

## **ANALIZA ZMIAN JAKOŚCI WIELOSKŁADNIKOWEJ MIESZANINY ZIARNISTEJ W PRZEMYSŁOWYM MIESZALNIKU PASZ**

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

**Streszczenie.** W artykule dokonano analizy zmian jakości wieloskładnikowych, niejednorodnych mieszanin ziarnistych podczas mieszania w przemysłowym mieszalniku pasz. Badano trzy mieszaniny ziarniste o różnych komponentach i proporcjach składników. Przeprowadzono badania dla układów ziarnistych 9, 10 i 12 składnikowych. Jakość mieszanin w czasie została określona za pomocą parametru jednozmiennowej analizy regresji liniowej – resztowej sumy kwadratów. Wyniki analizy statystycznej przedstawiono graficznie. Dokonano porównania wartości maksymalnych, minimalnych, średnich oraz odchyłeń standardowych od średniej dla wszystkich badanych mieszanin dla wprowadzonej miary oceny jakości RSK.

**Słowa kluczowe:** wieloskładnikowa mieszanina ziarnista, mieszalnik ślimakowy, jakość mieszaniny ziarnistej

### **Wprowadzenie**

Układem wieloskładnikowym nazywany jest taki układ, w którym liczba stałych składników wynosi co najmniej 3. Jednoczesne mieszanie  $k$  składników ( $k > 2$ ) stwarza zupełnie nowe jakościowo problemy [Boss 1987]. Układ taki można rozpatrywać jako układ dwuskładnikowy oceniając stan mieszaniny z punktu widzenia składnika A, a pozostałe składniki traktować łącznie jako jeden składnik B [Boss 1987]. Większość rzeczywistych mieszanin ziarnistych spotykanych w praktyce przemysłowej, to układy niejednorodne. Opisanie stanu takiej mieszaniny i kinetyki procesu należą do podstawowych problemów mieszania [Boss 1987]. Opracowano szereg metod i wzorów określających wariancję lub odchylenie standardowe stanu randomowego dwuskładnikowych układów ziarnistych, złożonych z materiałów o różnych wymiarach ziaren i różnych gęstościach [Harnby 1967; Pole 1965]. Osiągnięcie takiego stanu mieszaniny jest jednak praktycznie niemożliwe, gdyż ziarna mniejsze lub ziarna o większej gęstości wypierają ziarna większe lub o mniejszej gęstości [Boss 1987]. Rose [1959] zauważył, że wpływ różnicy gęstości dwuskładnikowych układów na segregację jest mniejszy niż różnica wymiarów.

### **Cel badań**

Celem badań była analiza zmian jakości w czasie oraz porównanie jakości wieloskładnikowych mieszanin ziarnistych ocenianej za pomocą parametru resztowej sumy kwadra-

tów, a dokładnie porównanie wartości maksymalnych, minimalnych, średnich oraz odchyłeń standardowych od średniej wartości RSK dla wszystkich badanych mieszanin ziarnistych (9 składnikowej – Ekonomik Z, 10 składnikowej – Ekonomik RL oraz 12 składnikowej – Ekonomik BP).

## Metodyka badań

Do badań eksperymentalnych wykorzystano mieszalnik przemysłowy z komorą nieruchomą z pionowym mieszadłem o działaniu okresowym. Badano 3 rodzaje mieszanek paszowych różniących się proporcjami składników i składem (9, 10 oraz 12 składników) [tab.1].

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

Nazwa mieszaniki	Ekonomik Z		Ekonomik RL		Ekonomik BP	
	Udział procentowy [%]	Udział masowy [kg]	Udział procentowy [%]	Udział masowy [kg]	Udział procentowy [%]	Udział masowy [kg]
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 łuszczony (beżłuskowy)	-	-	-	-	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
Pszenica	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

