

## OKREŚLENIE EFEKTYWNEGO CZASU MIESZANIA Z RECYRKULACJĄ SKŁADNIKÓW DLA JEDENASTOSKŁADNIKOWEJ MIESZANKI PASZOWEJ

Jolanta Królczyk

*Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej, Politechnika Opolska*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań oceniających jakość mieszanki paszowej otrzymanej w wyniku mieszania w przemysłowym mieszalniku pasz z przebiegającą dodatkowo recyrkulacją składników. Proces mieszania trwał trzydzieści minut. Przedmiotem do badań była jedenastoskładnikowa mieszanka paszowa dla gołębi o nazwie Ekonomik BK. Wykorzystując test t-Studenta dokonano podziału procesu na dwa etapy i wyznaczono czas efektywnego mieszania.

**Słowa kluczowe:** mieszanka paszowa, jakość mieszaniny ziarnistej, mieszalnik pasz

### Wprowadzenie

Celem mieszania jest równomierne, przestrzenne rozproszenie wszystkich składników w taki sposób, aby uzyskać mieszaninę o wymaganej jednorodności. Pod pojęciem jednorodności wieloskładnikowej mieszanki (również paszowej) należy rozumieć taki układ, w którym cząstki wszystkich składników wykazują stałą koncentrację w całej objętości mieszanki. Konstruktorzy mieszarek i producenci pasz dążą to tego, aby mieszarka pozwalała na uzyskanie takiego układu w każdej możliwie najmniejszej objętości próbki paszy, co jest wymagane ze względów żywieniowych. Kinetyka procesu mieszania, czyli jego rozwój w czasie, jest jednym z najważniejszych problemów praktyki i teorii w technologiach pozyskiwania mieszanin o możliwie jednorodnym składzie. Operacje mieszania są trudne do opisu teoretycznego, gdyż wiele czynników ma wpływ na jego przebieg. W praktyce każdy surowiec ma zróżnicowany skład pod względem wymiarów cząstek, co utrudnia ich odpowiednie rozmieszczenie [Boss 1987, Grochowicz 1998].

Celem pracy było określenie efektywnego czasu mieszania dla jedenastoskładnikowej mieszanki paszowej o nazwie Ekonomik BK prowadzonego w przemysłowym mieszalniku z przebiegającą dodatkowo recyrkulacją składników.

### Metodyka badań

Do badań wykorzystano pionowy mieszalnik pasz z mieszadłem ślimakowym o mocy mieszadła 5,5 kW. Wymiary oraz schemat mieszalnika zaprezentowano we wcześniejszych pracach [Królczyk, Tukiendorf 2007]. Przedmiotem badań była mieszanka pasz dla gołębi

o nazwie Ekonomik BK. Jest to mieszanka ziarnista o jedenastu składnikach, której skład podano w tabeli nr 1. Masa zasypanej mieszanki wynosiła 2100 kg. Mieszanie komponentów odbywało się dzięki obrotom mieszadła ślimakowego znajdującego się wewnątrz urządzenia oraz dodatkowo składniki były poddawane zewnętrznej recyrkulacji poprzez przenośnik kubelkowy w czasie całego cyklu mieszania. Czas mieszania wynosił 30 minut. Próby do badań pobierane były w odstępach półminutowych za spustu mieszalnika począwszy od pierwszej minuty mieszania. Masa pojedynczej próbki wynosiła średnio 94,60 g. Do analizy otrzymano 60 prób, które następnie rozdzielano ręcznie na poszczególne składniki. Rozdzielone komponenty ważono, a udziały masowe przeliczono na udziały procentowe.

Tabela 1. Skład mieszaniny Ekonomik BK - udziały procentowe oraz masowe na wejściu  
Table 1. The composition of the Ekonomik BK mixture – percentage and mass portion on the input

Lp.	Nazwa	Udział		Lp.	Nazwa	Udział	
		[%]	[kg]			[%]	[kg]
1	Groch żółty	23,81	500	7	Owies łuszc.	4,76	100
2	Peluszka	20,48	430	8	Słonecznik	3,81	80
3	Groch zielony	14,29	300	9	Kardi	2,86	60
4	Sorgo	12,38	260	10	Wyka brązowa	2,38	50
5	Proso	7,14	150	11	Ryż biały	2,38	50
6	Dari	5,71	120		RAZEM	100,00	2100

