



dr hab. inż. Łukasz Kurpaska, prof. NCBJ
Laboratorium Badań Materiałowych
Narodowe Centrum Badań Jądrowych
ul. Andrzeja Sołtana 7/23, 05-400 Otwock-Świerk

Warszawa 25.04.2024

Recenzja dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego oraz osiągnięcia habilitacyjnego
dr inż. Rafała Zybaly, zatytułowanego:
„Wytwarzanie i charakterystyka nanostrukturalnych form materiałów termoelektrycznych”.

1. Podstawa wykonania recenzji

Podstawą do wykonania recenzji osiągnięcia naukowego wraz z oceną aktywności naukowej dr inż. Rafała Zybaly jest pismo Pani prof. dr hab. inż. Małgorzaty Lewandowskiej, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej z dnia 28.02.2024.

Przedstawiona przeze mnie recenzja oparta jest o dokumenty przygotowane przez Habilitanta:

- dane wnioskodawcy - dr inż. Rafała Zybaly;
- kopia dokumentu potwierdzającego uzyskanie stopnia doktora;
- autoreferat;
- wykaz osiągnięć naukowych, stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa;
- kopie publikacji stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego;
- oświadczenia współautorów;
- wnioski o wszczęcie postępowania.

Stwierdzam, że dokumenty te spełniają wymogi formalne zgodnie z Art. 219 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dziennik Ustaw 2018 poz. 1668), ze zmianami (Dziennik Ustaw 2023 poz. 212).

2. Charakterystyka ogólna Habilitanta

Pan Rafał Zybala uzyskał dyplom magistra inżyniera na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie w roku 2008 na kierunku Inżynieria Materiałowa, specjalność: Materiały dla Elektroniki w oparciu o pracę pt. „Konstrukcja stanowiska pomiarowego oraz badania przewodnictwa cieplnego materiałów 3-omega”. Promotorem pracy magisterskiej był prof. dr hab. inż. Krzysztof Wojciechowski. Następnie kontynuował swoją edukacją na studiach doktoranckich na tym samym wydziale by w roku 2013 obronić pracę doktorską pt. „Wysokotemperaturowy segmentowy moduł termoelektryczny”, której promotorem był również prof. dr hab. inż. Krzysztof Wojciechowski. Tuż po obronie pracy doktorskiej, Habilitant rozpoczął pracę w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki (dawniej Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych), gdzie obecnie pełni funkcję Lidera Grupy Badawczej „Materiały dla Elektroniki”. Od 2014 roku, Habilitant zatrudniony jest również na Politechnice Warszawskiej, Wydział Inżynierii Materiałowej, Zakład Projektowania Materiałów, gdzie obecnie jest zatrudniony na stanowisku Starszy Specjalista Naukowo – Badawczy. W

trakcie swojej pracy w obu ośrodkach naukowych, dr Zybala zatrudniony był na różnego rodzaju stanowiskach, zaczynając od technologa i adiunkta (Politechnika Warszawska), poprzez kierownika projektów B + R i Lidera Obszaru ds. Materiałów Funkcjonalnych (Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki).

