

SZYMON WOZIWODZKI

Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

# Moc mieszania w mieszalniku ze zmiennym kierunkiem obrotów

## Wprowadzenie

Mieszanie jest jedną z najpowszechniejszych operacji w życiu codziennym i w różnych gałęziach przemysłu (farmaceutycznym, petrochemicznym, spożywczym itd.). Procesy mieszania można scharakteryzować za pomocą kilku podstawowych parametrów. Jednym z nich jest moc mieszania. Znajomość mocy mieszania pozwala nie tylko na scharakteryzowanie procesu mieszania, ale także na opisanie procesów wymiany zachodzących w mieszalniku, a także odpowiedni dobór i zaprojektowanie napędu aparatu.

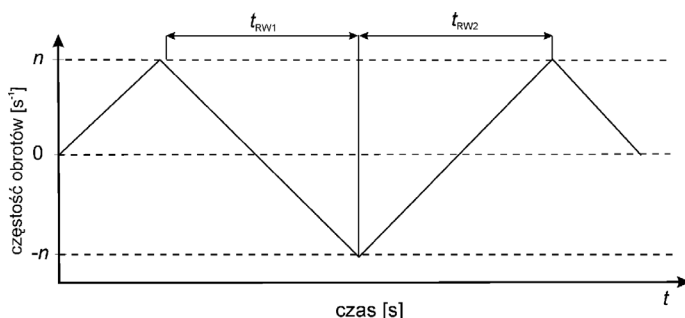
Moc mieszania w standardowym mieszalniku wyposażonym w mieszadło obracające się ze stałą prędkością i kierunkiem obrotów jest dobrze poznana i scharakteryzowana w postaci zależności liczby mocy  $Ne_m$  od liczby Reynoldsa  $Re_m$ .

W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie zagadnieniem mieszania w zmiennych warunkach hydrodynamicznych np. poprzez stosowanie zmiennych w czasie prędkości obrotów mieszadła lub zmiennego w czasie kierunku obrotów mieszadła. Stosowanie tego typu rozwiązań pozwala na poprawienie efektywności mieszania, szczególnie przy małych zapotrzebowaniach na moc mieszania.

## Część eksperymentalna

Badania przeprowadzono w płaskodennym mieszalniku o średnicy  $D = 0,19$  m wyposażonym w pojedyncze mieszadło turbinowe (turbina *Rushtona* oraz mieszadło turbinowe z pochylonymi łopatkami PBT) o średnicy  $d = 0,065$  m. Moc mieszania wyznaczano pośrednio metodą tensometryczną mierząc moment obrotowy  $M$  na wale mieszadła. Układ pomiarowy momentu obrotowego (momentomierz MT 2Nm oraz miernik *Sensor-AT MW-2006-2*) pozwala na próbkowanie pomiaru z częstotliwością 10 Hz a tym samym na śledzenie zmian momentu obrotowego w czasie. Charakterystykę zmian kierunku obrotów mieszadła przedstawiono na rys. 1.

Częstość obrotów mieszadła  $n$  zmieniano w zakresie  $n = 2 \div 10 \text{ s}^{-1}$  ( $|n| = |-n|$ ), odstępy czasowe zmian wynosiły  $t_{RW1} = t_{RW2} = 2 \text{ s}$  ( $St_m = 0,025 \div 0,125 [1]$ ), przy czym



Rys. 1. Charakterystyka zmian częstości i kierunku obrotów mieszadła

$$St_m = \frac{f}{n} = \frac{1}{t_{RW} n} \quad (1)$$

Kierunek zmian obrotów mieszadła określany jest poprzez wartości częstości obrotów mieszadła ( $n$  – kierunek obrotów zgodny z ruchem wskazówek zegara,  $-n$  – kierunek obrotów przeciwny do kierunku ruchu wskazówek). Zbieranie pomiarów przerywano po uzyskaniu 11 pełnych cykli zmian, tj. po uzyskaniu około 1000 punktów pomiarowych. Na podstawie uzyskanych danych wyznaczano maksymalną oraz średnią wartość liczby mocy mieszania  $Ne_m$ . Pomiary mocy prowadzono w mieszalniku wyposażonym w przegrody oraz bez przegród w zakresie przepływu burzliwego dla modelowej cieczy newtonowskiej (woda).