Źródło: Ovigor®

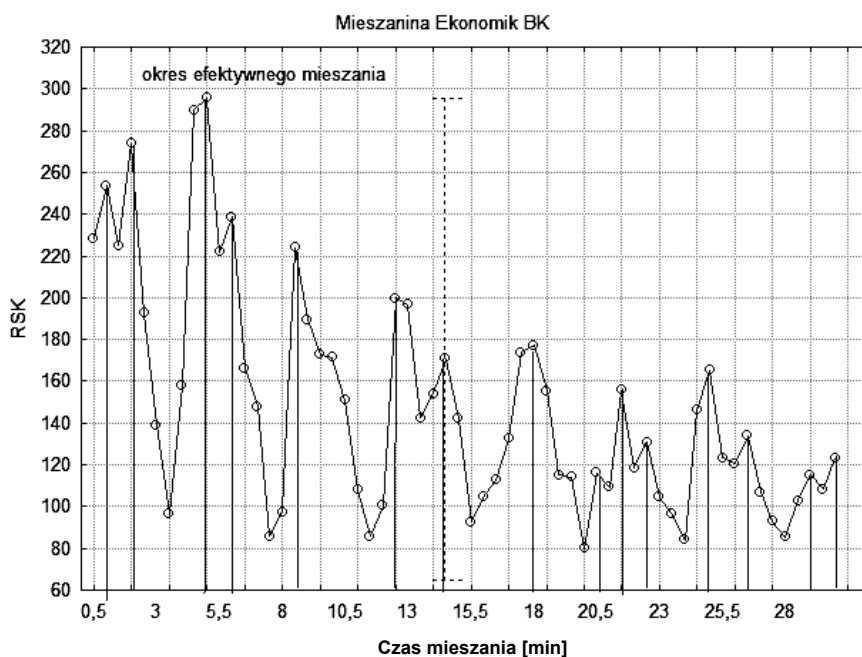
W pierwszym kroku analizy statystycznej do określenia zmian jakości mieszaniny w czasie wykorzystano opisaną wcześniej resztową sumę kwadratów (RSK) (rys. 1) [Królczyk, Tukiendorf 2010]. Wymodelowano związki między dwiema zmiennymi: zmienną zależną Y – docelowym rozkładem częstości składników oraz zmienną niezależną X – rozkładem udziałów poszczególnych składników w kolejnych odstępach czasowych, a następnie dokonano analizy błędów zaobserwowanych w wyniku dopasowania modelu regresji do danych metodą najmniejszych kwadratów. Zmienna RSK uzyskuje wartość zero jeśli udziały wszystkich komponentów w określonym punkcie czasowym są równe wartościom docelowym ( $RSK=0$  to mieszanina doskonała).

Opierając się na prowadzonych wcześniej badaniach [Królczyk i in. 2005; Królczyk, Tukiendorf 2008] w drugim kroku analizy statystycznej dokonano podziału procesu na dwa etapy: zmian burzliwych oraz łagodnych. Etap zmian burzliwych określono również jako etap efektywnego mieszania, po upływie którego jakość mieszanek paszowych nie ulega znaczącej poprawie i dalsze mieszanie jest nieekonomiczne. Do określenia efektywnego czasu mieszania wykorzystano test t-Studenta. Określono wartości lokalnych maksimum funkcji, czyli największe wartości odchylenia pomiędzy wartością  $RSK=0$  a największą lokalną wartością maksimum (amplitudy) (por. rys. 1, tab. 2). Następnie dokonano podziału procesu na dwa etapy biorąc pod uwagę wszystkie możliwości podziału procesu, a więc dokonano analizy 14 możliwych przypadków tego podziału. Zestawiono wartości amplitud wraz z odpowiadającymi im minutami procesu mieszania i wykonano test

t-Studenta do porównywania dwóch wartości średnich populacji o rozkładach normalnych i jednorodnych wariancjach. Obliczenia statystyczne wykonane zostały w programie Statistica 9.0. W kolejnych krokach obliczono wartości poziomu istotności testu p dla różnych przypadków podziału procesu. Do wyznaczenia podziału procesu na dwa etapy wybrano wartość minimalną testu t-Studenta dla grup różniących się istotnie statystycznie.

