

STANISŁAW MASIUK
RAFAŁ RAKOCZY

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

Informacyjna charakterystyka procesu mieszania materiału ziarnistego

Wprowadzenie

Mieszanie wieloskładnikowych materiałów ziarnistych jest w wielu przypadkach istotnym elementem funkcjonowania systemu technologicznego. Synteza takiego systemu wymaga matematycznego opisu kinetyki procesu mieszania tego typu materiałów [1, 2]. Z praktycznego punktu widzenia opis taki może być zrealizowany z wykorzystaniem podstawowych charakterystyk statystycznych [3]. Alternatywne podejście do oceny stanu zmieszania układu ziarnistego może być oparte na entropii informacji [4, 5].

Głównym celem prezentowanej pracy jest przedstawienie wyników badań procesu mieszania trójskładnikowej mieszaniny materiału ziarnistego o jednakowej geometrii ziaren różniących się kolorem. W celach porównawczych zrealizowano również proces mieszania dwukolorowego materiału ziarnistego. Analizę procesu mieszania oparto na charakterystyce probabilistycznej wyznaczonej z próbkowania wsadu mieszalnika w różnych miejscach i różnych momentach trwania procesu mieszania.

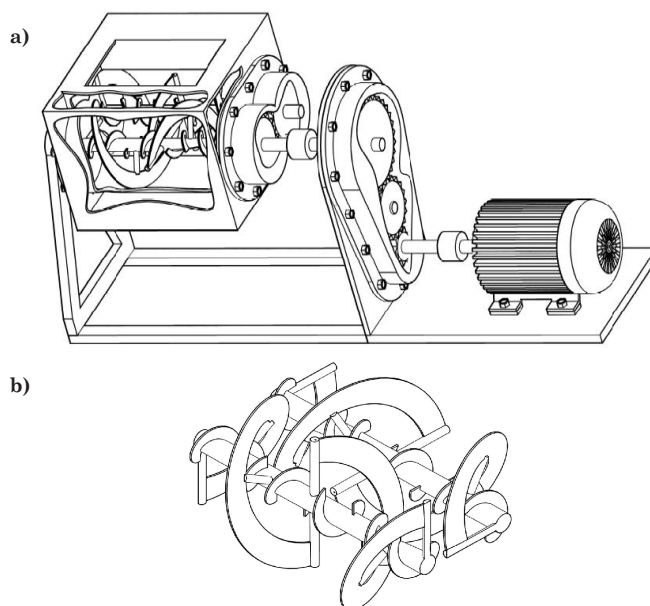
Procedura doświadczalna

Pomiary doświadczalne procesu mieszania materiału ziarnistego zrealizowano w poziomym mieszalniku wyposażonym w układ mieszadeł wielowstęgowych (Rys. 1). Szczegółowy opis wymiarów geometrycznych oraz zakres parametrów operacyjnych podano w pracy [2].

W badaniach eksperymentalnych procesu mieszania materiału ziarnistego został wykorzystany różnokolorowy polimerowy materiał ziarnisty. W przypadku układu dwuskładnikowego, wykorzystano cząstki zabarwiono na żółto (5 kg) oraz niebiesko (5 kg). Natomiast proces mieszania układu trójskładnikowego zrealizowano umieszczając we wnętrzu mieszalnika trzy warstwy różnokolorowego materiału ziarnistego, przy czym masa każdej z warstw wynosiła 2 kg. Prędkość obrotowa mieszadła wielowstęgowego była równa $100 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$. W określonych momentach czasu, z wnętrza mieszalnika pobierano 50 próbek, które następnie dzielono na dwa lub trzy zbiory cząstek różniących się kolorem. Sumaryczna liczba przeanalizowanych cząstek ciała stałego dla każdego momentu czasowego wynosiła 12500 sztuk. Punkty poboru próbek były umieszczone na płaszczyźnie pokrywającej się z przekrojem poprzecznym mieszalnika.

