

## METODY OCENY HOMOGENICZNOŚCI MIESZANIN ZIARNISTYCH I SYPKICH

*Dominika Matuszek*

*Katedra Inżynierii Biosystemów, Politechnika Opolska*

**Streszczenie.** W pracy zaprezentowano stan i kierunki rozwoju wiedzy w zakresie oceny homogeniczności mieszanin ziarnistych i sypkich skupiając się szczególnie na branży rolno-spożywczej. Jednorodność mieszanin decyduje o wartości produktu. Intensywny rozwój technologii produkcji pasz oraz wzrastające wymagania jakościowe wymuszają poszukiwanie innowacyjnych rozwiązań pozwalających w szybki i precyzyjny sposób ocenić jakość mieszanki, minimalizując wpływ na proces produkcyjny. W Polsce metodą referencyjną oceny homogeniczności mieszanek paszowych jest analiza stopnia wymieszania składnika kluczowego w oparciu o oznaczanie zawartości chlorków lub węglanów. Rozwój technik komputerowych pozwolił na zastosowanie innowacyjnej metody oceny jednorodności mieszanin ziarnistych w oparciu o analizę obrazu. Metoda, która znalazła zastosowanie do oceny homogeniczności mieszanek paszowych wykorzystuje analizę zawartości składnika kluczowego tzw. Microtracera<sup>®</sup>. W pracy opisano także inne metody, które znalazły swoje zastosowanie w warunkach laboratoryjnych oraz przemysłowych charakterystyczne dla innych gałęzi przemysłu.

**Słowa kluczowe:** mieszanina ziarnista, mieszanina sypka, pasza, homogeniczność

### Wstęp

Proces mieszania składników ziarnistych decyduje o jakości produktu w wielu gałęziach przemysłu jak: przemysł farmaceutyczny, chemiczny, budowlany oraz przemysł rolniczy i spożywczy (Roberts, 2006; Radl i in., 2010). Jest to zarazem proces skomplikowany i trudny do teoretycznego ujęcia, gdyż na operację tę ma wpływ wiele zmiennych czynników. Pomimo znaczenia tego procesu jego zrozumienie i opisanie jest nadal niepełne. Poszczególne właściwości jak: gęstość, stopień rozdrobnienia, naturalny kąt usypu, wilgotność itd. mieszanych komponentów wpływają na jakość uzyskiwanych produktów (Boss, 1987; Grochowicz, 1996). Według wielu autorów najistotniejsze znaczenie ma wielkość cząstek, których zróżnicowanie odpowiada za proces segregacji (Ottino i Khakhhar, 2000; Alexander i in., 2003; Yang, 2006; Obregón i in., 2010). Jednorodność składu mieszaniny w całej jej objętości ma kluczowe znaczenie w odpowiednim żywieniu zwie-

rząt. Częstym problemem związanym z produkcją pasz jest wyznaczenie czasu niezbędnego do uzyskania produktu o odpowiedniej homogeniczności. Pomimo posiadania podstawowych informacji o czasie trwania procesu mieszania dla danego typu mieszarki, specyfika komponentów paszowych wymaga przeprowadzenia szeregu badań w ściśle określonych i indywidualnych warunkach (Amornthewaphat i in., 1998).

Mieszanki ziarniste i sypkie stanowią układy wielokomponentowe, co często nie pozwala na separację poszczególnych składników i określenie ich zawartości w danej próbce, szczególnie w warunkach przemysłowych. Zatem ocena stanu mieszaniny sprowadza się do statystycznego określenia rozkładu koncentracji trasaera (wskaźnika) w wybranych punktach złoza, występującego w mieszaniu lub dodanego celowo, w wybranych punktach złoza. Do oceny homogeniczności mieszanin ziarnistych można wykorzystać metody oparte na analizie zawartości chlorków, wapnia, niektórych środków farmakologicznych oraz szereg metod opartych na analizie rozkładu i zawartości specjalnie barwionych cząstek.

Niektóre z najnowszych rozwiązań jak np. zastosowanie komputerowej analizy obrazu są wykorzystywane jako precyzyjne narzędzia badawcze zwłaszcza w warunkach laboratoryjnych (Matuszek i Tukiendorf, 2007).

Wśród wielu rozwiązań można wyszczególnić metody pozwalające na obserwację rozmieszczenia cząstek w sposób ciągły co jest szczególnie przydatne w warunkach przemysłowych oraz wymagające ingerencji w cykl technologiczny w celu pobrania próbek.

W pracy zaprezentowano stan i kierunki rozwoju wiedzy w zakresie oceny homogeniczności mieszanin ziarnistych i sypkich stosowane szczególnie w przemyśle rolnospożywczym. Przedstawiono, także rozwiązania testowane w mieszaniu innych komponentów ze względu na ich szczególne znaczenia w rozwoju danego obszaru badań.

### **Separacja ręczna**

Analiza homogeniczności mieszanek ziarnistych szczególnie pasz wymusza niejednokrotnie stosowanie metod segregacji ręcznej lub sitowej poszczególnych składników lub frakcji. Tego typu metody są nadal stosowane pomimo dużej uciążliwości, gdyż pozwalają na obserwację rozkładu wszystkich składników lub poszczególnych frakcji. Zatem informacja o stanie mieszanki jest dokładniejsza.

Ręczną separację nasion na przykładzie zbóż opisali Bowszys i Rogowski (1999). W metodzie tej dokonali podziału nasion na trzy frakcje: całe ziarna, połamane ziarna, nieużyteczne zanieczyszczenia (plewa, części chwastów). W ten sposób autorzy oceniali stopień samosegregacji nasion pszenicy i kukurydzy podczas wysypu z silosu.

Królczyk i Tukiendorf (2006) w swoich badaniach, także stosowali separację ręczną. W tym przypadku oceniana była homogeniczność pasz dla gołębi stanowiących wielokomponentowe mieszanki całych ziaren powstających w warunkach przemysłowych. Mieszanie prowadzone było w stożkowym mieszalniku pionowym z mieszadłem ślimakowym. Analiza udziału poszczególnych składników pozwoliła na ocenę pracy mieszarki i wyznaczenie optymalnego czasu mieszania.

### Metody wskaźnikowe i optyczne

Metody wskaźnikowe czyli metody wykorzystujące analizę zawartości składnika kluczowego, który może stanowić naturalny składnik mieszaniny lub wskaźnik dodany celowo przed rozpoczęciem procesu mieszania. Do śledzenia udziału wskaźnika wykorzystywane są różne techniki.

W Polsce metodą obowiązującą i zarazem najczęściej stosowaną jest badanie poziomu węglanów lub chlorków w 5 próbach. Analiza wykonywana jest zgodnie z instrukcją Głównego Lekarza Weterynarii w pracowniach chemicznych (Instrukcja Głównego Lekarza Weterynarii, 2005). Obecnie jest to w kraju jedyna metoda referencyjna uznawana przez Instytucje Państwowe.

Interesującym rozwiązaniem jest metodyka oparta na analizie zawartości Microtracera w próbkach paszy, która znalazła swoje zastosowanie szczególnie w warunkach przemysłowych (Eisenberg, 1992). Metoda ta została opracowana i opatentowana przez Micro-Tracers Inc. (Micro Tracers Inc, San Francisco). Jest oparta na zliczaniu opiłków żelaza pokrytych barwnikiem spożywczym celowo wprowadzanych do mieszarki przed rozpoczęciem procesu mieszania. Wskaźnik (Microtracer) posiada ściśle określoną ilość opiłków w jednostce masy. Dokładnie ustalona masa wskaźnika wprowadzona do mieszarki pozwala na obserwację jego zawartości w objętości mieszanego złoża lub w opakowaniach produktu finalnego. Wskaźnik separowany jest z próbek paszy przy wykorzystaniu detektora rotacyjnego (rys. 1). Wychwycone opiłki tworzą na papierze filtracyjnym barwne punkty, które są następnie zliczane (rys. 2). Stosowanie tego typu wskaźnika nie stanowi zagrożenia dla skarmianych taką paszą zwierząt. Przydatność tej metody jako szybkiego a zarazem precyzyjnego narzędzia oceny homogeniczności pasz szczególnie w warunkach przemysłowych wskazano w wielu pracach (Eisenberg, 1998; Karbowy i Rynkiewicz, 2006; Djuragic i in., 2009; Matuszek, 2012). Zastosowanie tego rozwiązania jest jednak ograniczone w przypadkach gdy: mieszarka wyposażona jest w magnesy lub substancje płynne zadawane są bezpośrednio do mieszarki.

