

**Dr hab. Piotr Pawlik, Prof. PCz**

Katedra Fizyki  
Wydział Inżynierii Produkcji  
i Technologii Materiałów  
Politechnika Częstochowska

Al. Armii Krajowej 19  
42-200 Częstochowa  
tel.: (34) 325-06-53; tel./fax: (34) 325-07-95  
e-mail: piotr.pawlik@pcz.pl

Częstochowa, 5 września 2023 r.

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Adriana Radonia zatytułowanej:  
„Kształtowanie właściwości fizykochemicznych nanocząstek magnetytu  
za pomocą wybranych metod modyfikacji ich struktury, kształtu i  
powierzchni”**

Recenzja została opracowana na podstawie pisma Przewodniczącej Rady Dyscypliny  
Inżynieria Materiałowa, Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. inż. Marii Sozańskiej,  
nr RDIMa.RTM.512.10.2023 z dnia 13.06.2023 r.

### 1. Uwagi wstępne

Praca doktorska przedłożona przez pana mgr inż. Adriana Radonia zawiera oryginalne wyniki badań nanocząstek magnetytu wytworzonych przy zastosowaniu zmodyfikowanej metody współstrącania. W metodzie tej stosowano różne warunki wytwarzania, co pozwalało na uzyskanie nanocząstek o zmiennych wymiarach, kształtach oraz modyfikacjach powierzchni. Nanocząstki były badane pod kontem ich wykorzystania jako katalizatorów reakcji chemicznych. Zbadano również ich mikrostrukturę właściwości magnetyczne, przewodnictwo elektryczne i oszacowano możliwość ich zastosowania jako elementów powierzchni tłumiących fale elektromagnetyczne.

Recenzowana rozprawa doktorska jest pracą wyjątkowo interesującą, w której wykorzystano bardzo różnorodne techniki wytwarzania oraz metody badawcze, co skutkuje tym, iż praca zawiera wiele elementów nowości. Dotyka ona ważnej tematyki z zakresu wytwarzania nanocząstek magnetytu, modyfikacji ich powierzchni oraz wpływu tych zabiegów na właściwości fizyczne nanocząstek.

Biuro Dziekana

.....-L-u i có. °3

nr .....\*\*\*\*.....

Przedstawiona do recenzji praca doktorska jest oparta o cykl pięciu publikacji naukowych powiązanych ze sobą tematycznie. Prace te, napisane w języku angielskim były opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych, w tym cztery z nich w czasopismach, którym przypisano 140 punktów na liście ministerialnej czasopism naukowych i jedno w czasopiśmie za 70 punktów. Cykl publikacji został uzupełniony w języku polskim o przewodnik po publikacjach, a także sformułowaną tezę i cele pracy. Praca została podsumowana wnioskami oraz odniesieniem do stawianej tezy. Ponadto w końcowej części pracy zebrano bibliografię 180 publikacji odnoszących się do treści zawartych w przewodniku. W dość niecodziennym miejscu, bo po spisie literatury Autor zamieścił streszczenie pracy w języku polskim i angielskim, a następnie oświadczenia współautorów prac stanowiących wyżej wspomniany cykl publikacji. Część merytoryczna pracy - wraz ze streszczeniami liczy 146 stron. Jest to oczywiście zaniżona liczba w stosunku do standardowych prac doktorskich, gdyż publikacje stanowiące podstawę pracy pisane są czcionką o rozmiarze 10 z pojedynczą interlinią. Dodatkowo najkrótsza z tych prac liczy 8 stron a najdłuższa 17.

Pracę kończy wykaz dorobku naukowego w postaci 46 publikacji, 5 zgłoszeń patentowych, 3 udzielonych patentów, 17 udziałów konferencyjnych, 3 projektów badawczych, w których Doktorant był kierownikiem, 11 projektów w których Doktorant brał udział oraz wykazu 3 nagród i wyróżnień.

Taka imponująca kolekcja osiągnięć Doktoranta zasługuje na szczególną pochwałę, gdyż jest to niecodzienny przykład zaangażowania i wszechstronności Doktoranta na polu naukowym.

