

ANNA KIEŁBUS-RĄPAŁA
JOANNA KARCZ

Institut Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

Warunki wytwarzania układu ciecz-ciało stałe w mieszalnikach różnej skali

Wprowadzenie

Mieszane mechanicznie układy ciecz-ciało stałe mają szerokie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, a zwłaszcza w przemyśлах przetwórczych m.in. spożywczym, farmaceutycznym, kosmetycznym. Wytworzenie zawiesiny cząstek fazy stałej w cieczy wymaga odpowiednich częstości obrotów mieszadła, pozwalających unieść cząstki ciała stałego z dna zbiornika i rozproszyć je w cieczy. Stopień zawieszenia fazy stałej w cieczy zależy nie tylko od częstości obrotów mieszadła, ale również od geometrii mieszalnika [1]. W większości procesów technologicznych nie ma wymogu wytwarzania mieszaniny jednorodnej, często wystarczy uzyskać zawiesinę tzw. całkowitą. Podstawowym parametrem określającym moment powstania mieszaniny ciecz-ciało stałe w aparacie z mieszadłem jest krytyczna częstość obrotów mieszadła n_{kr} . W literaturze przyjmuje się najczęściej, że n_{kr} jest to minimalna częstość obrotów mieszadła, przy której cząstki ciała stałego nie mogą pozostawać w bezruchu na dnie zbiornika dłużej niż 1 sekundę [2]. Jej wartość zależy od wielu parametrów: typu mieszadła, geometrii układu, właściwości fizycznych cieczy i ciała stałego oraz stężenia cząstek fazy stałej [3].

Celem pracy było określenie warunków powstawania układu ciecz-ciało stałe w zbiornikach o dwóch różnych średnicach, wyposażonych w różne mieszadła szybkoobrotowe, mocowane pojedynczo lub po dwa na wspólnym wale. Podstawowymi wyznaczanymi wielkościami były krytyczna częstość obrotów mieszadła n_{kr} oraz moc mieszania P .

Część doświadczalna

Badania doświadczalne przeprowadzono w dwóch geometrycznie podobnych, przezroczystych mieszalnikach o średnicy wewnętrznej $D = 0,634$ m lub $0,288$ m. Oba zbiorniki posiadały płaskie dno, cztery przegrody o szerokości $B = 0,1D$ oraz centralnie usytuowany wał, na którym mocowano mieszadła na wysokości $h = 0,33D$ (licząc od dna zbiornika).

W zbiorniku o średnicy $D = 0,634$ m, wypełnionym cieczą do wysokości $H = D$ ($V_L = 0,2$ m³) zastosowano cztery różne typy mieszadeł: turbinowe *Rushtona*, turbinowe *Smitha*, A 315, HE 3 o średnicy $d = 0,33D$ oraz mieszadła A 315 i HE 3 o średnicy $d = 0,5D$.

W mniejszym zbiorniku, wypełnionym cieczą do wysokości $H = D$ ($V_L = 0,0019$ m³) wykonano pomiary dla trzech mieszadeł montowanych pojedynczo: turbinowego *Rushtona*, turbinowego *Smitha*, A 315 o średnicy $d = 0,33D$ oraz mieszadła A 315 o średnicy $d = 0,5D$. W tym samym mieszalniku, wypełnionym cieczą do wysokości $H = 2D$ ($V_L = 0,038$ m³) zastosowano układy dwóch mieszadeł na wspólnym wale w kon-

figuracjach: turbinowe *Rushtona* (górne) – A 315 (dolne) oraz turbinowe *Rushtona* (górne) – turbinowe *Smitha* (dolne). Dolne z mieszadeł znajdowało się w odległości $h_1 = 0,17H$ od dna zbiornika, a górne – w odległości $h_2 = 0,67H$.

