

Waldemar SZAFERSKI, Piotr Tomasz MITKOWSKI, Aleksandra KONDRAS

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

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

## Wytwarzanie zawiesin zmodyfikowanym mieszadłem HE-3X

### Wstęp

Rozpraszanie cząstek ciała stałego w cieczy prowadzące do powstania zawiesiny jest w praktyce przemysłowej jedną z częściej stosowanych operacji mieszania w układach dwufazowych. Szczególnie interesującym kierunkiem badawczym jest wytwarzanie tzw. zawiesin lekkich charakteryzujących się ujemną wartością modułu gęstościowego [Kamieński, 2004]. W badaniach modelowych tego typu układów jako fazę rozpraszaną najczęściej stosuje się różnego rodzaju granulaty z tworzyw sztucznych o gęstości mniejszej od gęstości wody stanowiącej ośrodek ciągły.

W procesie produkcji, w zależności od stosowanej metody, granulaty polimerów przyjmują regularne, aczkolwiek bardzo zróżnicowane kształty. Podobny problem zróżnicowania kształtu cząstek występuje podczas produkcji regranulatów, które najczęściej uzyskuje się tnąc mechanicznie wytłaczany produkt. Jeszcze większe zróżnicowanie kształtu cząstek występuje w procesie recyklingu odpadów z tworzyw sztucznych, gdzie powszechnie stosuje się operację mielenia prowadzącą do uzyskania bardzo nieregularnych aglomeratów.

Wytworzenie zawiesiny ciała stałego w cieczy jest możliwe przy odpowiednio dużej prędkości osiowej cieczy w mieszalniku. Powstawanie zawiesiny w mieszalniku opisywane jest za pomocą minimalnej częstości obrotów mieszadła  $n_0$ , czyli najmniejszej częstości obrotów, przy której w mieszalniku występuje pożądane wytworzenie zawiesiny. Warunki hydrodynamiczne w mieszalniku w przypadku powstawania zawiesiny ciała stałego o gęstości mniejszej od gęstości cieczy muszą zapewnić jego zassanie z powierzchni cieczy i rozproszenie w całej objętości.

Celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie minimalnej częstości obrotów wymaganej do wytworzenia zawiesiny i określenie nakładów energetycznych dla zmodyfikowanego mieszadła HE-3X oraz porównanie otrzymanych wyników z mieszadłem Chemineer HE-3 [Chemineer, 2013] i mieszadłem turbinowym Rushtona. Wprowadzenie nowego mieszadła ma na celu optymalizację procesu wytwarzania zawiesiny poprzez zmniejszanie zapotrzebowania na energię przy maksymalnej wydajności mieszadła.

### Badania doświadczalne

#### Stanowisko pomiarowe

Badania eksperymentalne przeprowadzono na stanowisku pomiarowym, którego schemat oraz szczegółowe parametry techniczne przedstawiono w pracy [Szaferski i in., 2011]. Głównym jego elementem był płaskodenny mieszalnik o średnicy 0,300 m wykonany z polimetakrylanu metylu z czterema standardowymi przegrodami płaskimi o szerokości 0,030 m i grubości 0,006 m.

Mieszalnik zaopatrzono w zmodyfikowane mieszadło szybkoobrotowe własnej konstrukcji HE-3X, przedstawione na rys. 1. Modyfikacja polegała na wprowadzeniu do mieszadła szybkoobrotowego Chemineer HE-3 dysku znanego z mieszadła turbinowego tarczowego Rushtona. Ze względu na testowy charakter badań wyniki porównywano z rezultatami otrzymanymi dla mieszadła szybkoobrotowego HE-3 oraz turbiny Rushtona.

Mieszadła umieszczano na wysokości 1/3 średnicy zbiornika licząc względem jego dna. Zbiornik napełniony był do wysokości równej średnicy aparatu.

