



Wojskowa  
Akademia  
Techniczna



dr hab. inż. Wiktor Piecek, profesor WAT  
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego  
*dyscyplina: inżynieria materiałowa*

Warszawa, 4 kwietnia 2024r.

## RECENZJA

osiągnięć naukowych, dorobku dydaktycznego, organizacyjnego,  
oraz współpracy międzynarodowej

dr inż. Barbary Hajduk

w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego  
w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, dyscyplinie nauki fizyczne.

### 1. Podstawa prawna wykonana recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, z dnia 19 stycznia 2024 roku (umowa o dzieło nr ZPU.2024.00251) w związku z decyzjami Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne UMK o powołaniu recenzenta komisji habilitacyjnej w postępowaniu habilitacyjnym Pani dr inż. Barbary Hajduk. Recenzję sporządzono na podstawie dostarczonej dokumentacji dotyczącej postępowania habilitacyjnego dr inż. Barbary Hajduk oraz odpowiednich aktów prawnych, w szczególności Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz.1668 z późniejszymi zmianami, art. 219 ust. 1, pkt 2).



## 2. Informacje ogólne

Pani dr inż. Barbara Hajduk jest absolwentką Wydziału Matematyczno-Fizycznego Politechniki Śląskiej. W 2004 roku uzyskała dyplom magistra inżyniera w dziedzinie nauk fizycznych, specjalność - fizyka techniczna, optoelektronika. Pracę magisterską pt. „*Badanie jednoczesnej dyfuzji substancji wieloskładnikowej przez membrany*” realizowała pod opieką naukową prof. dr. hab. inż. Jerzego Bodzenty. Swoją zasadniczą karierę naukową rozpoczęła w Centrum Chemii Polimerów Polskiej Akademii Nauk w Zabrze, a następnie kontynuowała rozwój naukowy w Politechnice Śląskiej, na Wydziale Mechaniczno-Technologicznym, w Instytucie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych jako doktorantka, gdzie w 2012 roku uzyskała stopień doktora w dziedzinie nauk technicznych, specjalność - inżynieria materiałowa, polimery, na podstawie rozprawy doktorskiej: „*Badanie morfologii i własności fizycznych cienkich warstw poliazometin*”. Promotorem rozprawy doktorskiej był Pan dr hab. Jan Weszka, prof. nzw. w Pol. Śl.

W roku 2007 Habilitantka została zatrudniona na stanowisku asystenta w Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk, gdzie w 2012, po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, awansowała na stanowisko adiunkta. Na stanowisku tym pracuje do chwili obecnej.

Życiorys zawodowy Habilitantki wskazuje, że potrafi współpracować z ośrodkami badawczymi w Kraju i za granicą, co jest niezwykle istotne w budowaniu kariery naukowej. Efektem kooperacji z zespołami spoza macierzystej jednostki są min. liczne wspólne publikacje w czasopiśmie odnotowanych na liście JCR, w tym w kooperacji zagranicznej 10 publikacji. W ramach tej aktywności naukowej Habilitantka odbyła 4 krótkoterminowe staże w Instytucie Ogniw Słonecznych, Uniwersytetu Jana Keplera, w Linz, w Austrii; 4 krótkoterminowe staże w Instytucie Chemii Makromolekularnej "Petru Poni" Rumuńskiej Akademii Nauk w Iasi, Rumunia. Jednocześnie Habilitantka zgłasza, iż kontynuuje współpracę naukową z Instytutem Nanomateriałów, Zaawansowanych Technologii i Innowacji, na Uniwersytecie Technicznym w Libercu, w Czechach oraz z Wydziałem Inżynierii i Nauki o Materiałach, Uniwersytetu Adama Science w Etiopii. Na uwagę zasługuje aplikacyjny charakter działań Habilitantki w zakresie badań materiałów polimerowych do zastosowań medycznych, realizowany we współpracy z Fundacją Kardiochirurgii w Zabrze, dotyczący badań materiałów polimerowych stosowanych w medycynie.



