

## **Recenzja**

### **dorobku naukowego i rozprawy habilitacyjnej dr inż. Mariusza Zdrojka**

Recenzja została opracowana na podstawie pisma Przewodniczącego Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów, prof. dr hab. inż. Antoniego Tajdusia z dnia 08.01.2015, wraz z załączoną dokumentacją osiągnięć naukowych dr inż. Mariusza Zdrojka. Dokumentacja zawiera następujące materiały służące do wykonania niniejszej recenzji :

-autoreferat habilitanta, zestaw publikacji stanowiących podstawę do ubiegania się o stopień naukowy wraz z omówieniem osiągniętych wyników, przedłożony jako rozprawa habilitacyjna, zestaw kopii wybranych publikacji, oświadczenia współautorów oraz informacje o osiągnięciach organizacyjnych i współpracy naukowej.

#### 1.Uwagi ogólne

Dr inż. Mariusz Zdrojek jest absolwentem Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechniki Warszawskiej, który to Wydział ukończył w roku 2002 uzyskując dyplom magistra nauk fizycznych w zakresie fizyki technicznej. Następnie podjął studia doktoranckie na tym samym Wydziale.

Stopień doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki habilitant uzyskał w roku 2006 na podstawie obrony pracy doktorskiej zatytułowanej „Properties of carbon nanotubes probed by Electrostatic Force Microscopy and Raman Spectroscopy, na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Decyzją Rady Wydziału rozprawa ta została uznana jako wyróżniająca się. Również w tym samym roku, tj. 2006 habilitant uzyskał stopień doktora nauk fizycznych w zakresie badań materiałowych na podstawie obrony rozprawy doktorskiej pt. Etude des proprietes electronique de nanotubes de carbone par Microscopie a Force Electrostatique et

Spectroscopie Raman. Praca realizowana była w ramach umowy o współpracy z Uniwersytetem w Lille we Francji.

W dokumentacji dr inż. Mariusz Zdrojek wykazał zbiór sześciu publikacji i jeden patent, pod wspólnym tytułem „Badania właściwości pojedynczych nanorurek węglowych”, jako osiągnięcie stanowiące podstawę ubiegania się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego. Wszystkie publikacje, stanowiące rozprawę habilitacyjną, powstawały po obronie pracy doktorskiej, na przestrzeni lat 2008-2013.

## **2. Ocena dorobku naukowego i działalności naukowej**

Dr inż. Mariusz Zdrojek, jeszcze przed obroną pracy doktorskiej, prowadził badania nad właściwościami magneto-elektrycznymi azotku galu domieszkowanego manganem. Habilitant prowadził badania dotyczące wielościennych nanorurek węglowych metodą spektroskopii ramanowskiej i mikroskopii sił atomowych. Jednym ze znaczących wyników badań, jakie osiągnął w tym czasie, było zastosowanie techniki mikroskopii sił elektrostatycznych do badań nanorurek węglowych. Opublikowana w tym czasie praca na temat badań nanorurek węglowych przy użyciu mikroskopii sił elektrostatycznych w czasopiśmie Appl.Phys. Lett., w roku 2005, w której udział habilitanta był dominujący, należała zarazem do jednych z pierwszych na świecie poruszających tą tematykę. Poza wymienioną techniką mikroskopii sił elektrostatycznych do badania nanoform węgla, habilitant rozwijał również metody spektroskopii ramanawskiej i mikroskopii sił atomowych. Zajmował się badaniami właściwości elektrostatycznych nanorurek węglowych, w szczególności ineresował się efektami ładowania i rozładowania pojedynczych struktur jedno i wielościennych nanorurek węglowych. W wyniku tych badań powstało 7 publikacji, w tym pięć prac umieszczonych w bazie Journal Citation Reports. Należy dodać, że tematyka dotycząca badań właściwości elektronowych nanorurek i badań prowadzonych na pojedynczych obiektach w skali nanometrycznej w tym czasie tj. lata 2004-2006, była przedmiotem niewielu prac publikowanych i prace współautorskie dr inż. Mariusza Zdrojka należą do pionierskich i nielicznych na świecie.

