

Waldemar SZAFERSKI, Piotr Tomasz MITKOWSKI, Łukasz LITWINOWICZ, Michał LIMANOWSKI

e-mail: waldemar.szaferski@put.poznan.pl

Zakład Inżynierii i Aparatury Chemicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska

Ocena procesu mieszania zawiesin w niestandardowym mieszalniku z dwoma mieszadłami

Wstęp

Efektywność mieszania jest fundamentalnym kryterium w optymalizacji procesu mieszania. Określa, jak duży nakład energetyczny jest wymagany do osiągnięcia zadanego efektu technologicznego. Podczas wytwarzania układów ciecz-ciało stałe, gdzie gęstość fazy rozpraszanej jest mniejsza niż gęstość cieczy, obserwujemy zawieszenie cząstek ciała stałego na powierzchni cieczy, co ma związek z działającą na nie siłą wyporu. W takich przypadkach, zmieszanie polegać będzie na *wchłonięciu* cząstek ciała stałego do wnętrza cieczy. W celu wytworzenia w mieszalniku zawiesiny niekonwencjonalnej, należy zastosować takie warunki hydrodynamiczne i częstość obrotów mieszadła, aby unoszące się przy powierzchni cieczy cząstki ciała stałego zostały wciągnięte do fazy rozpraszającej, a następnie równomiernie rozprowadzone w całej objętości zbiornika [Karcz i Mackiewicz, 2006; 2007]. Jednym z warunków wytworzenia w mieszalniku zawiesiny *lekkiej*, jest osiągnięcie przez mieszadło minimalnej częstości obrotów. Zależy ona od właściwości fizycznych mieszanych ze sobą substancji, parametrów geometrycznych mieszanych cząstek oraz rodzaju zastosowanego mieszadła i parametrów konstrukcyjnych aparatu [Stręk, 1981; Kamiński, 2004; Wójtowicz, 2009, 2014].

Celem pracy była analiza doświadczalna procesu wytwarzania zawiesin niekonwencjonalnych przy zastosowaniu układów dwumieszadłowych oraz porównanie przydatności poszczególnych par mieszadeł w tym procesie.

Badania doświadczalne

Stanowisko pomiarowe. Badania przeprowadzono na stanowisku, który składa się z przezroczystego zbiornika zbudowanego z polimetylaku, o średnicy wewnętrznej 0,290 m z czterema standardowymi przegrodami płaskimi [Szaferski i in., 2013; Mitkowski i Szaferski, 2016; Szaferski, 2018]. W mieszalniku zastosowano układ dwóch mieszadeł o średnicy 0,1 m, zamocowanych na wspólnym wale wykonanym ze stali kwasoodpornej 1H18N9T. Rodzaje zastosowanych mieszadeł: turbinowe dyskowe z 6 prostymi łopatkami (RT), Chemineer HE-3 (HE-3), z sześcioma łopatkami pochylonymi pod kątem 45° (PBT), turbinowe dyskowe z 6 zagiętymi łopatkami turbina *Smitha* (ST), turbinowe dyskowe z sześcioma łopatkami prostymi (BT). Wysokość zamocowania dolnego mieszadła wynosiła 1/3, a górnego 2/3 wysokości cieczy w aparacie. Mieszadła konfigurowano na 25 sposobów, co przedstawiono w tab.1.

Materiały. Ciałem stałym wykorzystywanym w badaniach był granulaty polietylenu o gęstości 885,627 kg/m³ oraz średnicy zastępczej cząstki 3,76 mm. Granulaty dodawano w równych porcjach w zakresie udziału masowego ciała stałego (X_m) w mieszaninie od 0,005 do 0,035. W momencie wytworzenia zawiesiny kompletnej odczytywano wartość minimalnej częstości obrotów mieszadła.