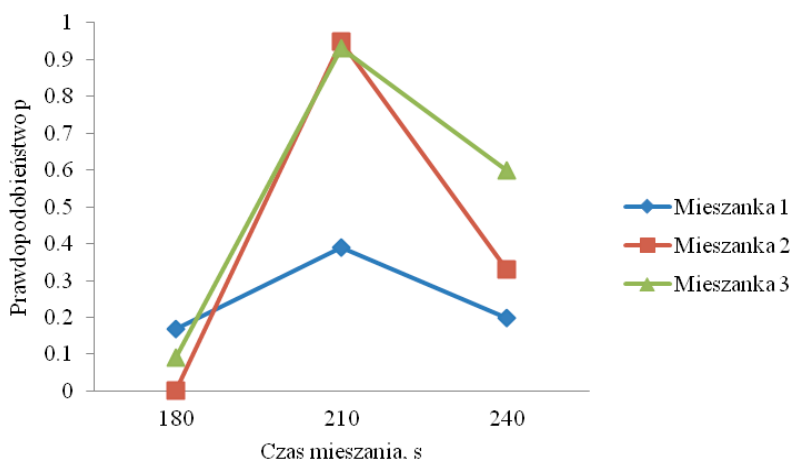


Rysunek 1. Detektor rotacyjny  
Figure 1. Rotational detector



Rysunek 2. Barwne punkty Microtracera  
Figure 2. Colourful point of Microtracer

Opisaną metodę zastosowano w badaniach homogeniczności mieszanek paszowych (3 mieszanki) w warunkach przemysłowych, prowadzonych przez autora. Badania dotyczyły analizy pracy mieszarki poziomej łopatej dla czasów 180 s, 210 s i 240 s. Szczegółowe dane dotyczące mieszarki oraz metodyki przedstawiono w pracy Matuszek (2012). Do badań wykorzystano wskaźnik Microtracer F-Blue o zawartości 25000 opiłków żelaza w 1 g. Zadanie określonej ilości wskaźnika przed rozpoczęciem procesu mieszania pozwoliło na obserwację jego udziału w poszczególnych próbach pobranych z wnętrza mieszarki. Uzyskane wyniki zawartości wskaźnika posłużyły do obliczenia statystyki  $\chi^2$  (chi-kwadrat) dla wartości oczekiwanych. Do oceny homogeniczności paszy wykorzystano wartość prawdopodobieństwa  $p$  statystyki przy założeniu, że  $p=0$  odnosi się do najgorszych rezultatów a  $p=1$  wskazuje na uzyskanie 100% zgodności liczebności obserwowanych do oczekiwanych. Wyniki zaprezentowano w sposób graficzny (rys. 3).

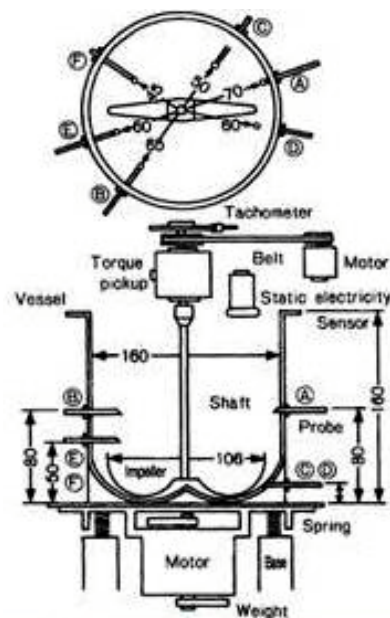


Rysunek 3. Zmiana wartości prawdopodobieństwa dla różnych czasów mieszania pasz  
Figure 3. Change of the probability value for different times of mixing fodders

Uzyskane wyniki wskazują na wpływ czasu mieszania na stopień homogeniczności analizowanych pasz. Najlepsze rezultaty w przypadku każdej z analizowanych mieszanek uzyskano dla czasu wynoszącego 210 s. Skrócenie oraz wydłużenie czasu mieszania powoduje pogorszenie jednorodności mieszanin. W oparciu o zaprezentowaną metodykę dokonano weryfikacji czasu rekomendowanego przez producenta. Zdecydowaną zaletą metody jest możliwość przeprowadzenia analizy w krótkim czasie na miejscu w wytwórni.