Po obronie pracy doktorskiej habilitant kontunuuje swoją tematykę badawczą i zajmuje się również materiałami grafenowymi. Powstało wtedy 19 prac współautorskich, oprócz sześciu, które habilitant zaliczył jako podstawę pracy habilitacyjnej. Tematyka tych prac dotyczyła wspomnianej formy węgla w postaci grafenu, a także kontynuacji badań w zakresie nanorurek węglowych. Prace nakierowane były na opracowanie metod badań przewodnictwa mikrofalowego warstw grafenowych, opracowania technologii wytwarzania



nanostruktur węglowych metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej, badań cienkich warstw zbudowanych z nanorurek węglowych. Nanometryczne struktury węglowe są przedmiotem zainteresowania habilitanta do chwili obecnej. Wyniki swoich badań publikuje w czasopiśmie o wysokim wskaźniku oddziaływania „IF”, m.in. w Appl.Phys.Lett (3.794), Optic Express (3.546), Carbon (5.868), ACS Appl. Mater (5.008).

W części dokumentacji, w której habilitant charakteryzuje swój dorobek naukowy, podane są dane dotyczące jego własnego udziału w poszczególne pozycje publikowane. Dotyczy to, zarówno opisu własnego wkładu w poszczególne prace, jak i dołączonych zaświadczeń ze strony współautorów. Udział osobisty habilitanta w przygotowanie tych publikacji waha się wg informacji podanych w dokumentacji od 10 do 85%.

Interesującym obszarem badawczym, udokumentowanym współautorskimi publikacjami, są badania temperaturowe warstwy nanorurek węglowych metodą spektroskopii ramanowskiej. Jego wkład w rozwój tego obszaru badawczego dotyczył, m.in. opracowania stanowiska pomiarowego, uczestnictwa w samych pomiarach, jak i interpretacji wyników badań. Badając procesy krystalizacji nanoform węglowych metodą CVD habilitant wykazał, że przy odpowiednio dobranych parametrach tego procesu można wpływać na strukturę tych materiałów, kontrolować ich formę jedno lub wielościenną i wpływać na ich właściwości elektronowe. Poza współautorską pracą, zawierającą wyniki tych badań, były one także podstawą opracowania jednego zgłoszenia patentowego.

W ocenie działalności naukowej habilitanta należy uwzględnić także jego uczestnictwo w wielu projektach badawczych, zarówno w roli kierownika projektu lub głównego koordynatora (9), głównego wykonawcy (3), jak i wykonawcy (4). Na podkreślenie zasługuje jego uczestnictwo w charakterze koordynatora i kierownika projektu w projektach międzynarodowych, w tym w projekcie europejskim FP- 7 Marie Curie Action, i w projekcie Marie Curie Reintegration. W projektach tych dominowała tematyka nowych materiałów o wymiarach nanometrycznych, ich wytwarzania, badań struktury, właściwości i potencjalnych praktycznych zastosowań.

W zakresie współpracy międzynarodowej należy odnotować uczestnictwo dr inż. Mariusza Zdrojka w programie Polonium, w ramach współpracy polsko- francuskiej dotyczącej badań właściwości elektrostatycznych i optycznych półprzewodnikowych nanodrutów i nanorurek węglowych.

Jest aktywnym uczestnikiem wielu konferencji międzynarodowych (25) i krajowych (12), na których prezentuje wyniki swoich badań. Wielokrotnie wyniki badań prezentował w



formie ustnych wystąpień na konferencjach, w tym trzynastokrotnie w charakterze zaproszonego wykładowcy.

Łączny dorobek naukowy dr inż. Mariusza Zdrojka wynosi 32 pozycje, przy czym 27 z nich wykazanych w bazie Journal Citation Reports, o sumarycznym IF równym 108,6. Przed doktoratem habilitant opublikował 6 prac współautorski i był współautorem krótkiego rozdziału książki. Łączny IF prac publikowanych przed doktoratem wynosi 14,58, a po doktoracie 94,02, powstaje wtedy 25 publikacji, z czego sześć prac zostało przedstawionych jako praca habilitacyjna. Liczba cytowań publikacji habilitanta, bez autocytowań, według bazy Web of Science, wynosi 369, a indeks Hirsha 10.

Poza wymienionymi pracami, habilitant ma w swoim dorobku jeden patent i jedno zgłoszenia patentowe, a także jedno opracowanie związane z wdrożeniem technologii produkcji nanostruktur węglowych metodą chemicznego naparowania z fazy gazowej.

Nie ma w dokumentacji informacji o innych pracach publikowanych, m.in. streszczeniach, komunikatach, doniesieniach konferencyjnych, o których habilitant wspomina w autoreferacie, a także załącza bogaty wykaz prezentacji konferencyjnych w p. 2.1 zawierający 37 pozycji związanych z posterami i wystąpieniami konferencyjnymi. Brak jest jednak informacji, czy te komunikaty znalazły ślad w formie publikowanych materiałów konferencyjnych, czy stanowią tylko komunikaty ustne?

