnętrznej (RW – V_1) oraz strumień wprowadzony do przestrzeni międzyrurowej (PM – V_2). Jednocześnie część płynu jest przetłaczana z dolnej części aparatu (PM) do rury wewnętrznej tworząc recykl (strumień V_3). Strumień PM jest dostarczany u dołu aparatu, natomiast strumień RW jest dostarczany zależnie od wariantu od dołu lub od góry. W zależności od sposobu doprowadzenia strumieni w analizowanym aparacie mieszającym rozróżnia się dwa sposoby kontaktowania: współprądowy (WP) i przeciwprądowy (PP). W pierwszym przypadku strumień RW dostarczany jest u dołu, natomiast w drugim od góry. Na rys. 2 przedstawiono schematycznie sposoby doprowadzenia strumieni w mieszalniku strumieniowym nowej konstrukcji.



Rys. 2. Schemat przedstawiający sposoby doprowadzenia strumieni w analizowanym mieszalniku

Opis badań

Prace badawcze polegały na pomiarze za pomocą elektronicznych czujników (MPX5500) różnic ciśnienia pomiędzy wlotem głównego strumienia (przed rozdziałem na strumienie V_1 i V_2) a wylotem mieszalnika (strumień V_0, Rys. 2). Czujniki poprzez moduł przetwarzający podłączono do komputera w celu akwizycji danych pomiarowych. W przypadku prowadzonych badań strumienie objętościowe zmieniały się w zakresach: $V_1 = 1{,}3\cdot10^{-4} \div 6{,}5\cdot10^{-4}$ m^3·s^{-1}; $V_2 = 2{,}7\cdot10^{-4} \div 3{,}1\cdot10^{-4}$ m^3·s^{-1}; $V_3 = 2{,}7\cdot10^{-5} \div 2{,}7\cdot10^{-4}$ m^3·s^{-1}.

W analizowanym urządzeniu mieszającym oprócz strumieni wylotowych z otworów znajdujących się na powierzchni bocznej wewnętrznej

Prosimy cytować jako: Inż. Ap. Chem. 2013, 52, 4, 315-316

rury mieszalnika występuje strumień przepływający przez powierzchnię międzyrurową. Zdaniem autorów rozważany mieszalnik bez strumienia V_2 można traktować jako mieszalnik strumieniowy. Uwzględniając strumień V_2 urządzenie mieszające można traktować jako mieszalnik hybrydowy, łączący cechy mieszalnika strumieniowego oraz statycznego (stąd konieczność uwzględnienia dodatkowej liczby *Reynoldsa* określającej hydrodynamikę w przepływającego płynu przez aparat).

Opis hydrodynamiki klasycznych mieszalników strumieniowych oparty jest na tzw. *jet Reynolds number* [*Harnby i in., 2001*]. Do wyznaczenia charakterystyk mocy dla nowego typu mieszalnika strumieniowego zdecydowano się zastosować liczby *Reynoldsa*, których definicję oparto na prędkości przepływu przez przestrzeń międzyrurową (Re_{PM} = 89÷984) oraz prędkości wyznaczonej dla strumienia wypływającego z otworu znajdującego się na powierzchni bocznej rury wewnętrznej (Re_o = 932÷5440). Wartość prędkości przepływu w przestrzeni międzyrurowej zmieniała się w zakresie od 0,01 do 0,0062 m·s^{-1}, natomiast prędkość wypływu płynu przez otwory znajdujące się na powierzchni bocznej rury wewnętrznej zmieniała się od 0,28 do 0,71 m·s^{-1}. W analizowanym przypadku, jako medium robocze zastosowano wodę wodociągową w temperaturze 10°C.

Analiza i dyskusja wyników

Na podstawie uzyskanych pomiarów wyznaczono charakterystyki mocy dla analizowanego mieszalnika strumieniowego. Charakterystykę mocy wyrażono w postaci zależności

$$Eu = f(Re_o, Re_{PM}) \Rightarrow \frac{\Delta p}{\rho w_o^2} = f\left(\frac{w_o d_o \rho}{\mu}, \frac{w_{PM} d_z \rho}{\mu}\right) \quad (1)$$

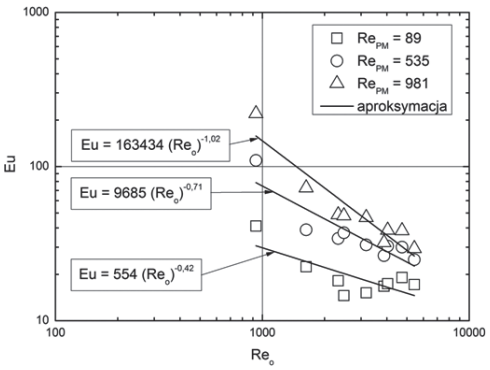
gdzie:

Δp – spadek ciśnienia, [Pa];

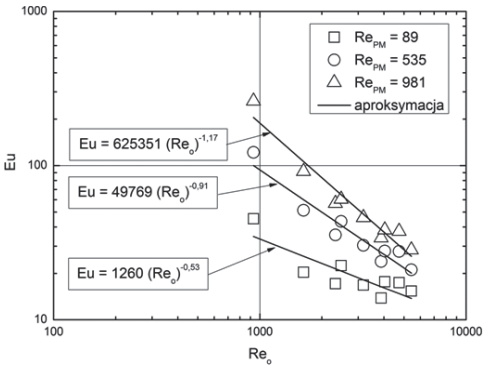
d_o – średnica otworu na powierzchni bocznej rury wewnętrznej, [m];

d_z – średnica zastępcza dla przekroju pierścieniowego, [m].

