

MODELOWANIE PROCESU MIESZANIA WIELOSKŁADNIKOWYCH UKŁADÓW ZIARNISTYCH ZA POMOCĄ REGRESJI NIELINIOWEJ

Jolanta Królczyk, Marek Tukiendorf
Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej, Politechnika Opolska

Streszczenie: Przedmiotem badań były mieszaniny składające się z 9, 10 i 12 składników. Badania prowadzono w dwutonowym mieszalniku przemysłowym w mieszalni pasz. Na podstawie prób pobranych w trakcie 30 minut mieszania z recyrkulacją składników określono jakość mieszaniny w oparciu o parametr resztowej sumy kwadratów, a następnie wymodelowano kształt uzyskanych funkcji za pomocą regresji nieliniowej w oparciu o funkcję harmoniczną z tłumieniem. Wymodelowanie przebiegu funkcji w czasie za pomocą funkcji harmonicznnej z tłumieniem pozwoliło na przedstawienie systematycznej tendencji zmian jakości mieszaniny w czasie.

Słowa kluczowe: wieloskładnikowa mieszanina ziarnista, mieszalnik ślimakowy

Wprowadzenie

W przemyśle rolno-spożywczym wiele surowców, półproduktów czy produktów finalnych występuje w postaci mieszanin. Ocena jednorodności mieszanin gazowych oraz niektórych układów ciekłych nie stanowi problemu, jednak w odniesieniu do układów wielofazowych oraz układów ziarnistych znacznie trudniej uzyskuje się jednorodność i dobre efekty mieszania [Grochowicz 1998]. W przypadku układów wielofazowych, a więc takich w których liczba stałych składników wynosi co najmniej 3, mieszanie stwarza zupełnie nowe jakościowo problemy [Boss 1987].

Rozkład koncentracji każdej mieszaniny w dowolnym stanie zmieszania jest obrazem jej jakości. Wskaźnik ten jest bardzo niedoskonały, gdyż nie mówi on nic o stopniu jednorodności mieszaniny, o tendencjach zmian czy o innych informacjach [Grochowicz 1998]. Najpopularniejszą metodą oceny jakości jest miara rozproszenia, np. opisywana wariancją σ (wzór Rose'a). Pomocnicza w zastosowaniu tej metody jest komputerowa analiza obrazu. Wszystkie znane i opisywane metody mają swoje wady i zalety i nie zawsze są możliwości do zastosowania ich w praktyce przemysłowej bądź do badań w warunkach laboratoryjnych. W badaniach opisujących mieszanie wieloskładnikowych układów ziarnistych poszukuje się metod przybliżających mechanizmy procesu mieszania oraz jego opis w czasie.

Celem badań było wymodelowanie kształtu funkcji przedstawiającej zmiany jakości w czasie wieloskładnikowych mieszanin ziarnistych za pomocą funkcji harmonicznnej z tłumieniem.

Metodyka badań eksperymentalnych

Eksperyment badawczy prowadzono w mieszalni pasz i wykorzystano dwutonowy mieszalnik pionowy z mieszadłem ślimakowym o mocy mieszadła 5,5 kW. Wymiary oraz schemat mieszalnika zaprezentowano we wcześniejszej pracy autorów [Królczyk, Tukiendorf 2007].

Badano trzy różne pod względem składu wieloskładnikowe mieszaniny ziarniste. Skład badanych mieszanin, ich udziały procentowe oraz masowe na wejściu zostały przedstawione w tab. 1. Mieszaniny składały się z 9, 10 i 12 komponentów o średnim wymiarze cząstek w zakresie od 2,25 do 8,16 mm oraz gęstości nasypowej w zakresie od 430 do 800 kg·m⁻³. Mieszanie przebiegało z dodatkową zewnętrzną recyrkulacją składników przez przenośnik kbelkowy. Czas mieszania wynosił 30 minut. Próby do badań pobierano co 30 sekund, w miejscu wysypu z mieszalnika. Eksperyment dla każdej w badanych mieszanin powtórzono trzykrotnie. Udziały masowe komponentów przeliczono na udziały procentowe.

