

ENERGIA MIESZANIA WYBRANYCH MATERIAŁÓW ZIARNISTYCH W MIESZALNIKU Z MIESZADŁEM ŚLIMAKOWYM PIONOWYM

Marek Węgrzyn

Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej, Politechnika Opolska

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań procesu mieszania układów ziarnistych dwuskładnikowych w mieszalniku okresowym z pionowym mieszadłem ślimakowym. Badania przeprowadzono w mieszalniku przemysłowym o jednorazowym załadunku materiału ziarnistego wynoszącym 500 kg. Mieszalnik stanowił zbiornik cylindryczno-stożkowy pionowy, w osi którego znajdowało się mieszadło ślimakowe z dyfuzorem. Badano układy ziarniste dwuskładnikowe, określając czas niezbędny do osiągnięcia najlepszego rozproszenia składników. Proces mieszania prowadzono przez 25 minut, pobierając próbki w określonych odstępach czasowych. Każdorazowo pobierano 20 reprezentatywnych próbek, które posłużyły do określenia rozproszenia składnika kluczowego w mieszaninie podczas mieszania. Jakość mieszaniny określano za pomocą stopnia zmieszania zaproponowanego przez Rose'a. Przeprowadzono również pomiary mocy mieszania w trakcie procesu mieszania. W oparciu o wartość mocy i czasu mieszania określono energię mieszania, której wartości porównano z wartościami teoretycznymi uzyskanymi z modelu, opracowanego wcześniej przez autora. Porównanie wartości energii mieszania otrzymanych z modelu, z wartościami uzyskanymi na podstawie badań eksperymentalnych potwierdza poprawność przyjętego modelu.

Słowa kluczowe: energia mieszania, mieszalnik, stopień zmieszania, materiał ziarnisty

Wykaz oznaczeń

- B – stała rozkładu beta;
- e – energia odniesiona do 1 kg mieszaniny;
- M – stopień zmieszania;
- M_e – równowagowy stopień zmieszania;
- M_r – stopień zmieszania w stanie randomowym;
- n – liczba próbek, częstość obrotowa mieszadła;
- p – prawdopodobieństwo wystąpienia fazy rozpraszanej w mieszaninie;
- r – parametr rozkładu beta;
- S – estymator odchylenia standardowego;
- S_o – odchylenie standardowe przed zmieszaniem;
- t – parametr rozkładu beta;
- x_i – koncentracja fazy rozpraszanej w i -tej próbce;

- α – poziom istotności, kąt nachylenia łopatki;
 ρ – gęstość;
 ξ – proporcja wysokości łopatki do wysokości warstwy mieszanego materiału.

Wprowadzenie

Mieszanie materiałów ziarnistych jest operacją bardzo często stosowaną w przemyśle rolno-spożywczym, prowadzącą do wytworzenia układu ziarnistego o jak najwyższej jednorodności składu w całej objętości. Ze względu na powszechność tego procesu, jak również znaczne nakłady energii niezbędnej do doprowadzenia materiału ziarnistego do wymaganego stopnia zmieszania, prowadzone są badania jednostkowej energii mieszania, w zależności od konstrukcji mieszalnika i mieszadła oraz parametrów eksploatacyjnych Grochowicz [1998]. Celem tych badań jest znalezienie rozwiązań konstrukcyjnych oraz parametrów prowadzenia procesu, dla których można uzyskać mieszaninę ziarnistą przy możliwie najniższym wydatkowaniu energii.

Badania prowadzone przez autora [Węgrzyn 2004] w mieszalniku zbiornikowym z mieszadłem łopatkowym umieszczonym pionowo, posłużyły do sformułowania modelu jednostkowej energii mieszania, w funkcji parametrów konstrukcyjnych mieszadła i warunków eksploatacyjnych procesu mieszania

$$e = 0,0109 \rho^{1,6} (\cos \alpha)^{2,08} \xi^{0,86} n^{1,19}. \quad (1)$$

Równanie to pozwala na dobór parametrów konstrukcyjnych mieszadła oraz odpowiedniej częstości obrotowej mieszadła tak, aby jednostkowa energia mieszania była jak najniższa dla mieszanych materiałów ziarnistych.

W celu oceny jakości mieszaniny bardzo często jest stosowana zależność zaproponowana przez Rose'a [1959] (dla której Boss [1987] wprowadził skalę oceny jakości mieszaniny)

$$M = 1 - \frac{S}{S_o}, \quad (2)$$

gdzie:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - p)^2}{n}} \quad (3)$$

a

$$S_o = \sqrt{p(1-p)}. \quad (4)$$

Stopień zmieszania M (2) zmienia się w zakresie od 0 (dla pełnego rozdzielenia składników – stan przed rozpoczęciem procesu mieszania) do 1 (dla idealnego wymieszania składników).

