

## OKREŚLENIE CZASU MIESZANIA WIELOSKŁADNIKOWEGO UKŁADU ZIARNISTEGO PODCZAS MIESZANIA Z RECYRKULACJĄ SKŁADNIKÓW

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

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań mieszania dwunastoskładnikowego układu ziarnistego. Urządzeniem wykorzystanym w badaniach był przemysłowy mieszalnik z mieszadłem ślimakowym. Dodatkowym procesem prowadzonym podczas mieszania była recyrkulacja składników. Do opisu procesu wykorzystano model regresji liniowej. Parametr modelu – resztowa suma kwadratów, posłużył do porównania w poszczególnych punktach czasowych na ile udziały procentowe wszystkich komponentów mieszaniny odbiegają od wartości docelowych, czyli składu mieszaniny zakładanego przez producenta. Analiza wykresów zmian resztowej sumy kwadratów w funkcji czasu przeprowadzona dla serii trzech prób badanej mieszaniny potwierdziła zaobserwowaną wcześniej właściwość polegającą na tym, że można wyraźnie podzielić proces mieszania na dwa etapy: burzliwych zmian oraz drugi – zmian łagodnych.

**Słowa kluczowe:** materiały ziarniste, niejednorodna mieszanina ziarnista, wieloskładnikowa mieszanina ziarnista, pasza, suma kwadratów reszt

### Wprowadzenie

Z punktu widzenia procesu mieszania materiałów ziarnistych układ wieloskładnikowy to taki układ, w którym liczba stałych składników wynosi co najmniej trzy. Jednocześnie mieszanie  $k$  składników ( $k > 2$ ) stwarza inne jakościowo problemy, poczynające od elementarnych definicji [Boss 1987]. Wówczas stan mieszaniny możemy rozpatrywać tylko z punktu widzenia jednego składnika ( $A$ ), a wszystkie pozostałe składniki  $B_1, B_2, \dots, B_k$  są traktowane łącznie jako drugi składnik. Jeśli taki układ spełnia warunki:

- istnienia rozkładów normalnych średnic ziarnowych wszystkich składników,
  - rozkłady te pokrywają w przybliżeniu ten sam obszar i inne parametry fizyczne składników są takie same,
- to układ taki może być rozpatrywany jako układ dwuskładnikowy [Stange 1963].

Jeżeli składnik  $A$  różni się w sposób istotny od pozostałych składników, np. wymiarami ziaren czy gęstością, to układ wieloskładnikowy jest jednocześnie układem niejednorodnym. Mniejsze znaczenie mają różnice kształtu, wilgotności czy współczynników tarcia wewnętrznego. Większość rzeczywistych mieszanin ziarnistych, jakie spotykamy w praktyce przemysłowej, to układy niejednorodne. Opis stanu takiej mieszaniny (stanu randomowy, równowagowy), a także kinetyka należą do podstawowych problemów mieszania

[Boss 1987]. Na temat układów niejednorodnych wykonano wiele badań i prac o charakterze teoretycznym. Jednak w dalszym ciągu stan wiedzy z tego obszaru jest niewystarczający.

Mieszaniem materiałów ziarnistych rządzą skomplikowane zależności, łączące zagadnienia co najmniej kilku dziedzin nauki. Do opisu procesów mieszania, zastosowano dotychczas trzy znane modele: kinetyczny [Oyama i in. 1956], dyfuzyjny [Cahn i in. 1968], stochastyczny [Inoue i in. 1970] oraz modelowanie neuronowe [Tukiendorf 2002a; Tukiendorf 2002b]. Przegląd opisu procesów prowadzi do stwierdzenia, że nie można stosować uniwersalnych metod zawsze słusznych dla wszystkich procesów. Większość przypadków należy rozpatrywać indywidualnie. Relacje pomiędzy efektami mieszania a własnościami fizycznymi składników dadzą się opisać prostą zależnością. Specyfika procesu przebiegającego w danych warunkach często wyprzedza zaprojektowanie mieszalnika i linii technologicznej bez wstępnych badań w celu opracowania danych teoretycznych. Kluczowe znaczenie ma przeprowadzenie procesu szybko i niewielkim kosztem tak, aby zachować wymaganą jakość mieszaniny.

Celem badań było opisanie przebiegu procesu mieszania niejednorodnej, wieloskładnikowej mieszaniny ziarnistej zachodzącego w urządzeniu z mieszadłem ślimakowym z prowadzoną dodatkowo recyrkulacją składników. Na podstawie przedstawionej metody oceny stopnia wymieszania mieszaniny w trakcie trwania procesu zaproponowano wystarczający czas mieszania, aby osiągnąć zadowalającą jakość mieszaniny.

## Metodyka badań

Badania prowadzono w mieszalni pasz. Materiałem do badań była dwunastoskładnikowa mieszanina ziarnista o nazwie BP Ekonomiczna o składzie i udziale procentowym podanym w tabeli 1.

Tabela. 1. Wymagane udziały procentowe składników mieszanki.  
Table. 1. Required percent shares of the mixture components.