Analiza danych doświadczalnych

Do opisu stanu zmieszania materiału ziarnistego wykorzystano entropię informacyjną. Zależność opisująca średnią entropię informacyjną dla układu dyskretnego ma następującą formę ogólną:



Rys. 1. Schemat mieszalnika (a) oraz układu mieszadeł wielowstęgowych (b)

$$\bar{H}(p) = - \sum_{i=1}^S p_s \log_2(p_s) \quad (1)$$

Wykorzystując powyższą definicję można zapisać zależności od czasu średniej entropii informacyjnej odpowiednio dla układu dwu- i trójskładnikowego:

$$\bar{H}(p, t_k) = - p_z \log_2[p_z(t_k)] - p_n \log_2[p_n(t_k)] \quad (2a)$$

$$\bar{H}(p, t_k) = - p_z \log_2[p_z(t_k)] - p_n \log_2[p_n(t_k)] - p_{cz} \log_2[p_{cz}(t_k)] \quad (2b)$$

gdzie: p_z, p_n, p_{cz} – prawdopodobieństwo występowania cząstek o kolorze żółtym, niebieskim i czerwonym w analizowanej próbce, t_k – moment próbkowania.

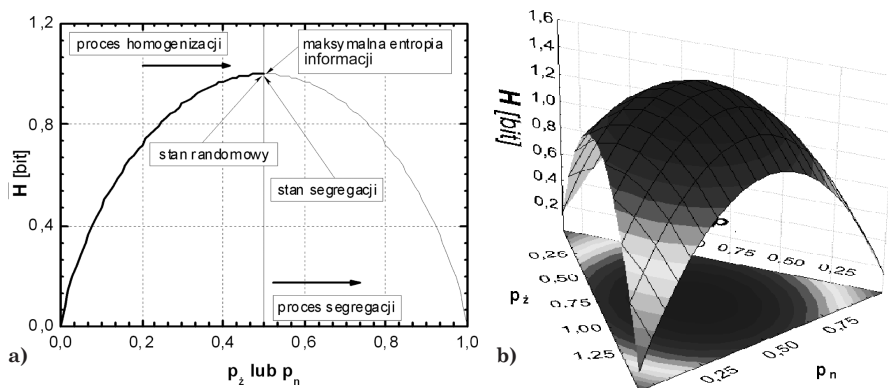
W przypadku analizowanych układów ziarnistych stan homogeniczny (randomowy) jest osiągnięty, jeżeli w pobranej próbce prawdopodobieństwo znalezienia cząstek o różnych kolorach wynosi:

– dla układu dwuskładnikowego

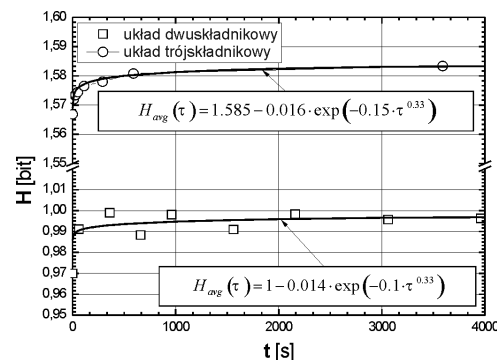
$$p_z = p_n = \frac{m_{kolor}}{m_z + m_n} = 0,5 \quad (3a)$$

– dla układu trójskładnikowego

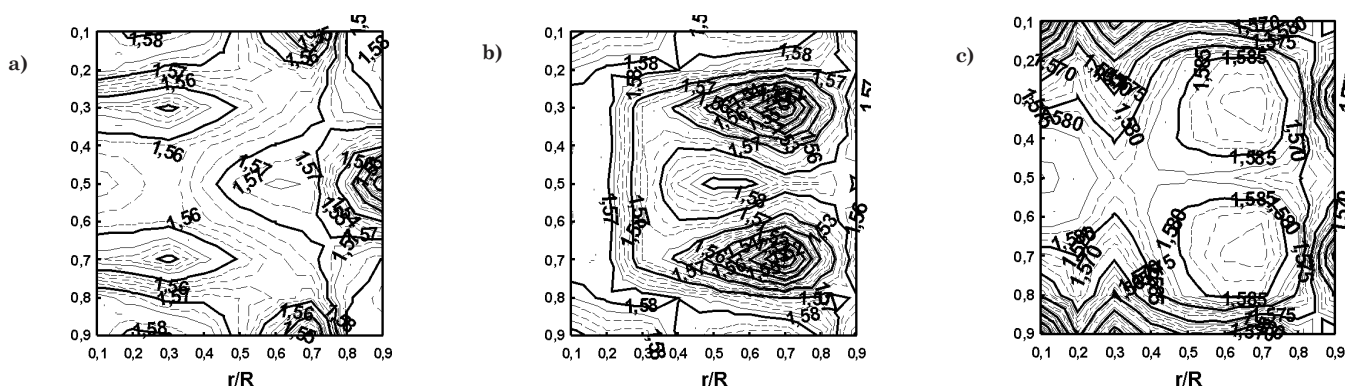
$$p_z = p_n = p_{cz} = \frac{m_{kolor}}{m_z + m_n + m_{cz}} = 0,3(3) \quad (3b)$$



