

WYZNACZENIE EFEKTYWNEGO CZASU MIESZANIA W MIESZALNIKU Z MIESZADŁEM ŚLIMAKOWYM

Jolanta Królczyk, Marek Tukiendorf

Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej, Politechnika Opolska

Streszczenie: Przedmiotem badań była wieloskładnikowa, niejednorodna mieszanina ziarnista będąca układem złożonym z 9 komponentów. Badania prowadzono w mieszalni pasz w mieszalniku z mieszadłem ślimakowym. Do oszacowania zmian jakości mieszaniny w czasie trwania procesu wykorzystano opisywaną we wcześniejszych publikacjach autorów resztową sumę kwadratów. Aby określić efektywny czas mieszania, będący jednocześnie etapem zmian burzliwych, wykorzystano test t-Studenta, w którym sprawdzano statystyczną istotność testu wyznaczoną dla dwóch grup minut – burzliwego i łagodnego mieszania. Dla trzech serii pomiarowych badanej mieszaniny uzyskano różne czasy trwania efektywnego mieszania. Średnio czas trwania tego etapu mieszania trwał 14 minut.

Słowa kluczowe: niejednorodna mieszanina ziarnista, mieszalnik ślimakowy

Wprowadzenie

Jednym z parametrów mieszania jest czas potrzebny do osiągnięcia wymaganego stanu mieszaniny. Wyznaczenie niezbędnego czasu mieszania wynika bezpośrednio z jego kinetyki. W literaturze opisano różne mechanizmy mieszania (konwekcyjne, dyfuzyjne, ścinające, zderzeniowe czy mieszanie przez mielenie). Temat ten nie jest dobrze poznany, zwłaszcza kiedy rozpatrujemy układy wieloskładnikowe i niejednorodne [Boss 1987; Boss 1991; Stręk 1971]. Mieszaniny niejednorodne, złożone ze składników podatnych na segregację, zwykle nie osiągają stanu randomowego. Maksymalny stopień zmieszania zależy głównie od niektórych własności składników (gęstość nasypowa i rozkłady średnic), od typu mieszalnika i od sposobu mieszania [Boss 1991].

Metodyka badań

Do badań wykorzystano 9 składnikową niejednorodną mieszaninę ziarnistą (paszę), której skład i udziały masowe zaprezentowano w tabeli 1. Badania prowadzono w przemysłowym mieszalniku ślimakowym z komorą nieruchomą z pionowym mieszadłem o działaniu okresowym o zasypie 2 000 kg. Mieszanie zasypanego materiału ziarnistego następowało w wyniku ruchu mieszadła ślimakowego z prędkością kątową mieszadła wynoszącą $\omega=7,12 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz w wyniku zewnętrznej recyrkulacji składników poprzez przenośnik kubełkowy. Zasypany do mieszalnika materiał ziarnisty wysypywał się w miejscu spustu z mieszalnika i kierowany był do kosza zasypowego, a następnie poprzez przenośnik

kubełkowy zasypywany był z powrotem do wnętrza mieszalnika. Pełny cykl mieszania od momentu zasypu wszystkich komponentów do wnętrza mieszalnika trwał 30 minut. W tym czasie pobierano próby do badań.

Według założeń producenta mieszalnika zastosowano dodatkowo recyrkulację mającą na celu pozbanienie mieszaniny zanieczyszczeń oraz pokruszonych ziaren, które powstają na skutek sił tarcia w trakcie mieszania oraz uszkodzeń mechanicznych powstałych w czasie transportu ze zbiorników magazynowych do mieszalnika. Dokładna specyfikacja techniczna urządzenia została przedstawiona we wcześniejszych publikacjach autorów [Królczyk i in. 2005a; Królczyk i in. 2005b]. Proces mieszania trwał 30 minut.

