

Sylwia NYKIEL, Piotr WESOŁOWSKI, Krzysztof ALEJSKI

e-mail: piotr.wesolowski@put.poznan.pl

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

Analiza powstawania leja w mieszalniku z układem typu rotor-stator użytym jako mieszadło

Wstęp

Wysokoobrotowe noże składające się z rotora i statora stosowane są jako mieszadła do homogenizacji układów, w których zachodzi potrzeba rozwłókniania/rozdrabniania lub deaglomeracji/rozbrzylenia dyspergowanych cząstek. Konstrukcyjnie są one bardzo podobne do mieszalników rotor-stator [Paul i in., 2004]. Wielokrotny przepływ mediów przez układ rotor-stator zapewnia równomierne rozproszenie dyspergowanych cząstek w całej objętości cieczy. Z uwagi na duże naprężenia ścinające w przestrzeni pomiędzy wirującym rotorem i nieruchomym statorem tego typu układ, zastosowano do dyspergowania w zdemineralizowanej wodzie pylistego kazeinianu sodu, wykazującego tendencję do aglomeracji [Wesołowski i Gawalek, 2013]. W konkluzji wspomnianych badań stwierdzono, że powstający, w niemal standardowym geometrycznie mieszalniku ($H/D = 1,000$, $D/d = 3,167$, $h/d = 1,000$), głęboki lej odpowiada za występowanie bardzo silnego napowietrzania i wypieniania badanych mediów, przez co mieszalnika z tego typu układem mieszającym nie rekomendowano do zastosowania w praktyce procesowej. Z założenia miał on być konkurencyjny wobec rozwiązania zaproponowanego w wyniku wcześniejszych badań własnych [Wesołowski i Gawalek, 2011].

Zasadniczym celem przeprowadzonych na obecnym etapie badań doświadczalnych było sprawdzenie czy zwiększenie wysokości cieczy w zbiorniku lub zmiana inwariantów geometrycznych układu zbiornik-mieszadło (układ typu rotor-stator), wpłynie na zmniejszenie głębokości leja w osi mieszalnika pozbawionego przegród.

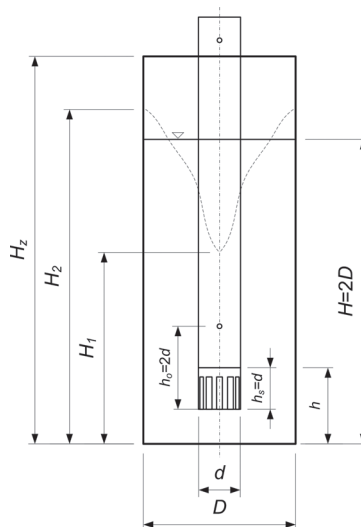
Badania doświadczalne

Analizowano wpływ częstości obrotów oraz wysokości zawieszenia mieszadła nad dnem zbiornika na głębokość powstającego leja w mieszalnikach o różnych inwariantach D/d , przy dwukrotnie większej od standardowej wysokości cieczy ($H/D = 2$). Badania wykonano w Zakładzie Inżynierii Procesowej Politechniki Poznańskiej.

Aparatura badawcza

Podczas testów eksperymentalnych stosowano wysokoobrotowy układ mieszający składający się z rotora i statora, będący standardowym wyposażeniem homogenizatora firmy POL-EKO-APARATURA Sp. J. Rotor mieszającego układu laboratoryjnego stosowanego w badaniach może pracować w bardzo szerokim zakresie częstości obrotów n [min^{-1}] ($\in (8000 \div 24000)$), przy kroku zmienności wynoszącym $\Delta n = 100 \text{ min}^{-1}$. Tak wysokie częstości obrotów generują bardzo duże naprężenia ścinające. W przypadku niewielkiej lepkości fazy rozpraszającej praca omawianego układu powoduje powstanie wokół wału głębokiego leja, co w skrajnym przypadku może doprowadzić do niekorzystnego napowietrzania mieszaniny. Podstawowe wymiary liniowe testowanych układów mieszadło-zbiornik podano na rys. 1.

Badano układ typu rotor-stator o średnicy zewnętrznej statora $d = 0,018 \text{ m}$. Wysokość statora wynosiła $h_s = d$, natomiast odległość otworu cyrkulacyjnego w obudowie wału mieszadła od dolnej krawędzi statora była równa $h_o = 2d$. Jako wysokość zawieszania mieszadła h w każdym przypadku przyjmowano odległość od dna zbiornika do górnej krawędzi statora. Pracę mieszadła testowano w trzech geometrycznie podobnych szklanych płaskodennych zbiornikach nieposiadających przegród, których podstawowe wymiary liniowe zilustrowane na rys. 1, zestawiono w tab. 1.



Rys. 1. Oznaczenie wymiarów liniowych testowanych układów mieszadło-zbiornik

W przypadku trzech badanych mieszalników stosunek średnicy zbiornika do średnicy mieszadła wynosił odpowiednio: $D/d = 2,944$; $D/d = 3,667$; $D/d = 4,556$.

