

## WPŁYW WYSOKOŚCI ŁOPATKI MIESZADŁA I SPOSOBU PODAWANIA SKŁADNIKÓW NA JAKOŚĆ OTRZYMYWANEJ MIESZANINY ZIARNISTEJ

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań procesu mieszania układów gorczyca – peluska oraz peluska – groch w mieszalniku z mieszadłem łopatkowym. Proces mieszania prowadzono w zbiorniku o średnicy 500 mm z użyciem mieszadeł łopatkowych prostych o średnicy 490 mm i zmiennej wysokości łopatki wynoszącej odpowiednio 10, 20, 40, 60 i 80 mm. Parametrami zmiennymi procesu była również częstość obrotowa mieszadła, która wynosiła 0,667, 1 i 1,333 s<sup>-1</sup> oraz początkowe położenie fazy rozpraszanej układu ziarnistego. Ocenę jakości mieszaniny prowadzono za pomocą stopnia zmieszania według formuły Rose'a, wykorzystując skalę oceny jakości zaproponowaną przez Bossa.

**Słowa kluczowe:** mieszanie, mieszalnik, stopień zmieszania, materiał ziarnisty

### Oznaczenia

M – stopień zmieszania;

M<sub>e</sub> – równowagowy stopień zmieszania;

n – liczba próbek;

p – prawdopodobieństwo wystąpienia fazy rozpraszanej w mieszaninie;

S – estymator odchylenia standardowego po zmieszaniu;

S<sub>o</sub> – odchylenie standardowe przed zmieszaniem;

x<sub>i</sub> – koncentracja fazy rozpraszanej w i-tej próbce.

### Wprowadzenie

Proces mieszania materiałów ziarnistych dość powszechnie stosowany jest w przetwórstwie rolno – spożywczym. Jego celem jest wytwarzanie gotowych produktów, poddawanych następnie konfekcjonowaniu lub półproduktów wykorzystywanych w dalszej produkcji. Mieszanie materiałów ziarnistych prowadzi się w różnego typu urządzeniach mieszających. Jedną z grup urządzeń stosowanych do wytwarzania mieszanin ziarnistych są mieszalniki z mieszadłem mechanicznym. Niezależnie w jakim urządzeniu odbywa się mieszanie, kluczowym zagadnieniem jest osiągnięcie wymaganego rozproszenia składników tworzących mieszaninę ziarnistą. Również istotny jest wydatek energii potrzebnej do doprowadzenia określonej objętości materiału ziarnistego do stanu wymieszania. Uwzględniając te wymagania należy tak dobrać czynniki konstrukcyjne i eksploatacyjne urządzenia mieszającego, aby otrzymać produkt o zadowalającej jakości, przy możliwie najniższych kosztach wytworzenia. Dlatego prace eksperymentalne prowadzone są w celu znalezienia optymalnych warunków, w jakich powinien odbywać się proces mieszania. Wykorzystując do mieszania mieszadło mechaniczne należy pamiętać, aby podczas jego ruchu w komorze cała objętość materiału ziarnistego była poddana procesowi mieszania.

Wpływ na proces mieszania obok geometrii mieszadła oraz czynników eksploatacyjnych może mieć również sposób podawania składników tworzących mieszaninę. W przypadku mieszania materiałów różniących się wymiarami ziaren, gęstością lub innymi czynnikami wpływającymi na zachowanie się składników podczas mieszania występuje zjawisko segregacji, którego ujemny wpływ może być minimalizowany poprzez odpowiednie podawanie składników. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie wymaganej jakości mieszaniny w krótszym czasie.

---

Jakość uzyskanej mieszaniny ziarnistej może być określana w różnorodny sposób, za pomocą testów, wskaźników jakości lub stopni zmieszania. Najczęściej stosowany jest stopień zmieszania zaproponowany przez Rose'a [1959]

$$M = 1 - \frac{S}{S_o} , \quad (1)$$

gdzie:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - p)^2}{n}} \quad (2)$$

a

$$S_o = \sqrt{p(1-p)} . \quad (3)$$

Jednocześnie autorzy prowadzonych badań starają się określić w jakich przedziałach stopnia zmieszania otrzymana mieszanina posiada wymaganą jakość. W oparciu o definicję Rose'a ocenę jakości mieszaniny zaproponował Boss [1987].

