

## ZALEŻNOŚĆ PRZEBIEGU MIESZANIA UKŁADU WIELOSKŁADNIKOWEGO OD UDZIAŁU SKŁADNIKÓW OCENIANA ANALIZĄ SKUPIEŃ

Jolanta Królczyk, Marek Tukiendorf

Politechnika Opolska

**Streszczenie:** W pracy podjęto próbę określenia zależności pomiędzy przebiegiem procesu mieszania a procentowym udziałem poszczególnych składników czternastokładnikowej karmy dla gołębi. W tym celu wykorzystano analizę skupień. Analiza dendrytu, ilustrującego otrzymaną hierarchię skupień poszczególnych składników mieszaniny, pozwoliła na podział dendrytu na cztery skupienia. Na podstawie analizy każdego ze skupień, opartej na metodzie średnich arytmetycznych, określono, które cechy (minuty mieszania) zdecydowały o utworzeniu każdego ze skupień. Analizując dendryt i strukturę każdego skupienia stwierdzono, iż udział procentowy poszczególnych składników odgrywa znaczącą rolę w procesie mieszania. Najistotniejszy wpływ na jego przebieg wykazują dwa składniki (sorgo i peluszką) o największych udziałach procentowych. Znaczący wpływ na proces mają także słonecznik czarny, groch żółty i zielony. Na pierwsze minuty mieszania miały także wpływ składniki, tj. proso żółte, owies łuszczony, kardi i dari. Natomiast pozostałe składniki mieszaniny nie wpłynęły znacząco na przebieg mieszania.

**Słowa kluczowe:** materiały ziarniste, niejednorodna mieszanina ziarnista, pasza dla drobiu, analiza skupień

### WSTĘP

Mieszanie układów wieloskładnikowych jest procesem, w którym charakterystyka składników, typ urządzenia mieszającego oraz warunki prowadzenia procesu mają istotny wpływ na jego przebieg. Efekt procesu obserwowany jest przez lepsze zmieszanie lub wtórną segregację składników [Boss 1987]. W ocenie jakości materiałów ziarnistych magazynowanych w zbiornikach niezbędna jest ocena stanu zmieszania masy, zarówno w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej. Wygodną metodą oceny jakości mieszanin ziarnistych uwzględniającą rozkład wykorzystanego trasera w całej objętości zbiornika jest porównanie rozkładów wariancji poprzecznych i wzdłużnych trasera oraz

---

Adres do korespondencji – Corresponding Author: Jolanta Królczyk, Marek Tukiendorf, Zakład Techniki Rolniczej i Leśnej, Politechnika Opolska, ul. Mikołajczyka 5, 45-233 Opole, e-mail: mtuk@po.opole.pl

wartości ich koncentracji na powierzchni obserwowanych przekrojów [Tukiendorf 2002, 2003].

Jak wykazują dotychczasowe badania, istotny wpływ na przebieg procesu mieszania wywierają proporcje udziałów masowych lub objętościowych w mieszaninie [Boss 1987]. Z procesem mieszania wieloskładnikowych, niejednorodnych układów ziarnistych mamy do czynienia w wielu gałęziach przemysłu, w tym w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym czy rolniczym. Poznanie praw rządzących tym procesem należy do istotnych zagadnień inżynierii rolniczej. Do opisu tych zagadnień może posłużyć szeroko stosowana analiza skupień.

Analiza skupień, zajmująca jedno z ważniejszych miejsc w statystyce matematycznej, jest zbiorem metod służących do wyodrębnienia homogenicznych podpopulacji wśród obiektów pochodzących z populacji heterogenicznej [Brzeziński 1987]. Podstawową ideą jest znajdowanie grup (skupień) obiektów, które są bardziej podobne do obiektów współtworzących dane skupienie aniżeli do obiektów innych skupień. Problem grupowania towarzyszy człowiekowi od początku jego istnienia. Grupowaniu podlegają np. klasy społeczne, jednostki, flora i fauna. Uporządkowanie obiektów pomaga w zrozumieniu istoty badanego zjawiska, procesu oraz formułowania praw [Marek 1989, Brzeziński 1987]. Często dany proces charakteryzowany jest wieloma istotnymi informacjami (danymi), a zastosowanie metod analizy skupień pozwala znaleźć ukryte informacje zawarte w danych. Analiza skupień jest z powodzeniem stosowana w różnych dziedzinach, np. biologii, medycynie, psychologii czy marketingu.