#### Materiały

Jako fazę rozpraszającą zastosowano wodę destylowaną oraz wodne roztwory gumy arabskiej o stężeniu od 2,5 do 10% wag (Tab. 1) natomiast fazą rozpraszaną były granulaty polietylenu (PE-RY) o kształcie

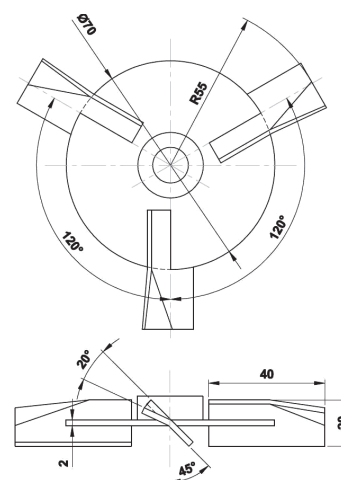
pastylek, których charakterystykę zestawiono w tab. 2. Średnicę zastępczą badanych granulatów  $d_e$  wyliczono w oparciu o rekomendowaną klasyczną zależność [Strępek, 1981]:

$$d_e = \sqrt[3]{\frac{6m}{\pi\rho}} \quad (1)$$

gdzie:

$m$  – masa pojedynczej cząsteczki, [g],

$\rho$  – gęstość ciała stałego, [kg/m<sup>3</sup>].



Rys. 1. Schemat mieszadła HE-3X stosowanego w badaniach

#### Metodyka

Granulat dodawany był w równych porcjach po 100 g, co przekłada się na zakres udziału masowego ( $X_m$ ) ciała stałego w mieszaninie od 0,005 do 0,05. W momencie wytworzenia zawiesiny kompletnej odczytywano wartość minimalnej częstości obrotów mieszadła.

Tab. 1. Właściwości fizykochemiczne badanych roztworów

Badane roztwory wodne	$\eta$ [Pa·s]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Guma arabska 2,5%	0,0031	1009
Guma arabska 5%	0,0041	1019
Guma arabska 10%	0,0101	1040

Do oceny zawiesiny stosowano zmodyfikowane kryterium wizualne Zwieteringa. Zgodnie z tzw. kryterium jednej sekundy, cząstki ciała stałego nie mogą przebywać na dnie zbiornika dłużej niż przez jedną sekundę, po czym muszą być znowu uniesione [Zwietering, 1958].

Tab. 2. Parametry stosowanych granulatów polietylenu PE-RY

Masa pojedynczej cząsteczki, $m$ [g]	0,026636
Gęstość usypowa, $\rho_u$ [kg/m <sup>3</sup> ]	587,2
Gęstość pomiarowa, $\rho_s$ [kg/m <sup>3</sup> ]	928,4
Porowatość, $\varepsilon$ [kg <sup>3</sup> /kg <sup>3</sup> ]	0,363
Średnica zastępcza, $d_e$ [m]	0,00380
Długość, $h_s$ [mm]	2,13
Średnica, $d_s$ [mm]	4,82
Barwa substancji	żółta

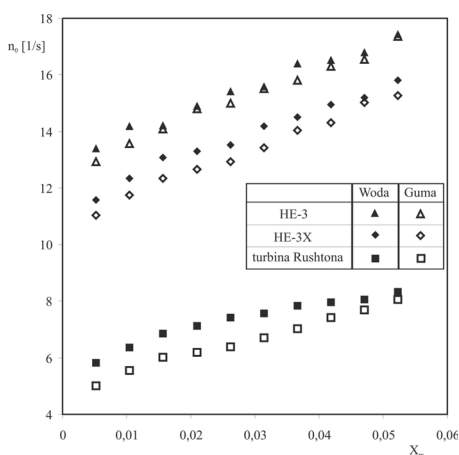
W przypadku zawiesin, w których gęstość ciała stałego jest mniejsza od gęstości cieczy, na powierzchni mieszaniny tworzy się charakterystyczna rozeta. Wraz ze wzrostem częstości obrotowej mieszadła rozeta zanika. Częstość obrotowa mieszadła, przy której cząsteczki ciała

stałego znikają z okolic przegród i nie pojawiają się na powierzchni mieszaniny dłużej niż przez jedną sekundę zawieszinę uznawano jako charakterystyczny dla wytworzenie zawiesiny.