Metodyka badań i materiały

Badania zostały przeprowadzone w mieszalniku cylindryczno-stożkowym z pionowym mieszadłem ślimakowym, wykorzystywanym w warunkach przemysłowych do wytwarzania pasz sypkich, opisywanym wcześniej przez innych badaczy [Królczyk, Tukiendorf 2006]. Zbiornik w którym odbywał się proces mieszania ma średnicę 1200 mm. W środkowej części zbiornika jest zamocowane pionowo mieszadło ślimakowe o średnicy 310 mm umieszczone w dyfuzorze. Mieszadło napędzane jest silnikiem o mocy znamionowej 2,2 kW, poprzez przekładnię pasową. Całkowita masa materiału zasypywanego do mieszalnika wynosi 500 kg. Badano układy ziarniste dwuskładnikowe niejednorodne, będące jednocześnie surowcem do produkcji pasz sypkich dla ptaków, głównie dla gołębi. Do badań użyto trzy układy ziarniste przedstawione w tabeli 1. Udziały masowe fazy rozpraszanej przyjęto zgodnie z udziałami tych składników w mieszkach wieloskładnikowych podawanych do skarmiania dla gołębi. Podczas procesu mieszania prowadzono pomiar i rejestrowano moc mieszania za pomocą komputera i przetwornika Lumel PP83. Pomiar mocy elektrycznej silnika przeprowadzono również podczas biegu jałowego. Różnica średniej wartości mocy dla mieszalnika wypełnionego materiałem ziarnistym i średniej wartości dla biegu jałowego mieszalnika, pozwoliła na określenie mocy użytecznej mieszadła ślimakowego.

Tabela. 1. Materiały ziarniste użyte podczas badań

Table 1. Granular materials used during investigations

Układ ziarnisty	Faza rozpraszająca	Faza rozpraszana	Udział masowy fazy rozpraszanej [%]
I	Sorgo	Groch	15
II	Sorgo	Kukurydza	25
III	Sorgo	Słonecznik	5

Źródło: opracowanie własne autora

Dla rozważanych materiałów ziarnistych gęstość właściwa wynosiła odpowiednio: sorgo $1230 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, groch $1410 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, kukurydza $1320 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ i słonecznik $635 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a średnia średnica ziaren: sorgo 4,05 mm, groch 6,48 mm, kukurydza 6,68 mm i słonecznik 5,37 mm.

Jako fazę rozpraszającą zastosowano ziarna sorgo ponieważ ich kształt, gęstość i wymiary są zbliżone do innych ziaren takich jak dari oraz wyka, stosowanych wraz z sorgo w produkcji paszy dla ptaków. Udziały masowe fazy rozpraszanej przyjęte w badaniach przedstawiono w tabeli 1. Fazą rozpraszaną w badaniach były ziarna, wymiarami zdecydowanie odbiegające od wymiarów ziaren fazy rozpraszającej. Przed przystąpieniem do mieszania w dolnej części zbiornika umieszczano materiał fazy rozpraszającej a na górę nasypywano materiał fazy rozpraszanej. Tak postępowano ze wszystkimi badanymi układami ziarnistymi.

Aby ocenić jakość mieszaniny po procesie mieszania pobierano z układu ziarnistego 20 próbek za pomocą próbobierza stosowanego przez autora podczas wcześniejszych badań [Węgrzyn 2004]. Próbki mieszaniny pobierano z różnych obszarów układu ziarnistego, tak aby przeprowadzony pomiar był reprezentatywny. Ze względu na różnicę wymiarów

ziaren składniki mieszaniny w poszczególnych próbkach rozdzielano na sitach, następnie składniki ważono i określano stopień zmieszania zgodnie z zależnością (2). Analizę składu mieszaniny prowadzono po 60, 120, 240, 480, 720, 960, 1200 i 1500 s. Początkowe mniejsze odstępy czasu po których następowało pobieranie próbek mieszaniny są wymagane przy określaniu niezbędnego czasu mieszania, który wyznaczano zgodnie z procedurą zaproponowaną przez Bossa [1992].

Stopień zmieszania M_τ po czasie τ znajduje się w przedziale

$$M - \Delta M \leq M_\tau \leq M + \Delta M, \quad (5)$$

z prawdopodobieństwem $1 - \alpha$.

Wykorzystuje się rozkład prawdopodobieństwa, którego funkcja gęstości jest zdefiniowana następująco

$$f(x) = \frac{1}{B} x^{r-1} (1-x)^{t-r-1}, \quad (6)$$

dla $0 < x < 1, t \geq 0, r \geq 0$.