Mieszaną cieczą była woda destylowana, natomiast fazę stałą stanowiły cząstki piasku morskiego o średniej średnicy $d_p = 335$ μm, gęstości $\rho = 2600$ kg/m³ oraz średnim stężeniu X % wag. Stężenie piasku zmieniano w następujących zakresach: $<0 \div 2,5\%$ wag. w zbiorniku o średnicy $D = 0,634$ m oraz $<0 \div 7,5\%$ wag. w zbiorniku o średnicy $D = 0,288$ m. Krytyczną częstość obrotów mieszadła n_{kr} określano w oparciu o kryterium *Zwieteringa* (1958), natomiast moc mieszania P mierzono metodą tensometryczną.

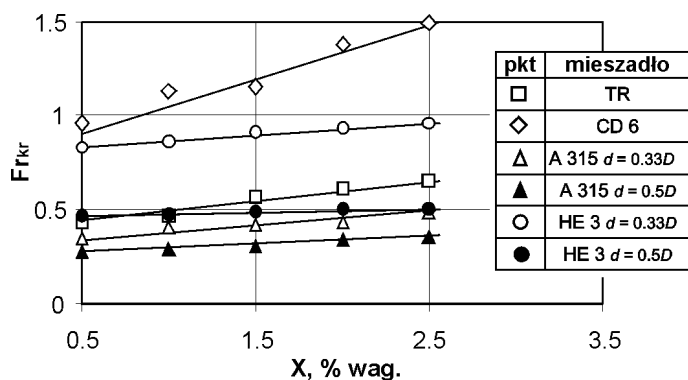
Wyniki

W wyniku przeprowadzonych badań doświadczalnych określono krytyczną częstość obrotów mieszadła n_{kr} dla każdej geometrii układu. Otrzymane wyniki pozwoliły na określenie wpływu typu mieszadła, parametrów geometrycznych mieszadła (średnicy, liczby mieszadeł na wale) i mieszalnika oraz stężenia fazy stałej, na warunki powstawania układu ciecz-ciało stałe w aparatach różnej skali.

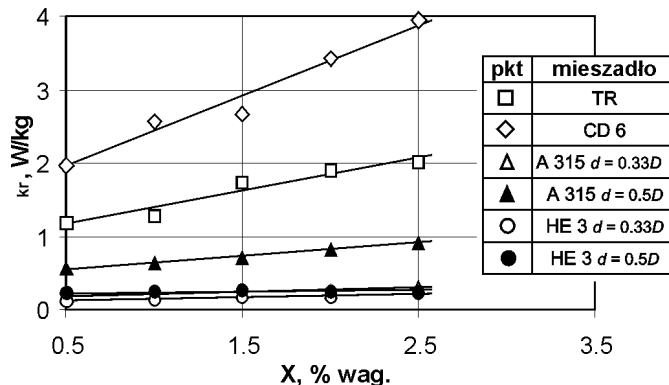
W zbiorniku z pojedynczym mieszadłem wartość n_{kr} zależy zarówno od typu jak i średnicy mieszadła. Zdolność różnych mieszadeł porównywano na podstawie kryterium $Fr_{kr} = (n_{kr})^2 d/g$ oraz ϵ_{kr} [W/kg]. Spośród wszystkich badanych układów, niezależnie od średnicy zbiornika, najwyższą częstość obrotów mieszadła niezbędna do zawieszenia cząstek w cieczy charakteryzowała mieszadło turbinowe *Smitha*, generujące przepływ promieniowy (Rys. 1, 2). Zwiększenie średnicy zarówno mieszadła A 315 jak i HE 3 umożliwia znaczną redukcję częstości obrotów n_{kr} (o ok. 40 % dla mieszadła HE 3 oraz ok. 30 % dla A 315 w większym mieszalniku).

W zbiorniku o średnicy $D = 0,634$ m, wpływ stężenia fazy stałej na wartość n_{kr} jest znacznie większy w przypadku mieszadeł turbinowych *Rushtona* i *Smitha*. Zwiększenie stężenia ciała stałego w układach z tymi mieszadłami powoduje znaczny wzrost krytycznej częstości obrotów mieszadła. Najmniejszy wpływ stężenia X na wartość n_{kr} zaobserwowano dla wytwarzającego osiowy przepływ cieczy mieszadła HE 3.