W przeprowadzonych badaniach mieszanym medium była woda destylowana o temperaturze $t = 20^\circ\text{C}$, wypełniająca każdy z testowanych zbiorników do wysokości $H = 2D$.

Tab. 1. Wymiary liniowe badanych układów zbiornik-mieszadło

Średnica zbiornika	Wysokość		Wysokość zawieszania mieszadła				
	Zbiornika	Cieczy w zbiorniku	$\frac{1}{4} H$	$\frac{3}{8} H$	$\frac{1}{2} H$	$\frac{5}{8} H$	$\frac{3}{4} H$
D [m]	H_z [m]	H [m]	h [m]				
0,053	0,139	0,106	0,027	0,040	0,053	0,066	0,080
0,066	0,168	0,132	0,033	0,050	0,066	0,083	0,099
0,082	0,218	0,164	0,041	0,062	0,082	0,103	0,123

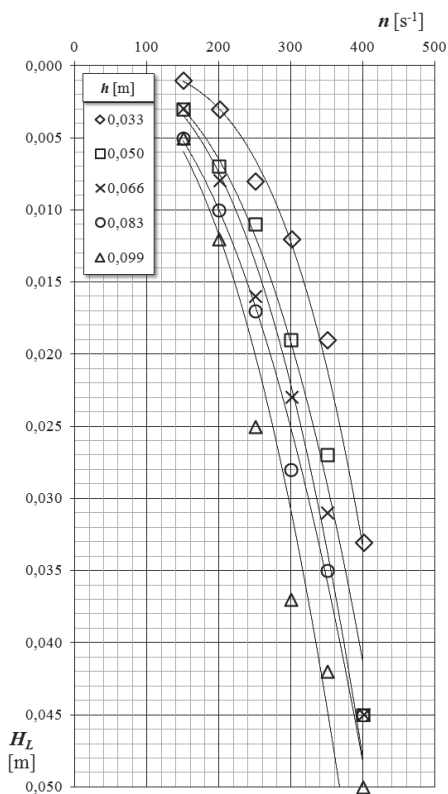
Metodyka pomiarów

W toku badań eksperymentalnych w każdym z trzech stosowanych zbiorników układ mieszający pracował na pięciu różnych wysokościach wynoszących odpowiednio $h = \frac{1}{4} H$, $h = \frac{3}{8} H$, $h = \frac{1}{2} H$, $h = \frac{5}{8} H$, $h = \frac{3}{4} H$. W każdym przypadku w chwili rozpoczęcia testu otwór cyrkulacyjny znajdował się pod powierzchnią mieszanej wody, co umożliwiała jej swobodny przepływ przez osłonę wału i przestrzeń pomiędzy statorem i rotorem, czego efektem było wystąpienie intensywnej osiowej cyrkulacji w całej objętości mieszalnika. Podczas pomiarów przy określonej wysokości zawieszania mieszadła obserwowano powstawanie leja w osi zbiornika zmieniając sześciokrotnie częstości obrotów rotora w zakresie n [s^{-1}] ($\in (150 \div 400)$) z krokiem $\Delta n = 50 \text{ s}^{-1}$. Przy każdej zadawanej częstości obrotów rejestrowano fotograficznie wysokość cieczy na ścianie zbiornika H_2 oraz odległość od dna zbiornika do podstawy leja H_1 . W oparciu o wspomniane wysokości wyliczono głębokość leja w osi mieszalnika z zależności $H_L = H_2 - H_1$.

Wyniki badań

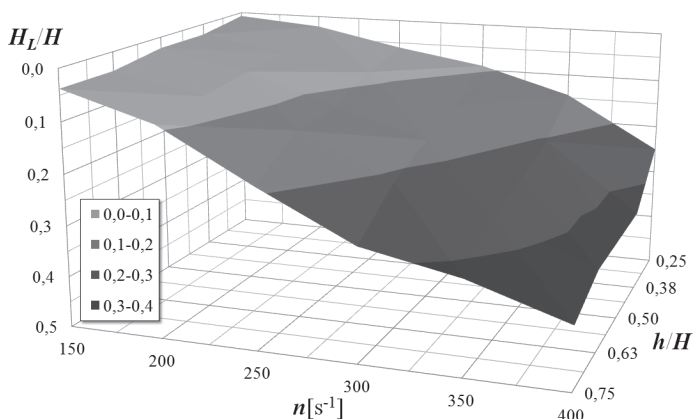
Uzyskane doświadczalnie wyniki pomiarów w każdym przypadku wykazały, że głębokość leja w osi zbiornika wzrasta ze wzrostem zadawanej częstości obrotów rotora układu mieszającego.

Na rys. 2 pokazano przykładowo porównanie wyników uzyskanych w zbiorniku o średnicy $D = 0,066$ m, gdy mieszadło pracowało na pięciu testowanych wysokościach nad dnem zbiornika. Wartości na osi rzędnych celowo podano w porządku odwrotnym, by uzyskany obraz odzwierciedlał lej tworzący się w mieszalniku. Omawiane wyniki wskazują, że głębokość leja wyraźnie wzrasta ze wzrostem wysokości, na jakiej pracowało mieszadło. W dwóch pozostałych zbiornikach, w których prowadzono badania uzyskano jakościowo podobne rezultaty (Tab. 1).



