

prof. dr hab. Tomasz Puzyn
Kierownik Katedry
Chemii i Radiochemii Środowiska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra Pawła Dzikiego
pt. „Badanie jakości produktów poligraficznych przy użyciu kamer hiperspektralnych
ze szczególnym uwzględnieniem barwy”

1. Wstęp

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgra Pawła Dzikiego pt. „Badanie jakości produktów poligraficznych przy użyciu kamer hiperspektralnych ze szczególnym uwzględnieniem barwy” wykonana została w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy” w Instytucie Chemii Wydziału Nauk Ścisłych i Technicznych Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, pod kierunkiem prof. dr. hab. Michała Daszykowskiego we współpracy z firmą Walstead Kraków Sp. z o.o. Funkcję opiekuna z ramienia partnera przemysłowego pełniła mgr Katarzyna Rybicka. Idea doktoratów wdrożeniowych jest w Polsce nowa i dlatego – jak przypuszczam – przygotowanie przedmiotowej rozprawy stanowiło duże wyzwanie, z którym pan mgr Dziński poradził sobie bardzo dobrze.

2. Ocena formalna

Rozprawa liczy 139 stron i ma formę monografii zawierającej 17 ponumerowanych rozdziałów zatytułowanych odpowiednio: „1. Streszczenie pracy doktorskiej w języku polskim i angielskim” (3 strony), „2. Wykaz najważniejszych oznaczeń, skrótów, akronimów i pojęć” (3 strony), „3. Cele wdrożeniowe i naukowe doktoratu” (2 strony), „4. Hipotezy badawcze zweryfikowane w doktoracie (1 strona)” „5. Wstęp teoretyczny” (5 stron), „6. Miary podobieństwa” (6 stron), „7. Część teoretyczna” (24 strony), „8. Postrzeganie barwy jako szczególny rodzaj aktywizacji i analizy obrazu” (6 stron), „9. Charakterystyka wybranych urządzeń do pomiarów spektralnych” (4 strony), „10. Produkcja poligraficzna na przykładzie druku offsetowego, wstęgowego” (10 stron), „11. Kontrola jakości w kontekście produkcji poligraficznej” (5 stron), „12. Eksperymenty i wyniki badań” (34 strony),

„13. Wdrożenie – stanowisko do kontroli jakości” (14 stron), „14. Wnioski” (1 strona), „15. Plany badawcze” (1 strona), „16. Podziękowania” (1 strona), „17. Źródła finansowania” (1 strona). Dodatkowo Autor zamieścił „Bibliografię” oraz „Curriculum Vitae”.

Wyniki badań były podstawą jednej publikacji w czasopiśmie z tzw. „listy filadelfijskiej”: P. Dziki, M. Daszykowski, L. Pieszczyk (2024) Toward more efficient and effective color quality control for the large-scale offset printing proces. *Journal of Chemometrics*, 38, e3543, publikacji w czasopiśmie branżowym *Świat druku*, a także dwóch referatów i pięciu prezentacji posterowych na krajowych i zagranicznych konferencjach naukowych.

Formalna strona rozprawy spełnia zatem wymogi opisane w Art. 187. pkt 3 i 4 *Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r.

3. Ocena merytoryczna

Współczesne badania naukowe coraz częściej prowadzone są w ścisłej współpracy z przemysłem. Umożliwiają poszukiwanie rozwiązań, które w szybki i naturalny sposób wdrażane są do praktyki przez innowacyjne firmy. W ten nurt wpisują się badania mgra Pawła Dzikiego przedstawione w recenzowanej rozprawie.

