

AUTOREFERAT

1. Dane osobowe:

Imię i nazwisko: Dominika Matuszek

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Stopień doktora 12 września 2007

Wydział Mechaniczny Politechniki Opolskiej

Dyscyplina: Budowa i eksploatacja maszyn

Tytuł rozprawy doktorskiej: Modelowanie parametrów procesu mieszania materiałów ziarnistych w mieszalniku przesypowym

Promotor: prof. dr hab. inż. Marek Tukiendorf

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Henryk Komsta

prof. dr hab. inż. Janusz Boss

Tytuł zawodowy magistra inżynieria 22 czerwca 2004 roku

Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, kierunek Inżynieria Środowiska, specjalność gospodarka wodno-ściekowa

Tytuł pracy magisterskiej: Wpływ osadu ściekowego na przyrost biomasy wierzby energetycznej na podstawie przeprowadzonych badań.

Promotor: prof. dr hab. inż. Roman Ulbrich

Tytuł zawodowy licencjata 23 czerwca 2017 roku

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nysie, kierunek Dietetyka, specjalność Dietetyka Kliniczna.

Tytuł pracy licencjackiej: Ocena stanu odżywienia osób starszych

Promotor: dr hab. inż. Joanna Wyka, prof. nadzw.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

05.06.2013 – nadal	Adiunkt w Katedrze Inżynierii Biosystemów Wydziału Inżynierii Produkcji i Logistyki Politechniki Opolskiej
31.12.2012 – 04.06.2013	Adiunkt w Katedrze Techniki Rolniczej i Leśnej Wydziału Inżynierii Produkcji i Logistyki Politechniki Opolskiej
01.07.2008 – 30.12.2013	Adiunkt w Katedrze Techniki Rolniczej i Leśnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej
01.07.2007 – 30.06.2008	Asystent w Katedrze Techniki Rolniczej i Leśnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej
01.10.2004 – 30.06.2007	Doktorant w Katedrze Techniki Rolniczej i Leśnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym:

4.1 Jednotematyczny cykl publikacji – wykaz

W skład jednotematycznego cyklu publikacji pod tytułem „Zastosowanie znaczników fluorescencyjnych w ocenie homogeniczności mieszanin ziarnistych” stanowiącego osiągnięcie naukowe uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora wlicza się 6 publikacji naukowych. W skład cyklu wchodzi publikacja przeglądowa (poz. 1), publikacja koncepcyjna zastosowania znaczników fluorescencyjnych (poz. 2) oraz publikacje przedstawiające wyniki poszczególnych testów i metodykę zastosowania znaczników fluorescencyjnych do oceny homogeniczności mieszanek ziarnistych (poz. 3-6).

1. Matuszek D. Metody oceny homogeniczności mieszanin ziarnistych i sypkich. Inżynieria Rolnicza, 2013, 3(145) T1, 255-264 (lista B, 5 pkt)
Indywidualny wkład: autor korespondencyjny, całokształt prac związanych z badaniami i przygotowaniem manuskryptu (100%).
2. Matuszek D., Szwedziak K. Zastosowanie znaczników fluorescencyjnych w ocenie homogeniczności mieszanek paszowych. Monografia Problemy intensyfikacji produkcji

zwierzęcej z uwzględnieniem infrastruktury, ochrony środowiska i produkcji energii odnawialnej, Warszawa 2013, 160-166 (rozdział w monografii, 4 pkt)

Indywidualny wkład: autor korespondencyjny, przeprowadzenie studiów literaturowych, współpraca w przygotowaniu części maszynopisu dotyczącego komputerowej analizy obrazu, przeprowadzenie badań, analiza wyników, wnioski, przygotowanie maszynopisu (90%).

3. Matuszek D., Wojtkiewicz K. Application of fluorescent markers for homogeneity assessment of grain mixtures based on maize content. Chemical and Process Engineering, 2017, 38(4), 505-512 (lista A, 15 pkt, IF 0,971 za 2016 r.).

Indywidualny wkład: autor korespondencyjny, przeprowadzenie studiów literaturowych, przeprowadzenie badań, analiza wyników, wnioski, przygotowanie maszynopisu (90%).

4. Matuszek D. Fluorescence method for the assessment of homogeneity of granular mixtures. Journal of Central European Agriculture, 2017, 18(4), 851-863 (lista B, 14 pkt)

Indywidualny wkład: autor korespondencyjny, całość prac związanych z badaniami i przygotowaniem manuskryptu (100%).

5. Matuszek D., Biłos Ł. Zastosowanie znaczników fluorescencyjnych do oceny jednorodności wieloskładnikowych ziarnistych mieszanek pasz. Przemysł Chemiczny, 2017, 96/11, 2356-2359 (15 pkt, IF z 2016 r. 0,385).

Indywidualny wkład: autor korespondencyjny, przeprowadzenie studiów literaturowych, przeprowadzenie badań, analiza wyników, współudział w sformułowaniu wniosków (90%).

6. Matuszek D. The use of fluorescence in the assessment of uniformity of feed. Journal of Research and Applications in Agricultural, 2017, 62(2), 72-75 (lista B, 12 pkt).

Indywidualny wkład: autor korespondencyjny, całość prac związanych z badaniami i przygotowaniem manuskryptu (100%).

W pracach stanowiących jednotematyczny cykl publikacji wykazanych powyżej jestem autorem trzech publikacji oraz trzy publikacje są współautorskie. Mój wkład w powstanie współautorskich prac (poz. 2, 3 i 5) był znaczny i wynosił 90% w każdym przypadku. Cztery prace opublikowano w czasopismach z listy B (poz. 1, 2, 4 i 6), dwie prace (poz. 3 i 5)

znajdują się na liście A, sumaryczny IF 1,356. Łączna liczba punktów publikacji wchodzących w skład jednotematycznego cyklu wg MNiSW wynosi 66.

4.2 Omówienie celu naukowego, metodyki badań i osiągniętych wyników

Przedstawiony cykl publikacji nt “Zastosowanie znaczników fluorescencyjnych w ocenie homogeniczności mieszanin ziarnistych” obejmuje następujące zagadnienia:

- stan i kierunki rozwoju wiedzy w zakresie oceny homogeniczności mieszanin ziarnistych i sypkich skupiając się szczególnie na branży rolno-spożywczej (poz. 1),
- koncepcję wykorzystania znaczników fluorescencyjnych do oceny homogeniczności mieszanek paszowych oraz wyniki pierwszych testów, które dotyczyły analizy jednorodności mieszaniny wieloskładnikowej groch – sorgo – kukurydza, stanowiące komponenty pasz. Do badań wykorzystano Tinopal (poz. 2),
- zastosowanie substancji fluorescencyjnych o określonych stężeniach do oznaczania zawartości składnika kluczowego: Tinopal, Rodamina B, Uranina, Eozyna, na przykładzie szacowania zawartości kukurydzy (poz. 3),
- wskazanie dodatkowych (oprócz kukurydzy) składników pasz mogących stanowić nośniki substancji fluorescencyjnych z pośród testowanych: kardi, pszenica, jęczmień (poz. 4),
- przeprowadzenie testów z zastosowaniem wieloskładnikowej przemysłowej ziarnistej mieszanki paszowej dla kur niosek (poz. 5-6)
- opracowanie metodyki oznaczania zawartości składnika kluczowego wieloskładnikowej mieszanki ziarnistej w oparciu o zjawisko fluorescencji wzbudzanej promieniami ultrafioletowymi (poz. 2-6).

Wprowadzenie

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 Khakhar, 2000; Alexander i in., 2003; Yang, 2006; Obregón i in., 2010). Obecnie pasze zawierają wiele substancji jak: witaminy, minerały, aminokwasy, dodawanych w niewielkich ilościach. Sprzyja to procesowi segregacji i powoduje, że wydajność procesu mieszania nabiera jeszcze większego znaczenia (Groesbeck i in., 2007, Rocha 2015).