Stała B równania (6) jest związana z parametrami rozkładu r i t :

$$B = \frac{\Gamma(r) \Gamma(t-r)}{\Gamma(t)}. \quad (7)$$

W związku z tym, że dowolny skład mieszaniny można opisać rozkładem beta, pomiędzy stopniem zmieszania M i parametrem t rozkładu beta jest następujący związek:

$$M = 1 - \frac{1}{\sqrt{t+1}}. \quad (8)$$

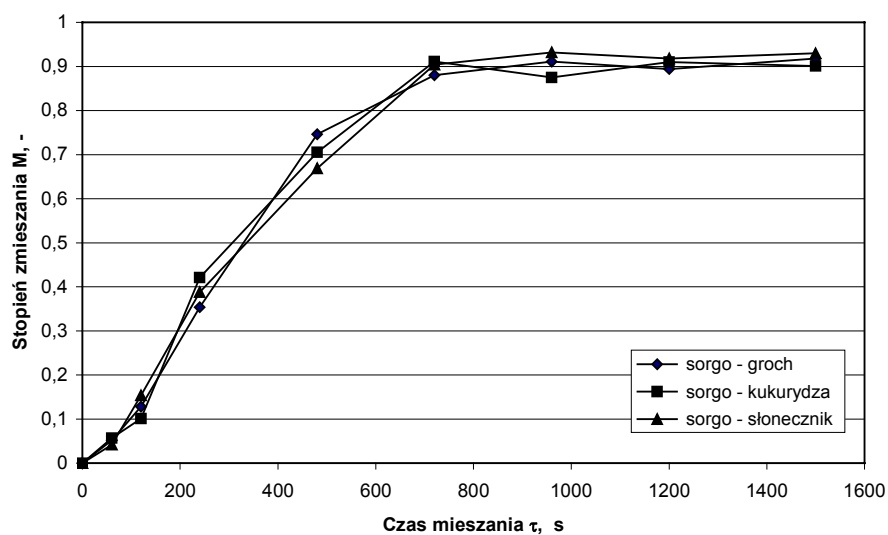
Wyznaczając czas mieszania przyjmuje się najbardziej niekorzystny, to jest skrajny wariant. W związku z tym, przyjmuje się jako rozwiązanie taki czas, dla którego

$$M_\tau \geq M - \Delta M. \quad (9)$$

Wyniki

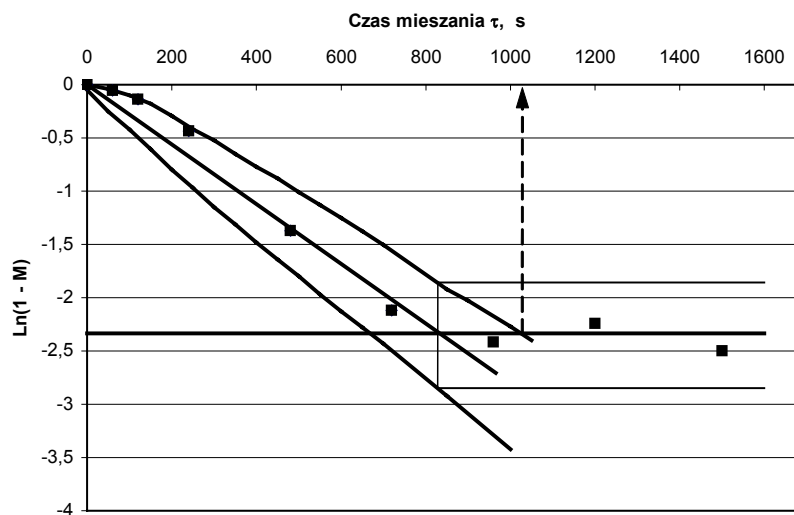
Przeprowadzone badania procesu mieszania użytych materiałów ziarnistych pozwoliły na sporządzenie wykresów stopnia zmieszania w funkcji czasu mieszania $M = f(\tau)$ (rys. 1).

Wykorzystując metodę opisaną w rozdziale Metodyka badań i materiały wyznaczono niezbędne czasy mieszania dla badanych układów ziarnistych. Graficzne wyznaczenie czasu mieszania dla układu sorgo-groch przedstawiono na rysunku 2.



Źródło: opracowanie własne autora

Rys. 1. Stopień zmięszania w funkcji czasu mieszania dla badanych układów ziarnistych
Fig. 1. Degree of mixing vs. mixing time for investigated grain systems



Źródło: opracowanie własne autora

Rys. 2. Graficzne wyznaczenie czasu mieszania dla układu sorgo – groch
Fig. 2. Graphical determination of the mixing time for sorghum – pea system

W tabeli 2 przedstawiono wyznaczone czasy mieszania dla badanych układów ziarnistych, niezbędne do osiągnięcia maksymalnego stopnia zmieszania.

