



Zachodniopomorski
Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie

Szczecin, 18.07.2025 r.

Prof. dr hab. inż. Magdalena Janus
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Inżynierii Środowiska
Al. Piastów 45
70-311 Szczecin
e-mail: magdalena.janus@zut.edu.pl

RECENZJA

monotematycznego cyklu publikacji naukowych pt.:
„Zintegrowane podejście do rozwoju fotokatalizatorów TiO₂: Synteza, modyfikacja
i zastosowanie w systemach przepływowych” w postępowaniu habilitacyjnym
dra inż. Adama Jakuba Kubiaka

Podstawą formalną sporządzenia recenzji jest uchwała nr 77/2024/2025 Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Chemiczne Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu z dnia 16 maja 2025 roku w sprawie powołania komisji habilitacyjnej w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego dr. inż. Adamowi Jakubowi Kubiakowi.

Przedmiotowa opinia dotyczy wskazanego przez Kandydata osiągnięcie naukowego, wynikającego z art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.), jakim jest monotematyczny cykl publikacji naukowych. Przedłożony monotematyczny cykl to jedenaście powiązanych tematycznie artykułów naukowych, szczegółowo opisanych w autoreferacie. W autoreferacie zawarte są ponadto informacje dotyczące osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzujących naukę. Ponadto dokumentacja zawiera wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny nauki chemiczne i wykaz prezentacji referatów i komunikatów na konferencjach krajowych i zagranicznych.

Dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny Habilitanta

Pan dr inż. Adam Kubiak w 2016 roku ukończył studia II stopnia na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej i w tym samym roku rozpoczął studia doktoranckie na tej uczelni.

Habilitant w 2021 roku obronił pracę doktorską pt. „Ocena wpływu warunków syntezy aktywnych materiałów tlenkowych na ich właściwości fizykochemiczne i użytkowe” uzyskując stopień doktora w dyscyplinie nauki chemiczne, za tę pracę w 2022 roku uzyskał nagrodę w XVIII edycji konkursu *Nagroda Miasta Poznania za wyróżniającą się pracę doktorską*. Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora Pan dr Kubiak był współautorem 16 publikacji. Po uzyskaniu stopnia doktora Pan dr Kubiak pracował jako stażysta podoktorski w grantach Opus, Sonata i Ceus-Unisono finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki. Pan dr inż. Adam Kubiak od 2022 roku jest zatrudniony na stanowisku adiunkta na Wydziale Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Od 2023 roku Habilitant pełnił funkcję kierownika projektu Miniatura finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki pt. „Nowatorska, indukowana diodami LED strategia fotoosadzania nanocząstek złota i platyny na powierzchni TiO_2 - wyjaśnienie wpływu parametrów źródła światła”, a od 2024 roku pełni funkcję kierownika projektu Sonata pt. „Trójwymiarowe matryce fotokatalityczne na bazie TiO_2 z nadrukiem molekularnym do oczyszczania wody w przepływowych układach fotokatalitycznych” również finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki. Oprócz publikacji stanowiących cykl jednotematycznych prac, po uzyskaniu stopnia dr Pan dr Kubiak jest współautorem 25 artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych. Wyniki badań, które prowadził Pan dr Kubiak przedstawione były w postaci posterów i wystąpień ustnych na 12 krajowych i jednej zagranicznej konferencji przed uzyskaniem stopnia doktora i na 3 krajowych, 2 zagranicznych konferencjach oraz jednej międzynarodowej konferencji on-line po uzyskaniu stopnia doktora. W latach 2022, 2023 i 2024 dr Kubiak odbył trzy krótkoterminowe staże badawcze dwa w Università degli Studi di Milano, gdzie zajmował się charakterystyką fizykochemiczną oraz wykonaniem testów fotokatalitycznych dla układów TiO_2 -Au i TiO_2 -Pt. Trzeci staż odbył w Università degli Studi di Palermo, gdzie przeprowadzał testy fotokatalityczne dla układów przepływowych wykorzystujących katalizator TiO_2 -gąbka morska. Dr Kubiak jest współautorem jednego patentu dotyczącego sposobu wytwarzania nanocząstek Pt i Cu na powierzchni ekspandowanego grafitu. Dr Kubiak od 2016 roku aktywnie bierze udział w wydarzeniach popularyzujących naukę takich jak między innymi Poznański Festiwal Nauki i Sztuki oraz Noc Naukowców. Według Web of Science liczba Jego cytowań (bez autocytowań) w momencie rozpoczęcia postępowania habilitacyjnego wynosiła 624 zaś Indeks Hirscha według Web of Science wynosi 15.