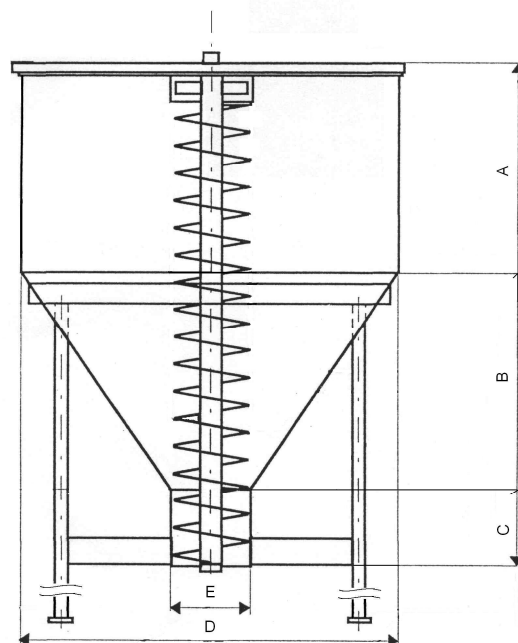
Celem badań była klasyfikacja nasion wchodzących w skład wieloskładnikowej mieszanki oraz ocena wpływu udziału poszczególnych składników na przebieg procesu mieszania. Oceny tej dokonano, wykorzystując analizę skupień.

## MATERIAŁ I METODY

Materiałem doświadczalnym była czternastokładnikowa karma dla gołębi (tab. 1). Badania prowadzono w mieszalni pasz Ovigor w Opolu. Komponenty mieszanki mieszano w mieszalniku z komorą nieruchomą z pionowym mieszadłem o działaniu okresowym (rys. 1). Moc mieszadła wynosiła 5,5 kW, a masa mieszanki 2000 kg.

Tabela 1. Procentowe udziały składników mieszanki na wejściu  
Table 1. Input components' percentages of the mixture

Komponent mieszanki Mixture components	Udział procentowy, % Percentages	Komponent mieszanki Mixture components	Udział procentowy, % Percentages
Peluszka	16,00	Proso żółte	6,50
Sorgo	15,00	Słonecznik czarny	6,00
Dari	10,00	Ryż biały	5,00
Groch żółty	10,00	Kanar	2,50
Groch zielony	9,00	Wyka brązowa	2,50
Kardi	7,50	Groch nowozelandzki	1,25
Owies łuszczone	7,50	Ryż Paddy	1,25



Rys. 2. Mieszalnik pasz: A – wysokość części cylindrycznej – 1550 mm, B – wysokość części stożkowej – 1600 mm, C – wysokość otworu wysypowego – 300 mm, D – średnica wewnętrzna części cylindrycznej – 1800 mm, E – średnica wewnętrzna otworu wysypowego – 300 mm

Fig. 2. Pellet mixer: A – height of the cylindrical part – 1550 mm, B – height of the conical part – 1600 mm, C – height of the inflow opening – 300 mm, D – inner diameter of the cylindrical part – 1800 mm, E – inner diameter of the inflow opening – 300 mm

Poboru prób o masie 0,25 kg dokonywano w miejscu wysypu mieszanki z mieszalnika. Próby pobierano co minutę, rozpoczynając od pierwszej minuty mieszania. Proces mieszania trwał 30 min. W ten sposób uzyskano 30 prób, które rozdzielono na poszczególne składniki. Następnie każdy z komponentów ważono, przeliczając masę wydzielonych składników na udziały procentowe. Uzyskano w ten sposób udziały procentowe poszczególnych składników mieszanki w zależności od czasu mieszania (kolejnych minut).

## METODA

Do oceny wpływu udziałów poszczególnych ziaren na przebieg procesu mieszania zastosowano metodę analizy skupień. Metoda ta pozwoliła na wyszukanie grup obiektów podobnych w zbiorze danych i podzielenie go na podzbiory. Zbiorem analizowanych

danych były wszystkie składniki mieszanki opisane kolejnymi minutami mieszania. W celu przeprowadzenia analizy zbioru danych wykorzystano następujący algorytm:

1. Zdefiniowano macierz danych.

Macierz danych stanowiła tabela prezentująca procentowe udziały poszczególnych składników mieszanki w zależności od minut mieszania (tab. 2).