Kontrola jakości produktu finalnego powinna odbywać się na poszczególnych etapach jego wytwarzania i dotyczyć surowców oraz procesów produkcyjnych. W produkcji pasz mieszanie jest jednym z ważniejszych procesów w dużym stopniu decydującym o jakości produktu końcowego. Wprowadzenie masowej produkcji, która będzie spełniać coraz wyższe wymagania ze strony konsumenta i jednostek kontrolujących wymaga realizowania wszechstronnych badań jakościowych. Badania te powinny dotyczyć między innymi poszukiwania i ciągłego doskonalenia nowoczesnych metod analitycznych służących ich kontroli. Odpowiednia jakość charakteryzuje się losowym rozproszeniem składników w całej objętości paszy. Mieszaniny te muszą gwarantować odpowiedni udział poszczególnych składników w każdej dawce pokarmu. Jednorodności mieszanki paszowej powinna stanowić kluczowy element kontroli jakości w wytwórni pasz (Beumer 1991, Çiftçi i in. 2003, Schuff i in. 2013).

Metody referencyjne oceny homogeniczności pasz opierają się najczęściej na określeniu zawartości różnych składników kluczowych. Wśród nich te naturalnie występujące w paszy jak: chlorki, węglany, cynk, miedź, mangan, kobalt metionina czy lizyna oraz dodawane do paszy celowo jak: opłuki żelaza (Microtracer, Eisenberg, 2008) czy zawartość amoxicillin, chlortetracycline, doxycycline, lincomycin, tiamulin and tylosin w przypadku pasz leczniczych (Przeniosło-Siwczyńska i in. 2010). W ostatnich latach zauważalny jest rozwój technik wizyjnych.

Podsumowując znaczenie analizy homogeniczności mieszani ziarnistych jest nadal aktualne i nabiera nowego wymiaru wynikającego ze specyfiki mieszanych komponentów oraz urządzeń mieszających a przede wszystkim skali masowej produkcji pasz. Pomimo iż, teoretyczne podstawy zachowania cząstek stałych podczas mieszania opisywano już w latach 50-tych to śledząc dostępną literaturę można stwierdzić, że w zakresie tym nadal prowadzone są badania godne uwagi. Na szczególne zainteresowanie zasługują te, które wykorzystują

innowacyjne narzędzia analityczne pozwalające precyzyjnie analizować przebieg procesu. Takie właśnie rozwiązanie w swoich badaniach stosowała autorka. W oparciu o doświadczenie wynikające z realizacji części badań w warunkach przemysłowych autorka opracowała innowacyjną metodykę oceny homogeniczności mieszanek ziarnistych stosowanych w przemyśle paszowym. Wypracowana metoda wykorzystuje innowacyjne techniki komputerowej analizy obrazu cząstek wzbudzanych promieniami UV, która może być z powodzeniem stosowana do oceny jednorodności wieloskładnikowych mieszanin cząstek stałych.

Postawienie i uzasadnienie problemu naukowego

Badania nad rozwojem metod i narzędzi do oceny homogeniczności pasz jest niezmiernie ważnym i faktycznym problemem badawczym. Wynika to między innymi ze złożoności samego procesu mieszania składników ziarnistych i sypkich jak i pojawiających się możliwości wynikających z rozwoju nowych narzędzi analitycznych. Wśród wielu opracowań warto zwrócić uwagę na wybrane, wykorzystujące innowacyjne techniki wizyjne. Ocena jednorodności pasz jest szczególnie trudna w warunkach przemysłowych, gdzie mieszaniu podlegają układy wieloskładnikowe (liczba komponentów większa od trzech), dostęp do wyników badań w tym zakresie jest nadal niewystarczający a każda publikacja w tym zakresie jest cenna.

Analizując dostępną literaturę poszukiwano metod oceny jakości mieszanek różnych materiałów, które można zaimplementować w ocenie homogeniczności pasz. Spośród wielu mniej lub bardziej precyzyjnych narzędzi szczególną uwagę poświęcono metodom wykorzystującym zjawisko fluorescencji oraz analizę obrazu, która znalazła swoje zastosowanie w takich branżach jak: spożywcza, rolnicza, farmaceutyczna oraz chemiczna.

Generalnie do oceny jednorodności mieszanin ziarnistych i sypkich stosowane są metody wskaźnikowe (oparte na oszacowaniu udziału składnika kluczowego) jak: fiolet metylowy (stosowany w Niemczech), cynk i kobalt (stosowane w Holandii), chlorek sodu, MicrotracersF, Microgrits, metionina i lizyna (stosowane w Stanach Zjednoczonych) chlorki, węglany, cynku, miedzi i manganu (stosowane w Polsce), mangan and Microtracers RFLakes (stosowane we Francji) oraz inne znaczniki. Ponadto swoje zastosowanie znalazły, także takie markery jak witaminy - ryboflawina, jednak znaczny koszt tej analizy ogranicza możliwość jej stosowania (Eisenberg, 2008). Rozwój technik wizyjnych pozwolił na nowo spojrzeć na

specyficzne zachowania cząstek stałych podczas mieszania. Dlatego komputerowa analiza obrazu próbek zawierających barwione cząsteczki stanowi znaczny udział w rozwoju narzędzi analitycznych do oceny jednorodności mieszanin.

Jedną z prostszych i szybszych metod oceny homogeniczności pasz jest z pewnością zastosowanie Microtracera (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. Wychwycone opiłki tworzą na papierze filtracyjnym barwne punkty, które są następnie zliczane i porównywane z ilością wprowadzoną do mieszalnika. Znacznik ten charakteryzuje się ściśle określona liczbą opiłków w jednostce objętości. Zastosowanie tego rozwiązania jest jednak ograniczone w przypadkach gdy: mieszarka wyposażona jest w magnesy lub substancje płynne zadawane są bezpośrednio do mieszarki. Metoda ta była, także testowana przez autorkę do weryfikacji czasu rekomendowanego przez producenta mieszarki w przemysłowej wytwórni pasz. Obecnie firma wprowadziła nowy wskaźnik Microgrids (cząstki kolb kukurydzy pokryte barwnikiem spożywczym) a autorka przeprowadziła już pierwsze testy z jego wykorzystaniem oceniając jednorodność mieszanin komponentów stosowanych do wypieku pieczywa.

Analiza homogeniczności mieszanek ziarnistych i sypkich z wykorzystaniem metod optycznych do śledzenia udziału składnika kluczowego w sposób ciągły była przedmiotem 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. Metodyka opierała się na ciągłej analizie intensywności światła odbitego przez powierzchnię barwionych cząstek przy użyciu wysokoczułych 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, szczególnie do stałego śledzenia koncentracji składnika kluczowego oraz co ważne do szacowania wydajności mieszarki i wyznaczenia optymalnych warunków prowadzenia procesu (Alonso i Alguacil, 1999).

Zastosowanie 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. Opisana metodyka została wykorzystana, także przez autorkę (Matuszek i Tukiendorf, 2007) do analizy rozkładu traserów w mieszaniu układów dwuskładnikowych metodą wysypu kominowego. W badaniach prowadzonych przez Tukiendorfa (2002) zaobserwowano, że cząstki o różnej gęstości mają tendencję do zajmowania określonych miejsc w złożu w czasie mieszania. Natomiast w pracach Matuszek (2007, 2015) analizę obrazu wykorzystano do oceny wpływu dodatkowych elementów montowanych wewnątrz mieszalnika na stopień zmieszania ziaren. W pracach tych, autorzy skorzystali z modelu RGB, który został oparty na zasadach właściwości percepcyjnych oka ludzkiego. Skala RGB jest wypadkową trzech składników barwnych R – red, G – green, B – blue. Obraz w zapisie 24 bitowym na każdą skalę RGB przeznacza 8 bitów, co pozwala na odwzorowanie ponad 16 milionów kolorów. Korzystając z aplikacji pracującej w oparciu o ten model można z analizowanego obrazu wyselekcjonować określone obiekty z tła.