Ocena osiągnięcia naukowego

Przedstawiony do oceny cykl publikacji jest zbiorem jedenastu powiązanych ze sobą tematycznie prac, oznaczonych symbolami od H1 do H11 opublikowanych na przestrzeni ostatnich trzech lat (2023-2025). Publikacje te w roku opublikowania były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. B. ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce. We wszystkich publikacjach Habilitant jest pierwszym autorem, a w dwóch jedynym. We wszystkich publikacjach wkład Habilitanta w ich powstanie polegał na opracowanie planu i koncepcji badań, zaplanowaniu i wykonaniu syntezy katalizatorów oraz wszystkich lub większości eksperymentów mających na celu charakterystykę otrzymanych materiałów, zaprojektowaniu i wykonaniu pomiarów aktywności fotokatalitycznej materiałów, interpretacji uzyskanych wyników, przygotowaniu pierwotnej wersji manuskryptu, pełnieniu roli autora korespondencyjnego. Badania EPR, TEM, LC-MS oraz wybudowanie i charakterystyka DSSC mogły być zrealizowane dzięki współpracy z pozostałymi naukowcami będącymi współautorami publikacji stanowiących monotematyczny cykl publikacji. Do artykułów dołączono oświadczenia współautorów potwierdzające zadeklarowany przez Habilitanta udział w powstanie dzieła naukowego.

Przedłożone do oceny dzieło stanowi monotematyczny cykl publikacji, który wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej nauki chemiczne. Należy jednak podkreślić, że ma ono również charakter interdyscyplinarny, a zaprezentowane w nim badania obejmują również zagadnienia z zakresu inżynierii materiałowej oraz inżynierii chemicznej. Taki szeroki kontekst badawczy świadczy o wysokim poziomie merytorycznym dorobku oraz o umiejętności integrowania wiedzy z różnych dziedzin nauki. Habilitant, w sposób szczegółowy i konsekwentny, przedstawił powiązania pomiędzy poszczególnymi publikacjami wchodzącymi w skład cyklu, co zostało jasno udokumentowane w autoreferacie. Zawarte w publikacjach badania koncentrują się wokół trzech głównych obszarów tematycznych, które stanowią fundament całego dzieła. Są to:

- 1) zastosowanie techniki mikrofalowej w syntezie fotokatalizatorów TiO_2 [H1, H2, H3, H6, H7]
- 1) domieszkowanie węglem i dopasowanie widmowe dla poprawy efektywności fotokatalizatorów TiO_2 [H4, H8, H11]
- 2) otrzymywanie i zastosowanie trójwymiarowych struktur TiO_2 w układach przepływowych [H5, H9, H10]

W prowadzonych badaniach Habilitant skoncentrował się na zagadnieniu zwiększenia efektywności procesów fotokatalitycznych, co stanowi jedno z kluczowych wyzwań współczesnej chemii materiałów. Zidentyfikowane problemy badawcze zostały podjęte

poprzez dwojake podejście: z jednej strony poprzez udoskonalanie i optymalizację metod syntezy materiałów fotokatalitycznych, a z drugiej – poprzez celowe modyfikowanie struktury oraz właściwości fizykochemicznych fotokatalizatorów. Habilitant zaproponowała w swoich badaniach następujące hipotezy badawcze:

- 1) zastosowanie technologii mikrofalowej do syntezy fotokatalizatorów opartych na TiO_2 przyczyni się do istotnej poprawy właściwości fizykochemicznych otrzymanych materiałów
- 2) domieszkowanie TiO_2 węglem wyeliminuje główną wadę TiO_2 , jaką jest wysoka rekombinacja nośników ładunków
- 3) możliwa jest poprawa efektywności energetycznej procesów fotooksydacyjnych poprzez dostosowanie widma światła do charakterystyki absorpcyjnej materiału fotokatalitycznego
- 4) zastosowanie trójwymiarowych struktur w układach przepływowych poprawi wydajność procesów fotokatalitycznych

Na szczególne wyróżnienie zasługuje część badań dr Kubiaka, w której wykazano możliwość radykalnego skrócenia czasu obróbki termicznej otrzymywanych materiałów fotokatalitycznych – z 12 godzin w hydrotermalnym procesie do zaledwie 5 minut przy zastosowaniu technologii mikrofalowej – bez pogorszenia, a w wielu przypadkach nawet przy poprawie kluczowych parametrów użytkowych materiałów. Uzyskany efekt stanowi znaczący przełom technologiczny, gdyż umożliwia znaczną redukcję zużycia energii, skrócenie czasu produkcji oraz potencjalne obniżenie kosztów przemysłowej syntezy materiałów fotokatalitycznych. Dzięki zastosowaniu technologii mikrofalowej możliwe jest kontrolowanie właściwości fizykochemicznych otrzymanych materiałów takich jak rozmiar cząstek, morfologia czy też struktura krystaliczna. Zaobserwowano, że materiały otrzymane z wykorzystaniem metody hydrotermalnej wykazywały relatywnie niższą aktywność fotokatalityczną w porównaniu z materiałami syntezowanymi z użyciem technologii mikrofalowej. Obniżona efektywność fotokatalityczna została jednoznacznie powiązana ze zjawiskiem intensywniejszej agregacji cząstek w trakcie procesu krystalizacji w warunkach hydrotermalnych.

W trakcie analizy autoreferatu utrudnione było porównywanie materiałów TiO_2 -Y przez zastosowanie różnej skali na przedstawionych na Rysunku 2 zdjęciach TEM. Zwłaszcza, że zaprezentowane badania są szczególnie interesujące, gdyż pokazały, że zastosowanie technologii mikrofalowej umożliwiło wbudowanie Fe i Y w strukturę TiO_2 .

W części pracy poświęconej modyfikacji materiałów węglem, Habilitant koncentruje się na wykorzystaniu tego pierwiastka w celu ograniczenia niekorzystnego zjawiska rekombinacji wzbudzonych elektronów i dziur w tlenku tytanu(IV). Wielokrotnie podkreśla, że jedną

z głównych wad TiO_2 , w kontekście jego zastosowania jako fotokatalizatora, jest wysoka skłonność do szybkiej rekombinacji nośników ładunku, co istotnie ogranicza jego efektywność w reakcjach fotochemicznych. Należy jednak zauważyć, że materiałem badanym przez Habilitanta był anataz, będący jedną z polimorficznych form TiO_2 , który – w porównaniu z rutylem czy brukitem – charakteryzuje się relatywnie niższą szybkością rekombinacji ładunków dzięki swojej korzystniejszej strukturze krystalicznej. Właśnie anataz wykazuje najwyższą aktywność fotokatalityczną spośród form TiO_2 , co związane jest z jego szerokim pasmem wzbronionym ($\sim 3,2$ eV), umożliwiającym wydajniejsze rozdzielanie par elektron–dziura. Jednocześnie jednak tak szerokie pasmo wzbronione oznacza, że do wzbudzenia konieczne jest promieniowanie o wysokiej energii, co ogranicza zastosowanie materiału wyłącznie do obszaru promieniowania ultrafioletowego. Habilitant w swoich pracach skupiał się na stosowaniu węgla jako pułapki dla wzbudzonych elektronów, ograniczając ich rekombinację z dziurami i tym samym wydłużając czas życia nośników ładunku, co sprzyjało efektywniejszemu wykorzystaniu ich w reakcjach redoks. W badaniach potwierdził też wyniki uzyskiwane przez innych badaczy stosujących modyfikację węglem, czyli że obecność węgla w formie nanostruktur grafitowych, amorficznych lub domieszek – może modyfikować właściwości elektronowe materiału, w tym poszerzać zakres absorpcji promieniowania w kierunku widzialnego światła. Tego rodzaju efekt przypisywany jest oddziaływaniom na poziomie stanów pośrednich w paśmie wzbronionym oraz możliwości tworzenia lokalnych poziomów energetycznych, które obniżają efektywną energię wzbudzenia.

