



Prof. dr hab. inż. Grażyna Gryglewicz

Wrocław, 22.11.2023

Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii
Materiałów Polimerowych i Węglowych
Wydział Chemiczny

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Grzegorza Stando**

pt. „Development of high-performance composites based on non-functionalized carbon nanostructures”

„Opracowanie wysokiej klasy kompozytów na bazie nanostruktur węglowych bez konieczności destruktywnej modyfikacji chemicznej”

Podstawą formalną opracowania recenzji stanowi decyzja Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej z dnia 4 września 2023 r. przekazana pismem prof. dr hab. inż. Doroty Neugebauer-Przewodniczącej Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne (znak: RDNCh.512.11.2023 z dnia 4.09.2023 r.) w sprawie wyznaczenia mnie jako recenzenta w postępowaniu doktorskim mgr. inż. Grzegorza Stando. Praca jest realizowana w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Grzegorza Stando została wykonana w Katedrze Chemii Organicznej, Chemii Bioorganicznej i Biotechnologii na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Dawida Janasa, prof. uczelni. Tematyka pracy dotyczy nanostrukturalnych materiałów węglowych, ich właściwości fizykochemicznych oraz kompozytów tych materiałów z metalami i polimerami przewodzącymi.

Bardzo duże zainteresowanie nanostrukturami węglowymi datuje się od połowy lat osiemdziesiątych ubiegłego stulecia, kiedy to odkryto nową alotropową odmianę węgla - fulereny. Od początku lat dziewięćdziesiątych świat nauki był zafascynowany nanorurkami węglowymi, by ponad 10 lat później grafen znalazł się w centrum uwagi. Każda z tych trzech nanostruktur węglowych charakteryzuje się specyficznymi właściwościami fizykochemicznym, w tym często unikalnymi, i znajdującymi zastosowanie w różnych dziedzinach, m.in. w inżynierii materiałowej, elektronice, medycynie. Aby poszerzyć obszar ich zastosowania nanostruktury węglowe poddaje się modyfikacjom, w tym wprowadzaniu do struktury heteroatomów lub grup funkcyjnych, które mogą prowadzić do zmiany właściwości fizykochemicznych materiału w pożądanym kierunku. Często funkcjonalizacji nanostruktur węglowych metodami chemicznymi towarzyszy spadek przewodnictwa elektrycznego materiału i zmiana charakteru chemicznego powierzchni. Oczywiście skala tych zmian zależy od zastosowanej metody modyfikacji. Temu zagadnieniu poświęcona jest niniejsza rozprawa doktorska.

Bez wątpienia temat przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej jest bardzo interesujący i ważny dla opracowania na bazie nanostruktur węglowych nowych materiałów, w tym kompozytowych, o lepszych właściwościach mając na uwadze perspektywiczne kierunki zastosowań.