Rys. 2. Porównanie zależności głębokości leja H_L od częstotliwości n obrotów rotora uzyskanych przy różnych wysokościach h zawieszania mieszadła w zbiorniku o średnicy $D = 0,066$ m

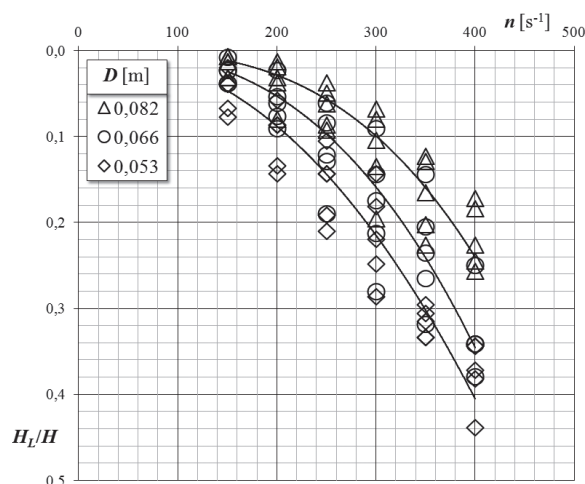
W celu czytelnego zilustrowania uchwyconego doświadczalnie jednoczesnego wpływu obu wspomnianych parametrów procesowych na rys. 3 wykreślono przestrzennie zależność względnej głębokości leja H_L/H obserwowanego w osi zbiornika o średnicy $D = 0,066$ m od zadawanej podczas testów eksperymentalnych częstotliwości obrotów rotora n [s^{-1}] i ustalonej przed każdą serią pomiarów względnej wysokości zawieszania mieszadła h/H (Tab. 1).



Rys. 3. Zależność względnej głębokości leja H_L/H w osi mieszalnika od zadawanej częstotliwości n obrotów rotora oraz względnej wysokości h/H zawieszania mieszadła w zbiorniku o średnicy $D = 0,066$ m

Jakościowo podobne powierzchnie, ilustrujące wzrost względnej głębokości leja ze wzrostem częstotliwości obrotów rotora i względnej wysokości zawieszania mieszadła nad dnem zbiornika, uzyskano w przypadku pozostałych badanych mieszalników.

Na rys. 4 przedstawiono jakościowe porównanie wszystkich wyników uzyskanych w każdym z badanych zbiorników. Jego analiza wskazuje, że średnica zbiornika D wpływa na względną głębokość leja, nie mniej jednak w badanym zakresie zmienności wpływ ten jest zbyt mały by wyeliminować napowietrzanie i w konsekwencji spienianie roztworu w przypadku dyspergowania w wodzie pylistego kazeinianu sodu.



Rys. 4. Porównanie zależności względnej głębokości leja H_L/H w osi mieszalnika od zadawanej częstotliwości n obrotów rotora w badanych zbiornikach

Wnioski

Wysokoobrotowy układ typu rotor-stator pracujący jako mieszadło w zbiornikach bez przegród wypełnionych wodą, z uwagi na jej niewielką lepkość, powoduje powstanie w osi mieszalnika głębokiego leja nawet wówczas, gdy wysokość cieczy jest dwukrotnie większa od średnicy zbiornika $H/D = 2$ (Rys. 1).

Głębokość leja w osi zbiornika wzrasta zdecydowanie ze wzrostem częstotliwości obrotów rotora, niezależnie od wysokości, na jakiej pracuje mieszadło (Rys. 2).

Względna głębokość leja wyraźnie wzrasta zarówno ze wzrostem względnej wysokości zawieszania układu mieszającego nad dnem zbiornika jak i ze wzrostem częstotliwości obrotów rotora (Rys. 3).

W badanym zakresie $2,944 \leq D/d \leq 4,556$ stwierdzono, że lej powstaje niezależnie od stosunku średnicy zbiornika do średnicy mieszadła. Wzrost inwariantu D/d , osłabiając cyrkulację cieczy w zbiorniku wpływa na zmniejszenie głębokości leja (Rys. 4), nie mniej jednak w badanym zakresie zmienności zmiana ta jest zbyt mała, by można było zaproponować uogólnione ilościowe ujęcie problemu.

LITERATURA

- Paul E.L., Atiemo-Obeng V.A., Kresta S.M., 2004. Handbook of industrial mixing: science and practice. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey
- Wesołowski P., Gawalek J., 2013. Wytwarzanie roztworów kazeinianu sodu mieszadłem typu stator-rotor w laboratoryjnym mieszalniku bez przegród. *Inżynieria Rolnicza*, 1(141), 267-263
- Wesołowski P., Gawalek J., Alejski K., 2011. Wytwarzanie koncentratu kazeinianu sodu w mieszalniku bez przegród z pochylonym wałem mieszadła. *Przemysł Chemiczny*, 90, nr 9, 1694-1697

Praca została wykonana w ramach działalności statutowej 32-267/12 DS-PB.