Metodę opartą na analizie rozkładu barwionej przy użyciu erytromycyny laktozy do oceny stopnia zmieszania proszków środków leczniczych z substancjami obojętnymi wykorzystywanych w recepturach aptecznych zaprezentowali Nakamura i in. (2004 a, b).

Analiza homogeniczności mieszanek ziarnistych i sypkich z wykorzystaniem metod optycznych do śledzenia udziału składnika kluczowego w sposób ciągły była przedmiotem



Rysunek 4. Mieszalnik z zainstalowanymi sensorami optycznymi (Satoh i Miyanami, 1988)

Figure 4. Mixer with mounted optical sensors (Satoh and Miyanami, 1988)

badań wielu autorów. Jedną z pierwszych prac na ten temat przedstawili Satoh i Miyanami (1988). Metoda wykorzystana została do analizy homogeniczności mieszanin sypkich (układów dwuskładnikowych różniących się zabarwieniem) uzyskiwanych w mieszarce o konstrukcji prostego pionowego zbiornika wyposażonego w mieszadło (rys. 4).

Metodyka opierała się na ciągłej analizie intensywności światła odbitego przez powierzchnię barwionych cząstek przy użyciu wysoko-czułych fotometrów. Źródłem światła były sondy stanowiące pary światłowodów. W zbiorniku mieszarki zainstalowano pięć par światłowodów w różnych miejscach. Na tej podstawie określano koncentrację składnika kluczowego oraz stopień zmieszania. Opisaną metodykę zastosowali, także Poux i in. (1995) w mieszaniu materiałów sypkich w złożu fluidalnym. Podobną metodykę opisali w pracy Weinekötter i Reh (1994), gdzie ocenie homogeniczności podlegał układ dwuskładnikowy o zróżnicowanym zabarwieniu (węgiel krzemu, wodorotlenek glinu). W tym doświadczeniu wykorzystano i zweryfikowano przydatność trzech rodzajów światłowodów. Przedstawiona metoda znalazła zastosowanie w warunkach laboratoryjnych, szczegól-

nie do stałego śledzenia koncentracji składnika kluczowego oraz co ważne do szacowania wydajności mieszarki i wyznaczenia optymalnych warunków prowadzenia procesu (Alonso i Alguacil, 1999).

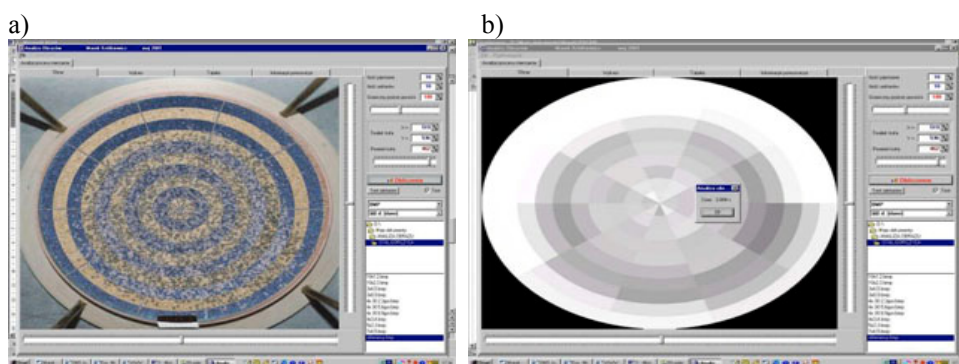
Karumanchi i in. (2011) zaproponowali metodę opartą na fluorescencji wzbudzonej laserowo (LIF), którą zastosowali do oceny homogeniczności proszków powstających w przemyśle farmaceutycznym przy użyciu mieszalnika poziomego obrotowego. W doświadczeniu wykorzystano granulki farmaceutycznej fluorescencyjnie czynnej substancji (API). Do wykrywania i rejestrowania promieniowania fluorescencyjnego w pobranych próbach zastosowano sensory LIF, wyposażone w ksenonowe lampy błyskowe i fotopowielacz. Uzyskane w ten sposób dane dotyczące rozkładu składnika kluczowego posłużyły do wyznaczenia optymalnego czasu pracy mieszarki. Zaproponowane narzędzie nie jest jednak na tyle czułe aby wykrywać potencjalne martwe strefy w mieszarce.