Moc mieszania wyznaczano metodą pośrednią na podstawie pomiarów momentu obrotowego  $M$  bezpośrednio na wale mieszadła:

$$P = 2\pi n M \quad (2)$$

$$n = \frac{\sum (n + |-n|)}{n_p} \quad (3)$$

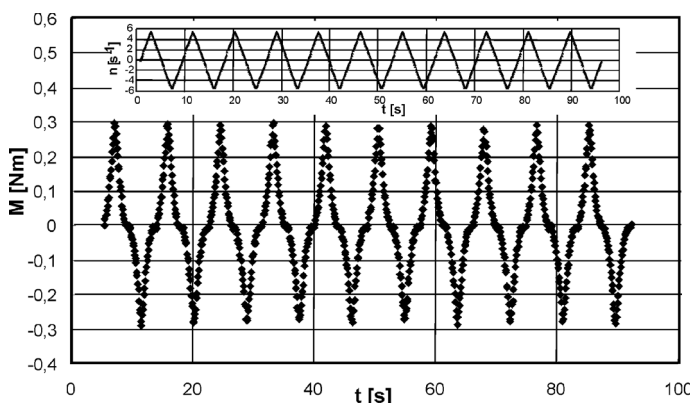
$$M = \frac{\sum (M + |-M|)}{n_p} \quad (4)$$

gdzie  $n_p$  jest liczbą pomiarów

Uzyskane dane pozwoliły na wyznaczenie zależności  $Ne_m = f(Re_m)$  dla wszystkich mieszadeł.

## Wyniki badań

Przykładową zależność między momentem obrotowym  $M$  w funkcji czasu przedstawia rys. 2. Przebieg zmian częstości obrotów mieszadła w funkcji czasu trwania pomiaru ma charakter liniowy, natomiast we wszystkich analizowanych

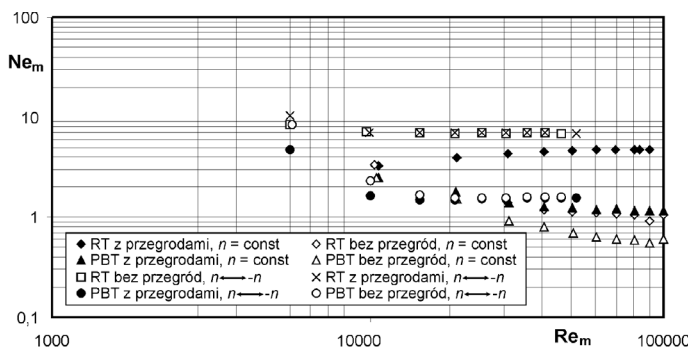


Rys. 2. Zależność momentu obrotowego  $M$  od czasu  $t$  dla turbiny *Rushtona* ( $n = 6 \text{ [s}^{-1}] \leftrightarrow -6 \text{ [s}^{-1}]$ ,  $St_m = 0,042$ )

przypadkach przebieg zależności momentu obrotowego  $M = f(t)$  nie jest analogiczny. W pobliżu  $n = 0$ , czyli w pobliżu punktu, w którym następuje zmiana kierunku obrotu mieszadła, funkcja  $M = f(t)$  wyraźnie odbiega od charakteru liniowego.

Przyczynę tego stanu rzeczy należy upatrywać w tym, że w trakcie zmiany kierunku obrotu mieszadła zachodzi przeorientowanie kierunków cyrkulacji w mieszalniku. Zmiana ta nie jest natychmiastowa. Na podstawie uzyskanych danych stwierdzono, że trwa ona nie dłużej niż 1 s. Tyle czasu potrzeba, aby nowy charakter cyrkulacji zaczął dominować w mieszalniku. Dane literaturowe nie potwierdzają tego typu obserwacji [1–5]. Prace *Yoshidy* i współpracowników [2–5] wskazują na podobieństwo charakteru zmian częstości obrotów i momentu obrotowego.