Tabela 1. Skład badanych mieszanin ziarnistych, ich udziały procentowe oraz masowe na wejściu
Table 1. Composition of examined granular mixtures, their percent and mass shares at input

Nazwa mieszanki	Ekonomik Z		Ekonomik RL		Ekonomik BP	
	Udział procentowy [%]	Udział masowy [kg]	Udział procentowy [%]	Udział masowy [kg]	Udział procentowy [%]	Udział masowy [kg]
Komponenty mieszanin ziarnistych						
Dari (sorgo białe)	1,25	25,00	0,91	20,00	2,86	60,00
Groch zielony			2,27	50,00	4,76	100,00
Groch żółty	5,00	100,00	6,14	135,00	10,48	220,00
Jęczmień	29,00	580,00				
Kardi (krokosz)					1,19	25,00
Kukurydza	16,00	320,00	36,35	800,00	40,49	850,00
Owies łuszczone (bezluskowy)					2,38	50,00
Peluszka	10,00	200,00	8,64	190,00	16,20	340,00
Proso żółte	2,25	45,00	6,82	150,00	7,62	160,00
Pszenvica	30,00	600,00	29,09	640,00		
Ryż biały					1,19	25,00
Słonecznik czarny	1,50	30,00	1,82	40,00	1,88	39,50
Sorgo	5,00	100,00	6,82	150,00	8,57	180,00
Wyka brązowa			1,14	25,00	2,38	50,00
Suma	100,00	2000,00	100,00	2200,00	100,00	2099,5

Metodyka analizy statystycznej

1. Opisanie jakości mieszanin za pomocą resztowej sumy kwadratów (RSK).

Powodem zastosowana nietypowej, jak na ocenę jakości mieszanych materiałów ziarnistych, metody do oceny jakości mieszanin, była specyficzna dla procesu zewnętrzną recyrkulacją składników poprzez przenośnik kbelkowy. Problem z zastosowaniem tradycyjnej metody polegał na tym, iż próby do badań pobierano podczas recyrkulacji w miejscu wy-

sypu z mieszalnika. Konstrukcja mieszalnika uniemożliwiła tradycyjny pobór prób z wnętrza mieszalnika.

W celu dokonania oceny jakości wymodelowano związki między dwiema zmiennymi: zmienną wynikową Y – docelowym rozkładem częstości składników, a zmienną objaśnianą X - rozkładem udziału poszczególnych składników w kolejnych odstępach czasowych. W następnym kroku dokonano analizy błędów otrzymanych w wyniku dopasowania modelu regresji do danych metodą najmniejszych kwadratów wykorzystując parametr resztowej sumy kwadratów RSK zdefiniowany następująco:

$$RSK = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

gdzie:

- RSK – resztowa suma kwadratów,
- e_i – błąd i -tej obserwacji,
- y_i – docelowy rozkład częstości składników,
- \hat{y}_i – wartość przewidywana z oszacowania otrzymanego z prostej regresji [Aczel 2005].

Wyniki oceny jakości zaprezentowano na dwóch przykładowych wykresach dla wybranej serii badawczej w postaci punktów na rys. 1 i 2 dla mieszaniny 9 składnikowej dla 2 serii badawczej oraz dla mieszaniny 10 składnikowej dla 1 serii badawczej eksperymentu.

2. Wymodelowanie kształtu funkcji za pomocą funkcji harmonicznej z tłumieniem

Opis mieszania i charakter zmian jakości za pomocą wartości RSK posłużył do wymodelowania przebiegu procesu w czasie stosując regresję nieliniową o funkcji zdefiniowanej za pomocą funkcji harmonicznej z tłumieniem opisaną wzorem:

$$j = Ae^{-at} \sin(\omega t + \varphi_0) + c \quad (2),$$

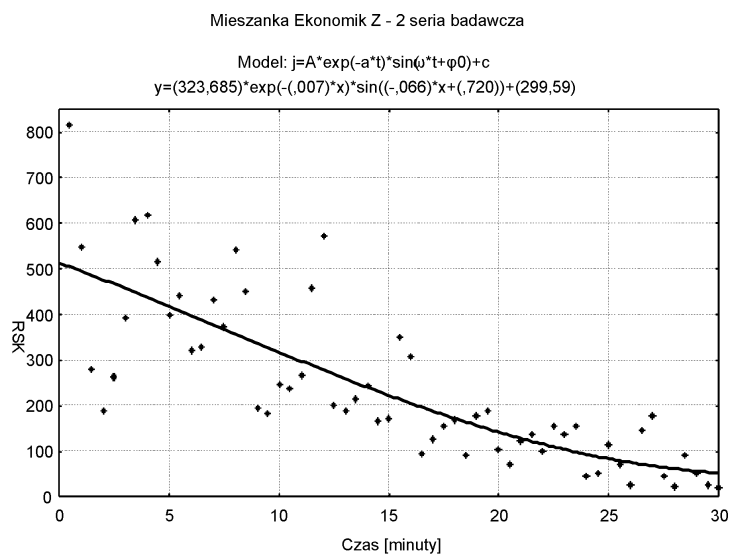
gdzie:

- j – jakość mieszaniny opisana parametrem RSK,
- t – czas mieszania,
- A, a, ω, φ_0 – parametry funkcji,
- c – parametr przesunięcia funkcji względem osi t .

