

## **SPOSOBY OCENY JAKOŚCI MIESZANIN ZIARNISTYCH W ZBIORNIKACH**

Marek Tukiendorf

**Streszczenie.** Celem pracy było zaproponowanie nowych sposobów w ocenie jakości mieszanin ziarnistych. Obiektem obserwacji była para materiałów (wyka-gorzycyca), która mieszana za pomocą wysypu ze zbiornika do zbiornika, przy zastosowaniu systemu wkładek wspomagających (RSI), osiągała różne stany zmieszania. Różnice pomiędzy tymi stanami wynikały z różnic w sposobach ułożenia nasion wyki i gorzycy w zbiornikach. Badaniom poddano układy występujące w trzech charakterystycznych stanach zmieszania. Za pomocą komputerowej analizy obrazu dokonano oceny wariancyjnej rozkładów nasion wyki w wybranych przekrojach zbiorników. Wyniki te porównano ze sobą, proponując niestosowane wcześniej wskaźniki będące ułamkami parametrów opisujących wzdlużne i poprzeczne postaci zmieszania. Wskazano jednocześnie na niezasadność stosowania miary Rose'a oraz najprawdopodobniej innych miar jakości proponowanych wcześniej przez badaczy.

**Słowa kluczowe:** układy ziarniste, pasze i mieszanki, stany oraz stopnie zmieszania

### **WSTĘP**

Mieszaniny ziarniste to układy złożone najczęściej z komponentów różniących się takimi cechami, jak wymiary ziaren i średnic. Parametry te mają decydujący wpływ na jakość mieszanin w procesach technologicznych przemysłu rolno-spożywczego [Boss i Tukiendorf 1997]. Decydują one znacząco o stopniu homogeniczności układów niejednorodnych, które uzyskuje się na drodze mieszania, jednej z najważniejszych operacji stosowanych w tym przemyśle.

Jedne substancje ziarniste mieszają się lepiej, inne gorzej. Są także takie materiały, które mieszają się ze sobą tak słabo, że pozyskiwane układy trudno uważać za zmieszane (skala wartości stopnia zmieszania wg Bossa [1987]).

Pasze i mieszanki paszowe to układy, które mogą składać się ze składników organicznych (nasiona i ziarna) oraz nieorganicznych (np. kreda, wapno) zmieszanych na potrzeby określonych zastosowań, jak karmienie zwierząt, czy też dla przygotowania prefabrykatów do dalszej obróbki [Grochowicz 1996].

Spotykane postaci ułożenia ziaren w złożach zbiorników magazynowych mają często różny charakter. Z technologicznego punktu widzenia obrazem najbardziej pożądanym są układy, w których niezależnie od obranego kierunku obserwacji cząstki wymieszanych komponentów dzieli ta sama albo podobna odległość. Mówimy wówczas o stanie randomowym (przypadkowym, ale regularnym uporządkowaniu) [Williams 1976, Boss 1987, Roberts 1996]. Niestety segregacja towarzysząca mieszaniu przeciwdziała takiemu stanowi. Segregacja zachodzi zarówno podczas mieszania, jak i w czasie transportu (wewnątrz- i zewnątrzzakładowego). Może także występować w złożach nieruchomych na skutek działania siły grawitacji, jeżeli układy ziarniste charakteryzują się zbyt dużymi przestrzeniami międzyziarnowymi. Powstaje również na skutek wibracji. Jej wpływ na jakość mieszanin ziarnistych jest istotny, ponieważ w efekcie działania segregacji ziarna poszczególnych składników wykazują tendencje do zajmowania określonych miejsc w zbiorniku, a często są to pozycje bardzo dalekie od stanów randomowych. Obserwacje prowadzone przez Bossa, Krótkiewicza oraz Tukiendorfa [2002a, b], przy użyciu komputerowej analizy obrazu w ocenie jakości przekrojów ziarnistych, pozwoliły na sklasyfikowanie typowych rozkładów składników na powierzchni tych przekrojów. Opierając się na analizie wariancyjnej rozkładu koncentracji składników kluczowych, w zależności od wartości wariancji wzdłuż promienia przekroju, zaproponowano obok stanu randomowego następujące stany zmieszania:

- pierścieniowy (i),
- rdzeniowy (ii).

W przypadku stanu (i) zauważa się pierścień ziaren trasera występujący w zewnętrznej części przekroju. Obserwacje wariancji, prowadzone wraz ze wzrostem długości promienia, informują o jej silnym wzroście pomiędzy granicami pierścienia. W przypadku (ii) w środku przekroju obserwuje się wyraźny rdzeń ziaren trasera. Wzrostowi długości promienia towarzyszy wówczas duża zmiana wariancji, począwszy od granicy brzegu rdzenia [Tukiendorf 2002].