W pierwszym rozdziale (Rozdział 1) rozprawy doktorskiej omówione zostały cele i zakres pracy. Na samym początku Autor podkreślił, że jednym z celów było zweryfikowanie hipotezy „pure nanocarbon surface is wettable with water and aromatic hydrocarbons are the reason for their apparent hydrophobicity”. Wyjaśnił, co było inspiracją do podjęcia tych badań, a mianowicie miało to związek z wynikami badań, które zostały przedstawione w dwóch publikacjach z jego współautorstwem w czasopismach *Scientific Reports* (2017) i *Applied Surface Science* (2019). W pierwszej z tych prac stwierdzono zaskakująco dobrą zwilżalność przez wodę wygrzewanych nanorurek węglowych, a w drugiej hydrofobowy ich charakter po adsorpcji na ich powierzchni węglowodorów aromatycznych. Doktorant nawiązuje również do prac profesorów Lei Li i Haitao Liu z Uniwersytetu w Pittsburghu, którzy wykazali, że procedury oczyszczania grafitu i grafenu prowadzą do uzyskania hydrofilowego charakteru ich powierzchni. W związku z powyższymi obserwacjami Autor tej rozprawy postawił sobie cel wyjaśnienie mechanizmu hydrofobizacji powierzchni nanomateriałów węglowych. Druga hipoteza mająca związek z pierwszą zakłada, że obróbka termiczna nanostruktur węglowych w kontrolowanych warunkach prowadzi do hydrofilowego charakteru powierzchni bez zmiany składu i struktury materiału. To sugeruje, że można wyeliminować funkcjonalizację nanostruktur węglowych metodami chemicznymi, które modyfikują strukturę powierzchni (wprowadzenie hydrofilowych grup funkcyjnych) zastępując je obróbką termiczną. Hydrofilowy charakter powierzchni nanostruktur węglowych jest w wielu syntezach kluczowy dla uzyskania wysokiej jakości kompozytów. W związku z tym, aby potwierdzić powyższe hipotezy Autor postawił również sobie za cel opracowanie wysoko efektywnych kompozytów na bazie niefunkcjonalizowanych chemicznie nanostrukturalnych materiałów węglowych z polimerami i metalami dla wybranych zastosowań.

Drugi rozdział (Rozdział 2) rozprawy doktorskiej stanowi 20-stronicowe omówienie literaturowe zagadnień ściśle związanych z tematyką pracy. Autor przedstawił bardzo krótką charakterystykę nanomateriałów węglowych, a następnie omówił utlenianie nanostruktur węglowych jako jedną z metod ich funkcjonalizacji. Więcej uwagi w części literaturowej poświęcił zagadnieniu zwilżalności materiałów, w szczególności pomiarom kąta zwilżania i charakterowi chemicznemu powierzchni nanomateriałów węglowych. Ostatni rozdział części literaturowej omawia metody wytwarzania kompozytów nanomateriałów węglowych z polimerami, w tym nanorurki węglowe (CNTs) z polianiliną (PANI) oraz z miedzią, podkreślając znaczenie ich hydrofilności w przypadku stosowania procesów elektrochemicznych. Wskazał potencjalne obszary zastosowań tych kompozytów.

Kolejny trzeci rozdział na blisko 20 stronach opisuje metodykę badań. Autor przedstawia metody wytwarzania makroskopowych obiektów z nanomateriałów węglowych takich jak fuleren C_{60} , jednościenne nanorurki węglowe (SWCNTs) i jednowarstwowy grafen (SLG). Autor zastosował metodę „spray-coatingu” nanosząc na szkło fuleren C_{60} , a do wytwarzania filmów z nanorurek węglowych wykorzystał metodę próżniowej filtracji (VFF) lub metodę dyspersyjną (DF) z udziałem etylocelulozy jako lepiszcza. Makroskopowy obiekt na bazie grafenu stanowił grafen na miedzi syntezowany przez Autora metodą CVD w temperaturze 1050°C z metanu jako prekursora węgla. C_{60} i SWCNTs zostały zakupione. C_{60} był stosowany w badaniach w postaci jakiej został dostarczony, natomiast SWCNTs były oczyszczane z węgla amorficznego i turbostratycznego oraz katalizatora.

Następnie Autor opisuje metodę utleniania SWCNTs (O-SWCNTs) i filmów na ich bazie z wykorzystaniem zmodyfikowanej metody Hummersona stosując różne temperatury, czasy reakcji i ilości KMnO_4 oraz metody obróbki termicznej C_{60} , filmów SWCNTs i SLG/Cu. W badaniach stosował dwie metody adsorpcji węglowodorów na powierzchni badanych materiałów węglowych, metodę statyczną

