

Warszawa, 25 stycznia 2022 r.

**Recenzja osiągnięć dr inż. Agnieszki Łękawy-Raus  
w związku z postępowaniem habilitacyjnym  
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka,  
elektronika i elektrotechnika**

**1. Podstawa prawna**

- Pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika z dnia 7 grudnia 2021 r.;
- Ustawa z dn. 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668 z późniejszymi zmianami);

**2. Informacje ogólne**

Recenzję opracowałem na podstawie dostarczonej z pismem Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika z dnia 7 grudnia 2021 r. dokumentacji zawierającej załączniki określone w wymaganiach określonych przez Radę Doskonałości Naukowej<sup>1</sup>.

Agnieszka Łękawa-Raus uzyskała tytuł zawodowy magistra inżyniera na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Jej praca magisterska była zatytułowana „Application of Spin Valve Giant Magnetoresistance Sensors in Bioelectromagnetism” i została zrealizowana w ramach stażu badawczego w Uniwersytecie Kanazawa w Japonii. Promotorami pracy byli prof. dr hab. inż. Henryka D. Stryczewska oraz prof. Sotoshi Yamada. Stopień naukowy doktora Kandydatka otrzymała na Wydziale Badań Materiałowych i Metalurgii Uniwersytetu Cambridge 20 lipca 2013 r. po obronie rozprawy p.t. „Carbon nanotube fibers for electrical wiring applications”. Promotorami rozprawy byli prof. Krzysztof K. Koziol oraz prof. Alan H. Windle. Następnie kontynuowała pracę zawodową w tym samym miejscu do 2016 roku w ramach stanowisk podoktoranckich w projektach finansowanych ze źródeł Komisji Europejskiej. Od 2016 Kandydatka jest zatrudniona na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej, najpierw na stanowisku adiunkta naukowego a od 2019 r. na stanowisku

---

<sup>1</sup> <https://www.rdn.gov.pl/postepowanie-habilitacyjne.wymagania-dokumentacyjne-wnioskow-w-sprawie-nadania-stopnia-doktora-habilitowanego.html>, dostęp 21.01.2022 r.

adiunkta naukowo-dydaktycznego. Wniosek o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego złożyła w dniu 1 czerwca 2021 r. W ramach osiągnięcia naukowego przedłożona została 1 recenzowana monografia naukowa pt. „Makroskopowe przewodniki elektryczne z nanorurek węglowych”, wydana w 2021 roku w Warszawie przez wydawcę Politechnika Warszawska (Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej) ujętego z identyfikatorem UIW 48800 w wykazie wydawnictw publikujących recenzowane monografie naukowe opublikowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego dnia 22.07.2021 r., co wypełnia wymagania Ustawy z dn. 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

### **3. Ocena osiągnięcia naukowego**

Przedłożona monografia składa się z 4 głównych rozdziałów merytorycznych oraz dodatkowo z przedmowy, podziękowań, wykazu skrótów, podsumowania i bibliografii. Przedmowa pełni istotną rolę z punktu widzenia oceny wniosku habilitacyjnego, ponieważ określa ramy czasowe oraz lokalizacyjne prowadzonych badań, identyfikuje finansowanie, zbiera w jednym miejscu spis publikacji Kandydatki wchodzących w skład osiągnięcia oraz opisuje Jej wkład w każdą z nich. Rozdziały merytoryczne dotyczą kolejno Makroskopowych przewodników nanorurkowych, Czystych makromateriałów 1D, Materiałów 2D oraz Kompozytów i struktur 3D. Zaproponowany układ pracy jest klarowny i prowadzi czytelnika od rozważań podstawowych poprzez coraz bardziej złożone układy do przykładów realizacji przyrządowych. Pozwala to czytelnikowi nie będącemu ekspertem w tematyce monografii na aktywne śledzenie wyводу Autorki i przyswojenie zaprezentowanej wiedzy, co jest niewątpliwą zaletą tej struktury pracy. Poniżej nastąpi krótkie omówienie dorobku publikacyjnego zaprezentowanego w przedmowie, a następnie każdego z rozdziałów merytorycznych.

