



Dr hab. inż. Mariusz Sochacki  
Profesor Politechniki Warszawskiej

Warszawa, 31.07.2023 r.

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
DLA RADY DISCYPLINY NAUKOWEJ  
AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE KOSMICZNE  
POLITECHNIKI KOSZALIŃSKIEJ**

**Tytuł rozprawy: Zastosowanie spektroskopii klasy NIR SCAN do ekspresowych badań spektroskopowych obiektów ze zmieniającymi się w czasie parametrami optycznymi**

**Autor rozprawy: por. mar. mgr inż. Marek Mateusz Gąsiorowski**

Podstawą do sporządzenia recenzji jest Uchwała Komisji do przeprowadzenia czynności w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Koszalińskiej z dnia 20 czerwca 2023 r.

Recenzja została przygotowana zgodnie z zapisami w art. 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 ze zmianami).

- 1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska por. mar. mgr inż. Marka Mateusza Gąsiorowskiego dotyczy wykorzystania metod statystycznych oraz sztucznych sieci neuronowych do analizy widm spektroskopii bliskiej podczerwieni w pomiarze zmiennych w czasie właściwości optycznych materiałów. Docelową grupą analizowanych materiałów były perowskity stosowane w konstrukcji nowoczesnych ogniw fotowoltaicznych.

Autor sformułował następującą tezę pracy:

**Wykorzystanie urządzenia klasy NIR Scan w połączeniu z metodami analizy jako skuteczne narzędzie badania materiałów wykazujących zmienne właściwości optyczne w dziedzinie czasu.**

Praca doktorska por. mar. mgr inż. Marka Mateusza Gąsiorowskiego ma charakter doświadczalny z uwzględnieniem metod statystycznych umożliwiających zmniejszenie poziomu szumu w analizowanym widmie oraz zwiększenie dokładności uzyskiwanych wyników przy jednoczesnym ograniczeniu wymaganej mocy obliczeniowej. Praca składa się z 6 rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, podsumowania oraz bibliografii.

W rozdziale pierwszym, będącym wstępem do rozprawy, podano informacje dotyczące obszarów zastosowań spektroskopii bliskiej podczerwieni i przedstawiono możliwości poprawy skuteczności analizy uzyskiwanych widm przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych oraz innych zaawansowanych metod matematycznych. Przedstawione zostały też trzy podstawowe grupy badanych w pracy materiałów.

W rozdziale drugim podane zostały informacje dotyczące zakresu prowadzonych badań, tezy oraz celu pracy.

W rozdziale trzecim zawarte zostało wprowadzenie do metody spektroskopii bliskiej podczerwieni. Doktorant dokonał przeglądu wybranych metod analizy widm oraz omówił właściwości materiałów perowskitowych, które stały się głównym obiektem prowadzonych badań.

W rozdziale czwartym przedstawione zostały dwa podstawowe rozwiązania techniczne spektrometrów bliskiej podczerwieni, przy czym w dalszej części rozdziału Autor skupił się na opisie stosowanego w pracy rozwiązania wykorzystującego pojedynczy detektor oraz matrycę sterowanych elektronicznie mikroluster do projekcji obrazu na detektorze. Przedstawiona została konstrukcja, oprogramowanie komercyjne oraz parametry techniczne wykorzystywanego w pracy spektrometru DLP NIRscan Nano EVM. W rozdziale zostały zaprezentowane autorskie rozwiązania obudów wykonanych w technice druku 3D pozwalających na mocowanie próbek w pozycji horyzontalnej oraz zabezpieczających obwody elektryczne urządzenia.

W rozdziale piątym przedstawione zostały badania własne w zakresie bezpośrednich pomiarów widm wybranych grup materiałów. Na tej podstawie dokonano oceny zawartości wody w materiałach biologicznych, podjęto próbę oceny procesu dojrzewania owoców i warzyw, przeanalizowano dynamikę procesów krzepnięcia wosku pszczelego, parafiny, klejów cyjanowodorowych oraz epoksydowych, a w ostatniej części rozdziału poddano analizie procesy starzenia materiałów perowskitowych w okresie 30 dni w warunkach otoczenia.