Działalność i dorobek naukowy Habilitanta

Główne zainteresowania naukowe dr Rafała Zybala koncentrują się wokół łączenia badań podstawowych związanych z określaniem właściwości fizykochemicznych nowych funkcjonalnych nanomateriałów termoelektrycznych z badaniami wdrożeniowymi (testowanie materiałów w realnych warunkach pracy, budowa demonstratorów technologii, komercyjne wytwarzanie materiałów termoelektrycznych wykorzystując dostępne - i tanie – surowce, lub testowanie sposobu ich łączenia). Motywatorem do rozpoczęcia pracy naukowej w tym obszarze był postępujący w Polsce (i na świecie) kryzys energetyczny. Dr Zybala trafnie zauważył, że jedną z metod wykorzystania utraconej energii cieplnej jest jej zamiana na energię elektryczną stosując moduły termoelektryczne. W swojej pracy naukowej, dr Zybala skupił się na badaniu właściwości modułów termoelektrycznych celem poprawy ich funkcjonowania. W tym aspekcie należy dodać, że do jednych z najważniejszych osiągnięć Habilitanta należy opracowanie autorskiej metody wytwarzania materiałów termoelektrycznych z użyciem plazmy impulsowej w cieczy PPL (*Pulsed Plasma in Liquid*). Ponadto, opracował on nowatorskie metody wytwarzania nanoproszków metali i nanomateriałów termoelektrycznych w postaci nanokrystalicznej oraz tak ukierunkował badania naukowe aby ocenić wpływ metody wytwarzania na właściwości termoelektryczne. Warto zauważyć, że złącza metaliczne elektroda – materiał termoelektryczny wytworzone zostały wykorzystując metodę SPS (*Spark Plasma Sintering*). Metoda ta została specjalnie zmodyfikowana, aby osiągnąć założony materiał a parametry użytkowe określone zostały przy pomocy własnoręcznie skonstruowanej mikrosondy termoelektrycznej służącej do określania rezystancji złącz oraz współczynnika Seebecka.

W odniesieniu do materiałów na jakich dr Zybala prowadził swoje badania naukowe, można wymienić kilka najważniejszych m.in. i) tellurek antymony III i tellurek bizmutu III, trójantymonek kobaltu, krzemek magnezu czy związki z grupy TAGS (oraz ich roztwory). W każdym przypadku wybór określonego materiału badawczego był poprzedzony albo szczegółowym przeglądem literaturowym lub określony skład chemiczny został zaproponowany dzięki analizie otrzymanych wyników i dostępnej literatury naukowej. Dla wszystkich wytworzonych materiałów, zarówno niedomieszkowanych jak i domieszkowanych, Habilitant wykonał szczegółową charakteryzację właściwości termoelektrycznych, ocenił ich morfologię i strukturę krystaliczną. Prowadzone badania naukowe doprowadziły do zaproponowania kontrolowanych modyfikacji ich składu chemicznego oraz ich przetworzenia w technologiczne użyteczne formy stałe. Z tego powodu, przedmiotowy dorobek naukowy oceniany jest w kontekście wpływu na Dziedzinę Inżynieria Materiałowa i w mojej ocenie nie pozostawia wątpliwości, że dr Zybala wniósł znaczący wkład w rozwój badanych materiałów. Ponadto, zaproponowanie kontrolowanej modyfikacji składu chemicznego i jej przeprowadzenia świadczy o dogłębnym zrozumieniu właściwości fizycznych i chemicznych badanych materiałów. Z tego powodu oceniany dorobek naukowy należy uznać za niezwykle istotny, a zastosowane podejście do testowania w warunkach przemysłowych za nowatorskie i ciągle rzadko spotykane w Polsce.

W dalszej części recenzji pokrótce omówiono najważniejsze wyniki naukowe wybranych do oceny ośmiu prac naukowych, które stanowią cykl badawczy osiągnięcia naukowego pt. „Wytwarzanie i charakterystyka nanostrukturalnych form materiałów termoelektrycznych”. Przedstawione osiem prac naukowych można sklasyfikować ze względu na ich charakter naukowy: dotyczący badań podstawowych związanych z określeniem składu chemicznego (prace A1-A5, A8), dotyczący technologii i opracowania metod/procedur wytwarzania i oceny złącz (prace A6, A7) oraz dotyczący

zastosowania opracowanych rozwiązań w innych aplikacjach niż termoelektryczne (optoelektronika) (prace A5 i A8).