Poza licznymi pozycjami bibliograficznymi opisującymi stan wiedzy, monografia oparta jest na 12 publikacjach Kandydatki posiadających współczynnik wpływu (ang. *impact factor, IF*), 5 publikacjach z tzw. „dawnej listy MNiSW B” oraz 1 patencie i 2 zgłoszeniach patentowych. Z publikacji posiadających IF tylko jedna jest zrealizowana w całości na Wydziale Mechatroniki PW, a wszystkie pozostałe są wykonane we współpracy z Uniwersytetem w Cambridge, Politechniką Poznańską, Politechniką Lubelską bądź Politechniką Śląską, co pokazuje wysoki poziom współpracy charakteryzujący działalność naukową Kandydatki. Ponadto, publikacje te z wyjątkiem publikacji A217 posiadają wysokie współczynniki IF, w większości powyżej 4, a kilka z nich powyżej 8, co jest bardzo dobrym wynikiem i pokazuje, że Habilitantka celuje w wysokiej jakości czasopisma naukowe. Zgodnie ze stanowiskiem Rady Doskonałości Naukowej nie będę opierał mojej oceny osiągnięcia Habilitantki na analizie wskaźników bibliometrycznych, uważam jednakże że tak dobry dorobek należy uwypuklić i docenić. Dodatkowo, należy podkreślić, że w zdecydowanej większości z publikacji, dr inż. Łękawa-Raus deklaruje wiodącą rolę związaną z ogólnie rozumianą organizacją prac stanowiących podstawę publikacji, co dobrze świadczy o przygotowaniu Habilitantki do prowadzenia samodzielnych badań.

Rozdział 1, zatytułowany „Makroskopowe przewodniki nanorurkowe” stanowi dobre wprowadzenie do tematyki przewodników prądu skonstruowanych z nanorurek węglowych (ang. *carbon nanotubes, CNT*). Kandydatka swoje rozważania rozpoczyna od własności strukturalnych pojedynczych CNT i wiąże z nimi własności transportu elektronowego, podkreśla wagę i konsekwencje ich anizotropowej budowy oraz omawia wpływ chiralności nanorurek na ich właściwości. Porównuje własności nanorurek jednościennych i wielościennych wskazując ich wady i zalety a także odnosząc się do ograniczeń technologicznych wynikających z właściwości fizycznych. Krótko omawia kwestie związane z domieszkowaniem CNT oraz własności nieelektryczne takie jak niewielka masa, wysokie przewodnictwo termiczne czy stabilność chemiczna. Ze względu na niewielkie wymiary CNT, dla celów aplikacyjnych konieczne jest tworzenie struktur złożonych z wielu takich rurek, co Autorka omawia w dalszej części rozdziału, rozpoczynając od krótkiej analizy rynku przewodników makroskopowych oraz CNT aby przejść do klasyfikacji struktur mogących być wytwarzanych z CNT.