### Komputerowa analiza obrazu

Interesującą metodą analizy jakości mieszaniny jest komputerowa analiza obrazu. Warunkiem jej użycia jest cyfrowe zatrzymanie obrazów przekrojów złoża. Komponenty analizowanych mieszanek powinny różnić się kolorami, co stanowi ograniczenie w wykorzy-

staniu tej metody. Przetwarzanie obrazów pozwala na łatwą analizę zdjęć. Stosując odpowiednią operację przetwarzania obrazów uzyskuje się informacje, które w rzeczywistości nie są rozróżniane przez układ wzrokowy człowieka (Boss, 2002).

Zastosowanie fotograficznej analizy obrazu w technologii materiałów ziarnistych zaproponowali Boss i in., (2002). Metodyka polegała na pozyskiwaniu zdjęć poszczególnych przekrojów poprzecznych mieszalnika przesypowego a następnie na ich analizie przy wykorzystaniu oprogramowania komputerowego. Oprogramowanie służyło do szacowania udziału składnika kluczowego, różniącego się zabarwieniem, z możliwością podziału analizowanego obszaru na sektory (rys. 5 a,b).



Rysunek 5. Komputerowa analiza obrazu przekroju poprzecznego a) podział obszaru na sektory b) udział traseru w odcieniach szarości (Tukiendorf, 2003)

Figure 5. Computer analysis of the cross-section image a) division of the area into sectors b) participation of the tracer in greyscale (Tukiendorf, 2003)

Opisana metodyka została wykorzystana, także przez autora pracy (Matuszek i Tukiendorf, 2007) do analizy rozkładu traseru w mieszaniu układów dwuskładnikowych metodą wysypu kominowego. Wykorzystując skalę RGB-256 zamieniano naturalne kolory składników (ziaren wyki i gorczycy) na odcienie szarości. Następnie punktom białym przydzielano wartość 0 natomiast czarnym wartość 1. Zastosowane rozwiązanie posłużyło do oceny wpływu dodatkowych elementów daszkowych instalowanych wewnątrz mieszalnika na jednorodność uzyskiwanej mieszanki.

## Podsumowanie

W przypadku oceny jednorodności pasz ważny jest udział każdego z komponentów. Jednak ze względu na specyfikę tego typu mieszanin niejednokrotnie nie ma możliwości separacji układu na poszczególne komponenty. Ponadto są to metody bardzo czasochłonne i uciążliwe głównie w warunkach przemysłowych. Dlatego szczególnego znaczenia nabierają metody oparte na analizie zawartości składnika kluczowego. Kierunek rozwoju badań w tym obszarze wskazuje zdecydowanie na zastosowanie metod wskaźnikowych rezygnując z metod separacji ręcznej czy sitowej. Zaprezentowane metody wykorzystują różne

techniki, co jest wynikiem rozwoju szeregu technologii szczególnie optycznych. Metody wykorzystujące intensywność światła odbitego przez różniące się zabarwieniem składniki, rejestrująca intensywność promieniowania UV czy wykorzystujące komputerową analizę obrazu mogą służyć do określania optymalnych parametrów pracy mieszarek w warunkach laboratoryjnych w sposób stały lub ciągły. Metodą wskaźnikową, która znalazła zastosowanie w warunkach przemysłowych jest metoda oparta na analizie zawartości celowo dodanego do mieszarki Microtracera. W Polsce jedyną referencyjną metodą jest analiza chemiczna zawartości chlorków lub węglanów, wykonywana w certyfikowanych laboratoriach. Warto zainteresować się metodami alternatywnymi, które z powodzeniem sprawdzają się i są stosowane w wielu krajach.

