

## ELEMENTY DASZKOWE W MIESZALNIKU PRZESYPOWYM A JAKOŚĆ MIESZANEK ZIARNISTYCH

Dominika Matuszek, Marek Tukiendorf

*Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej, Politechnika Opolska*

**Streszczenie.** W pracy zaprezentowano wyniki badań wpływu elementów daszkowych na jakość dwuskładnikowej mieszaniny ziarnistej w procesie mieszania metodą przesypu. Podczas eksploatacji silosów najczęściej pojawiającymi się problemami są: nieodpowiednie wymieszanie składników o różnych właściwościach oraz zawieszanie się materiału w silosie co uniemożliwia jego opróżnienie bez interwencji czynnika zewnętrznego. W praktyce proponowane jest wspomaganie pracy silosów poprzez montowanie specjalnych wkładek: double cone, roof shaped insert czy cone in cone. Otrzymane wyniki porównano przy użyciu testu statystycznego Anova, udowadniając tym samym o statystycznie istotnych różnicach w przebiegu procesu mieszania dla analizowanych przypadków.

**Słowa kluczowe:** mieszanie, materiał ziarnisty, silosy, cone in cone, double cone, roof shaped insert

### Wstęp

Proces mieszania jest powszechnie spotykany w technologiach przemysłu chemicznego, farmaceutycznego, rolno-spożywczego, budowlanego, przetwórstwa surowców mineralnych oraz w energetyce. Ciągły rozwój techniki wymaga prowadzenia badań mających na celu określenie zachowań materiałów ziarnistych i sypkich w różnych warunkach prowadzenia procesu mieszania [Pershing 1999]. Stosunkowo łatwo można ujednoczyć mieszanki gazowe i niektóre układy ciekłe. Znacznie trudniej jest dobrze wymieszać układy wielofazowe oraz niejednorodne układy ziarniste [Boss 1987]. Właśnie w przypadku tych ostatnich optymalizacja procesu oraz ocena stanu jednorodności układu ma szczególne znaczenie [Grochowicz 1996]. Nieprawidłowo przeprowadzony proces mieszania wpływa na jakość uzyskiwanej mieszaniny, co z kolei może powodować wzrost kosztów procesu produkcyjnego lub co gorsze istnieje możliwość wycofania danego produktu z rynku na określony czas [Joseph i in. 2004]. Praca mieszalników jest charakteryzowana poprzez jakość uzyskiwanej mieszaniny, czas pracy oraz energochłonność procesu mieszania [Hoskova 2005].

Silosy wykorzystywane są do przechowywania oraz niekiedy do mieszania sypkich materiałów ziarnistych. Eksploatacja tych urządzeń napotyka niejednokrotnie na trudności związane ze specyfiką czynnika biologicznie materiału ziarnistego. W praktyce proponuje się instalowanie wewnątrz tych zbiorników dodatkowych elementów wpływających na mechanizm wysypu materiału oraz zmniejszenie zjawiska segregacji. Wkładki typu cone in

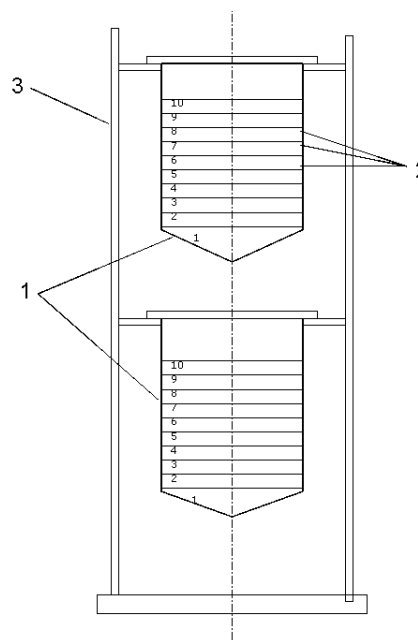
cone, double cone oraz roof shaped insert są powszechnie spotykanym rozwiązaniem stosowanym w silosach przystosowanych do wysypu masowego [Härtl i in. 2008, Mosty 1995]. W literaturze można znaleźć informacje o wykorzystaniu wkładki roof shaped insert w silosie przystosowanym do wysypu kominowego oraz wpływie tej wkładki na proces mieszania [Spencer, Hill 2001; Matuszek, Tukiendorf 2007].

