

REGRESYJNA ANALIZA ZMIAN JAKOŚCI MIESZANKI ZIARNISTEJ W CZASIE MIESZANIA METODĄ PRZESYPY

Dominika Matuszek, Marek Tukiendorf

Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej, Politechnika Opolska

Streszczenie: W pracy zaprezentowano efekty stosowania dodatkowych elementów wspomagających mieszanie komponentów ziarnistych na drodze kolejnych przesypów ze zbiornika do zbiornika oraz pokazano przykład modelowania zmian jakości w czasie. Zmienną zależną była wariancja rozkładu trasaera, natomiast zmienną niezależną kolejne kroki mieszania: przesypy od 1 do 10. Zależność jednowymiarową stanowił wzór funkcji wielomianowej 3 stopnia. Modelowanie przeprowadzono przy użyciu modułu komputerowego „regresja nieliniowa” (pakiet *STATISTICA*). Uzyskany wzór zależności jednowymiarowej dobrze opisywał tylko niektóre z badanych przypadków. Pozwolił natomiast na zrozumienie zależności między zmiennymi.

Słowa kluczowe: mieszanie materiałów ziarnistych, system Roof Shaped Insert, regresja nieliniowa

Wstęp

Złożoność zjawiska mieszania materiałów ziarnistych sprzyja powstawaniu dużej liczby różnorodnych mieszalników. Autorzy pracy wykorzystali w swoich badaniach mieszalnik do systemu funnel-flow. Specyfikę zjawiska wysypu kominowego i możliwość jego wykorzystania do mieszania materiałów ziarnistych przedstawiono w szerokim zakresie w wielu pozycjach literaturowych [Stręk 1981; Boss 1987; Schlick i in. 1996; Barnum i in. 2004] oraz we wcześniejszych publikacjach autorów [Tukiendorf 2003a,b; Matuszek, Tukiendorf 2006a]. Przydatność wysypu kominowego jest determinowana jednorodnością mieszanki ziarnistej poddanej mieszaniu. Podczas mieszania układów niejednorodnych zalecane jest stosowanie dodatkowych elementów o postaci stożka (system Roof Shaped Insert).

Analiza jakości mieszaniny ziarnistej jest niejednokrotnie uciążliwa, co wiąże się z koniecznością rozdzielenia mieszanki na poszczególne komponenty. Z drugiej zaś strony jest to zagadnienie niezmiernie ważne, gdyż niejednokrotnie warunkuje jakość produktu finalnego. Autorzy pracy usprawnili ten etap badań poprzez wykorzystanie metody komputerowej analizy obrazu. Przydatność i dokładność tej metody w ocenie stanu mieszanin ziarnistych została udowodniona w licznych publikacjach [Boss i in. 2003; Tukiendorf 2003c; Matuszek, Tukiendorf 2007].

Cel badań

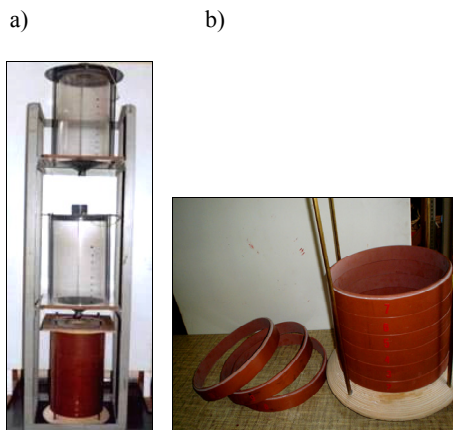
Celem pracy była analiza zmian jakości dwuskładnikowej mieszaniny ziarnistej w czasie mieszania metodą przesypu z zastosowaniem wkładek RSI o różnych wymiarach. Zamierzaniem autorów było opisanie zmian wariancji rozkładu traseru w kolejnych krokach mieszania składników ziarnistych przy użyciu regresji nieliniowej.

