

Prof. dr hab. Tomasz Błachowicz  
Politechnika Śląska  
Instytut Fizyki – Centrum Naukowo-Dydaktyczne  
ul. S. Konarskiego 22B, 44-100 Gliwice  
tel. 32 237-20-71

### **Recenzja pracy doktorskiej por. mar. mgr inż. Marka Mateusza Gąsiorowskiego**

#### **Wprowadzenie**

Pan mgr inż. Marek Gąsiorowski, porucznik marynarki wojennej, prowadził prace badawcze na Wydziale Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej, pod opieką Prof. dr hab. Aleksiego Patryna oraz dr hab. inż. Leszka Bychto, przedkładając do publicznej obrony rozprawę p.t. „Zastosowanie spektroskopii klasy NIR SCAN do ekspresowych badań spektroskopowych obiektów ze zmieniającymi się w czasie parametrami optycznymi”.

#### **Struktura pracy**

Praca składa się z krótkiego wstępu, pięciu głównych rozdziałów, krótkiego podsumowania oraz spisu literatury umieszczonego na końcu, który zawiera 89 pozycji obejmujących w większości odnośniki do artykułów naukowych, kilku pozycji książkowych oraz kilkunastu odnośników internetowych. Praca posiada 125 numerowanych stron. W spisie literatury autor dysertacji cytuje pięć autorskich pozycji, w których ponadto jest pierwszym autorem. Wymieniony dorobek zawiera jedno doniesienie konferencyjne, jeden lokalny raport uczelniany oraz trzy publikacje w czasopismach indeksowanych o zasięgu międzynarodowym (Coatings, Electronics, Energies). Dorobek ten należy uznać za wystarczający dla zwyczajowo przyjętych wymogów stawianych kandydatom do stopnia doktora. W części opisowej pracy bardzo ciekawe jest zestawienie i przegląd różnego rodzaju technik ekstrakcji i obróbki danych eksperymentalnych, takich jak PCA (Principal Component Analysis, analiza składowych głównych), ICA (Independent Component Analysis, analiza składowych niezależnych), LDA (Linear Discriminant Analysis, liniowa analiza dyskryminacyjna) oraz innych, co wskazuje na dobrą orientację

kandydata w zakresie współczesnych metod analizy danych inżynierskich, co nie jest, wbrew pozorom, typową i szeroko rozpowszechnioną umiejętnością u osób posiadających wykształcenie politechniczne.

### **Deklarowany cel pracy**

Celem pracy było badanie dynamiki zmian strukturalnych, powierzchniowych i podpowierzchniowych, związanych z procesami starzenia lub przemianami fazowymi, z wykorzystaniem informacji optycznej w obszarze podczerwieni (odbicie, absorpcja, transmisja), w materiałach wykazujących różnorodną szybkość przemian, poczynając od procesów odbywających się w czasie kilku minut do zjawisk przebiegających na przestrzeni wielu dni. Istotną częścią pracy była obróbka numeryczna surowych danych otrzymanych ze spektrometru rejestrującego sygnały optyczne w zakresie bliskiej podczerwieni. W tej części pracy sprawdzono różnego rodzaju podejścia, lecz przede wszystkim skupiono się na wykorzystaniu sieci neuronowych, tak aby wyuczona sieć potrafiła właściwie klasyfikować próbkę znajdującą się na nieznanym etapie swoich przemian związanych z procesami degeneracji lub/i starzenia się.

### **Teza pracy**

Autor stawia jednoznacznie tezę pracy, że zastosowanie komercyjnie dostępnego urządzenia do spektroskopii w obszarze bliskiej podczerwieni, w połączeniu z adekwatnymi metodami obliczeniowymi, w tym z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji, pozwala na uniwersalne monitorowanie bieżącego stanu w jakim znajduje się materiał lub substancja różnego typu i pochodzenia (materiał organiczny, ciało stałe, koloid), przy czym, w głównej mierze, autor tezy miał na myśli naturalne procesy degeneracyjne w produktach spożywczych, klejach o zastosowaniach budowlano-remontowych oraz perowskitowych ogniwach słonecznych. Zakres badanych materiałów był więc bardzo szeroki, co należy uznać za wartość dodaną pracy doktorskiej.