2. Przeprowadzono standaryzację zmiennych.

Standaryzacja zmniejszyła różnice między klasyfikowanymi obiektami.

3. Wybrano miarę podobieństwa.

Przyjęto euklidesową miarę (metrykę) odległości pomiędzy obiektami opisanymi odpowiednimi cechami [Brzeziński 1987]. Metryka ta jest często stosowana do klasyfikowania obiektów, z uwagi na wygodną interpretację graficzną i proste właściwości matematyczne [Brzeziński 1987].

4. Określono macierz odległości taksonomicznych (rys. 2).

5. Przeprowadzono aglomerację skupień.

Celem aglomeracji skupień jest uzyskanie drzewka zwanego dendrogramem (rys. 3). W artykule zastosowano metodę hierarchiczną – metodę Warda. Powszechnie potwierdzona jest najlepsza efektywność tej metody. Cechą tej metody jest zapewnienie minimalnej wariancji wewnątrz skupienia. Metoda ta zapewnia homogeniczność wewnątrz skupień i heterogeniczność pomiędzy skupieniami (w sensie minimalizacji i maksymalizacji wariancji) [Marek 1989]. Punktem wyjścia w metodzie Warda jest macierz odległości. W macierzy wyszukuje się najbliższą parę skupień (obiektów zdefiniowanych jako poszczególne składniki). Następnie łączy się ze sobą obiekty w jedno nowe zaglomerowane skupienie. Ostatnim krokiem jest zmiana macierzy odległości z uwzględnieniem nowo powstałego skupienia. Procedurę skupiania należy wykonywać sekwencyjnie, redukując macierz do momentu, gdy w macierzy będzie występować tylko jedna wartość charakteryzująca odległość pomiędzy skupieniami [Marek 1989].

6. Dokonano analizy dendrytu.

Przy podziale dendrytu na poszczególne skupienia nie da się sformułować jednoznacznego kryterium formalnego. Jako kryterium zatrzymania procesu aglomeracji i ostatecznej weryfikacji przynależności obiektów (poszczególnych składników) do dendrogramu wykorzystano metodę zaproponowaną przez Z. Hellwiga [1968]. W tej metodzie dwa podzbiory zbioru uznajemy za istotnie różne, jeśli najkrótsza odległość między parą punktów należących do dwóch różnych podzbiorów jest większa niż pewna wartość krytyczna ( $W_k$ ).

Do oszacowania wartości krytycznej należy znaleźć wartość minimalną w poszczególnych wierszach macierzy odległości. Następnie dla tak powstałych zmiennych oblicza się średnią arytmetyczną  $x$  i odchylenie standardowe  $\sigma$ . Wartość krytyczną oblicza się na podstawie wzoru [Pluta 1977]:

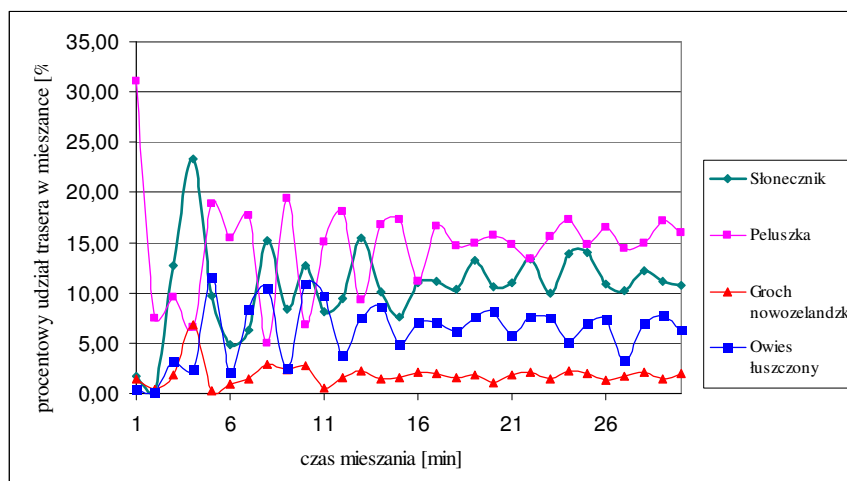
$$W_k = x + 2\sigma \quad (2)$$

7. Dokonano analizy struktury każdego skupienia.

Analizując każde z czterech skupień, możemy uzyskać informacje, jakie cechy zdecydowały o utworzeniu poszczególnego skupienia. Do analizy wykorzystano metodę średnich arytmetycznych [Runge 1992]. W metodzie tej dla macierzy danych wyjściowych (tab. 2), dla poszczególnych skupień, obliczono średnie arytmetyczne kolejnych cech  $X_n$  (kolejnych minut mieszania). Kolejnym krokiem było obliczenie średnich grupowych  $X$ , czyli średnich dla danej cechy (minuty mieszania). Wskaźnikiem struktury każdego skupienia są ilorazy  $X_n/X$ . Iloraz większy od jedności świadczy o przewadze określonej cechy w skupieniu.

## WYNIKI

Na wykresie (rys. 2) zaprezentowano przykładowe zmiany procentowego udziału wybranych składników mieszanki w czasie mieszania.



Rys. 2. Wykres przykładowych zmian procentowego udziału wybranych składników w czasie 30 minut mieszania

Fig. 2. Percentage changes of the exemplified components during 30 mixing minutes

Wyniki analizy skupień. Macierz danych wyjściowych przedstawiona jest w tabeli 2, jednak z uwagi na ograniczenia prezentacji wielkości tabel pokazany został jedynie fragment macierzy dla czterech wybranych składników mieszanki dla 1, 2, 3 oraz 30 min mieszania.

Tabela 2. Udziały procentowe poszczególnych składników mieszanki w zależności od minut mieszania

Table 2. Percentages of components in time during mixing

Lp.	Komponent mieszanki Mixture components	Udziały procentowe w kolejnych minutach mieszania (niektóre minuty opuszczone) Component percentages in consecutive minutes during mixing (some minutes omitted)				
		1	2	3	.....	30
		1	peluszka	31,07	7,47	9,53
2	groch zielony	0,57	0,27	8,05	.....	8,47
3	groch żółty	2,21	0,54	17,68	.....	10,70
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
14	wyka	0,04	0,04	1,20	.....	1,86

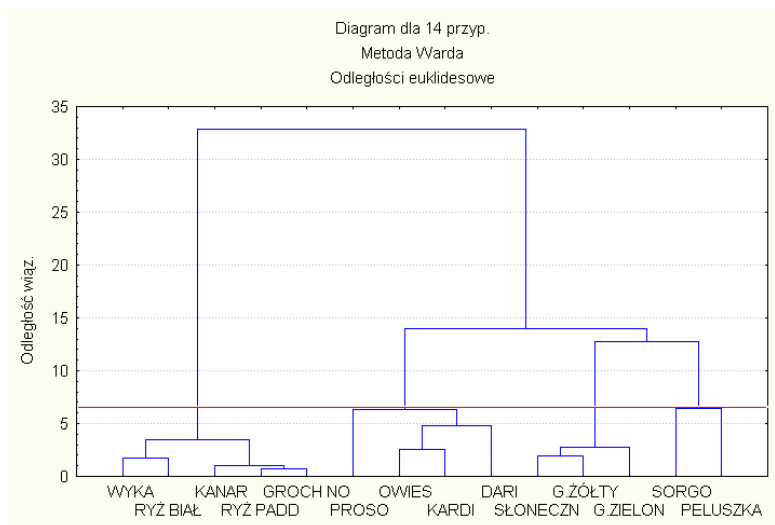
Po przeprowadzeniu standaryzacji zmiennych i zastosowaniu metryki euklidesowej określono macierz odległości taksonomicznych dla czternastu składników mieszanki (rys. 2).