Własne oceny jakości mieszaniny bazujące na innych definicjach stopnia zmieszania proponowali Rose i Robinson [1965] oraz Herrman i Behnke [1994]. Wymagania jakościowe stawiane gotowym produktom zawarte są w normach zakładowych, branżowych lub innych (np. PN-EN-12004:2002, PN-B-10109:1998). Niespełnienie tych wymagań może dyskwalifikować produkt, albo też zmusza producenta do ponownego mieszania całej partii wyrobu.

### Metodyka badań i wyniki

Badania zostały przeprowadzone w zbiorniku cylindrycznym z pionowym mieszadłem łopatkowym na stanowisku opisanym wcześniej [Węgrzyn 2002]. Zbiornik w którym odbywał się proces mieszania ma średnicę 500 mm, a całkowita objętość materiału ziarnistego wynosiła 26 500 cm<sup>3</sup>. Mieszaninę tworzyły dwa składniki. Fazę rozpraszającą stanowiły dla jednego układu frakcjonowane ziarna gorczycy a fazę rozpraszaną ziarna peluszki, dla drugiego fazą rozpraszającą była peluszka a fazą rozpraszaną groch. W badaniach zastosowano materiały o średnich średnicach wynoszących odpowiednio gorczyca 2,24 mm - peluszka 4,24 mm (układ I) oraz peluszka 4,24 mm - groch 6,24 mm (układ II). Faza rozpraszana każdorazowo stanowiła 10% całkowitej objętości mieszaniny.

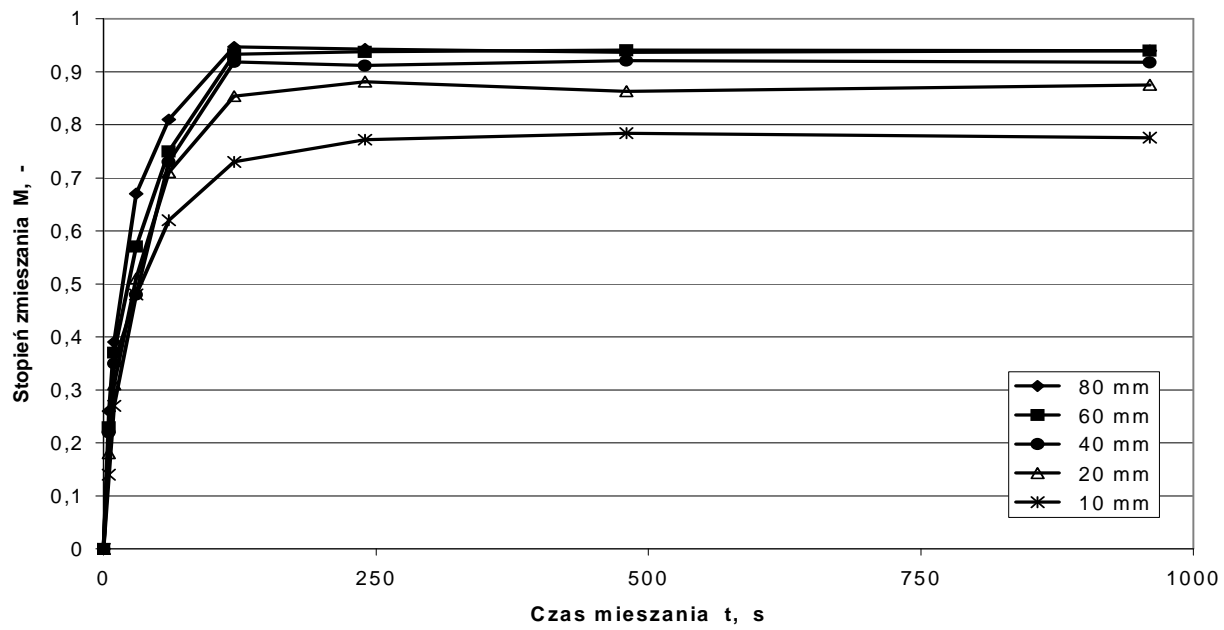
Do mieszania zastosowano mieszadła łopatkowe średnicy 490 mm o łopatkach prostych i zmiennych wysokościach, wynoszących odpowiednio 10, 20, 40, 60 i 80 mm. Mieszadło było umieszczane tuż nad dnem, tak że w czasie ruchu mieszadła odległość od dna zbiornika była mniejsza niż 2 mm, co pozwalało na wprowadzenie w ruch materiału w całej objętości.

