

Marek Węgrzyn
Zakład Techniki Rolniczej i Leśnej
Politechnika Opolska

ANALIZA PROCESU CIĄGŁEGO MIESZANIA W WYBRANYCH MIESZALNIKACH STATYCZNYCH

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań mieszania ciągłego w dwóch mieszalnikach statycznych: mieszalniku płytkowym oraz mieszalniku daszkowym. Elementy mieszające umieszczono w kanale o przekroju kwadratowym i boku równym 100 mm. Procesowi mieszania poddano układy ziarniste dwuskładnikowe, który tworzy gorczyca (faza rozpraszająca) - peluszką (faza rozpraszana) oraz peluszką - groch. Mieszanie prowadzono przy udziale objętościowym składnika fazy rozpraszanej wynoszącym 0,1, 0,25 oraz 0,4. Jakość otrzymanej mieszaniny oceniano za pomocą stopnia zmieszania według formuły Rose'a.

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

Oznaczenia

M - stopień zmieszania

M_e - równowagowy stopień zmieszania

N - liczba elementów mieszających

n - liczba próbek

p - prawdopodobieństwo wystąpienia fazy rozpraszanej w mieszaninie

S - estymator odchylenia standardowego po zmieszaniu

S₀ - odchylenie standardowe przed zmieszaniem

x_i - koncentracja fazy rozpraszanej w *i*-tej próbce

Wprowadzenie

Proces mieszania materiałów ziarnistych polega na przemieszczaniu składników tworzących układ ziarnisty w taki sposób, aby doprowadzić do ich równomiernego rozproszenia w całej objętości. Urządzenia służące do procesu mieszania można podzielić ze względu na ich konstrukcję na mieszalniki z komorą obrotową, z komorą nieruchomą i mieszadłem mechanicznym, młynem-

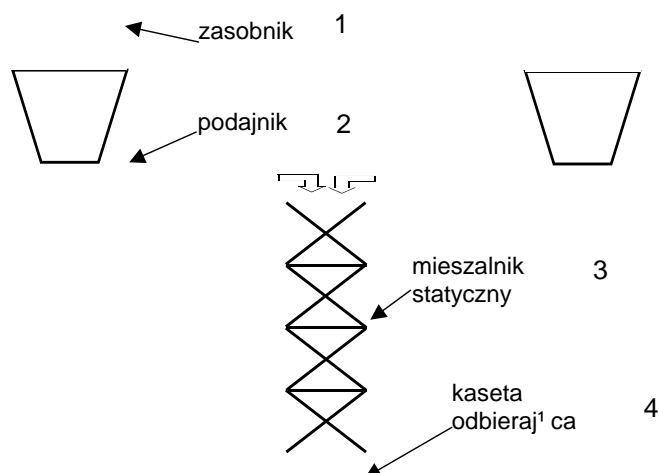
szalniki, mieszalniki statyczne. Mieszalniki statyczne s¹ urz¹dzeniami o pracy ci¹g³ej i mog¹ pracowaæ w uk³adzie pionowym, wtedy podawane sk³adniki ulegaj¹ procesowi mieszania wskutek przesypywania siê na elementach mieszaj¹cych. Mog¹ równie¿ pracowaæ w uk³adzie poziomym lub nachylone pod określonym k¹tem, a proces mieszania jest mo¿liwy wskutek przep³ywu sk³adników tworzc¹ych mieszaninê ziarnist¹ w strumieniu gazu.

Elementy mieszaj¹ce konstruowano pocz¹tkowo do mieszania cieczy, nastêpnie adoptowano do materia³ów ziarnistych. Do takich konstrukcji mo¿na zaliczyæ elementy mieszaj¹ce typu Kenics 90° i Kenics 180° [Fan i in. 1970], Komax oraz Sulzer. Badania nad ich zastosowaniem w procesie mieszania materia³ów ziarnistych wykaza³y ich przydatnoœæ, jednak wartoœci maksymalnego i równowagowego stopnia zmieszania wzdu¿nego bardzo silnie zale¿¹ od stosunku wymiarów ziaren i stosunku g¹stoœci mieszanych sk³adników. W przypadku mieszania m¹ki z u¿yciem mieszalnika typu Sulzer, aby proces przesypywania odbywa³ siê bez przeszkód u¿ywano wibratora po³1czonego z kana³em mieszania. Mieszalniki typu Kenics 90° i 180° oraz Komax, projektowane do mieszania cieczy okaza³y siê przydatne do mieszania ró¿nego typu nasion, ze wzglêdu na znacznie mniejszy zakres uszkodzenia ziaren w trakcie mieszania w porównaniu z np. miazark¹ œlimakow¹ [D¹browska i in. 1987].

