

Magdalena CUDAK, Joanna KARCZ

e-mail: joanna.karcz@zut.edu.pl

Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej,  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

## Wpływ niecentrycznego położenia wału mieszadła śmigłowego lub HE 3 na moc mieszania

### Wstęp

W przypadku zbiorników zaopatrzonych w mieszadło ważnym zadaniem jest moc mieszania, a konkretnie ilość energii w jednostce czasu, jaką trzeba doprowadzić do układu, aby proces był opłacalny pod względem ekonomicznym [1].

Moc mieszania zależy od usytuowania wału mieszadła w zbiorniku [2–6]. Największy wpływ niecentrycznego położenia wału na moc mieszania występuje w zakresie przepływu burzliwego [2]. Przesunięcie wału mieszadła w zbiorniku bez przegród powoduje trzy-, a nawet czterokrotny wzrost mocy mieszania w porównaniu do wyników otrzymanych dla zbiornika z centralnie umieszczonym mieszadłem [3, 4]. W zakresie burzliwego przepływu cieczy liczba mocy dla mieszadła znajdującego się w najbardziej niecentrycznym położeniu jest porównywalna z jej wartością charakteryzującą mieszalnik z mieszadłem w położeniu centralnym [2, 3, 5].

Wpływ niecentryczności wału mieszadła na sprawność energetyczną mieszadła analizowali doświadczalnie Medek i Fort [7]. Stwierdzili oni, że sprawność energetyczna mieszadła zmniejsza się ze wzrostem niecentryczności wału mieszadła.

Badania przedstawione w tej pracy miały na celu określenie wpływu niecentrycznego usytuowania mieszadła, wysokości słupa cieczy oraz średnicy mieszadła na moc mieszania.

### Część doświadczalna

Badania mocy mieszania zostały wykonane w ogrzewanym płaszczu-wo mieszalniku o objętości roboczej  $V = 0,036 \text{ m}^3$ ;  $0,072 \text{ m}^3$  lub  $0,107 \text{ m}^3$ . Mieszalnik o średnicy wewnętrznej  $D = 0,45 \text{ m}$ , napełniony był cieczą do wysokości  $H = 0,5D$ ;  $D$  lub  $1,5D$ . Pomiary przeprowadzono dla pięciu różnych pozycji wału w zbiorniku, w zakresie parametru  $e_R (=2e/(D-d))$  mieszającego się przedziale  $<0; 0,8>$ . Dla porównania przeprowadzono również pomiary w mieszalniku z czterema standardowymi przegrodami ( $J = 4$ ) i osiowoosymetrycznie usytuowanym wałem mieszadła ( $e_R = 0$ ).

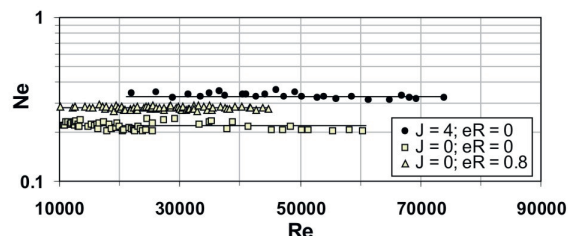
Ciecz mieszano trójłopatkowymi mieszadłami, wytwarzającymi osiową cyrkulację płynu w zbiorniku. Były to: standardowe mieszadło śmigłowe o średnicy  $d = 0,33D$  i skoku  $S = d$  lub mieszadła HE 3 o średnicach  $d = 0,33D$  oraz  $d = 0,5D$ , umieszczone w odległości  $h = 0,33H$  od płaskiego dna zbiornika. Mieszadła HE 3 wymuszały cyrkulację cieczy w kierunku dna zbiornika, natomiast mieszadło śmigłowe – w kierunku powierzchni swobodnej cieczy w mieszalniku.

Pomiary mocy mieszania zostały wykonane metodą tensometryczną. Badania przeprowadzono w zakresie burzliwego przepływu cieczy niutonowskiej w mieszalniku ( $Re \in <10^4; 7,5 \cdot 10^4>$ ). Mieszano niutonowski płyn modelowy, którym był olej maszynowy o lepkości około  $4 \cdot 10^{-3}$  Pas w temperaturze około  $70^\circ\text{C}$ .

### Wyniki badań

Na podstawie badań mocy mieszania przeprowadzonych w zakresie burzliwego przepływu cieczy niutonowskiej w mieszalniku o różnej smukłości, zaopatrzonego w niecentrycznie ułożone mieszadło śmigłowe lub HE 3 otrzymano około 1200 danych doświadczalnych.

