

Prof. Piotr Młynarz
Katedra Biochemii,
Biologii Molekularnej i Biotechnologii
Wydział Chemiczny
Politechnika Wrocławska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław, 01.12.2025 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej Pana mgra Pawła Dzikiego zatytułowanej:
„Badanie jakości produktów poligraficznych przy użyciu kamer hiperspektralnych
ze szczególnym uwzględnieniem barwy”

Przedstawiona do recenzji dysertacja doktorska powstała w ramach realizacji doktoratu wdrożeniowego pod opieką prof. Michała Daszykowskiego w Instytucie Chemii, na Wydziale Nauk Ścisłych i Technicznych Uniwersytetu Śląskiego oraz przy współudziale Pani mgr Katarzyny Rybickiej, pełniącej rolę współpromotorki ze strony firmy Walstead Sp. z o.o. W tym miejscu warto podkreślić, że Pan Profesor Michał Daszykowski od wielu lat zajmuje się wykorzystaniem metod chemometrycznych w analizie danych pochodzących z różnych platform analitycznych. Jest on uznanym autorytetem w tej dziedzinie zarówno w kraju, jak i za granicą, a przedstawiona do oceny praca w pełni wpisuje się w jego zainteresowania naukowe.

Tego typu prace różnią się od klasycznych doktoratów, realizowanych w obszarze nauk podstawowych, ponieważ są ukierunkowane na opracowanie konkretnego rozwiązania, które w dalszej kolejności powinno zostać wdrożone w przedsiębiorstwie, z którego wywodzi się doktorant. W takim właśnie nurcie została przygotowana niniejsza rozprawa doktorska.

Celem pracy było uruchomienie nowoczesnego stanowiska pomiarowego do oceny jakości produktów poligraficznych z wykorzystaniem kamery hiperspektralnej, ze szczególnym uwzględnieniem kontroli barwy. Należy przy tym podkreślić, że wdrożenie takiego stanowiska w systemie kontroli jakości przedsiębiorstwa musi spełniać szereg wymagań, takich jak odpowiednia szybkość pomiaru, niski koszt, kompletność oraz całościowy charakter analizy, co zostało również wyraźnie podkreślone przez Doktoranta. Innowacyjność zaproponowanego podejścia polega na zastosowaniu kamery hiperspektralnej jako alternatywy dla powszechnie stosowanych w przemyśle poligraficznym spektrofotometrów. Realizacja tego zadania stanowiła wyzwanie zarówno w zakresie chemometrycznej analizy danych wielowymiarowych, jak i w obszarze zaprojektowania oraz skonfigurowania odpowiedniej aparatury pomiarowej.

Sama rozprawa została napisana w sposób niestandardowy i obejmuje 17 rozdziałów, a także „Bibliografię” oraz „Curriculum Vitae”. W dwóch pierwszych rozdziałach Doktorant przedstawił krótkie streszczenie pracy oraz wykaz oznaczeń stosowanych w rozprawie, co okazało się pomocne dla czytelnika, zwłaszcza w przypadku pracy o tak niestandardowej tematyce. Rozdział trzeci poświęcony jest celom wdrożeniowym i naukowym doktoratu, o których wspomniano wcześniej. Natomiast rozdział czwarty zawiera zweryfikowane hipotezy badawcze. Stanowi on dla czytelnika syntetyczne podsumowanie przeprowadzonych badań.

W rozdziale piątym Autor dysertacji rozpoczyna właściwy opis zagadnień związanych z tematyką pracy. Rozdział ten zawiera ogólny wstęp teoretyczny, wyjaśniający znaczenie kontroli jakości druku w przemyśle poligraficznym. Przedstawiono w nim charakterystykę koloru jako wyznacznika składu chemicznego, omówiono rolę barwy jako istotnego wskaźnika jakości i wartości produktu, a także zaprezentowano wybrane zastosowania analizy koloru. W tej charakterystyce zabrakło mi jednak precyzyjnej definicji pojęcia barwy i koloru. W tym samym rozdziale Autor m.in. wskazuje, że badanie koloru skóry może mieć charakter diagnostyczny w kontekście oceny stanu zdrowia. Choć w mojej ocenie jest to wątek wykraczający poza zasadnicze ramy niniejszej dysertacji doktorskiej, w szerszym ujęciu może on wskazywać na potencjalne, przyszłe kierunki rozwoju badań.

Rozdział szósty to teoretyczny opis miary podobieństwa. W tym miejscu mgr Paweł Dzik wprowadza nas w metodykę pomiarów podobieństwa za pomocą odległości Euklidesa oraz Mahalanobisa, a także omawia pojęcie reguł logicznych twardych i miękkich.