Konstruowano równie¿ mieszalniki statyczne pod k¹tem mieszania materia³ów ziarnistych. Do takich nale¿¹ konstrukcje mieszalników p³ytkowego oraz daszkowego opatentowane przez Bossa. Mieszalnik p³ytkowy by³ przedmiotem badañ mieszania wzdu¿nego i poprzecznego przez Bossa [1984], a p³ytkowy i daszkowy mieszania wzdu¿nego przez Bossa i in. [1986] oraz Bossa i Wêgrzyna [1991]. Konstrukcja mieszalnika statycznego ze wzglêdu na brak elementów ruchomych jest niezawodna. Nak³adem energetycznym zwi¹zanym z procesem mieszania w mieszalniku statycznym jest energia potrzebna do podniesienia materia³u ziarnistego na wysokoœæ równ¹ d³ugoœci mieszalnika. Sposoby w³1czenia mieszalników statycznych w linie technologiczne zosta³y przedstawione przez Bossa [1987].

Metodyka badañ i wyniki

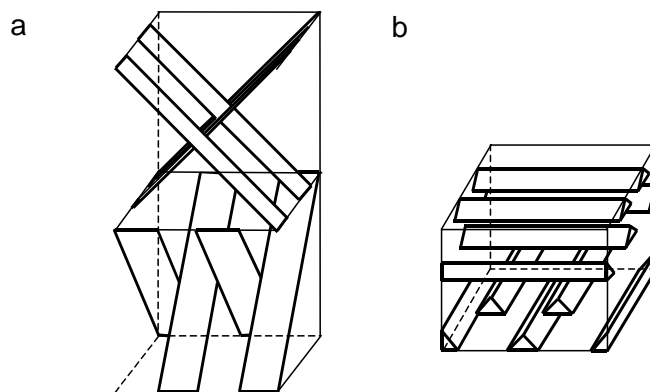
Badania procesu mieszania zosta³y przeprowadzone na stanowisku laboratoryjnym, którego schemat przedstawiono na rysunku 1. W odró¿nieniu od wcześniejszych badañ poprzecznego procesu mieszania, sk³adniki podawane s¹ w sposób ci¹g³y. Stanowisko badawcze sk³ada siê z dwóch zasobników z podajnikami wibracyjnymi, mieszalnika statycznego oraz kasety odbieraj¹cej zmieszany materia³ ziarnisty. Do mieszania zosta³y u¿yte dwa mieszalniki statyczne: p³ytkowy oraz daszkowy.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

Fig. 1. Scheme of the test stand. 1-hopper 2-feeder, 3-static mixer, 4-receiving cassette

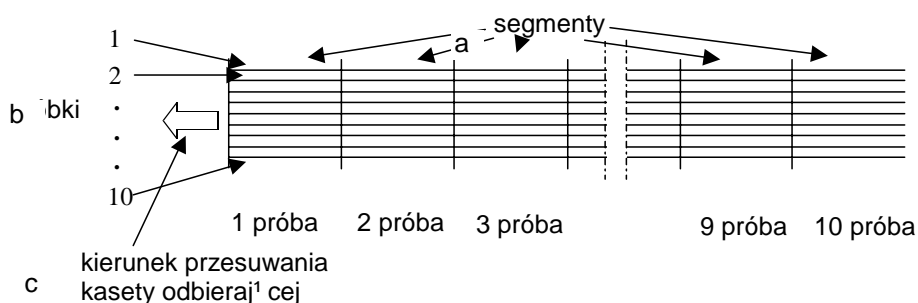
Elementy mieszające mieszalnika płytkowego i mieszalnika daszkowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Elementy mieszające mieszalnika statycznego: a - pojedynczy element mieszalnika płytkowego wg pat. PRL nr 119 191, b - pojedynczy element mieszalnika daszkowego wg pat. PRL nr 130 961

Fig. 2. Mixing elements of the static mixer: a - single element of lamellar mixer (according to Polish patent no. 119 191); b - single element of the hooded mixer (according to Polish patent no. 130 961)

Składniki z zasobników podawane były do mieszalnika statycznego za pomocą podajników wibracyjnych, zapewniających ustalony strumień podawanego materiału ziarnistego. Mieszalnik statyczny stanowił kanał o przekroju kwadratowym o boku 100 mm, wypełniony elementami mieszającymi. Dla obydwu elementów mieszających wykonano mieszalniki złożone z jednego, dwóch oraz po dwa mieszalniki z czterech elementów mieszających. Odcinki mieszalnika można ze sobą łączyć, co pozwala na wykonanie mieszalnika o dowolnej liczbie elementów mieszających w zakresie 1-11. Po przejściu przez mieszalnik statyczny mieszanina przesypana się do kasety odbierającej (rys. 3).



