

OCENA DOROBKU NAUKOWEGO, ORAZ WNIOSKU O NADANIE STOPNIA  
DOKTORA HABILITOWANEGO PANI ALICJI BACHMATIUK W DZIEDZINIE NAUK  
CHEMICZNYCH, W DYSCYPLINIE CHEMIA.

Pani dr Alicja Bachmatiuk uzyskała stopień doktora (technologia chemiczna, *Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny*, praca obroniona z wyróżnieniem) w roku 2009. Rozprawa obejmowała problematykę technologii otrzymywania i właściwości nanorurek węglowych. Odbyła ponad trzyletni staż podoktorski w *Leibnitz Institute for Solid State and Materials Research* w Niemczech. Staż odbywała jako wykonawca projektu "Carbio" - *Marie Curie Research Training Network (RTN)* oraz jako stypendystka fundacji Humboldta. Przez rok (2012 - 2013) kierowała laboratorium mikroskopii elektronowej (*Wrocławskie Centrum Badań EIT+*), którym to kieruje ponownie od roku 2015. W międzyczasie (również przez rok) odbywała staż w Korei Południowej jako *research professor*, a od września 2013 do chwili obecnej jest adiunktem w *Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN* w Zabrze. To podczas stażu w Korei habilitantka rozpoczęła badania nad wytwarzaniem i charakteryzacją materiałów węglowych. W latach 2013-2015 uzyskała finansowanie z *FNP* (program *Homing Plus*). Projekt dotyczył syntezy grafenu i zaowocował opublikowaniem 7 prac. Od marca 2015 kieruje projektem *NCN (Sonata 7)*. Projekt związany jest z wykorzystaniem materiałów grafenowych w procesach separacji.

Pani dr Alicja Bachmatiuk po doktoracie opublikowała w sumie 85 prac w czasopiśmie z listy filadelfijskiej. Ich sumaryczny IF wynosi 520.466. Wygłosiła także 6 wystąpień na konferencjach krajowych i zagranicznych (5 na zaproszenie) oraz 6 innych wykładów.

Przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe stanowi cykl 11 prac opublikowanych w bardzo dobrych czasopiśmie (najmniejszy IF to 2.168, największy to 12.881). Sumaryczny IF prac cyklu wynosi 70.364 czyli średnio 6.397 na pracę. Wśród czasopiśmie znajdują się: *ACS Nano*, *Chemistry of Materials*, *Carbon* czy *Journal of Physical Chemistry C*, czyli czołowe czasopiśmie z dziedziny syntezy i fizykochemii nowoczesnych nanomateriałów, oraz z chemii fizycznej. Udział Pani dr Bachmatiuk w cyklu prac waha się między 80 a 40 %, i wynosi średnio 58.64 %.

Poniżej przedstawiam krótką analizę przedstawionego do oceny dorobku habilitantki. Od razu zaznaczę, że dorobek ten jest w mojej opinii imponujący. Pozwoliłem sobie jednak z obowiązku recenzenta, na poczynienie pewnych spostrzeżeń, drobnych uwag i sugestii, które być może będą przydatne w dalszych badaniach.

Analizowany dorobek jest wieloautorski, bowiem Pani dr Bachmatiuk współpracuje z grupami badawczymi w Dreźnie, Chinach, Czechach, Korei Południowej, Anglii, USA, Szwajcarii i Polsce. Praca H1 przedstawia wyniki badań nad otrzymywaniem nanostruktur grafitowych na podłożu SiO<sub>2</sub>. Chociaż stosowana metoda znana była wcześniej, autorzy postawili sobie za zadanie ustalenie mechanizmu powstawania produktów, a dokładnie czy tworzy się podczas procesu SiC i jeśli tak, to czy jest on stabilny. Efektem końcowym jest zaproponowanie mechanizmu tworzenia nanowłókien węglowych poprzez redukcję SiO<sub>2</sub> do SiC. O ile dobrze zrozumiałem opis części eksperymentalnych prac H1 i H2, to są one dość do siebie zbliżone, przez co praca H2 przedstawia wyniki bardzo podobne do otrzymanych w pracy H1. Rysunek 1A w obu pracach przedstawia otrzymane nanowłókna węglowe, i to ich syntezie poświęcona jest praca H2. Podobne są również rysunki z widmami (odpowiednio 3 i 4 w pracy H2 z 5 w H1). Analiza wniosków pracy H2 prowadzi do konkluzji, że praca H2, w porównaniu z pracą H1 nie wnosi wiele nowego ani odnośnie powstających materiałów ani mechanizmu ich tworzenia. Chociaż metoda zaprezentowana w pracy H2 jest bardzo ciekawa, jednak trudno z prezentowanych wyników wyciągnąć wnioski na temat jej wydajności, i co za tym idzie perspektyw co do zastosowania w szerszej skali. Praca H3 poświęcona jest syntezie grafenu na tlenku magnezu (źródłem węgla jest cykloheksan lub acetylen). Metoda jest bardzo ciekawa i nowa, a szczególnie zainteresowanie wzbudza niska temperatura prowadzenia procesu. Myślę, że dla czytelnika może nie być do końca zrozumiały fragment omówienia wyników - dokładnie omówienie rysunku 1 A-H. Autorzy w tekście (jak i w podpisie) wspominają, że rysunek 1C (oraz 1E) pokazuje "wyspy grafenowe na powierzchni kryształu MgO" podczas gdy w tekście wspominają, że poddali grafen odmyciu z powierzchni tlenku (reakcja z HCl) a następnie oczyszczaniu, celem usunięcia ewentualnych grup funkcyjnych. Proces taki prowadzi do otrzymania nanografitu lub "*nanographene shells*", jak pokazano to na rys 1 G, H. Podczas gdy podpis pod rysunkiem 1 informuje czytelnika, że rysunek 1H jest powiększeniem fragmentu z rysunku 1C a ten pokazuje grafen, ale na powierzchni tlenku... Podobnie jak wyniki pracy H2 tak i te zawarte w pracy H3 są bardzo ciekawe i bez wątpienia nowatorskie, jednak ciągle brakuje informacji na ile proces może być przeprowadzony z zadawalającą wydajnością w większej skali. Praca H4 rozwija zagadnienie