Tabela 2. Optymalne czasy mieszania dla badanych układów ziarnistych
Table 2. Mixing times for investigated grain systems

Układ ziarnisty	sorgo-groch	sorgo-kukurydza	sorgo-słonecznik
Czas mieszania, s	1020	925	980

Źródło: opracowanie własne autora

Wyznaczone czasy mieszania wykorzystano do obliczenia jednostkowej energii mieszania określonej na podstawie przeprowadzanego pomiaru. Wyniki wartości otrzymanych z przeprowadzonych pomiarów oraz uzyskanych z wykorzystaniem modelu (równanie (1)) przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Wartości energii mieszania z pomiaru i z modelu
Table 3. Mixing energy value from the measurement and from the model

Układ ziarnisty	sorgo-groch	sorgo-kukurydza	sorgo-słonecznik
Jednostkowa energia mieszania wg (1), $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	2,744	2,760	2,564
Jednostkowa energia mieszania z pomiaru, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	2,349	2,069	2,242

Źródło: opracowanie własne autora

Porównanie wartości energii mieszania uzyskanej na podstawie pomiaru i z modelu (1) pozwala pozytywnie ocenić przydatność powyższego modelu do określania energii mieszania niezbędnej do doprowadzenia układu ziarnistego do wymaganego stopnia zmieszania. Różnica wartości z pomiaru i z modelu znajduje się w zakresie (12,6-25)%, co można uznać za zadowalającą dokładność ze względu na losowy charakter procesu mieszania i co się z tym wiąże, trudność w dokładnym oszacowaniu optymalnego czasu mieszania.

Wnioski

1. Wartości stopnia zmieszania uzyskane w mieszalniku ślimakowym dla badanych układów ziarnistych różniących się zdecydowanie wymiarami ziaren można uznać za zadowalające.
2. Optymalne czasy mieszania badanych układów ziarnistych uzyskane w oparciu o przeprowadzone badania mieszczą się w granicach 925-1020 s.
3. Wartości jednostkowej energii mieszania uzyskane z modelu (1) i uzyskane na podstawie przeprowadzonych pomiarów różnią się od 12,6% (układ sorgo-słonecznik) do 25% (układ sorgo-kukurydza).

Bibliografia

- Boss J.** 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN Warszawa 1987 s. 69.
- Boss J.** 1992. Mixing time of grain materials. 2. Experimental part. Chem. Eng. Sc. 47, s. 4027-4032.
- Grochowicz J.** 1998. Zaawansowane techniki wytwarzania przemysłowych mieszanek paszowych. Pagros Lublin s. 83-91.
- Królczyk J., Tukiendorf M.** Optymalizacja procesu sporządzania wieloskładnikowej paszy dla gołębi w pionowym mieszalniku z mieszadłem ślimakowym. Inżynieria Rolnicza. 12(87) s. 267-275.
- 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, s. 47-64.
- Węgrzyn M.** 2002. Wpływ wielkości pobieranej próbki materiału ziarnistego na dokładność oceny stanu mieszaniny, *Acta Agrophysica* 78, s. 277-285.
- Węgrzyn M.** 2004. Efektywność mieszania materiałów ziarnistych. Rozpr. Nauk. AR w Lublinie, z. 284, Lublin.
- Węgrzyn M.** 2006. Energochłonność procesu mieszania materiałów sypkich mieszadłem łopatkowym. Inżynieria Rolnicza 7 (82), s. 439-447.

THE GRANULAR MATERIAL MIXING ENERGY IN THE MIXER WITH VERTICAL WORM AGITATOR

Summary. In this paper the results of mixing two-component granular materials systems in the periodical mixer with vertical worm agitator are described. Investigations were carried out in the industrial mixer with one-time load of 500 kg of the grain material. The mixer consisted of vertical cylindrical-conical container in whose axis of the worm agitator and the diffuser were placed. The two-component granular material systems were investigated to determine the mixing time indispensable to achieve the best dispersion of the components. The process of mixing was conducted for 25 minutes while in determined periods 20 representative samples were taken out. The samples were used to determine dispersion of the tracer in the mixture while mixing. The quality of mixture was calculated with degree of mixing suggested by Rose. In the process of mixing the its power was measured. Basing on values of power and time of mixing the energy of mixing was calculated which value was compared with theoretical value taken from the model worked out earlier by the author. Comparison of mixing energy value received from the model with those obtained during the investigations confirms the correctness of the model.

Key words: mixing energy, mixer, degree of mixing, granular material

Adres do korespondencji:

Marek Węgrzyn; e-mail: m.wegrzyn@po.opole.pl
Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej
Politechnika Opolska
ul. S. Mikołajczyka 5
45-271 Opole