Tematyka badawcza Habilitantki, począwszy już od pracy magisterskiej, skoncentrowana jest na badaniach struktury i właściwości funkcyjnych cienkich warstw polimerowych. Rozwinięciem tej tematyki jest zaangażowanie w pogłębienie metodologii i analizy wyników badań tych warstw metodą zmiennie-temperaturowej elipsometrii spektroskopowej. Życiorys zawodowy Habilitantki wskazuje, iż jest Ona osobą skoncentrowaną na wybranej dziedzinie naukowej, przy czym otwartą na szeroko rozumianą współpracę naukową, stale rozwijającą swoje kompetencje naukowe oraz zdolności rozpowszechnia zdobytej wiedzy. Świadczy o tym fakt, iż już po złożeniu dokumentacji w postępowaniu habilitacyjnym w obiegu ukazały się kolejne współautorskie publikacje z udziałem Habilitantki, w tym w czasopismach z istotnym współczynnikiem wpływu (min. Scientific Reports IF=4.6 oraz Nanomaterials IF=5.3).

### 3. Ocena osiągnięcia naukowego wskazanego w przewodzie habilitacyjnym

Jako osiągnięcie naukowe w przewodzie habilitacyjnym dr inż. Barbara Hajduk wskazała cykl powiązanych tematycznie publikacji naukowych pod wspólnym tytułem: „Zastosowanie elipsometrii zmiennie - temperaturowej do badań warstw otrzymanych z polimerów, blend oraz kompozytów dla optyki i optoelektroniki”. Na cykl powiązanych tematycznie publikacji składa się 11 prac współautorskich, opublikowanych w latach 2012 -2023 w czasopismach z listy JCR.

Praca naukowa Habilitantki składająca się na osiągnięcie naukowe zgłoszone w procedurze habilitacyjnej w myśl Ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* jest w istocie częścią badań prowadzonych obecnie na świecie i dotyczących cienkich warstw funkcyjnych dla zastosowań w dziedzinie elektroniki i szeroko pojętej fotoniki, w tym fotowoltaiki i biotechnologii. Wybór tematyki i motywację do przeprowadzenia badań oceniam pozytywnie.

Zgłoszony dorobek naukowy Habilitantki koncentruje się wokół aktualnego, istotnego problemu kreowania trwałych, efektywnych warstw funkcyjnych o pożądanym właściwościach przewodzących i termo-optycznych. Drogą badawczą wybraną przez Habilitantkę jest rozwój nieinwazyjnych badań właściwości i przemian fazowych cienkich (nanometrowych) warstw materiałów polimerowych (polimerów i blend polimerowych) oraz kompozytów na osnowie polimerów. Uwagę zwraca tu kluczowa rola badań realizowanych przez Habilitantkę przy pomocy elipsometrii zmiennie - temperaturowej. Wyniki badań zaprezentowane w przedłożonym jednotematycznym cyklu publikacji, sposób ich analizy oraz sformułowane wnioski (dotyczące struktury i właściwości wytworzonych warstw oraz to jak na nie wpływają metodyki ich preparacji, rodzaj i ilość zastosowanych domieszek funkcjonalnych, rodzaj i właściwości zastosowanych podłoży, przeszłość temperaturowej próbek oraz grubości



warstw) wskazują niewątpliwie na fakt, iż dr inż. Barbara Hajduk jest specjalistką w dziedzinie zaawansowanej elipsometrii spektroskopowej w zakresie badań materiałów polimerowych i kompozytów polimerowych.

Habilitationka zasadnie dzieli swoje badania na 2 podobszary; 1) badania morfologii i właściwości fizycznych cienkich warstw polimerowych [H1-H6], 2) badania przemian pod wpływem temperatury [H7-H10].

Prace [H1-H4] wskazują na bardzo praktyczny aspekt badań. Publikacja [H1] dotyczy stabilności diod z warstwą P3HT i diod z warstwą P3HT oraz dodatkową warstwą PEDOT:PSS, której rolą było poprawienie transportu dziur. Praktycznym problemem inspirującym badania było zagadnienie trwałości badanych struktur. Wykazano, że zastosowanie dodatkowej warstwy blendy PEDOT:PSS znacząco poprawiła trwałość parametrów wykonanych diod organicznych. Z kolei w pracy [H2] zbadano konduktancję blendy PEDOT:PSS w zależności od składu blendy oraz powiązano efekty indukowanych składem mieszaniny zmian konduktancji z optycznymi modelami elipsometrycznymi, co samo w sobie stanowiło duże wyzwanie badawcze.