wzrostu grafenu opisywane w pracy H3. Dodatkowo badana jest synteza na  $ZrO_2$ . Przedstawione są wyniki obliczeń *ab initio* potwierdzającą, obserwowaną pod mikroskopem, rolę krawędzi MgO w tworzeniu grafenu. Praca H5 pokazuje wpływ obecności wodoru na strukturę powstających nanorurek węglowych, które zamiast w formie pojedynczych, w obecności wodoru tworzą struktury włókien. Szkoda, że autorzy całą analizę przeprowadzili jedynie dla trzech zawartości wodoru, w związku z tym otrzymano korelacje tylko dla trzech punktów (np. rys.4). Autorzy podali mechanizm procesu tworzenia nanostruktur w obecności wodoru. W tym miejscu, moim zdaniem, warto było nieco poszerzyć część związaną z zastosowaniem pakietu obliczeniowego *FactSage Equilib-Web*. Zastosowanie tego pakietu bowiem prowadzi do wyjaśnienia wyników otrzymanych dla najwyższej badanej temperatury (rys. 7). Ponieważ szczegóły obliczeń nie zostały w pracy podane pozostaje wiara autorom na słowo, tym bardziej, że w części eksperymentalnej nie podano w jaki sposób utrzymywana i kontrolowana była temperatura w piecu (zamiast  $975\text{ }^\circ\text{C}$  otrzymano odpowiednio  $962$  i  $910\text{ }^\circ\text{C}$  dla zawartości  $35$  i  $70\%$   $H_2$ ). Nie bardzo rozumiem, dlaczego nie było możliwym powtórzenie pomiaru dla odpowiednio wyższej nastawy temperatury pieca (a prowadzącej do oczekiwanej temperatury  $975\text{ }^\circ\text{C}$ ). Problematyka podjęta w pracy H6 skupia się nad wpływem warunków syntezy (dokładnie otoczenia) na ilość warstw powstającego grafenu. Autorzy w prosty, ale bardzo inteligentny sposób (ograniczając dostęp metanu - źródła węgla) pokazują jak manipulować jakością i ilością warstw produktu. Praca H7 przedstawia metody otrzymywania i analizę toksyczności układów grafen - tlenek metalu. Od razu uwagę czytelnika zwraca dziwna forma nazewnictwa związków. Z tego co mi wiadomo, zgodnie z zaleceniami IUPAC, zapis "A@B" odznacza że A jest enkapsulowane w B, a nie odwrotnie. Co prawda nomenklatura IUPAC dotyczy fullerenów, a w przypadku badań autorki mamy do czynienia z grafenem, jednakże autorzy nie posiłkują się żadnym odnośnikiem literaturowym uzasadniającym zastosowanie takiej a nie innej nomenklatury. Niemniej praca ta pokazuje ważne i perspektywiczne zastosowanie grafenu w urządzeniach do magazynowania energii oraz w nośnikach leków. Szczególnie wyróżnić należy bardzo dobrze wykonane badania aktywności biologicznej. Co prawda praca znacznie zyskałaby na wartości gdyby badania przeprowadzono dla kilku, a nie tylko dla jednego, typów komórek (badano A549 - ludzkie nowotworowe komórki raka płuc), jednak wyniki jak i opis zawarty w materiale dodatkowym wskazują, że bardzo dokładnie sprawdzono czy tworzenie ROS nie wynika np. z obecności pożywki hodowlanej, oraz czy test MTS nie daje zawyżonych wyników przez redukcję barwnika na samych materiałach albo w pożywce. Dodatkowo wykonano obrazowanie komórek żeby potwierdzić brak zmian morfologicznych. W pracy H8 największe wrażenie