Z analizy danych eksperymentalnych wynika, że w zakresie przeprowadzonych pomiarów liczba  $Ne$  nie zależy od liczby Reynoldsa  $Re$  (Rys. 1). Brak przegród w pozycji centralnej ( $J = 0$ ;  $e_R = 0$ ) wpływa na zmniejszenie liczby mocy w porównaniu z wynikami opisującymi

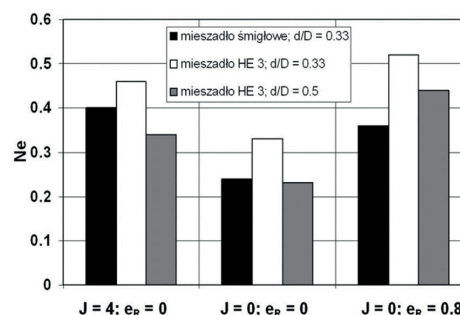


Rys. 1. Zależność  $Ne = f(Re)$  dla mieszalnika z mieszadłem HE 3;  $H/D = 1$ ;  $d/D = 0,5$ ;  $J = 4$  lub  $J = 0$ ;  $e_R \neq \text{const}$  ( $e_R = 0$  lub  $e_R = 0,8$ )

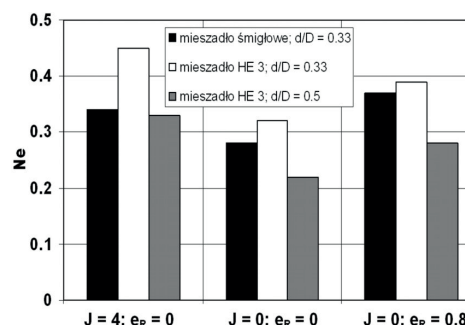
zbiornik z przegrodami i centralnie umieszczonym mieszadłem ( $J = 4$ ;  $e_R = 0$ ). W każdym przypadku przesunięcie wału mieszadła, w kierunku do ściany zbiornika, powoduje wzrost liczby mocy  $Ne$ .

Wpływ niecentryczności wału mieszadła na wartość liczby mocy  $Ne$  dla mieszalnika o różnej smukłości przedstawiono na rys. 2–4. Liczba mocy  $Ne$  charakteryzująca zbiornik o smukłości mniejszej niż standardowa z niecentrycznie zabudowanym mieszadłem śmigłowym ( $e_R = 0,8$ ) jest o około 10% mniejsza niż otrzymana dla mieszalnika z przegrodami ( $J = 4$ ;  $e_R = 0$ ). Natomiast liczby mocy  $Ne$  dla mieszalnika z najbardziej niecentrycznie umieszczonym mieszadłem HE 3 o średnicy  $d = 0,33D$  oraz  $d = 0,5D$  są wyższe odpowiednio o około 13 i 30% w stosunku do danych, opisujących zbiornik z przegrodami i centralnie umieszczonym mieszadłem.

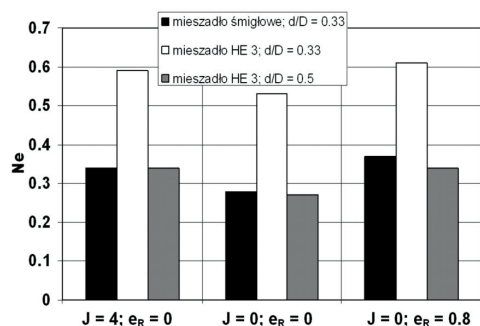
Porównanie średnich wartości liczby mocy  $Ne$  uzyskanych dla mieszalnika o smukłości  $H/D = 1$  przedstawiono na rys. 3. Wartość liczby Newtona  $Ne$ , otrzymana dla mieszalnika bez przegród z niecentrycznie zabudowanym mieszadłem śmigłowym w pozycji  $e_R = 0,8$ , jest zbliżona do wartości  $Ne$  uzyskanej dla zbiornika z przegrodami i central-



Rys. 2. Zależność  $Ne = f(e_R)$  dla mieszalnika z centrycznie i niecentrycznie umieszczonym mieszadłem;  $H/D = 0,5$ ;  $d/D = 0,33$  or  $d/D = 0,5$ ;  $J = 4$  lub  $J = 0$ ;  $e_R \neq \text{const}$



Rys. 3. Zależność  $Ne = f(e_R)$  dla mieszalnika z centrycznie i niecentrycznie umieszczonym mieszadłem;  $H/D = 1$ ;  $d/D = 0,33$  or  $d/D = 0,5$ ;  $J = 4$  lub  $J = 0$ ;  $e_R \neq \text{const}$