Tab. 1. Zestawienie konfiguracji mieszadeł stosowanych w badaniach doświadczalnych

Mieszadło dolne	Mieszadło górne				
	RT	ST	PBT	HE-3	HE-3X
RT	x	x	x	x	x
ST	x	x	x	x	x
PBT	x	x	x	x	x
HE-3	x	x	x	x	x
HE-3X	x	x	x	x	x

Do oceny zawiesiny stosowano zmodyfikowane kryterium wizualne *Zwieteringa*. Ośrodkiem ciągłym była woda destylowana oraz roztwór wodny poliakryloamidu *Rokrysol WF1* o stężeniu 0,2%. Jest on związkiem o charakterze niejonowym stosowanym między innymi w procesie klarowania wody, podczas jej uzdatniania. W celu określenia właściwości roztworu polimeru, przeprowadzono badania reologiczne, z wykorzystaniem reometru rotacyjnego *Physica MCR-501*.

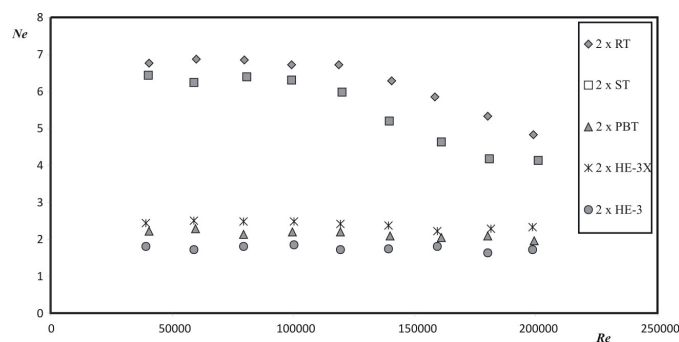
Wyniki i dyskusja

Analiza charakterystyki mocy dla zastosowanych mieszadeł została przeprowadzona w pierwszej części badań doświadczalnych. Na podstawie zależności liczby *Newtona* od liczby *Reynoldsa* dla pojedynczych mieszadeł na wale zaobserwowano, że wartość liczby *Newtona* jest wartością stałą (Tab. 2) dla wszystkich badanych mieszadeł w wodzie destylowanej dla zakresu liczby *Reynoldsa* od 20 000 do 200 000.

Tab. 2. Wartości liczby mocy uzyskanych w badaniach doświadczalnych

Mieszadło dolne	Mieszadło górne			
	brak	PBT	HE-3	HE-3X
RT	5,9	5,6	5,1	5,2
ST	5,8	5,4	4,9	5,3
PBT	1,6	2,1	1,8	2,2
HE-3	0,8	1,9	1,7	2
HE-3X	1,8	2,2	1,8	2,4

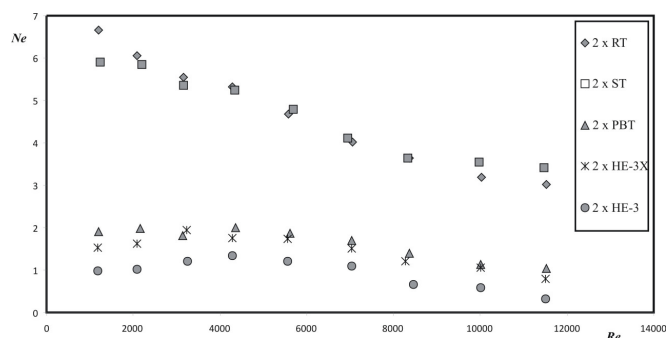
Wprowadzenie drugiego, identycznego mieszadła na wspólnym wale spowodowało wraz ze wzrostem częstości obrotów wzrastało napowietrzenie mieszaniny, a co za tym idzie zmniejszenie mocy mieszania i tym samym jednostkowej mocy mieszania dla RT i ST (Rys. 1).



Rys. 1. Przykładowy wykres charakterystyki mocy dla wody destylowanej i dwóch identycznych mieszadeł na wspólnym wale

W pozostałych przypadkach wartości były stałe w badanym zakresie częstości obrotów mieszadła od 3 do 20 1/s. Zaobserwowano również, że dla układów składających się z mieszadeł HE-3, HE-3X oraz PBT w różnej konfiguracji, mieszadła te stabilizowały układ mieszany i nie powodowały jego napowietrzania (Tab. 2). Przez stabilizowanie rozumiemy drgania aparatu i powtarzalność pomiarów.