## Cel badań

Celem badań jest analiza procesu mieszania metodą przesypu dwuskładnikowego niejednorodnego układu ziarnistego przy zmianie parametrów konstrukcyjnych mieszalnika oraz ocena wpływu wkładek daszkowych na jakość mieszanki ziarnistej przy użyciu analizy statystycznej Anova.

## Metodyka badań

Przedmiotem badań był laboratoryjny mieszalnik przesypowy składający się z dwóch identycznych zbiorników umieszczonych w konstrukcji pozwalającej na łatwą zamianę miejsc (rys. 1). Wymiary zbiorników to: wysokość części cylindrycznej 200 mm, średnica wewnętrzna zbiornika 150 mm, średnica wewnętrzna otworu wylotowego 30 mm. Proces prowadzony był na drodze kolejnych przesypów materiału. Liczba przesypów wynosiła od 1 do 10. Składnik kluczowy o 10-procentowym udziale umieszczano każdorazowo przed rozpoczęciem mieszania w środkowym (piątym) pierścieniu zbiornika zasilającego.



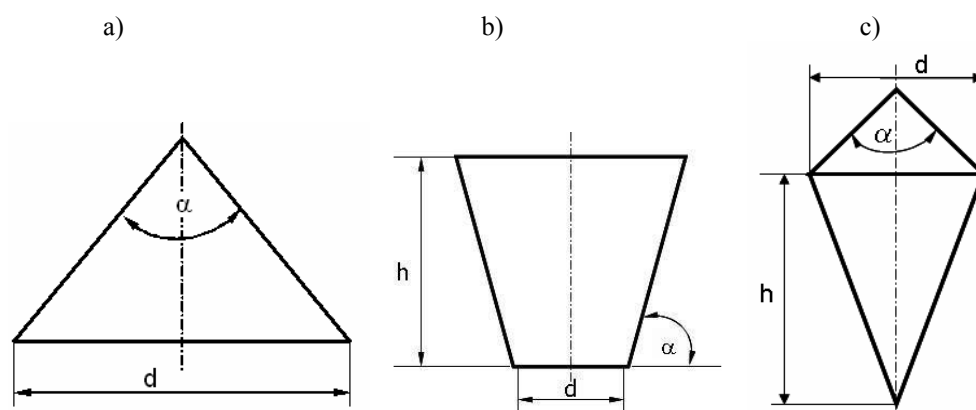
Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego, 1- silosy, 2- rozbiornalne pierścienie od 1 do 10, 3- stelaż

Fig. 1. Test stand diagram, 1- silos, 2- dismountable rings: from 1 to 10, 3- frame

Proces mieszania prowadzono dla dwuskładnikowego układu ziarnistego składającego się z nasion wyki (traser) i gorczycy. Składniki mieszanki różniły się wymiarami średnic, których stosunek wynosił  $d_1/d_2=1,55$ . Stosunek gęstości natomiast zbliżony był do wartości 1 ( $\rho_1/\rho_2=0,97$ ). Dwuskładnikowa mieszanina ziarnista stanowiła modelowy układ do analizy wpływu różnego rodzaju wkładek daszkowych na proces mieszania.

Wykonano następujące serie badań:

- z zastosowaniem dwóch wkładek roof shaped insert o jednakowym kącie rozwarcia stożka  $\alpha=120^\circ$  oraz wymiarach podstawy stożka  $d_1=50$  mm i  $d_2=70$  mm (rys. 2a). Wkładka tego typu umieszczana była w górnej części każdego ze zbiorników,
- z zastosowaniem wkładki cone in cone o wymiarach: wysokość wkładki  $h=50$  mm, średnica podstawy  $d=30$  mm, kąt pochylenia ścianek wkładki  $\alpha=50^\circ$  (rys. 2b). Wkładka tego typu umieszczana była w dolnej, stożkowej części każdego ze zbiorników,
- z zastosowaniem wkładki double cone o wymiarach: wysokość wkładki  $h=60$  mm, średnica podstawy stożka  $d=30$  mm, kąt rozwarcia stożka  $\alpha=120^\circ$  (rys. 2c). Wkładka tego typu umieszczana była w dolnej, stożkowej części każdego ze zbiorników,
- bez stosowania dodatkowych elementów wspomagających.



Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 2. Schemat elementów daszkowych, a) roof shaped insert, b) cone in cone, c) double cone  
 Fig. 2. Diagram showing roof type elements, a) roof shaped insert, b) cone in cone, c) double cone

Analiza jakości uzyskiwanej mieszanki ziarnistej prowadzona była w oparciu o komputerową akwizycję obrazu. Szczegółowy opis procedury wykorzystania tego narzędzia analitycznego przedstawiono we wcześniejszej pracy autorów [Matuszek, Tukiendorf 2007].

Autorzy zdecydowali się na prześledzenie zmian rozmieszczenia traseru w wybranych przekrojach poprzecznych mieszalnika a mianowicie w jego dolnej, środkowej i górnej części (pierścienie 1, 5 i 10). Parametrem opisującym jakość mieszanki ziarnistej była wariancja rozkładu traseru, której wartość 0 świadczyła o idealnym wymieszaniu, a jej wzrost o dążeniu układu do stanu segregacji.

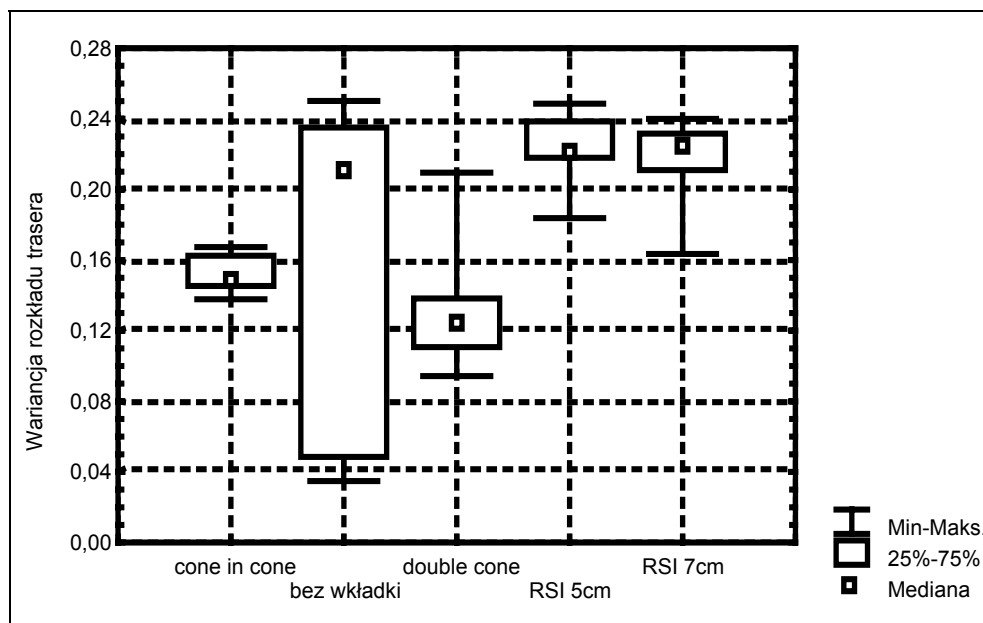
W kolejnym etapie analizy przeprowadzono porównanie uzyskanych wyników dla serii badawczych. W tym celu posłużono się testem statystycznym Fischera (Anova) wykrywającym różnice pomiędzy średnimi dla analizowanych przypadków, ustalając wartość współczynnika istotności  $\alpha=0,05$ . Analiza wariancji pozwoliła na uzyskanie wiarygodnych pod względem statystycznym wyników.

## Wyniki i dyskusja

Wyniki przeprowadzonego testu statystycznego dla wykonanych serii badań przedstawiono w sposób tabelaryczny (tabela 1) oraz graficzny (rys. 3, 4, 5).