Podsumowując publikacyjny dorobek habilitanta, z wyłączeniem tych publikacji, które tworzą rozprawę habilitacyjną, należy stwierdzić, jest on wartościowy i znacząco powiększony po obronie pracy doktorskiej (18 prac współautorskich w czasopiśmie z bazy JCR i jeden współautorski rozdział w książce- wyd. Springer- Verlag w 2010, pt. "Electrostatic force microscopy and Kelvin force microscopy as a probe of the electrostatic and electronic properties of carbon nanotubes, Scanning Probe Microscopy in Nanoscience and Nanotechnology"). Udział własny habilitanta w powstaniu tych prac jest typowy dla publikacji współautorskich i waha się od 15 do 85 %. Takie publikacje są często wynikiem współpracy zespołów badawczych reprezentujących różne dziedziny badań, nawzajem uzupełniających się wiedzą dla rozwiązania podjętego problemu. Są to zatem typowe prace dla obszaru fizyki ciała stałego z elementami inżynierii materiałowej, kiedy problemy badawcze rozwiązywane są najczęściej przez naukowców reprezentujących różne dziedziny wiedzy.

Liczba cytowań publikacji habilitanta jest znacząca i świadczy o rzeczywistym udziale habilitanta w rozwój dziedziny wiedzy, która uprawia. Warto dodać, że dominująca liczba cytowań publikacji autora miała miejsce w stosunkowo krótkim okresie czasu, tj od



roku 2011 do 2014. Międzynarodowy oddźwięk jego publikacji, niekiedy o bardzo wysokim IF, odzwierciedlają także recenzje, jakie wykonywał, dzięki swojej wiedzy i międzynarodowemu uznaniu, dla czasopism zagranicznych z bazy Journal of Citations Reports. Recenzje wykonywane były dla takich czasopism jak, App.Physic Letter, J.App.Phys., Phys.Stat.Solid, Solid State Comn.,

Habilitant ma w tym obszarze działalności naukowej wymierne osiągnięcia, które stanowią dobrą rekomendację na rzecz przyznania mu stopnia doktora habilitowanego.

### **3. Ocena rozprawy habilitacyjnej**

Rozprawa habilitacyjna dr inż. Mariusza Zdrojka, pod wspólnym tytułem „Badania właściwości pojedynczych nanorurek węglowych”, stanowi zbiór 6 publikacji z listy JCR oraz jednego opracowania patentowego uzyskanego w roku 2013. Autor podaje własny, procentowy udział w przygotowanie manuskryptów tych prac, wraz z jego opisem merytorycznym. Czynnikiem szczególnie wyróżniającym zestaw tych publikacji, poza tematyką, jest wysoki IF, wahający się od 3,3 do 27,27, a łączny IF wynosi 52,9. Według dołączonej dokumentacji wkład habilitanta w powstanie czterech z tych prac jest dominujący i wynosi od 45 do 80%, a w pozostałych trzech od 10 do 40%. W publikacjach tych głównym obiektem badań są nanorurki węglowe i warstwy grafenowe, a w szczególności badanie ich budowy i właściwości na pojedynczym obiekcie. Zagadnienia te są dzisiaj jednym trudniejszych wyzwań dla dalszego rozwoju nanomateriałów, a przede wszystkim praktycznego wykorzystania niezwykłych właściwości nanorurek węglowych. Nanoformy węgla, w tym grafeny i nanorurki są dzisiaj jednymi z najbardziej interesujących form nanomateriałowych, z uwagi na ich potencjalne zastosowania w wielu dziedzinach techniki i medycyny, często potwierdzone w skali laboratoryjnej. Poznanie właściwości takich form węglowych, opracowanie nowych metod badań i narzędzi umożliwiających wykorzystanie ich niezwykłych właściwości elektrycznych, cieplnych, mechanicznych, czy biologicznych stanowią podstawę ich dalszego rozwoju. Problematyka, która przewija się w publikacjach zestawionych jako praca habilitacyjna dotyczy tych właśnie problemów. W jednej z prac autor przedstawia wyniki badań właściwości elektrostatycznych naładowanych pojedynczych nanorurek węglowych. Do tego celu autor opracował własne metody i procedury separacji i dyspersji nanorurek węglowych, a także metodę wstrzykiwania i detekcji ładunków z wykorzystaniem igły mikroskopu sił atomowych. Jednym ze znaczących rezultatów poznawczych publikowanych w czasopiśmie Phys.Rev.B w pracy pt. Inner-shell charging of multiwalled carbon nanotubes” było wykazanie ładowanie się wewnętrznych ścian nanorurki