Z dotychczasowych badań wynika ponadto, że oceny jakości oparte tylko na analizie sitowej trasera w kolejnych przekrojach (segmentach) zbiornika mogą doprowadzać do formułowania nieprawdziwych stwierdzeń. Przyjmując bowiem, że miarą zmieszania jest jedynie proporcjonalny udział koncentracji trasera w kolejnych przekrojach zbiornika, pomijamy wpływ jego rozmieszczenia na jakość układu w płaszczyznach poziomych. Niezależnie od tego, czy mamy do czynienia ze zmieszanym typu (i), czy też (ii), fakt równomiernego rozmieszczenia trasera w przekroju wzdłużnym nie jest tożsame z równomiernym rozkładem w całej objętości silosu. W przekrojach poprzecznych mogą występować całe strefy wolne od udziału trasera w postaci długich rdzeni (i) lub pierścieni (ii).

Taki stan rzeczy inspirowa i rodzi konieczność poszukiwania nowych sposobów opisu stanu jakości mieszanin ziarnistych w całej przestrzeni silosów, a nie tylko w wybranych przekrojach i kierunkach.

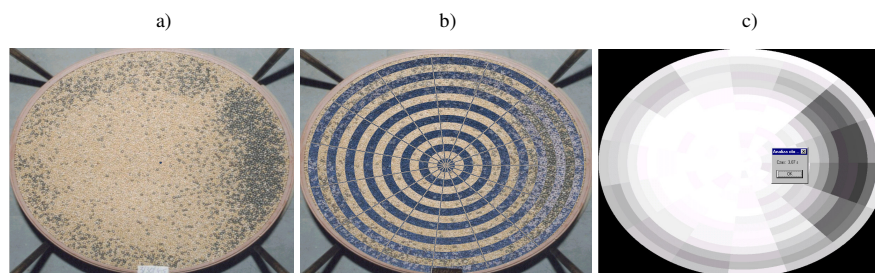
W pracy zaproponowano i przedstawiono wskaźniki, które mogą być wykorzystane w opisie jakości niejednorodnych układów dwuskładnikowych. Dotyczą przestrzennego opisu obserwowanych ziaren, wnosząc więcej informacji niż spotykane dotąd miary.

Celem badań było zaproponowanie oraz porównanie nowych wskaźników oceny jakości dwuskładnikowej mieszaniny ziarnistej (wyka-gorczyca) magazynowanej w silosach.

## METODY

Rozważania ograniczono do mieszanin złożonych z dwóch składników ziarnistych różniących się wymiarami średnic i gęstości uzyskanych na drodze mieszania wysypowego ze zbiornika do zbiornika z wykorzystaniem specjalnego systemu wkładek daszkowych (Roof Shape Insert) [Schlick 1996]. W zależności od kąta pochylenia tych wkładek otrzymano różne postaci rozkładu mieszanych komponentów (wyka–gorczyca) wewnątrz zbiorników. Dokładny opis mieszania został przedstawiony już wcześniej w pracy Bossa i Tukiendorfa [1997].

Na wstępie przygotowano cyfrowe zapisy obrazów 10 poprzecznych przekrojów silosu wypełnionego mieszaniną (format bitmap). Obserwacje prowadzono odrębnie dla trzech stanów zmieszania: randomowego, pierścieniowego oraz stanu zupełnie nieuporzędkowanego, łączącego w zależności od wybranego przekroju cechy dwóch poprzednich stanów. Dla każdego z przypadków dokonano oceny wariacji rozkładu trasera w dziesięciu kolejnych przekrojach, na jakie podzielono silos. Analiza ta odbywała się według 225-punktowej siatki nakładanej na cyfrowy obraz przekrojów ziarnistych. Po zamianie naturalnych odcieni nasion gorczycy i wyki, za pomocą skali RGB na odcienie skali szarości określono koncentrację trasera w 225 punktach siatki. Następnie korzystając z tej samej siatki dokonano oceny wariacji rozkładu nasion wyki (rys. 1).



