

prof. dr hab. Dariusz Matoga
Zakład Chemii Nieorganicznej, Wydział Chemii UJ,
Gronostajowa 2, 30-387 Kraków
tel. +4812-6632458, e-mail: dariusz.matoga@uj.edu.pl

Kraków, 23 stycznia 2026

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr. inż. Anny Blachy
pt. „*Carbon nanotubes and graphene at the interface and in the 3D-network:*
***physicochemical modifications for functional systems*”**

Tematyka rozprawy i jej znaczenie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska, przygotowana na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Sławomira Boncela, podejmuje ambitną i dobrze umotywowaną tematykę z zakresu fizykochemii nanostruktur węglowych. Autorka koncentruje się na analizie amfifilowych właściwości grafenu i nanorurek węglowych, ich roli w stabilizacji układów dyspersyjnych oraz możliwościach wykorzystania tych materiałów w syntezie funkcjonalnych kompozytów. Tematyka rozprawy jest aktualna i spójna z globalnymi trendami badawczymi, a zarazem silnie związana z długoletnią i uznaną aktywnością naukową Promotora. Podjęte zagadnienia, obejmujące zależności między morfologią i chemią powierzchni nanomateriałów węglowych a ich oddziaływaniami międzyfazowymi, należą do kluczowych problemów współczesnej inżynierii materiałowej. Choć badania mają charakter fundamentalny, co potwierdza ich realizacja w ramach projektu NCN OPUS kierowanego przez Promotora, to jednocześnie wykazują wyraźny potencjał aplikacyjny. Nanokompozyty węglowe stanowią istotną klasę materiałów stosowanych w wielu strategicznych obszarach, od elektroniki i fotoniki, poprzez technologie energetyczne i ochronę przed promieniowaniem elektromagnetycznym, aż po materiały konstrukcyjne, powłoki ochronne, elektrokatalizę i systemy detekcyjne. Doktorantka trafnie osadza swoje wyniki w tym szerokim kontekście naukowych badań podstawowych i zastosowań praktycznych.

Ocena formalna i merytoryczna rozprawy

Rozprawa została opracowana w formie przewodnika w języku angielskim po czterech oryginalnych, spójnych tematycznie artykułach naukowych, opublikowanych w latach 2020–2023 w renomowanych czasopismach o wysokim współczynniku wpływu (IF) znajdujących się na liście *Journal Citation Reports*, a mianowicie: P1 — *Advanced Materials* (IF = 26,8), P2 — *Advanced Materials Interfaces* (IF = 4,4), P3 — *Journal of Energy Materials* (IF = 9,8) oraz P4 — *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* (IF = 7,3). Fakt przyjęcia tych prac do publikacji, po wymagających recenzjach, w tak wysoko ocenianych czasopismach stanowi wyraźne potwierdzenie ich wysokiego poziomu merytorycznego. Prace te mają charakter wieloautorski (od 7 do 13 współautorów), jednak szczegółowa analiza oświadczeń autorów korespondujących dotyczących indywidualnego wkładu autorskiego i merytorycznego Pani Blachy nie pozostawia wątpliwości co do wiodącej roli Doktorantki, która we wszystkich przypadkach występuje jako pierwszy autor. Zwraca uwagę również to, że autorzy poszczególnych publikacji reprezentują różne ośrodki badawcze, często z kilku krajów, a sama Doktorantka w dwóch pracach posiada afiliację brytyjską obok polskiej, co świadczy o jej zdolności do efektywnego funkcjonowania w międzynarodowym środowisku badawczym. Warto także podkreślić, że prace P1 i P3, opublikowane w czasopismach należących do pierwszego kwartyłu (Q1) w swoich kategoriach, *Chemia, nauka multidyscyplinarna* (P1: 6/239) oraz *Energia i paliwa* (P3: 26/182), są bardzo wysoko cytowane: odpowiednio 37 i 95 razy (baza *Scopus*, stan na 23.01.2026), co świadczy o doniosłości publikowanych wyników badań. Na marginesie warto dodać uwagę o nieco lżejszym charakterze: zestaw czterech publikacji obejmuje dwie prace pod nazwiskiem panieńskim oraz dwie pod nazwiskiem nowym. W jednej z nich Autorka omyłkowo wskazała już nazwisko po zmianie stanu cywilnego, choć w wersji opublikowanej widnieje jeszcze poprzednie. Przyczyna tej rozbieżności nie jest jasna, niemniej może ona stanowić przykład sytuacji, w której istotna zmiana życiowa Autorki okazała się szybsza niż proces publikacyjny.