## **2. Opis części merytorycznej pracy oraz uwagi**

W pierwszej części pracy stanowiącej fragment przewodnika po publikacjach pan mgr inż. Adrian Radoń przedstawił przegląd literaturowy odnoszący się do tematyki swojej pracy. We wstępie zawarł informacje na temat zagadnień badawczych, do których odniósł się w swoich publikacjach. Należały do nich:

- zastosowanie nanocząstek magnetytu w katalitycznym oczyszczaniu ścieków z substancji szkodliwych;
- ocena możliwości zastosowania nanocząstek w aplikacjach elektronicznych poprzez pomiary ich zachowania w polu elektromagnetycznym o dużej częstotliwości;

- właściwości nanocząstek jako części powierzchni absorbujących mikrofałe.

Jako następny rozdział Doktorant przedstawił cele i zakres badań. Należały do nich:

- opracowanie metod syntezy nanocząstek magnetytu o różnych kształtach i rozmiarach aglomeratów oraz o zmodyfikowanej powierzchni nanocząstek;
- dobór parametrów obróbki cieplnej i chemicznej nanocząstek;
- zbadanie mikrostruktury, składu fazowego oraz właściwości fizykochemicznych uzyskanych próbek.

W następnym podrozdziale Autor przedstawił tezę badawczą, która głosi, że:

„Właściwości fizykochemiczne (aktywność katalityczna, przewodnictwo elektryczne oraz właściwości magnetyczne i dielektryczne) nanocząstek ferrytowych zależą nie tylko od ich składu chemicznego i wielkości, ale również od struktury nanocząstek, kształtu, funkcjonalizacji oraz utlenienia ich powierzchni. Zmiany te mogą być kontrolowane na etapie syntezy nanocząstek i definiować ich przyszłe zastosowania.”

Brzmienie tej tezy wydaje się bardzo ogólne, choć oddaje istotę zagadnień jakimi zajął się Doktorant. Pewnie to moja odosobniona opinia, ale cele pracy doświadczalnej wydają mi się znacznie bardziej istotne niż sama teza pracy. Jednak sformułowana teza jest logiczna i odpowiednio ogólna. Dla jej potwierdzenia Doktorant sformułował pytania badawcze, które jak najbardziej zasługują na uwagę. Świadczą one o dojrzałości naukowej Doktoranta oraz właściwym podejściu do procesu badawczego.

Na początku rozdziału 4, Autor przedstawił podstawy teoretyczne oraz przegląd piśmiennictwa na temat metod badania nanocząstek magnetytu, w tym badań rentgenowskich, mikroskopii elektronowej, właściwości magnetycznych, uporządkowania magnetycznego metodą Móssbauera, innych metod badania powierzchni nanocząstek, oraz aktywności katalitycznej. Dalej w tym rozdziale został przedstawiony przegląd literatury na temat struktury i właściwości fizycznych nanocząstek magnetytu jak również wpływu ich funkcjonalizacji na właściwości katalityczne, magnetyczne oraz elektryczne. Ze względu na ograniczoną ilość danych

na temat właściwości dielektrycznych i przewodnictwa elektrycznego sfunkcjonalizowanych nanocząstek, Doktorant podjął się przeprowadzenia badań z wykorzystaniem spektroskopii dielektrycznej. W rozdziale 4.4 Autor przedstawił podstawy teoretyczne dotyczące tego rodzaju badań. W rozdziale tym Doktorant podjął się omówienia przewodnictwa elektrycznego nanocząstek magnetytu w aspekcie wykorzystania w urządzeniach pracujących przy częstotliwościach powyżej kilku GHz. W części tej Doktorant starał się udowodnić użyteczność szerokopasmowej spektroskopii dielektrycznej w ocenie właściwości aplikacyjnych wytworzonych materiałów.

Ogólnie należy stwierdzić, że ta część pracy jest bardzo dobrym wprowadzeniem do cyklu publikacji. Moim zdaniem jest to modelowy przykład jak należy przygotowywać taki przewodnik, aby udowodnić, że rzeczywiście cykl publikacji jest jednotematyczny.