Rys. 1. Analiza wariacyjna rozkładu trasera: a) przekrój surowej próby; b) 225-elementowa siatka do oceny rozkładu koncentracji trasera; c) koncentracja w skali szarości  
 Fig. 1. Analysis of variance of tracer's distribution: a) profile of row sample; 225-elements net for evaluation tracer's concentration distribution; c) concentration in gray scale

Zastosowana metoda pozwoliła na szybką ocenę następujących informacji:

- bezwzględna wartość koncentracji nasion wyki w 10 kolejnych przekrojach poprzecznych mieszalnika dla trzech stanów zmieszania;
- wariacje rozkładu nasion wyki w 10 kolejnych przekrojach poprzecznych mieszalnika dla trzech stanów zmieszania.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Uzyskane wyniki zestawiono w tabelach 1–3 oraz zaprezentowano na wykresach (rys. 2–5).

Tabela 1. Parametry rozkładu wzdłużnego traseru w zbiorniku silosowym  
 Table 1. Parameters of longitudinal tracer's distribution in silo bin

Numer segmentu Suma $\sum_{i=1}^{10} x_i$ Wartości $A_n, B_n, C_n$ Segment's number; Sum $\sum_{i=1}^{10} x_i$ Values $A_n, B_n, C_n$	Udziały traseru $x_i$ w badanych przekrojach zbiornika w zależności od stanu zmieszania Tracer's rates $x_i$ in researched bin profiles in relation to mixing states		
	randomowy random	pierścieniowy ring	nieuporządkowany non-ordered
1	0,0898	0,0959	0,3448
2	0,1022	0,1163	0,2276
3	0,0960	0,1017	0,1517
4	0,1084	0,0901	0,0448
5	0,0991	0,0843	0,0310
6	0,0929	0,0959	0,0345
7	0,1022	0,1047	0,0172
8	0,1053	0,1163	0,0207
9	0,0960	0,1105	0,0517
10	0,1084	0,0843	0,0759
Suma udziałów – Sum of rates	1,0000	1,0000	1,0000
$A_n$	4,06E-05	1,43E-04	1,19E-02
$B_n$	6,37E-03	1,20E-02	1,09E-01
$C_n$	0,9798	0,9622	0,6551

gdzie – where:

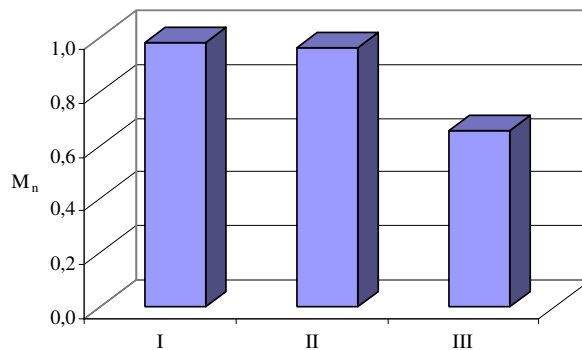
$A_n$  – wariancja rozkładu wzdłużnego traseru – variance of tracer's longitudinal distribution ( $\sigma_i^2$ ),

$B_n$  – odchylenie standardowe rozkładu wzdłużnego traseru – standard deviation tracer's longitudinal distribution ( $\sigma_i$ ),

$C_n$  – stopień zmieszania według Rose'a – mixing degree by Rose ( $M_n = \sigma_i/\sigma_0$ ),

$x_i$  – bezwzględna wartość koncentracji powierzchniowej traseru na obserwowanym przekroju – absolute surface concentration value in observed profile,

$\sigma_0$  – odchylenie standardowe traseru w stanie segregacji pierwotnej (przed mieszaniem) – tracer's standard deviation in primary segregation state (before mixing).



Rys. 2. Stopnie zmieszania  $M_n$  obserwowanych układów ziarnistych wg Rose'a: I – zmieszanie randomowe, II – zmieszanie pierścieniowe, III – zmieszanie nieuporządkowane

Fig. 2. Mixing degrees  $M_n$  of observed granular arrangements by Rose: I – random mixing, II – ring mixing, III – non-ordered mixing

Tabela 2. Wariancje powierzchniowych rozkładów koncentracji traseru ( $\sigma^2_i$ ) dla kolejnych przekrojów silosu w zależności od stanu zmieszaniaTable 2. Variance of tracer's surface concentration distribution ( $\sigma^2_i$ ) for consecutive silos profiles in relation to mixing state

Nr przekroju Number of profile	$(\sigma^2_i)$		
	randomowy random	pierścieniowy ring	nieuporządkowany non-ordered
1	0,038	0,066	0,042
2	0,032	0,063	0,041
3	0,036	0,062	0,062
4	0,034	0,07	0,065
5	0,037	0,061	0,072
6	0,031	0,064	0,078
7	0,033	0,071	0,081
8	0,037	0,072	0,081
9	0,035	0,063	0,071
10	0,031	0,06	0,058
$D_n$	6,71E-06	1,88E-05	2,14E-04
$E_n$	6,046	7,593	55,492

gdzie – where:

 $D_n$  – wariancja z wariancji rozkładów powierzchniowych traseru – variance from variance of tracer's surface distribution $E_n$  – przestrzenny wskaźnik oceny jakości mieszaniny – spatial indicator of blend's quality,  $E_n = A_n/D_n$ Tabela 3. Przestrzenne wskaźniki oceny jakości mieszaniny  $F_{ni} = D_n/x_i$ Table 3. Spatial indicators of blend's quality  $F_{ni} = D_n/x_i$ 

Nr przekroju Number of profile	$F_{ni} = D_n/x_i$		
	randomowe random	pierścieniowe ring	nieuporządkowane non-ordered
1	0,4232	0,6880	0,1218
2	0,3132	0,5418	0,1802
3	0,3751	0,6094	0,4086
4	0,3138	0,7768	1,4500
5	0,3735	0,7236	2,3200
6	0,3338	0,6672	2,2620
7	0,3230	0,6784	4,6980
8	0,3515	0,6192	3,9150
9	0,3647	0,5703	1,3727
10	0,2861	0,7117	0,7645

gdzie – where:

 $n$  – liczba stanów zmieszania – number of mixing states  $n = 1, 2, 3$  $i$  – liczba obserwowanych przekrojów w próbie – number of observed profile in sample  $n$  ( $i = 1-10$ )

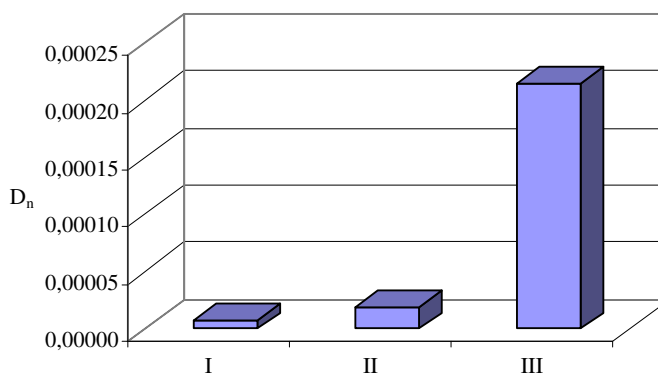
Na rysunku 2 przedstawiono wartości stopni zmieszania obliczane dla wzdłużnego rozkładu traseru według formuły Rose'a. Jak już zasugerowano wcześniej, w analizie tej nie uwzględniono rozkładu traseru w płaszczyznach poprzecznych.

Z zaprezentowanego histogramu wynika, że najwyższe stopnie zmieszania osiągnięto w dwóch przypadkach:

- (i) dla stanu zmieszania randomowego ( $M_1 = 0,9798$ ),
- (ii) dla stanu zmieszania pierścieniowego ( $M_2 = 0,9622$ ).

O ile konkluzja dotycząca przypadku (i) wydaje się prawdziwa – równomierny rozkład traseru na powierzchniach wszystkich dziesięciu przekrojów silosu daje gwarancje równomiernego rozkładu w jego przekroju wzdłużnym (wysoka wartość  $M_1 = 0,9798$ ) – o tyle w przypadku (ii) mamy do czynienia z istotnym przekłamaniem. Traser jest co prawda rozmieszczony proporcjonalnie w przekroju wzdłużnym, lecz zdecydowanie pierścieniowo w przekrojach poprzecznych. Nie można zatem w powyższej sytuacji przykładać takiego sposobu miary oceny jakości. Trzeci przypadek nie pozostawia wątpliwości; układ w stanie zmieszania nieuporządkowanego zmieszany jest źle ( $M_3 = 0,6551$ ).

Dane zawarte w tabeli 2 pokazują wartości wariancji rozkładów koncentracji traseru na powierzchni kolejnych przekrojów. Obliczono wariancje dla każdego z szeregów wariancji odpowiadających poszczególnym stanom zmieszania. Histogram na rysunku 3 porównuje te wskaźniki. Porównanie pozwala tym razem na wyciągnięcie nieco innych wniosków.