W celu określenia, czy początkowe położenie składników tworzących mieszaninę ziarnistą ma wpływ na proces mieszania, mieszanie prowadzono dla dwóch położań początkowych fazy rozpraszanej (rys. 1).



Rys. 1. Położenie fazy rozpraszanej przed rozpoczęciem mieszania: a) u góry, b) u dołu  
 Fig. 1. Position of the phase being dispersed before start of mixing: a) upward, b) downward

Badania procesu mieszania prowadzono przy zmiennej częstości obrotowej mieszadła wynoszącej 0,667, 1 i 1,33 s<sup>-1</sup>.



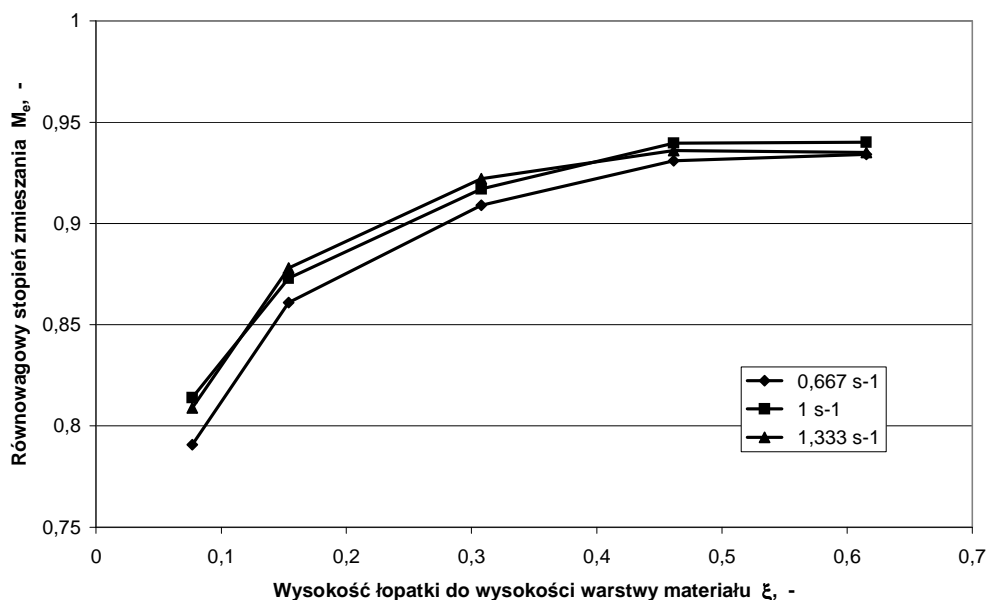
Rys. 2. Stopień zmixowania w funkcji czasu mieszania, przy częstości obrotowej mieszadła 0,667 s<sup>-1</sup> i początkowym położeniu fazy rozpraszanej u dołu (dla układu I)  
 Fig. 2. Mixing degree in function of mixing time, at agitator revolutions frequency 0.667 s<sup>-1</sup> and downward initial position of the phase being dispersed

W celu oceny jakości mieszaniny pobierano z układu ziarnistego 20 próbek reprezentujących całość materiału ziarnistego poddawanego procesowi mieszania. Ze względu na różnicę wymiarów ziaren składniki mieszaniny w poszczególnych próbkach rozdzielano na sitach i określano stopień zmixowania zgodnie z zależnością (1). Analizę składu mieszaniny prowadzono po 5, 10, 30, 60, 120, 240, 480 i 960 s, przy czym po każdym pobraniu próbek proces mieszania rozpoczynano od początku. Otrzymane wyniki pozwoliły na sporządzenie

wykresów stopnia zmieszania w funkcji czasu mieszania  $M = f(\tau)$ . Przykładowe wykresy dla układu I, częstości obrotowej  $0,667 \text{ obr}\cdot\text{s}^{-1}$  oraz dolnego położenia fazy rozpraszanej przed rozpoczęciem mieszania przedstawia rysunek 2.

Podobne badania przeprowadzono dla dwóch pozostałych częstości obrotowych mieszadła, to jest dla  $1$  i  $1,333 \text{ obr}\cdot\text{s}^{-1}$ , dla początkowego położenia fazy rozpraszanej u góry i u dołu, dla układów I i II. We wszystkich analizowanych przypadkach stopień zmieszania dąży do maksymalnego stopnia zmieszania, w danych warunkach będącego jednocześnie równowagowym stopniem zmieszania.