Kolejne prace tego wątku badań - [H3-H4] obejmują badanie morfologii warstw kompozytów polimerowych zawierających fulereny. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem technik elipsometrycznych. Wyznaczono (po raz pierwszy) funkcje dielektryczne fazy uporządkowanej i amorficznej badanych fulerenów.

Habilitationka wykazała skuteczność metody elipsometrycznej w zakresie badania morfologii oraz właściwości fizycznych cienkich warstw półprzewodników organicznych. Prace [H5] i [H6] raportują badania warstw kompozytów na podstawie polimerowej z nanocząstkami nieorganicznymi: PCPDTBT: CdS (badano przerwę energetyczną, współczynniki optyczne oraz temperaturę zeszklenia), oraz PMMA/Nb2O5 (badano temp. zeszklenia, właściwości (funkcje) optyczne i procesy strukturalne prowadzące do agregacji nanocząstek Nb2O5). Wykazano jednoznaczny wpływ zawartości nanocząstek na temperaturę zeszklenia kompozytu.

Kontynuacja wątku dotyczącego badań termicznych blend polimerów, dla których zaobserwowano bogatszy polimorfizm, tj. więcej niż jedno przejście szkliste, a także inne przemiany termiczne, widoczna jest w publikacjach [H7-H10]. Przedmiotem prac [H7-H9] było opracowanie diagramów fazowych warstw z blend typu donor/akceptor (P3HT: PC60BM) i P3HT:PC70BM. W pracy [H7] (po raz pierwszy) pokazano diagram fazowy dla warstw P3HT:PC60BM, otrzymany na podstawie analizy surowych danych elipsometrycznych. Podobnie, w pracy [H8], wykazano skuteczność zmiennie-temperaturowej metody



elipsometrycznej w zastosowaniu do badania polimorfizmu kompozytów polimerowych. Habilitantka wykazała przy tym, że nieniszcząca, metoda elipsometryczna *in-situ*, jest skuteczną metodą badania ww. materiałów kompozytowych, niezmiernie czułą na szereg istotnych, dobrze rozróżnialnych paramentów takich jak grubość warstwy i skład materiału. Publikacja [H9] ilustruje badania kolejnej, półprzewodnikowej blendy polimerowej w pełnym profilu jej składu. Poza parametrami optycznymi wyznaczono z dużą dokładnością wartości przerwy energetycznej badanych materiałów. Kompleksowa analiza porównawcza otrzymanych wyników udowodniła skuteczność rozwiniętej przez Habilitantkę metody optycznej badania polimorfizmu i właściwości fizycznych cienkich warstw polimerowych w domenie temperatury. Przedstawiona wcześniej metodologia badawcza została przez Habilitantkę rozwinięta o badania rezystywności cienkich warstw kompozytów polimerowo - fulerenowych, pozwalające na pełniejsze i precyzyjniejsze badanie przemian temperaturowych funkcyjnych, półprzewodnikowych kompozytów polimerowych.

Praca [H11] jest, z naukowego punktu widzenia, bardzo wartościową pracą przeglądową. Praca zawiera zestawienie dostępnych metod analizy wyników badań temperaturowych cienkich warstw metodą elipsometrii i liczne, dobrze udokumentowane wnioski. Przedstawiono tu starannie wyselekcjonowane wyniki wskazujące na drogi skutecznego prowadzenia analizy właściwości fizycznych i strukturalnych cienkich warstw polimerowych. Uważam, że analiza materiału naukowego, powstałego na bazie szerokiego przeglądu literaturowego i badań własnych wskazuje na wysokie kompetencje Habilitantki w zakresie tematyki objętej materiałem przedstawionym do oceny w procedurze habilitacyjnej.