Metodyka badań pomiarowych

Autorzy do badań wykorzystali stanowisko do mieszania materiałów ziarnistych systemem funnel-flow. Parametry konstrukcyjne stanowiska przedstawiono w poprzednich publikacjach [Tukiendorf 2003c; Matuszek, Tukiendorf 2006]. Mieszanemu poddano dwuskładnikowe niejednorodne układy ziarniste o stałym stosunku średnic ($d_1/d_2=1,60$) lecz różnych gęstościach ($\rho_1/\rho_2=0,70$, $\rho_1/\rho_2=1,00$, $\rho_1/\rho_2=2,10$). Utworzono dwie grupy układów ziarnistych A i B. W grupie A (trzy układy ziarniste) traser posiadał średnicę mniejszą od składnika rozpraszającego, natomiast w grupie B (trzy układy ziarniste) odwrotnie. Cząstki posiadały kształt kulisty. Udział procentowy składników ziarnistych wynosił 1:9.

Udowodniona w wielu pracach [Schlick i in. 1996; Tukiendorf 2002; Matuszek, Tukiendorf 2006b] zasadność użycia elementów systemu RSI w mieszaniu komponentów ziarnistych metodą przesypu została zaimplementowana przez autorów. W górnej części silosów instalowano wymiennie wkładki daszkowe o różnych średnicach ($d_1=120$ mm, $d_2=150$ mm, $d_3=180$ mm) lecz jednakowym kącie rozwarcia $\alpha=110^\circ$.

Równomierność rozmieszczenia składników ziarnistych określano na podstawie analizy wybranych przekrojów poprzecznych złoża; pierścienie: pierwszy, piąty i dziesiąty. Wykonywano zdjęcia powierzchni poszczególnych przekrojów poprzecznych (pierścieni) mieszalnika, co możliwe było dzięki jego rozbieralnej konstrukcji (rys. 1 a,b).



Rys. 1. Mieszalnik laboratoryjny do systemu funnel-flow, a) widok stanowiska badawczego, b) widok zbiornika o rozbieralnej konstrukcji (10 pierścieni)

Fig. 1. Laboratory mixer for tunnel-flow system a) test stand view b) view of a dismantlable container (10 circular elements)

Na tym etapie metodyki badań wykorzystano komputerową analizę obrazu. Autorzy pracy stosowali algorytm tej metody już we wcześniejszych badaniach, co przedstawili w publikacjach [Boss i in. 2003; Matuszek, Tukiendorf 2007]. Wielkością stanowiącą parametr jakości mieszaniny ziarnistej była wariancja rozkładu traseera. Nierównomierność rozmieszczenia elementów mieszaniny w przekrojach poprzecznych złożyła powodowała wzrost wariancji od wartości 0 (stan idealny) do wartości odpowiadających stanom ustalonym.

Wynikiem przedstawionej metodyki były informacje o zmianie rozkładu traseera dla wybranych przekrojów poprzecznych mieszalnika w czasie. Czas rozumiany jest jako kolejne kroki mieszania (od 1 do 10).

Wyniki badań pomiarowych

Interpretacja wyników mieszania niejednorodnych dwuskładnikowych układów ziarnistych metodą przesypu w kolejnych krokach mieszania, z zastosowaniem oraz bez stosowania elementów wspomagających, w postaci wariancji rozkładu składnika kluczowego potwierdza wcześniejsze spostrzeżenia autorów dotyczące wpływu wkładek RSI na poprawę jakości mieszaniny ziarnistej oraz znacznej stabilizacji procesu pod koniec mieszania [Tukiendorf 2002; Matuszek, Tukiendorf 2006b].

Wpływ stosowania dodatkowych elementów wspomagających mieszanie został udowodniony. Brak jest natomiast opracowań poruszających zagadnienie modelowania tego procesu. Autorzy pracy dokonali próby opisanie przebiegu zmian jakości mieszanki ziarnistej w zależności od liczby przesypów. Zaproponowali podejście operujące statystycznym modelem regresji nieliniowej.