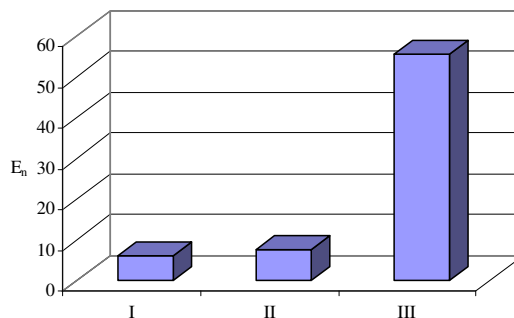
Rys. 3. Wartości wariancji  $D_n$  z wariancji powierzchniowych rozkładów traseru: I – zmieszanie randomowe, II – zmieszanie pierścieniowe, III – zmieszanie nieuporządkowane

Fig. 3. Values of variances  $D_n$  from variances tracer's surface distribution: I – random mixing, II – ring mixing, III – non-ordered mixing

Wartość  $D_1 = 6,71E-06$  odpowiadająca zmieszaniu randomowemu jest o rząd mniejsza od wartości  $D_2 = 1,88E-05$ , odpowiadającej zmieszaniu pierścieniowemu; wartość  $D_3 = 2,14E-04$  odpowiadająca zmieszaniu nieuporządkowanemu jest wyraźnie większa od pozostałych wskaźników  $D_1$ ,  $D_2$ , co wskazuje na złe zmieszanie.

Z kolei wskaźnik  $E_n = A_n/D_n$  jest ilorazem wariancji rozkładu wzdłużnego traseru oraz wariancji z wariancji jego rozkładów powierzchniowych. W rozpatrywanym przykładzie jest to pierwsza próba połączenia informacji dotyczących opisu pozycji traseru w całej przestrzeni silosu.

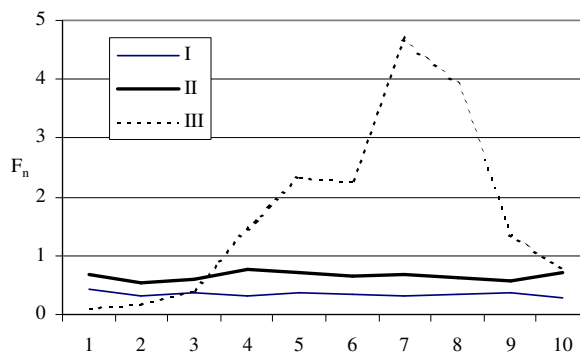
Histogram na rysunku 4 pokazuje, że wskaźnik ten osiąga najmniejszą wartość dla zmieszania randomowego  $E_1 = 6,046$ , większą dla zmieszania pierścieniowego  $E_2 = 7,593$  oraz największą dla stanu zmieszania nieuporządkowanego  $E_3 = 55,492$ . Rosnący gradient wartości tych wskaźników pokazuje, że wraz z każdym kolejnym przypadkiem stanu zmieszania jakość tego zmieszania ulega pogorszeniu.



Rys. 4. Wartości przestrzennego wskaźnika jakości  $E_n$ : I – zmieszanie randomowe, II – zmieszanie pierścieniowe, III – zmieszanie nieuporządkowane

Fig. 4. Values of spatial quality indicators  $E_n$ : I – random mixing, II – ring mixing, III – non-ordered mixing

Jeszcze inną próbą porównania parametrów jakości jest wskaźnik  $F_{ni} = D_n/x_i$  (tab. 3), który jest ilorazem wariancji z wariancji rozkładów powierzchniowych oraz bezwzględnych udziałów objętościowych trasyera w jego kolejnych przekrojach w każdym z  $n = 1-3$  stanów zmieszania. Krzywe na rysunku 5 pokazują, jak zmieniają się te ilorazy w zależności od rodzaju zmieszania i obserwowanego przekroju.



Rys. 5. Zmiana przestrzennego wskaźnika jakości  $F_n$  w zależności od obserwowanego przekroju: I – zmieszanie randomowe; II – zmieszanie pierścieniowe; III – zmieszanie nieuporządkowane

Fig. 5. Changes of spatial quality indicator  $F_n$  in relation to observed profile: I – random mixing, II – ring mixing, III – non-ordered mixing

Krzywa I (zmieszanie randomowe) o jednostajnym przebiegu jest zbudowana z rzędnych o najmniejszych wartościach, krzywa II (zmieszanie pierścieniowe) ma również jednostajny przebieg, przy czym jej rzędne charakteryzują się większymi wartościami, krzywa III natomiast ma przebieg burzliwy. Pokazuje układ o zdecydowanie niejednostajnych parametrach, tak w sensie jakości wzdłużnej, jak i poprzecznej.