Oczywiście pojawiły się tutaj pewne niedociągnięcia, np. na stronie 17, Autor pisze, że w badaniach VSM: „Próbka zamocowana do niemagnetycznego nośnika umieszczana jest w zewnętrznym polu magnetycznym wytwarzanym przez cewki indukcyjne...”, co jest niepoprawne, gdyż cewki indukcyjne wytwarzają pole magnetyczne zmienne, a w metodzie VSM wykorzystuje się pole magnetyczne stałe aby można było zmierzyć wartość namagnesowania.

Na stronie 23 Doktorant pisze, że: „Nanocząstka magnetytu z uwagi na właściwości, traktowana może być jako pojedyncza domena magnetyczna, przez co jej właściwości zmieniają się w superparamagnetyczne”. Takie sformułowanie jest nieściśle, gdyż stworzenie jednodomenowej nanocząstki nie jest warunkiem wystarczającym aby była ona superparamagnetyczna. Przeciwnie, w przypadku materiałów magnetycznie twardych, często dąży się do stanu, w którym ziarna staną się jednodomenowe. Pozwala to na zwiększenie ich koercji i przez to poprawę właściwości magnetycznie twardych.

Również rysunek 6 na stronie 24 jest niepoprawny. Z tego rysunku można odnieść wrażenie, że przy braku zewnętrznego pola magnetycznego cząstki paramagnetyczne nie posiadają momentu magnetycznego, a przyłożenie pola magnetycznego indukuje te momenty w kierunku przeciwnym niż w przypadku diamagnetyków. Również model ferrimagnetyka przedstawiony na tym rysunku 6 jest

niepoprawny. W tym przypadku rzeczywiście występują podsieci magnetyczne atomów, różniące się wartością momentu magnetycznego, lecz ich wektory są zwrócone przeciwnie do siebie, podobnie jak w antyferromagnetykach - inaczej niż to zostało zaprezentowane na rysunku.

Niedociągnięcia te z całą pewnością nie umniejszają wartości tego rozdziału ani samej pracy, lecz pewnie wynikają z zastosowania skrótów myślowych i niedokładnego odwzorowania rysunków, które czasami prowadzą nas na manowce.

W rozdziale 5, Doktorant przeprowadził omówienie uzyskanych wyników badań zawartych w 5 publikacjach stanowiących podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora nauk technicznych. Przeprowadzony wywód w mojej opinii wykazał dobry związek pomiędzy niniejszymi publikacjami.

W szczególności w publikacji 1 opisano sposób wytwarzania nanocząstek magnetytu oraz modyfikację ich struktury fazowej w wyniku wygrzewania w temperaturze 873 K w czasie 2 h, jak również wpływu tej modyfikacji na przewodnictwo elektryczne w sprasowanych próbkach tego materiałów w funkcji częstotliwości pola elektromagnetycznego. Na tej podstawie został zaproponowany model przewodnictwa elektrycznego w badanych materiałach. Ten fakt stanowi element nowości pracy.

Znacznie szerszy zakres badań został przedstawiony w drugiej z wymienionych publikacji. W pracy zajęto się badaniami wpływu modyfikacji powierzchni nanocząstek kwasem malonowym. Pozwoliło to na zmniejszenie aglomeratów nanocząstek w wyniku trawienia ich powierzchni. Użycie tego kwasu w niewielkim stopniu wpłynęło na rozmiary uzyskanych nanocząstek. Jednakże zaobserwowano pogorszenie ich właściwości katalitycznych po poddaniu działaniu kwasu malonowego. Tłumaczono to pojawieniem się wiązań pomiędzy jonami  $Fe^{2+}$  i cząsteczkami kwasu. Badania móssbauerowskie wykazały zmiany kształtu widm, co było spowodowane utlenieniem powierzchni nanocząstek i powstaniem warstwy powierzchniowej najprawdopodobniej tlenku  $Fe_2O_3$ . Odmienne kształt widma tłumaczy się rozpuszczeniem tej warstwy. Zaobserwowano również silne zmiany właściwości elektrycznych sprasowanych nanocząstek w polu elektrycznym o różnych częstotliwościach. Pomiar prowadzone były w szerokim zakresie temperatur. Funkcjonalizacja nanocząstek kwasem malonowym spowodowała pojawienie się

różnic w zachowaniu materiału bazowego i sfunkcjonalizowanego. To zachowanie było tłumaczone rozpuszczeniem warstwy wierzchniej tlenku  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  na powierzchniach nanocząstek magnetytu ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  w wyniku reakcji z kwasem malonowym).