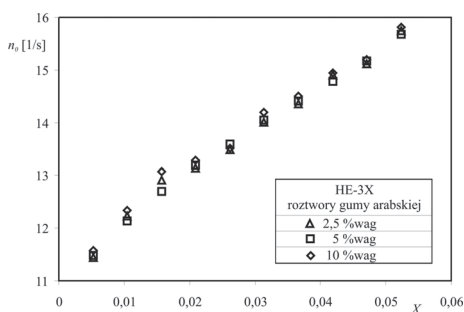
## Wyniki badań i dyskusja

Wykazano, iż wytworzenie zawiesiny przez zmodyfikowane mieszadło HE-3X następuje przy niższych wartościach minimalnej częstości obrotów mieszadła w porównaniu z mieszadłem HE-3, a zatem przy niższych nakładach energetycznych. Mieszadło turbinowe *Rushtona* uzyskuje najlepsze rezultaty, gdyż minimalne częstości obrotów są ponad dwukrotnie niższe w porównaniu z pozostałymi mieszadłami.

Ilość granulatu ma istotny wpływ na proces mieszania, bo wraz z jego wzrostem w mieszaninie rośnie minimalna częstość obrotów dla każdego typu mieszadła oraz dla różnych badanych ośrodków ciągłych. Przykładowe wyniki wpływu ilości granulatu w zawieszynie oraz rodzaju zastosowanego mieszadła w wodzie destylowanej i w 2,5% wag. roztworze wodnego gumy arabskiej przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Minimalne częstości obrotów mieszadeł podczas wytwarzania zawiesiny w wodzie destylowanej i w 10% wag. roztworze gumy arabskiej



Rys. 3. Minimalne częstości obrotów mieszadeł podczas wytwarzania zawiesiny w roztworach gumy arabskiej

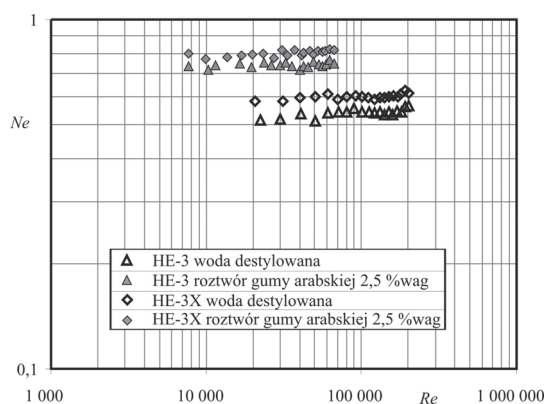
Nie zaobserwowano istotnego wpływu stężenia gumy arabskiej w badanych roztworach (2,5÷10% wag) na minimalne częstości obrotów mieszadła podczas wywarzania zawiesin (Rys. 3).

Przeprowadzono również analizę zależności liczby *Newtona* od liczby *Reynoldsa* w celu wyznaczenia charakterystyki mieszadła HE-3X. Liczby te obliczono dla parametrów fizycznych zawiesiny. Moc mieszania obliczano na podstawie pomiaru momentu obrotowego w funkcji prędkości obrotowej, które wyznaczono za pośrednictwem momentomierza tensometrycznego typu *Mt 5Mn* firmy *SENSOR-AT*, miernika prędkości obrotowej *ALFA 2000S* oraz programu z automatyczną obróbką wyników pomiaru.

W przypadku prowadzenia procesu mieszania w wodzie destylowanej uzyskana średnia wartość liczby mocy dla zastosowanych mieszadeł wynosiła: 0,54 (HE-3); 0,60 (HE-3X) oraz 5,5 (turbina *Rushtona*) w zakresie wartości liczb *Reynoldsa* od 20 000 do 200 000. Wprowadzona modyfikacja HE-3X nie wpłynęła bezpośrednio na liczbę mocy w stosunku do mieszadła HE-3.