Autor postawił sobie za cel uruchomienie stanowiska pomiarowego do kontroli jakości produktów poligraficznych przy pomocy kamery kamery hiperspektralnej oraz odpowiednio zaprojektowanego systemu ekspertowego bazującego na chemometrycznej analizie danych. Wymagało to wcześniejszego przeprowadzenia badań w celu weryfikacji trzech następujących hipotez:

1. Wyniki uzyskane powszechnie uznanymi w branży poligraficznej urządzeniami do pomiarów punktowych barwy i wyniki pomiarów wykonanych kamerą hiperspektralną korelują ze sobą na tyle, że po prostych przekształceniach matematycznych można je stosować zamiennie dla próbek o homogenicznej powierzchni.
2. Pomiary wykonywane kamerą hiperspektralną są nie tylko bardziej dokładne, ale również pozwalają na bardziej wydajną analizę jakości próbek produktów poligraficznych, niż powszechnie uznane w branży poligraficznej urządzenia do pomiarów punktowych barwy.
3. Analiza wyników pomiaru wykonanego kamerą hiperspektralną dla próbki produktu poligraficznego jest możliwa do wykonania w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

Praca dotyczy bardzo ciekawego obszaru badań właściwości spektralnych związków chemicznych przy wykorzystaniu aparatu, jaki daje nam chemometria. Podjęta tematyka leży więc bez wątpienia w obszarze zainteresowań nauk chemicznych.

Ważną część pracy (ok. 25% objętości) stanowią rozdziały (5. oraz 8.-11.) wprowadzające czytelnika w interesujący sposób w świat barw w ujęciu zarówno spektralnym, jak i praktycznym – związanym z zarządzaniem procesem druku w przemyśle poligraficznym. Ta część mogłaby być w przyszłości wykorzystana jako doskonały materiał dydaktyczny dla studentów zgłębiających tajniki analizy spektralnej, ale również pracowników poligrafii.

Podobnie rozdziały 6. i 7. (ok. 25%) stanowią kompendium wiedzy chemometrycznej niezbędnej przy analizach spektralnych. Czytelnik znajdzie tam między innymi definicje miar podobieństwa w chemometrii, charakterystykę analizy głównych składowych, metody SIMCA czy systemów ekspertowych. Ta część napisana jest w mojej ocenie bardzo dobrze i świadczy o znajomości przez Autora stosowanych metod.

Chciałbym w tym miejscu jednak wykorzystać okazję, jaką stwarza publiczna obrona i zadać Doktorantowi pytanie wykraczające w niewielkim stopniu poza zakres używanych przez niego metod. W rozdziale 6., gdzie opisywane są miary podobieństwa mgr Dziński pisze: „W niektórych przypadkach może istnieć konieczność oceny podobieństwa danej próbki w stosunku do grupy próbek, które mogą być opisane przez jeden lub więcej parametrów. Wówczas, naturalną miarą podobieństwa staje się odległość próbki od środka rozważanej grupy punktów. Jeżeli pomiary opisują rozkład normalny, to zależnie od liczby parametrów możemy zastosować jedno lub wielowymiarowy rozkład normalny.” Następnie definiuje odległość Mahalanobisa. A co w przypadku, jeżeli próbki nie możemy zastosować założenia o rozkładzie normalnym lub dystrybucja próbek w danej grupie jest bardzo niejednorodna? Jakie inne miary odległości pomiędzy próbką a grupą próbek możemy w takim przypadku zastosować w chemometrii?

W najobszerniejszym (objętościowo ok. 28 %) rozdziale 12. Autor prezentuje wyniki badań własnych.

Pierwsza ze sformułowanych przez Doktoranta hipotez zweryfikowana została poprzez pomiar i porównanie wyników próbek przygotowanych na skalibrowanych wydrukach próbnych zgodnie z metodologią ICC (ang. *International Color Consortium*) z wybranym profilem ICC. Wykorzystano skalibrowane wydruki próbne (tzw. proofy), przygotowane zgodnie z metodologią ICC, z użyciem konkretnego profilu ICC, co zapewniało powtarzalność i odniesienie do standardu. Te same próbki były mierzone spektrofotometrem punktowym (urządzenie referencyjne w poligrafii) oraz kamerą hiperspektralną, rejestrującą pełne widma spektralne w zakresie *vis*. Widma z kamery hiperspektralnej były integrowane, przeliczane matematycznie i transformowane do porównywalnej przestrzeni barwnej, tak aby można je było bezpośrednio zestawzić z wynikami spektrofotometru.