Metodyka modelowania statystycznego

W celu zobrazowania postaci zależności między zmiennymi – wariancją rozkładu traseera w czasie kolejnych dziesięciu przesypów przeprowadzono modelowanie statystyczne w oparciu o analizę regresji nieliniowej. Postać modelu dobrano na podstawie przeanalizowania postaci funkcji matematycznych i ich zgodności do rozrzutu danych empirycznych. Wytypowano wzór funkcji wielomianowej 3 stopnia, który dla badanego przypadku przedstawiał się następująco:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (1)$$

gdzie:

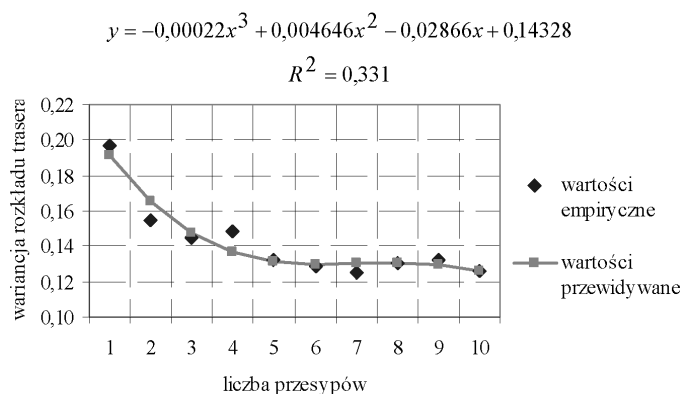
- y – wariancja rozkładu traseera,
- x – liczba kolejnych przesypów,
- d – wyraz wolny wielomianu,
- a, b, c – współczynniki regresji wielomianu.

Szacowanie parametrów założonego modelu wykonano przy użyciu algorytmu aplikacji komputerowej – „regresja nieliniowa”. Model regresji estymowano przy pomocy funkcji straty – suma kwadratów, definiując metodę najmniejszych kwadratów. Metoda najmniejszych kwadratów jest określana jako suma kwadratów odchyłeń wartości przewidywanych do obserwowanych i daje najlepsze liniowe nieobciążone estymatory parametrów regresji [Aczel 2005].

W celu sprawdzenia poprawności modelu regresji o oszacowanych estymatorach dokonano przeanalizowania wielkości reszt. Dodatkową miarą dopasowania linii regresji do danych empirycznych był współczynnik determinacji R^2 .

Wyniki modelowania statystycznego

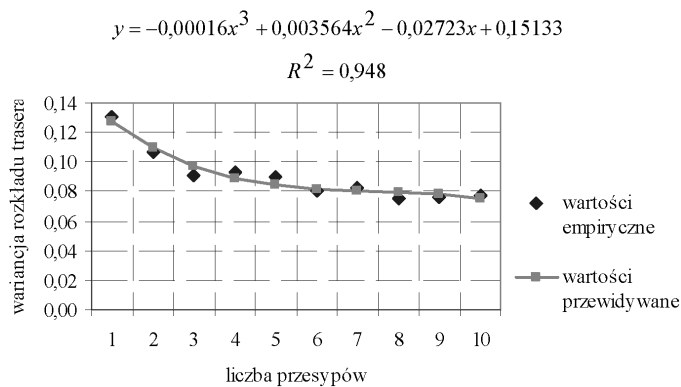
Wyniki kształtowania zależności $y=f(x)$ przy użyciu wielomianu 3 stopnia danych empirycznych zobrazowano na wybranych wykresach (rys. 2-9)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Rozkład zależności $y=f(x)$ dla mieszania bez wkładki wybranego układu ziarnistego z grupy A. Wartości empiryczne i przewidywane

Fig. 2. The $y=f(x)$ dependence distribution for mixing without insert of a selected granular pattern from group A. Empiric and predicted values

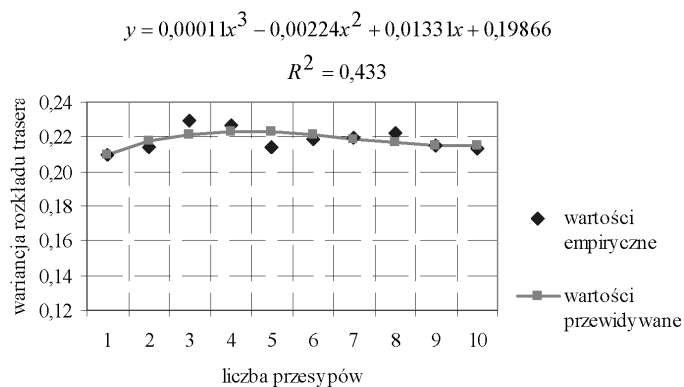


Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Rozkład zależności $y=f(x)$ dla mieszania z wkładką 120 mm wybranego układu ziarnistego z grupy A. Wartości empiryczne i przewidywane