Pierwsza praca naukowa, rozpoczynająca niejako cykl ośmiu prac naukowych opublikowana została w czasopiśmie *Synthetic Materials* (IF 4.4) i dotyczyła przygotowania i wytworzenia nanostrukturalnego materiału termoelektrycznego z grupy TAGS „*Preparation and characterization of nanostructured (GeTe)₇₅(AgSbTe₂)_x(AgSbSe₂)_y thermoelectric materials*”. Co bardzo ważne, jest to samodzielna praca, która wykonana została w ramach projektu SONATA finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki, w którym dr Zybala pełnił rolę kierownika projektu. W pracy tej Habilitant opisał proces wytwarzania i kompleksowej charakteryzacji nanostrukturalnych materiałów termoelektrycznych. O unikalności tej pracy świadczy fakt, że badany materiał został po raz pierwszy zsyntezowany w tzw. procesie wieloetapowym (zaproponowanym przez Habilitanta), co przełożyło się obniżenie przewodności cieplnej i wzrost przewodności elektrycznej skutkując poprawą właściwości termoelektrycznych (parametru ZT). Opisanie badania dowiodły, że zaproponowana metodologia jest poprawna i wywarły wpływ na dziedzinę wiedzy, ponieważ do tej pory cytowane były 8 razy pomimo stosunkowo młodego wieku przedmiotowej pracy (zgodnie z Google Scholar).

W drugiej pracy pt. *Characterization of nanostructured bulk cobalt triantimonide doped with tellurium and indium prepared by pulsed plasma in liquid method*, autor skupił się na ocenie wpływu domieszki telluru i indu na właściwości funkcjonalne trójantymonku kobaltu. Materiał ten został wytworzony za pomocą metody plazmy impulsowej w cieczy (PPL) z fazy ciekłej. Do oceny morfologii oraz struktury wytworzonego materiału użyte zostały standardowe metody badawcze: XRD, SEM i STEM. Przewodność elektryczna i współczynnik Seebecka zmierzone zostały za pomocą metody czterosondowej w funkcji temperatury. Habilitant dowiódł, że nanostrukturalny CoSb₃ cechuje się kilkukrotnie niższym przewodnictwem cieplnym ($3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) niż czysty materiał. Nie uzyskano natomiast poprawy współczynnika efektywności termoelektrycznej. Pomimo wydawać by się połowicznego sukcesu, dr Zybala jednoznacznie udowodnił, że nanostrukturyzacja materiałów termoelektrycznych przynosi zamierzone efekty w postaci obniżonego parametru współczynnika cieplnego (w sferze badań pozostaje poprawa współczynnika ZT).

Trzecia praca naukowa, A3, dotyczyła krzemku magnezu domieszkowanego bizmutem. W pracy tej, Habilitant potwierdził, że wprowadzając atomy bizmutu w miejsce atomów magnezu można znacząco zwiększyć koncentrację nośników i tym samym zintensyfikować efekt rozpraszania fononów, co z kolei skutkuje poprawą współczynnika ZT. Ponadto w tej pracy zademonstrowano, że krzemek magnezu (materiał powszechnie dostępny, tani i nietoksyczny), można wytworzyć za pomocą ultraszybkiej samo-rozwijającej się syntezy wysokotemperaturowej SHS i spiekania SPS. Przeprowadzone badania dowiodły, że w układzie Ag-Si domieszkowanym Bi, dominującą fazą jest Mg₂Si a Bi₂Mg₃ lokalizuje się na granicach ziaren. Natomiast domieszkowanie bizmutem zasadniczo zmieniło wszystkie właściwości termoelektryczne (m.in. skutecznie zwiększyło współczynnik ZT). Publikacja ta została przygotowana w ramach projektu pt. *Thermoelectric Transport Properties in Si-based and Ge-based Nanostructured Bulk Materials* finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Praca A4, opublikowana w *European Journal of Inorganic Chemistry* (liczba cytowań 19), dotyczyła właściwości trójskładnikowego Cu-Fe-S o składzie zbliżonym do chalkopiryty. W pracy tej, Habilitant dowiódł, że korzystając z prostych i łatwo dostępnych prekursorów, można w sposób powtarzalny wytworzyć nanokryształy o wielkości 5-15 nm. Poprzez zastosowanie tetrafluoroboranu trietylu usunięto ligandy organiczne poprzez ich wymianę na ligandy nieorganiczne. Operacja ta miała kluczowe znaczenie na etapie wytwarzania litego materiału, ponieważ pozwoliła na spiekanie pod ciśnieniem metodą SPS ograniczając pirolizę substancji organicznych. Ponadto, spiekanie nie

doprowadziło do rozrostu krystalitów (parametr wyznaczony z równania Scherrera) a wytworzony materiał charakteryzował się ujemną wartością współczynnika Seebecka – zgodnie z opinią Habilitanta, była to pierwsza publikacja dotycząca materiałów termoelektrycznych z grupy n opartych o układ Cu-Fe-S.