Autor badał zgodność i korelację wyników obu metod, sprawdzając, czy: różnice barwy, trendy zmian oraz stabilność pomiarów są porównywalne między urządzeniami. Na podstawie uzyskanych wyników Doktorant wykazał, że dla próbek o homogenicznej powierzchni, pomiary kamerą hiperspektralną silnie korelują z pomiarami spektrofotometrycznymi.

Drugą hipotezę mgr Dziki weryfikował poprzez przeprowadzenie testów na próbkach laboratoryjnych (warunki kontrolowane) oraz na próbkach produkcyjnych pochodzących z rzeczywistego procesu druku. Zestawił ze sobą wyniki uzyskane za przy użyciu klasycznych urządzeń punktowych (spektrofotometrów poligraficznych) oraz kamerę hiperspektralną rejestrującą widma dla całej powierzchni, umożliwiającą analizę przestrzenną oraz pozwalającą badać nie tylko pola kontrolne, ale rzeczywisty obraz produktu. Doktorant weryfikował również czas potrzebny na analizę, możliwość automatyzacji przetwarzania, z także możliwość ograniczenia liczby ręcznych pomiarów punktowych. Mgr Dziki wykazał, że kamera hiperspektralna umożliwia dokładniejszą ocenę jakości druku jednocześnie zapewniając większą efektywność analizy niż klasyczne pomiary punktowe.

Trzecia hipoteza była weryfikowana przez Doktoranta od strony algorytmicznej i obliczeniowej, z wyraźnym naciskiem na czas przetwarzania danych i możliwość pracy bliskiej rzeczywistemu przebiegowi procesu. Autor zaprogramował algorytmy przetwarzania danych hiperspektralnych, zoptymalizowane pod kątem: selekcji pasm spektralnych, redukcji wymiarowości oraz klasyfikacji i oceny podobieństwa próbek. Celem tego etapu było ograniczenie liczby operacji bez utraty informacji istotnej dla oceny jakości. Algorytmy były następnie testowane w oparciu o realne dane pomiarowe, które pochodziły zarówno z badań laboratoryjnych, jak i z procesu produkcji. Autor wykazał, że analiza danych hiperspektralnych może być realizowana w czasie zbliżonym do rzeczywistego, tak więc cały system może pracować równolegle z procesem druku.

Lektura tej części rozprawy utwierdziła mnie w przekonaniu, że mgr Paweł Dziki posiadał umiejętności prowadzenia badań naukowych, w szczególności: formułowania hipotez, planowania eksperymentów, właściwego doboru narzędzi badawczych, poprawnej prezentacji i interpretacji wyników oraz formułowania wniosków.

Zabrakło mi jednak szerszej dyskusji poprzez próbę odniesienia uzyskanych wyników badań do podobnych badań prowadzonych przez inne zespoły na Świecie. Proszę Doktoranta, żeby podczas publicznej obrony spróbował taką krótką dyskusję przeprowadzić.

Doktorat skutecznie przeprowadził wdrożenie zbadanego rozwiązania w firmie Walstead Kraków Sp. z o.o. Wdrożenie opisane zostało w rozdziale 13. Warto tutaj podkreślić, że elementem wdrożenia jest program TESH służący analizie danych spektralnych napisany w języku Python, którego współautorem jest mgr Paweł Dziki. To niezwykle istotne, że podjęta została tutaj próba przygotowania stanowiska w taki sposób, żeby po pierwsze, jego obsługa nie wymagała

wykorzystania komercyjnego oprogramowania (np. MATLAB), a po drugie, żeby można było je obsługiwać posiadając minimalną wiedzę dotyczącą programowania.