Rys. 3. Kaseła odbierająca

Fig. 3. Receiving cassette: a - segments, b - samples, c - direction of cassette shifting; test 1...10

W trakcie procesu mieszania kaseła odbierająca przesuwała się i mieszanina opuszczająca mieszalnik statyczny wypełniała kolejne jej segmenty. Taki sposób pobierania próbek odpowiada pobieraniu próbek z przenośnika taśmowego umieszczonego pod mieszalnikiem statycznym. Podzieliła kasetę odbierającą na dziesięć segmentów i każdego z nich na dziesięć części, umożliwiając pobieranie dla każdej części mieszalnika dziesięciu prób, złożonych z dziesięciu próbek, co pozwala na dokładne określenie rozproszenia składników. Pierwszą i ostatnią próbę odrzucano ze względu niestabilność procesu związaną z rozpoczęciem i zakończeniem podawania materiału ziarnistego z zasobnika. Dla każdej z prób określano stopień zmieszania według zależności podanej przez Rose'a [1959]:

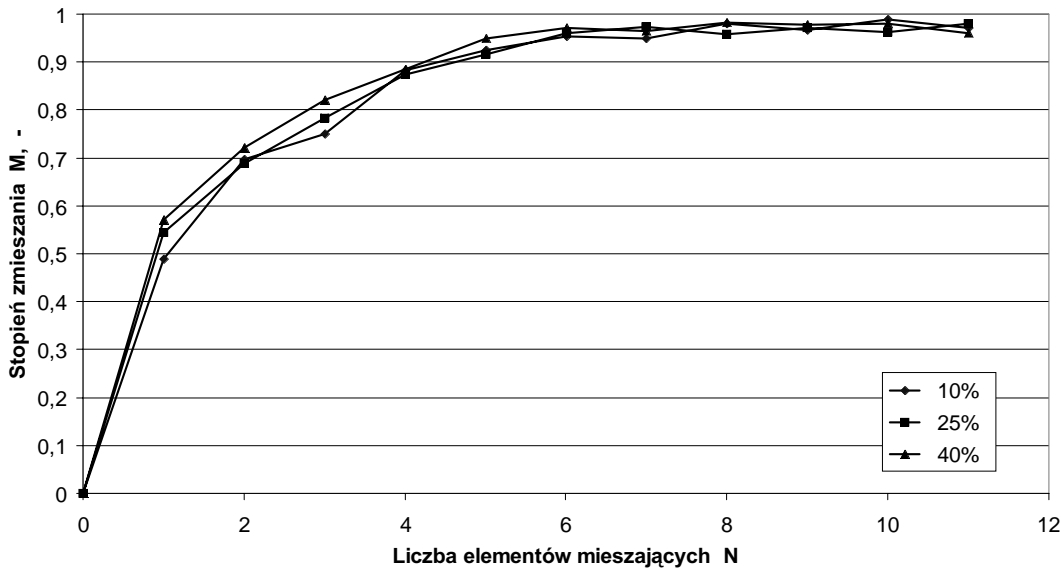
$$M = 1 - \frac{S}{S_o} \quad (1)$$

gdzie:

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

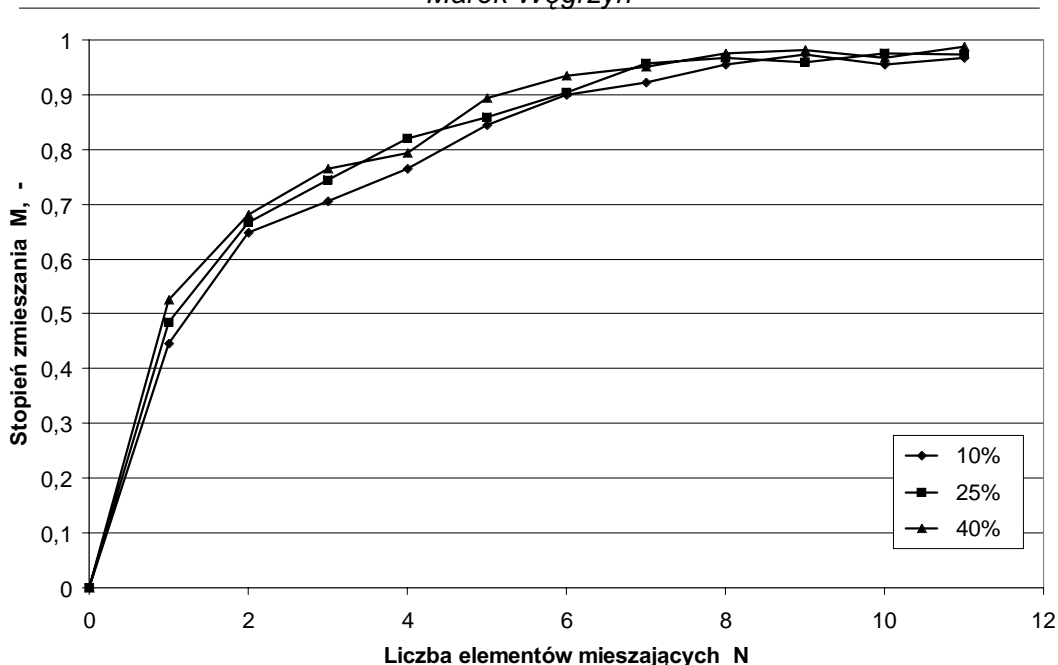
$$S_o = \sqrt{p(1-p)} \quad (3)$$

Uzyskane wartości stopnia zmieszania - dla mieszania poprzecznego - z poszczególnych prób, dla danej długości mieszalnika, posłużyły do wyznaczenia wartości średniej, która stanowiła ilościowy wskaźnik jakości mieszaniny po przejściu przez N elementów mieszających.



Rys. 4. Stopień zmieszania układu gorczyca - peluszka, w funkcji liczby elementów mieszających mieszalnika płytkowego dla różnych udziałów fazy rozpraszanej
 Fig. 4. Mixing ratio for the charlock-field pea system in function of mixing element number in lamellator mixer at different shares of dispersed phase

Proces mieszania prowadzono dla dwóch układów ziarnistych dwuskładnikowych: faza rozpraszająca - gorczyca o średnicy 2,24 mm i faza rozpraszana - peluszka o średnicy 4,24 mm oraz peluszka (faza rozpraszająca, średnica 4,24 mm) - groch (faza rozpraszana, średnica 6,24 mm). Proces mieszania prowadzono dla zmiennych udziałów fazy rozpraszanej stanowiącej 10%, 25% i 40% całkowitej objętości mieszaniny. Uzyskane wartości stopnia zmieszania układu gorczyca - peluszka w funkcji liczby elementów mieszających przedstawiono na rysunku 4 dla mieszalnika płytkowego i na rysunku 5 dla mieszalnika daszkowego. Podobnie wyznaczono przebiegi zmiany stopnia zmieszania w funkcji liczby elementów mieszających dla układu peluszka - groch. Z otrzymanych zależności wynika, że w przypadku użycia płytkowych elementów mieszających maksymalny stopień zmieszania osiąga się po przejściu przez siedem, przy zastosowaniu daszkowych elementów mieszających po przejściu przez dziewięć elementów.



Rys. 5. Stopień zmięszania układu gorczyca - peluszka, w funkcji liczby elementów mieszających mieszalnika daszkowego dla różnych udziałów fazy rozpraszanej
 Fig. 5. Mixing ratio for the charlock-field pea system in function of mixing element number in hooded mixer at different shares of dispersed phase

Tak postawion¹ hipotezę weryfikowano za pomocą¹ testu Bartletta, który potwierdził³ słuszność tej hipotezy dla mieszanych układów ziarnistych, obydwu typów elementów mieszających i badanych udziałów fazy rozpraszanej w mieszaniu. Wartości stopnia zmięszania badanych układów ziarnistych dla rozpatrywanych mieszalników, przy zmiennych udziałach fazy rozpraszanej przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości równowagowego stopnia zmięszania M_e

Table 1. Values of equivalent mixing ratio M_e

Układ ziarnisty	Mieszalnik	Udział fazy rozpraszanej		
		10%	25%	40%
Gorczyca – peluszka	Płytkowy	0,971	0,969	0,973
	Daszkowy	0,965	0,970	0,979
Peluszka - groch	Płytkowy	0,959	0,972	0,967
	Daszkowy	0,952	0,965	0,971