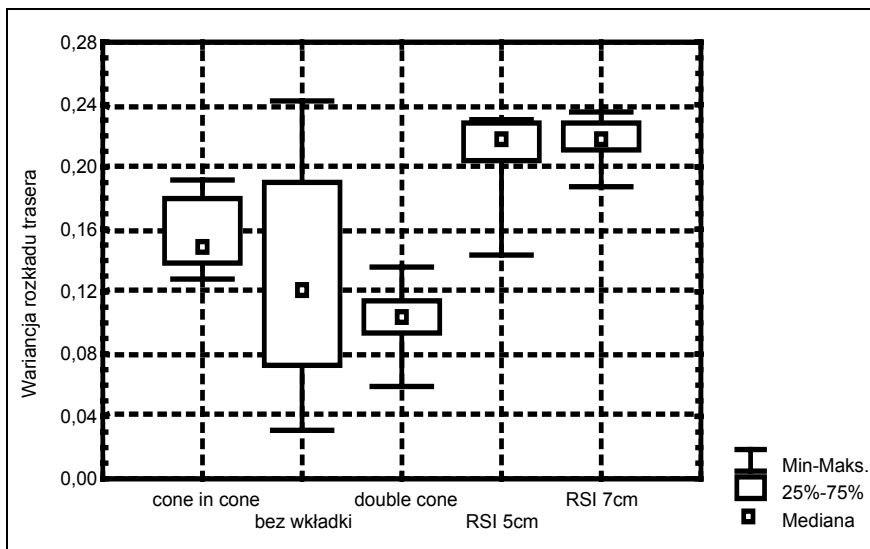
Tabela 1. Wyniki testu F dla analizowanych serii badań  
Table 1. F test results for the analysed test series

Przekrój poprzeczny mieszalnika	Wartość testu F	Poziom prawdopodobieństwa p
pierwszy	8,27991	0,00004
piąty	8,27991	1,38178E-08
dziesiąty	5,10575	0,00176



Źródło: opracowanie własne autorów

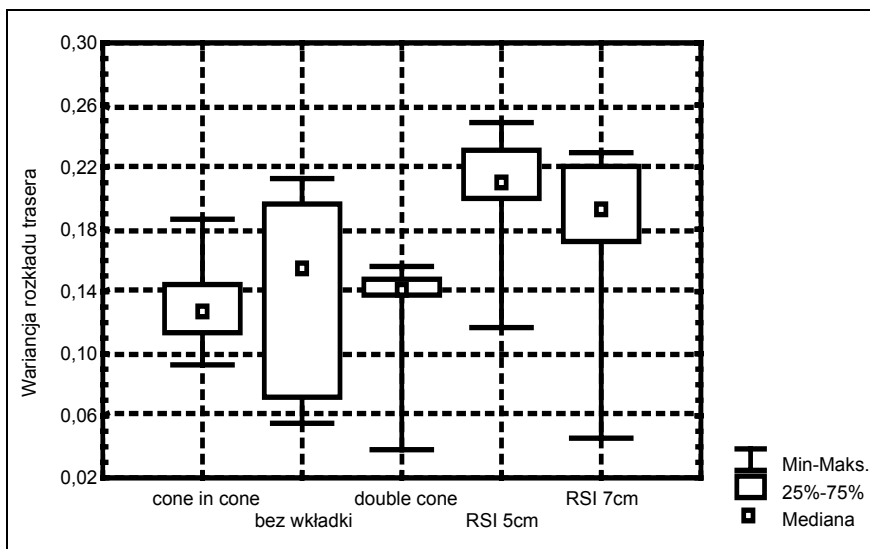
Rys. 3. Interpretacja graficzna analizy wariancji Anova dla dolnego poziomu mieszalnika (pierścień 1)  
Fig. 3. Graphical interpretation of the Anova variance analysis for mixer lower level (ring 1)



Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 4. Interpretacja graficzna analizy wariancji Anova dla środkowego poziomu mieszalnika (pierścień 5)

Fig. 4. Graphical interpretation of the Anova variance analysis for mixer middle level (ring 5)



Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 5. Interpretacja graficzna analizy wariancji Anova dla górnego poziomu mieszalnika (pierścień 10)

Fig. 5. Graphical interpretation of the Anova variance analysis for mixer upper level (ring 10)

Uzyskane wyniki pozwalają na postawienie stwierdzenia o istnieniu istotnych statystycznie różnic pomiędzy średnimi dla analizowanych przypadków. Poziom prawdopodobieństwa  $p$  analizy wariancji Anova dla każdego z przypadków (pierścienie 1, 5 i 10) jest znacznie mniejszy od wartości 0,05 (tabela 1). Świadczy to o różnicy w uzyskanych wynikach dla pięciu serii badań. Odmienność uzyskanych wyników jest widoczna na przedstawionych wykresach (rys. 3, 4, 5).

Zainstalowanie dodatkowych elementów wewnątrz silosu pozwala na złagodzenie przebiegu procesu mieszania w czasie oraz szybsze uzyskanie stanu równowagowego (po 6 przesypach). Znaczna stabilizacja odzwierciedla się w wartościach z przedziału 25-75% wyników (rys. 3, 4, 5).