Na rys. 3 przedstawiono zależność liczby mocy  $Ne_m$  od liczby *Reynoldsa*  $Re_m$  dla analizowanych mieszadeł w mieszalniku z przegrodami i bez przegród. Jednoznacznie można stwierdzić, że na moc mieszania mieszadeł obracających się ze zmiennym w czasie kierunkiem obrotów nie wpływa obecność przegród w mieszalniku. Zarówno dla mieszadła RT jak i PBT wartości liczby mocy w mieszalniku z przegrodami i bez przegród są podobne.



Rys. 3. Zależność liczby mocy  $Ne_m$  od liczby *Reynoldsa*  $Re_m$

Dla turbiny *Rushtona* wartość liczby mocy w mieszalniku z przegrodami wynosi  $(Ne_m)_{RT,p} = 6,99$  natomiast w mieszalniku bez przegród  $(Ne_m)_{RT,bp} = 6,98$ . Podobny efekt zaobserwowano dla mieszadła PBT wytwarzającego przepływ osiowy ( $(Ne_m)_{PBT,bp} = 1,6$ ,  $(Ne_m)_{PBT,p} = 1,55$ ).

Uzyskane wyniki porównano z rezultatami dla standardowego mieszalnika ze stałą w czasie częstością i kierunkiem

obrotów mieszadła. Stwierdzono, że zapotrzebowanie mocy mieszania w mieszalniku ze zmiennym kierunkiem obrotów mieszadła jest większe. O ile dla standardowego układu z przegrodami i mieszadłem RT liczba mocy wynosiła około 4,9, to w mieszalniku ze zmiennym kierunkiem obrotów była o około 45% większa. Podobnie dla mieszadła PBT. Zaobserwowano wzrost zapotrzebowania mocy o około 36%. Różnica tą należy tłumaczyć występowaniem zakłóconego przepływu bezpośrednio za łopatkami mieszadła, co jest miarą oddziaływania oporu hydrodynamicznego cieczy w stosunku do ruchu mieszadła, szczególnie w przypadku zmian kierunku obrotu mieszadła.

### Podsumowanie

W pracy poddano analizie zapotrzebowanie mocy w mieszalniku ze zmiennym w czasie kierunkiem obrotów. W zakresie przepływu burzliwego moc mieszania była większa niż w analogicznym mieszalniku pracującym ze stałym kierunkiem obrotów mieszadła. Moc mieszania wzrosła o około 40%.

Porównanie mieszalnika ze zmiennym kierunkiem obrotów wyposażonego w przegrody oraz bez przegród, wykazuje, że zapotrzebowanie mocy w tego układach jest porównywalne.

### Oznaczenia

- $D$  – średnica mieszalnika, [m]
- $M$  – moment obrotowy, [N m]
- $d$  – średnica mieszadła, [m]
- $f$  – częstotliwość, [Hz]
- $n$  – częstość obrotów mieszadła, [ $s^{-1}$ ]
- $n_p$  – liczba próbek, [–]
- $t$  – czas, [s]
- $t_{RW}$  – czas trwania oscylacji, [s]

### LITERATURA

1. X. Ni, P. Gough: Chem. Eng. Sci. **52**, 3209 (1997).
2. M. Yoshida, A. Ito, K. Yamagiwa, A. Ohkawa, M. Abe, S. Tezura, M. Shimazaki: J. Chem. Technol. Biotechnol. **76**, 383 (2001).
3. M. Yoshida, A. Ito, K. Yamagiwa, A. Ohkawa, M. Abe, S. Tezura, M. Shimazaki: Lat. Am. Appl. Res., **32**, nr 2, 189 (2002).
4. M. Yoshida, M. Shigeyama, T. Hiura, K. Yamagiwa, A. Ohkawa, S. Tezura: Asia-Pac. J. Chem. Eng. **2**, 659 (2007).
5. M. Yoshida, Y. Nagai, K. Yamagiwa, A. Ohkawa, S. Tezura: Ind. Eng. Chem. Res. **48**, nr 3, 1665 (2009).