w wyniku działania zewnętrznego pola elektrycznego. Właściwości elektrostatyczne nanorurek węglowych rozwijane są także w dwóch kolejnych publikacjach, w tym we współautorskiej pracy publikowanej w czasopiśmie *Phys. Rev. Lett.* (IF=7.18). W pracy tej autorzy wykazują możliwość mapingu rozkładu ładunku w pojedynczych nanorurkach. Wykazano m.in., że pojedyncza nanorurka może być detektorem pojedynczych elektronów. Jak sam autor ocenia, wyniki tych badań mogą mieć znaczenie w elektronice molekularnej, gdzie nanorurka może być narzędziem do próbkowania transportu jednoelektronowego, np. w półprzewodnikowych nanokryształach. W dwóch kolejnych współautorskich pracach habilitant zajmował się zagadnieniem właściwości mechanicznych nanorurek węglowych, w szczególności wykorzystaniem nanorurki węglowej jako oscylatora harmonicznego.

Jego wkład w tą tematykę polegał na zaproponowaniu metody wytworzenia nanorezonatora rurkowego i wykonanie takiego nanourządzenia, które następnie posłużyło do przeprowadzenia odpowiednich pomiarów detekcji oscylacji, przy użyciu metody mieszania prądu modulowanego częstotliwościowo. Wyniki tych badań opublikowane zostały w czasopiśmie *Nature Nanotechnology* (IF w 2011 roku wynosił 27,27) oraz w *Applied Physics Letter* (IF=3,844). Wyniki praktyczne tych badań mogą znaleźć zastosowanie, m.in. do pomiaru masy, w badaniach prowadzonym w reżimie kwantowym i w przetwarzaniu sygnałów o częstotliwościach radiowych. Udział habilitanta w te badania i publikacje wynosi 10%.

W kolejnej pracy publikowanej w *Phys. Rev. Lett.* (7.943), w której udział habilitanta był dominujący (60%) przedstawiono wyniki badań właściwości optycznych pojedynczych nanorurek wielościennych. Badania wykonane zostały przy użyciu spektroskopii ramanowskiej. Praca ta była jednocześnie podstawą do opracowania zgłoszenia patentowego. Ostatnia praca, będąca w zestawie prac habilitacyjnych jest opracowaniem patentowym dotyczącym metody grzania laserowego pojedynczych nanorurek z uwzględnieniem anizotropii absorpcji optycznej. Jego udział w opracowanie zgłoszenia i uczestnictwie w trakcie postępowania patentowego wynosi 40%.

Dyskusja podsumowująca całość komentarza do prac stanowiących osiągnięcie naukowe habilitanta, uwypukla najważniejsze osiągnięcia badawcze opublikowane, w których udział merytoryczny habilitanta był znaczący. Habilitant opracował metodę wstrzykiwania ładunków elektrycznych do pojedynczych nanorurek i do półprzewodnikowych nanokryształów CdSe za pomocą pojedynczej nanorurki. Opracował sposób pomiaru gęstości liniowej ładunku wstrzyknietego do nanorurek węglowych o różnej liczbie ścian. Udowodnił, że wielościenna nanorurka węglowa wykazuje właściwości ładowania się wewnętrznych

ścian nanorurki. Opracował i zrealizował sposób wytwarzania rezonatorów nanomechanicznych, bazujących na nanorurkach. Określił zależności polaryzacyjne widma ramanowskiego indywidualnych nanorurek. Zaproponował metodę grzania laserowego i kontroli efektu ogrzewania nanorurek i innych nanoobjektów.

Rezultaty powyższe były przedmiotem publikacji w renomowanych czasopismach o obiegu światowym. Publikacje te powstawały na przestrzeni lat 2008- 2012 i były często cytowane.

Wyniki badań zespołowych habilitanta dotyczące nanoform węgla, głównie nanorurek, poszerzają wiedzę dotyczącą tej interesującej grupy materiałów, będących dzisiaj również obiektem intensywnych badań na świecie.

Podsumowując ocenę rozprawy habilitacyjnej oraz pozostałe prace współautorskie uważam, że habilitant jest uznanym w kraju i na świecie specjalistą w dziedzinie badań nanoform materiałów węglowych, w szczególności nanorurek węglowych metodami mikroskopii sił atomowych, mikroskopii sił elektrostatycznych i spektroskopii ramanowskiej. Dorobek ten wnosi istotny wkład w uprawnią przez niego dziedzinę i poszerza wiedzę o badanych materiałach, jak i możliwościach przyszłego wykorzystania tych specyficznych form węgla.