Obregón i in. w 2010 roku przedstawili wyniki mieszania dwuskładnikowego układu komponentów ziarnistych o różnym zabarwieniu (czarne i białe). Mieszanek umieszczano w zbiorniku wykonanym ze szkła akrylowego. Ruch cząsteczek odbywał się poprzez ruchome ściany naczynia. Na podstawie analizy obrazu pozyskiwanego z kamery umieszczonej nad zbiornikiem mieszającym uzyskiwano informacje o udziale komponentów na powierzchni złoża. Ponadto częstotliwość wykonywanych zdjęć pozwoliła na określenie kierunków przemieszczania się mieszanych cząstek.

Kolejni autorzy (Dauman i Nirschl 2008) zastosowali analizę obrazu do opisu procesu mieszania suchych komponentów ziarnistych w jednowałowym poziomym mieszalniku. W badaniach tych, także zastosowano dwa składniki o odmiennej barwie (czarne i białe). A uzyskane wyniki pozwoliły na oszacowanie wydajności mieszalnika i obserwację dystrybucji barwnych cząstek podczas procesu mieszania. Autorzy wskazali na przydatność analizy obrazu do wyznaczania stanu równowagi mieszanego złoża, stanowiąc zarazem

szybka i precyzyjna metoda. Jednak proponowana metoda mogła być stosowana tylko do oznaczania jednego składnika.

Podobne badania z zastosowaniem układu dwuskładnikowego przeprowadzili Realpe i Velazquez w 2003 roku. Mieszanemu poddano cząstki o różnym zabarwieniu (niebieskie i czerwone) w mieszalniku bębnowym wykonanym z akrylu. Udział składników oceniano na podstawie obrazów przekrojów pionowych i poziomych złoża, pozyskanych kamerą CCD.

Alternatywną metodę analizy homogeniczności mieszanek proszków w czasie trwania procesu mieszania zaprezentowali Lai i in. w 2001 roku. Metoda ta polega na bezdotykowej diagnostyce opartej na laserowym wywoływaniu fluorescencji (metoda LIF) cząstek stałych. Wiele składników leków stosowanych i dostępnych na rynku mają tendencję do fluorescencji przy wzbudzeniu falą o odpowiedniej długości. Zaproponowana metoda on-line jest szybkim narzędziem analitycznym pozwalającym na obserwację kinetyki procesu mieszania w czasie rzeczywistym a poprzez to efektów procesu w sposób ciągły.

Karumanchi i in. (2011), także skorzystali z metody 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.

Wyżej przedstawiona metoda znalazła swoje zastosowanie nie tylko w mieszanii składników sypkich, ale także w mieszanii płynów. Narzędzie analityczne oparte o metodę LIF polegającej na określaniu intensywności fluorescencji w roztworze wodnym do oceny procesu mieszania płynów zastosowali Coppeta i Rogers w 1996 roku. W niniejszym doświadczeniu użyty wskaźnik fluorescencyjny (Rodamina B) posłużył do ilościowego określania koncentracji jonu hydroniowego mieszanych płynów w dwuwymiarowej płaszczyźnie.

Zjawisko fluorescencji zostało wykorzystane w ocenie zawartości siarki i chloru w paszach dla przeżuwaczy przez Necemera i in. w 2003 r. Związki te stanowią zasadniczy element wpływający na metabolizm zwierząt i są istotne w prawidłowym planowaniu żywienia. W tym rozwiązaniu autorzy proponują metodę opartą na fluorescencyjnym promieniowaniu rentgenowskim (XRF). Badania prowadzone były dla pasz: trawa, kiszonka

traw oraz kiszonka kukurydzy. Zastosowana metoda pozwoliła na wyznaczenie typowego spektrum fluorescencyjnego dla analizowanych pasz i oznaczenie zawartości S i Cl.

Metody fluorescencyjne z powodzeniem znajdują swoje zastosowanie w ocenie jakości żywności. W pracy Sikorskiej z 2008 roku zaprezentowano metody oparte na bezpośrednim pomiarze naturalnej fluorescencji produktów spożywczych. Rozwiązanie to zostało wykorzystane między innymi do: klasyfikacji olejów jadalnych na podstawie widm synchronicznych fluorescencji, ilościowej analizy mieszanin olejów, oceny właściwości piw w czasie przechowywania czy analizy naturalnej materii organicznej rozpuszczonej w wodzie.

W pracy Czajkowskiej i in. (2010) metodę fluorescencyjną wykorzystano do oceny zawartości chlorowodorku chininy w napojach bezalkoholowych typu tonik. Chinina jest wykorzystywana w przemyśle spożywczym jako aromat. Dodawana jest w postaci chlorowodorku chininy do znanego napoju bezalkoholowego – tonik. Jednak wpływ tego związku na organizm człowieka nie pozostaje obojętny. Oznaczanie chlorowodorku chininy prowadzone było z zastosowaniem wysokosprawnej chromatografii cieczowej z detektorem fluorescencyjnym. Zastosowanie detektora fluorescencyjnego zamiast klasycznego detektora UV pozwoliło na określenie zawartości chlorowodorku chininy obok innych substancji obecnych w napojach jak, kofeina czy substancje słodzące.

Interesującą propozycję wykorzystania znacznika fluorescencyjnego do oceny stopnia pokrycia roślin oraz ekspozycji operatora opryskiwacza zaprezentowali Hołownicki i in. (2011 i 2012). W pozycjach tych autorzy przedstawili wyniki pracy opryskiwaczy sadowniczych czyli pokrycia opryskiwanych liści cieczą użytkową. Ciecz użytkową stanowił roztwór substancji fluorescencyjnej, której rozkład określano na podstawie zdjęć cyfrowych liści pozyskanych w świetle UV. Następnie obrazy poddawano komputerowej analizie co pozwoliło na uzyskanie danych dotyczących stopnia pokrycia i gęstości kropel.

Cel i zakres pracy

Celem pracy było opracowanie innowacyjnej metody oceny stanu mieszanin cząstek ziarnistych stanowiących składniki pasz z wykorzystaniem znaczników fluorescencyjnych wzbudzanych promieniami ultrafioletowymi.

Doświadczenie zdobyte podczas realizacji badań w przemysłowej wytwórni pasz (w ramach stażu w firmie Blattin oraz późniejszej współpracy) pozwoliło na poznanie specyfiki pracy w tych warunkach i znaczeniu homogeniczności paszy jako wyznacznika jakościowego. Ponadto poczynione obserwacje potwierdziły wnioski innych badaczy dotyczący wpływu różnych czynników na proces mieszania. Wykorzystując te umiejętności i dysponując aplikacją do komputerowej akwizycji obrazu pracującej w oparciu o model RGB założono, że możliwe będzie stworzenie innowacyjnego narzędzia do analizy homogeniczności wieloskładnikowych mieszanin ziarnistych. Śledząc dostępną literaturę i kierunek prowadzonych w ostatnich latach badań oraz własne obserwacje i doświadczenie opracowano metodę, która będzie miała faktyczne zastosowanie, a także uzupełni i rozwinie badania w tym kierunku. W praktyce mamy najczęściej do czynienia z mieszaniem wielu komponentów, dlatego tak istotne jest dostarczanie rozwiązań jak najbardziej odnoszących się do realnego zapotrzebowania. Dodatkowym aspektem proponowanej metody jest łatwość i szybkość jej wykonania oraz dokładność uzyskanych wyników. Warto, także zwrócić uwagę na zastosowanie substancji fluorescencyjnych i komputerowej analizy obrazu w zakresie, który dotychczas nie został przedstawiony przez innych autorów.