Z uwagi na specyficzną dla tego procesu technologicznego recyrkulację składników, próby do badań pobierano w miejscu wysypu z mieszalnika w trakcie całego procesu o odstępach 30 sekundowych. Tak uzyskane próby do badań ręcznie rozdzielano na poszczególne komponenty i następnie ważono. Eksperyment powtórzono trzykrotnie.

Czas prowadzenia procesu mieszania w badaniach eksperymentalnych – 30 minut – wynikał z rzeczywistego czasu pracy urządzenia w mieszalni pasz. Dość nietypowym rozwiązaniem dla tego procesu technologicznego było również zastosowanie zewnętrznej recyrkulacji składników poprzez przenośnik ślimakowy.

Tabela. 1. Udziały procentowe składników mieszanki na wejściu (wymagany skład)

Table. 1. Input components' percentages of the mixture

Komponent mieszanki	Udział procentowy [%]	Udział masowy [kg]
Pszenica	30,00	600
Jęczmień	29,00	580
Kukurydza	16,00	320
Peluszka	10,00	200
Sorgo	5,00	100
Groch	5,00	100
Proso	2,25	45
Słonecznik czarny	1,50	30
Dari	1,25	25

Źródło: *Ovigor*®

Analiza statystyczna została wykonana w dwóch etapach. W pierwszym kroku określono jakość mieszaniny za pomocą resztowej sumy kwadratów. Metodyka tego kroku została szerzej przedstawiona w innym artykule autorów [Królczyk i in. 2005]. Parametr ten określili liczbowo na ile wartości udziałów procentowych poszczególnych komponentów mieszanki pasz w danym punkcie czasu odbiegają od wartości docelowej. Wartość parametru równa 0 oznacza uzyskanie mieszaniny randomowej, a więc zgodnej z wymaganiami producenta (rys. 1, por. tab. 1). Dzięki analizie zmian wartości resztowej sumy kwadratów zaobserwowano charakter procesu i wyróżniono dwa stany w mieszaninie: łagodnych i burzliwych zmian, które różnią się przebiegiem zmian koncentracji komponentów w kolejnych minutach mieszania. Zauważono, iż po pewnym czasie parametr resztowej

sumy kwadratów ulega stabilizacji i jakość mieszaniny nie ulega poprawie. Etap zmian burzliwych można nazwać jednocześnie etapem zmian efektywnego mieszania, ponieważ po tym okresie dalsze mieszanie nie przyniosło poprawy jakości. Na tej podstawie wysunięto wniosek, iż mieszanie można skrócić o etap zmian łagodnych poprawiając wydajność pracy mieszalni i ekonomikę procesu. Jednak arbitralny podział procesu na dwa etapy wymaga matematycznego opisu, który będzie obiektywny i możliwy do zastosowania w przypadku badania efektywnego czasu mieszania dla innych mieszanin ziarnistych mieszanych tą metodą. W tym celu wykorzystano test t-Studenta, w którym sprawdzano statystyczną istotność testu wyznaczoną dla dwóch grup czasowych – burzliwego i łagodnego mieszania. W tym kroku wyraźnie określono granicę pomiędzy różnymi stanami mieszaniny. Wcześniej autorzy zauważyli, iż takiego podziału można dokonać, jednak do jednoznacznego określenia czasu trwania okresu zmian burzliwych, kiedy to jakość mieszaniny znacznie się zmienia (wartości amplitud od wartości docelowej są stosunkowo duże w porównaniu do amplitud pod koniec procesu mieszania), wykorzystano wspomniany test. Następnie zestawiono wartości amplitud wraz z odpowiadającym im czasem procesu mieszania i wykonano test t-Studenta w celu podziału procesu na dwa etapy.

Hipotezę badawczą sformułowano następująco:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$ Nie ma różnicy między pierwszą i drugą grupą czasową. Wyniki pierwszej i drugiej grupy pochodzą z populacji o tych samych średnich, a więc wartości resztowej sumy kwadratów (RSK) zakwalifikowane do pierwszej czasowej burzliwego mieszania nie różnią się statystycznie od drugiej grupy czasowej – łagodnego mieszania.