Źródło: Ovigor®

Mieszanie zasypanego materiału ziarnistego następowało w wyniku ruchu mieszadła ślimakowego z prędkością kątową mieszadła wynoszącą  $\omega=7,12 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  oraz w wyniku zewnętrznej recyrkulacji składników poprzez przenośnik kulekowy. Zasypany do mieszalnika materiał ziarnisty wysypywał się w miejscu spustu z mieszalnika i kierowany był do kosza zasypowego, a następnie poprzez przenośnik kulekowy zasypywany był z powrotem do wnętrza mieszalnika. W czasie pełnego cyklu mieszania (30 minut) pobierano próby do badań. Z uwagi na specyficzną dla tego procesu technologicznego recyrkulację

składników, próby do badań pobierano w miejscu wysypu z mieszalnika w trakcie całego procesu o odstępach 30 sekundowych. Tak uzyskane próby do badań ręcznie rozdzielano na poszczególne komponenty i następnie ważono. Eksperyment powtórzono trzykrotnie. Dokładna specyfikacja techniczna urządzenia została przedstawiona we wcześniejszych publikacjach autorów [Królczyk, Tukiendorf 2005a; Królczyk, Tukiendorf 2005b].

Opisane dotąd w literaturze klasyczne sposoby oceny jakości nie znalazły zastosowania do opisu przebiegu procesu badanych mieszanin w czasie, gdyż próby do badań pobierano w inny sposób niż tradycyjnie (tradycyjnie - pobór prób z wnętrza mieszalnika na różnej wysokości złoża). Zastosowano metodę analizy statystycznej polegającą na określeniu jakości poszczególnych mieszanin za pomocą resztowej sumy kwadratów (RSK). Resztowa suma kwadratów jest zdefiniowana następująco:

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

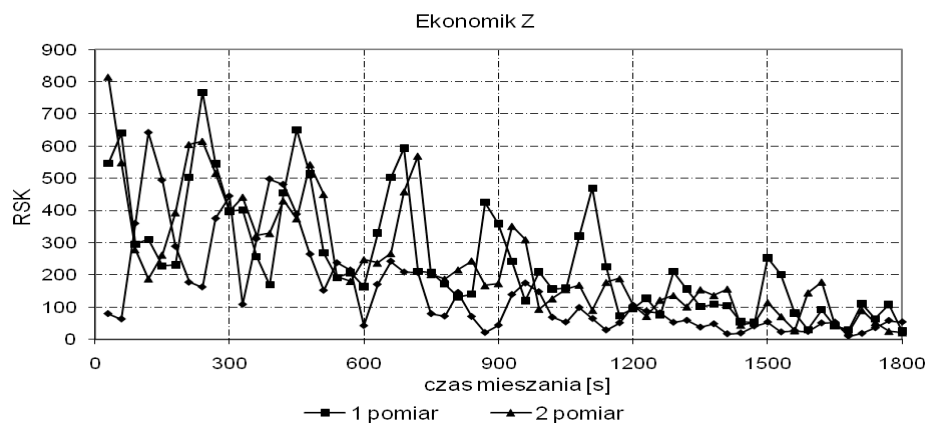
gdzie:

- 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].