Fig. 3. The $y=f(x)$ dependence distribution for mixing with a 120 mm insert of a selected granular pattern from group A. Empiric and predicted values

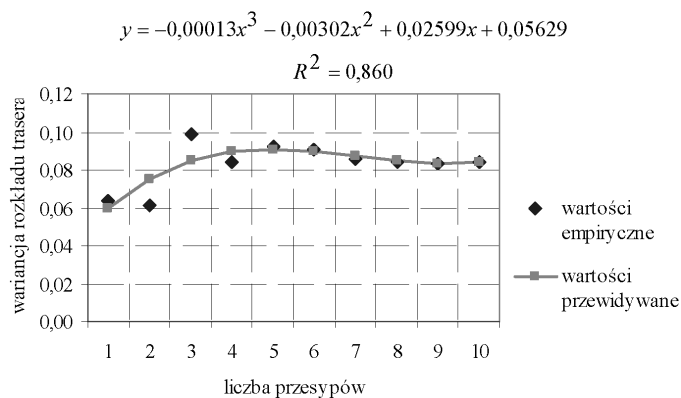
Regresyjna analiza zmian...



Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Rozkład zależności $y=f(x)$ dla mieszania z wkładką 150 mm wybranego układu ziarnistego z grupy A. Wartości empiryczne i przewidywane

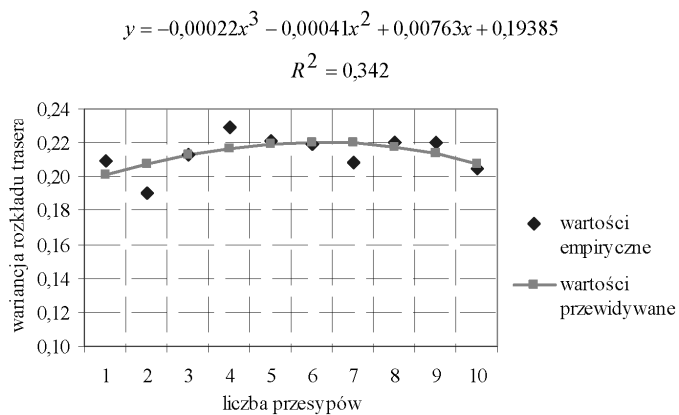
Fig. 4. The $y=f(x)$ dependence distribution for mixing with a 150 mm insert of a selected granular pattern from group A, Empiric and predicted values



Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Rozkład zależności $y=f(x)$ dla mieszania z wkładką 180 mm wybranego układu ziarnistego z grupy A. Wartości empiryczne i przewidywane

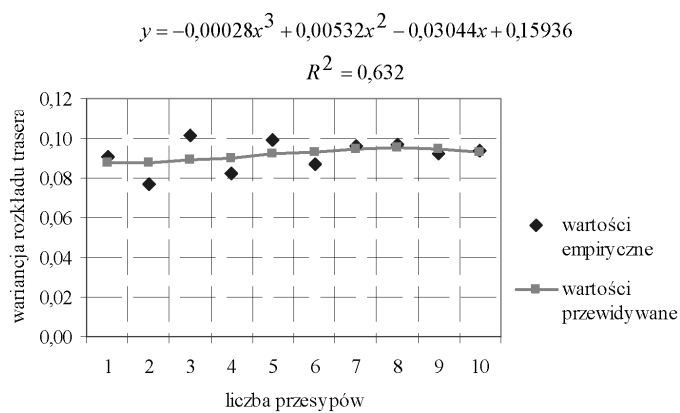
Fig. 5. The $y=f(x)$ dependence distribution for mixing with a 180 mm insert of a selected granular pattern from group A. Empiric and predicted values



Źródło: opracowanie własne

Rys. 6. Rozkład zależności $y=f(x)$ dla mieszania bez wkładki wybranego układu ziarnistego z grupy B. Wartości empiryczne i przewidywane