Kolejna praca dr Zybali dotyczyła tellurku antymonu – materiału powszechnie stosowanego jako niskotemperaturowy materiał termoelektryczny. Habilitant opisał proces nanostrukturyzacji, domieszkiwania oraz syntezy badanego układu w formie polikrystalicznej, monokrystalicznej lub cienkiej warstwy. Obok „standardowej” metodologii badawczej zastosowanej we wcześniejszych pracach, w tym artykule Habilitant ocenił czy badany materiał nadaje się do zastosowań optoelektrycznych (próbki zostały wytworzone za pomocą metody PVD). Udowodniono, że tellurek antymonu posiada potencjał do zastosowania w nowatorskich nieliniowych urządzeniach optycznych, w szczególności w szerokopasmowych i uniwersalnych absorberach nasycających dla laserów włóknowych. Praca ukazała się w czasopiśmie *Archives of Metallurgy and Materials* i jak do tej pory była cytowana blisko 50 razy, co świadczy o szerokim zasięgu opisanych badań.

Drugi watek badawczy, który w swojej pracy naukowej został poruszony przez doktora Zybali dotyczył technologicznego i aplikacyjnego sprawdzenia opracowanych materiałów termoelektrycznych. Prace związane z tą częścią ocenianego dorobku naukowego opublikowane zostały w dwóch artykułach naukowych w czasopiśmie *Journal of Electronic Materials* a w obu pracach Habilitant pełnił rolę wiodącą – pierwszego autora. Pierwsza praca związana była z opracowaniem, wytworzeniem i zbudowaniem aparatury służącej do testowania wydajności modułów termoelektrycznych, przeznaczonych do zastosowania w generatorach termoelektrycznych (TEG). Habilitant przeprowadził bardzo precyzyjne pomiary strumienia ciepła przechodzącego przez moduł termoelektryczny (pomiary były przeprowadzone na ciepłej i zimnej stronie układu). Na podstawie analizy zachowania energii elektrycznej i cieplnej dokonano oszacowania sprawności konwersji energii. Pełna charakterystyka obciążenia cieplnego i elektrycznego modułów TE wykonana została wykorzystując sterowane źródło prądu. Ponadto, Habilitant potwierdził, że wykonana przez niego aparatura pomiarowa daje powtarzalne wyniki pomiarowe i może z powodzeniem zostać użyta do testowania różnego rodzaju modułów TE.

W drugiej pracy związanej z technologicznymi aspektami wytwarzania materiałów TE, dr Zybala skupił się na charakteryzacji złącz pomiędzy tellurkiem bizmutu a elektrodą miedzianą. Do łączenia tych materiałów wykorzystano metodę SPS, którą specjalnie do tego zadania zmodyfikowano w oparciu o wcześniejsze doświadczenia Habilitanta. Ponadto dobrane zostały odpowiednie bariery dyfuzyjne oraz metody badawcze, niezbędne w celu określenia jakości wytworzonych złącz. Działanie te podjęte zostały, ponieważ dr Zybala bardzo trafnie zdiagnozował podstawowy problem w rozwoju materiałów TE – technologia łączenia. Wyprodukowane złącza, muszą cechować się dużą wytrzymałością mechaniczną, adhezją, przewodnością elektryczną i przewodnictwem cieplnym, a także stabilnością w wysokiej temperaturze. W przedmiotowym artykule dowiedziono, że złącza niskotemperaturowe wykonane techniką lutowania oporowego (układ $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{lut}/\text{Cu}$ otrzymane przy użyciu lutów bezołowiowych na bazie Au, Sn, Sb) posiadały rekordowo niską wartość rezystancji. Opublikowane wyniki przyczyniły się do powstania zgłoszenia patentowego pt. *Sposób na wytwarzanie modułów termoelektrycznych w jednoetapowym procesie łączenia elementów przy wykorzystaniu techniki spiekania typu FAST/SPS i urządzenie realizujące ten sposób*. Habilitant jest pierwszym autorem tego patentu, który został udzielony przez Urząd Patentowy dnia 8/11/21.