Rozdział siódmy jest zatytułowany jako „Część teoretyczna”, w którym Doktorant porusza zjawisko fluorescencji i fosforescencji, i tu zabrakło mi chociażby diagramu Jabłońskiego, który to powyższe zjawiska doskonale tłumaczy. Następnie Autor dysertacji przedstawia sposoby matematycznego opisu barwy oraz przywołuje normy ISO wprowadzające standaryzację w branży poligraficznej. Jest to cenny fragment pracy, a jego uzupełnienie o krótkie objaśnienie zakresu poszczególnych norm oraz sposobu ich praktycznego zastosowania w przemyśle drukarskim zwiększyłoby wartość merytoryczną tego rozdziału oraz ułatwiło ich zrozumienie czytelnikowi. W dalszej części tego rozdziału omówiono zagadnienia związane z pokryciem powierzchni farbą drukarską oraz rolą składowych CMYK. Następnie przedstawiono analizę PCA jako metodę estymacji stopnia niehomogeniczności próbki oraz metodę SIMCA, stanowiącą uzupełnienie nienadzorowanej analizy PCA o możliwość klasyfikacji próbek. W tym fragmencie pracy pojawia się rysunek 11, który wymaga precyzyjniejszego oznaczenia, z jednoznacznym rozróżnieniem przypadków a i b. W tej części pracy Autor opisuje zasadę działania kamery hiperspektralnej w porównaniu z metodami spektrofotometrycznymi stosowanymi do oceny jakości druku, a także definiuje pojęcie sygnału instrumentalnego. Doktorant zamieścił również opis systemów ekspertowych (eksperckich) stosowanych w druku offsetowym. Jest to zagadnienie, które może sprawiać wrażenie trywialnego, lecz ma istotne znaczenie praktyczne.

Interesującą częścią pracy jest rozdział ósmy, poświęcony tematyce postrzegania barwy, w którym czytelnik może zapoznać się m.in. z problematyką kolorów „niewidmowych”. W tym miejscu pojawia się jednak moja wątpliwość dotycząca zasadności i poprawności zastosowanej terminologii.

W rozdziale dziewiątym scharakteryzowano urządzenia pomiarowe wykorzystywane w przemyśle poligraficznym. Istotnym elementem rozprawy jest również opis procesu produkcji poligraficznej na przykładzie druku offsetowego, który pozwala zapoznać się z przebiegiem tego procesu technologicznego. Część teoretyczno-opisową pracy zamykają rozdziały dziesiąty i jedenasty, poświęcone zagadnieniom produkcji poligraficznej oraz kontroli jakości.

Rozdział dwunasty poświęcony jest opisowi eksperymentów oraz prezentacji wyników badań przeprowadzonych w celu utworzenia stanowiska wdrożeniowego do kontroli druku. W pierwszym etapie wykonano pomiary z wykorzystaniem referencyjnego spektrofotometru Exact firmy X-Rite, przy zastosowaniu materiału referencyjnego Spectralon® (100 pomiarów, 31 kanałów, wartości $L^* a^* b^*$). W wyniku przeprowadzonych pomiarów został zauważony dryft poziomu jasności L^* spowodowany prawdopodobnym nagrzewaniem się sensora kamery. W dalszej części pracy wykonano pomiary CMYK próbek w czterech powtórzeniach, po pięć pomiarów dla każdej próbki i każdego koloru.