W celu realizacji proponowanego rozwiązania działania podzielono następująco:

1. Wybranie substancji fluorescencyjnych wzbudzanych promieniami UV oraz ich stężenia.
2. Przygotowanie stanowiska pomiarowego, umożliwiającego wykonanie zdjęć cyfrowych próbek w świetle UV z zachowaniem odpowiednich i niezmiennych warunków.
3. Przeprowadzenie procesu mieszania i pobór próbek.
4. Wykonanie zdjęć cyfrowych próbek.
5. Analiza pozyskanych obrazów w formacie bitmapy (BMP).

W celu realizacji doświadczeń skorzystano ze specjalnie przygotowanej szczelnej komory wyposażonej w oświetlenie UV do pozyskiwania obrazu. Ziarna pokryte substancją fluorescencyjną pobudzano do świecenia a następnie tak przygotowanej próbce wykonywano zdjęcie aparatem cyfrowym. W tym celu opracowano metodę przygotowania próbek do badań. Natomiast akwizycję obrazu przeprowadzono przy wykorzystaniu aplikacji komputerowej pracującej w oparciu o model RGB.

W wyniku badań wskazano rodzaje i stężenie substancji fluorescencyjnej pozwalające na wyznaczenie udziału traseru w pobranej próbce. Ponadto wskazano składniki pasz, które mogą stanowić nośnik substancji fluorescencyjnej.

Uznano, że analiza obrazu pozyskanego w świetle UV pozwoli na dokładniejsze określenie udziału składnika kluczowego a przez to ocenę stanu wieloskładnikowej mieszaniny. W konsekwencji powstanie innowacyjne narzędzie do określania efektywności procesu mieszania.

[1] Matuszek D. Metody oceny homogeniczności mieszanin ziarnistych i sypkich. Inżynieria Rolnicza, 2013, 3(145) T1, 255-264.

W pracy skupiono się na zaprezentowaniu stanu i kierunku rozwoju wiedzy i badań w zakresie oceny homogeniczności mieszanin ziarnistych i sypkich skupiając się szczególnie na branży rolno-spożywczej. Przedstawiono szereg metod służących ocenie homogeniczności mieszanin ziarnistych, dzieląc je na pewne grupy: separacja ręczna, metody wskaźnikowe i optyczne oraz komputerowa analiza obrazu. W przypadku tej ostatniej przytoczono między innymi badania wykonane przez autorkę.

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 składniki. 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 w pracy metody wykorzystują różne techniki co jest wynikiem rozwoju szeregu technologii szczególnie optycznych. Metody wykorzystujące intensywność światła odbitego przez różniące się zabarwieniem składniki, rejestrujące intensywność promieniowania UV czy wykorzystujące komputerową analizę obrazu mogą służyć do określania optymalnych parametrów pracy mieszarek w warunkach laboratoryjnych w sposób stały lub ciągły. W Polsce jedyną referencyjną metodą oceną homogeniczności pasz 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 innych krajach.

Informacje zebrane w poz. 1 stały się inspiracją dla autorki i skłoniły do stworzenia koncepcji zastosowania znaczników fluorescencyjnych w ocenie homogeniczności układów ziarnistych zaprezentowanej w poz. 2.

[2] Matuszek D., Szwedziak K. Zastosowanie znaczników fluorescencyjnych w ocenie homogeniczności mieszanek paszowych. Monografia Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem infrastruktury, ochrony środowiska i produkcji energii odnawialnej, Warszawa 2013, 160-166.

W pracy przedstawiono koncepcję wykorzystania zjawiska fluorescencji wzbudzonej promieniami ultrafioletowymi do oceny udziału składników paszowych mieszanin ziarnistych. Wstępne badania dotyczyły analizy jednorodności mieszaniny trójskładnikowej groch – sorgo – kukurydza, stanowiące komponenty pasz. Podczas realizacji pierwszych testów zaobserwowano, że groch zielony nie nadaje się do zaprawiania na mokro, dlatego już na tym etapie zdyskwalifikowano ten składnik. Przeprowadzono zatem dwie serie badań, przy czym w pierwszej traser stanowiły ziarna kukurydza natomiast w drugiej były to ziarna sorgo. Ziarna składnika kluczowego zaprawiane były na mokro 0,3% roztworem fluorescencyjnym o nazwie Tinopal. Pobrane próbki paszy z wnętrza mieszarki umieszczane były w komorze wyposażonej w świetlówki UV, gdzie pozyskiwano zdjęcia. Poszczególne obrazy były następnie poddawane komputerowej analizie w wyniku czego uzyskiwano informacje o udziale procentowym składnika kluczowego w danej próbce. Równolegle dokonywano analizy udziału traseru w sposób tradycyjny (metoda wagowa). W pracy przedstawiono, także informacje o zastosowanej metodzie mieszania – mieszalnik przesypowy. W wyniku przeprowadzonych testów zdyskwalifikowano kolejny składnik – sorgo. Zaobserwowano, że ziarna mogące mieć zastosowanie w proponowanym rozwiązaniu powinny charakteryzować się jasną barwą i okrywą odporną na proces moczenia.

Zadawalające wyniki na tym etapie uzyskano tylko dla kukurydzy. Wykonane doświadczenia i przeprowadzone obserwacje pozwoliły na uzyskanie informacji z zakresu elementów metodyki, które doprecyzowano w kolejnych pozycjach 3-6, jak: przygotowanie roztworu fluorescencyjnego, zaprawianie składników, pobór próbek, przygotowanie próbek do dalszej analizy, pozyskiwanie obrazu i jego analiza.

[3] Matuszek D., Wojtkiewicz K. Application of fluorescent markers for homogeneity assessment of grain mixtures based on maize content. Chemical and Process Engineering, 2017, 38(4), 505-512.

[4] Matuszek D. Fluorescence method for the assessment of homogeneity of granular mixtures. Journal of Central European Agriculture, 2017, 18(4), 851-863.

[5] Matuszek D., Bilos Ł. Zastosowanie znaczników fluorescencyjnych do oceny jednorodności wieloskładnikowych ziarnistych mieszanek pasz. Przemysł Chemiczny, 2017, 96/11, 2356-2359.

[6] Matuszek D. The use of fluorescence in the assessment of uniformity of feed. Journal of Research and Applications in Agricultural, 2017, 62(2), 72-75.

W pozycjach 3-6 przedstawiono wyniki kolejnych serii testów, zachowując pewną konsekwencję w realizacji założonych celów i korygując je na podstawie dokonanych obserwacji. W eksperymentach szacowano udział składnika kluczowego, stanowiącego jeden ze składników paszy, pokrytego substancją fluorescencyjną. Do badań wykorzystano poszczególne komponenty pasz jak: kardi, kukurydza, jęczmień, pszenica oraz gotowe mieszanki przemysłowe (zakupione w wytwórni). Wybór składników kluczowych, które następnie zaprawiano roztworem fluorescencyjnym dokonano bazując na podstawie obserwacji poczynionych w pierwszych doświadczeniach (poz. 2).

Na początek przeanalizowano dostępne na rynku substancje fluorescencyjne, które emitują światło pod wpływem promieniowania ultrafioletowego. W pierwszym etapie sprawdził się Tinopl (poz. 2), dlatego też został wybrany do dalszych testów. Pozostałymi testowanymi substancjami były: rodamina B, uranina oraz eozyna. Dokonując wyboru brano pod uwagę ich dostępność, zróżnicowanie barwy oraz łatwość rozpuszczania. Charakterystykę zastosowanych substancji i ich stężenie przedstawiono w tabeli 1. Dokonano, także wstępnego określenia stężenia tych substancji, które korygowano w miarę potrzeby podczas realizacji kolejnych testów. W związku z tym zastosowano różne roztwory dla poszczególnych substancji (tab.1). Poszczególne ziarna zaprawiano na mokro w odpowiednich roztworach fluorescencyjnych a następnie poddawano suszeniu wykorzystując naturalny ruch powietrza w pomieszczeniu laboratoryjnym. Po wysuszeniu trasy przechowywano w odpowiednio oznakowanych zbiornikach, zabezpieczających przed wpływem czynników zewnętrznych.