Można jednak zauważyć, iż pomimo znacznej stabilizacji wariancji mieszanie z zastosowaniem wkładek RSI doprowadza do uzyskania najwyższych wartości czyli najgorszej jakości mieszanki (wartości średnie 0,23, 0,22, 0,20).

Najlepsze rezultaty uzyskano dla mieszania z wkładką cone in cone oraz double cone. Dla tych serii badań można zauważyć znaczną stabilizację procesu oraz uzyskanie najniższych wartości wariancji rozkładu trasera. Nie można jednak jednoznacznie wskazać, która z tych wkładek jest lepsza. Na tym etapie badań nie jest jednak możliwe określenie, która z tych wkładek jest lepsza. Zagadnienie to będzie z pewnością etapem dalszych badań autorów.

W przypadku pracy urządzenia bez stosowania elementów wspomagających można zauważyć znaczne zaburzenia procesu mieszania poprzez brak jego stabilizacji nawet w końcowych krokach mieszania. W tym przypadku uzyskano największy rozrzut wartości wariancji rozkładu trasera (na wykresach wartości min. i max. oraz wartości w przedziale 25-75% wyników). Wartości średnie dla tej serii badań to 0,21, 0,12, 0,16.

## Wnioski

1. Obliczone wartości statystyki  $F$  świadczą o istotnych statystycznie różnicach w przebiegu procesu mieszania dla poszczególnych serii badań,
2. Mieszanie układu ziarnistego wyka-gorczyca z zastosowaniem wkładek wspomagających charakteryzuje się szybszym osiągnięciem stanu równowagowego,
3. Zastosowanie wkładki double cone pozwoliło na uzyskanie mieszanki o najlepszej jakości.

## Bibliografia

- Boss J.** 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa. ISBN 83-01-07058-7.
- Grochowicz J.** 1996. Technologia produkcji mieszanek paszowych. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Warszawa. ISBN 83-09-01656-5.
- Joseph A. S., J., Hoyle W., Ding Y.** 2004. Granular materials: fundamentals and applications. Royal Society of Chemistry. ISBN: 0854045864.
- Hosokawa Micron Ltd.** 2005. Single step mixing boosts production. Food Trade Review. [dostęp on line 10.07.2009]. Dostęp w internecie: <http://www.highbeam.com/Food+Trade+Review/publications.aspx?date=200507>

- Härtl J., Ooi J. Y., Rotter J. M., Wojcik M., Ding S., Enstad G.G.** 2008. The influence of a cone-in-cone insert on flow pattern and wall pressure in a full-scale silo. *Chemical Engineering Research and Design*. Volume 86. Issue 4. April. s. 370-378.
- Matuszek D., Tukiendorf M.** 2007. Komputerowa analiza obrazu w ocenie mieszania układów ziarnistych (system funnel-flow). *Inżynieria Rolnicza*. Numer 2(90). s. 183-188.
- Mosty J.** 1995. Segregation. *POSTEC Newsletter*. No. 14. March. s. 14-16.
- Pershin V., E., Sviridov M.** 1999. Designs of granular-material mixers ensuring a stable level of mixing quality. *Chemical and Petroleum Engineering*. Vol. 3.5. Nos. 7-8. s. 433-436.
- Spencer A.J.M., Hill J.M.** 2001. Non-dilatant double-shearing theory applied to granular funnel-flow in hoppers. *Journal of Engineering Mathematics*. Number 41. s. 55-73.

## **ROOF TYPE ELEMENTS IN POUR MIXER AND QUALITY OF GRANULAR MIXERS**

**Abstract.** The paper presents results of the research on the impact of roof type elements on the quality of binary granular mixture in the process of mixing using the pouring method. Problems occurring most frequently during operation of silos include: improper intermixing of ingredients characterised by various properties, and material being suspended in the silo, which makes it impossible to empty the silo without intervention of an external factor. In practice, it is proposed to support operation of silos by mounting special inserts: double cone, roof shaped insert, or cone in cone. Obtained results have been compared using the Anova statistical test, thus proving statistically significant differences in mixing process progress for the analysed cases.

**Key words:** mixing, granular material, silos, cone in cone, double cone, roof shaped insert

**Adres do korespondencji:**

Dominika Matuszek e-mail: [d.matuszek@po.opole.pl](mailto:d.matuszek@po.opole.pl)  
Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej  
Politechnika Opolska  
ul. Mikołajczyka 5  
45-271 Opole