

Prof. dr hab. inż. Janusz BOSS,  
Zakład Procesów Mechanicznych, Uniwersytet Opolski  
dr inż. Alicja KOLASA - WIĘCEK  
Instytut Inżynierii Produkcji, Politechnika Opolska

## MIESZANIE MATERIAŁÓW ZIARNISTYCH O RÓŻNEJ GĘSTOŚCI W MIESZALNIKU BĘBNOWYM<sup>®</sup>

W pracy badano proces mieszania układów ziarnistych o zróżnicowanych gęstościach, jak również towarzyszące mieszaniu zjawisko segregacji. Dokonano porównania wyników otrzymanych na podstawie modelu stochastycznego z wartościami rzeczywistymi, wyznaczonymi na drodze doświadczalnej. Badania prowadzono w długim mieszalniku bębnowym.

**Słowa kluczowe:** mieszanie, mieszalnik bębnowy, segregacja, materiały ziarniste, materiały różnorodne.

### Wykaz ważniejszych oznaczeń

- M – stopień zmieszania,  
p – prawdopodobieństwo znalezienia traseru w dowolnym segmencie,  
s – odchylenie standardowe składu mieszaniny w w próbach,  
 $v_{Ai}$  – objętość składnika kluczowego w *i*-tym segmencie,  
 $v_{Bi}$  – objętość fazy rozpraszającej w *i*-tym segmencie,  
 $\sigma$  – odchylenie standardowe na początku procesu mieszania.

### WPROWADZENIE

Mieszanie jest operacją powszechnie stosowaną w życiu codziennym i produkcji przemysłowej. Proces ten występuje w niemal każdej technologii i jest spotykany w licznych branżach przemysłowych. Mieszalnik bębnowy jest nieodzownym urządzeniem stosowanym przy mieszaniu różnego rodzaju granulatów. Posiada wiele zalet, z których najważniejsze to: prosta budowa, niski koszt eksploatacji, łatwość obsługi i inne.

### CEL I ZAKRES PRACY

W pracy badano wpływ gęstości składnika kluczowego na proces mieszania. Eksperyment polegał na długotrwałym mieszaniu komponentów, aż do ustalenia stanu równowagowego oraz obserwacji podczas mieszania par materiałów ze skłonnością do segregacji.

Do badań wykorzystano niejednorodny pod względem gęstości ziarnisty układ dwuskładnikowy (tab.1). Należy przy tym pamiętać, iż procesowi mieszania komponentów niejednorodnych nieodłącznie towarzyszy zjawisko segregacji [3, 4, 5]. Fazę rozpraszającą stanowiły ziarna agalitu ( $\rho_r = 2400 \text{ kg/m}^3$ ). Wymiary wszystkich mieszanych materiałów mieściły się w przedziale  $d = (3,0 \div 3,5) \text{ mm}$ .

**Tabela 1.** Parametry mieszanych materiałów

Traser	$\rho_t \text{ [kg/m}^3\text{]}$	$\rho_r$
śrut ołowiany	11700	4,87
kulki stalowe	7800	3,25
kulki szklane	2400	1
tlenek glinu	1680	0,7
gorczyca	970	0,4

Do badań wybrano materiały odznaczające się dużą trwałością i odpornością na ścieranie. Zastosowanie materiałów miękkich, podatnych na ścieranie np. niektórych nasion roślin uprawnych, spowodowałoby powstanie dodatkowego błędu pomiarów wskutek ich nietrwałości np. rozbijania w trakcie operacji długotrwałego mieszania.

### METODYKA BADAŃ

Badania prowadzono w mieszalniku bębnowym o długości bębna  $L = 850 \text{ mm}$  i średnicy  $D = 80 \text{ mm}$  (rys. 1). Mieszalnik pracował ze stałą prędkością równą  $n = 1, 315 \text{ obr/s}$ , co równa się połowie obrotów krytycznych bębna.

Stopień zmieszania dla całego układu był wyznaczany na podstawie analizy koncentracji fazy rozpraszanej w poszczególnych segmentach bębna, których liczba wynosiła  $r = 30$ .