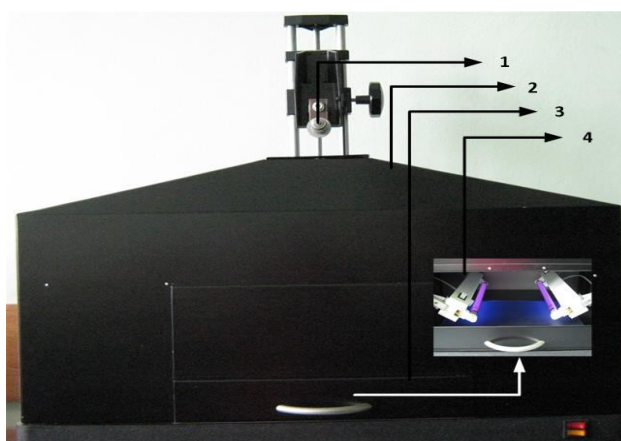
Tabela 1. Substancje fluorescencyjne i ich stężenia użyte w badaniach

Substancja fluorescencyjna	Wzbudzenie (nm)	Emisja (nm)	Numer CAS	Masa cząsteczkowa	Wzór chemiczny	Roztwory %
Tinopal	350	430	27344-41-8	562,6	$C_{28}H_{20}Na_2O_6S_2$	0,3 0,03
Uranina	494	520	518-47-8	376,3	$C_{20}H_{10}Na_2O_5$	0,3 0,03 0,01
Eozyna	525	545	15086-94-9	647,9	$C_{20}H_8Br_4O_5$	0,3
Rodamina B	553	627	88-81-9	479,02	$C_{28}H_{31}ClN_2O_3$	0,3 0,03 0,01 0,007 0,001

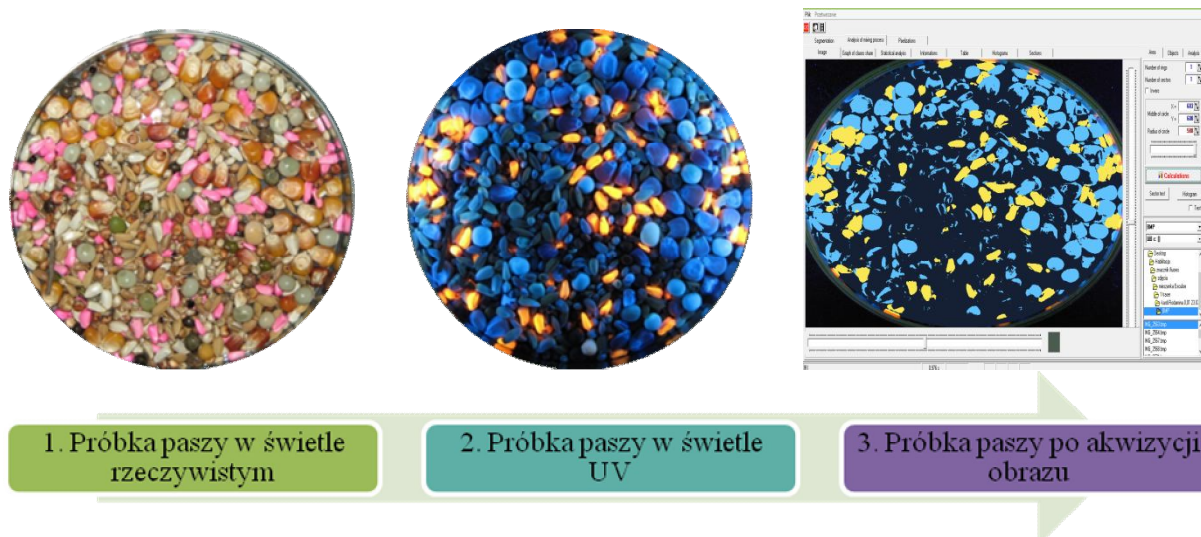
Proces mieszania realizowano przy użyciu laboratoryjnego mieszalnika przesypowego o wymiarach: wysokość części cylindrycznej – 200 mm, średnica wewnętrzna 150 mm, średnica wewnętrzna otworu wylotowego - 30 mm. Mieszanie prowadzono na drodze kolejnych przesypów. Rozbieralna konstrukcja zbiornika pozwalała na pobór 10 prób z poszczególnych segmentów całego urządzenia. Masa pojedynczej próbki wynosiła minimum 40 g. Traser (w ilości 100 g, 10%) oraz pozostałe składniki umieszczano zawsze w ten sam sposób w komorze mieszającej jeszcze przed rozpoczęciem procesu mieszania. Objętość mieszanego materiału wynosiła 1000 g. Dla każdego układu: przeprowadzono określoną liczbę serii badań w trzykrotnym powtórzeniu. Pozyskane próbki umieszczano na szklanej płytce Petriego o wymiarach 120 mm x 20 mm (Ø x wys.) Szalkę następnie umieszczano w pozycji poziomej w prostokątnej, szczelnej komorze wyposażonej w świetlówki UV 15W (rys. 1). Materiał komory zapewniał brak dostępu światła zewnętrznego. Próbkę umieszczano w pozycji poziomej na ruchomej półce. Po zamknięciu komory próbka znajdowała się w centralnej jej części. Sterowanie oświetleniem komory (włączanie/wyłączanie świetlówek UV lub zwykłej żarówki) odbywało się z zewnątrz. Bezpośrednio nad próbką znajdował się obiektyw aparatu fotograficznego. Pozyskane obrazy w formacie BMP (1600x1200 pixeli) poddawano następnie analizie przy wykorzystaniu aplikacji PATAN[®] autorstwa M. Krótkiewicza (rys. 2). Na badanym kołowym obszarze wyznaczano trzy klasy: 1 klasa – traser oraz dwie pozostałe jako tło. W wyniku analizy uzyskiwano informacje o udziale traseru w badanej próbce. Powtarzalność i wiarygodność pozyskiwanych obrazów wymaga zachowania ściśle określonych warunków. Kryteria te zostały spełnione poprzez zastosowanie odpowiedniego stanowiska pomiarowego. Po

wykonaniu akwizycji obrazu dokonywano ręcznej lub sitowej separacji traseru w celu określenia jego masy, do weryfikacji wiarygodności uzyskanego wyniku. Skorzystano do tego celu z elektronicznej wagi laboratoryjnej o dokładności 0,01g.

Weryfikacja proponowanej metody polegała na porównaniu uzyskanego wyniku z procentem zajętości traseru. Parametr ten wyznaczano na podstawie zestawienia masy (pomiar przy wykorzystaniu wagi elektronicznej, g) oraz udziału traseru (pomiar przy wykorzystaniu komputerowej analizy obrazu) dla poszczególnej ilości ziaren od 5 do 100 szt. Otrzymywano w ten sposób algorytm do wyznaczania udziału procentowego traseru w oparciu o informacje o jego masie. Przyjęto 5% błąd jako próg weryfikacyjny. Analiza statystyczna polegała na obliczeniu podstawowych parametrów (średnia, SD, różnica oraz błąd względny) oraz na wykorzystaniu statystycznych testów porównawczych do określenia, czy występują statystyczne różnice pomiędzy udziałem procentowym traseru uzyskane dwoma różnymi metodami ($r=2$, $k=19$). Ponadto dokonano, także obliczenia współczynnika zmienności CV jako miary homogeniczności paszy (poz. 5).