Opisane metody nie mają zastosowania uniwersalnego, co wynika z dużej różnorodności mieszanek ziarnistych i sypkich, technologii ich produkcji oraz złożoności samego procesu mieszania. Warto zwrócić uwagę, na to iż zagadnienie będące tematem opracowania jest przedmiotem badań wielu autorów i jest nadal aktualne.

Opracowanie wskazuje rozwiązania stosowane nie tylko w ocenie mieszanek powstających w rolnictwie jak pasze, ale także mieszanek powstających w przemyśle farmaceutycznym. Poszukiwanie i ulepszanie istniejących metod wymaga stałego śledzenia zagadnień związanych z mieszaniem składników sypkich i ziarnistych charakterystycznych nie tylko dla przemysłu rolniczego, ale także wielu innych.

## Bibliografia

- Alexander, A.; Muzzio, F. J.; Shinbrot, T. (2003). Segregation patterns in V-blenders. *Chemical Engineering Science*, 58(2), 487-496.
- Alonso, M.; Alguacil, F.J. (1999). Dry mixing and coating of powders. *Revista de Metalurgia*, 35, 315-328.
- Amornthewaphat, N.; Behnke, K.; Hancock, J. (1998). *Effects of particle size and mixing time on uniformity and segregation in pig diets*. Kansas State University. Swine Day. Pozyskano z: <http://www.microtracers.com/upload/File/MMorNN0001.pdf>
- Boss, J. (1987). *Mieszanie materiałów ziarnistych*. Warszawa, PWN, ISBN 83-01-07058-7.
- Boss, J. (2002). Współczesne problemy mieszania materiałów ziarnistych. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 4, 31-34.
- Boss, J.; Krótkiewicz, M.; Tukiendorf, M. (2002). Porównanie metod oceny jakości stanu mieszaniny ziarnistej podczas mieszania w przesypie. *Inżynieria Rolnicza*, 4(37), 27-32.
- Bowszys, J.; Rogowski, J. (1999). Preliminary studies on the application on the spreading chute for batching range cereal silos. *Technical Sciences*, 2, 5-11.
- Djuragic, O.; Levic, J.; Sredanovic, S.; Lević, L. (2009). Evaluation of homogeneity in feed by method of microtracers®. *Archiva Zootechnica*, 12:4, 85-91.
- Eisenberg, D. (1992). Markers in mixing testing: closer to perfection. *Feed Management*, 43, 8-11.
- Eisenberg, D. (1998). The use of Microtracers® F (colored uniformly sized iron particles) in coding the presence of coccidiostats in poultry feeds: Practical Implications. *Zootechnica International*, 46-50. Pozyskano z: <http://www.microtracers.com/upload/File/itemmm.html>.
- Grochowicz, J. (1996). *Technologia produkcji mieszanek paszowych*. Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, ISBN 83-09-01656-5.