Kandydatka proponuje dwie klasyfikacje: na materiały wolnostojące, pokrycia i kompozyty bądź na struktury jedno, dwu i trójwymiarowe (1D, 2D i 3D), który to zostaje wykorzystany w monografii. Jest to oczywiście skrót myślowy, ponieważ w strukturach makroskopowych nie dochodzi do ograniczenia kierunków przewodnictwa w 0, 1, bądź 2 wymiarach w rozumieniu mechaniki kwantowej, ale jako ogólnie stosowany i łatwo rozumiany przez czytelników, jest tutaj uzasadniony. W dalszej części rozdziału Kandydatka opisuje wyzwania związane z osiągnięciem stabilnych i powtarzalnych własności elektrycznych struktur makroskopowych złożonych z nanorurek węglowych, w szczególności w kontekście ich anizotropowego przewodnictwa. Autorka w tej części rozważa również aspekty kosztowe obecnie stosowanych materiałów CNT oraz możliwość domieszkowania intencjonalnego bądź nieintencjonalnego podczas wytwarzania makrostruktur i wpływu tego procesu na integralność strukturalną przewodnika. Opisując złożone modele przewodzenia przewodników makroskopowych złożonych z CNT, Autorka odnosi się w tym momencie do własnych prac w ramach jednej z nich wykonywała pomiary przewodności elektrycznej w niskich temperaturach i wysokich polach magnetycznych a w ramach innej opracowała nieskomplikowany sposób określenia ogólnego charakteru przewodnictwa poprzez pomiar przewodnictwa w funkcji temperatury, dla temperatur kriogenicznych. Metoda ta może być stosowana do szybkiej oceny zmian przewodnictwa w skutek domieszkowania bądź innych procesów obróbki. W ostatnim podrozdziale tej części, autorka omawia zagadnienia istotne z punktu widzenia przewodników prądu stosowanych w liniach przesyłowych (konduktywność właściwa, efekt naskórkowy w przewodnikach w.cz.) i proponuje w oparciu o przeprowadzone we własnej pracy modelowanie teoretyczne konstrukcje makrostruktur CNT które charakteryzowałyby się najlepszymi parametrami przesyłu. W tym miejscu przyznam że nie bardzo rozumiem skąd wzięta się wartość  $6.5 \text{ k}\Omega$  jako wartość związana z kontaktami metalicznymi do CNT ograniczającymi rezystancję struktur CNT – jest to pozostawione bez jasnego komentarza. Podsumowując tę część monografii, należy uwypuklić że Habilitantka nie ogranicza się do opisu zjawisk transportowych wynikających z kwantowych własności materii, a rozszerza opis do skali makroskopowej, omawiając zagadnienia istotne z punktu widzenia coraz to większych struktur CNT. Widoczne jest dobre przygotowanie i swoboda Autorki w podejmowaniu tych tematów oraz wplecenie własnych wyników w dobrze określony stan wiedzy literaturowej.

Rozdział 2, zatytułowany „Czyste makromateriały 1D” dotyczy opisu własności włókien i splotów wytwarzanych z CNT. Autorka wprowadza Czytelników w zagadnienie opisując podstawowe sposoby wytwarzania włókien CNT, tj. wyciskania do koagulantu, gdzie Habilitantka opiera się na własnych pracach, oraz chemicznego osadzania z fazy gazowej ze swobodnym katalizatorem, porównując je i opisując ich zalety i ograniczenia z którymi Autorka jest dobrze zaznajomiona. Wprowadzony jest także opis dwustopniowych procesów wytwarzania włókien, w których wytwarzane są najpierw struktury typu 2D, a następnie z nich przędzone są włókna. Opis jest szczegółowy i dobrze prowadzi czytelnika, zabrakło mi w tym miejscu jednak krótkiego rozważenia różnic pomiędzy pojedynczym włóknem złożonym z wielu CNT a splotem włókien – przykładowo jak w przypadku przewodów Cu może występować monolityczny drut albo spleciona linka cienkich drutów. Wydaje się, że zagadnienia kontaktów między sobą takich włókien zbudowanych z CNT mogą być nieoczywiste. Istotnymi wynikami uzyskanymi przez Kandydatkę są te dotyczące poprocesowej poprawy przewodności włókien oraz ich skutecznej izolacji elektrycznej za pomocą osnowy polimerowej. Co istotne, Autorce poprzez odpowiednie zaplanowanie prac eksperymentalnych udało się poddać w wątpliwość twierdzenia umieszczone w jednej z popularnych prac literaturowych jakoby odpowiednie domieszkowanie włókien CNT miało pozwolić na osiągnięcie przewodności właściwej większej niż dla miedzi czy aluminium. Stosując szeroko wybrane metody oczyszczania włókien oraz ich domieszkowania, także takie, które nie były dotychczas raportowane w literaturze (domieszkowanie kwasami a następnie halogenami) Habilitantce udało się osiągnąć istotne zwiększenie konduktywności w stosunku do próbek wyjściowych jednakże nadal wartości te były kilkudziesięciokrotnie niższe niż dla Cu czy Al, co istotnie obniża prawdopodobieństwo prawdziwości wyników uzyskanych w wyżej wymienionej publikacji zewnętrznej, która była motywacją do podjęcia prac przez Autorkę. Co ciekawe, na podstawie podanych w monografii danych (Tab. 2.1) można