W ramach prowadzonych badań Habilitant zaobserwował zjawisko stosunkowo rzadko dokumentowane w literaturze dotyczącej modyfikacji tlenku tytanu(IV) materiałami węglowymi. Konkretnie, dodatek tlenku grafenu do matrycy TiO_2 skutkował częściową transformacją fazową z anatazu do rutylu. Dotychczasowe doniesienia naukowe powszechnie wskazywały, iż obecność węgla w strukturze TiO_2 zwykle prowadzi do podwyższenia temperatury przejścia fazowego anatazu w rutyl, co jest interpretowane jako efekt stabilizacji struktury anatazowej przez węgiel. Tym samym wprowadzenie dodatku węglowego zazwyczaj hamowało lub opóźniało przebieg tej transformacji.

W swoich badaniach dr Kubiak zajmował się poprawą efektywności fotokatalizatorów na bazie tlenku tytanu (TiO_2) stosując tzw. dopasowanie widmowe pomiędzy spektrum emitowanego światła, a właściwościami absorpcyjnymi badanego materiału. Podejście to opiera się na założeniu, że maksymalne wykorzystanie dostępnego promieniowania elektromagnetycznego możliwe jest jedynie wówczas, gdy zakres fal świetlnych emitowanych przez źródło jest optymalnie zbieżny z pasmem absorpcji fotokatalizatora. W przeciwnym razie, część energii jest tracona, ponieważ fotokatalizator nie jest zdolny do efektywnego wzbudzenia elektronów przy określonych długościach fali.

Wyniki badań przeprowadzonych przez dr Kubiaka dostarczają na to dowodów. W badaniach tych zastosowano różnorodne źródła światła o zmiennym widmie emisji, a następnie przeprowadzono systematyczne pomiary efektywności wzbudzenia nośników ładunku w fotokatalizatorze.

Koncepcja dopasowania widmowego niesie ze sobą szereg możliwości, takich jak możliwość projektowania dedykowanych źródeł światła (np. lamp LED o ściśle kontrolowanym widmie emisji), które są precyzyjnie dostosowane do charakterystyki fotokatalizatora. Ponadto, podejście to stymuluje rozwój nowych strategii modyfikacji materiałów półprzewodnikowych, mających na celu przesunięcie ich pasma absorpcji w kierunku bardziej dostępnego i energooszczędnego promieniowania widzialnego, co może przełożyć się na wzrost efektywności energetycznej i ekonomicznej procesów fotokatalitycznych.

Jedynym aspektem jaki wzbudza wątpliwość to zaprezentowany w badaniach system LED-IoT. Jak widać na przedstawionych zdjęciach instalacji roztwór karbamazepiny z zawieszoną fotokatalizatora został umieszczony w szczelnie zamkniętej szklanej butelce. Pojawia się pytanie jak zachodził proces fotokatalizy, jeżeli do środowiska reakcji nie był dostarczy tlen. Habilitant w publikacji [H8] przywołuje mechanizm fotokatalitycznego rozkładu karbamazepiny w którym obecny jest tlen, więc pytanie brzmi, dlaczego nie doprowadzał tlenu do reaktora w którym prowadził proces.