Analizy stanu mieszaniny dokonano dla następujących czasów po: 1, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 480, 640 oraz 800 minutach mieszania. Jednemu krokowi mieszania odpowiadało  $n = 5$  obrotów bębna.

Ponieważ w przeprowadzonych badaniach gęstości mieszanych składników różnią się, w celu wyznaczenia udziału objętościowego traseru w analizowanej porcji mieszaniny korzystano ze wzoru [2]:

$$x_i = \frac{v_{Ai}}{v_{Ai} + v_{Bi}} \quad (1)$$

Średni udział traseru uzyskiwano na podstawie równania:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

Stopień zmieszania obliczano, korzystając z definicji zaproponowanej przez Rosę'a [6]:

$$M = 1 - \frac{s}{\sigma} \quad (3)$$

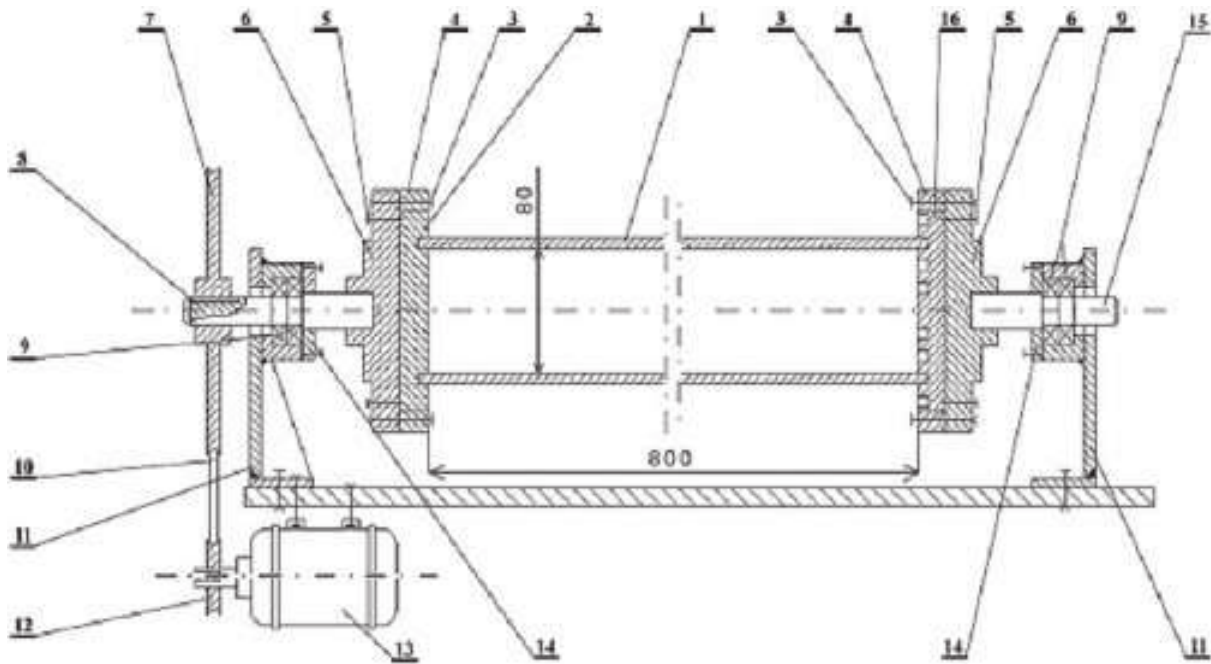
gdzie:

$$s = \sqrt{\frac{(x_i - p)^2}{w}} \quad (4)$$

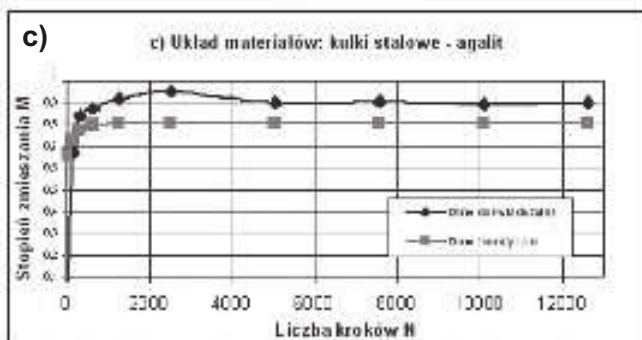
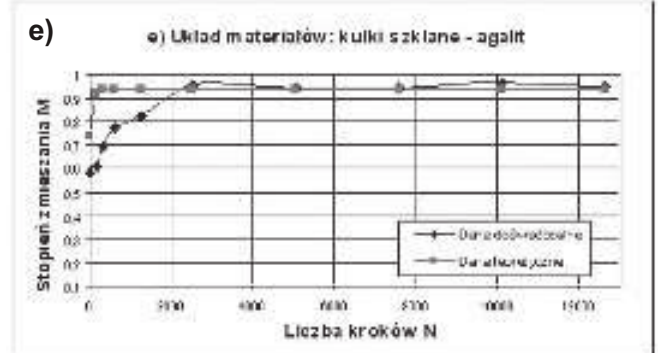
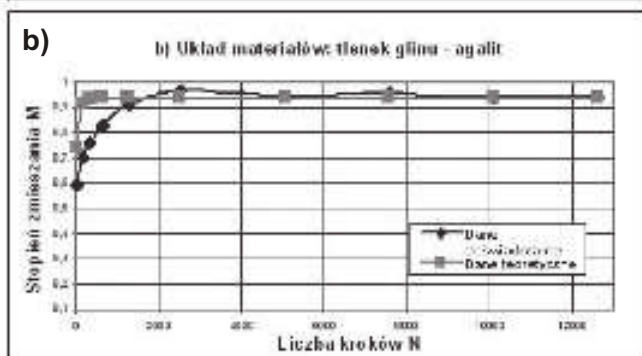
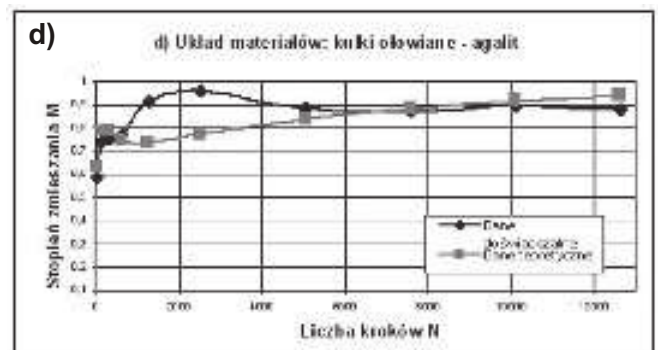
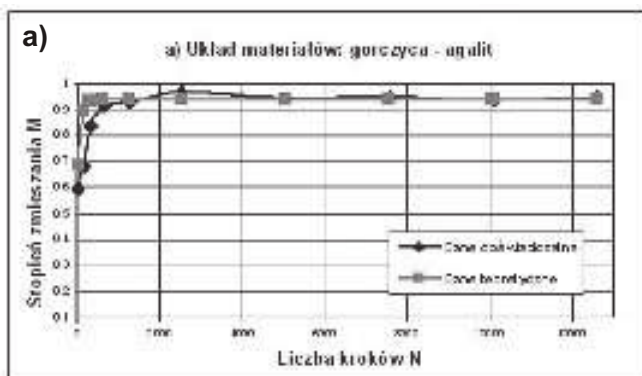
Natomiast

$$\sigma = \sqrt{p(1-p)} \quad (5)$$

Założono, że proces będzie opisany za pomocą łańcucha Markowa [1].



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – bęben, 2 – dno bębna, 3 – śruby dociskające pierścieni, 4 – pierścień centrujący dno, 5 – śruba zabezpieczająca przed przekręceniem się dna, 6 – piasta, 7 – duże koło pasowe, 8 – wałek napędowy, 9 – łożyska, 10 – pasek klinowy, 11 – podpora mechanizmu napędowego, 12 – małe koło pasowe, 13 – silnik, 14 – zabezpieczenie łożyska, 15 – wałek podtrzymujący, 16 – wymienne dno bębna.