Trzeci etap badawczy Habilitanta dotyczył sprawdzenia czy opracowane rozwiązania sprawdzą się w innych aplikacjach niż termoelektryczne, np. optoelektronika. Powstała praca, opublikowana została w czasopiśmie *Optics Letters* (IF 3.6), tytuł pracy *Dissipative soliton generation in Er-doped fiber*

laser mode-locked by Sb_2Te_3 topological insulator I do tej pory cytowana była ponad 80 razy co świadczy o jej bardzo dużej rozpoznawalności i wpłynie na środowisko naukowe. W pracy tej Habilitant opisał generację dyssypatywnych solitonów w laserze światłowodowym z domieszką Er, modulowanym przez izolator topologiczny – tellurek antymonu, w reżimie bliskim zeru dyspersji. Badane warstwy zostały osadzone za pomocą metody PVD na bocznie polerowanym włóknie i miały grubość od kilku nm do kilku mikronów co świadczy o dobrej skalowalności i kontroli procesu napyłania. Przetestowane rozwiązania zainicjowało serię prac badawczych poświęconych wyjaśnieniu, dlaczego tellurek antymonu wykazuje silne wpływy na właściwości optyczne.

Podsumowując, największą cytawalnością charakteryzuje się praca A8, ale należy podkreślić, że wszystkie prace wchodzące w skład ocenianego osiągnięcia naukowego były wielokrotnie cytowane. Z tematyką osiągnięcia habilitacyjnego jest ściśle związanych 8 dalszych publikacji, które powstały w tym samym okresie co wybrane na poczet omawianego osiągnięcia (współpraca z grupami prof. Sobonia i Sotora z Politechniki Wrocławskiej). Wszystkie (oprócz pracy A1, gdzie Habilitant jest jedynym autorem) objęte osiągnięciem habilitacyjnym publikacje są współautorskie; w pięciu z nich Pani dr Zybala jest pierwszym autorem, a w dwóch na drugim i trzecim miejscu, co wskazuje na jego wiodącą rolę zarówno w przygotowywaniu, jak i w prowadzeniu prac. Tę wiodącą rolę poświadczają też załączone i nie budzące wątpliwości oświadczenia współautorów. Należy również wyraźnie podkreślić, że prace te są spójne tematycznie, układają się w logiczną całość, a wykonane badania zostały bardzo dobrze zaplanowane i przemyślane, a ich realizacja opierała się na wykorzystaniu całej gamy nowoczesnych eksperymentalnych technik badawczych, które przyczyniły się do głębszego zrozumienia właściwości strukturalnych, optycznych i elektrycznych badanych próbek. W mojej ocenie na szczególną uwagę zasługuje aplikacyjny charakter prac – cecha ciągle niezwykle rzadko spotykana w Polskiej nauce.