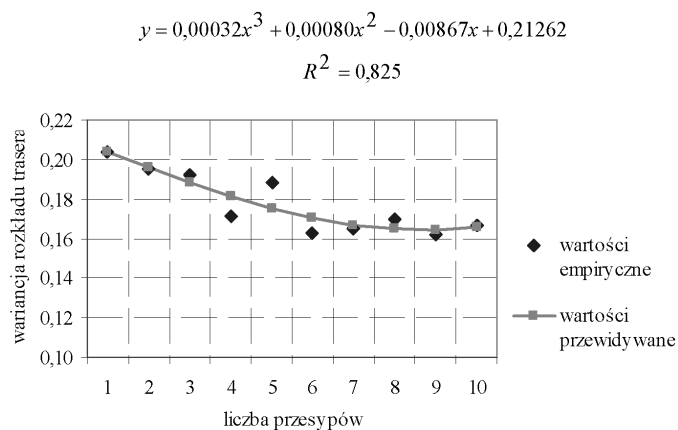
Fig. 6. The $y=f(x)$ dependence distribution for mixing without insert of a selected granular pattern from group B. Empiric and predicted values



Źródło: opracowanie własne

Rys. 7. Rozkład zależności $y=f(x)$ dla mieszania z wkładką 120 mm wybranego układu ziarnistego z grupy B. Wartości empiryczne i przewidywane

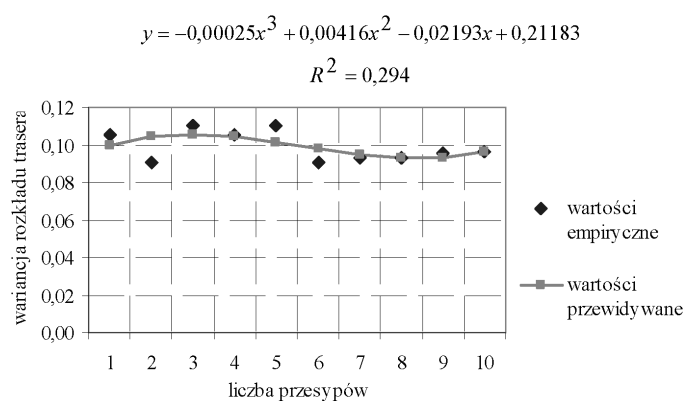
Fig. 7. The $y=f(x)$ dependence distribution for mixing with a 120 mm insert of a selected granular pattern from group B. Empiric and predicted values



Źródło: opracowanie własne

Rys. 8. Rozkład zależności $y=f(x)$ dla mieszania z wkładką 150 mm wybranego układu ziarnistego z grupy B. Wartości empiryczne i przewidywane

Fig. 8. The $y=f(x)$ dependence distribution for mixing with a 150 mm insert of a selected granular pattern from group B. Empiric and predicted values



Źródło: opracowanie własne

Rys. 9. Rozkład zależności $y=f(x)$ dla mieszania z wkładką 180 mm wybranego układu ziarnistego z grupy B. Wartości empiryczne i przewidywane

Fig. 9. The $y=f(x)$ dependence distribution for mixing with a 180 mm insert of a selected granular pattern from group B. Empiric and predicted values

Podobieństwo przebiegu funkcji regresji do danych eksperymentalnych świadczy o dobrym dopasowaniu lecz w niektórych przypadkach zaproponowany model nie nadaje się do opisu badanego procesu. Wartości współczynnika determinacji są dość zróżnicowane

i mieszczą się w przedziałach 29,40%÷94,80% dla układów ziarnistych grupy A i 9,11%÷86,11% dla układów ziarnistych grupy B. Zatem wyjaśnienie zmian wartości empirycznych przez model jest zróżnicowane. Jednak można zauważyć, iż rozbieżność danych obserwowanych i wymodelowanych dla obu grup jest niewielka, a wartości wariancji rozkładu trasera dla mieszania składników z pierwszej grupy lepiej dopasowują się do przebiegu funkcji wielomianowej. Ze względu na zróżnicowanie dopasowanie modelu do danych empirycznych warto przeanalizować możliwość rozbudowania proponowanego modelu o dodatkowe zmienne.

Pomimo to, wykorzystanie prostej zależności, jaką jest wielomian 3 stopnia, opisuje w większości analizowanych przypadków, zmiany wariancji rozkładu trasera w kolejnych etapach mieszania. Natomiast zróżnicowane wartości parametrów regresji świadczą o odmienności przebiegu krzywych dla mieszania z zastosowaniem elementów RSI o różnych wymiarach oraz bez stosowania wkładek daszkowych.