Jakkolwiek w przypadku pierwszej publikacji nie zanotowałem istotnych wątpliwości, tak sformułowania i niektóre wnioski z drugiej pracy wzbudzają pewne wątpliwości. Nie do końca jasne są warunki pomiaru stężeń C/Co w procesie Fentona oraz wartości niepewności pomiarowych.

W mojej opinii zmiany namagnesowania od 64 do 68 emu/g oraz koercji z 28,5 do 31,3 Oe mieszczą się w granicach błędu pomiarowego dla metody magnetometrii wibracyjnej, dlatego sądzę, że wiązanie tych różnic z roztwarzaniem utlenianej warstwy powierzchniowej, czy też przyłączaniem ligandów na powierzchni nanocząstek magnetytu, wydaje się zbyt daleko idące.

W pracy nr 3 przeprowadzono badania ocena możliwości zastosowania niesferycznych nanocząstek magnetytu w katalitycznym rozkładzie związków organicznych. Jednym z osiągnięć pracy było wytworzenie niesferycznych nanocząstek magnetytu poprzez odpowiednią modyfikację procesu współstrącania soli  $\text{Fe(II)}$  i  $\text{Fe(III)}$  z wykorzystaniem roztworu wodorotlenku potasu. Badania prowadzono w reakcji Fentona wspomaganą światłem ultrafioletowym dla trzech rodzajów barwników. Pomiary absorpcji dla różnych czasów prowadzono za pomocą spektrometru UV-Vis. Ponadto zbadano odbarwienie roztworów. Pomiary prowadzone dla barwnika Sudan I pozwoliły na zaproponowanie mechanizmu hydroksylacji i degradacji tego barwnika. Nie mam uwag co do metodologii ani uzyskanych wniosków. Uważam, że uzyskane wyniki są bardzo ciekawe, a w szczególności metodologia wytwarzania nanocząstek niesferycznych, co zasługuje na szczególne wyróżnienie.

Nie jest dla mnie jasne co Autor rozumie przez adsorpcję błękitu metylowego, którą Doktorant określa w procentach. Czy chodzi tutaj o zdolność do adsorpcji mierzoną w mg/g? Dlatego proszę o wyjaśnienia jak ta adsorpcja była wyznaczana. Podobnie mam pytanie dotyczące sposobu wyznaczania C-Co (rys. 3 w publikacji 3).

W pracy 4 zbadano wpływ modyfikatorów organicznych na stopień utleniania powierzchni nanocząstek magnetytu oraz na ich morfologię, właściwości

magnetyczne i elektryczne. W celu uzyskania różnych kształtów nanocząstek proces współstrącania był modyfikowany poprzez dodatek trzech różnych organicznych substancji. Zastosowanie tych modyfikatorów pozwoliło na uzyskanie nanocząstek różniących się przeciętną średnicą jak również wpłynęło na ich kształty. Dla niektórych zastosowanych modyfikatorów organicznych badania FTIR wykazały pojawienie się wiązań chemicznych pomiędzy nimi a powierzchniami nanocząstek. Również w badaniach magnetycznych uzyskanych próbek obserwowano silne zmiany namagnesowania nasycenia.

Osiągnięciem tej pracy było wykorzystanie modelu przewodnictwa zaproponowanego w pracy 1 do określenia mechanizmów przewodnictwa materiałów utlenionych oraz określenie tego mechanizmu dla próbek niesfunkcjonalizowanych.

W szczególności ciekawe wyniki uzyskano w badaniach transmisyjnych widm móssbauerowskich, gdzie zaobserwowano silny wpływ modyfikatorów na kształt tych widm. Występowanie linii singletowej różniącej się intensywnością w zależności od modyfikatora, wiązano z obecnością wakansów kationowych oraz drobnych superparamagnetycznych nanocząstek, nie wykazujących rozszczepienia nadsubtelnego, co ma być spowodowane brakiem odpowiednich oddziaływań magnetycznych. Takie wytłumaczenie tego zjawiska wydaje mi się bardzo enigmatyczne i w mojej ocenie wymaga szerszego komentarza, o który poproszę Doktoranta w trakcie jego obrony.