Wyniki modelowania zaprezentowano na dwóch przykładowych wykresach dla wybranej serii badawczej na rys. 1÷2 dla mieszaniny 9 składnikowej dla 2 serii badawczej oraz dla mieszaniny 10 składnikowej dla 1 serii badawczej eksperymentu. W tabeli 1 zestawiono wartości uzyskanych w wyniki modelowania parametrów funkcji oraz dla każdego przebiegu podano wartości dopasowania modelu do wartości RSK – współczynniki determinacji R^2 .

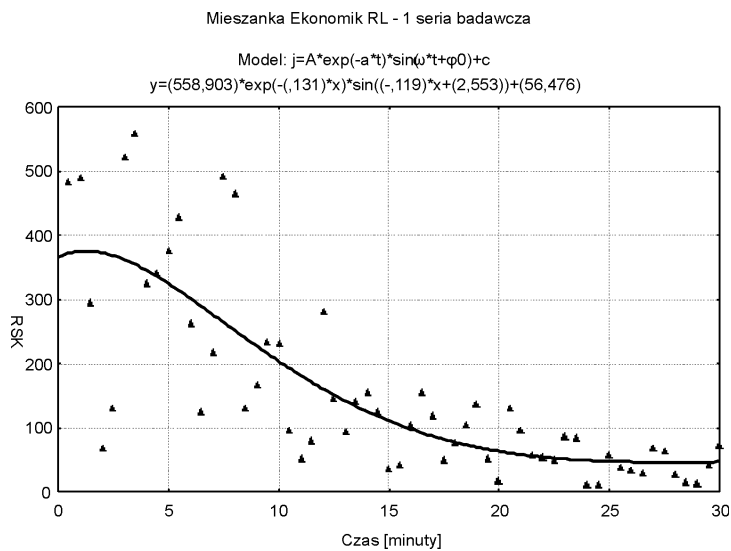
Wyniki badań i dyskusja wyników

Na rysunkach (rys. 1–2) zaprezentowano wyniki modelowania funkcją harmoniczną z tłumieniem dla 9 składnikowej dla 2 serii badawczej oraz dla mieszaniny 10 składnikowej dla 1 serii badawczej eksperymentu. Linia ciągłą zaznaczono wyniki otrzymane z modelowania, natomiast wartości jakości ocenianej parametrem RSK oznaczono punktami.



Rys. 1. Linia regresji uzyskana po modelowaniu wraz z wartościami RSK dla 9 składnikowej mieszaniny Ekonomik Z dla 2 serii badawczej

Fig. 1. Regression line obtained after modelling, with RSK values for 9-component Ekonomik Z mixture for test run 2



Rys. 2 Linia regresji uzyskana po modelowaniu wraz z wartościami RSK dla 10 składnikowej mieszaniny Ekonomik RL dla 1 serii badawczej

Fig. 2. Regression line obtained after modelling, with RSK values for 10-component Ekonomik RL mixture for test run 1

Powodem zastosowania funkcji harmonicznej z tłumieniem do modelowania przebiegu procesu mieszania wieloskładnikowych układów ziarnistych za pomocą regresji nieliniowej jest zastosowanie tej postaci funkcji we wcześniejszych badaniach autorów [Królczyk, Tukiendorf 2006], gdzie równanie wykorzystywano do matematycznego opisu zmian koncentracji poszczególnych składników mieszanin w czasie mieszania.

Modelowanie statystyczne wykonano w celu opisanego charakteru procesu mieszania układów wieloskładnikowych mającego miejsce w praktyce przemysłowej. Szczególnie podczas mieszania tak wielu komponentów, jak miało to miejsce w opisanym eksperymencie, proces jest trudny do opisanego, z uwagi na szereg parametrów, które należy wziąć pod uwagę, m.in.: charakterystyka mieszanych materiałów, typ urządzenia mieszającego oraz warunki prowadzenia procesu. Analizując ilustracje wyników przedstawionych na rys. 1–2 można powiedzieć, iż linia regresji przedstawiona na rysunku linią ciągłą, przedstawia systematyczną tendencję danych, odzwierciedlając charakter procesu mieszania niejednorodnych, wieloskładnikowych mieszanin ziarnistych w czasie. Linia regresji uzyskana w wyniku modelowania, przybliża ogólną postać zmian jakości układów wieloskładnikowych w czasie występującą podczas mieszania w przemysłowym mieszalniku pasz. Ma to istotne znaczenie w kontekście aplikacji metodyki eksperymentu i wniosków z badań do przemysłu, gdzie większość rzeczywistych mieszanin ziarnistych stanowią wieloskładnikowe układy niejednorodne. Szczególnie na tym polu procesy mieszania nie zostały dobrze poznane.