Hipotezę alternatywną sformułowano wobec tego:

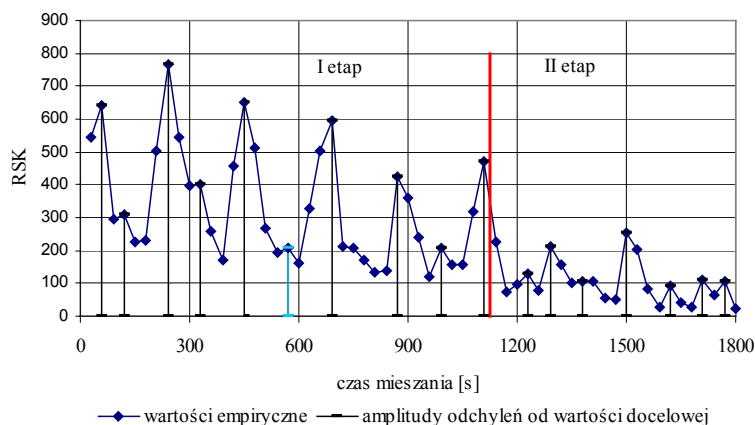
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ Wartości RSK w etapie czasowym zmian burzliwych różnią się od wartości RSK w grupie czasowej zmian łagodnych.

W kolejnych krokach sprawdzano wartości istotności testu dla różnych przypadków podziału procesu. Następnie odrzucono przypadki, w których hipoteza badawcza została przyjęta, a do podziału procesu na dwa etapy wybrano wartość minimalną testu dla grup różniących się statystycznie. Dla trzech serii pomiarowych badanej mieszaniny uzyskano różne czasy trwania efektywnego mieszania. Otrzymane wyniki zaprezentowano na przykładowych rysunkach (rys. 2, rys. 3) oraz zestawiono w tabeli 2.

Wyniki badań i ich analiza

Na wykres zmian resztowej sumy kwadratów w zależności od czasu mieszania naniesiono amplitudy odchylenia od wartości maksymalnych (lokalne maksima funkcji) (rys. 1). Przykładowy wykres (rys. 1) prezentuje granicę przejścia pomiędzy okresem zmian burzliwych i zmian łagodnych. Pionowa linia wyznacza czas, w którym kończy się okres efektywnego mieszania.

W zestawieniu (tab. 2) przedstawiono minimalne wartości istotności testu t-Studenta wraz z podziałem na dwa etapy procesu dla trzech serii badawczych. Czas trwania I i II etapu jest różny dla kolejnych serii pomiarowych badanych mieszanin ziarnistych. W przypadku pierwszej serii badawczej czas efektywnego mieszania wyniósł 18,5 minut, w drugiej serii 12 minut, natomiast w trzeciej 11 minut. Średnia arytmetyczna czasu przebiegu zmian burzliwych wyniosła więc 14 minut.



Rys. 1. Wykres zmian resztowej sumy kwadratów w zależności od czasu mieszania wraz z amplitudami odchyżeń od wartości docelowej i podział procesu mieszania na dwa etapy mieszania: efektywnego (burzliwego) i łagodnego mieszania dla pierwszej serii badawczej

Fig. 1. The graph presented residual sum of squares dependent of mixing time with amplitudes from target value and division of the mixing process into two stages: effective (turbulent) and mild mixing for the first research series

Tabela 2. Podział procesu na etapy mieszania za pomocą testu t-Studenta

Table 2. The division of the process into mixing stages based on Students' t-Test

Numer serii badawczej	Minimalna wartość istotności testu t-Studenta	Etapy procesu	
		Efektywny czas mieszania - burzliwe zmiany	Łagodne zmiany
1 próba	0,0006957	Czas mieszania [s]	
		30 - 1110	1140 - 1800
		Czas mieszania [minuty]	
		0,5 - 18,5	19 - 30
2 próba	0,0000527	Czas mieszania [s]	
		30 - 720	750 - 1800
		Czas mieszania [minuty]	
		0,5 - 12	12,5 - 30
3 próba	0,0010338	Czas mieszania [s]	
		30 - 660	690 - 1800
		Czas mieszania [minuty]	
		0,5 - 11	11,5 - 30
Średni czas trwania I etapu - średnia z 3 pomiarów = 845 [s] (14 minut i 5 s)			

