

*Jolanta Królczyk, Marek Tukiendorf  
Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej  
Politechnika Opolska*

## **OPTIMALIZACJA PROCESU SPORZĄDZANIA WIELOSKŁADNIKOWEJ PASZY DLA GOŁĘBI W PIONOWYM MIESZALNIKU Z MIESZADŁEM ŚLIMAKOWYM**

### **Streszczenie**

Na podstawie oceny jakości wieloskładnikowej, niejednorodnej mieszaniny ziarnistej w poszczególnych punktach czasowych procesu mieszania określono czas prowadzenia procesu, potrzebny do uzyskania rozkładu częstości udziałów poszczególnych składników mieszanki zgodny z udziałami docelowymi. Wyniki zaprezentowano na podstawie 9-składnikowej mieszanki pasz dla gołębi. Proces prowadzono w warunkach przemysłowych. Do określenia jakości mieszaniny wykorzystano resztową sumę kwadratów. Na podstawie analizy zmian tego parametru w czasie określono, iż dla badanej mieszaniny czas mieszania może być krótszy niż 30 minut.

**Słowa kluczowe:** materiały ziarniste, niejednorodna mieszanina ziarnista, pasza, pionowy mieszalnik z mieszadłem ślimakowym, resztowa suma kwadratów

### **Wprowadzenie**

Do mieszania materiałów ziarnistych, a w szczególności materiałów sypkich, stosuje się rozmaite aparaty i urządzenia. Różnorodność aparatury wynika przede wszystkim ze zróżnicowania gałęzi przemysłowych, w których proces mieszania ma miejsce. Mieszaniu podlegają mieszaniny składające się z różnych materiałów, których stężenie trzeba wyrównywać w toku pojedynczej operacji, gdzie masa materiału wynosi od kilku kilogramów do wielu tysięcy ton. Rozwój tej grupy aparatów, maszyn i urządzeń zmierza do obniżenia energochłonności procesu, zmniejszenia kosztów aparatury, także stosowania urządzeń o pracy ciągłej [Boss

1987]. W sytuacji, gdy nie mamy wpływu na zmianę cech urządzenia mieszającego oraz na własności mieszanych materiałów, należy dążyć do poznania i opisanie procesów zachodzących w mieszalniku, na podstawie właściwie pobranych prób, celem zoptymalizowania procesu.

W przypadku mieszania układów wieloskładnikowych, niejednorodnych, takich jak mieszanki pasz, komponenty mieszaniny ziarnistej różnią się przede wszystkim takimi własnościami jak przeciętne wymiary ziaren i gęstość. Znaczna część prac badawczych dotychczas wykonanych, dotyczy mieszania układów o tych samych lub dwu różnych wymiarach ziaren, podczas gdy stan wiedzy na temat mieszania niejednorodnych, w szczególności wieloskładnikowych układów jest w dalszym ciągu niewystarczająca.

Duża liczba kryteriów, które należy brać pod uwagę przy wyborze mieszalnika utrudnia, a niekiedy uniemożliwia dobór aparatu na podstawie jakichkolwiek danych teoretycznych. Najpewniejszym sposobem jest wybór mieszalnika w oparciu o studia cytowanych w literaturze danych doświadczalnych dla różnych aparatów przemysłowych i dobór mieszalnika przez analogie do własnych założeń technologicznych [Stręk 1971]. Z tego też względu zasadne jest pogłębianie wiedzy na temat opisu zarówno przebiegu procesu mieszania dla układów wieloskładnikowych, jak również sposobów oceny jakości mieszaniny dla komponentów mieszanych w różnych typach mieszalników w warunkach przemysłowych.

W przypadku mieszanek pasz zmiennymi własnościami dotyczącymi samych komponentów są m.in. przeciętne wymiary ziaren, gęstość ziaren oraz wilgotność. Zmienne są również proporcje mieszanych komponentów oraz sposób, kolejność i szybkość dodawania składników [Boss 1987].