Przedstawiony zbiór publikacji, wraz z komentarzem, można traktować jako interdyscyplinarną pracę naukową, łączącą wytwarzanie nanometrycznych materiałów węglowych, zastosowanie specyficznych metod ich badań, ze wskazaniem ich praktycznego wykorzystanie w obszarze fizyki ciała stałego z elementami inżynierii materiałowej.

Działalność naukowa dr inż. Mariusza Zdrojka została wyróżniona dwukrotnie nagrodą indywidualną II stopnia za osiągnięcia naukowe w roku 2006 i w 2013 i Nagrodą Zespołową Rektora Politechniki Warszawskiej. Dwukrotnie, w roku 2011 i w 2012, habilitant został uhonorowany stypendium Ministra dla wybitnych młodych naukowców.

#### **4. Działalność organizacyjna**

Habilitant jest pracownikiem naukowym Wydziału Fizyki, Politechniki Warszawskiej, od 2012 roku jest członkiem Rady tego Wydziału. Od roku 2005 jest zaangażowany w działalność organizacyjną związaną z wymianą naukową z ośrodkiem francuskim IEMN w Lille, w ramach programu Polonium oraz realizacji wspólnych doktoratów. Jest członkiem komisji do spraw programów na swoim Wydziale i koordynatorem i autorem projektu



budowy laboratorium nanostruktur i budowy laboratorium elektrono-litografii. Jego aktywność organizacyjna na rzecz Wydziału związana jest również z organizacją praktyk studenckich w laboratorium nanostruktur.

## **5. Działalność dydaktyczna**

Działalność dydaktyczna dr inż. Mariusza Zdrojka związana jest z jego macierzystą uczelnią, Politechniką Warszawską i Wydziałem Fizyki. Należy zaznaczyć, że od 2007, tj. po obronie pracy doktorskiej i uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych, pan Mariusz Zdrojek w latach 2007-2008 i 2008-2010 odbył dwa długie staże zagraniczne w Hiszpanii, na stypendium postdoc w Intytucie w Barcelonie i na stypendium postdoc w ramach programu Marie- Curie, również w Barcelonie, w Instituto Catalan de Nanociencia y Nanotecnologia. Z powyższych względów jego staż dydaktyczny w rodzimej uczelni jest stosunkowo krótki i datuje się od roku 2010. Od tego roku rozpoczął zajęcia dydaktyczne, pracując jako adiunkt na tym Wydziale, prowadząc ćwiczenia z podstaw fizyki. Od 2013 prowadzi wykłady autorskie dla studentów II i III stopnia na temat nanoform węgla. Od 2010 roku opiekuje się magistrantami i studentami studiów inżynierskich, prowadzi prace magisterskie i inżynierskie.

Jest opiekunem pomocniczym czterech prac doktorskich. Uczestniczył w akcjach związanych z promocją wiedzy w zakresie nanomateriałów i nanotechnologii, m.in poprzez głoszenie wykładów na XV Festiwalu Nauki promującym badania dotyczące nanorurek, czy wykładu dla kandydatów na studia, mającym za zadanie pokazanie zastosowań nanotechnologii w życiu codziennym.

Biorąc pod uwagę stosunkowo krótki czas działalności habilitanta bezpośrednio na Wydziale Fizyki PW należy uznać, że jego dorobek dydaktyczny spełnia wymogi stawiane nauczycielom akademickim ubiegającym się o stopień naukowy.

## **Wniosek końcowy**

Na podstawie oceny dorobku naukowego i rozprawy habilitacyjnej dr inż. Mariusza Zdrojka uważam, że jest on w pełni ukształtowanym, samodzielnym badaczem. Jego dotychczasowe osiągnięcia naukowe uzasadniają ubieganie się o stopień naukowy doktora habilitowanego.

Dorobek naukowy habilitanta jest znaczący i wyraźnie powiększony po obronie pracy doktorskiej. Dorobek ten jest dostrzegany w środowisku międzynarodowym, potwierdzony także oświadczeniami współautorów, wskazując jednoznacznie na znaczący udział habilitanta w jego tworzenie.



Z powyższych względów przedstawiam Radzie Naukowej Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej wniosek o kontynuowanie procedury w związku z wszczętym postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr inż. Mariuszowi Zdrojkowi.