wyliczyć dość istotny rozrzut konduktywności materiałów startowych, co pokazuje że technologia wytwarzania włókien CNT nadal jest w fazie rozwoju. Ciekawym obszarem badań opisanym przez Habilitantkę jest hybrydyzacja włókien CNT z grafenem w celu poprawy ich przewodnictwa. Jak często bywa w przypadku badań opartych na grafenie, przegląd literaturowy nie dostarczył stabilnych wniosków na temat wpływu dodatku grafenu i jego pochodnych na przewodnictwo włókien. Kandydatka postanowiła zatem przeprowadzić eksperymenty w jednym laboratorium z zastosowaniem tych samych procedur i różnych materiałów aby wykazać wpływ struktur grafenowych na przewodnictwo CNT. Autorka pokazała, że o ile sam dodatek grafenu do struktury nie poprawia istotnie konduktywności, to wpływa korzystnie na wydajność domieszkowania i pozwala zwiększyć jej wartość nawet o prawie 1000%, co zostało poparte również obliczeniami teoretycznymi. Na przykładzie tych dwóch prac można stwierdzić, że Habilitantka potrafi wybierać tematy badawcze tak, aby odnieść się do aktualnie rozważanych problemów oraz zrealizować badania w sposób systematyczny, umożliwiający osiągnięcie wiarygodnych konkluzji. Mam w tym miejscu jedną uwagę - nie należy pisać o 'różnych rodzajach grafenów'. Jakkolwiek popularność tego materiału stała się przyczyną powstania wielu prac niskiej jakości na temat kolejnych struktur otrzymanych na podstawie grafenu, grafen jako taki jest jeden i jest to monoatomowa warstwa węgla ułożonego w sieci heksagonalnej. Możemy zatem mówić o płatkach, dwu- i wielowarstwach, tasiemkach i innej faunie grafenowej, natomiast nie powinno się sugerować że jest kilka rodzajów grafenu używaniem liczby mnogiej tj. „grafenów”. Niestety ze względu na popularność tematu jest to kolokwializm trudny do zwalczania, ale w formalnej pracy jaką jest monografia, nie powinien występować. Ponadto, zabrakło mi w tym podrozdziale szerszego omówienia procesów domieszkowania nanorurek, poza wspomnieniem o akceptorowym charakterze większości domieszek. Istotnym osiągnięciem technologicznym Habilitantki jest opracowanie adekwatnych izolacji elektrycznych włókien CNT. Zastosowanie w praktyce włókien CNT wymaga izolacji elektrycznej, jednakże ze względu ich na porowatość, hydrofobowość oraz elastyczność jak również potencjalne nietypowe zastosowania, izolacje stosowane do przewodników wytwarzanych z metali mogą nie być odpowiednie. Habilitantka opracowała izolacje nieinfiltrujące włókien CNT, określiła warunki własności fizycznych które muszą zostać spełnione przez kandydatów na izolacje i przetestowała w tym aspekcie polimery termoutwardzalne i termoplastyczne. Dzięki temu, możliwe stało się zademonstrowanie zaizolowanych włókien nanorurkowych w maszynach elektrycznych – transformatorze i silniku. Jak wykazała Autorka, procesy odpowiedniej izolacji włókien CNT z zastosowaniem typowych izolacji dla przewodów metalowych stanowiły istotne wyzwanie, a ich długoczasowa stabilność była niewystarczająca dla zastosowań w silnikach. Kandydatka zainicjowała i prowadziła badania w obszarze izolacji nie tylko dla maszyn elektrycznych ale i dla zastosowań w tekstronice. Dla celów tekstronicznych wytworzono włókna z polimerów termoplastycznych z dodatkiem barwników. Co istotne, w celu przeprowadzenia prac konieczne było za każdym razem skonstruowanie odpowiedniego stanowiska umożliwiającego przeprowadzanie pokryć. Opracowano sposoby wytwarzania wysokorezystywnych izolacji pozwalających zachować dobre własności przewodnika z CNT i zademonstrowano je w zastosowaniach tekstronicznych wykonując grzałki wszyte w materiał tekstylny. Habilitantka ponadto przeprowadziła badania stabilności tak otrzymanych włókien w procesach prania ręcznego, mechanicznego i chemicznego z zastosowaniem różnych środków piorących, co było pierwszymi tak rozbudowanymi badaniami włókien CNT i wykazało ich wysoki potencjał dla zastosowań tekstronicznych. Co więcej, izolacje opracowane dla tekstroniki sprawdziły się również w konstrukcjach silników.