### **Cel badań**

Celem badań było określenie czasu mieszania wieloskładnikowej mieszaniny ziarnistej na przykładzie dziewięcioskładnikowej mieszanki pasz dla gołębi, aby uzyskać rozkład częstości udziałów poszczególnych składników w mieszaninie zgodny z założonymi udziałami. Badania prowadzono z recyrkulacją składników w pionowym mieszalniku z komorą nieruchomą z mieszadłem ślimakowym w warunkach przemysłowych.

## Metodyka badań

Przedmiotem badań była dziewięcioskładnikowa mieszanka pasz dla gołębi o składzie podanym w tabeli 1.

*Tabela 1. Wymagane udziały procentowe składników mieszanki*  
*Table 1. Input components' percentages of the mixture*

Komponent mieszanki	Udział procentowy [%]
Pszenica	30,00
Jęczmień	29,00
Kukurydza	16,00
Peluszka	10,00
Sorgo	5,00
Groch	5,00
Proso	2,25
Słonecznik czarny	1,50
Dari	1,25

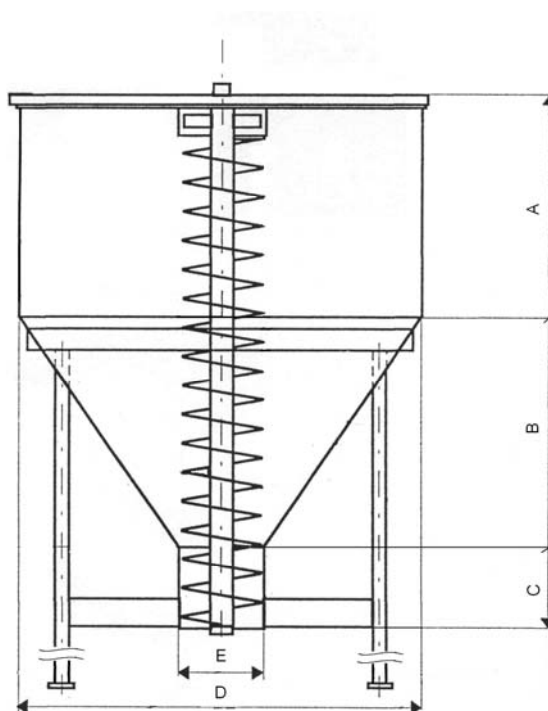
Do badań wykorzystano pionowy mieszalnik z nieruchomą komorą i mieszadłem ślimakowym (podnośnikowym) o działaniu okresowym (rys. 1), o następujących wymiarach:

- 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.

Zainstalowana moc mieszadła wynosi 5,5kW. Masa wszystkich komponentów mieszanki zasypana do zbiornika wynosiła 2000 kg. Mieszanie zasypanego materiału ziarnistego następowało w wyniku ruchu mieszadła ślimakowego mieszalnika oraz w wyniku recyrkulacji składników poprzez przenośnik kubełkowy. Zasypany materiał ziarnisty wysypywał się w miejscu spustu, a następnie kierowany był na przenośnik kubełkowy, skąd trafiał z powrotem do mieszalnika. Czas mieszania składników wynosił 30 minut.

Próby do badań pobierano w sposób dyskretny w miejscu spustu mieszalnika w 30 sekundowych odstępach czasu. W ten sposób otrzymano 60 prób poddanych na-

stępnie analizie pod względem składu gatunkowego nasion. Badania przeprowadzono w dwóch seriach pomiarowych.