Mogę stwierdzić, że badania prezentowane w zakresie dzieła przedstawionego do oceny w procedurze habilitacyjnej były zaplanowane i wykonane prawidłowo. Analiza przedstawionego do recenzji cyklu publikacji budzi jednak pewne refleksje. Jest niezaprzeczalne, iż Habilitantka, z upływem czasu, nieprzerwanie pogłębiała swoją wiedzę w zakresie badań właściwości fizycznych funkcyjnych materiałów polimerowych. Szkoda, tylko, że Habilitantka nie pokusiła się o rozwinięcie swoich badań na szersze obszary materiałów organicznych, takich jak np. elastomery, materiały samoorganizujące się (ciekłe kryształy), materiały światłoporządkowane, lub materiały biologiczne. Od habilitanta raczej oczekuje się istotnego rozszerzenia tematyki badawczej po doktoracie. Moim zdaniem jest ku temu duża przestrzeń.



W świetle dokumentów zgłoszonych do oceny, stwierdzam, że najistotniejszymi osiągnięciami Habilitantki są:

- wykazanie, iż elipsometria spektroskopowa pozwala na wyznaczenie charakterystycznych temperatur przemian termicznych nanometrowych warstw polimerowych na podstawie analizy surowych danych elipsometrycznych,
- opracowanie modeli optycznych, opisujących blendy typu polimer/fuleren, uwzględniające fazę uporządkowaną i nieuporządkowaną badanych materiałów wraz ze wskazaniem ich udziału w profilu głębokościach warstwy,
- wyznaczenie funkcji dielektrycznych fazy uporządkowanej pochodnych fulerenów,
- zastosowanie metody zmiennie-temperaturowej elipsometrii spektroskopowej do wyznaczenia temperatur przemian termicznych polimerów półprzewodnikowych.

Analizując osiągnięcie naukowe wskazane w przewodzie habilitacyjnym należy zaznaczyć, że wszystkie przedłożone publikacje zostały opublikowane po obronie doktoratu Habilitantki. Do publikacji załączono oświadczenia współautorów. Do upowszechniania swoich badań Habilitantka wybrała czasopisma związane z fizyką i inżynierią materiałową, co bardzo dobrze oddaje naturę Jej prac.

Dr inż. B. Hajduk wyniki publikowała w takich czasopismach jak: Acta Physica Polonica A (3x) IF ~ 0,4 - 0,5; Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics IF=3,3; Polymers (2x) IF=4,3 - 5,0; Scientific Reports IF=4,4; Beilstein Journal of Nanotechnology IF=3,1; Polymer Testing IF=4,3; Materials IF=3,4; Journal of Physical Chemistry B IF=3,0. Sumaryczny IF cyklu publikacji wynosi IF=32,4, co daje średnio 2,94 punktu na publikację. Wynik ten jest moim zdaniem zadowalający.

Habilitantka występuje w przedłożonych pracach 7 razy jako pierwszy autor oraz 8 razy jako autor korespondencyjny.

Treść oświadczeń współautorów oraz pozycja Habilitantki na liście współautorów publikacji, w zdecydowanej większości przypadków wskazuje na Jej wiodącą rolę w powstaniu koncepcji badań, ich wykonaniu i redakcji publikacji naukowej. Co ważne, ma to miejsce w przypadku publikacji w czasopismach wykazujących te wyższe współczynniki wpływu.

**Podsumowując stwierdzam, że osiągnięcie naukowe w postaci cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych wskazane w przewodzie habilitacyjnym Pani dr inż. Barbary Hajduk wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej – nauki fizyczne. Spełniony został najistotniejszy warunek obowiązującej Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.**



#### 4. Ocena dorobku naukowego

Aktualny na dzień złożenia niniejszej recenzji wybrane dane naukometryczne Pani dr inż. Barbary Hajduk, określone przeze mnie na podstawie dostępnych mi źródeł internetowych, wraz z moją oceną, wyglądają jak poniżej:

- indeks Hirscha (*h-indeks*) wg bazy *Scopus* wynosi  $h = 11$  (bez autocytowań  $h = 8$ ), wg bazy *Google Scholar*  $h = 17$ , (wynik zadowalający),
- baza *Scopus* wykazuje 39 publikacji współautorskich, (wynik zadowalający),
- licząc od roku kolejnego po uzyskaniu stopnia doktora (od roku 2013) baza *Scopus* raportuje 32. publikacje, co daje średnio 3,2 publikacji na rok, co uważam za wynik zadowalający,
- całkowita liczba cytowań wg bazy *Scopus* wynosi 354 (211 z wyłączeniem autocytowań wszystkich współautorów) – ze względu na wąską tematykę jaką zajmuje się Habilitantka, wynik uważam za zadowalający.