w parach węglowodorów zastosowaną dla C₆₀, SWCNTs i grafitu oraz dynamiczną w przepływie gazu inertnego zawierającego pary węglowodorów w przypadku SLG/Cu. W dalszej części opisu metodyki badań przedstawia warunki syntezy kompozytów SWCNTs i O-SWCNTs z polimetylometakralanem (PMMA). Kolejnymi kompozytami syntezowanymi były kompozyty polianiliny (PANI) z SWCNTs i nanopłatkami grafenowymi (G) oraz z O-SWCNTs. Do syntezy kompozytów z miedzią wykorzystał komercyjne NC-MWCNTs i nanopłatki grafenowe oraz MWCNTs syntezowane w laboratorium metodą CVD w temperaturze 800 °C z wykorzystaniem ferrocenu jako katalizatora i toluenu jako prekursora węgla. MWCNTs były też modyfikowane stężonym HNO₃ w 140 °C przez 4 h. Materiały te w różnych proporcjach z SWCNTs posłużyły do wytworzenia filmów metodą DF z udziałem lepszysza, które w kolejnym etapie pracy pełniły rolę elektrod w elektrochemicznym osadzaniu na ich powierzchni miedzi.

W ostatniej części Rozdziału 3 Autor przedstawia stosowane w pracy techniki analityczne (SEM, AFM, spektroskopia Ramana, ATR-FTIR, XPS, sorpcja N₂ w 77 K, pomiar kąta zwilżania) do charakteryzacji nanostruktur węglowych w formie proszkowej i makroskopowych obiektów oraz ich kompozytów z polimerami i miedzią. Opisał ponadto wykorzystane w pracy metody badań właściwości mechanicznych, elektrochemicznych, termoelektrycznych i przewodnictwa elektrycznego otrzymanych materiałów.

Wyniki pracy eksperymentalnej i ich dyskusję Autor niniejszej rozprawy doktorskiej przedstawił w obszernym rozdziale (Rozdział 4) na 70 stronach, zawierającym 55 rysunków i 5 tabel. W pierwszej kolejności podjął temat charakteru chemicznego powierzchni nanostruktur węglowych. Na podstawie pomiaru kąta zwilżania wodą makroskopowych obiektów z C₆₀, SWCNTs, SGL i HOPG wykazał hydrofilową naturę ich powierzchni po obróbce termicznej C₆₀ i SLG (350°C, H₂/Ar) i SWCNTs (wyrzewanane w płomieniu) oraz HOPG po eksfoliacji, podczas gdy wyjściowe materiały charakteryzowały się hydrofobową powierzchnią. Warto podkreślić, że Autor tej pracy w pomiarach kąta zwilżania uwzględnił również chropowatość powierzchni, którą oznaczył przy wykorzystaniu mikroskopii sił atomowych (AFM). W przypadku badanych makroskopowych obiektów z C₆₀ i SWCNTs parametr ten miał istotny wpływ na wartość kąta zwilżania. Jak wykazały badania metodą spektroskopii Ramana i XPS, zastosowana obróbka termiczna nie spowodowała istotnych zmian w strukturze badanych materiałów.

Aby udowodnić, że hydrofobowość powierzchni C₆₀, SWCNTs, SLG i HOPG wiąże się z adsorpcją węglowodorów, przeprowadzono procesy adsorpcji benzenu i jego metylowych pochodnych oraz węglowodorów z grupy policyklicznych aromatów na wygrzewanych makroskopowych obiektach z tych nanomateriałów dla wysokich stężeń adsorbatów. Po adsorpcji określono strukturę metodą spektroskopii Ramana i XPS oraz zwilżalność. W dyskusji wyników analizy XPS budzi pewne wątpliwości interpretacja widm O1s dla C₆₀ i SWCNTs (odpowiednio Rys. 24b i 26 b). Zmniejszenie intensywności pasma (z maksimum przy energii wiązań ~532,5 eV) odpowiadającego zaadsorbowanej wodzie po ekspozycji wygrzewanych materiałów na pary węglowodorów Autor tłumaczy wymianą zaadsorbowanych cząsteczek wody na cząsteczki węglowodorów (benzen i metylowe pochodne, naftalen). Tutaj mam wątpliwość, czy na podstawie zmian intensywności pasma XPS O1s można wyciągać tak daleko idące wnioski. Brakuje mi na tych rysunkach pasma XPS O1s dla C₆₀ i SWCNTs przed wygrzewaniem. Interesująca byłaby informacja jaka jest zawartość tlenu (% at.) w analizowanych materiałach, a taką zapewne posiada Autor, bo każda analiza XPS podaje elementarny skład powierzchniowy.