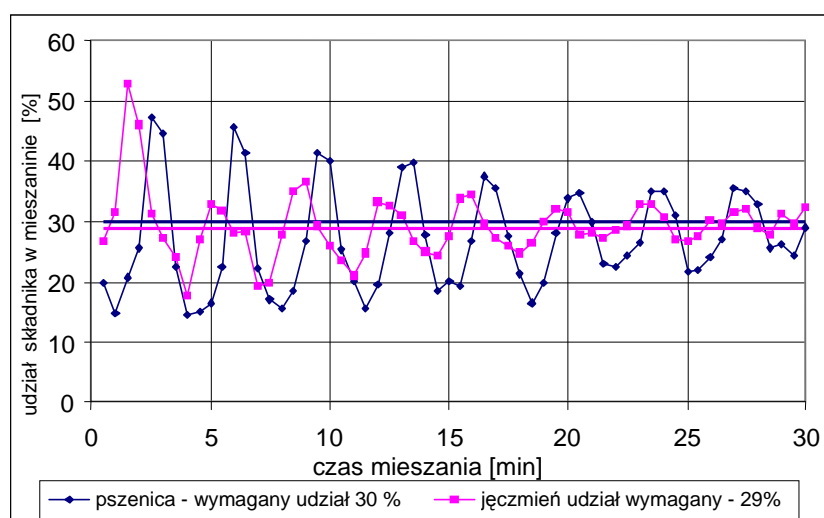
Rys. 1. Mieszalnik pasz

Fig. 1. Pellet mixer

### Wyniki badań pomiarowych

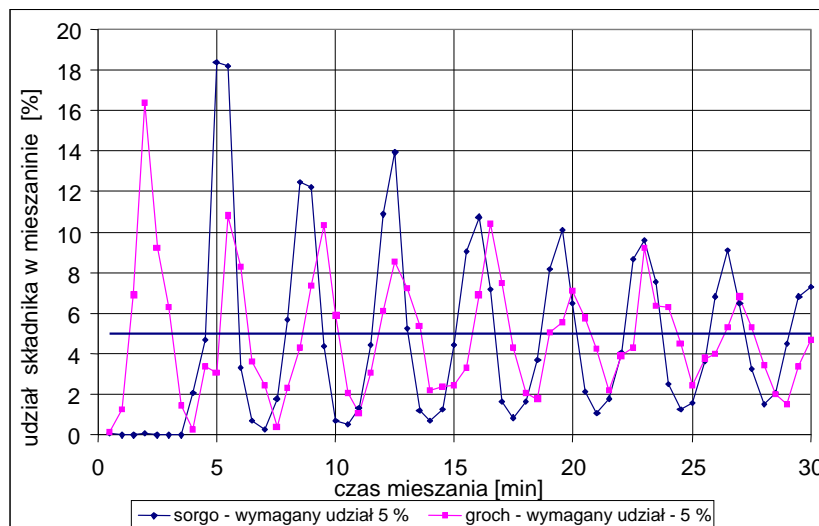
Kolejne próby mieszanki paszy rozdzielono na poszczególne komponenty, a następnie przeprowadzono analizę otrzymanych wyników. W ten sposób otrzymano relację pomiędzy udziałem procentowym poszczególnych składników mieszanki w zależności od czasu mieszania. Charakter zmian procentowych udziałów w zależności od czasu mieszania zaprezentowano na podstawie czterech wybranych składników - pszenicy i jęczmienia (rys. 2) oraz sorgo i grochu (rys. 3).

Analiza każdego wykresu z osobna pokazanego na rys. 2 i 3 nie daje informacji o jakości mieszanki, dlatego też poszukiwano parametru statystycznego porównującego wszystkie udziały komponentów mieszanki w danym punkcie czasowym. Jako parametr do opisu jakości mieszanki wykorzystano resztową sumę kwadratów.



Rys. 2. Zmiana procentowego udziału pszenicy oraz jęczmienia w mieszaninie w zależności od czasu mieszania (dla 1 próby).

Fig. 2. Change in percent share of wheat and barley in mixture in relation to mixing time (for 1 test)



Rys. 3. Zmiana procentowego udziału sorgo i grochu w mieszaninie w zależności od czasu mieszania (dla 1 próby)

Fig. 3. Percentage changes of the sorgo and pea grain during mixing time (for first experiment)

### Analiza statystyczna

Analiza przebiegu zmian procentowych udziałów komponentów w mieszaninie skłoniła do poszukiwania parametru, który określiłby za pomocą jednej, uniwersalnej wartości liczbowej jakość mieszanki w danej jednostce czasu. Do opisu procesu mieszania badanej mieszanki pasz wykorzystano klasyczny model regresji liniowej. Podstawową równością analizy wariancji jest zależność:

$$\sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} \sum (y_i - \bar{y})^2 & - \text{całkowita suma kwadratów,} \\ \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 & - \text{estymowana suma kwadratów,} \\ \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 & - \text{resztowa suma kwadratów,} \end{aligned}$$