Całkowity dorobek naukowy Pana dr Zybaly jest znaczący i obejmuje blisko 70 publikacji (w tym 35 publikacji uzyskanych po doktoracie – zgonie z załącznikiem 4). Znacząca część z tych publikacji jest indeksowana w bazie Web of Science z całkowitą liczbą cytowań 808 i indeksem Hirsha 17 (zgodnie z Google Scholar liczba cytowań Habilitanta wynosi 1159 a Indeks Hirsha 20). W mojej ocenie są to parametry bardzo dobre lub wręcz doskonałe na tym etapie kariery naukowej, szczególnie, że dr Zybala nie prowadzi tylko i wyłącznie pracy naukowej, lecz zaangażowany jest w opracowywanie i rozwijanie nowych demonstratorów technologii do zastosowań przemysłowych. Wśród wszystkich prac naukowych stosunkowo mało jest prac mono-autorskich, lub takich, gdzie dr Zybala pełni wiodącą rolę i jest na pierwszym miejscu, ale należy wziąć pod uwagę fakt, że publikacje te powstawały dzięki wykorzystaniu wielu urządzeń badawczych i konieczna była współpraca z innymi grupami badawczymi. Siłą rzeczy więc, prace badawcze wykonywane były z udziałem dużych zespołów badawczych, które dostarczały możliwości pomiarowych. Ponadto Habilitant bardzo często publikuje w polskich czasopismach naukowych związanych z inżynierią materiałową, techniką i technologią. Jest to bardzo pozytywne i przekłada się na liczne współprace krajowe. Z drugiej strony analiza dorobku naukowego sugeruje dosyć ograniczoną współpracę (potwierdzoną publikacjami naukowymi) z ośrodkami spoza kraju. Na element ten należy zwrócić uwagę w przyszłości – należy jednak wyjaśnić, że na tym etapie kariery naukowej (i przedmiotowej oceny dorobku) nie jest to krytyczne i nie wpływa negatywnie na moją końcową opinię.

Oprócz wymienionego dorobku publikacyjnego Pan dr Zybala może się pochwalić bardzo dobrą aktywnością w prezentacjach/wykładach na konferencjach międzynarodowych (12), które odbyły się w Korei Południowej, Francji, Włoszech, Hiszpani, Grecji czy Niemczech. Świadczy to o mobilności kandydata i rozpoznawalności pracy dr Zybaly. Ponadto, w trakcie dotychczasowej kariery naukowej,

swoje prace prezentował w postaci posterów (15). Należy też wyraźnie nadmienić, że osiągnięcie wymienionych wyników nie byłoby możliwe, gdyby nie umiejętność Kandydata do organizowania pracy zespołowej oraz zdolność pozyskiwania środków finansowych na realizację projektów naukowo badawczych i współpracy naukowej. W tym zakresie Kandydat osiągnął doskonałe wyniki, które jednoznacznie świadczą o tym, że jest on samodzielnym pracownikiem naukowym. Doktor Zybała pełnił rolę kierownika w czterech grantach przyznanych przez NCN (Sonata i FUGA), NCBiR oraz ostatnio dofinansowanie z MEN w ramach środków SPUB (którego otrzymanie w ostatnich latach stało się niezwykle trudne). Ponadto kandydat uczestniczył lub uczestniczy w blisko 20 grantach badawczych realizowanych przez inne grupy badawcze. Finansowanie tych badań zapewnione było przez NCN (OPUS, Preludium), NCBiR (M-ERA.Net, CORNET, GRAFTECH, współpraca Polsko-Tajwańska), COFUND-EJP, dotacje celowe dla Sieci Łukasiewicz czy dofinansowania poprzez POIR/POIG i KBN. Jest to doskonały dorobek, który jednoznacznie świadczy o wysokiej motywacji kandydata do prowadzenia badań naukowych i świadomości, że system finansowania badań przeszedł w Polsce na system grantowy.

Na uwagę zasługuje również fakt, że od roku 2007 dr Zybała jest członkiem *ICT – International Thermoelectric Society* i *ECT – European Thermoelectric Society* a od 2008 roku członkiem Polskiego Towarzystwa Próżniowego. Niedawno, w 2022 roku dołączył on do *Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej (PTMTS)*. Są to szanowane grupy eksperckie, które zrzeszają wielu wybitnych naukowców a obecność w ich gremium dr Zybały potwierdza jego dobrej jakości osiągnięcia naukowe. Oceniając mobilność kandydata, w zwłaszcza jego współpracę z innymi ośrodkami badawczymi należy zwrócić uwagę, że ma ona raczej charakter lokalny – staże naukowe na Politechnice Warszawskiej i Warszawskim Uniwersytecie Medycznym są głównymi punktami w życiorysie dr Zybały. Otrzymał on 3 miesięczny staż naukowy w ramach realizowanego projektu SONATA w RWTH Aachen University, Institute of Mineral Engineering (Akwizgran, Niemcy), lecz jest to jedyny dłuższy zagraniczny pobyt Habilitanta. W tym kontekście należy jednak wyjaśnić, że charakter pracy kandydata ma charakter aplikacyjny, więc musi on przebywać w stałym kontakcie z zespołem jak i lokalnymi partnerami gospodarczymi. W mojej ocenie, biorąc pod uwagę bardzo dobre osiągnięcia w zakresie opracowywania i wdrażania rozwiązań technologicznych, aspekt wymiany naukowej jest satysfakcjonujący. Habilitant jest współautorem 4 wniosków patentowych (w jednym pełni rolę wiodącą) oraz w trakcie pracy naukowej wykonał 7 ekspertyz materiałowych dla zewnętrznych firm. W przypadku firmy Novago sp z.o.o zaowocowało to wspólnym projektem sfinansowanym przez NCBR – działanie bardzo pozytywne świadczące o prawdziwej współpracy z podmiotami gospodarczymi.