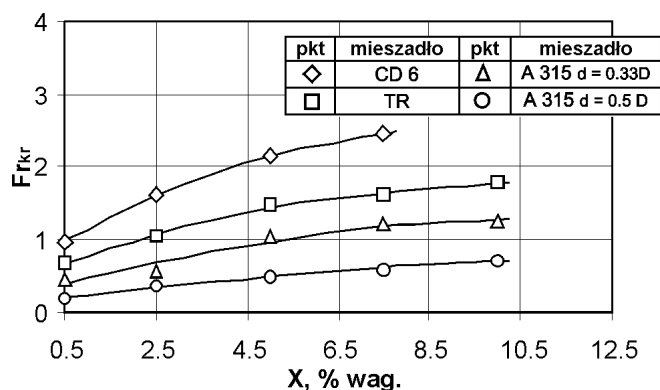
Wytworzenie zawiesiny wymaga znacznie większych częstości obrotów mieszadła w zbiorniku o mniejszej średnicy. Kryterium oceny przydatności danego typu mieszadła do stosowania w układzie ciecz-ciało stałe stanowi efektywność jego działania, określana w oparciu o moc pobieraną przez mieszadło, potrzebną do wytworzenia takiego układu [2]. Uwzględniając warunki niezbędne do uzyskania zawiesiny, szczególną uwagę należy skupić na mocy mieszania doprowadzonej do układu w celu uzyskania krytycznych częstościach



Rys. 1. Zależność $Fr_{kr} = f(X)$ dla różnych mieszadeł; zbiornik o średnicy $D = 0,634$ m; $H/D = 1$



Rys. 3. Zależność $\epsilon_{kr} = f(X)$ dla różnych mieszadeł; zbiornik o średnicy $D = 0,634$ m; $H/D = 1$



Rys. 2. Zależność $Fr_{kr} = f(X)$ dla różnych mieszadeł; zbiornik o średnicy $D = 0,288$ m; $H/D = 1$

obrotów mieszadła n_{kr} . Wyniki pomiarów mocy mieszania umożliwiły obliczenie średniej jednostkowej energii rozpraszanej $\epsilon_{kr} = P_{S-L}/m$ [W/kg], odpowiadającej krytycznym częstościom obrotów mieszadła n_{kr} dla każdego z przebadanych układów. Zależność $\epsilon_{kr} = f(X)$ otrzymaną dla mieszadeł pracujących w mieszalniku o średnicy $D = 0,634$ m porównano na rys. 3. Najmniej energochłonnymi mieszadłami okazały się mieszadła HE 3 wytwarzające cyrkulację osiową i pompujące płyn w kierunku dna mieszalnika.

Podsumowanie

Z doświadczalnych badań dotyczących warunków wytwarzania zawiesiny cząstek ciała stałego o gęstości większej niż gęstość cieczy wynika, że w zakresie przeprowadzonych pomiarów:

1. Mieszadła HE 3 oraz A 315, zastosowane jako pojedyncze w zbiorniku z przegrodami, należą do najmniej energochłonnych.
2. Zestaw dwóch mieszadeł, w którym mieszadło A 315 znajduje się w pozycji dolnej, a mieszadło Rushtona w górnej jest mniej energochłonne, niż taki zestaw z dolnym mieszadłem Smitha.

Przedstawione w tej pracy wyniki badań warunków wytwarzania zawiesiny mogą być wykorzystane w obliczeniach projektowych, mających na celu dobór najmniej energochłonnego mieszadła lub zespołu dwóch mieszadeł w operacjach zawieszania cząstek ciała stałego w cieczy w mieszalniku, występujących w różnych technologiach w przemysłach przetwórczych, np. spożywczych, kosmetycznym, farmaceutycznym, itp.

LITERATURA

1. J. Kamiński: Mieszanie układów wielofazowych, Warszawa, WNT, 2004.
2. T. N. Zwietering: Chem. Eng. Sci. 8, 244 (1958).
3. F. Rieger: Chem. Eng. Sci. 55, 79, 171 (2000).