Rozdział 3, Materiały 2D dotyczy przede wszystkim pokryć zawierających CNT wytwarzanych technikami nanoszenia powłok i elektroniki drukowanej. Po krótkim ale szczegółowym wstępie prezentującym literaturę tematu i sposoby wytwarzania pokryć, pojawia się opis pomysłów własnych Kandydatki, w szczególności pokrycie podłoży drewnianych warstwami CNT dla celów wzbogacenia funkcjonalności elementów wykonywanych z drewna. Drewno jest materiałem szeroko stosowanym w budownictwie, natomiast mało wykorzystywanym w elektronice, podobnie jak do niedawna miało to miejsce z papierem. Cieszy że materiał ten jest odkrywany przez nowe grupy – jest to jak słusznie

zauważa Autorka materiał ekologiczny, lekki, przyjazny dla człowieka oraz poddawalny recyklingowi. Elementy funkcjonalne wykonane na powierzchni drewna są również recyklingowalne, albo w procesie całkowitej obróbki, albo mogą też zostać usunięte przez sfrezowanie warstwy wierzchniej. Rozwiązania zademonstrowane przez Habilitantkę są bardzo innowacyjne i mogą mieć istotny wpływ na gospodarkę Polski, w której przemysł drzewny jest istotny. Zaprezentowano pokrycia drzewa warstwami CNT jak również demonstratory przykładowych przyrządów takich, jak sensory wody, temperatury, siły nacisku czy grzałki. Badania przeprowadzone przez Kandydatkę wykazały nie tylko działanie ww. przyrządów, ale pozwoliły też na ciekawe obserwacje materiałowe, np. że dla zastosowań w czujnikach nacisku lepiej sprawdzają się powierzchnie naturalnie szorstkie jak sosna a dla zastosowań w grzałkach – powierzchnie gładkie jak płyta MDF. W drugiej części rozdziału opisano samonośne warstwy wytworzone z CNT i ich zastosowanie w przezroczystych układach grzewczych. Bardzo razi zastosowanie słowa „film” do opisu tych struktur, jest to czysta kalka z języka angielskiego (podobnie jak „filament” zamiast pojedynczego włókna w rozdziale 4). Wydaje się, że zamiast tego z powodzeniem można by mówić o błonie lub warstwie samonośnej. Autorka zademonstrowała działające grzałki z zastosowaniem warstw CNT oraz z pojedynczych włókien CNT, natomiast zabrakło porównania ich do standardowych rozwiązań związanych z przewodzącymi i przezroczystymi elektrodami cienkowarstwowymi bądź z cienkich ścieżek srebrnych. Dodatkowo, przy omawianiu przyrządów i elementów elektroniki przezroczystej zdjęcia oddają w pewnym stopniu charakter rozwiązania, chociaż zazwyczaj wybierane jest mniej monotone tło, np. element krajobrazu na którym widać lepiej różnice w przezroczystości wprowadzane przez przyrząd, ale jednak zdjęcie może być tylko uzupełnieniem, a nie może zastąpić pomiarów transmisji optycznej, których tutaj zabrakło. Ponadto uważam że nie poparte liczbami stwierdzenie iż „włókno jest słabo widoczne dla oka” analogicznie jak w części dotyczącej pokryć drewna „w pełni czarne” nie powinny mieć miejsca w monografii naukowej, a zjawiska powinny być opisane przede wszystkim parametrami mierzalnymi takimi jak transmisja czy refleksyjność dla danej długości fali światła.