Tekst właściwej rozprawy jest bardzo zwięzły (51 stron z wyłączeniem bibliografii), lecz zawiera wszystkie niezbędne elementy wymagane dla pracy doktorskiej. Trzy główne części rozprawy, t.j.: *Wstęp*, *Cele i zakres pracy* oraz *Wyniki i dyskusja* poprzedzone są stroną tytułową, podziękowaniami, spisem treści, streszczeniem w języku angielskim i polskim, a także wykazem skrótów i publikacji wchodzących w skład rozprawy oraz oświadczeniem Autorki potwierdzającym zmianę nazwiska. Po częściach głównych Autorka przedstawia krótkie, lecz trafne podsumowanie i dalsze perspektywy oraz obszerną literaturę liczącą 184 pozycje, z których wyraźna większość (ponad 64%) pochodzi z ostatnich dziesięciu lat. Świadczy to o bardzo dobrej orientacji Autorki w aktualnym stanie wiedzy i podkreśla współczesny charakter podjętej tematyki. Na zakończenie Autorka załącza spis swoich osiągnięć akademickich wraz z oświadczeniami o indywidualnym wkładzie autorskim i merytorycznym w poszczególne publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej, a także pełne teksty omawianych artykułów wraz z ich materiałami uzupełniającymi.

Przejdę teraz do krótkiego omówienia części głównych rozprawy. W **pierwszym rozdziale** Doktorantka jasno i zwięźle omawia kluczowe zagadnienia niezbędne do zrozumienia dalszej części rozprawy. Rozdział ten zawiera adekwatny przegląd literatury, obejmujący omówienie struktur grafenu i nanorurek węglowych, typów defektów oraz metod ich syntezy. Przedstawiono również wybrane właściwości fizykochemiczne oraz zastosowania nanostruktur węglowych, a także zagadnienia związane z ich zachowaniem w układach dyspersyjnych w kontekście projektowania funkcjonalnych kompozytów węglowych. Trafnie omówiono wpływ parametrów strukturalnych i stanu powierzchni tych nanomateriałów na homogeniczność oraz stabilność tworzonych zawiesin w ośrodkach rozpraszających, wskazując jednocześnie na wyzwania związane z inżynierią granic faz oraz zrównoważonymi procesami wytwarzania nanomateriałów. W **drugim rozdziale** Autorka klarownie formułuje cele oraz zakres pracy. Cele te są ambitne i ukierunkowane na wyjaśnienie efektywnego wykorzystania właściwości nanostruktur węglowych w układach kompozytowych poprzez kontrolę ich morfologii, dyspersji i kompatybilności międzyfazowej. Na uwagę zasługuje fakt, że w momencie rozpoczęcia badań w literaturze brak było konsensusu co do częściowo hydrofilowego charakteru nanomateriałów węglowych, co podkreśla wysoką rangę naukową podjętego zagadnienia. Istotnym celem pracy było również wskazanie skalowalnych i środowiskowo zrównoważonych metod wytwarzania oraz modyfikacji grafenu i nanorurek węglowych. W **trzecim rozdziale** Autorka omawia wyniki badań własnych, które zostały przejrzysto podzielone na cztery główne części, odpowiadające publikacjom wchodzącym w skład rozprawy. Części te poświęcone są: (i) badaniu amfifilowych właściwości grafenu (P1) oraz nanorurek węglowych (P2) z wykorzystaniem emulsji Pickeringa typu woda/olej; (ii) analizie wpływu morfologii nanorurek węglowych, w tym współczynników kształtu i stopnia krystaliczności, na właściwości termofizyczne kompozytów parafinowych (P3); oraz (iii) opracowaniu metod modyfikacji grafenu prowadzących do uzyskania stabilnych emulsji wodnych i elektroprowadzących powłok kompozytowych (P4).

W mojej ocenie otrzymane wyniki badań są niezwykle wartościowe. W szczególności precyzyjne określenie lokalizacji miejsc hydrofilowych w nanostrukturach węglowych o kontrolowanej morfologii, zrealizowane dzięki starannie zaprojektowanym eksperymentom (z dominującym udziałem Doktorantki), a następnie wsparte obliczeniami teoretycznymi wykonanymi w ramach współpracy, stanowi oryginalny wynik naukowy najwyższej klasy i zasługuje na szczególne uznanie. Istotnym osiągnięciem Doktorantki jest również eksperymentalne określenie warunków umożliwiających stabilizację emulsji typu woda/olej poprzez odpowiedni dobór proporcji w układzie dwufazowym oraz typu i morfologii stałego wypełniacza. Na szczególne uznanie zasługuje także otrzymanie nanokompozytów parafinowych o znacząco zwiększonej przewodności cieplnej w porównaniu z analogicznymi układami opisywanymi w literaturze. Wreszcie, praktyczne wykorzystanie wiedzy dotyczącej nanostrukturalnych form węgla, uzyskanej w trakcie badań przedstawionych w publikacjach P1 i P2, w postaci udanych syntez kompozytowych powłok przewodzących, stanowi przykład

pozytywnej weryfikacji jakości uzyskanych wyników oraz bardzo dobry prognostyk dla przyszłych prac nad funkcjonalnymi nanokompozytami węglowymi o pożądanych właściwościach.