robi połączenie technik eksperymentalnych i symulacji komputerowych. Te ostatnie wykorzystują najnowsze metody (DFT) połączone z dynamiką molekularną do obliczenia energii układu, oraz wykazania różnic w mechanizmach procesów tworzenia fullerenów na powierzchniach MgO posiadających różne morfologie powierzchni. Praca H9 podejmuje problematykę syntezy grafenu na podłożu jakim jest miedź. Jak wiadomo, z powodu niskiej rozpuszczalności węgla w Cu ta ostatnia jest dość niewdzięcznym podłożem do syntezy nanorurek. Za to może doskonale nadawać się do syntezy grafenu. Rzeczywiście obróbka powierzchni nie powodująca jej utlenienia prowadzi do późniejszej syntezy "wysepek" grafenowych jeszcze przed reakcją CVD, co pogarsza morfologię produktu. Pozbycie się zanieczyszczeń powierzchni poprzez utlenienie miedzi w powietrzu prowadzi do znacznego polepszenia własności syntezowanego grafenu. To bardzo wartościowe wyniki bowiem, jak wiadomo, podczas procesów obróbki (np. walcowania) miedzi gromadzą się na niej pozostałości organiczne a te wpływają znacząco na jakość materiałów wytwarzanych w dalszych etapach jako produkty procesów CVD. H10 to w zasadzie badania nad mechanizmami konwersji amorficznego węgla w grafen. Poprzez bardzo ciekawie zaplanowany eksperyment autorzy udowadniają rolę pełnioną przez gazy utleniające w procesie grafityzacji. Praca ta jest w pewien sposób dopełnieniem wyników uzyskanych w pracy H1. Finalnie, H11 podobnie jak H9 dotyczy syntezy grafenu na miedzi. Tym razem jednak proponowane są nowe metody polegające na tworzeniu grafenu z zaadsorbowanych wcześniej cząsteczek (podjęto próby z acetonem, izopropanolem i etanolem). Rzeczywiście analiza literatury wskazuje, że metod tego typu jest stosunkowo mało. Szkoda, że w wersji elektronicznej wniosku pominięta została ESI dla tej pracy dlatego, że zaciekał mnie dość arbitralny sposób wyboru obszarów linearyzacji wykresów Arrheniusa (rys.6) celem obliczenia energii aktywacji.

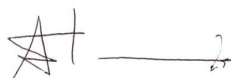
Podsumowując, omawiany dorobek jest znaczący. Waga czasopism w jakich został opublikowany jest bardzo duża. Jest to na pewno dorobek istotny i wnoszący wiele do obszaru badań nad mechanizmami tworzenia nowych nanomateriałów węglowych. Główną jednak wadą prezentowanego dorobku jest brak odniesienia do większej skali. Z własnego doświadczenia wiem, że w syntezach tego typu na płytce otrzymuje się zwykle całą gamę produktów, w związku z tym powstaje pytanie na ile wynik zależy od wyboru obszaru obserwacji. Rodzi się też pytanie o wpływ wiązki elektronów na uzyskiwane wyniki, wiadomo bowiem, że w przypadku pracy z niektórymi materiałami węglowymi wpływ wiązki nie jest pomijalny. Nie znaczy to jednak, że badań tego typu nie należy podejmować czy

kontynuować. Z tym związane są ambitne plany badawcze habilitantki, która pragnie kontynuować badania nad ogólnie pojętymi materiałami dwuwymiarowymi.

Pani dr Alicja Bachmatiuk poza imponującym dorobkiem naukowym posiada doświadczenie dydaktyka, bowiem podczas pracy asystenta na ZUT prowadziła zajęcia z Technologii Informatycznej, natomiast podczas pobytu w Niemczech przeprowadzała szkolenia z mikroskopii elektronowej. Sprawowała też opiekę nad pracami magisterskimi będąc ich współpromotorem. Obecnie sprawuję opiekę nad dwoma doktorantami zatrudnionymi w ramach projektu Sonata. Ponadto habilitantka przygotowywała doświadczenia i demonstracje dla zabrańskiej *Industriady 2015*.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona rozprawa habilitacyjna spełnia z nadmiarem warunki ustawowe dla prac habilitacyjnych wynikające z Ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz stopniach i tytułach w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 roku. W związku z tym stawiam wniosek o dopuszczenie Pani dr Alicji Bachmatiuk do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

Ponadto, biorąc pod uwagę bardzo wysoki poziom naukowy ocenianego cyklu prac, wnoszę o wyróżnienie rozprawy habilitacyjnej Pani dr Alicji Bachmatiuk.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized star-like symbol followed by a horizontal line and a small flourish.

*prof. dr hab. Artur P. Terzyk*