### **Niedociągnięcia i błędy znalezione w pracy**

Poza pojawiającymi się niekiedy błędami gramatycznymi i stylistycznymi, największym mankamentem pracy jest nadużywanie w tekście akronimów/skrótów różnorodnych metod, podejść i technik pomiarowych. Pomimo, że akronimy te są zawarte w zestawieniu na początku rozprawy, to częstotliwość ich późniejszego wykorzystania jest w opinii recenzenta przesadzona. Nie pozwala to na płynne poruszanie się w tekście i szybkie odgadnięcie, co autor w danym momencie ma

do przekazania. Zwykle przyjmuje się, że pierwsze użycie skrótu/akronimu w tekście powinno być poprzedzone podaniem pełnej nazwy, zanim skróty te będą wykorzystane w dalszej części opisu. Ponadto, rozdzielczość rysunków i wykresów jest kiepska, co obniża jeszcze bardziej ogólne wrażenie, co do jakości edytorskiej pracy. Z innych, zauważonych niedociągnięć można wymienić następujące: autor zamiennie używa pojęcia częstości zamiast częstotliwości, wielkości której właściwą jednostką jest 1 Hz. Przykładowo, na stronie 14, w drugim wierszu od dołu, błędnie podano, że jednostką częstości jest 1 Hz. Jak ogólnie wiadomo, jednostką częstości jest 1 rad/s. Tę pomyłkę można częściowo tłumaczyć błędem propagującym się w popularnym od wielu lat podręczniku z podstaw fizyki, używanym w procesie kształcenia w polskich uczelniach, co oczywiście związane jest z błędnym tłumaczeniem z języka angielskiego. Na stronie 15, wiersze 5-6 od dołu, pojęcie transmisji promieniowania elektromagnetycznego, które w jakiś nieokreślony bliżej sposób polega na „oddaniu części energii”, jest zupełnie niejasno zdefiniowane. Następnie, na stronie 17 podany jest podział różnych metod spektroskopowych, w tym ze względu na „wielkość” fotonów pochłanianych. Autor miał zapewne na myśli nie wielkość a ilość fotonów o danej energii. Na kolejnych stronach znajduje się dyskusja dotycząca stopni swobody molekuł, co związane jest z tematyką pracy, czyli analizowanym zakresem promieniowania podczerwonego. Na samym dole str. 18 jest mowa o energii translacji, która ma występować wewnątrz cząsteczek chemicznych. Energia ta związana jest z ruchem postępowym samych molekuł w przestrzeni swobodnej, natomiast podane stwierdzenie, że „związana jest z nieuporządkowanym ruchem molekuł” jest niedopowiedzeniem, bowiem ruch ten nie występuje wewnątrz cząsteczki. Wzór (3.5) dotyczy częstotliwości a nie częstości, natomiast symbol  $\pi$  powinien znajdować się w mianowniku. W kilku miejscach autor używa pojęcia intensywności promieniowania elektromagnetycznego, zamiast natężenia tego promieniowania. Dalej, na stronie 23., Rys. 3.2.3 definiuje różne konfiguracje pomiarowe związane z technikami spektroskopowymi. W podpisie do rysunku metody te są błędnie nazwane, bowiem nazwy są zamienione przez terminy wielkości fizycznych, które są mierzone tymi metodami. Na przykład zamiast „transmitancja” powinno być „pomiar transmitancji”. Na stronie 29 pojawia się po raz pierwszy w pracy akronim ICA, natomiast nie ma go na liście skrótów znajdujących się na początku dysertacji. Na stronie 67 autor stwierdza, że pomiar ze zmiennym punktem pomiarowym jest mniej stabilny i że jest to przypadek. Trudno się z tym nie zgodzić, ale czy nie jest to naturalna „przypadłość”, skoro widma są zbierane z różnych miejsc w badanym materiale? Tabela nr 4, na tej samej stronie, wyróżnia dwie metody pomiarowe: Column i Hadamard. Autor nie napisał w tym miejscu, czym się różnią – czyni to dopiero cztery strony dalej. Ponadto, skoro ilość punktów pomiarowych była za każdym razem taka sama (228), to po co zamieszczać dodatkową kolumnę informującą za każdym razem o tym samym? Na stronie 89, w części dotyczącej badań własnych doktoranta, znajduje się informacja, że w próbkach 104BE oraz PCB6CE otrzymano bardzo nietypowe widma, co może świadczyć o pomyłce jaka zaszła podczas zapisywania