Uwagi dyskusyjne i edytorskie

Nie mam żadnych zastrzeżeń co do zawartości merytorycznej rozprawy. Podczas jej lektury, z czystej ciekawości naukowej, nasunęły mi się jednak następujące pytania, do których proszę Doktorantkę o odniesienie się podczas publicznej obrony pracy:

(1) Jakie ugrupowania chemiczne występują na krawędziach płatków grafenu i nanorurek węglowych? Czy możliwa jest precyzyjna kontrola charakteru tych chemicznych zakończeń oraz ich ilości? Jakimi metodami eksperymentalnymi można je identyfikować i ilościowo charakteryzować?

(2) Czym są nanorurki typu *capped CNT* i w jaki sposób są one otrzymywane?

(3) Z jakich przyczyn zwiększenie zawartości nanorurek węglowych powyżej 2% wagowych prowadzi do obserwowanego spadku przewodności cieplnej nanokompozytów parafinowych?

(4) Dlaczego w przypadku kompozytów z parafiną nie obserwuje się refleksów Bragga pochodzących od fazy parafinowej (rys. 19), mimo iż w dyskusji wyników (str. 47) pojawiają się odniesienia do jej krystalizacji i krystaliczności?

(5) W części poświęconej podsumowaniu i perspektywom Autorka wskazuje strategię sieciowania (3D *cross-linking*) nanostruktur węglowych jako potencjalny kierunek dalszych badań prowadzących do funkcjonalnych kompozytów nowej generacji. Jak, zdaniem Doktorantki, można byłoby zaplanować i rozpocząć tego typu badania?

Pod względem edytorskim rozprawa została przygotowana w sposób zwięzły, spójny i przejrzysty. Autorka logicznie uporządkowała cały materiał przedstawiony w pracy, a zamieszczone liczne rysunki i tabele ułatwiają jej odbiór i zrozumienie. Czytając rozprawę napotkałem jedynie kilka drobnych pomyłek i niedociągnięć, które z obowiązku recenzenta wymieniam. W tekście pojawiają się błędne odwołania do poszczególnych części kilku rysunków: do Rys. 8C, 8H, 8I na str. 29; do Rys.13B i 13C w kontekście *purified* i *pristine MWCNTs* (str. 39) oraz do Rys. 17D na str. 46. Ponadto w podpisie do Rys. 17 brakuje części E i F (str. 45), na Rys. 8 jest nieczytelna skala, a we wstępie podano SGL zamiast SLG (str. 19). Należy w tym miejscu jednak wyraźnie podkreślić, że wspomniane drobne uchybienia nie zmniejszają ogólnego, bardzo pozytywnego odbioru pracy doktorskiej.

Podsumowanie i wnioski końcowe

Podsumowując, praca doktorska została bardzo dobrze zaplanowana i rzetelnie zrealizowana, a uzyskane wyniki badań właściwie zinterpretowane oraz wyczerpująco przedyskutowane. Główne cele rozprawy zostały w pełni osiągnięte. Doktorantka wykazała się bardzo dobrą znajomością zarówno podejmowanej tematyki badawczej, jak i szerokiej gamy stosowanych odpowiednich metod badawczych i technik eksperymentalnych, w tym m.in. spektrometrii mas, mikroskopii optycznej i elektronowej, spektroskopii NMR, IR i Ramana, dyfraktometrii rentgenowskiej, pomiarów kąta zwilżania, oporności elektrycznej i przewodności cieplnej oraz analizy termogravimetrycznej i skaningowej kalorymetrii różnicowej. Jej tok rozumowania świadczy o umiejętności trafnej interpretacji wyników oraz formułowania właściwych i logicznych wniosków. Niewątpliwie, praca ta stanowi istotny i oryginalny wkład w rozumienie fundamentalnych właściwości fizykochemicznych grafenu i nanorurek węglowych, a także w otrzymywanie ich funkcjonalnych kompozytów. Otrzymane wyniki są wyjątkowo ciekawe, oryginalne i nowatorskie.

Na zakończenie stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pani Anny Blachy w pełni spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku – *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (tekst jednolity: Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.). **Zwracam się zatem do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej z wnioskiem o przyjęcie rozprawy doktorskiej i przeprowadzenie dalszych etapów postępowania doktorskiego.** Jednocześnie, uwzględniając wysoki poziom merytoryczny pracy, aktualność i znaczenie podjętej problematyki, jej wyraźny potencjał aplikacyjny oraz oryginalność podejścia badawczego, obejmującego zarówno analizę amfifilowych właściwości grafenu i nanorurek węglowych, jak i ich oddziaływań w układach dyspersyjnych oraz syntezę nowych funkcjonalnych kompozytów, a ponadto mając na uwadze opublikowanie wyników w czterech renomowanych czasopismach poświęconych chemii materiałowej, magazynowaniu energii i naukom multidyscyplinarnym, **wnoszę z pełnym przekonaniem o wyróżnienie przedkładanej rozprawy doktorskiej.**

Podpisano odręcznie przez autora