Autor postuluje w swojej pracy, że za hydrofobowość nanostrukturalnych materiałów węglowych (C₆₀, CNTs, grafen) i grafitu są odpowiedzialne węglowodory aromatyczne, które będąc w bardzo niskich stężeniach w otaczającym powietrzu są adsorbowane na powierzchni tych materiałów, bo z samej natury ich powierzchnia jest hydrofilowa. Aby to udowodnić pozostawia wygrzewane nanomateriały i grafit

po eksfoliacji na powietrzu na około 3 miesiące. Rejestruje zmiany kąta zwilżania odnotowując ich wzrost, co może świadczyć o adsorpcji węglowodorów z otaczającego powietrza. Po miesiącu na widmach FTIR C_{60} pojawiają się pasma pochodzące od związków alifatycznych (CH_3 , CH_2) i nienasyconych/aromatycznych, a zanika pasmo odpowiadające cząsteczkom wody. Autor rozprawy zaobserwował, że adsorpcja węglowodorów (bardzo niskie stężenia) z powietrza zachodzi zdecydowanie wolniej na SWCNTs i grafenie niż na fulerenie. Z kolei malejącą intensywność pasma XPS O1s odpowiadającego zaadsorbowanym cząsteczkom wody wiąże z ich wymianą na cząsteczki węglowodorów. Co więcej, wyznaczone wartości swobodnej energii powierzchniowej, w tym składnika dyspersyjnego i polarnego, wskazują na malejący udział składnika polarnego w miarę postępującej adsorpcji węglowodorów.

Przedstawiony mechanizm hydrofobizacji powierzchni nanomateriałów węglowych jest dyskusyjny. W mojej opinii wymaga dalszych badań, które dostarczą danych eksperymentalnych nie budzących żadnych wątpliwości. Analiza widma O1s dla bardzo niskich zawartości tlenu, a takie prawdopodobnie są w tym przypadku, może być obciążona błędem. Należy też wziąć pod uwagę fakt stosowania bardzo wysokiej próżni w spektrometrze XPS, co może wpłynąć na skład powierzchniowy analizowanego materiału. Wydaje mi się, że wykorzystanie techniki TG-FTIR-MS lub TG-MS mogłoby dostarczyć bardziej przekonujących dowodów na proponowany mechanizm. Co więcej badania modelowe powierzchni nanomateriałów węglowych w aspekcie tworzenia się filmu wodnego na ich powierzchni, a następnie wymiany cząsteczek wody na cząsteczki węglowodorów byłyby bardzo cenne dla potwierdzenia proponowanego mechanizmu hydrofobizacji powierzchni materiałów węglowych.