W przypadku roztworu wodnego poliakryloamidu *Rokrysol WF1* dla zakresu liczby *Reynoldsa* od 1000 do 12 000 układy dwumieszadłowe powodowały silne napowietrzenie układu (Rys. 2). Tylko dla pojedynczego mieszadła na wale udało się otrzymać stałe wartości liczby *Newtona*. Dla mieszanin woda destylowana-ciało stałe oraz wodny roztwór WF1-ciało stałe nie stwierdzono znaczącego wpływu

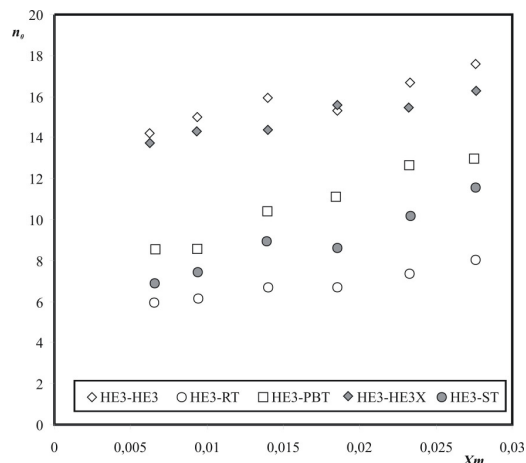


Rys. 2. Przykładowy wykres charakterystyki mocy dla wodnego roztworu poliakrylamidu i dwóch identycznych mieszadeł na wspólnym wale

ciała stałego na wartości liczby mocy mieszania w badanym zakresie udziału ciała stałego w mieszaninie.

W dalszej części pracy analizowano minimalną częstotliwość obrotów potrzebną do wytworzenia zawiesiny oraz odpowiadających im mocy mieszania wykazywanych przez układy dwóch mieszadeł, w zależności od udziału masowego ciała stałego w zawieszynie.

W przypadku zastosowania mieszadła HE-3 na 2/3 wysokości cieczy w aparacie, najniższe minimalne częstotliwości obrotów potrzebne do wytworzenia zawiesiny lekkiej zostały uzyskane w zestawieniu z mieszadłem RT na 1/3 wysokości, a najwyższe dla dwóch mieszadeł HE-3 (Rys. 3). Pary mieszadeł z dolnym ST, PBT oraz HE-3X osiągały wyniki pomiędzy wartościami osiągniętymi przez RT i HE-3. Najniższe moce mieszania uzyskano dla układów HE-3–RT oraz HE-3–PBT. Interesujący jest fakt, iż układ HE-3–ST wraz ze wzrastającym udziałem masowym ciała stałego w układzie, wykazuje potrojenie początkowej wartości mocy mieszania, podczas, gdy odpowiadająca tej wielkości wartość minimalnej częstotliwości obrotów wzrosła tylko o około 36%.

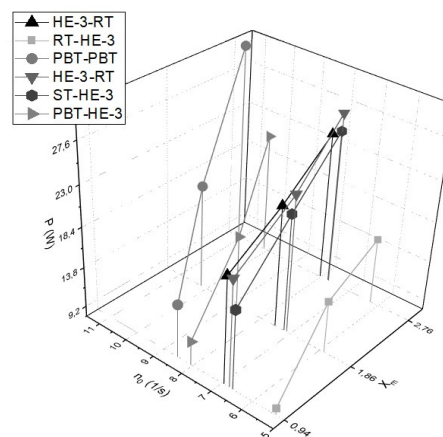


Rys. 3. Przykładowy wykres minimalnej częstotliwości obrotów mieszadła dla HE-3 zamontowanego na wysokości równej 1/3 wysokości cieczy w aparacie

Rozpatrując badane układy dwumieszadłowe, najniższe częstotliwości obrotów wykazywały te zestawy mieszadeł, gdzie zamontowane było RT i ST w pozycji górnej, czyli na 2/3 wysokości cieczy w aparacie. Stosując te mieszadła w pozycji dolnej, czyli na 1/3 wysokości cieczy w aparacie częstotliwości obrotów potrzebnych do uzyskania zawiesiny były wyższe, ale zdecydowanie niższe niż w przypadku pozostałych zestawów. Wskazuje to, iż mieszadła te posiadają dużą zdolność zasysającą z powierzchni, co można było także zaobserwować podczas pomiarów. Wszystkie zestawy mieszadeł zawierające w pozycji górnej RT i ST, przy dużych częstotliwościach obrotów oprócz granulatu, zasysały także powietrze. Z punktu widzenia mieszanin gaz-ciecz-ciało stałe jest to efekt pożądany, jednak w celu uzyskania zawiesiny ciecz-ciało stałe niekoniecznie.