Suma po prawej stronie to całkowita suma kwadratów. Jest ona sumą dwóch składników. Pierwszy jej składnik to estymowana suma kwadratów, natomiast drugi to

resztowa suma kwadratów. Do opisu procesu użyto jeden z parametrów regresji liniowej – resztową sumę kwadratów:

$$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

gdzie:

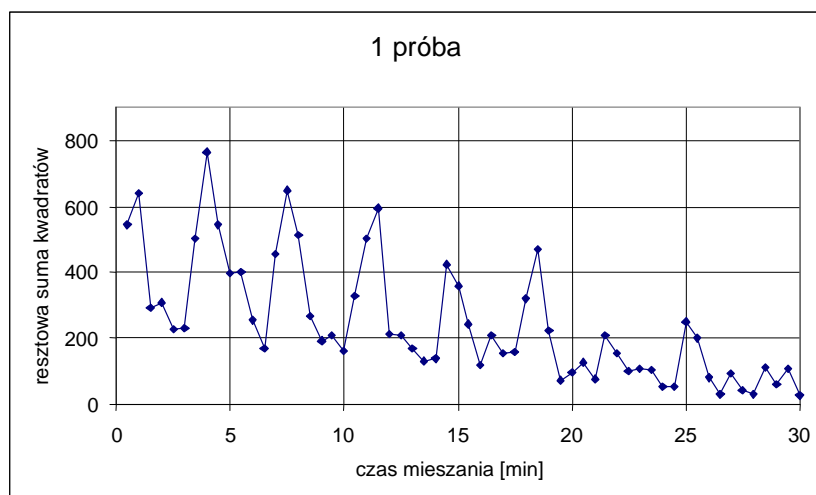
$y_i$  – wartość  $y$  z pomiaru (wartość procentowego udziału danego komponentu w czasie mieszania),

$\hat{y}_i$  – wartość  $y$  z oszacowania otrzymanego z prostej regresji.

Resztowa suma kwadratów jest sumą kwadratów różnic między wartościami  $y$ -ów (wartość udziału danego komponentu w czasie mieszania) i oszacowaniami otrzymanymi z prostej regresji. Gdy suma kwadratów jest równa zero to wszystkie frakcje w określonym punkcie czasowym są równe wartościom docelowym (wymaganym).

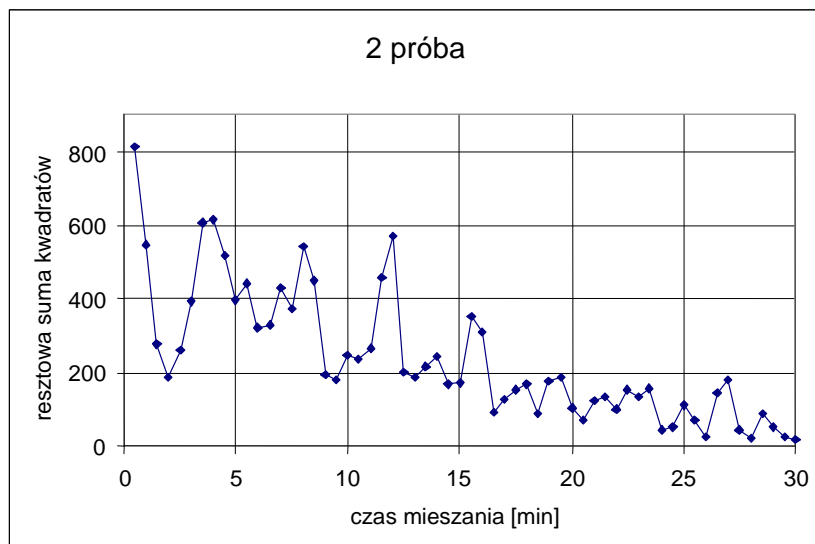
### Wyniki analizy statystycznej

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wyniki analizy statystycznej uzyskanej dla dwóch prób.