W drugiej zasadniczej części pracy eksperymentalnej Autor wykazuje, że bez chemicznej funkcjonalizacji CNTs można otrzymać kompozyty z PMMA i PANI, a także z Cu, o lepszych parametrach fizykochemicznych (właściwości mechaniczne, elektrochemiczne, termoelektryczne, przewodnictwo elektryczne) w porównaniu do kompozytów z utlenionymi bądź dotowanymi azotem CNTs. W tym celu w początkowym etapie SWCNTs były utleniane zmodyfikowaną metodą Hummersa w różnych temperaturach ($0^{\circ}C$, $18^{\circ}C$ i $40^{\circ}C$) i czasie oraz przy różnym stosunku SWCNTs/ $KMnO_4$. Wpływ warunków utleniania na strukturę DF filmów z SWCNTs określono na podstawie zaawansowanej interpretacji widm Ramana, w tym analizie stosunku I_D/I_G , pasm 2D i $D+D'$, szerokości połówkowej pasm D i G oraz dekonwolucji pasma G. Autor w swojej pracy wykazał, że ze wzrostem stosunku $KMnO_4/SWCNTs$ przewodnictwo elektryczne filmu maleje. Określił również wpływ warunków utleniania na kąt zwilżania VFF filmów z SWCNTs. Dla pełnej charakterystyki filmów z utlenionych SWCNTs zabrakło mi charakterystyki chemicznej powierzchni metodą XPS. Znajomość składu elementarnego, ilości węgla w hybrydyzacji sp^2 i sp^3 oraz dystrybucji tlenowych grup funkcyjnych pogłębiłaby dyskusję nad wpływem utleniania na strukturę i właściwości fizykochemiczne CNT takie jak przewodnictwo elektryczne, zwilżalność, właściwości termoelektryczne i wytrzymałość.

Kompozyty PMMA z SWCNTs, wygrzewanymi SWCNTs i utlenionymi O-SWCNTs otrzymane metodą zanurzeniową były charakteryzowane pod kątem właściwości mechanicznych. Większe powinowactwo PMMA do wygrzewanych SWCNT skutkowało większą ilością osadzonego polimeru i lepszymi parametrami wytrzymałościowymi w porównaniu do kompozytów z O-SWCNTs. Tutaj należałoby zwrócić uwagę na warunki utleniania SWCNTs. Są one bardzo drastyczne: wysoka temperatura ($40^{\circ}C$) i wysoki stosunek $KMnO_4/SWCNTs$ (7,5). Dla pełnej oceny zasadnym byłaby synteza kompozytów PMMA z SWCNTs utlenionymi w znacznie łagodniejszych warunkach.

Bardzo interesującym jest rozdział dotyczący elektrochemicznego osadzania różnych form PANI na DF filmach SWCNTs, G+SWCNTs i O-SWCNTs. Autor pracy określił wpływ struktury nanomateriału węglowego na elektrochemiczną polimeryzację aniliny wskazując na szkodliwe działanie utleniania SWCNTs. Warte podkreślenia jest opracowanie warunków elektrodepozycji soli emeraldyny (ES)

wykazującej największe przewodnictwo elektryczne spośród czterech badanych form PANI. Kompozyty z ES były przedmiotem dalszych badań. Otrzymano serię kompozytów ES+ SWCNTs i ES+G+SWCNTs przy różnej liczbie cykli elektrodepozycji, od 5 do 50, i określono ich strukturę metodami spektroskopii Ramana i FTIR oraz morfologię metodą SEM. Zoptymalizowano liczbę cykli na podstawie pomiarów przewodnictwa elektrycznego, a następnie zbadano właściwości mechaniczne kompozytów. Okazało się, że obecność płatków grafenowych w kompozytach wpływa niekorzystnie na ich właściwości mechaniczne. W pracy Autor przedstawił potencjał kompozytów ES+SWCNTs jako materiał elektrodowy w kondensatorze elektrochemicznym.

Na koniec Autor wytworzył serię DF filmów z SWCNTs, NC-MWCNTs, MWCNTs, nanopłatków grafenowych oraz filmów na bazie SWCNTs z różnym udziałem utlenionych O-MWCNTs, dotowanych azotem N-MWCNTs i nanopłatków grafenowych. Wykazał, że usuwanie lepiszcza przez wygrzewanie w płomieniu obniża kąt zwilżania (z 70-110° do 10-40° w zależności od nanomateriału węglowego) i zwiększa przewodnictwo elektryczne. Filmy zawierające lepiszcze i te bez lepiszcza testowano w procesie elektrodepozycji miedzi ze stężonego roztworu siarczanu miedzi. Różnice w kinetyce osadzania Cu i dystrybucji cząstek miedzi były interpretowane w nawiązaniu do przewodnictwa elektrycznego filmu, które zależało od udziału poszczególnych nanostruktur w filmie. Udział O-MWCNTs nie większy niż 25 % w kompozycie z SWCNTs promował jednorodną dystrybucję cząstek Cu. W dalszym etapie pracy określił efektywność wytworzonych filmów jako elektrod do usuwania jonów miedzi z przemysłowych wód odpadowych zawierających 428 ppm Cu. Dobrano tak potencjał elektrodepozycji, aby selektywnie były usuwane tylko jony Cu.