Kolejnym istotnym aspektem badań prowadzonych przez Habilitanta było opracowanie i zastosowanie trójwymiarowych struktur kompozytowych, w których matrycę stanowiły włókna węglowe z osadzonymi nanocząstkami tlenku tytanu(IV). Kluczowym elementem tej technologii było wykorzystanie bromku trójmetylocetyloamoniowego (CTAB), umożliwiającego kontrolowane i jednorodne osadzanie TiO_2 na powierzchni włókien węglowych. Tego rodzaju modyfikacja prowadziła do powstania materiałów o dobrze rozwiniętej strukturze porowatej i zwiększonej aktywności fotokatalitycznej. Struktury te zostały następnie zastosowane w reaktorach przepływowych, co pozwoliło na efektywne wykorzystanie ich właściwości katalitycznych w warunkach dynamicznych, z zapewnieniem stałego kontaktu fazy ciekłej z powierzchnią fotokatalizatora. Takie podejście przyczynia się do zwiększenia efektywności procesów fotokatalitycznych dzięki optymalizacji transferu masy oraz lepszej kontroli parametrów reakcji w układach przepływowych. Ponadto, trójwymiarowa architektura struktur sprzyjała efektywnemu wykorzystaniu promieniowania świetlnego. W trakcie analizy tej części zaprezentowanych badań pojawia się pytanie związane z informacją że: *„najwyższą efektywność usuwania diklofenaku osiągnięto przy przepływie 10L/h... Wyższe przepływy, rzędu 50 L/h i powyżej, prowadziły do spadku wydajności procesu, głównie ze względu na krótszy czas kontaktu cząsteczek zanieczyszczenia z powierzchnią katalizatora oraz mniejsze*

przenikanie światła w głębsze warstwy złoże” jak zwiększenie przepływu może zmniejszać przenikanie światła w głębsze warstwy złoże.

Na zakończenie analizy autoreferatu można potwierdzić, że zagadnienia omówione w cyklu publikacji zostały ujęte z perspektywy szerokiej i zintegrowanej, co świadczy o dojrzałości naukowej autora. Szczegółowo została przebadana technologia mikrofalowa do jednoetapowej syntezy tlenku tytanu (IV). Wprowadzone zostało domieszkowanie węglem w celu rozszerzenia zakresu absorpcji światła nowych fotokatalizatorów z jednoczesnym obniżeniem stopnia rekombinacji ładunków. Habilitant dopasował źródła światła LED do absorpcji fotokatalizatora oraz stworzył trójwymiarowe struktury TiO_2 mające zastosowanie w reaktorach przepływowych. Dzięki tak wnikliwym i szerokim badaniom stwierdzam, iż przedstawione w monotematycznym cyklu publikacji badania naukowe wnoszą znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej nauki chemiczne.

Wniosek końcowy

Na podstawie oceny całokształtu dorobku naukowego, ze szczególnym uwzględnieniem monotematycznego cyklu prac pt. „Zintegrowane podejście do rozwoju fotokatalizatorów TiO_2 : Synteza, modyfikacja i zastosowanie w systemach przepływowych.”, stwierdzam, że dr inż. Adam Jakub Kubiak posiada istotne osiągnięcie naukowe, jakim jest monotematyczny cykl publikacji, który stanowi istotny wkład w rozwój dyscypliny nauki chemiczne

Potwierdzam, że przedstawione w cyklu publikacje są powiązane tematycznie i wskazują na oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jakim jest synteza, modyfikowanie i zastosowanie w reaktorach przepływowych fotokatalizatorów na bazie TiO_2 . Osiągnięcie naukowe Pana dra inż. Adama Jakuba Kubiaka odpowiada wymaganiom określonym w art. 219 ust. pkt 2 ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Stwierdzam, że zaprezentowany dorobek spełnia wymogi celem uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne. Wniosuję zatem do komisji habilitacyjnej oraz Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Chemiczne Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu o przeprowadzenie dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

Megdalena Janus