- Karbowy, A.; Rynkiewicz, M. (2006). Ocena wpływu prędkości obrotowej ślimaka mieszającego z pionowym elementem roboczym na stopień zmieszania komponentów paszy. *Inżynieria Rolnicza*, 3(78), 89-93.
- Karumanchi, V.; Taylor, M. K.; Ely, K. J.; Stagner, W. C. (2011). Monitoring powder blend homogeneity using light-induced fluorescence. *AAPS PharmSciTech*, 12(4), 1031-1037. Pozyskano z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3225521/>
- Królczyk, J.; Tukiendorf, M. (2006). Optymalizacja procesu sporządzania wieloskładnikowej paszy dla gołębi w pionowym mieszalniku z mieszadłem ślimakowym. *Inżynieria Rolnicza*, 12(87), 267-275.
- Matuszek, D.; Tukiendorf, M. (2007). Komputerowa analiza obrazu w ocenie mieszania niejednorodnych układów ziarnistych (system funnel-flow). *Inżynieria Rolnicza*, 2(90), 183-188.
- Matuszek, D. (2012). Analiza procesu mieszania paszy dla drobiu w przemysłowej wytwórni pasz. *Inżynieria Rolnicza*, 2(136) T.1, 213-220.
- Nakamura, H.; Yanagihara, Y.; Sekiguchi, H.; Komada, F.; Kawabata, H.; Ohtani, M.; Saitoh, Y.; Kariya, S.; Suzuki, H.; Uchino, K.; Iga, T. (2004a). Effect of mixing method on the mixing degree during the preparation of triturations. *Yakugaku Zasshi*, 124(3), 127-134.
- Nakamura, H.; Yanagihara, Y.; Sekiguchi, H.; Ohtani, M.; Kariya, S.; Uchino, K.; Suzuki, H.; Iga, T. (2004b). Effect of particle size on mixing degree in dispensation. *Yakugaku Zasshi*, 124(3), 135-139.
- Obregón, L.; Realpe, A.; Velázquez, C. (2010). Mixing of granular materials, part II: effect of particle size under periodic shear. *Powder Technology*, 201, 193-200.
- Ottino, J. M.; Khakhar, D. V. (2000). Mixing and segregation of granular materials. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 32, 55-91.
- Poux, M.; Lescure, M.; Steinmetz, D.; Bertrand, J. (1995). Optical sensors for the characterization of powder mixtures. *Sensors and Actuators A: Physical*, 47, 494-496
- Radl, S.; Kalvoda, E.; Glasser, B.J.; Khinast J.G. (2010). Mixing characteristics of wet granular matter in a bladed mixer. *Powder Technology*, 200, 171-189.
- Roberts, A.W. (2006). Bulk solids handling an historical overview and current developments. *Bulk Solids Handling*, 26, 392-414.
- Satoh, M.; Miyanami, K. (1988). *Continuous measurement of degree of mixing in powder mixer by an optical method*. Bulletin of University of Osaka Prefecture. Series A, Engineering and Natural Sciences, 36(2), 141-148. Pozyskano z: <http://hdl.handle.net/10466/8456>
- Tukiendorf, M. (2003). Characteristics of mixing granular materials achieved by using methods of variance analysis and geostatistical functions. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 6, 1. Pozyskano z: <http://www.ejpau.media.pl/volume6/issue1/engineering/art-03.html>
- Weinekötter, R.; Reh, L. (1994). Characterization of particulate mixtures by in-line measurements. *Particle & Particle Systems Characterization*, 11, 4, 284-290.
- Yang, S. C. (2006). Density effect on mixing and segregation processes in a vibrated binary granular mixture. *Powder Technology*, 164(2), 65-74.
- Instrukcja Głównego Lekarza Weterynarii Nr G/Wpuf.512lab.1/2005 z dnia 9 listopada 2005 w sprawie oceny homogeniczności mieszanek paszowych na podstawie badania stopnia wymieszania składnika kluczowego.



## ASSESSMENT METHODS OF GRANULAR AND LOOSE MIXTURES HOMOGENEITY

**Abstract.** The paper presents the condition and science development trends concerning assessment methods of granular and loose mixtures homogeneity focusing in particular on agri-food industry. Homogeneity of mixtures determines the product value. Intensive development of production technology and the increasing quality requirements force to search for innovative solutions allowing a fast and precise way to assess the mixture quality, which minimizes the impact on the production process. In Poland, the analysis of the mixing degree of the key component based on determination of the chloride and carbonate content is a reference method of assessing homogeneity of fodder mixtures. Development of computer techniques allowed the use of innovative method of assessing homogeneity of granular mixtures based on the image analysis. The method, which was applied for assessment of homogeneity of fodder mixtures uses the analysis of the key component content the so called Microtracer<sup>®</sup>. Moreover, other methods, which are applied in laboratory and industrial conditions, characteristic for other industrial branches, were described in the paper.

**Key words:** granular mixture, loose mixture, fodder, homogeneity

**Adres do korespondencji:**

Dominika Matuszek e-mail: [d.matuszek@po.opole.pl](mailto:d.matuszek@po.opole.pl)

Katedra Inżynierii Biosystemów

Politechnika Opolska

ul. Mikołajczyka 5

45-271 Opole



*Dofinansowanie ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Opolu*