nazwy badanego materiału. Uważam, że tego rodzaju wyjaśnienie nie powinno w ogóle znaleźć się w dysertacji. Z punktu widzenia metodologii nauki pomiary należało powtórzyć, albo ich nie publikować. Wymienione mankamenty, w większości edytorskie, nie przekreślają dużego wkładu pracy włożonej w przeprowadzenie prac badawczych, jednak w pewnym stopniu obniżają ocenę przedstawionego do recenzji tekstu.

### **Pytania do kandydata, związane z przeprowadzonymi badaniami**

W części dotyczącej badań własnych autor skupia się na wykorzystaniu metod uczenia maszynowego, w szczególności wykorzystuje do tego celu sieci neuronowe – korzysta przy tym ze standardowych narzędzi programu Matlab. Wykorzystane sieci są optymalizowane a wyniki końcowe wskazują, że próbki o nieznannej historii są poprawnie identyfikowane. Lektura tej części dysertacji, jak i fragmentów wcześniejszych, rodzi kilka pytań, na które autor powinien odpowiedzieć. Są one następujące:

- 1) Na jakiej podstawie autor, na stronie 31, twierdzi, że spektroskopia NIR w zastosowaniu do analizy materiałów chemicznych i biologicznych była „odstawiona na boczny tor” w rozwoju metod spektroskopowych?
- 2) Czy można określić głębokość pochodzenia informacji optycznej, dla różnych, badanych w pracy substancji?
- 3) Czy rejestrowane zmiany w widmach NIR pozwalają na wyróżnienie, odseparowanie dwóch procesów; powierzchniowego, związanego ze zmianą koloru badanej substancji, od procesu związanego ze zmianą struktury wewnętrznej materiałów?
- 4) Czy wynik, przedstawiony na Rys. 5.3.4. świadczy po prostu o tym, że różne miody różnią się kolorem?
- 5) Jaka jest zasadnicza różnica w otrzymywanej informacji spektroskopowej, jeśli będzie ona pochodziła z ogniw perowskitowych (PSC) zamiast z perowskitowych nano-komórek fotowoltaicznych (PNC)? W dyskusji o tychże materiałach, na str. 44-47, temat ten jest potraktowany skrótowo. Dlaczego autor próbuje jednak odróżnić te dwa rodzaje struktur fotowoltaicznych?
- 6) Na rysunku 6.2.2 punkty zbioru testującego i treningowego (niewidoczne) zapewne się pokrywają. Co to oznacza? Oraz, co oznacza zestaw punktów nazwanych jako „best” na tym samym rysunku?
- 7) Czy podczas analizy próbek z wykorzystaniem sieci neuronowych obliczano odległość euklidesową pomiędzy danymi wejściowymi i modelem neuronowym. Czy próbowano liczyć odległości innymi metodami niż euklidesowa?

### **Podsumowanie i ocena końcowa pracy**

Rozprawa zawiera oryginalne wyniki prac badawczych prowadzonych z wykorzystaniem komercyjnie dostępnego spektrometru, który był źródłem danych do dalszej analizy z wykorzystaniem szeroko rozumianych metod uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji. Tematyka ta jest obecnie jedną z najszybciej rozwijających się w obszarze nauk inżynieryjno-technicznych. Wyniki pracy, udowadniając postawioną tezę, mają przede wszystkim znaczenie praktyczne, co warto docenić. Co ważne, w toku prac przebadano różne materiały, posiadające różnorodną historię zmian strukturalnych, związanych z procesami naturalnego starzenia się. Ogólnie zatem, oceniam pracę pozytywnie.

W konkluzji stwierdzam, że rozprawa Pana Marka Mateusza Gąsiorowskiego „Zastosowanie spektroskopii klasy NIR SCAN do ekspresowych badań spektroskopowych obiektów ze zmieniającymi się w czasie parametrami optycznymi” spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie kandydata do dalszych etapów przewodu doktorskiego w Dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie kosmiczne.