Po zakończeniu procesu mieszania, w przypadku zastosowania mieszalnika p³ytkowego zaobserwowano niewielkie pozosta³oœci sk³adników mieszaniny na elementach wype³nienia. W przypadku zastosowania wype³nienia p³ytkowego do mieszania produktów rolno-spo¿ywczych konieczne jest zastosowanie zmodyfikowanego wype³nienia konstrukcji Bossa (pat. PRL nr 119 557), które zachowuj¹c wysokie walory mieszaj¹ce nie zatrzymuje mieszanego materia³u na elementach mieszaj¹cych.

Wartoœci stopnia zmieszania uzyskane w procesie ci¹g³ego mieszania w mieszalniku statycznym dla obydwu typów elementów mieszaj¹cych s¹ bardzo wysokie, co œwiadczy o bardzo dobrym rozproszeniu sk³adników tworz¹cych uk³ad ziarnisty. Otrzymane wartoœci dla elementów mieszaj¹cych umieszczonych w kanale kwadratowym o boku 100 mm odpowiadaj¹ wartoœci stopnia zmieszania ($M_e \cong 0,97$) otrzymanej przez Bossa [1984] dla mieszalnika p³ytkowego umieszczonego w kanale kwadratowym o boku 42 mm, podczas mieszania granulowanego tlenku glinu (faza rozpraszaj¹ca 4,2 mm, faza rozpraszana 2,74 mm). Os¹gniêcie takich wartoœci stopnia zmieszania dowodzi du¿ej przydatnoœci mieszalników statycznych do mieszania materia³ów ziarnistych. Wykonane stanowisko badawcze pozwala równie¿ na zastosowanie innych typów mieszalników statycznych.

Wnioski

1. Mieszanie ci¹g³e w statycznym mieszalniku p³ytkowym oraz mieszalniku daszkowym prowadzi do os¹gniêcia bardzo dobrego rozproszenia sk³adników mieszaniny. Otrzymane wartoœci równowagowego stopnia zmieszania $M_e > 0,95$ kwalifikuj¹ mieszaninê jako bardzo dobr¹.
2. W daszkowym mieszalniku statycznym maksymalny stopieñ zmieszania uzyskano po przesypaniu sk³adników mieszaniny przez dziewiêæ elementów mieszaj¹cych, a w przypadku mieszalnika p³ytkowego przez siedem elementów mieszaj¹cych.
3. Przeprowadzone badania wykaza³y przydatnoœæ zbudowanego stanowiska do badania procesu ci¹g³ego mieszania materia³ów ziarnistych w mieszalnikach statycznych.

Bibliografia

- Boss J. 1984. Mieszalnik p³ytkowy do materia³ów sypkich. In: *In¿ynieria i Aparatura Chemiczna*, 3: 13-19
- Boss J. 1987. *Mieszanie materia³ów ziarnistych*. PWN, Warszawa

Boss J., Węgrzyn M. 1991. The effect of the tracer particles distribution on the equilibrium degree of mixture, *Powder Handling & Processing* v.3, 3: 253-255

Boss J., Knapik A. T., Węgrzyn M. 1986. Segregation of heterogeneous grain systems during mixing in static mixers. *Bulk Solids Handling* v. 6, 1, 145-149

Dłbrowska D., Słodczyk K, Stelmaszyk C., Węgrzyn M. 1987. Ocena uszkodzeń mechanicznych ziarna w różnych typach mieszarek. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 163: 89-101

Fan L. T., Chen S. J., Eckhoff N. D., Watson C. A. 1970/1971. Evaluation of a motionless mixer using a radioactive tracer technique. *Powder Technology*, 4: 345-350

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

THE ANALYSIS OF CONTINUOUS MIXING PROCESS IN SELECTED STATIC MIXERS

Summary

Paper presented the investigations on continuous mixing process in two static mixers: the lamellar and the hooded mixers. Mixing elements were placed in a channel of square cross-section and 100 mm side length. Two-component granular systems consisted of the charlock (dispersing phase) - field pea (dispersed phase) and the field pea-pea seeds, were used for mixing. Mixing was performed at volumetric share of dispersed phase of 0,1; 0,25 and 0,4. The quality of obtained mixtures was evaluated by using a mixing ratio according to the Rose's formula.

Key words: mixing, static mixer, granular material, mixing ratio

Rercenzent: Jan Pabis