	peluszka	g. zielony	g. żółty	dari	sorgo	groch now	kardi	kanar	ryż paddy	ryż biały	proso	stonecznik	owies	wyka
peluszka	0,00	7,78	7,63	7,42	6,44	13,78	7,17	13,83	14,13	11,84	10,94	7,04	9,22	13,21
g. zielony	7,78	0,00	2,72	6,17	8,39	8,89	3,80	8,64	9,07	7,90	8,01	2,40	4,12	8,50
g. żółty	7,63	2,72	0,00	7,22	7,83	10,43	5,67	10,11	10,57	9,57	9,46	1,99	6,18	10,20
dari	7,42	6,17	7,22	0,00	6,33	7,14	3,82	7,25	7,52	5,25	5,12	6,38	4,72	6,63
sorgo	6,44	8,39	7,83	6,33	0,00	12,58	8,11	12,49	12,88	11,18	10,24	7,53	9,49	12,28
groch now	13,78	8,89	10,43	7,14	12,58	0,00	7,52	0,94	0,68	2,52	5,19	9,72	5,87	1,38
kardi	7,17	3,80	5,67	3,82	8,11	7,52	0,00	7,51	7,84	5,75	6,14	4,75	2,53	6,74
kanar	13,83	8,64	10,11	7,25	12,49	0,94	7,51	0,00	0,92	2,84	5,26	9,52	5,71	1,63
ryż paddy	14,13	9,07	10,57	7,52	12,88	0,68	7,84	0,92	0,00	2,94	5,51	9,91	6,13	1,72
ryż biały	11,84	7,90	9,57	5,25	11,18	2,52	5,75	2,84	2,94	0,00	3,65	8,78	4,46	1,76
proso	10,94	8,01	9,46	5,12	10,24	5,19	6,14	5,26	5,51	3,65	0,00	8,85	5,13	4,67
stonecznik	7,04	2,40	1,99	6,38	7,53	9,72	4,75	9,52	9,91	8,78	8,85	0,00	5,52	9,47
owies	9,22	4,12	6,18	4,72	9,49	5,87	2,53	5,71	6,13	4,46	5,13	5,52	0,00	5,11
wyka	13,21	8,50	10,20	6,63	12,28	1,38	6,74	1,63	1,72	1,76	4,67	9,47	5,11	0,00

Rys. 2. Macierz odległości euklidesowych uzyskana dla składników mieszanki

Fig. 2. Matrix of the Euclidean distances for the mixture components

Kolejnym krokiem analizy było dokonanie aglomeracji skupień, w celu uzyskania dendrogramu (rys. 3). Otrzymany dendrogram, ilustrujący hierarchię skupień poszczególnych składników, poddano analizie. Do określenia liczby skupień i przynależących do nich poszczególnych składników mieszanki, obliczono wartość krytyczną  $W_k$ . Wartość krytyczna po podstawieniu do wzoru (2) wartości średniej arytmetycznej oraz odchylenia standardowego obliczonych dla macierzy danych (tab. 2) wyniosła  $W_k = 6,35$ . Wartość tę naniesiono na wykres (rys. 3) – linia ciągła. Wartość krytyczna podzieliła dendryt na cztery skupienia. Skład poszczególnych skupień widoczny jest na rysunku 3 oraz w tabeli 3.



Rys. 3. Dendrogram ilustrujący odległości taksonomiczne pomiędzy składnikami mieszanki  
Fig. 3. Dendrogram illustrating taxonomic distances between the mixture components

Tabela 3. Nazwy komponentów mieszanki wyodrębnionych w skupienia oraz udziały procentowe składników

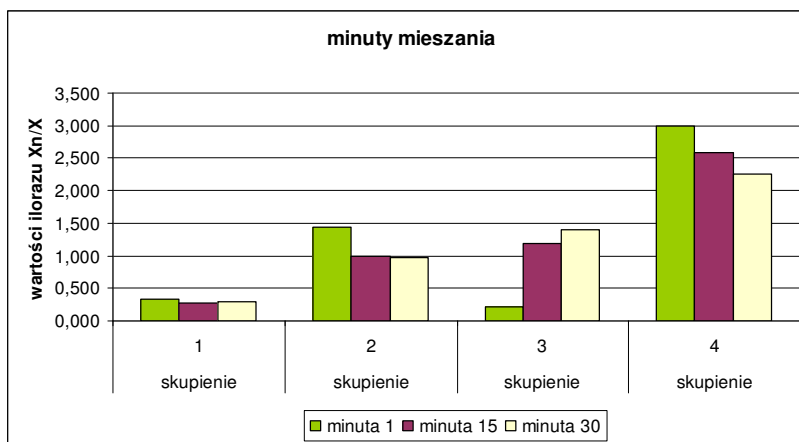
Table 3. Components clusters and components' percentages