Dane dotyczące wartości parametrów funkcji oraz współczynnik determinacji R^2 dla każdej z badanych mieszanin dla trzech serii badawczych zawarto w tabeli 2. Dane te świadczą o dobrym oraz zadowalającym dopasowaniu linii regresji do wyników wartości RSK. Model ten zaproponowano, aby wykazać pewną systematyczną tendencję zmian jakości w czasie, dlatego też wartości parametrów dopasowania oraz model funkcji harmonicznej z tłumieniem można uznać za prawidłowe do opisu mieszania przedstawionego w eksperymencie badawczym.

Tabela 2 Zestawienie parametrów wymodelowanej funkcji wraz z parametrami dopasowania funkcji
Table 2. Comparison of parameters for modelled function with function adjustment parameters

	Parametry funkcji					Parametry dopasowania modelu	
	A	a	ω	φ_0	c	R^2	Wyjaśniona wariancja [%]
Ekonomik Z – 1 seria badawcza	248,804	0,002	-0,067	0,907	269,684	0,703	49,483
Ekonomik Z – 2 seria badawcza	323,685	0,007	-0,066	0,720	299,590	0,801	64,127
Ekonomik Z – 3 seria badawcza	78120,19	0,283	-0,004	3,142	39,433	0,791	49,483
Ekonomik RL – 1 seria badawcza	558,903	0,131	-0,119	2,553	56,476	0,788	62,027
Ekonomik RL – 2 seria badawcza	901,024	0,139	0,073	0,352	68,211	0,661	43,728
Ekonomik RL – 3 seria badawcza	707,154	0,040	$8 \cdot 10^{-6}$	1,140	-85,687	0,737	54,348
Ekonomik BP – 1 seria badawcza	186,295	0,160	$4 \cdot 10^{-5}$	1,976	116,770	0,691	47,706
Ekonomik BP – 2 seria badawcza	138,715	0,116	$-4 \cdot 10^{-4}$	1,290	90,171	0,610	37,224
Ekonomik BP – 3 seria badawcza	184,531	0,107	0,158	0,638	99,891	0,589	34,636

Wnioski

1. Linia regresji uzyskana dzięki modelowaniu statystycznemu w oparciu o funkcję harmoniczną z tłumieniem, przedstawia systematyczną tendencję danych odzwierciedlając charakter procesu mieszania niejednorodnych, wieloskładnikowych mieszanin ziarnistych w czasie.
2. Wartości dopasowania modelu uzyskano na dobrym i zadowalającym poziomie, dlatego też przedstawiony model funkcji harmoniczej z tłumieniem można stosować do opisu przebiegu mieszania wieloskładnikowych, niejednorodnych układów ziarnistych.

Bibliografia

- Aczel A. D.** 2005. Statystyka w zarządzaniu. PWN. Warszawa. ISBN 83-01-14548-X.
- Boss J.** 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN. Warszawa – Wrocław. ISBN 83-01-07058-7.
- Dziubiński L., Świątkowski T.** (red) 1978. Poradnik matematyczny. PWN, Warszawa.
- Grochowicz J.** (red) 1998. Zaawansowane techniki wytwarzania przemysłowych mieszanek paszowych. PAGROS. Lublin 1998. ISBN 83-910152-0-3.
- Królczyk J., Tukiendorf M.** 2006. Modelowania udziałów wieloskładnikowej paszy za pomocą funkcji harmoniczej. Inżynieria Rolnicza. Nr 3 (78). s. 191-201.
- Królczyk J., Tukiendorf M.** 2007. Ocena jakości wieloskładnikowej, niejednorodnej mieszaniny ziarnistej. Inżynieria Rolnicza. Nr 2 (90). s. 119-127.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Artykuł współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



MODELLING THE PROCESS OF MIXING MULTICOMPONENT GRANULAR PATTERNS WITH THE USE OF NON-LINEAR REGRESSION

Abstract. The research involved examination of mixtures consisting of 9, 10 and 12 components. The tests were carried out in a two-ton industrial stirrer in feed mixing plant. Samples taken during 30 minutes of mixing with ingredients recirculation provided grounds to determine mixture quality on the basis of residual sum of squares parameter. Then, the shapes of obtained functions were modelled using non-linear regression based on harmonic function with attenuation. Modelling of function progress in time using harmonic function with attenuation allowed to present a systematic tendency of mixture quality changes in time.

Key words: multi-component granular mixture, worm agitator

Adres do korespondencji:

Jolanta Królczyk; e-mail: j.krolczyk@po.opole.pl
Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej
Politechnika Opolska
ul. Mikołajczyka 5
45-271 Opole