W celu określenia czy stan równowagowy został osiągnięty, stosowano test Bartletta [Węgrzyn 2004]. Do weryfikacji hipotezy o równości równowagowego stopnia zmieszania za pomocą testu Bartletta przyjmowano wartości stopnia zmieszania po 240, 480 i 960 s. We wszystkich rozpatrywanych przypadkach test Bartletta wykazał, że po 240 s mieszania układ ziarnisty osiąga stan równowagowy. Do dalszych rozważań wartość równowagowego stopnia zmieszania wyznaczano jako średnią arytmetyczną stopni zmieszania po 240, 480 i 960 s mieszania, dla danej wysokości łopatk i określonej częstości obrotowej mieszadła.

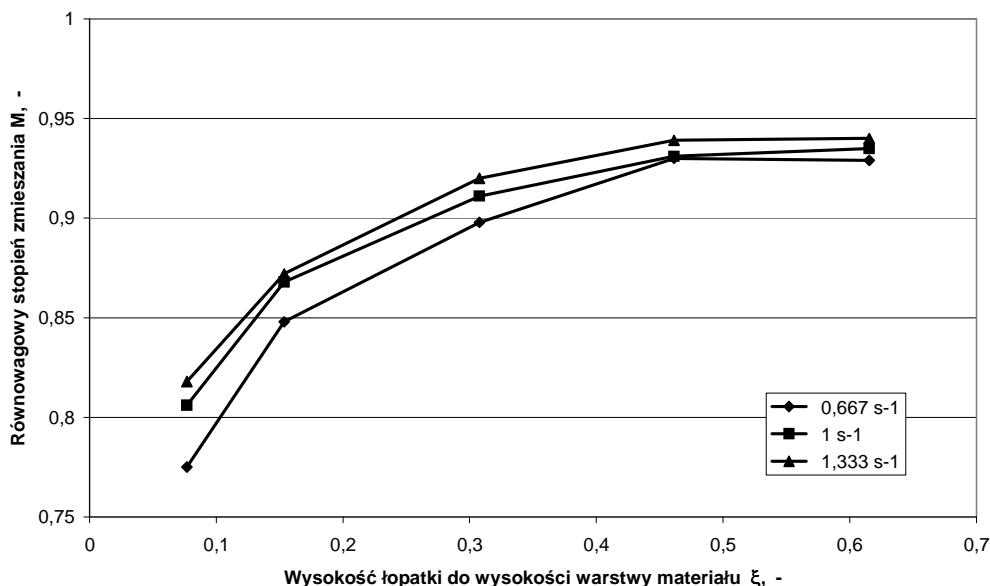


Rys. 3. Równowagowy stopień zmieszania w funkcji wysokości łopatk do wysokości warstwy mieszanego materiału dla początkowego położenia fazy rozpraszanej u dołu (układ I, gorczyca - peluszka)

Fig. 3. Mixing equilibrium degree in function of paddle height of mixed material layer, for downward initial position of the phase being dispersed

W oparciu o wartości równowagowego stopnia zmieszania sporządzono zależności równowagowego stopnia zmieszania w funkcji wysokości łopatk mieszadła odniesionej do wysokości mieszanej warstwy materiału ziarnistego  $M_e = f(\xi)$ . Na rysunku 3 przedstawiono dla I układu ziarnistego zależności równowagowego stopnia zmieszania w funkcji wysokości łopatk mieszadła, odniesionej do wysokości mieszanej warstwy materiału ziarnistego, dla początkowego położenia fazy rozpraszanej u dołu.

Z rysunków 3 i 4 widać, że dla proporcji wysokości łopatki do wysokości warstwy materiału  $\xi > 0,3$  otrzymuje się wartości stopnia zmieszania zgodnie ze skalą jakości zaproponowaną przez Bossa [1987], na poziomie mieszanych dobrej oraz bardzo dobrej. Zastosowanie mieszadeł o zbyt małej wysokości łopatki (w tym przypadku mieszadło o wysokości 10 mm), może prowadzić do uzyskania mieszaniny o jakości niezadowalającej, według tej skali jakości mieszaniny.