Po lekturze rozdziału dotyczącego wdrożenia oraz kolejnego – zawierającego wnioski nasunęło mi się pytanie dotyczące skalowania opracowanego rozwiązania. Na ile, zdaniem Doktoranta, łatwo byłoby zainstalować podobne stanowiska w innych zakładach poligraficznych? Czy może Doktorant ma jakieś plany w tym zakresie? Czy – wspólnie z firmą Walstead Kraków Sp. z o.o. oraz Uniwersytetem Śląskim w Katowicach – rozważana jest opcja założenia spółki typu spin off oferującej zakładom poligraficznym opracowane rozwiązanie? W mojej ocenie, biorąc pod uwagę osiągnięcia Autora rozprawy należałoby ten pomysł rozważyć.

Z obowiązku recenzenta wskazać muszę również słabsze strony rozprawy. Moim zdaniem słabą stroną pracy jest struktura różniąca się od logiki typowego artykułu naukowego. Dodatkowo, mylące są podobne nazwy rozdziałów: „Wstęp teoretyczny” (rozdział 5.) oraz „Część teoretyczna” (rozdział 7.) Proponowałbym wyraźnie podzielić rozprawę następująco: wstęp teoretyczny o analizie barw i druku (ok. 25% objętości; rozdziały 5. oraz 8.-11.); cele i hipotezy (rozdziały 3. i 4.); metodyka (ok. 25% objętości; rozdziały 6. i 7.); wyniki badań własnych oraz wdrożenie (ok. 40%; rozdziały 12. i 13.); wnioski. Tak przedstawiona praca byłaby czytelniejsza i bardziej intuicyjna w odbiorze.

Powyższa uwaga jednak ma charakter redakcyjny i nie pomniejsza wysokiej oceny merytorycznej strony pracy.

4. Ocena strony edytorskiej

Rozprawa jest napisana przejrzysto, przy użyciu poprawnego języka. Razi jedynie w niektórych miejscach brak konsekwencji w użyciu czasu (raz używany jest czas teraźniejszy, po czym w kolejnym zdaniu – przeszły), np. „Aby zilustrować ideę kontroli procesu druku wielobarwnego wykorzystując w tym celu system ekspercki SIMCA, posłużymy się realnymi danymi eksperymentalnymi. (...) Konstruując system ekspercki skupiliśmy się tylko na czterech polach barw podstawowych, które są koloru cyan, magenta, yellow i black o 100 % pokryciu.” W części poświęconej prezentacji wyników własnych powinno się używać czasu przeszłego.

Dyskusyjną sprawą jest również użycie liczby mnogiej. To zawsze budzi pytanie, kto – oprócz Doktoranta – uczestniczył w badaniach. Dobrą praktyką jest zatem opisywanie badań własnych w pierwszej osobie liczby pojedynczej, a we fragmentach, w których wykorzystana jest liczba mnoga, wskazać należy jednoznacznie, wspólnie z kim Doktorant swoje prace prowadził.

Literówek jest w tekście niewiele, co świadczy o poprawnym użyciu przez Autora opcji autokorekty w procesorze tekstu. Wychwyciłem jeden potencjalny błąd, którego z oczywistych

względów autokorektor nie jest w stanie poprawić. W tytule podrozdziału 19.2 występuje określenie „systemy eksperckie”. Czy nie powinno być tam „systemy ekspertowe”?

5. Konkluzja

Recenzowana praca stanowi oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowego oraz potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie. Potwierdza również umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Drobne potknięcia, które wymieniałem w niniejszej recenzji nie wpływają na wysoką ocenę merytoryczną przeprowadzonych badań. Dlatego z pełnym przekonaniem stwierdzam, że rozprawa mgra Pawła Dzikiego spełnia wymagania zwyczajowe i ustawowe (por. Art. 187 Ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r. z późniejszymi zmianami) stawiane rozprawom doktorskim. Wniosuję zatem o dopuszczenie Kandydata do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Gdańsk, 1 grudnia 2025 r.



prof. dr hab. Tomasz Puzyn