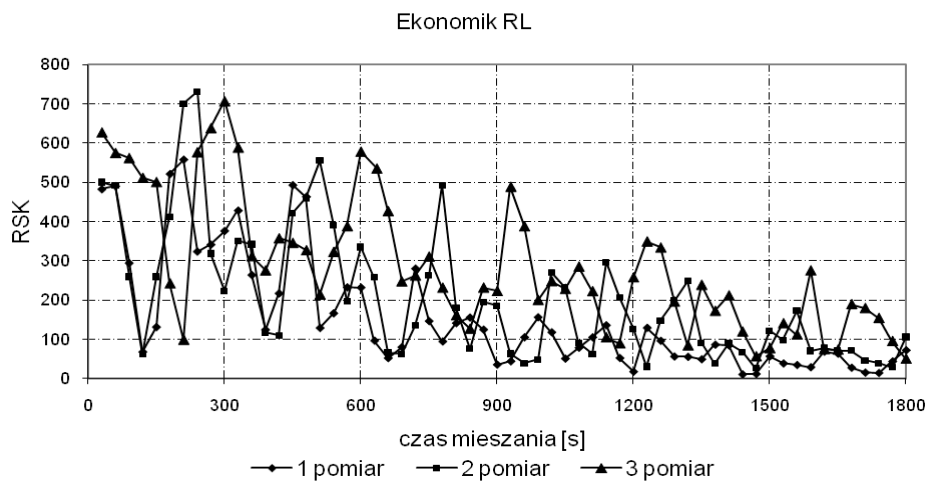
Metodyka określania parametru RSK została szerzej przedstawiona w innym artykule autorów [Królczyk i in. 2005]. Gdy RSK jest równa zero, wówczas udziały wszystkich komponentów w określonym punkcie czasowym są równe wartościom docelowym, a więc uzyskuje się najlepszą jakość mieszaniny. Teoretycznie jest możliwe uzyskanie wartości 0, a więc uzyskanie mieszaniny randomowej. W praktyce jednak, zwłaszcza kiedy mamy do czynienia z mieszaniem układów wieloskładnikowych, osiągnięcie RSK dążących do 0 jest to bardzo trudne. Analiza wykresów przedstawiających zmiany jakości w czasie została przedstawiona w dalszej części na rys. 1÷3 co jest potwierdzeniem. W kolejnym etapie analizy statystycznej dokonano porównania wartości maksymalnych i minimalnych RSK dla badanych mieszanin ziarnistych (tab. 1). Dodatkowo na rys. 4 przedstawiono wartości średniej arytmetycznej RSK wraz z odchyleniem standardowym od średniej dla badanych mieszanin.

## Wyniki badań i ich analiza

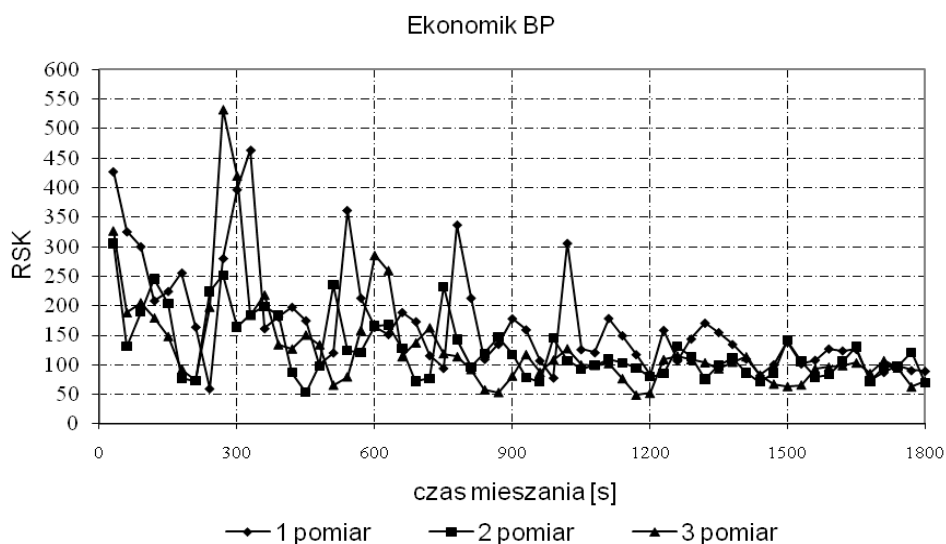
Resztowe sumy kwadratów stały się podstawą do opracowania wykresów przedstawiających zmianę jakości mieszanin w czasie. Na wykresach zaprezentowano przebiegi zmian RSK w czasie (rys. 1÷3). Niezwykle istotną zależność można zaobserwować analizując zakresy maksymalnych i minimalnych wartości resztowej sumy kwadratów dla poszczególnych mieszanin ziarnistych (rys. 4, tab. 2). Resztowa suma kwadratów dla mieszaniny 9 składnikowej Ekonomik Z osiąga najwyższe i najniższe wartości tego parametru spośród wszystkich RSK badanych mieszanin, bowiem zakres odchyłeń wynosi (815,11 - 9,41).



Rys. 1. Wykres zmian RSK w zależności od czasu mieszania uzyskany dla 9 składnikowej mieszaniny ziarnistej dla 3 serii badawczych  
 Fig. 1. Diagram showing RSK changes depending on mixing time, obtained for a 9-ingredient granular mixture for 3 test series



Rys. 2. Wykres zmian RSK w zależności od czasu mieszania uzyskany dla 10 składnikowej mieszaniny ziarnistej dla 3 serii badawczych  
 Fig. 2. Diagram showing RSK changes depending on mixing time, obtained for a 10-ingredient granular mixture for 3 test series

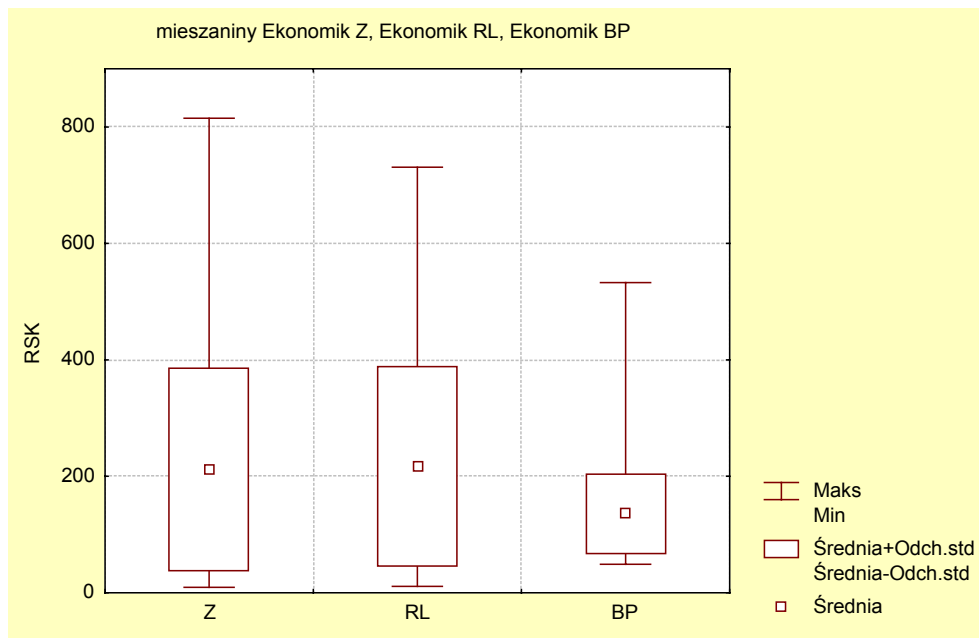


Rys. 3. Wykres zmian RSK w zależności od czasu mieszania uzyskany dla 12 składnikowej mieszaniny ziarnistej dla 3 serii badawczych

Fig. 3. Diagram showing RSK changes depending on mixing time, obtained for a 12-ingredient granular mixture for 3 test series

Tabela. 2 Maksymalne i minimalne wartości RSK dla poszczególnych mieszanin ziarnistych  
Table. 2. Maximum and minimum RSK values for individual granular mixtures

Nazwa mieszaniny	RSK <sub>max</sub>	RSK <sub>min</sub>
Ekonomik Z (1 próba)	766,7	25,2
Ekonomik Z (2 próba)	815,1	20,6
Ekonomik Z (3 próba)	641,7	9,4
RSK (815,1 - 9,4)		
Ekonomik RL (1 próba)	558,4	11,0
Ekonomik RL (2 próba)	731,1	26,3
Ekonomik RL (3 próba)	707,9	50,0
RSK (731,1 - 11,0)		
Ekonomik BP (1 próba)	359,9	79,9
Ekonomik BP (2 próba)	305,7	53,5
Ekonomik BP (3 próba)	532,7	48,8
RSK (532,7 - 48,8)		



Rys. 4. Porównanie średnich arytmetycznych, maksymalnych i minimalnych wartości RSK dla mieszanin Ekonomik Z, Ekonomik RL, Ekonomik BP

Fig. 4. Comparison of arithmetic means, maximum and minimum RSK values for the Ekonomik Z, Ekonomik RL, and Ekonomik BP mixtures

Zakres RSK dla mieszaniny 10 składnikowej Ekonomik RL wyniósł (731,11 - 10,98). Natomiast dla mieszaniny 12 składnikowej Ekonomik BP zakres ten wynosi (532,7 - 48,79). Wartości te dostarczają ciekawych obserwacji opisujących przebieg badanego procesu mieszania wieloskładnikowych, niejednorodnych mieszanin ziarnistych. Jakość mieszaniny uzyskana dla 12 składnikowej mieszaniny jest lepsza niż w przypadku mieszanin 9 i 10 składnikowych biorąc pod uwagę wartości średnie RSK. Warto zauważyć, że podobne wartości średniej arytmetycznej RSK oraz odchyłeń standardowych od średniej RSK uzyskano dla mieszaniny 9 i 10 składnikowych Ekonomik Z oraz Ekonomik RL. Przebieg zmian RSK w czasie dla mieszaniny 12 składnikowej jest najbardziej ustabilizowany, jak również wartości maksymalne RSK dla wszystkich trzech serii badawczych są znacznie mniejsze niż w przypadku pozostałych dwóch mieszanin 9 i 10 składnikowej. Zmiany jakości mieszanin 9 i 10 składnikowych mają bardziej burzliwy charakter, niż można to zaobserwować analizując zmiany jakości w czasie dla mieszaniny 12 składnikowej.

## Wnioski

1. Jakość mieszaniny 12 składnikowej (Ekonomik BP) jest lepsza od pozostałych dwóch mieszanin: 9 składnikowej (Ekonomik Z) oraz 10 składnikowej (Ekonomik RL), biorąc pod uwagę średnią arytmetyczną z uzyskanych wartości RSK w czasie 30 minut mieszania.
2. Największy rozrzut wartości RSK zaobserwowano dla mieszaniny o najmniejszej liczbie komponentów – mieszaniny Ekonomik Z. Zmiany jakości w czasie mają dla tej mieszaniny najbardziej burzliwy przebieg.
3. Zbliżone wartości rozrzutu RSK, średnie arytmetyczne RSK oraz odchylenia standardowe od średniej RSK uzyskano dla mieszanin Ekonomik Z (9 składnikowa) i Ekonomik RL (10 składnikowa). Świadczyć to może o podobnym charakterze przebiegu mieszania w czasie.

## Bibliografia

- Aczel A. D.** 2005. Statystyka w zarządzaniu. PWN. Warszawa. 83-01-14548-X.
- Boss J.** 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN, Warszawa–Wrocław. ISBN 83-01-07058-7.
- Harnby N.** 1967. A comparison of the variance of samples withdrawn from a random mixtures of multi-sized particles. Chem. Engineer., Dec. pp. 270-271.
- Królczyk J., Tukiendorf M.** 2005. Modelowania udziałów wieloskładnikowej paszy za pomocą funkcji harmoniczej. Inżynieria Rolnicza. Nr 3(78). Kraków. s. 191-201.
- Królczyk J., Tukiendorf M.** 2005. Zależność przebiegu mieszania układu wieloskładnikowego od udziału składników oceniana analizą skupień. Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria 4(2). Lublin. s. 21-30.
- Poole K. R.** 1965. The characterization of powders to indicate mixing properties. Proc. Brit. Ceram. Soc., 3, Oct. s. 43-48.
- 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.



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Artykuł współfinansowany przez Unię Europejską  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



## **ANALYSIS OF CHANGES IN THE QUALITY OF MULTICOMPONENT GRANULAR MIXTURE IN AN INDUSTRIAL FEED MIXER**

**Abstract.** The article presents an analysis of quality changes for multicomponent, heterogeneous granular mixtures during mixing in an industrial feed mixer. The research included examination of three granular mixtures with different components and ingredient proportions. 9-, 10- and 12-ingredient granular patterns were examined. Mixture quality in time was determined using the parameter of linear regression univariate analysis – remainder sum of squares. Statistical analysis results are shown graphically. The following values were compared: maximum, minimum, mean, and standard deviations from mean value for all examined mixtures for introduced quality assessment measure - RSK.

**Key words:** multicomponent granular mixture, worm mixer, granular mixture quality

**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