Źródło: obliczenia własne autorów

Z przeprowadzonej analizy statystycznej oraz na podstawie wcześniejszych badań autorów można powiedzieć, iż czas mieszania można skrócić o połowę. Ten fakt ma istotne znaczenie z uwagi na czas pracy mieszalnika. Krótszy czas pracy mieszalnika, pozwoli w przypadku tej mieszanki na zwiększenie wydajności o 20%. Uzyskana wartość 20% wynika bezpośrednio z łącznego czasu pracy mieszalnika w ciągu 8 godzin pracy mieszalni. Mieszalnia wytwarza zazwyczaj 4 mieszanki dziennie. Tak więc na każdą mieszankę przypada po 2 godziny. Skrócenie czasu mieszania o połowę pozwoliłoby uzyskać dodatkową godzinę w skali jednej zmiany. Innym, mniej istotnym aspektem, jest zmniejszenie nakładów energetycznych ponoszonych podczas pracy mieszalnika i odpylaczy.

Wnioski

1. Zastosowanie testu t-Studenta jest skutecznym narzędziem statystycznym do wyznaczenia granicy przejścia z okresu zmian burzliwych do zmian łagodnych podczas mieszania wieloskładnikowych niejednorodnych układów ziarnistych.
2. Okres zmian burzliwych procesu mieszania jest jednocześnie okresem efektywnego mieszania i dalsze mieszanie po tym etapie nie przynosi wyraźniej poprawy jakości mieszanki.
3. Średnio czas trwania etapu efektywnego mieszania trwał 14 minut, a więc proces mieszania można z pewnością skrócić co najmniej o połowę.
4. Skrócenie czasu mieszania badanej mieszanki ziarnistej (paszy) może pozwolić na zwiększenie wydajności pracy mieszalni pasz o 20%.

Bibliografia

- Boss J.** 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN, Warszawa – Wrocław. ISBN 83-01-07058-7.
- Boss J.** 1991. Czas mieszania materiałów ziarnistych. WSI w Opolu, Studia i Monografie. Z. 39. ISSN 0239-5991.
- Królczyk J., Tukiendorf M.** 2005. Modelowanie udziałów wieloskładnikowej paszy za pomocą funkcji harmonicznej. Inżynieria Rolnicza. Nr 3(78) Kraków. s. 191-201.
- Królczyk J., Tukiendorf M.** 2005. Zależność przebiegu mieszania układu wieloskładnikowego od udziału składników oceniana analizą skupień. Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria 4(2). s. 21-30.
- Królczyk J., Tukiendorf M.** 2008. Określenie czasu mieszania wieloskładnikowego układu ziarnistego podczas mieszania z recyrkulacją składników. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(96). Kraków. s. 127-132.
- Strępek F.** Mieszanie i mieszalniki. WNT 1971. ISBN 83-204-0289-1.

DETERMINING OF EFFECTIVE MIXING TIME IN A MIXER WITH WORM AGITATOR

Abstract. The subject of research was a multicomponent, heterogeneous, granular blend consisting of 9 compounds. The research was carried out in fodder mixing plant in a mixer with worm agitator. Residual sum of squares described in earlier authors' publications was applied to estimate changes in blend quality during the process. t-Student test was used to determine effective mixing time which was simultaneously the stage of rapid changes. The t-Student test allowed to verify statistic relevance of test determined for two groups of minutes – rapid and mellow mixing. Different times of effective mixing were obtained for three measuring series of tested mixture. Average time was 14 minutes.

Key words: heterogeneous granular blend, worm agitator

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