Analizując wyniki badań w wodnym roztworze poliakrylamidu dla wszystkich zestawów mieszadeł zwiększanie ilości ciała stałego

w mieszaniu powodowało konieczność zwiększania częstotliwości obrotów mieszadła w celu uzyskania zawiesiny idealnej. Podobnie zresztą było w przypadku wody destylowanej. Trudno było wytypować, który optymalny zestaw mieszadeł. Mieszadła charakteryzujące się niskimi częstotliwościami obrotów generowały duże zapotrzebowanie energii ze względu na swą budowę. Pozostałe były bardziej ekonomiczne, ale mniej efektywne. Wytypowane najbardziej efektywne zestawy przedstawiono na rys. 4, przy czym zmodyfikowane mieszadło HE-3X pracowało identycznie jak mieszadło HE-3.



Rys. 4. Porównanie minimalnej częstotliwości obrotów mieszadła do mocy mieszania przy różnych udziałach ciała stałego dla badanych układów mieszających

Wnioski

Analiza wyników badań doświadczalnych pozwoliła na zobrazowanie charakterystyk mocy układów dwumieszadłowych oraz częstotliwości obrotów jakie potrzebują te układy w celu wytworzenia zawiesiny.

Najmniej energochłonnymi okazały się zestawy mieszadeł HE-3, HE-3X oraz PBT. Bez względu na pozycję zamontowania obniżały nakłady energetyczne. Niestety nie wykazywały tak dużych tendencji do zasysania granulatu do wnętrza mieszaniny jak mieszadła RT i ST.

Dodatkowo zaobserwowano, że układy dwumieszadłowe mają tendencję do zwiększonego napowietrzania mieszaniny, co może być wykorzystywane np. w procesach prowadzonych w oczyszczalniach ścieków.

LITERATURA

- Kamiński J., (2004). *Mieszanie układów wielofazowych*. WNT, Warszawa
- Karcz J., Mackiewicz B., 2006. Wpływ skali zbiornika na warunki wytwarzania zawiesiny lekkiej w obecności fazy gazowej. *Inż. Ap. Chem.* 45(6s), 108-109
- Karcz J., Mackiewicz B., 2007. Wpływ oprzegrodowania mieszalnika na warunki wytwarzania suspensji lekkich cząstek o różnej zwilżalności. *Inż. Ap. Chem.* 46(4-5), 74-79
- Mitkowski, P.T., Szaferski, W., 2016. Production of emulsion in tank mixer with sieve bottom. *Chem. Eng. Res. Design*, 109, 618-627. DOI: 10.1016/j.cherd.2016.03.014
- Stręć F., 1981. *Mieszanie i mieszalniki*. WNT, Warszawa
- Szaferski W. (2018). Reduction of energy consumption in gas-liquid mixture production using a membrane diffuser and HE-3X stirrer [In:] Ochowiak M., Wozniowski S., Doligalski M., Mitkowski P. (eds). Practical aspects of chemical engineering. Lecture notes on multidisciplinary industrial engineering. Springer, Cham. 423-436. DOI: 10.1007/978-3-319-73978-6_29
- Szaferski W., Mitkowski P.T., Kondras A., 2013. Wytwarzanie zawiesin zmodyfikowanym mieszadłem HE-3X. *Inż. Ap. Chem.* 52(6), 566-567
- Wójtowicz R., 2014. Choice of an optimal agitated vessel for the drawdown of floating solids. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2014, 53(36), 13989-14001. DOI: 10.1021/ie500604q
- Wójtowicz R., Kamiński J., 2009. Minimalna częstotliwość obrotów mieszadła podczas wytwarzania zawiesin lekkich w mieszalniku mechanicznym. *Inż. Ap. Chem.* 48(1), 126-127

Praca została wykonana w ramach działalności statutowej Politechniki Poznańskiej nr 03/32/DSPB/0802 finansowanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.