Rys. 2. Graficzne przedstawienie zmian entropii informacyjnej dla układu dwuskładnikowego (a) i trójskładnikowego (b)



Rys. 4. Zależność wypadkowej entropii informacji od czasu trwania procesu mieszania



Rys. 3. Graficzna prezentacja zmian entropii informacyjnej (3b) dla różnych momentów trwania procesu mieszania układu trójskładnikowego: a) $t_k = 10$ s, b) $t_k = 600$ s, c) $t_k = 3600$ s

gdzie: m – masa cząstek o danym kolorze.

Wobec możliwości równoczesnego występowania procesów homogenizacji oraz segregacji, wartości te określają stan idealnego zmieszania lub stan pełnej segregacji układu dwu- i trójskładnikowego w mieszalniku wielowstęgowym. Wartości entropii informacyjnej obliczone ze wzorów (2a) i (2b) wynoszą odpowiednio 1 bit i 1,59 bit. Wykresy przedstawiające zmienność wartości entropii informacyjnej wyznaczonej na podstawie zależności (2a) oraz (2b) dla układu dwuskładnikowego i trójskładnikowego zostały przedstawione na rys. 2.

Jak wynika z rys. 2, proces homogenizacji układów wieloskładnikowych jest ściśle związany ze wzrostem wartości entropii. Zmiana wartości tej charakterystyki informacyjnej zależy od wzajemnego oddziaływania pomiędzy procesem homogenizacji i segregacji występującymi w mieszanym wieloskładnikowym układzie ziarnistym. Można przyjąć, że zmniejszanie się wartości entropii w przypadku układu dwuskładnikowego dla $p_2 \wedge p_n > 0,5$ oraz $p_2 \wedge p_n \wedge p_{cz} > 0,3(3)$ dla układu trójskładnikowego związane jest z postępowaniem procesu segregacji.

Zmiany entropii informacji dla układu trójskładnikowego, wyznaczone w przekroju poprzecznym mieszalnika, zostały przedstawione na rys. 3.

Zaprezentowanie uzyskanych wyników w formie map zmian wartości entropii pozwala na informacyjną ocenę stanu zmieszania wieloskładnikowego materiały ziarnistego oraz umożliwia przeanalizować postępowanie procesu mieszania takich układów. Zastosowany mieszalnik wielowstęgowy cechu-

je się wysoką efektywnością w procesie mieszania układów ziarnistych. Jak można zaobserwować (Rys. 3a), maksymalna wartość entropii (1,59 bit) występuje w pewnych strefach mieszalników. W tych miejscach prawdopodobieństwo występowania cząstek poszczególnych kolorów jest bliskie wartości 0,3 (3). Zmiany wartości entropii wypadkowej oceniającej postępowanie procesu mieszania analizowanych układów wraz z opisem matematycznym zostały przedstawione graficznie na rys. 4.

Podsumowanie i wnioski

Entropia informacyjna może stanowić jakościową i ilościową ocenę stanu zmieszania wieloskładnikowych układów ziarnistych. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że średnia entropia informacji, charakteryzująca proces mieszania wieloskładnikowego materiały ziarnistego, jest rozłożona w czasie i przestrzeni.

LITERATURA

1. R. Rakoczy, S. Masiuk, M. Kordas: Chemical and Process Engineering 30, 67 (2009).
2. S. Masiuk, R. Rakoczy: Chemical Engineering and Processing 47, 200 (2008).
3. F. Strępek: Mieszanie i mieszalniki, Warszawa, WNT, 1981.
4. C.E. Shannon: Bell Syst. Techn. 27, 379 i 623 (1948).
5. S. Masiuk R. Rakoczy: Chemical Engineering and Processing 45, 500 (2006).