Działalność dydaktyczna i organizacyjna

Mimo, że macierzysta jednostka Habilitanta nie ma charakteru stricte akademickiego, na uwagę zasługuje fakt, że od 2014 roku dr Zybała prowadzi w Instytucie Łukasiewicz – IMIF coroczne wykłady dla studentów kierunku inżynieria materiałowa PW i fizyka UW. Ponadto dwukrotnie został on zaproszony na wykład dla studentów Uniwersytetu RWTH w Akwizgranie. Od września 2019 dr Zybała pełni rolę promotora pomocniczego mgr inż. Kamila Kaszycy, który realizuje doktorat wdrożeniowy w Szkole Doktorskiej AGH w Krakowie (praca w trakcie recenzji). Prowadzone badania zostały docenione przez panel ekspertów i uzyskały dofinansowanie w ramach projektu Preludium (NCN) – świadczy to o doskonałej koordynacji prac pomiędzy doktorantem a promotorami. Ponadto dr Zybała od września 2022 pełni rolę opiekuna z ramienia Łukasiewicz-IMIF drugiego doktoratu wdrożeniowego – mgr inż. Bartosza Bucholca, który zatrudniony jest w IPPT PAN. Jest to kontynuacja współpracy (zrealizowana praca magisterska dotycząca materiałów TE z dodatkiem tlenku cyrkonu). Ponadto Habilitant pełni regularnie rolę opiekuna praktyk studenckich studentów z PW, UW i AGH. Opisane działania świadczą

o dużym zaangażowaniu dr Zybala nie tylko w kształcenie kolejnego pokolenia naukowców, ale aktywnie buduje on swoją grupę i pozycję naukową. Wiele z wymienionych prac magisterskich, inżynierskich czy aktualnie dwóch doktorskich, realizowane było w ramach pozyskanych przez Habilitanta projektów naukowych.

Pomimo bardzo absorbującej pracy ze studentami dr Zybala wykazuje się bardzo dobrą aktywnością organizacyjną. W trakcie swojej kariery naukowej uczestniczył w zorganizowaniu dwóch konferencji *FAST/SPS From Research to Industry* (w Warszawie w 2023 r. i Poznaniu w 2021 r.), pełnił rolę eksperta z zakresu inżynierii materiałowej dla *Warszawskiego Akceleratora dla Startupów Technologicznych WAW.ac.*, a za działania popularyzatorskie otrzymał odznaczenie *Zasłużony dla Inteligentnego Rozwoju 2021.*

Podsumowanie

Biorąc pod uwagę całokształt działalności Pana dr inż. Rafała Zybala oraz jego wartościowy dorobek naukowy (poszerzony o dobrze udokumentowane działania aplikacyjne) objęty osiągnięciem habilitacyjnym, który opiera się na niezwykle aktualnej tematyce badawczej, znajdującej szeroki oddźwięk krajowy i zagraniczny oraz rokującej dalszy rozwój karierze naukowej, uważam, że spełnia on wszystkie wymagania stawiane kandydatom do uzyskania stopnia doktora habilitowanego, określone w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r i wnioskuję o dopuszczenie dr Rafała Zybala do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

Z poważaniem

dr hab. inż. Łukasz Kurpaska, prof. NCBJ