Rys. 2. Teoretyczne i empiryczne stopnie zmieszania dla systemów niejednorodnych pod względem gęstości dla różnych układów (a, b, c, d, e)

W tym celu dla poszczególnych materiałów zbudowano macierz prawdopodobieństwa przejścia ziaren trasera ze stanu  $i$ -tego do stanu  $j$ -tego w jednym kroku i określano teoretyczne rozkłady koncentracji trasera w poszczególnych segmentach bębna.

Dane teoretyczne uzyskane na podstawie łańcucha Markowa porównano z danymi doświadczalnymi.

## WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych stwierdzono, że uzyskiwana na drodze mieszania badanych układów ziarnistych, wartość stopnia zmieszania  $M$  rośnie, aż do osiągnięcia wartości maksymalnej, po czym nieznacznie maleje. Zaobserwowano ustalanie się równowagowego stopnia zmieszania, co przedstawiono na rysunku 2 a-e. Na wykresach tych porównano zależności stopnia zmieszania  $M$  od liczby kroków mieszania  $N$ , otrzymane na drodze analizy macierzy przejścia z wartościami stopnia zmieszania  $M$  uzyskanymi w trakcie badań doświadczalnych.

## WNIOSKI

1. Stwierdzono dla badanych układów istnienie zależności stopnia zmieszania od stosunku gęstości mieszanych materiałów ziarnistych. Dla mieszanin o stosunku gęstości trasera do fazy rozpraszającej nie większym niż 1 (rys. 2 a, b, e), równowagowy stopień zmieszania uzyskany został po ok. 2500 krokach, a uzyskana jakość mieszaniny wg skali zaproponowanej w [2] była dobra.
2. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, dla badanych układów ziarnistych o stosunku gęstości mieszanych frakcji nie większym niż 1, występowanie zgodności danych teoretycznych uzyskanych na podstawie łańcucha Markowa z wynikami pomiarów już po ok. 2500 krokach.
3. Dla badanych układów ziarnistych o stosunku gęstości mieszanych frakcji większym niż 1 (rys. 2 c, d), stwierdzono niższy stopień zmieszania co powodowało, że uzyskana jakość mieszaniny wg skali zaproponowanej w [2] była tylko dość dobra.
4. Różnice wynikające z przebiegów linii teoretycznej i empirycznej (rys. 2 c, d) mogą być uwarunkowane losowością procesu charakteryzującą układy niejednorodne.
5. Uzyskane wyniki badań przybliżają optymalizację procesów mieszania w branży zbożowo-młynarskiej oraz paszowej.

## LITERATURA

- [1] Benjamin J. R. Cornell C. A.: Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów. WNT Warszawa 1997.
- [2] Boss J.: Mieszanie materiałów ziarnistych. Warszawa - Wrocław PWN. 1987.
- [3] Cantelaube F., Bideau D., Roux S.: Kinetics of Segregation of Granular Media in a Two-Dimensional Rotating Drum. Powder Technology. 1997, 93, 1 11.
- [4] Chicharro R., Peralta Fabi R., Velasco R.M.: Segregation in Dry Granular Systems. In Powders and Grains 97. R.P. Behringer and J.T. Jenkins. eds. p. 479. Balkema Rotterdam 1997.
- [5] Dury C. M., Ristow G. H.: Competition of Mixing and Segregation in Rotating Cylinders. submitted to Phys. Fluids. 1998.
- [6] Rose H. E.: 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. Engr. p.37. 1959.

## MIXING PARTICULATE MATERIALS WITH DIFFERENT DENSITY IN DRUM MIXER

### SUMMARY

*In this work the mixing process of the particulate materials with the different density has been investigated. The investigation have been performed in a long drum mixer. The results based on the stochastic model versus experiments results have been presented. It was shown that results based on the stochastic model can be used to describe mixture with different density of heterogeneous granular materials.*

**Key words:** *mixing, drum mixer, segregation, particulate materials, heterogeneous materials.*