Wnioski

1. Wykorzystanie komputerowej analizy obrazu stanowi odpowiedni sposób oceny zmian jakości mieszanki ziarnistej w czasie mieszania metodą kolejnych przesypów.
2. Zastosowanie wkładek systemu Roof Shaped Insert jest zasadne, gdyż wpływa na poprawę jakości mieszaniny przez uzyskanie niższej wariancji rozkładu trasera.
3. Wykorzystanie nieliniowej zależności jaką jest wielomian 3 stopnia odzwierciedla w większości przypadków zmiany wariancji rozkładu trasera w kolejnych etapach mieszania.

Bibliografia

- Acel A.D.** 2005. Statystyka w zarządzaniu. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa. ISBN 83-01-14548-X.
- Barnum R.A., Bengston E., Clement S.A.** 2004. Avoiding common solids handling pitfalls in food processes. *Powder Handling & Processing*, volume 16. Number 2, March/April 2004. s. 120-124.
- Boss J.** 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa. ISBN 83-01-07958-7.
- Boss J., Krótkiewicz M., Tukiendorf M.** 2003. An application of picture analysis as a method of evaluation of granular blend's quality. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* Number 12/53. s. 27-30.
- Matuszek D., Tukiendorf M.** 2006a. Charakterystyka mieszania spożywczego układu ziarnistego systemem funnel-flow z wykorzystaniem metody analizy wariancji. *Postęp Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1. s. 18-20.
- Matuszek D., Tukiendorf M.** 2006 b. Ocena wpływu wkładek daszkowych na proces mieszania układów ziarnistych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 12(87). Kraków. s. 351-360.
- Matuszek D., Tukiendorf M.** 2007. Komputerowa analiza obrazu w ocenie mieszania układów ziarnistych (system funnel-flow). *Inżynieria Rolnicza*. Nr 2(90). Kraków 2007. s. 183-188.
- Schlick H., Gehbauer F., Auchter A., Gallinat J.** 1996. Relationships Between Flow Properties and the Process of Loading in Silos With Central Cones and Plough Feeder Discharge. *Bulk Solids Handling*. Volume.16. Number 2. April/June 1996. s. 83-89.

- Stręk F.** 1981. Mieszanie i mieszalniki. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa. ISBN 83-204-0289-1.
- Tukiendorf M.** 2002. Zastosowanie elementów wspomagających mieszanie w przesywie niejednorodnych układów ziarnistych, system Roof Shaped Insert. Inżynieria Rolnicza. Nr 4(37). Warszawa. s. 337-343.
- Tukiendorf M.** 2003a. Optymalizacja procesu mieszania metodą ze zbiornika do zbiornika układów niejednorodnych. Matematyczny model dwuwymiarowy – cz. I. Postęp Techniki Przetwórstwa Spożywczego. Numer 1. Warszawa. s. 21- 23.
- Tukiendorf M.** 2003b. Optymalizacja procesu mieszania metodą ze zbiornika do zbiornika ziarnistych układów niejednorodnych. Matematyczny model dwuwymiarowy – cz. II. Postęp Techniki Przetwórstwa Spożywczego. Numer 2. Warszawa. s. 24-26.
- Tukiendorf M.** 2003 c. Characteristics of mixing granular material achieved by using methods of variance analysis and geostatistical function. EJPAU. Volume 6. Issue 1. <http://www.ejpau.media.pl/series/volume6/issue1/engineering/art-03.html>.

REGRESSION ANALYSIS OF QUALITY CHANGES IN GRANULAR BLEND DURING MIXING USING THE POURING METHOD

Abstract. The paper presents the effects of using additional elements supporting mixing of grainy components by successive pouring from container to container and an example of modelling quality changes in time. The tracer distribution variance was the dependent variable, whereas successive steps of mixing (pouring from 1 to 10) constituted the independent variable. The formula of a third degree polynomial function was a one-dimensional dependence. Modelling was carried out using the “non-linear regression” computer module (the STATISTICA set). The obtained formula of one-dimensional dependence described well only some of the examined cases. However, it helped to understand the relation between variables.

Key words: mixing of grainy materials, Roof Shaped Insert system, non-linear regression

Adres do korespondencji:

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