Autor na stronie 61 pisze, że: „nanocząstki zsyntezowane w obecności trifenylofosfiny posiadały również znaczące odkształcenia wewnętrzne...”. Nie do końca rozumiem skąd wziął się ten wniosek. Dlatego proszę o wyjaśnienie.

Ponadto na stronie 62 Autor pisze, że koercja nanocząstek spada po zastosowaniu PPhs do 8,7 Oe. Jaka może być przyczyna takich zmian koercji?

Kilka linijek dalej Autor użył pojęcia „wysoka zdolność przekazu elektronu”. Co autor miał na myśli?

Mimo kilku nieścisłości, jakie przedstawiłem powyżej, należy podkreślić, że Autor zastosował szeroką gamę metod badawczych do charakteryzowania właściwości badanego materiału oraz wykazał dobrą znajomość aparatu teoretycznego do opisu właściwości nanocząstek. Praca ta wskazuje na dużą

dojrzałość Doktoranta i swobodę w operowaniu różnorodnymi technikami badawczymi oraz w wyciąganiu właściwych wniosków z uzyskanych wyników.

Autor wykazał, że zmiany zachodzące na powierzchni nanocząstek takie jak spontaniczna funkcjonalizacja oraz utlenianie zmieniają właściwości dielektryczne nanomateriałów w zakresie niskich częstotliwości. Prowadzone przez Doktoranta badania w pracy 5 miały za zadanie wytworzenie materiału, który poprzez dalszą modyfikację uzyskałby odpowiednie właściwości dielektryczne dla pól o wysokich częstotliwościach. Celem było wytworzenie materiału do zastosowania w absorpcji mikrofal. Dlatego też zostały wytworzone kompozyty zawierające w swoim składzie nanocząstki magnetytu. W pracy wytworzono sferyczne i kuboidalne nanocząstki magnetytu. Uzyskanie tych drugich możliwe było poprzez starzenie nanocząstek magnetytu syntezowanych klasyczną metodą współstrącania w roztworach wodorowęglanu sodu ( $\text{NaHCO}_3$ ) oraz wodorotlenku potasu ( $\text{KOH}$ ). Głównym celem pracy było znalezienie minimalnej koncentracji nanocząstek w kompozycie organiczno-nieorganicznym, w którym osnową była dekstryna, przy której mikrofałe w zakresie częstotliwości od 0,3 do 2,5 GHz byłyby efektywnie absorbowane przez ten kompozyt. Autor w swojej pracy przeprowadził szereg badań właściwości magnetodielektrycznych oraz badań wpływu grubości absorbera na straty w odbiciu fal elektromagnetycznych o różnych częstotliwościach. Badania były prowadzone dla różnych temperatur materiału. Ich wyniki wykazały, że kuboidalne nanocząstki magnetytu silnie zmieniają właściwości magnetodielektrycznych oraz obniżają absorpcję mikrofal w kompozytach. W pracy wykazano, że kompozyt zawierający 50% wag. sferycznych nanocząstek  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  można wykorzystać jako dobry absorber mikrofal.

Podsumowując, w mojej ocenie cykl publikacji jest spójny i zawiera bardzo dużą ilość komplementarnych badań. Pozwoliły one na udowodnienie tezy i odpowiedź na postawione pytania badawcze. Wykazano, że zastosowanie kwasu malonowego powoduje funkcjonalizację powierzchni nanocząstek oraz roztwarza utlenione ich powierzchnie, czego efektem jest wyraźne zmniejszenie rozmiarów aglomeratów, choć zmiany właściwości magnetycznych są dyskusyjne. Największe różnice obserwowano dla przewodnictwa elektrycznego tych materiałów. Roztworzenie powierzchni nanocząstek skutkuje zmniejszeniem energii aktywacji ruchu elektronów



oraz zwiększeniem przewodnictwa w zakresie niskich częstotliwości. Wykazano, że aktywacja powierzchni nanocząstek zmniejsza aktywność katalityczną nanocząstek w procesie Fentona. Wykazano również, że ta aktywność zależy silnie od kształtu nanocząstek. Ponadto wykazano możliwość zmiany przewodnictwa elektrycznego poprzez odpowiednią obróbkę powierzchni nanocząstek.