Na rys. 3 i 4 przedstawiono odpowiednio uzyskane charakterystyki mocy dla przypadku, w którym strumienie doprowadzono w przeciwprądzie oraz współprądzie.



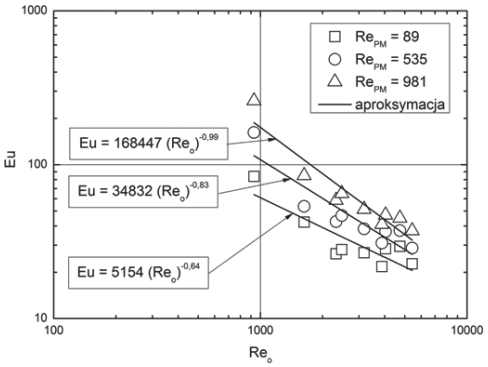
Rys. 3. Charakterystyka mocy dla przeciwprądowego doprowadzenia strumieni (lokalizacja czujników pomiarowych V_1-V_0)



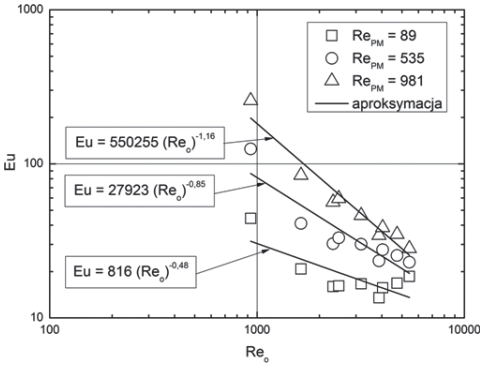
Rys. 4. Charakterystyka mocy dla przeciwprądowego doprowadzenia strumieni (lokalizacja czujników pomiarowych V_2–V_0)

Porównując przedstawione na powyższych rysunkach uzyskane rezultaty można zauważyć, że otrzymane charakterystyki mocy dla obu przypadków są bardzo zbliżone. Obliczone wartości liczby *Eu* dla lokalizacji czujników pomiarowych ciśnienia V_2-V_0 są nieznacznie większe niż dane dla lokalizacji V_1-V_0.

Na rys. 5 i 6 przedstawiono odpowiednio uzyskane charakterystyki mocy dla przypadku, w którym strumienie doprowadzono we współprądzie dla lokalizacji czujników pomiarowych V_1-V_0 (Rys. 5) i V_2-V_0 (Rys. 6). W tym przypadku otrzymane wartości liczby *Eu* są większe dla lokalizacji V_1-V_0 (Rys. 5).



Rys. 5. Charakterystyka mocy dla współprądowego doprowadzenia strumieni (lokalizacja czujników pomiarowych V_1-V_0)



Rys. 6. Charakterystyka mocy dla współprądowego doprowadzenia strumieni (lokalizacja czujników pomiarowych V_2-V_0)

Porównując dane przedstawione na rys. 3 i 5 można zaobserwować znaczące różnice pomiędzy wyznaczonymi charakterystykami mocy. Większe wartości bezwymiarowych liczb *Eulera* są osiągane dla współprądowego doprowadzenia strumieni w testowanym urządzeniu mieszającym.

Wnioski

Zaprezentowane wyniki badań doświadczalnych dotyczące analizy charakterystyk mocy dla nowego typu mieszalnika strumieniowego prowadzą do następujących wniosków:

- Uzyskane charakterystyki mocy dla analizowanych przypadków konfiguracji położenia czujników pomiaru ciśnienia wskazują na niewielkie różnice między wyznaczonymi bezwymiarowymi liczbami *Eulera*.
- W badanym mieszalniku strumieniowym znaczący wpływ na uzyskiwane charakterystyki mocy mają wytwarzane warunki hydrodynamiczne (w szczególności przepływ płynu w przestrzeni międzyrurowej).

LITERATURA

Han J., Zhu Z., Qian H., Wohl A., Beaman C., Hoye T., Macosko C., 2012. A simple confined impingement jets mixer for flash nanoprecipitation. *J. Pharm. Sci.*, **101**, 4018-4023. DOI: 10.1002/jps.23259

Harnby N., Edwards M.F., Nienow A.W., 2001. *Mixing in the Process Industries*, Butterworth-Heineman, Oxford (ISBN 0-7506-3760-9)

Manjula P., Kalaichelvi P., Dheenathayalan K., 2010. Development of mixing time correlation for a double jet mixer. *J. Chem. Tech. Biotech*., **85**, 115-120. DOI: 10.1002/jctb.2274

Patkar V., Patwardhan A., 2011. Effect of jet angle and orifice shape in gas-gas mixer using CFD. *Chem. Eng. Res. Des*. **89**, 904-920. DOI: 10.1016/j.cherd.2010.10.023

Patwardhan A.W., Gaikwad S.G., 2003. Mixing in tanks agitated by jets. *Chem. Eng. Res. Des.*, **81**, 211-220. DOI: 10.1205/026387603762878674

Rakoczy R., Grądzik P., Masiuk S., Kordas M., 2012. Pionowy mieszalnik przepływowy. *Biuletyn Urzędu Patentowego* nr 17 z dnia 13.08.2012 (zgłoszenie patentowe P-393850)