Rys. 4. Wykres zmian resztowej sumy kwadratów w zależności od czasu mieszania uzyskany w czasie 30 minut mieszania dla 1 próby

Fig. 4. Diagram of changes in residual sum of squares in relation to mixing time, obtained during 30 minutes of mixing for 1 test



Rys. 5. Wykres zmian resztowej sumy kwadratów w zależności od czasu mieszania uzyskany w czasie 30 minut mieszania dla 2 próby

Fig. 5. Diagram of changes in residual sum of squares in relation to mixing time, obtained during 30 minutes of mixing for 2 test

Analizując wykresy z rysunków 4 i 5 można zaobserwować zarówno charakter przebiegu procesu mieszania, jak również można określić jakość mieszaniny zmieniającą się w czasie kolejnych minut mieszania. Obserwacja przebiegu zmian procentowych udziałów składników (por. rys. 2 oraz rys. 3) daje jedynie informację o charakterze procesu dla poszczególnych komponentów mieszanin. Zastosowanie parametru resztowej sumy kwadratów pozwoliło na wprowadzenie jednego parametru, łączącego w sobie wszystkie udziały składników w kolejnych minutach procesu oraz na porównanie tych udziałów z udziałami docelowymi (wymaganymi) w każdej minucie procesu. Parametr ten jest uniwersalny i może służyć do opisu procesu dla mieszanek pasz o różnym składzie i różnej ilości komponentów.

Na podstawie obserwacji zmian parametru resztowej sumy kwadratów w czasie można określić czas mieszania badanej mieszanki pasz. Dla badanej dziewięcioskładnikowej mieszanki wysunięto wniosek, iż można skrócić czas mieszania. Jako moment, w którym można przerwać mieszanie zaproponowano czas, kiedy parametr resztowej sumy kwadratów ulega stabilizacji, a więc już od 19 minuty dla 1 próby oraz 16 minuty dla próby 2. Skrócenie czasu mieszania wpłynie w wymierny sposób na poprawę ekonomiki procesu.



Dalszym etapem badań będzie przeprowadzenie kolejnej próby dla badanej 9 składnikowej mieszanki pasz ze skróconym czasem mieszania oraz określenie efektu zmieszania w gotowym produkcie opuszczającym mieszalnię pasz.

### **Wnioski**

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Parametr regresji liniowej – resztową sumę kwadratów można wykorzystać do opisu zarówno przebiegu procesu, jak i do określenia czasu mieszania, w którym uzyskamy mieszaninę o wymaganym składzie.
2. Parametr ten jest uniwersalny i może być stosowany dla mieszanek pasz o dowolnej ilości komponentów i w warunkach prowadzenia procesu opisanych w artykule.
3. Analiza otrzymanych wykresów dla 9 składnikowej mieszaniny wykazała, iż czas mieszania może być krótszy, zachowując udziały komponentów zbliżone do udziałów docelowych.
4. Skrócenie czasu mieszania ma wymierny wpływ na poprawę ekonomiki procesu oraz na zwiększenie wydajności pracy mieszalni pasz.

### **Bibliografia**

Boss J. 1991. Czas mieszania materiałów ziarnistych, Studia i monografie, WSI w Opolu.

Boss J. 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN, Warszawa – Wrocław.

Łomnicki A. 2003. Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników. PWN.

Stręk F. 1971. Mieszanie i mieszalniki. WNT.

**OPTIMIZATION OF THE PROCESS INVOLVING PREPARATION  
OF MULTI-COMPONENT FEED FOR PIGEONS IN AN UPRIGHT  
MIXER WITH WORM AGITATOR**

**Summary**

Quality analysis of multicomponent, inhomogeneous grainy mixture in individual time-points of the mixing process allowed to determine process duration required to obtain frequency distribution for shares of separate ingredients that would comply with target shares. The results were presented based on 9-ingredient pigeon feed mixture. The process was carried out in industrial conditions. Residual sum of squares was used to determine mixture quality. Analysis of this parameter changes in time provide grounds to state that mixing time for tested mixture may be shorter than 30 minutes.

**Key words:** granular materials, inhomogeneous granular mixture, feed, upright mixer with worm agitator, residual sum of squares