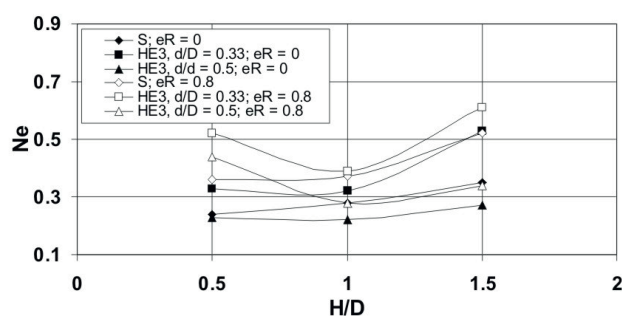


Rys. 4. Zależność  $Ne = f(e_R)$  dla mieszalnika z centrycznie i niecentrycznie umieszczonym mieszadłem;  $H/D = 1,5$ ;  $d/D = 0,33$  lub  $d/D = 0,5$ ;  $J = 4$  lub  $J = 0$ ;  $e_R \neq \text{const}$

nie zabudowanym mieszadłem ( $J = 4$ ;  $e_R = 0$ ). Natomiast liczby mocy uzyskane dla mieszalnika z niecentrycznie umieszczonym mieszadłem HE 3 ( $e_R \neq 0$ ), niezależnie od jego średnicy, są mniejsze niż odpowiednie wartości przypisane do zbiornika z przegrodami i mieszadłem w pozycji centralnej ( $e_R = 0$ ).

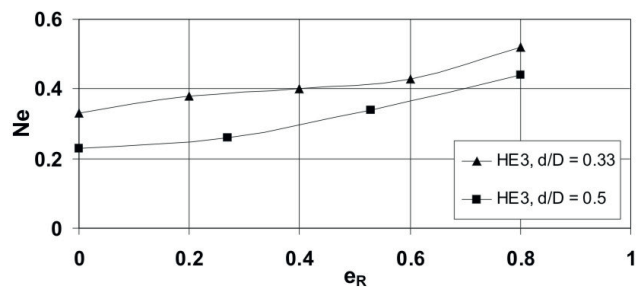
Wyniki pomiarów mocy mieszania dla mieszalnika o smukłości  $H/D = 1,5$  pokazano na rys. 4. Wartości liczby mocy  $Ne$  dla mieszalnika z mieszadłem o średnicy  $d = 0,33D$  lub mieszadłem o średnicy  $d = 0,5D$  w pozycji  $e_R = 0,8$  są porównywalne z wartościami  $Ne$ , opisującymi zbiornik z przegrodami ( $J = 4$ ;  $e_R = 0$ ). W przypadku mieszalnika z mieszadłem HE 3 o średnicy  $d = 0,33D$  w położeniu osiowosymetrycznym usunięcie przegród ze zbiornika wpłynęło na niewielki spadek wartości liczby mocy  $Ne$ .

W przypadku mieszalnika z mieszadłem śmigłowym wpływ wysokości słupa cieczy na wartość  $Ne$  w zakresie zmiennego parametru  $e/R$ , ujawnia się jedynie w zbiorniku o smukłości wyższej niż standardowa  $H/D = 1,5$  (Rys. 5). Natomiast liczby  $Ne$ , charakteryzujące zbiorniki o smukłości  $H/D = 1$  oraz  $H/D = 0,5$  są porównywalne dla założonej niecentryczności mieszadła ( $e_R = \text{const}$ ). W przypadku mieszalnika z mieszadłem HE 3 o średnicy  $d = 0,33D$  ujawnia się silniejszy wpływ wysokości słupa cieczy (parametru  $H/D$ ) na wartość liczby mocy  $Ne$  niż niecentrycznego położenia wału mieszadła (parametru  $e_R$ ). Tendencja ta nie jest zachowana w sytuacji, gdy w mieszalniku umieszczone jest mieszadło HE 3 o średnicy  $d = 0,5D$ . W tym przypadku na wartość liczby mocy  $Ne$  silniej wpływa parametr  $e_R$  określający niecentryczność wału mieszadła niż parametr  $H/D$ . Najniższe wartości liczby mocy uzyskano w mieszalniku o smukłości standardowej. Ponadto wpływ wysokości słupa cieczy na wartość  $Ne$  w mieszalniku z mieszadłem HE 3 o średnicy  $d = 0,33D$  jest mniejszy niż w zbiorniku z mieszadłem HE 3 o średnicy  $d = 0,5D$ .