Należy jednak zwrócić uwagę, że wytwarzano zawieszinę przy niższych obrotach mieszadła przy porównywalnych wartościach nakładów energetycznych testowanego mieszadła. Chociaż mieszadło turbinowe *Rushtona* wytwarza mieszaninę przy dużo niższych obrotach, to jednak

nakłady energetyczne ( $Ne = 5,5$ ) są prawie 10-krotnie większe. Przykładowy obraz tej zależności dla wody destylowanej i 2,5% wag. roztworu wodnego gumy arabskiej przedstawiono na rys. 4. Celowo pominięto wyniki dla mieszadła turbinowego *Rushtona*, gdyż było już ono przedmiotem wielu badań.



Rys. 4. Liczby mocy podczas mieszania wody destylowanej i 2,5% wag roztworu gumy arabskiej

Wpływ ilości granulatu w mieszaninie dwufazowej na liczbę mocy jest niewielki. Dla mieszadła HE-3X oraz wody destylowanej wartość liczby mocy mieści się w zakresie od 0,60 do 0,66 w badanym zakresie udziału masowego od 0,005 do 0,05. W przypadku roztworów gumy arabskiej w zakresie stężeń od 2,5 do 10% wag wartości oscylowały w zakresie od 0,70 do 0,78. Nie zaobserwowano wpływu stężenia gumy arabskiej w zawieszinach na charakterystyki mocy w badanym zakresie stężeń i udziałów masowych ciała stałego.

Zaobserwowano, że podczas wytwarzania zawiesiny zmodyfikowane mieszadło HE-3X pracowało stabilniej i nie występowały dodatkowe drgania, jak to miało miejsce w przypadku pozostałych mieszadeł.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań testowych stwierdzono, że zaproponowane modyfikacje mieszadła *Chemineer* HE-3 mają wpływ na wytwarzanie jednorodnego układu dwufazowego ciecz – ciało stałe.

Z analizy zależności liczby mocy od liczby *Reynoldsa*, dla pomiarów przeprowadzonych w wodzie destylowanej, wynika, że mieszadło HE-3X uzyskuje zbliżone wyniki do mieszadła HE-3, jednocześnie uzyskując nawet 10-krotnie niższe wartości liczby mocy mieszania niż mieszadło turbinowe *Rushtona*.

Potwierdzono wpływ udziału masowego ciała stałego w zawieszynie w zakresie od 0,005 do 0,05 na minimalne częstości obrotów mieszadła dla wody destylowanej i roztworów 2,5÷10% wag gumy arabskiej.

Nie zaobserwowano wpływu stężenia gumy arabskiej w roztworach w badanym zakresie na minimalne częstości obrotów mieszadła podczas wytwarzania zawiesiny oraz na nakłady energetyczne poszczególnych badanych mieszadeł.

Wprowadzone modyfikacje dają szansę rozszerzenia badań na inne układy wielofazowe i szerszy zakres stężeń.

## LITERATURA

- Chemineer, 2013. *HE-3 High-Efficiency Impeller*, Bulletin 713 (10.2013): [http://www.chemineer.com/literature/item/download/400\\_61aeddd1d68dcf9b4f48e0d8c2fe5bb14.html](http://www.chemineer.com/literature/item/download/400_61aeddd1d68dcf9b4f48e0d8c2fe5bb14.html)
- Kamiński J., 2004. *Mieszanie układów wielofazowych*. WNT, Warszawa.
- Stręk F., 1981. *Mieszanie i mieszalniki*. WNT, Warszawa.
- Szaferski W., Broniarz-Press L., Dulaska D., 2011. Wytwarzanie zawiesiny flozującej w mieszalniku o niestandardowej geometrii. *Przem.Chem.*, **90**, 1686-1688
- Zwietering T.N., 1958. Suspending of solid particles in liquid by agitators. *Chem. Eng. Sci.*, **8**, 244-253. DOI: 10.1016/0009-2509(58)85031-9

**Praca została wykonana w ramach działalności statutowej Politechniki Poznańskiej DS-PB 32/368/13.**