## Wyniki badań i ich analiza

Na wykresie (rys. 1) przedstawiono zmiany jakości mieszanki paszowej Ekonomik BK ocenianej za pomocą przyjętego do oceny parametru resztowej sumy kwadratów. Można zauważyć, że poprawia się jakość mieszanki wraz z upływem kolejnych minut mieszania. Do wyznaczenia etapu efektywnego mieszania (burzliwego mieszania) wykorzystano wspomniany wcześniej test t-Studenta. Na wykresie (rys. 1) zaobserwować można lokalne maksimum i minimum funkcji przedstawiającej zmiany jakości mieszanki w czasie. Do dalszej analizy przyjęto największe wartości odchyłań pomiędzy wartością  $RSK=0$  a największą lokalną wartością maksimum (amplitudy). Na wykresie (rys. 1) zaznaczono w sposób graficzny wspomniane amplitudy jako linie ciągłe. W tab. 2 przedstawiono przyjęte do dalszych obliczeń wartości RSK określone jako maksimum lokalne.



Źródło: obliczenia własne autora

Rys. 1 Wykres zmian jakości mieszanki paszowej Ekonomik BK  
 Fig. 1. The graph presenting quality changes of the Ekonomik\_feed mixture

Tabela 2. Wartości RSK dla lokalnych maksimum funkcji  
Table 2. The RSS values for local maximum of the function

Lp.	Czas mieszania [min.]	RSK	Lp.	Czas mieszania [min.]	RSK
1	1	253,52	9	20,5	116,17
2	2	273,70	10	21,5	155,82
3	5	295,56	11	22,5	130,75
4	6	238,60	12	25	165,27
5	8,5	224,03	13	26,5	133,97
6	12,5	199,77	14	29	115,29
7	14,5	170,76	15	30	123,19
8	18	177,23			

*Źródło: obliczenia własne autora*

Założenia o normalności rozkładu sprawdzono stosując test Shapiro–Wilka dla wyznaczonych dwóch etapów mieszania: etapu efektywnego mieszania (burzliwych zmian) oraz etapu nieefektywnego mieszania (łagodnych zmian) (wyniki w tab. 3). Zaprezentowano wyniki obliczeń dla podziału procesu mieszania na dwa etapy dla przypadku o najmniejszej wartości poziomu istotności  $p$  testu t-Studenta. Ponieważ poziom istotności  $p$  jest większy od 0,05 dla badanych przypadków brak jest więc podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu. Jednorodność wariancji sprawdzono testem Fishera. Badane są dwie populacje generalne mające odpowiednio rozkłady normalne  $N(m_1, \sigma_1)$  i  $N(m_2, \sigma_2)$ , gdzie parametry tych rozkładów są nieznane. Dane są dwie próby o liczebnościach podanych w tab. 5 (dla tabeli 3 to  $n_1 = 6$  i  $n_2 = 9$ ). Na podstawie wyników prób sprawdzamy hipotezę  $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ , wobec hipotezy alternatywnej  $H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ . Wyniki obliczeń statystyki  $F$  dla wyznaczonych etapów mieszania wyniosły  $F = 2,0167$  oraz  $p = 0,3606$ . Ponieważ  $p$  jest większe od 0,05 brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy o jednorodności wariancji dla badanych przypadków. Podobnie jak w przypadku testu normalności, również i tu zaprezentowano wyniki obliczeń dla podziału procesu mieszania na dwa etapy dla przypadku o najmniejszej wartości poziomu istotności  $p$  testu t-Studenta.

Tabela 3. Testy normalności dla wyznaczonych etapów mieszania  
Table 3. Test of normality for selected mixing steps

Zmienna	n	W	p
Etap efektywnego mieszania	6	0,9942	0,9969
Etap nieefektywnego mieszania	9	0,8931	0,2149

*Źródło: obliczenia własne autora*

Badamy teraz dwie populacje mające rozkłady normalne  $N(m_1, \sigma_1)$  oraz  $N(m_2, \sigma_2)$ , odchylenia standardowe są nieznane, ale jednakowe, tzn. zachodzi  $\sigma_1 = \sigma_2$ . Na podstawie dwóch prób o liczebnościach podanych w tab. 5 i weryfikujemy hipotezę  $H_0 : m_1 = m_2$  wobec hipotezy alternatywnej  $H_1 : m_1 \neq m_2$ . Wyniki obliczeń statystyki  $t$  podano w tab. 4. Do wyznaczenia podziału procesu na dwa etapy wybrano wartość minimalną testu

## Określenie efektywnego czasu...

t-Studenta wynoszącą  $p = 0,00001$ . Dzięki temu otrzymaliśmy informację, iż drugi etap mieszania rozpoczyna się począwszy od 14,5 minuty mieszania i trwa do końca procesu mieszania.

Tabela 4. Wartości poziomu istotności testu t-Studenta dla wszystkich przypadków podziału procesu na dwa etapy

Table 4. Values of significance level of the Student's t-test for all cases of process division into two stages

Lp.	Liczebność prób		t	p	Lp.	Liczebność prób		t	p
	$n_1$	$n_2$				$n_1$	$n_2$		
1	1	14	1,2094	0,248062	8	8	7	5,1691	0,000181
2	2	13	2,2853	0,039726	9	9	6	3,2808	0,005964
3	3	12	4,4190	0,000693	10	10	5	2,9101	0,012169
4	4	11	5,6100	0,000085	11	11	4	2,2413	0,043095
5	5	10	6,8571	0,000012	12	12	3	2,2351	0,043593
6	6	9	6,9173	0,000011	13	13	2	1,8002	0,095072
7	7	8	5,5368	0,000096	14	14	1	1,0764	0,301325

*Źródło: obliczenia własne autora*

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej można powiedzieć, iż efektywny czas mieszania mieszanki paszowej o podanym powyżej składzie procentowym poszczególnych komponentów wynosi 14 minut. Począwszy od 14,5 minuty rozpoczyna się dla tej mieszaniny okres niewielkich zmian jakości (nieefektywny), gdzie dalsze mieszanie nie przynosi wyraźnej poprawy efektów mieszania. Na tej podstawie można przyjąć założenie o skróceniu czasu mieszania o 16 minut, a więc o 53,3%.

## Wnioski

1. Zaprezentowana w pracy metodyka obliczeń podziału procesu mieszania na dwa etapy jest narzędziem statystycznym pozwalającym w obiektywny sposób określić efektywny czas mieszania wieloskładniowych mieszanin ziarnistych podczas mieszania z recyrkulacją składników.
2. Dla badanej w eksperymencie mieszaniny Ekonomik BK czas efektywnego mieszania wyniósł 14 minut. Czas mieszania nieefektywnego, gdzie nie zaobserwowano wyraźnej poprawy jakości mieszanki paszowej, wyniósł 16 minut.
3. Postuluje się skrócenie czasu mieszania o czas nieefektywnych zmian, a więc o 16 minut, co stanowi ponad połowę ze standardowego czasu mieszania (53,3%).

## Bibliografia

- Boss J.** 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN. Warszawa – Wrocław. ISBN 83-01-07058-7.  
**Grochowicz J.** (red.) 1998. Zaawansowane techniki wytwarzania przemysłowych mieszanek paszowych. Lublin. PAGROS. ISBN 83-910152-0-3.

- Kowalski J.** (red.) 2002. Postęp naukowo-techniczny a racjonalna gospodarka energią w produkcji rolniczej. Kraków. PTIR. ISBN 83-905219-9-7.
- Królczyk J., Tukiendorf M.** 2007. Ocena jakości wieloskładnikowej, niejednorodnej mieszanki ziarnistej. Inżynieria Rolnicza. Nr 2 (90). s. 119-127.
- Królczyk J., Matuszek D., Tukiendorf M.** 2005. Analiza stanów składu niejednorodnej mieszanki ziarnistej w procesie przygotowania paszy dla gołębi w warunkach przemysłowych z wykorzystaniem metody taksonomicznej. Inżynieria Rolnicza. Nr 14 (74). s. 193-201.
- Królczyk J., Tukiendorf M.** 2010. Modelowanie procesu mieszania wieloskładnikowych układów ziarnistych za pomocą regresji nieliniowej. Inżynieria Rolnicza. Nr 3 (121). s. 83-88.
- Królczyk J., Tukiendorf M.** 2008. Wyznaczenie efektywnego czasu mieszania w mieszalniku z mieszadłem ślimakowym. Inżynieria Rolnicza. Nr 6 (104) 2008. s. 77-82.
- Statistica 9.0 Copyright © StatSoft, Inc. 1984-2009.

## **DETERMINATION OF THE EFFECTIVE MIXING DURATION WITH RECIRCULATION OF COMPONENTS FOR AN ELEVEN-COMPONENT FEED MIXTURE**

**Abstract.** The paper presents research findings estimating the quality of feed mixture obtained during mixing in an industrial feed mixer with additional recirculation of the components. The mixing process lasted thirty minutes. The object of the research was an eleven-component Economic BK feed mixture for pigeons. The student's t-test was used to divide the process into two stages and the effective time of mixing was determined.

**Key words:** feed mixture, quality of granular mixture, feed mixer

**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