	Nazwa ziarna	Wymagany udział procentowy [%]
1	Kukurydza	40,49
2	Peluszka	16,20
3	Groch żółty	10,48
4	Groch zielony	4,76
5	Sorgo	8,57
6	Proso żółte	7,62
7	Sorgo białe (dari)	2,86
8	Owies bezłuskowy	2,38
9	Wyka brązowa	2,38
10	Słonecznik czarny	1,88
11	Ryz biały	1,19
12	Krokosz (kardi)	1,19

Źródło: *Ovigor*®

## Określenie czasu mieszania...

---

Badania prowadzono w mieszalniku pasz o działaniu okresowym z mieszadłem ślimakowym. Wymiary mieszalnika podano we wcześniejszych publikacjach autorów [Królczyk i in. 2005a; Królczyk i in. 2005b]. Proces prowadzony jest z recyrkulacją składników. Czas mieszania wynosił 30 minut. Masa zasypanej mieszaniny wynosiła 2099,5 kg.

Próby do badań pobierano w miejscu spustu z mieszalnika w odstępach 30 sekundowych. Następnie rozdzielono próby na poszczególne komponenty, a wydzielone składniki zważono na wadze elektronicznej. Eksperyment trzykrotnie powtórzono w celu weryfikacji powtarzalności procesu i eliminacji błędów.

Do analizy statystycznej wyników prezentowanych w postaci graficznej na przykładowym rys. 1 wykorzystano sumę kwadratów reszt (SSE). Wymodelowano związki pomiędzy zmiennymi: Y - wynikową – docelowym rozkładem częstości składników oraz X - zmienną niezależną – rozkłady udziałów poszczególnych składników w kolejnych odstępach czasowych. Dla każdej z poszczególnych prób obliczono SSE w kolejnych punktach czasu mieszania. Suma kwadratów reszt jest zdefiniowana następująco [Aczel 2005]:

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

gdzie:

SSE – suma kwadratów reszt,

$e_i$  – błąd  $i$ -tej obserwacji,

$y_i$  – wartość zmiennej wynikowej – docelowego rozkładu częstości składników

$\hat{y}_i$  – wartość przewidywana z oszacowania otrzymanego z prostej regresji.

Sumy kwadratów reszt w poszczególnym punkcie czasu mieszania posłużyły do przedstawienia wykresów obrazujących przebieg procesu w czasie (rys. 2). Gdy SSE jest równe zero, wówczas udziały wszystkich komponentów w określonym punkcie czasowym są równe wartościom docelowym, jakość mieszaniny jest więc najlepsza.

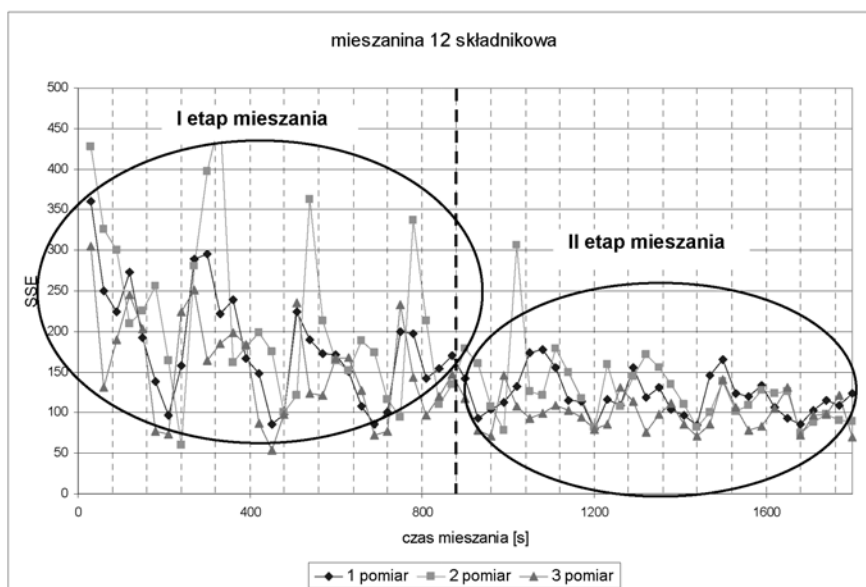
## Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań zaprezentowane są na przykładowym wykresie dla jednego składnika mieszaniny (rys. 1).



Rys. 1. Wykres zmian procentowego udziału wyki brązowej w mieszance BP Ekonomiczna w czasie 30 minut mieszania  
 Fig. 1. Diagram showing changes in brown vetch percent share in the BP Ekonomiczna mixture over 30 minutes of mixing

Na wykresie przedstawiono zmiany sumy kwadratów reszt dla trzech prób (rys. 2).