	Komponenty mieszanki Mixture components	Udziały procentowe, % Percentages
1 skupienie 1 cluster	wyka	2,50
	ryż biały	5,00
	kanar	2,50
	ryż paddy	1,25
	groch nowozelandzki	1,25
2 skupienie 2 cluster	proso żółte	6,50
	owies łuszczoney	7,50
	kardi	7,50
	dari	10,00
3 skupienie 3 cluster	słonecznik czarny	6,00
	groch żółty	10,00
	groch zielony	9,00
4 skupienie 4 cluster	sorgo	15,00
	peluszka	16,00

Ostatnim krokiem było przeprowadzenie analizy każdego z wydzielonych skupień. Obliczając ilorazy  $X_n/X$  (średnia arytmetyczna kolejnych skupień/średnia grupowa) określono przewagę określonej cechy (minuty mieszania) w skupieniu. Wycinek tabeli obliczeń zaprezentowano w tabeli 4. Graficzna interpretacja obliczonych ilorazów dla wybranych minut mieszania pokazana jest na rysunku 4. Wartości ilorazów  $X_n/X$  dla wszystkich minut mieszania zaprezentowano w tabeli 5.

Tabela 4. Wycinek tabeli obliczeń ilorazu  $X_n/X$ Table 4. Part of the table showing  $X_n/X$  ratio

Skupienia clusters	Składniki Components	Minuty mieszania Mixing minutes			
		1	2	3	30
1	wyka	0,04	0,04	1,2	1,86
	ryż	10,03	0,42	0,65	3,57
	kanar	0,04	0,04	5,06	1,43
	ryż paddy	0,08	0,04	1,51	1,38
	groch nowozelandzki	1,41	0,42	1,86	1,95
	średnia X1	2,320	0,192	2,056	2,038
	średnia X	7,130	7,119	7,114	7,102
	X1/X	0,325	0,027	0,289	0,287
4	sorgo	11,670	46,920	21,530	15,940
	peluszką	31,070	7,470	9,530	15,980
	średnia X4	21,370	27,195	15,530	15,960
	średnia X	7,130	7,119	7,114	7,102
	X4/X	2,997	3,820	2,183	2,247

Rys. 4. Wykres wartości ilorazów  $X_n/X$  dla pierwszej, piętnastej oraz trzydziestej minuty mieszania; wartość ilorazu większa od 1 świadczy o dominacji określonego skupieniaFig. 4. Value of  $X_n/X$  ratio at the first, fifteenth and thirtieth mixing minutes; if ratio value is bigger than 1, cluster is dominated

W pierwszej minucie mieszania dominujący udział w procesie odegrały skupienia: drugie oraz czwarte, a więc składniki, tj. proso żółte, owies łuszczone, kardi, dari oraz sorgo i peluszką. W 15. oraz 30. min wartość ilorazu  $X_n/X$  jest większa od jedności dla trzeciego i czwartego skupienia (składniki: słonecznik, groch żółty, groch zielony, sorgo, peluszką).



Tabela 5. Wartości ilorazów  $X_n/X$  w kolejnych minutach mieszaniaTable 5. Value of  $X_n/X$  ratio in each mixing minutes

Wartości ilorazów $X_n/X$ dla kolejnych minut mieszania										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Skupienie 1	0,325	0,027	0,289	0,599	0,225	0,161	0,273	0,388	0,270	0,404
Skupienie 2	1,437	1,517	0,696	0,238	1,421	1,111	1,411	0,764	0,922	0,875
Skupienie 3	0,210	0,052	1,802	2,866	1,372	0,624	0,972	2,582	0,969	2,062
Skupienie 4	2,997	3,820	2,183	0,726	1,539	3,440	2,038	0,630	3,025	1,146
Wartości ilorazów $X_n/X$ dla kolejnych minut mieszania										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Skupienie 1	0,283	0,249	0,336	0,274	0,273	0,404	0,305	0,290	0,322	0,288
Skupienie 2	1,373	0,957	0,744	1,153	0,983	0,842	1,015	1,021	0,874	1,086
Skupienie 3	1,260	1,102	2,241	1,469	1,181	1,818	1,561	1,273	1,775	1,462
Skupienie 4	1,658	2,810	1,310	1,806	2,580	1,580	1,866	2,322	1,785	1,915
Wartości ilorazów $X_n/X$ dla kolejnych minut mieszania										
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Skupienie 1	0,286	0,318	0,292	0,272	0,294	0,299	0,299	0,305	0,312	0,287
Skupienie 2	0,962	0,903	1,052	0,829	0,879	1,026	0,962	0,931	1,007	0,966
Skupienie 3	1,464	1,778	1,443	1,639	1,821	1,428	1,448	1,650	1,371	1,402
Skupienie 4	2,163	1,734	2,002	2,203	1,775	2,059	2,157	1,900	2,149	2,247