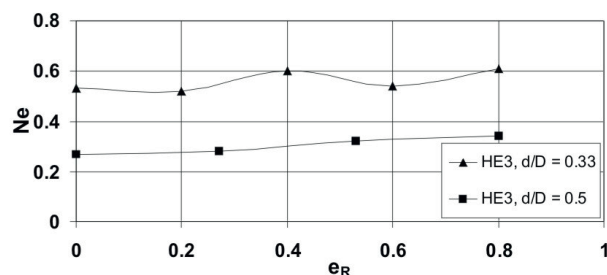


Rys. 5. Zależność  $Ne = f(H/D)$  dla mieszalnika z centrycznie i niecentrycznie umieszczonym mieszadłem;  $d/D = 0,33$  lub  $d/D = 0,5$ ;  $J = 0$ ;  $e_R \neq \text{const}$

Wpływ średnicy  $d$  mieszadła HE 3 na wartość liczby mocy  $Ne$  w mieszalniku o różnej smukłości można prześledzić na rys. 6 i 7. Wartości  $Ne$  zależą od parametru geometrycznego  $d/D$  i zmniejszają się ze wzrostem średnicy mieszadła. Silniejszy wpływ średnicy mieszadła na wartość liczby mocy  $Ne$  charakteryzuje mieszalnik o wysokości słupa cieczy  $H = D$  i  $H = 1,5D$  niż zbiornik o smukłości  $H/D = 0,5$ . W przypadku mieszalnika o smukłości mniejszej niż standardowa wpływ średnicy na wartość liczby mocy  $Ne$  zmniejsza się ze wzrostem niecentryczności wału mieszadła  $e_R$  (Rys. 6).



Rys. 6. Zależność  $Ne = f(e_R)$  dla mieszalnika z mieszadłem HE 3;  $H/D = 0,5$ ;  $J = 0$



Rys. 7. Zależność  $Ne = f(e_R)$  dla mieszalnika z mieszadłem HE 3;  $H/D = 1,5$ ;  $J = 0$

Wpływ niecentrycznego położenia wału mieszadła  $e_R$  oraz wysokości słupa cieczy  $H$  (parametru  $H/D$ ) na wartość liczby mocy  $Ne$  uogólniono matematycznie otrzymując następujące równania – dla mieszadła śmigłowego

$$Ne = 0,364(-0,768 e_R^2 + 1,203 e_R + 1) \left[ 0,629 \left( \frac{H}{D} \right)^2 - 0,955 \left( \frac{H}{D} \right) + 1 \right] \quad (1)$$

– dla mieszadła HE 3;  $d/D = 0,33$

$$Ne = 0,671(0,913 e_R^2 + 1,162 e_R + 1) \left[ 0,721 \left( \frac{H}{D} \right)^2 - 1,249 \left( \frac{H}{D} \right) + 1 \right] \quad (2)$$

– dla mieszadła HE 3;  $d/D = 0,5$

$$Ne = 0,410(0,345 e_R^2 + 0,383 e_R + 1) \left[ 0,457 \left( \frac{H}{D} \right)^2 - 0,960 \left( \frac{H}{D} \right) + 1 \right] \quad (3)$$

Równania (1–3) opisują wyniki pomiarów ze średnim błędem względnym, odpowiednio  $\pm 5\%$  (1 i 2) oraz  $\pm 7\%$  (3). Równania (1 i 2) obowiązują w następującym zakresie zmiennych  $Re \in <10^4; 3,5 \cdot 10^4>$ ;  $e_R \in <0; 0,8>$ ;  $H/D \in <0,5; 1,5>$ . Natomiast zakres stosowalności równania (3) jest następujący  $Re \in <10^4; 7,5 \cdot 10^4>$ ;  $e_R \in <0; 0,8>$ ;  $H/D \in <0,5; 1,5>$ ;  $d/D \in <0,33; 0,5>$ .

## Wnioski

- Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:
- moc mieszania zwiększa się istotnie ze wzrostem niecentryczności wału mieszadła,
  - najniższe wartości liczby mocy uzyskano dla mieszalnika o smukłości standardowej  $H/D = 1$ . Wpływ wysokości słupa cieczy na moc mieszania zmniejsza się ze wzrostem średnicy mieszadła,
  - liczba mocy zmniejsza się ze wzrostem średnicy mieszadła.

## LITERATURA

- [1] F. Stręk: Mieszanie i mieszalniki. WNT, Warszawa 1981.
- [2] E. Paszek: Inż. Ap. Chem. 37, nr 4, 17 (1998).
- [3] R. King, J. Muskett: Proceed., 285, 5<sup>th</sup> European Conf. on Mixing, Wuerzburg, Germany, (1985).
- [4] M. Dyląg: Verfahrenstechnik. 10, nr 10, 637 (1976).
- [5] E. Rzyński: Inż. Chem. i Proc. 2, nr 23, 379 (1981).
- [6] M. Cudak: Wymiana ciepła i pędu w mieszalniku z niecentrycznie zabudowanym mieszadłem, praca doktorska, PS, Szczecin, 2004.
- [7] J. Medek, I. Fort: Proceed., 263, 5<sup>th</sup> European Conf. on Mixing, Wuerzburg, Germany, 1985.