Rys. 1 Komora z oświetleniem UV, 1. statyw na kamerę 2. obudowa komory, 3. wysuwana kasetka na próbkę, 4. świetlówki UV



Rys. 2 Pozyskiwanie i komputerowa akwizycja obrazu przykładowej próbki mieszanki z kardi pokrytym 0,01% roztworem Rodaminy B.

Pierwsze testy przeprowadzono dla mieszania układów trójskładnikowych: sorgo, groch zielony, kukurydza, gdzie ten ostatni stanowił składnik kluczowy pokryty substancją fluorescencyjną (poz. 3). Następnie przeprowadzono serie zastępując kukurydzę innym składnikiem: jęczmieniem, pszenica i kardi (poz. 4). W wyniku przeprowadzonych testów zaobserwowano, że pszenica i jęczmień nie nadają się do zastosowania w metodzie fluorescencyjnej. Ze wszystkich przebadanych składników konieczne cechy posiadają tylko dwa składniki: kukurydza i kardi. Uzyskano, także informacje, które z testowanych substancji fluorescencyjnych są odpowiednie. W przypadku kukurydzy są to: Tinopal roztwór 0,3% lub Rodamina B roztwór 0,01%. Natomiast w przypadku kardi są to: Tinopal roztwór 0,3%, Uranina roztwór 0,5% lub Rodamina B roztwór 0,01%.

Kolejne testy przeprowadzono z wykorzystaniem piętnastokładnikowej ziarnistej mieszanki paszowej dla kur niosek (poz. 5). Mieszaną pozyskaną z wytwórni pasz zasypywano mieszalnik przesypowy w 90% (900 g). Do mieszalnika, przed rozpoczęciem procesu mieszania, wprowadzano każdorazowo 100 g składnika kluczowego (10% mieszanego materiału) czyli kukurydzę lub kardi, pokrytego odpowiednimi roztworami substancji fluorescencyjnych. Dalsza część doświadczenia przebiegała wg opisanej wyżej procedury. Podczas realizacji tej części badań dokonano ciekawych obserwacji. Próbkę paszy w świetle UV charakteryzuje się mniejszym zróżnicowaniem barw odpowiedzialnych za tło, niż ma to miejsce w świetle dziennym. Ma to wpływ na odpowiednie wyróżnienie trasera z całej próbki co ma znaczenie dla precyzji proponowanej metody (rys. 3). Dotychczas problem ten (znaczne zróżnicowanie barw próbki) uniemożliwiał zastosowanie aplikacji opartej na

modelu RGB do szacowania udziału składników w układzie składającym się z więcej niż trzech komponentów. Potwierdzono tym samym założenie przedstawione w celu. Uzyskane na tym etapie badań wyniki potwierdzają wcześniejsze obserwacje. Ponadto to właśnie metoda fluorescencyjna z zastosowaniem Rodaminy B pozwala uzyskać wyniki najbardziej zbliżone do metody weryfikacyjnej. Zatem zaproponowany roztwór Rodaminy B (0,01% dla kardi i kukurydzy) wydaje się być najlepszy dla proponowanej metody. Jednak pozostałe zaproponowane preparaty o określonych roztworach (0,03% Tinopal dla kukurydzy i kardi, 0,3% Uranina dla kukurydzy i 0,5% Uranina dla kardi), także mogą być z powodzeniem stosowane. Wybór substancji fluorescencyjnej może być determinowany np. dostępnością czy ceną rynkową.

Wykorzystując tę sama mieszanekę przeprowadzono doświadczenia z jednoczesnym zastosowaniem kilku traserów (poz. 6). Celem tej części było zweryfikowanie czy proponowana metoda może służyć do jednoczesnej obserwacji udziału dwóch składników mieszanki. Stanowi to istotny element badań wpływający na przydatność stosowania tego rozwiązania. Różnica w realizacji doświadczenia polegała na wyznaczeniu obiektów do analizy obrazu. Nadal określano trzy obiekty z czego dwie klasy odpowiadały za traser a jedna z tło. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość oszacowania udziału dwóch składników kluczowych w próbce dla kombinacji:

1. Kukurydza Rodamina B 0,01% - kardi Uranina 0,5%
2. Kukurydza Rodamina B 0,01% - kardi Tinopal 0,03%
3. Kardi Rodamina B 0,01% - kukurydza Uranina 0,3%
4. Kardi Rodamina B 0,01% - kukurydza Tinopal 0,03%

Dla pozostałych przypadków nie uzyskano zadawalających rezultatów.

Podsumowanie

Bazując na posiadanym doświadczeniu i trendach światowych w zakresie badań nad procesem mieszania komponentów ziarnistych i oceny ich jednorodności autorka podjęła próbę opracowania nowego rozwiązania służącego rozwojowi właśnie tych zagadnień. Obserwując wyniki badaczy wykorzystujących zjawisko fluorescencji w innych branżach przemysłowych dokonano próby implementacji w obszarze badań prowadzonych przez autorkę, czego dotychczas nie dokonano. Z założenia metoda miała cechować się prostotą, szybkością, precyzją i powtarzalnością a co więcej pozwalać na bezproblemowe szacowanie

udziału składnika rzeczywiście występującego w mieszance (czyli posiadającego cechy mieszanego materiału). W związku z tym wykonano szereg badań wg. ustalonego i logicznie powiązanego w kolejne fazy planu. Plan ten weryfikowano i modyfikowano na każdym etapie a rezultaty poszczególnych testów przedstawiono w publikacjach (poz. 2-6). W wyniku czego uzyskano innowacyjną metodykę oceny zawartości składnika kluczowego wieloskładnikowych mieszanin ziarnistych bazując na fluorescencji wzbudzonej promieniami ultrafioletowymi.

Na poszczególnych etapach badań odrzucano lub przyjmowano założone hipotezy. Wobec czego z pośród przetestowanych 6 składników pasz wytypowano dwa: kukurydza i kardi, które nadają się do zastosowania w proponowanej metodzie. Odrzucono natomiast jęczmień, pszenicę, sorgo i groch. Podobnie wyglądała kwestia wyboru substancji fluorescencyjnych oraz ich stężenia. Wykazano, że największą precyzyjnością w ocenie udziału traserów charakteryzuje się zastosowanie Rodaminy B. Jednak w przypadku pozostałych substancji: Tinopal i Uranina uzyskane wyniki, także mieszczą się w zakresie przyjętego błędu, szczególnie odnosząc je do wyników współczynnika zmienności (parametr homogeniczności mieszanki). Wnioski te odnoszą się oczywiście do konkretnych stężeń tych substancji:

- kukurydza – Tinopal 0,03%, Uranina 0,3%, Rodamina B 0,01%.
- kardi – Tinopal 0,03%, Uranina 0,5%, Rodamina B 0,01%.

Udowodniono, także iż istnieje możliwość jednoczesnego oznaczenia zawartości dwóch traserów jednocześnie. Konieczne jest w tym przypadku zachowanie zróżnicowania pod kątem barwy uzyskiwanej po wzbudzeniu promieniami UV. Proponowane jest zatem użycie jako jednej substancji roztworu Rodaminy B, natomiast drugą substancję może stanowić roztwór Uraninay lub Tinopalu.

Opracowana metoda może być stosowana w ocenie efektywności pracy mieszalników pasz w warunkach laboratoryjnych i cechuje się znaczną uniwersalnością, co wynika z możliwości jej stosowania w ocenie udziału składnika kluczowego w układach wieloskładnikowych (złożonych nawet z więcej niż trzech komponentów). Ponadto istnieje możliwość jednoczesnego szacowania udziału dwóch składników mieszanego złoża. Jest to jednak metoda, która może być stosowana w warunkach laboratoryjnych ze względu na specyfikę stosowanych substancji chemicznych (Tinopal, Rodamina B, Uranina). Możliwość obserwacji zachowania cząstek stanowiących naturalny komponent pasz stanowi dodatkowy atut tej metody. Usunięto, także problem, który pojawiał się dotychczas, czyli brak możliwości zastosowania aplikacji komputerowej pracującej na modelu RGB do wyznaczania udziału wskazanego składnika na tle wielobarwnej próbki. Można zatem uznać, że

zapropionowane narzędzie stanowi znaczny wkład w badania związane z technologią mieszanin ziarnistych.