Analizując ilorazy umieszczone w tabeli 5, możemy stwierdzić, iż w żadnej z minut mieszania cechy pierwszego skupienia (wyka, ryż biały, kanar, ryż paddy, groch nowozelandzki) nie odegrały dominującej roli. Drugie skupienie (reprezentowane przez proso żółte, owies łuszczone, kardi, dari) wykazało znaczący wpływ na przebieg procesu w 13 z 30 min mieszania. Dla trzeciego skupienia największe wartości ilorazów otrzymano w 7 min mieszania. Najważniejszą rolę w procesie mieszania wieloskładnikowej mieszanki odgrywają dwa składniki: sorgo oraz peluszką, których wpływ (największa wartość ilorazu  $X_n/X$ ) jest najistotniejszy w większej liczbie minut (23 na 30 min).

## WNIOSKI

1. Metoda analizy skupień jest użytecznym narzędziem w opisie procesu mieszania wieloskładnikowej mieszaniny ziarnistej.

2. Najistotniejszą rolę w badanym przypadku na proces mieszania odgrywają dwa składniki o największych udziałach procentowych, tj. sorgo i peluszką, wchodzące w skład jednego skupienia.

3. Znaczący wpływ na przebieg procesu mają również składniki aglomerowane w kolejne skupienie, a więc słonecznik czarny, groch żółty i groch zielony.

4. W skupieniu grupującym proso żółte, owies łuszczone, kardi i dari największy wpływ na proces miały pierwsze minuty mieszania.

5. Składniki, tj. wyka, ryż biały, kanar, ryż paddy, groch nowozelandzki nie wpływają znacząco na przebieg procesu mieszania.

## PIŚMIENNICTWO

- Boss J., 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN, Warszawa-Wrocław.
- Brzeziński J., 1987. Wielozmiennowe modele matematyczne w badaniach psychologicznych. PWN Warszawa.
- Hellwig Z., 1968. Zastosowanie metody taksonomicznej do typologicznego podziału krajów ze względu na poziom ich rozwoju oraz zasoby i strukturę wykwalifikowanych kard. Przegląd Statystyczny 4.
- Marek T., 1989. Analiza skupień w badaniach empirycznych. PWN, Warszawa.
- Pluta W., 1977. Wielowymiarowa analiza porównawcza w badaniach ekonomicznych. PWN, Warszawa.
- Runge J., 1992. Wybrane zagadnienia analizy przestrzennej w badaniach geograficznych. Skrypt Uniwersytetu Śląskiego 469.
- Tukiendorf M., 2002. Sposoby oceny jakości mieszanin ziarnistych w zbiornikach. Acta Sci. Pol., Technica Agraria 1(2), 51–59.
- Tukiendorf M., 2003. Characteristics of mixing granular materials achieved by using methods of variance analysis and geostatistical functions. EJPAU, Vol. 6, Iss. 1.

## ASSESSMENT OF THE RELATION BETWEEN THE RUN OF MIXING OF GRANULAR, MULTI-COMPONENT AND THEIR FRACTIONS USING THE CLUSTER ANALYSIS

**Abstract:** In the paper the relationship between the mixing of granular, multi-components and the fractions of a particular grain has been attempted. A cluster analysis was used in the study. Four clusters from a dendrogram illustrating taxonomical distances between the mixture components were distinguished in the analysis. Based on the means of components' fractions the minutes of mixing influence on the clusters' creation were established. Based on the dendrological analysis and the structure of each cluster, it has been established that the percentage of components in a blend plays a crucial role in the mixing. The most important influence on mixing had the two ingredients (sorghum and field pea) that the largest percentages shares in a mixture. Significant influence on the process had also black sunflower, yellow and green pea. The first minutes of mixing were also influenced by yellow millet, hulling oat, *Carthamus tinctorius* and white sorghum. Whereas the remaining components did not have any impact on mixing.

**Key words:** granular materials, non-homogenous granular blend, poultry pellet, cluster analysis

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 24.10.2005