Ostatni, 4. rozdział nosi tytuł „Kompozyty i struktury 3D” i opisuje przede wszystkim prace Autorki dotyczące kompozytów z włókien węglowych pokrytych warstwami CNT dla zastosowań w lotnictwie. Wyniki otrzymane przez Habilitantkę są ciekawe i o ile wartości przewodnictwa są niewystarczające dla prawdziwych zastosowań, kierunek tych prac jest obiecujący, w szczególności ze względu na coraz większy udział komponentów z włókien węglowych w konstrukcjach lotniczych. Dodatkowo, umieszczono tam opis włókien z kompozytów CNT z polimerami oraz płyt OSB impregnowanych CNT oraz z klejem impregnowanym CNT. Ciekawe bardzo, jak w dotychczasowych częściach monografii, było to przejście pomiędzy kilkoma skalami wielkości w zastosowaniu materiałów zawierających CNT.

Podsumowując, przedstawiona monografia zawiera spójny i ciekawy opis materiałów i technologii dotyczących zastosowania CNT w makroskopowych przewodnikach elektrycznych. Jej silnymi stronami są: czytelny układ, szeroki kontekst literaturowy i dobre przedstawienie zjawisk podstawowych, przejście od zjawisk podstawowych do zastosowań i od skali nano przez mikro po makro, jak również dobry dobór własnych zagadnień badawczych i dojrzałe prowadzenie eksperymentów, skutkujące wysokiej jakości publikacjami naukowymi oraz nakierowanie prac na zastosowanie w makroskalowych przyrządach. Prace zaprezentowane są innowacyjne, cytowane i dobrze odbierane przez środowisko. Mankamenty które podnosiłem dotyczą przede wszystkim obszarów w których Habilitantka się nie specjalizuje (np. elektronika przezroczysta) oraz delikatnych i lokalnych niedociągnięć języka polskiego, co dużo mówi o wysokim poziomie Jej osiągnięcia naukowego. O ile jednak można by się prześliznąć nad kwestią języka, osobiście uważam że pracownicy nauki, zwłaszcza odpowiedzialni za kształcenie młodych ludzi powinni przykładać nadmierną wagę do sposobu wyrażania się, także w języku ojczystym, w szczególności w zakresie precyzji. Dotyczy to zarówno słownictwa i nazewnictwa, jak i pojawiających się w całej monografii ocen analiz liczbowych – w wielu miejscach Autorka pokazuje że jakaś wartość wrosła, bądź zmalała o X% i komentuje że jest to duża bądź nieznaczna zmiana, jednakże nie podając wartości odniesienia. W ten sposób czytelnik może uznać że czasem 50% zmiana to dużo, a czasami mało, co wprowadza

zamieszanie. Analogicznie, zmiany procentowe podane w Tabeli 2.1. wymagają chwili zastanowienia i zauważenia że dla każdej próbki wartości startowe są inne. Jakkolwiek tak zazwyczaj się robi w publikacjach, zwłaszcza z dziedzin pokrewnych chemii, sugerowałbym jednak dla jasności w takich sytuacjach podawanie wartości początkowych, albo referencyjnych i ewentualnie procentowych.

Te drobne uwagi nie zmieniają jednakże mojej bardzo wysokiej ogólnej oceny osiągnięcia naukowego dr inż. Agnieszki Łękawy-Raus i stwierdzam bez wątpliwości, że przedłożone osiągnięcie naukowe stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika.

#### ***4. Ocena istotnej aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej.***

Istotną cechą dotychczasowej kariery Habilitantki jest ponadprzeciętne jej umiędzynarodowienie w porównaniu z typowymi karierami badaczy w tej tematyce w Polsce. Począwszy od studiów magisterskich, po staże podoktorskie, większość aktywności naukowej Kandydatki związana była z ośrodkami zagranicznymi. Praca magisterska została zrealizowana w ramach półrocznego stażu badawczego na Uniwersytecie Kanazawa w Japonii, natomiast badania w ramach pracy doktorskiej oraz staży podoktorskich zostały zrealizowane na Uniwersytecie w Cambridge w ciągu w sumie ośmioletniego pobytu tamże. Warto podkreślić, że Uniwersytet w Cambridge konsekwentnie plasuje się w pierwszej dziesiątce najlepszych uniwersytetów na świecie w wielu rankingach akademickich, przez co zakwalifikowanie się przez Kandydatkę tam na studia doktoranckie, jak również pozostanie zatrudnioną w ramach pozycji podoktorskich przez tak długi czas należy oceniać wyróżniająco. Oprócz tych długich okresów badawczych, Habilitantka zrealizowała również krótsze staże zarówno na Uniwersytecie w Cambridge przed podjęciem studiów doktoranckich oraz w Los Alamos National Laboratories w USA już jako badaczka ze stopniem doktora.