Rys. 2. Wykres zmian sumy kwadratów reszt w zależności od czasu mieszania uzyskany dla mieszaniny 12 składnikowej dla 3 serii badawczych  
 Fig. 2. Diagram showing changes in the sum of rest squares in relation to mixing time, obtained for a 12-component mixture for 3 test series

Analiza wykresów zmian resztowej sumy kwadratów w funkcji czasu przeprowadzona dla serii trzech prób badanej mieszaniny potwierdziła zaobserwowaną wcześniej właściwość polegającą na tym, że można wyraźnie podzielić proces mieszania na dwa etapy: burzliwych zmian oraz drugi – zmian łagodnych. Dwa etapy procesu zaznaczono na wykresie (rys. 2) w postaci obszarów: I i II etap mieszania. W badaniach zaprezentowanych w innej pracy [Królczyk i in. 2005b] do opisu przebiegu procesu w czasie wykorzystano analizę skupień. Potwierdzeniem wcześniej wyciągniętych wniosków o podziale czasu mieszania na dwa etapy jest obserwacja procesu analizowana za pomocą zmian sumy kwadratów reszt w czasie. Potwierdzono również inny wcześniej wysunięty wniosek o skróceniu czasu mieszania o połowę (na wykresie rys. 2 graficznie przedstawiono pionową linią przerywaną), ponieważ jak zaobserwowano (por. rys. 2) od 15 minuty mieszanie nie przynosiło wyraźnej zmiany (polepszenia) jakości mieszaniny ocenianej w tym przypadku na podstawie odchylenia wartości uzyskanych z pomiarów od wartości docelowych (składu mieszaniny zakładanego przez producenta).

## Wnioski

1. Analiza zmian wartości sumy kwadratów reszt pozwala na obserwację charakteru procesu mieszania niejednorodnych mieszanin ziarnistych.
2. Proces mieszania można podzielić na dwa etapy: pierwszy – zmian procentowych udziałów składników określanych jako burzliwe oraz drugi – zmian łagodnych. Pierwszy etap dotyczy początkowych minut mieszania do minuty 14, natomiast drugi etap okresu od 15 do 30 minuty.
3. Można skrócić czas mieszania o połowę, bowiem w drugim etapie procesu mieszanie nie przynosi wyraźnej poprawy jakości.



**ZPORR**  
Zintegrowany Program  
Operacyjny  
Rozwoju Regionalnego



Praca powstała przy współfinansowaniu ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej oraz ze środków budżetu państwa

## Bibliografia

- Aczel A.D.** Statystyka w zarządzaniu. PWN 2005. ISBN 83-01-14548-X
- Boss J.** 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN, Warszawa – Wrocław. ISBN 83-01-07058-7
- Cahn D.S., Fuerstenau D.W.** 1968/1969. A probabilistic model of the diffusional mixing of particulate solids. Powder Technology, 2. s. 215-222.
- Inoue I., Yamaguchi K.** 1970. Particle motion in a mixer in a two dimensional V-type mixer. Int. Chem. Eng. Vol. 10, No 3: s. 490-497.

- Królczyk J., Matuszek D, Tukiendorf M.** 2005a. Analiza stanów składu niejednorodnej mieszaniny ziarnistej w procesie przygotowania paszy dla gołębi w warunkach przemysłowych z wykorzystaniem metody taksonomicznej. *Inżynieria Rolnicza* 14(74). s. 193-201.
- Królczyk J., Tukiendorf M.** 2005b. Zależność przebiegu mieszania układu wieloskładnikowego od udziału składników oceniana analizą skupień. *Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria* 4(2) 2005. s. 21-30.
- Oyama Y., Ayaki K.** 1956: Mixing of particulate solids. *Kagaku Kogaku*, 20. s. 148-155.
- Stange K.** 1963. Die Mischgüte einer Zufallsmischung aus drei und mehr Komponenten, *ibid.* 35, No 8. s. 580-582.
- Tukiendorf M.** 2002a. Porównanie sposobów modelowania procesu mieszania jednorodnych układów ziarnistych przy użyciu modelu stochastycznego oraz metody wstecznej propagacji w technice sztucznych sieci neuronowych, *Inżynieria Rolnicza* 2(35). s. 316-320.
- Tukiendorf M.** 2002b. Przygotowanie danych w procesie uczenia sztucznej sieci neuronowej w modelowaniu mieszania układów ziarnistych. *Inżynieria Rolnicza* 9(42). s. 285-291.

## **DETERMINATION OF MIXING DURATION FOR MULTICOMPONENT GRANULAR SYSTEM DURING MIXING WITH RECIRCULATION OF COMPONENTS**

**Summary.** The paper presents results of mixing of a twelve-component granular system. An industrial mixer with worm-type agitator was used in the tests. Components recirculation was an additional process carried out while mixing. A linear regression model was used to characterise the process. The model parameter – the sum of rest squares, was used to compare in individual time points, how far percent shares of all mixture components differ from target values, that is from mixture composition assumed by the manufacturer. The analysis of diagrams showing changes of the sum of rest squares in function of time, completed for the series of three tested mixture samples proved previously observed characteristic - possibility to clearly divide the mixing process in two stages: the first one of turbulent changes, and the second one - of soft changes.

**Key words:** granular materials, inhomogeneous granular mixture, multicomponent granular mixture, feed, the sum of rest squares

**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