Pozostała aktywność naukowa habilitantki po uzyskaniu stopnia doktora, wykazana w załącznikach do wniosku o wszczęcie Jej procedury habilitacyjnej obejmuje:

- współautorstwo jednego rozdziału w wydawnictwie monograficznym, „*Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications*” 2018, DOI:10.1016/B978-0-12-813351-4.00022-5 (Elsevier), - rozdział 21- P. Jarka, T. Tański, B. Hajduk, W. Matysiak, „*Moleculars Materials in Optoelectronics and Photovoltaic Devices*”;
- 3 wykłady na zaproszenie wygłoszone w krajowych placówkach naukowych, dotyczące tematyki związanej z przedmiotem osiągnięcia naukowego zgłoszonego we wniosku o wszczęcie procedury habilitacyjnej;
- 7 pozycji publikacyjnych bez współczynnika wpływu;
- 21 prezentacji konferencyjnych na konferencjach krajowych i zagranicznych;
- uczestnictwo w komitetach organizacyjnych 3. konferencji naukowych, krajowych;
- wykonawstwo w 3. projektach realizowanych w ramach grantów NCN;
- kierowanie jednym projektem grantowanym przez NCN, realizowanym w ramach konkursu MINIATURA 2;
- 3 krótkoterminowe staże naukowe w zagranicznych placówkach naukowych, zakończone wspólnymi publikacjami;
- uczestnictwo w 2. programach międzynarodowych;
- 20 recenzji publikacji dla czasopism naukowych o zasięgu międzynarodowym,



wymienionych w wykazie JCR;

- edytor gościnny we "Frontiers in Physics", wydanie specjalne „Physical Properties of Materials for Organic Optics and Optoelectronics” (obecnie);
- 3 ekspertyzy na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców.

**Analiza działalności naukowej Habilitantki, nie wliczając głównego osiągnięcia, dowodzi, że mieści się ona w dyscyplinie nauki fizyczne w sposób zadawalający.** Poczucie niedostatku budzi choć tylko jeden projekt naukowy zrealizowany pod kierownictwem Habilitantki, który odnotowuję w dokumentacji.

### 5. Ocena pozostałej działalności

Habilitantka w autoreferacie nie wymienia członkostwa w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych.

Działalność dydaktyczna Pani dr inż. Barbary Hajduk obejmuje:

- promotorstwo pomocnicze pracy inżynierskiej – 1 raz,
- promotorstwo pomocnicze pracy doktorskiej – 1 raz,
- prowadzenie zajęć dydaktycznych w Politechnice Śląskiej, Wydział Mechaniczny-Technologiczny w lata 2008-2011 (przed doktoratem):
  - Podstawy informatyki – laboratorium,
  - Bazy danych – laboratorium,
  - Projektowanie materiałów – projekt,
  - Obróbka cieplna – laboratorium,
  - Materiałoznawstwo – laboratorium,
  - Materiały ceramiczne – laboratorium,
  - Komputerowe wspomaganie materiałów - laboratorium ,
- 2x prowadzenie krótkoterminowych staży grupy studenckiej w jednostce macierzystej,
- prowadzenie szkolenia z zakresu obsługi elipsometru spektroskopowego.

**Uwzględniając ww. aktywność Habilitantki oceniam Jej pozostałą działalność w obszarze nauki jako zadowalającą.**





## Wniosek końcowy

Na podstawie oceny osiągnięcia naukowego stanowiącego cykl powiązanych tematycznie publikacji naukowych pod wspólnym tytułem „Zastosowanie elipsometrii zmiennej temperatury do badań warstw otrzymanych z polimerów, blend oraz kompozytów dla optyki i optoelektroniki”, a także dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego stwierdzam, iż dr inż. Barbara Hajduk spełnia wszystkie wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego, określone w obowiązującej Ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*.

Wniosuję do Rady Dyscypliny Naukowej Nauki Fizyczne Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu o nadanie dr inż. Barbarze Hajduk stopnia doktora habilitowanego.

*Wiktor Fluc*