W ramach prac realizowanych we współpracy z Uniwersytetem Kazanawa, Kandydatka zaangażowana była w prace dotyczące pomiarów pól magnetycznych o niskich natężeniach w obecności ludzkiego nerwu obwodowego z wykorzystaniem czujników opartych o zjawisko gigantycznego magnetooporu z zaworem spinowym dla zastosowań neurochirurgicznych jak również w prace nad terapią nowotworów z wykorzystaniem pól magnetycznych. W skutek tego stażu powstało aż pięć publikacji, co na etapie studiów magisterskich jest osiągnięciem wybitnym. Zbliżone badania Habilitantka kontynuowała podczas stypendium Erasmus na Uniwersytecie w Cambridge, gdzie analizowała zagadnienia detekcji odpowiedzi modeli neuronów na stymulację elektryczną. Detekcję realizowała za pomocą pomiarów prądów indukowanych w sensorach nadprzewodzących. Badania te poskutkowały jedną, krajową publikacją.

Działalność naukowa Kandydatki od lutego 2009 roku do dzisiaj pozostaje już w ścisłym związku z głównym tematem Jej prac badawczych, tj. inżynierią materiałów przewodzących wykorzystujących nanorurki węglowe. O ile pewną dobrze zdefiniowaną całość badań przeprowadzonych na Uniwersytecie w Cambridge po uzyskaniu stopnia doktora Kandydatka zawarła w ocenianej w poprzednim punkcie monografii, należy zaznaczyć, że również w trakcie doktoratu realizowanego tamże powstały ważne prace dotyczące technologii wytwarzania i zastosowań włókien zawierających nanorurki. W szczególności obejmowały one badania podstawowe przewodnictwa włókien w funkcji naprężeń i niskich temperatur, co pozwoliło na opisanie modelu umożliwiającego przez badania przewodnictwa w funkcji temperatur określanie charakteru przewodnictwa oraz morfologii włókien, bez konieczności analiz materiałowych. Co istotne, Habilitantka zademonstrowała kilka praktycznych zastosowań materiałów, nad którymi prowadziła prace badawcze – w szczególności uczestniczyła w zademonstrowaniu pierwszego na świecie transformatora z uzwojeniem włókien z CNT jak również w opracowaniu pierwszego niskotemperaturowego lutu do materiałów węglowych. Elementy tych rozwiązań zostały odpowiednio objęte ochroną patentową w Urzędzie Patentowym Stanów Zjednoczonych oraz wdrożone do produkcji przez firmę Goodfellow Corp. Doświadczenie w

prowadzeniu prac badawczych w tak bliskim związku z rozwiązaniami interesującymi dla przemysłu należy ocenić bardzo pozytywnie w szczególności z punktu widzenia aktualnego miejsca zatrudnienia Kandydatki, którym jest uczelnia politechniczna blisko współpracująca z przemysłem.

Kandydatka jest współautorką 8 wygłoszonych referatów zaproszonych, 4 referatów plenarnych, 6 prezentacji ustnych oraz 5 prezentacji plakatowych na międzynarodowych konferencjach naukowych. Tak wysoki udział referatów zaproszonych i plenarnych w całkowitym dorobku pokazuje, że rozpoznawalność i docenienie prowadzonych przez Habilitantkę badań jest wysokie w środowisku naukowym. Ponadto, Habilitantka uczestniczyła w organizacji dwóch międzynarodowych konferencji naukowych w Wielkiej Brytanii i w Polsce.