W rozdziale szóstym omówiono wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych w analizie widm materiałów perowskitowych. Opisany został sposób implementacji sztucznych sieci neuronowych w środowisku MATLAB, wykonane badania symulacyjne oraz wyniki badań surowych widm, poddanych obróbce z wykorzystaniem metod statystycznych z uwzględnieniem czasu uczenia i testowania sztucznych sieci neuronowych. Przedstawiona została główna koncepcja programu polegająca na rozpoznawaniu próbek oraz badania symulacyjne. W ostatniej części rozdziału skupiono się na opisie obszarów potencjalnego rozwoju zaproponowanej w pracy tematyki.

Rozprawa liczy 125 stron. Szkoda, że w ostatniej części rozprawy doktorskiej nie pojawił się wykaz najważniejszych osiągnięć Doktoranta, co z pewnością ułatwiłoby znacznie dokonanie oceny recenzowanej rozprawy.

**2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadcząca o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?**

Załączony wykaz cytowanej literatury obejmuje 89 pozycji. Analiza źródeł, zarówno krajowych jak i międzynarodowych, została wykonana poprawnie. Dane literaturowe są aktualne, co potwierdza też wiedzę Autora z zakresu zagadnień analizowanych w rozprawie doktorskiej. Wnioski z przeglądu literatury zostały sformułowane właściwie. W punktach 79, 82 oraz 84 bibliografii pojawiają się trzy prace autora opublikowane w czasopiśmie *Electronics, Coatings* oraz *Energies*. We wszystkich trzech publikacjach Doktorant jest pierwszym autorem pracy. Autor pracy nie ustrzegł się pewnych błędów związanych ze sposobem cytowania materiałów źródłowych. Na stronie 78 rozprawy w przedostatnim akapicie dotyczącym porównania sprawności energetycznej ogniw fotowoltaicznych Autor powołuje się na pracę własną (pozycja 84 bibliografii). Natomiast dane źródłowe dotyczące sprawności energetycznej ogniw pochodzą z pozycji 2-6 bibliografii opublikowanej w artykule stanowiącym właśnie pozycję 84 bibliografii recenzowanej rozprawy doktorskiej.

**3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i przejęte założenia są uzasadnione?**

Autor rozprawy doktorskiej podjął się badań nad automatyzacją procesu analizy widm spektroskopii bliskiej podczerwieni.

Przyjęta przez Autora metodologia prac badawczych zakładała:

- Opracowanie skutecznej metody analizy widm z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych, która pozwoliłaby na ocenę zmienności widm przez osoby nie mające na co dzień doświadczenia w przetwarzaniu tego typu danych,
- Opracowanie oprogramowania implementującego zaawansowane metody statystyczne oraz sieci neuronowe w procesie przetwarzania widma,
- Praktyczną realizację procesu pomiaru widm w zakresie bliskiej podczerwieni z wykorzystaniem urządzenia klasy NIR Scan,
- Projekt i realizację otwartego systemu do analizy widm spektroskopii bliskiej podczerwieni,
- Zastosowanie opracowanego oprogramowania, którego walidację wykonano na podstawie analizy widma materiałów perowskitowych pod kątem starzenia struktur półprzewodnikowych w czasie w warunkach naturalnych.

Słuszność postawionej tezy pracy potwierdzają badania eksperymentalne opisane w rozdziałach 5-6 pracy doktorskiej.

Doktorant rozwiązał opisywane w rozprawie zadania, zaproponował i wykorzystał właściwe metody badawcze. Przyjęte w pracy założenia są w pełni uzasadnione.

**4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?**

Do najważniejszych oryginalnych osiągnięć naukowych należy zaliczyć:

- Projekt i wykonanie w technice druku 3D obudowy poprawiającej ergonomię pracy oraz zabezpieczającą obwody elektroniczne spektrometru,
- Opracowanie modelu sztucznej sieci neuronowej do analizy widm materiałów perowskitowych pod kątem optymalizacji liczby neuronów w warstwie ukrytej,

doboru metod statystycznych oraz ich wpływu na wyniki uczenia się sieci i czas analizy,

- Opracowanie programu do rozpoznawania widm materiałów perowskitowych w środowisku MATLAB pod kątem rozpoznawania losowej próbki,
- Wykonanie badań dostępnych materiałów perowskitowych pod kątem starzenia z wykorzystaniem spektroskopii bliskiej podczerwieni,
- Utworzenie bazy danych widm uzyskanych dla przebadanych materiałów perowskitowych.

Cześć prezentowanych w rozprawie wyników badań została pozytywnie zweryfikowana przez recenzentów czasopism naukowych z listy filadelfijskiej.