Podsumowując Autor proponuje w miejsce chemicznej funkcjonalizacji CNTs, ich wygrzewanie w warunkach zapewniających desorpcję zaadsorbowanych węglowodorów z powietrza, a tym samym hydrofilowy charakter powierzchni.

Należy podkreślić, że wyniki badań zaprezentowane w części doświadczalnej pracy zostały w dużej części opublikowane w czasopiśmie z bazy JCR.

Na koniec chciałabym skierować kilka pytań bądź uwag o charakterze dyskusyjnym, które pozwoliłyby rozwiązać moje wątpliwości co do interpretacji niektórych wyników w pracy doświadczalnej.

1. Jak skuteczna była procedura oczyszczania komercyjnych SWCNTs ? Czy oznaczono zawartość żelaza w oczyszczonych SWCNTs ?
2. Czy były poddane procedurze oczyszczania MWCNTs syntezowane przez Autora ?
3. Czy Autor dysponuje zdjęciami HRTEM jednowarstwowego grafenu syntezowanego w pracy metodą CVD na miedzi (SLG) ? Jaki jest stopień trudności w syntezie jednowarstwowego grafenu ?
4. Uwaga dotyczy warunków suszenia utlenionych materiałów węglowych. Na przykład, utlenione MWCNTs były suszone w temperaturze 115°C przez noc. W takich warunkach mogą ulegać rozkładowi grupy karboksylowe, które powstają w procesie utleniania. Zalecane jest w tym przypadku suszenie w suszarce próżniowej, które prowadzi się w znacznie niższej temperaturze.
5. Czy oprócz podanej powierzchni S_{BET} nanopłatków grafenowych, inne strukturalne parametry są znane (np. wymiary, liczba warstw grafenowych, odległość między warstwami grafenowymi) ?
6. Kolejny komentarz dotyczy składu pierwiastkowego nanostrukturalnych materiałów będących przedmiotem badań. To jest ważne z punktu widzenia charakteru chemicznego powierzchni. Analiza XPS dostarcza nam takich informacji. Szczególnie jestem ciekawa jaka była

- a) zawartość tlenu w SWCNTs po utlenieniu zmodyfikowaną metodą Hummersa w różnych warunkach procesowych ?
 - b) zawartość tlenu w utlenionych MWCNTs mieszaniną HNO_3 i H_2SO_4 (3:1) ?
 - c) zawartość tlenu w powłoce C_{60} po wygrzewaniu (Rys. 24 b, XPS O1s) i w SWCNTs VFF (Rys. 26 b, XPS O1s) ?
7. W pracy (Rozdział 3. Methodology) zabrakło opisu metody wprowadzania azotu do struktury MWCNTs. Z dalszej części pracy dowiadujemy się jedynie, że prekursorem azotu była pirazyna.
 8. Następny komentarz dotyczy warunków wygrzewania materiałów węglowych. Czym się kierował Autor wybierając temperaturę 350°C i mieszaninę gazów H_2/Ar w przypadku C_{60} i Cu/SLG ? Czy ubytek masy był odnotowany?
 9. Jaki był ubytek masy filmów DF po wygrzewaniu w płomieniu ? Czy nie można zastąpić tej procedury inną w bardziej kontrolowanych warunkach ?
 10. Zastanawiam się, czy zasadnym było podawanie w pracy wartości kąta zwilżania równym 0 dla C_{60} i SWCNTs, jaka w zasadzie nie istnieje. Uwzględnienie chropowatości dało sensowne wartości, na przykład dla fulerenu około 40° .
 11. Str. 70. Numeracja pasm FTIR nie jest zgodna z Rys. 28.
 12. Ostatnia uwaga dotyczy Rys. 2, na którym struktura tlenku grafenu i zredukowanego tlenku grafenu jest błędnie przedstawiona.