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych i przedstawionych wyników badań zaproponowano następujące wnioski:

1. W ocenie jakości materiałów ziarnistych (takich jak pasze, mieszanki, prefabrykaty) magazynowanych w silosach niezbędna jest ocena stanu zmieszania we wszystkich kierunkach. Należy zatem wprowadzać miary opierające się na wskaźnikach, wynikających ze wszystkich stopni swobody, jakie posiadają cząstki tych układów (kierunki podłużne i poprzeczne).

2. Stosowane wskaźniki oceny jakości wynikające tylko z obserwacji rozkładu trase-ra w płaszczyźnie pionowej są niemiarodajne i mogą wprowadzać nieprawdziwe informacje. Miary wynikające z używanych dotychczas wskaźników zaproponowanych między innymi przez: Rose'a [1959], Danckwerts [1952], Lacey [1943] Fana i innych [1970] wymagają w związku z tym dyskusji dotyczącej oceny zakresu ich stosowania.

3. Jednoczesne porównanie rozkładów wariancji poprzecznych i wzdłużnych trase-ra oraz wartości ich koncentracji na powierzchniach obserwowanych przekrojów może być dobrym sposobem opisu jakości mieszanin ziarnistych.

4. Pokazane w tym artykule działania nie wyczerpują zagadnienia, są jedynie efektem pierwszych starań, wynikających ze stosowania coraz nowocześniejszego warsztatu elektronicznego. Zdobyte doświadczenia zachęcają do podejmowania dalszych prób sposobu opisu jakości mieszanin ziarnistych.

## PIŚMIENNICTWO

- Boss J., 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych, PWN Warszawa-Wrocław.
- Boss J., Krótkiewicz M., Tukiendorf M., 2002. An application of picture analysis as a method of evaluation of granular blend's quality, *Polish J. Food Nutr. Sci.* (w druku).
- Boss J, Tukiendorf M., 1997. Mixing of granular materials using the method of funnel-flow, *Powder Handling & Processing*, 9, 4, 341–343.
- Danckwerts P. V., 1952. The definition and measurement of some characteristic of mixtures, *Appl. Sci. Res. Hague A3*, 279–296.
- Fan L. T., Chen S. J., Watson C. A., 1970. Solids mixing, *Ind. Eng. Chem.* 62, 7, 53–69.
- Grochowicz J., 1996. Technologia produkcji mieszanek paszowych. Wyd. II, PWRiL, Warszawa.
- Lacey P. M. C., 1943. The mixing of solid particles, *Trans. Inst. Chem. Eng.* 21, 53–59.
- 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. In. Chem. Eng.* 37, 47–64.
- Schlick H, Gehbauer F., Auther A., Galliant J., 1996. Relationship between flow properties and the process of loading in silo with central cones and plough feeder discharge, *Bulk Solids Handling* 16, 83–89.
- Roberts A. W., 1998. Particle technology-reflections and horizons: An engineering perspective, *Trans. In. Chem. Eng.* 76, A.
- Tukiendorf M., 2002a. Zagadnienie rozkładu koncentracji składników niejednorodnej mieszaniny ziarnistej podczas mieszania w przesypie. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 4, IZACAX 41 (33), 139–140.
- Tukiendorf M., 2002b. Ocena jakości mieszaniny ziarnistej w przekrojach poziomych silosów podczas mieszania systemem funnel-flow. *Post. Inż. Roln.* (w druku).
- Williams J. C., 1976. The segregation of particulate materials. *A Review Powder Technol.* 15, 245–251.



## **WAYS OF EVALUATION OF GRANULAR BLENDS IN BINS**

**Abstract.** The aim of the research was to propose new ways of quality evaluation of granular blends. The object of observation was the vetch-mustard material pair, which was mixed using the supporting inserts (RSI) and achieved different mixing state. Differences between these states resulted from differences in ways of packing of vetch seeds in bins. A material arrangement in three mixing states was researched using the computer picture analysis and an evaluation of variances of seeds' distributions was performed for chosen bin profiles. The results were compared and not previously used indicators for longitudinal and transverse mixing shapes were proposed in the analysis. A non-appropriateness of the Rose's and other mixing measures as well was indicated in the paper.

**Key words:** granular arrangements, feeds and blends, states and degrees of mixing

*Marek Tukiendorf, Zakład Urządzeń dla Przemysłu Spożywczego i Ochrony Środowiska, Politechnika Opolska, ul. Mikotajczyka 5, 45-233 Opole, e-mail: mtuk@po.opole.pl*