Rys. 4. Równowagowy stopień zmieszania w funkcji wysokości łopatki do wysokości warstwy mieszanego materiału dla początkowego położenia fazy rozpraszanej u góry (układ I)

Fig. 4. Mixing equilibrium degree in function of paddle height of mixed material layer, for upward initial position of the phase being dispersed

Tab. 1. Równowagowy stopień zmieszania

Table 1. Equilibrium of mixing degree

$\xi$ -	N s <sup>-1</sup>					
	0,667		1		1,33	
	dół	góra	dół	góra	dół	góra
0,077	0,802	0,790	0,813	0,807	0,820	0,829
0,154	0,847	0,852	0,860	0,855	0,849	0,868
0,308	0,899	0,895	0,897	0,900	0,913	0,904
0,462	0,911	0,913	0,928	0,930	0,926	0,928
0,615	0,915	0,919	0,931	0,927	0,924	0,929

Rysunki 3 i 4 pokazują również, że nadmierne zwiększanie częstości obrotowej mieszadła nie powoduje oczekiwanego przyrostu stopnia zmieszania. Szczególnie jest to widoczne dla częstości obrotowych 1 i 1,33 s<sup>-1</sup>, gdzie uzyskane wartości stopnia zmieszania dla tych samych wysokości łopatki mieszadła są podobne. Wykresy na rysunkach 3 i 4 wskazują, że początkowe położenie fazy rozpraszanej nie ma wpływu na jakość uzyskiwanej mieszaniny ocenianej w tym przypadku za pomocą równowagowego stopnia zmieszania.

---

Podobnie przeprowadzono badania dla II układu (peluszką – groch). Wyniki badań przeprowadzonych dla układu II potwierdzają spostrzeżenia wynikające z wykresów na rysunkach 3 i 4. Wartości równowagowego stopnia zmieszania dla układu peluszką – groch zestawiono w tabeli 1.

## **Wnioski**

1. W procesie mieszania materiałów ziarnistych za pomocą mieszadła łopatkowego duże znaczenie odgrywa wysokość łopatki mieszadła. Dla badanego układu ziarnistego przy proporcji wysokości mieszadła do wysokości warstwy mieszanych materiałów ziarnistych  $\square > 0,3$ , otrzymuje się mieszaninę o jakości dobrej oraz bardzo dobrej, zgodnie z oceną jakości mieszaniny zaproponowaną przez Bossa [1987].
2. W badanych układach ziarnistych, początkowe położenie fazy rozpraszanej nie wpływa na jakość otrzymywanej mieszaniny ziarnistej, reprezentowanej za pomocą stopnia zmieszania.
3. Mieszanina dla wszystkich zastosowanych mieszadeł oraz dla przyjętych częstości obrotowych mieszadła po 240 s procesu mieszania znajduje się w stanie równowagowym.

## **Literatura**

Boss J. 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN Warszawa 1987.

Herrman T., Behnke K. 1994. Testing mixer performance. MF-1172 Feed Manufacturing, Kansas State University.

Rose H. E. 1959. A suggested equation relating to the mixing of powders and its application to the study of the performance of certain types of machine. Trans. Instn Chem. Engrs 37, 47-64.

Rose H. E., Robinson D. J. 1965. The application of the digital computer to the study of some problems in the mixing of powders. A. I.Ch. E. – Instn Chem. Engrs, Symp. Series No 10, 61-70.

Węgrzyn M. 2002. Czynniki wpływające na efektywność mieszania materiałów ziarnistych za pomocą mieszadła łopatkowego. Inż. Rol. 4 (37), 351-356.

Węgrzyn M. 2004. Efektywność mieszania materiałów ziarnistych. Rozpr. Nauk. AR w Lublinie, z. 284, Lublin.

## **QUALITY OF GRAINY MIXTURE AS AFFECTED BY THE HEIGHT OF MIXING PADDLES AND DEEDING MANNER OF THE COMPONENTS**

### **Summary**

Paper described the investigations concerning the mixing process of charlock (*Sinapsis alba*) and field pea seeds in a mixer with paddle agitator. Mixing process was performed in a container of 500 mm diameter with the use of straight-paddle agitators of 490 mm diameter and variable paddle heights of 10, 20, 40, 60 and 80 mm, respectively. Variable parameters of the process included also the revolutions frequency of agitator ( $0.667; 1; 1.33 \text{ s}^{-1}$ ) and initial position of dispersed phase in graining system. Quality of the mixture was evaluated by

means of a mixing degree according to Rose's formula with the use of evaluation scale proposed by Boss.

**Key words:** mixing, mixer, mixing degree, grainy material.

Recenzent-Janusz Boss

Table 1. Scale of the mixtures' quality proposed by Boss (1987)