Zastosowanie organicznych modyfikatorów pozwoliło na sfunkcjonalizowanie powierzchni nanocząstek oraz zmianę ich kształtu.

Badania wykazały możliwość kontrolowania przewodnictwa elektrycznego oraz absorpcji promieniowania elektromagnetycznego w zależności od kształtu nanocząstek.

Na podstawie swoich badań Doktorant sformułował poprawne wnioski, choć jeden z nich jest nieco niezrozumiały (wniosek 6), co może być „literówką” powstałą na etapie pisania pracy.

W mojej ocenie wszystkie przedstawione w tej części argumenty mają racjonalne podstawy wynikające z przeprowadzonych badań i świadczą niewątpliwie o rozległej wiedzy Doktoranta zarówno z dziedziny inżynierii materiałowej, fizyki oraz chemii materiałów nanokrystalicznych. Należy jednocześnie podkreślić bardzo wszechstronny aparat badawczy zastosowany w pracach, przy czym jest on stosowany świadomie w celu uzyskania danych i odpowiedzi na dokładnie określone pytania jakie Doktorant sobie postawił.

Podsumowując, praca doktorska mgr inż. Adriana Radonia zawiera wiele unikatowych informacji, które uzyskał w wyniku przemyślanego planu badań oraz dogłębnej wiedzy. Dane te mogą być niezmiernie istotne dla ich potencjalnego zastosowania. Na podkreślenie zasługuje przejrzystość i konsekwencja w pisaniu przewodnika po publikacjach. Należy stwierdzić, że mgr inż. Adrian Radoń osiągnął zamierzone cele i wykazał dojrzałość, dociekliwość i kompetencję przy ich realizacji.

### **3. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Mimo pewnych uwag, jakie zawarłem w poprzednich akapitach z których część, ma charakter edycyjny i które w żaden sposób nie umniejszają wartości rozprawy doktorskiej mgr inż. Adriana Radonia, pragnę podkreślić wysoki poziom naukowy pracy. Należy zauważyć, że Autor podjął aktualny temat badawczy o ogromnym znaczeniu użytkowym i poznawczym. Wykazał się dobrą orientacją w przedmiocie

badania. Praca doktorska świadczy o dużym stopniu samodzielności naukowej Doktoranta. Jest ona dowodem na to, że mgr inż. Radoń potrafi zaplanować i zrealizować badania naukowe przy wykorzystaniu dobrze dobranych metod badawczych. Praca ta przedstawia odpowiedni poziom naukowy i zawiera szereg nowych, wartościowych rezultatów. Rozprawa doktorska stanowi oryginalny wkład w rozwój wielu dziedzin nauki. Stwierdzam przy tym, że cele pracy doktorskiej mgr inż. Adriana Radonia zostały w pełni osiągnięty, a do jego realizacji użyto właściwych metod doświadczalnych, co zostało udokumentowane i wyrażone poprawnie sformułowanymi wnioskami.

Na szczególne wyróżnienie zasługuje imponujący dorobek naukowy Doktoranta, na który składają się prace naukowe, projekty badawcze oraz patenty. Ponadto Doktorant prezentował wyniki swoich badań na wielu konferencjach naukowych, w większości o zasięgu międzynarodowym.

**Podsumowując stwierdzam, że opiniowana praca mgr inż. Adriana Radonia składająca się z cyklu 5 publikacji opatrzonym przewodnikiem zatytułowanym: „Kształtowanie właściwości fizykochemicznych nanocząstek magnetytu za pomocą wybranych metod modyfikacji ich struktury, kształtu i powierzchni” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim zgodnie z zasadami przyjętymi w przepisach ustawy z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami, a w szczególności stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Wobec czego wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Adriana Radonia do publicznej dyskusji nad Jego rozprawą doktorską przed Radą Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach.**

**Wobec faktu, że praca doktorska charakteryzuje się wysokim poziomem naukowym i dotyczy niezwykle ważnej tematyki badawczej, wnoszę o jej wyróżnienie przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej.**

Piotr Pawlik