Cytowana literatura:

1. Alexander, A.; Muzzio, F. J.; Shinbrot, T. (2003). Segregation patterns in V-blenders. *Chemical Engineering Science*, 58 (2), 487–496.
2. Alonso, M.; Alguacil, F.J. (1999). Dry mixing and coating of powders. *Revista de Metalurgia*, 35, 315-328.
3. Beumer, I. H. (1991). Quality assurance as a tool to reduce losses in animal feed production. *Adv. Feed Technol.* 6, 6–23.
4. Boss, J. (1987). *Mieszanie materiałów ziarnistych*. Warszawa, PWN, ISBN 83-01-07058-7.
5. Boss, J.; Krótkiewicz, M.; Tukiendorf, M. (2002). Porównanie metod oceny jakości stanu mieszaniny ziarnistej podczas mieszania w przesypie. *Inżynieria Rolnicza*, 4 (37), 27-32.
6. Czajkowska A.; Bartodziejska B.; Gajewska M. (2010). Ocena zawartości chlorowodoru chininy w napojach bezalkoholowych typu tonik. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 45 (3), 433-438
7. Çiftç I.; Ercan A. (2003). Effects of diets of different mixing homogeneity on performance and carcass traits of broilers. *J. Anim. Feed Sci.*, 12, 163–171.
8. Coppeta J. R.; Rogers C. B. (1996). A quantitative mixing analysis using fluorescent dyes. AIAA paper number 0539, American Institute of Aeronautics and Astronautics.
9. Daumann B.; Nirschl H. (2008). Assessment of the mixing efficiency of solid mixtures by means of image analysis. *Powder Technol.*, 182, 415-423. DOI: 10.1016/j.powtec.2007.07.006.
10. Eisenberg D. (1992). Markers in mixing testing: closer to perfection. *Feed Management*, 43, 8-11.
11. Eisenberg D. (2008). Measuring mixer variation- performance and crosscontamination validation. 16th Annual ASA-IM SEA Feed Technology and Nutrition Workshop, Singapore 26-30 May 2008.
12. Grochowicz J. (1996). *Technologia produkcji mieszanek paszowych*. Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, ISBN 83-09-01656-5.
13. Groesbeck C.N.; Goodband R.D.; Tokach M.D.; Dritz S.S.; Nelssen J.L.; DeRouchey J.M. (2007). Diet mixing time affects nursery pig performance. *J. Anim. Sci.*, 85, 1793-1798.

14. Hołownicki R.; Doruchowski G.; Świechowski W.; Godyń A. (2011). Wpływ rozpylacza i adiuwantu na pokrycie liści jabłoni cieczą użytkową. Materiały XI Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Szkoleniowej „Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej” 27–30 czerwca 2011 r. Polanica Zdrój, 39
15. Hołownicki R.; Godyń A.; Doruchowski G.; Świechowski W. (2012). Naniesienie i straty cieczy użytkowej podczas opryskiwania wysoko formowanych drzew owocowych. *Inżynieria Rolnicza*, 2 (137), 89-95
16. 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. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3225521/>
17. Lai C.K.; Holt D.; Leung J.C.; Cooney C.L.; Raju G.K.; Hansen P. (2001). Real time and noninvasive monitoring of dry powder blend homogeneity. *AIChE Journal*, 47, 11, 2618-2622
18. Matuszek D.; Tukiendorf M. (2007). Komputerowa analiza obrazu w ocenie mieszania niejednorodnych układów ziarnistych (system funnel-flow). *Inżynieria Rolnicza*, 2(90), 183-188.
19. Matuszek D. (2015). Modelling selected parameters of granular elements in the mixing process. *Int. Agrophys.*, 29, 75-81. DOI: 10.1515/intag-2015-0002
20. Necemera M.; Kump P.; Rajcevic M.; Jacimovic R.; Budic B.; Ponikvar M. (2003). Determination of sulfur and chlorine in fodder by X-ray fluorescence spectral analysis and comparison with other analytical methods. *Spectrochimica Acta*, B 58, 1367–1373
21. 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.
22. Ottino J. M.; Khakhar D. V. (2000). Mixing and segregation of granular materials. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 32, 55–91.
23. Poux M.; Lescure M.; Steinmetz D.; Bertrand J. (1995). Optical sensors for the characterization of powder mixtures. *Sensors and Actuators A: Physical*, 47 1-3, 494-496
24. Przeniosło-Siwczyńska M.; Kwiatek K. (2010). Determination of active substances in medicated feedstuffs. *Krmiva (Zagreb)*, 52 (3), 165-169.
25. 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.
26. Realpe A.; Velazquez C. (2003). Image processing and analysis for determination of concentrations of powder mixtures. *Powder Technol.*, 134(3), 193-200. DOI: 10.1016/S0032-5910(03)00138-4.

27. Roberts A.W. (2006). Bulk solids handling an historical overview and current developments. *Bulk Solids Handling*, 26, 392-414.
28. Rocha A.G.; Montanhini R.N.; Dilkinb P.; Tamiosso C.D.; Mallmannb C.A. (2015). Comparison of different indicators for the evaluation of feed mixing efficiency. *Animal Feed Science and Technology* 209, 249–256. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.005>.
29. 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. <http://hdl.handle.net/10466/8456>
30. Schuff S.; Lundeen T. (2013). Mixing key step for on-farm feed manufacture. *Feedstuffs*, 79, 07. <http://feedstuffs.com/story-mixing-key-step-for-onfarm-feed-manufacture-54-80548>
31. Sikorska E. (2008). *Metody fluorescencyjne w badaniach żywności*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu.
32. Tukiendorf M. (2002). The use of Roof Shaped System Inserts in mixing nonhomogenous mixtures. *Inżynieria Rolnicza*, 4(37), 337-343.
33. Weinekötter R.; Reh, L. (1994). Characterization of particulate mixtures by in-line measurments. *Particle & Particle Systems Characterization*, 11, 4, 284-290.
34. Yang S. C. (2006). Density effect on mixing and segregation processes in a vibrated binary granular mixture. *Powder Technology*, 164 (2), 65–74.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.

Ukończyłam studia magisterskie w 2004 r. na kierunku Inżynieria Środowiska na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej z wynikiem bardzo dobrym. Praca magisterska nt. „Wpływ osadu ściekowego na przyrost biomasy wierzby energetycznej na podstawie przeprowadzonych badań” została nagrodzona I miejscem w konkursie „Najlepsze prace dyplomowe uczniów szkół średnich i wyższych w zakresie ekologii i ochrony środowiska województwa opolskiego”. Ponadto wyniki badań przedstawiane były na konferencjach naukowych oraz zostały opublikowane.