Uzyskane wyniki zgromadzono w trzech specjalnie skonstruowanych macierzach (X, Y oraz Lab) oraz dwóch wektorach. W rozprawie zaprezentowano jedynie wyniki dla koloru czarnego, szkoda, ponieważ dane dotyczące pozostałych kolorów mogłyby być również interesujące. W kolejnym etapie porównano wyniki uzyskane z kamery hiperspektralnej Specim oraz spektrofotometru Exact. Analiza oparta była na 33 polach wydruku wykonanych dla dwóch wariantów, wydruku wzorcowego z plotera kalibrowanego oraz wydruku zrealizowanego techniką offsetową. Chociaż wartości bezwzględne parametrów L^* , a^* i b^* różniły się pomiędzy zastosowanymi urządzeniami, to odległości euklidesowe pomiędzy widmami wykazywały wysoką korelację dla obu metod pomiarowych. W dalszej części pracy Doktorant przedstawił charakterystykę zmienności procesu druku offsetowego. W tym celu, podczas produkcji na wielkoformatowej maszynie offsetowej, po około 90 minutach ciągłego druku pobrano pięć kolejnych odbitek, a po następnych 60 sekundach kolejne pięć. Na każdej z dziesięciu odbitek wykonano 37 pomiarów parametrów L^* , a^* i b^* w polach kontrolnych z wykorzystaniem urządzenia Exact. Wyniki dla trzech wybranych pól pomiarowych zaprezentowano na rysunku 38. W dalszej części rozdziału omówiono efektywność przetwarzania obrazów hiperspektralnych w odniesieniu do wymagań sprzętowych. Następnie Doktorant zaprezentował nowe sposoby wizualizacji zmienności procesu druku analizowanego za pomocą kamery hiperspektralnej, która może rejestrować setki widm w czasie rzeczywistym. W tym celu zastosował analizę PCA dla 300 widm pochodzących z dwóch zbiorów danych odpowiadających polom kontrolnym. Przedstawiono również wyniki analizy PCA z zaznaczonymi konturami, elipsami 95% i 99% prawdopodobieństwa wystąpienia wyników, wyznaczonymi przy założeniu spełnienia warunku normalnego rozkładu punktów. Taki sposób wizualizacji danych może stanowić podstawę do opracowania narzędzi decyzyjnych i diagnostycznych. Następnie Autor wykorzystuje zaproponowaną koncepcję do badania stabilności kamery hiperspektralnej FX10 firmy Specim poprzez powtarzanie pomiarów wybranych pól barwnych wzornika na różnych etapach procesu drukowania. Na tej podstawie stwierdza stabilną pracę kamery. Jednakże w odniesieniu do rysunku 45 zasadne byłoby oznaczenie poszczególnych etapów procesu różnymi kolorami. W dalszej części pracy Doktorant wykorzystuje opracowane podejście do wizualizacji przebiegu procesu druku dla czterech wybranych pól kontrolnych wzornika (cyan, magenta, yellow oraz black), wykazując najmniejszą wariancję dla kolorów cyan i magenta. Ostatni z podrozdziałów poświęcony jest zastosowaniu odpowiednio skonstruowanego systemu ekspertowego SIMCA dla czterech kolorów o pokryciu powierzchni 100%. Autor zaproponował graficzną reprezentację danych opartą na diagramach odległości, uwzględniających bezwzględne, z-transformowane odległości Mahalanobisa od reszty modelu. Pozwoliło to na wyznaczenie wartości granicznych, określających, czy dana próbka znajduje się w obszarze 99,9% prawdopodobieństwa, zdefiniowanego przez rozkład wartości odległości dla grupy referencyjnej. Pokazał też różne możliwości wykorzystania takiego podejścia w kontroli jakości wydruku.

Rozdział trzynasty stanowi opis wdrożonego stanowiska pomiarowego i zawiera charakterystykę warunków pomiaru, zastosowanych wzorców, użytego sprzętu, jak również dodatkowych rozwiązań wdrożeniowych. Ponadto opisano sposób akwizycji obrazów hiperspektralnych w połączeniu z wykorzystanym oprogramowaniem oraz zasadę jego działania. W końcowej części zaprezentowano prototypowe oprogramowanie do analizy obrazów hiperspektralnych TESH wraz z opisem jego funkcjonowania. W tym fragmencie pracy nie zostały jednak przedstawione informacje dotyczące wykorzystania opracowanego narzędzia SIMCA w połączeniu z analizą PCA, ani propozycji automatyzacji procesów dla zaproponowanego stanowiska pomiarowego. Z tego względu zasadne byłoby poznanie opinii Doktoranta w tym zakresie.

Dalsze rozdziały to: „Wnioski”, „Plany badawcze”, „Podziękowania” oraz „Źródła finansowania”, które oprócz pierwszego z nich nie mają wkładu merytorycznego do niniejszej dysertacji.

Podsumowując przeprowadzone badania stwierdzam, że cele zostały zrealizowane, to znaczy doprowadziły do utworzenia innowacyjnego wdrożenia w firmie Walstead Sp. z o. o. to jest stanowiska do kontroli jakości wydruku opartego o kamerę hiperspektralną z przeprowadzeniem odpowiednich badań naukowych, które doprowadziły do jego kompletnego skonstruowania.

Całościowy dorobek naukowy Pana mgra Pawła Dzikiego obejmuje 2 prace naukowe, w tym jedna opublikowana w uznanym czasopiśmie z zakresu chemometrii Journal of Chemometrics, a druga opublikowana w czasopiśmie branżowym Świat Druku. Doktorant 7 razy prezentował swoje wyniki na konferencjach naukowych.

Jak zwykle na sam koniec recenzji powinienem dodać, że nie mam w zwyczaju wskazywania w pracy ani na błędy językowe, ani na niedociągnięcia edytorskie, ponieważ nie wpływają one na jej merytoryczną zawartość.

Reasumując stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska Pana mgra Pawła Dzikiego spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim określonym w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (aktualne odniesienie do ustawy - tekst jednolity: Dz. U. z 2023 r. poz. 742) i wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