Ocena końcowa pracy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Grzegorza Stando stanowi wartościowy wkład w opracowanie nowych metod wytwarzania makroskopowych obiektów z różnych nanostruktur węglowych i ich kompozytów z metalami i polimerami. Przedmiotem badań było szerokie spektrum nanomateriałów węglowych od D0 po D2, a więc fuleren C_{60} , SWCNT, MWCNT i grafen oraz grafit. Niektóre z tych materiałów były komercyjne, a część była syntezowana w laboratorium przez Autora rozprawy doktorskiej (MWCNT i SGL/Cu). Autor udowadnia, że obróbka termiczna/wygrzewanie nanomateriałów węglowych w kontrolowanych warunkach, zapewniająca zachowanie ich struktury i hydrofilowość powierzchni, może zastąpić ich funkcjonalizację (utlenianie, domieszkowanie azotem i inne metody), która może prowadzić do znacznego pogorszenia właściwości, w tym przewodzących, termicznych i mechanicznych. Ma to istotne znaczenie w syntezie kompozytów z polimerami i metalami, dla której hydrofilowy charakter powierzchni materiału węglowego jest kluczowy. W pracy podjęto próbę uzasadnienia dla mierzonej hydrofobowości nanomateriałów węglowych i wykazania ich rzeczywistej hydrofilowej natury powierzchni. W mojej opinii proponowany mechanizm zmiany charakteru chemicznego powierzchni badanych nanostrukturalnych materiałów węglowych i grafitu wskutek adsorpcji węglowodorów obecnych w bardzo niskich stężeniach w powietrzu jest dyskusyjny i wymaga dalszych badań przy wykorzystaniu innych technik instrumentalnych (np. TG-MS, TG-FTIR-MS). Wiele wątpliwości rozwiązałyby badania symulacyjne procesu wymiany cząsteczek wody zaadsorbowanych na powierzchni nanostruktur węglowych przez cząsteczki węglowodorów, co sugeruje Autor niniejszej rozprawy i inni badacze. Niewątpliwie wyniki uzyskane w pracy zachęcają do kontynuacji badań w tym temacie.

Podsumowując moją opinię stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Grzegorza Stando spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz.742 z późn. zm.) i wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej o dopuszczenie do jej publicznej obrony. Ponadto zgłaszam wnioszek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Grzegorza Stando.

Uzasadnienie wniosku o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Grzegorza Stando

Rozprawa doktorska mgr inż. Grzegorza Stando reprezentuje wysoki poziom naukowy. Zawiera bardzo interesujący materiał badawczy z wnikliwą interpretacją wyników badań. Opublikowanie w znacznej części wyników pracy doktorskiej w dobrych czasopismach naukowych z listy JCR świadczy o istotnym elemencie nowości zrealizowanych badań. Mgr inż. Grzegorz Stando jest pierwszym autorem w czterech opublikowanych pracach (IF=4,206-7,336) o sumarycznym IF 22,720.

Należy też zwrócić uwagę na całościowe dokonania mgr. inż. Grzegorza Stando w okresie 2018-2023. Jest współautorem 12 publikacji w czasopismach z listy JCR of IF = 3.057 - 10.383. Tematycznie są związane z zagadnieniami poruszonymi w rozprawie doktorskiej. Wyniki badań prezentował na wielu krajowych i międzynarodowych konferencjach. Jego ponad przeciętna aktywność konferencyjna i dorobek publikacyjny świadczą o dużym potencjale i predyspozycjach do pracy naukowej.

Opryglernici