W październiku 2004 r. rozpoczęłam studia doktoranckie na kierunku budowa i eksploatacja maszyn na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej. W tym samym roku rozpoczęłam też współpracę z mieszalnią pasz. Moje zainteresowania dotyczyły analizy procesu mieszania, oceny homogeniczności mieszanek ziarnistych, zastosowania komputerowej analizy obrazu w

ocenie udziału wybranych składników mieszanki oraz modelowania procesu mieszania niejednorodnych układów ziarnistych. Zainteresowanie innowacyjnym narzędzie wykorzystującym analizę obrazu skłonił mnie do dalszej realizacji badań w warunkach laboratoryjnych. Na pierwszym roku studiów otrzymałam stypendium doktoranckie z Europejskiego Funduszu Społecznego oraz budżetu państwa. Duże zaangażowanie w pracę naukową pozwoliły na kontynuację stypendium w kolejnych latach. W trakcie trwania studiów odbyłam 9-miesięczną praktykę w firmie Atmoterm S.A, która świadczy usługi w zakresie ochrony środowiska. Ponadto na drugim roku zostałam wybrana jako przedstawiciel studentów do Rady Doktorantów Politechniki Opolskiej. Znaczne zaawansowanie badań pozwoliło na zamknięcie przewodu doktorskiego na trzecim roku studiów oraz przystąpienie do obrony rozprawy doktorskiej we wrześniu 2007 r. Otrzymałam tym samym stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn.

Od 1 lipca 2007 roku zostałam asystentem a następnie adiunktem w Katedrze Techniki Rolniczej i Leśnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej. Natomiast od dnia 1 stycznia 2013 adiunktem tej samej Katedry przeniesionej na Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, która dnia 5 czerwca 2013 r. zmieniła nazwę na Katedra Inżynierii Biosystemów. W Katedrze tej jestem zatrudniona do dnia dzisiejszego.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora w dalszym ciągu realizowałam badania w zakresie wykorzystania innowacyjnych narzędzi i metod w ocenie jakości produktów rolno-spożywczych, skupiając się szczególnie na mieszankach ziarnistych. Ponadto prowadziłam badania z zakresu optymalizacji procesów, produkcji przetworów owocowo-warzywnych, zagrożeń w produkcji żywności oraz paszy czy odnawialnych źródeł energii wykorzystywanych w rolnictwie.

Zdobyłam m in. nagrodę za współautorskie zgłoszenie „Innowacyjne techniki informatyczne w ocenie produktów rolno-spożywczych” podczas VII Giełdy Innowacji w Opolu. Poczynione obserwacje były przedmiotem licznych publikacji naukowych oraz prezentowane były na krajowych i międzynarodowych konferencjach. W 2009 roku uzyskałam stypendium w projekcie transferu wiedzy i wsparcia dla współpracy strefy nauki i przedsiębiorstw, które realizowałam w przemysłowej wytwórni pasz w województwie opolskim. Podczas odbywanego stażu poznałam charakterystykę pracy mieszalni pasz. Ponadto umożliwiono mi przeprowadzenie doświadczeń w zakresie oceny homogeniczności pasz oraz analizy procesu dozowania jej poszczególnych składników. Po odbyciu stażu badania w wytwórni nadal były realizowane. Rozpoczęta w roku 2010 współpraca z niemieckim przedstawicielem firmy Microt Tracer Inc z San Francisco zaowocowała serią badań w poznanej już wytwórni. W

zakresie tym posłużono się oferowanymi przez firmę mikrowskaźnikami Microtracer do oceny pracy mieszarki łopatowej. Wyniki badań przedstawiane były na konferencjach oraz znalazły swój finał w postaci publikacji naukowych. Współpraca z niemiecką firmą MTSE GmbH realizowana jest do tej pory.

Swoją współpracę z przemysłem i działalność B+R realizowałam w kolejnych latach, uczestnicząc w stażach i praktykach. Łącznie odbyłam 3 staże i 1 praktykę (Blattin Polska, Green Power Project, Polish Biogas Investment, Marciniak Usługi Gastronomiczne). Zdobyte umiejętności i wiedzę poszerzałam w ośrodkach naukowych w trakcie realizacji współpracy z: Department of Animal Nutrition and Forage Production, Mendel University w Brnie (Czechy), Utah State University (USA), Beijing University of Technology (Chiny). Ponadto uczestniczyłam w trzech wyjazdach studyjnych z czego jeden na terenie kraju natomiast dwa pozostałe za granicą (Czechy, Niemcy). Byłam współorganizatorem wyjazdu do Czech na Uczelnię Mendel University w Brnie w 2008 roku. Brałam udział, także w wyjazdach na uczelnie partnerskie do Portugalii, Turcji, Hiszpanii oraz Grecji.

Byłam również kierownikiem działania w projekcie Akademia Rozwoju Politechniki Opolskiej – AKROPOL, nr konkursu 1/POKL/4.1.1/2008. POKL Priorytet IV Szkolnictwo Wyższe i Nauka. Działanie 4.1, Poddziałanie 4.1.1. lata 2008-2010. W ramach realizowanego przeze mnie zadania kursy pedagogiczne dla nauczycieli akademickich Politechniki Opolskiej poszerzono kompetencje 50 nauczycieli akademickich. Ponadto byłam asystentem dwóch zadań w projekcie realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Priorytet IV, Działanie 4.2. Rozwój kwalifikacji kadr systemu B+R i wzrost świadomości roli nauki w rozwoju gospodarczym, współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, o tytule: „Agroinżynieria gospodarce”. Jako uczestnik Programu UE Erasmus Mundus byłam promotorem pracy magisterskiej studenta z Columbii. Byłam kierownikiem trzech grantów przyznanych z dotacji celowej MNiSW na prowadzenie badań naukowych i prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych, służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich, finansowanych w wewnętrznym trybie konkursowym.

Jestem autorem i współautorem sześciu ekspertyz i opracowań w ramach współpracy sektora B+R oraz autorem jednego wdrożenia. Opracowania te dotyczyły zagadnień związanych z modernizacją zakładów produkcji zwierzęcej i przetwórci warzyw i owoców, rozwiązań technicznych dla gospodarstw rolnych zmierzających do wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych, stanu rolnictwa ekologicznego w województwie opolskim oraz innowacyjne rozwiązanie dla rolnictwa w kontekście pracy rozlewaczy nawozów płynnych. Natomiast

wdrożenie dotyczyło innowacyjnej technologii produkcji peletu z mialu węglowego z dodatkiem biomasy.

Realizowane badania naukowe prowadzone są we współpracy z ośrodkami naukowymi w Polsce i za granicą jak: Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Politechnika Wrocławska, Mendel University w Brnie, instytucjami jak: Opolski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Łosiowie, Opolska Izba Rolnicza oraz firmami: wytwórnia pasz Bllatin Polska, MTSE GmbH Niemcy, Zakład Produkcji Spożywczej Jamar. Współpraca widoczna jest w postaci publikacji naukowych, udziale w projektach krajowych i międzynarodowych oraz wspólnej organizacji konferencji naukowych mających na celu popularyzację nauki oraz aplikację rezultatów w przemyśle.

Wielokrotnie organizowałam lub uczestniczyłam w organizacji krajowych i międzynarodowych Konferencji, Warsztatów i Seminariów Naukowych, także wspólnie z firmami i jednostki z którymi prowadzę współpracę naukową. W 2009 roku zostałam sekretarzem cyklicznych Międzynarodowych Warsztatów Naukowych „Rolnictwo, Technika, Zdrowie i Życie” i pełniłam ta funkcję do 2014 roku. Ponadto byłam sekretarzem dwóch konferencji związanych z biologizacją rolnictwa oraz wielu innych. Od 2015 roku jestem Przewodniczącą Komitetu Naukowego i Organizacyjnego Ogólnopolskiej Konferencji „Zdrowa Opolszczyzna”, która w ty roku odbędzie się po raz trzeci. W ramach organizacji konferencji współpracowałam z Urzędem Miasta Opole uzyskując dofinansowanie w ramach KSOW oraz Wojewódzkim Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Opolu, także w zakresie wsparcia finansowego.

W 2017 roku zostałam recenzentem artykułów w czasopiśmie International Journal of Agriculture Science.

W 2017 roku ukończyłam z wynikiem bardzo dobrym studia licencjackie na kierunku dietetyka w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Nysie. W trakcie realizacji tych studiów część moich badań zostało ukierunkowanych na aspekty żywienia człowieka.