Przedstawione rezultaty są oryginalne, stanowią samodzielny dorobek Doktoranta i wnoszą nowe elementy do implementacji algorytmów przetwarzania danych pochodzących z widm bliskiej podczerwieni w urządzeniach przenośnych o ograniczonej dokładności pomiarowej.

**5. Czy autor wykazał umiejętności poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?**

Praca została napisana w sposób przekonujący, a jej układ jest logicznie uzasadniony.

Autor nie ustrzegł się jednak pewnych błędów merytorycznych oraz redakcyjnych.

Przykładowo:

1. Na str. 18: „Promieniowanie z zakresu IR ma energię mieszczącą się w przedziale od 48 do 4,8 kJ”. Energie promieniowania są o całe rzędy wielkości mniejsze. Trudno wręcz stwierdzić, skąd wziął się ten błąd merytoryczny,
2. Na str. 24: Nieprawidłowa definicja transmisji. Wartość  $I$  powinna być zdefiniowana jako natężenie promieniowania przechodzącego przez próbkę, a wartość  $I_0$  jako natężenie promieniowania padającego na próbkę,
3. Na str. 28: Wektor  $x$  dla normalizacji powinien być opisany jako wektor danych **przed** procesem normalizacji.

Pojawiają się pewne błędy językowe, ale nie są rażące i nie wpływają na czytelność recenzowanej rozprawy.

**6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?**

W pracy brakuje wyraźnie zdefiniowanego wskaźnika pozwalającego na ocenę stopnia starzenia się materiałów perowskitowych, co jest szczególnie istotne w obliczu potencjalnych zmian w uzyskiwanych wartościach bezwzględnych widm spektroskopii bliskiej podczerwieni. Autor stosunkowo pobieżnie weryfikuje też wpływ wykorzystywanej metody analizy widma na uzyskiwane błędy i w tym zakresie brakuje konkretnych wytycznych ukierunkowanych na potencjalne implementacje programistyczne. Lektura rozprawy nie pozwala na jednoznaczne określenie zalet i wad wykorzystania sztucznych sieci neuronowych w porównaniu chociażby z metodą dwuwymiarowej analizy korelacyjnej. Autor był zdecydowanie bardziej skupiony na opracowaniu samej metody analizy widma niż na interpretacji wyników uzyskiwanych dla materiałów perowskitowych. Zabrakło spójnego i przekonującego opisu otrzymanych zmian współczynnika odbicia dla poszczególnych próbek materiałów perowskitowych w czasie. Na podstawie analizowanych wyników można stwierdzić, że materiały z osadzaną elektrodą srebrową zachowywały się w trakcie pomiarów odmiennie, niż materiały bez takiej elektrody. Z uwagi na interdyscyplinarny charakter rozprawy doktorskiej warto było się pokusić o postawienie chociażby jakiejś hipotezy związanej z obserwowanymi zjawiskami w oparciu o dane pochodzące od wytwórców badanych próbek i podjąć próbę identyfikacji związków chemicznych odpowiedzialnych za degradację materiału.

### **7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?**

Uzyskane wyniki badań są wartościowe przede wszystkim z uwagi na uniwersalny charakter zastosowań w różnych obszarach nauk technicznych. Znaczenie praktyczne jest powiązane z wykorzystaniem nowoczesnych metod analizy w przyrządach przenośnych o ograniczonej dokładności pomiarowej, które wymagają przetwarzania dużej ilości danych. Uzyskane na podstawie analizy widm wyniki są niezwykle pomocne w rozwoju i doskonaleniu nowych materiałów, dlatego prace w doskonaleniu zaproponowanego systemu powinny być kontynuowane. Warto w tym miejscu podkreślić, że Autor opublikował uzyskane w rozprawie wyniki w wysoko punktowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym (*Electronics, Coatings, Energies*). Doktorant jest współautorem w sumie 7 publikacji naukowych indeksowanych w bazie Web of Science.

### **8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:**

- a) Niespełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b) Wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c) Spełniająca wymagania
- d) Spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e) Wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Rozprawa por. mar. mgr inż. Marka Mateusza Gąsiorowskiego spełnia wymagania formalne stawiane rozprawom doktorskim określone w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Stwierdzam, że praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wskazuje na wysoki poziom wiedzy z dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne oraz umiejętność pracy naukowej przez Kandydata. Wnioskuje o dopuszczenie do publicznej obrony recenzowanej rozprawy.