Kandydatka kierowała jednym projektem badawczym pozyskanym ze środków zewnętrznych, którym był projekt w ramach prestiżowego konkursu NCBiR Lider VI. Jako odprysk tego projektu powstała firma typu spin-off wdrażająca jego wyniki w gospodarce, z wkładem Politechniki Warszawskiej. Ponadto Habilitantka kierowała trzema grantami dziekańskimi Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej (2016, 2017, 2019) oraz była wykonawczynią w dwóch grantach sponsorowanych ze środków Komisji Europejskiej, które pozwoliły na sfinansowanie staży podoktorskich Kandydatki na Uniwersytecie w Cambridge. Aktywność w zakresie pozyskiwania środków na badania można zatem ocenić jako ograniczoną. W przypadku przyznania Kandydatce stopnia doktora habilitowanego i dalszego rozwoju w stanowiskach uczelnianych, będzie od Niej będzie oczekiwane prowadzenie kilku projektów równocześnie i zapewnienie im finansowania ze źródeł zewnętrznych, co w mojej opinii powinno zostać pokazane w pewnym stopniu już na tym etapie kariery.

Jako pracownikowi naukowemu nie pracującemu na żadnej uczelni trudno jest mi w pełni ocenić dorobek Kandydatki w zakresie rozwoju studentów i doktorantów w kontekście miejsca zatrudnienia Habilitantki. Natomiast przez porównanie ze znanymi mi osobami na podobnym etapie kariery mogę stwierdzić, że pełnienie roli promotora pomocniczego w dwóch przewodach doktorskich jest osiągnięciem bardzo dobrym, natomiast liczba magistrantów i kandydatów do tytułu inżyniera jest w dobrej normie. Warto jednocześnie podkreślić, że jeden z przewodów doktorskich był realizowany we współpracy z Politechniką Poznańską, co pokazuje wysoki poziom współpracy naukowej Kandydatki z badaczami z poznańskiego ośrodka. Bardzo wysoko należy natomiast ocenić 100% wkład w opracowanie 10 jednostek zajęciowych dla Uczelni, z czego aż połowa prowadzona jest po angielsku, natomiast kolejne cztery są realizowane w ramach tzw. studiów tutorskich. Wykłady te można uznać za przygotowujące studentów do działania we współczesnej nauce, która jest opowiadana po angielsku i nakierowana na dobrą prezentację wyników i współpracę z biznesem.

Kandydatka jest laureatką licznych stypendiów celowych, z których wyróżnić należy stypendium naukowe na realizację doktoratu na Uniwersytecie w Cambridge oraz stypendia Erasmus. Ponadto, Habilitantka otrzymała nagrody za najlepszą publikację, przyznaną przez Politechnikę Warszawską (2019), nagrody Rektora Politechniki Warszawskiej za osiągnięcia naukowe, czy też nagrody za najlepsze prezentacje konferencyjne i prace magisterskie.

Podsumowując, dr inż. Agnieszka Łękawa-Raus wykazuje istotną aktywność naukową w więcej niż jednej uczelni łącząc pracę na Politechnice Warszawskiej ze współpracami z Uniwersytetem w Cambridge czy Politechniką Poznańską. Jej prace cieszą się zainteresowaniem społeczności naukowej co znalazło wyraz w wielokrotnym zapraszaniu Kandydatki do wygłoszenia referatów zaproszonych i plenarnych na konferencjach międzynarodowych. Najsłabszą moim zdaniem stroną aktywności naukowej Kandydatki jest niewielkie doświadczenie w kierowaniu i pozyskiwaniu projektów badawczych ze środków zewnętrznych. Silnym rysem aktywności naukowej Habilitantki są współpraca międzynarodowa, praktyczne nakierowanie badań oraz duża skuteczność w zainteresowaniu ich wynikami otoczenia gospodarczego.

## **5. Wniosek**

Stwierdzam, że dorobek naukowy dr inż. Agnieszki Łękawy-Raus spełnia z naddatkiem wymagania Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. 2018, poz. 1668 z późniejszymi zmianami) i jest odpowiedni do nadania Jej stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk inżyneryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika.