

Recenzja pracy habilitacyjnej dr Łukasza Wolskiego

„Wgląd w reaktywność heterogenicznych katalizatorów bazujących na Nb₂O₅ i CeO₂ w procesach utleniania wybranych związków organicznych prowadzonych z użyciem tlenu, nadtlenu wodoru i/lub światła”

Informacje ogólne

Recenzję opracowano na podstawie decyzji Rady Doskonałości Nauki z dnia 26 czerwca 2023r. oraz Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Chemiczne UAM z dnia 14 lipca 2023r. o powołaniu Komisji Habilitacyjnej.

Do oceny osiągnięcia naukowego i aktywności Pana dr Łukasza Wolskiego recenzent otrzymał skierowany z Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów wniosek o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki chemiczne, autoreferat (wersja polska i angielska), cykl publikacji o charakterze jednotematycznym, oświadczenia współautorów, wykaz dorobku naukowego i dydaktycznego, potwierdzenia udziału w projektach i odbycia stażów oraz oświadczenie o nadaniu stopnia doktora. Jako osiągnięcie naukowe Habilitant zgłosił jednotematyczny cykl publikacji pod wspólnym tytułem: "Wgląd w reaktywność heterogenicznych katalizatorów bazujących na Nb₂O₅ i CeO₂ w procesach utleniania wybranych związków organicznych prowadzonych z użyciem tlenu, nadtlenu wodoru i/lub światła".

Dr Łukasz Wolski ukończył licencjat w Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, na Wydziale Chemii w roku 2012, a dwa lata później uzyskał stopień magistra na tej samej Uczelni. W autoreferacie brak informacji o tematyce w/w prac i Promotorze/Promotorach. Nie mniej jednak na podstawie publikacji z udziałem Habilitanta z tego okresu (publikacja z 2013r.) można przypuszczać, że tematyka była związana z procesami selektywnego utleniania w obecności katalizatorów tlenkowych na osnowie niobu i tantalu, a badania zostały zrealizowane w zespole Pani Profesor Marii Ziółek. W latach od 2014 do 2018 Habilitant był słuchaczem Interdyscyplinarnych i Międzynarodowych Studiów Doktoranckich w zakresie Biologii, Chemii i Fizyki Nanostruktur (IMSD BCFN) na Wydziale Chemii, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W roku 2018 obronił pracę doktorską, pt. „Katalizatory zawierające Zn, Nb, Cu, Au dla procesów utleniania wybranych związków organicznych”. Promotorem rozprawy była Pani Profesor dr hab. Maria Ziółek. W trakcie studiów doktoranckich odbył dwa staże zagraniczne. Pierwszy (3 miesiące) w University of Massachusetts Lowell, Department of Chemistry (USA) oraz drugi (4 miesiące) Université de Caen Normandie, Laboratoire Catalyse et Spectrochimie (Francja). Owoce staży były między innymi wspólne publikacje. Do uzyskania stopnia doktora, Habilitant był współautorem łącznie sześciu publikacji naukowych. Wszystkie sześć publikacji zostało opublikowanych w renomowanych czasopismach. W szczególności dwie prace opublikowano w wiodących periodykach, tj. *Journal of Catalysis* i *Applied Catalysis B; Environmental*. Prace z tego okresu działalności Habilitanta na dzień pisania recenzji były cytowane łącznie 258rotnie. Ponadto, w tym okresie kariery naukowej prezentował On swoje wyniki badań w formie wystąpień ustnych oraz posterów na 18 konferencjach krajowych i zagranicznych.

Po ukończeniu studiów doktoranckich, od 2018 roku do chwili obecnej Habilitant jest zatrudniony w Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu na Wydziale Chemii na stanowisku adiunkta. W okresie od 2018 roku skupił się na analizie ścieżek utleniania w obecności heterogenicznych katalizatorów, wyjaśnieniu roli aktywnych form tlenu (AFM w procesach) w wybranych reakcjach oraz na szczegółowych studiach reakcji hybrydowych, w szczególności połączeń procesu fotokatalitycznego z procesem utleniania z użyciem H_2O_2 jako utleniacza. Z punktu widzenia procesów katalitycznych podjęte tematy w tym okresie kariery Habilitanta można sklasyfikować w dwóch grupach. Do pierwszej należą procesy selektywnego wytwarzania (w tym głównie utleniania) produktów o podwyższonej wartości dodanej, natomiast do drugiej procesy ukierunkowane na degradację wybranych związków chemicznych. W dorobku Habilitanta z okresu po uzyskaniu stopnia doktora znajduje się 19 publikacji naukowej w tematyce bardzo ogólnie i skrótowo sklasyfikowanej powyżej. W większości prace zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych. W swoim dorobku z tego okresu Habilitant wyróżnił 9 prac wchodzących w skład cyklu zgłoszonego do oceny, co szerzej zostanie opisano w dalszej części recenzji. Pozostałe 10 prac z tego okresu również zostało opublikowane w większości w liczących się czasopismach naukowych. Dla przykładu Habilitant jest współautorem artykułów (spoza cyklu) w czasopismach: *Catalysis Today* (3 artykuły), *Scientific Reports* (1 artykuł), *Topics in Current Chemistry* (1 artykuł) czy *Solar Energy* (1 artykuł). Tematyka tych prac jest również zorientowana w głównym nurcie zainteresowań Habilitanta. Impact Factor 19 prac opublikowanych w tym okresie kariery wynosi 133,3 (pięcioletni), co w przeliczeniu na jedną publikację daje wartość równą 7,0. Z kolei łączny IF wszystkich prac wynosi 191,6 (pięcioletni), co na pojedynczy artykuł daje wynik 7,7. Bardzo dobra jakość wyników i atrakcyjność tematyki przełożyła się na dużą cytowalność i Indeks Hirscha. Na dzień pisania recenzji według SCOPUS prace z autorstwem dr Łukasza Wolskiego były cytowane łącznie 471 razy (z autocytowaniami) a jego Indeks Hirscha wynosi 11. W podsumowaniu wskaźniki naukometryczne dr Łukasza Wolskiego można uznać za bardzo dobre na aktualny etap jego kariery naukowej. Osiągnięcia naukowe opublikowane w 19 artykułach w wiodących czasopismach spełniają zdecydowanie wymóg znaczącego dorobku naukowego po osiągnięciu stopnia doktora.

W okresie po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant odbył dwa staże dwumiesięczne w Université de Caen Normandie, Laboratoire Catalyse et Spectrochimie, Caen w Francji. W trakcie obu staży zajmował się badaniami *operando* IR-MS wybranych reakcji chemicznych.

Z załączonych dokumentów wynika, że zarówno przed jak i po uzyskaniu stopnia doktora dr Łukasz Wolski pełnił rolę kierownika (w dwóch projektach) i wykonawcy (w jednym projekcie). W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora był kierownikiem projektu Preludium (2016/21/N/ST5/00533) oraz pełnił funkcję wykonawcy w projekcie Sonata Bis (2013/10/E/ST5/00642), którego kierownikiem była Pani prof. UAM dr hab. Izabela Sobczak. Z kolei, po uzyskaniu stopnia doktora kierował projektem Sonatina 2 (2018/28/C/ST5/00255) pt. „Zaawansowane procesy utleniania bazujące na nowych katalizatorach złotych osadzonych na zeolicie BEA modyfikowanym niobem i cerem oraz na tlenku niobu(V) i tlenku ceru(IV)”. Należy w tym miejscu nadmienić, że owocem prac naukowych zrealizowanych w ramach projektu Sonatina było 8 z 9 publikacji składających się na cykl artykułów powiązanych tematycznie. Szkoda, że Habilitant nie zdecydował się (zapewne z mniejszym udziałem własnym) na włączenie do cyklu również pracy 4PN opublikowanej w *Catalysis Today* z 2021r. (DOI: 10.1016/j.cattod.2021.05.020). Moim zdaniem praca ta jest wartościowa ze względu na zidentyfikowanie w niej wpływu struktury zeolitu i dodatków na selektywność katalizatorów złotych w procesie utleniania gliceryny.

Dr Łukasz Wolski efektywnie współpracuje z wieloma zespołami badawczymi krajowymi i zagranicznymi. Trzykrotny pobyt w Laboratoire Catalyse et Spectrochimie (LCS) zaowocował trwałą współpracą z wyżej wymienionym ośrodkiem. Na tym etapie wymiernym efektem jest praca przeglądowa na temat zastosowania technik *in situ* i *operando* w badaniach procesów fotokatalitycznych opublikowana w *Topics in Current Chemistry* 2022r. (DOI: 10.1007/s41061-022-00387-5). Habilitant deklaruje, że wyniki badań eksperymentalnych uzyskanych w ramach współpracy z LCS są aktualnie opracowywane i zostaną w najbliższym czasie opublikowane. Wynikiem dodatkowym współpracy Habilitanta z LCS jest także poszerzenie kontaktów naukowych o badaczy z Iowa State University (USA), z którymi współpracował nad identyfikacją struktury Nb₂O₅ otrzymanego metodą hydrotermalną. Habilitant podjął również współpracę z dr. Aayush Gupta z Thapar Institute of Engineering and Technology w Indiach. Wspólna tematyka związana z zastosowaniem mieszanych tlenkowych katalizatorów na osnowie CeO₂ w reakcji usuwania barwnika (Rodaminy B) zaowocowała wspólnym artykułem *Solar Energy* (DOI: 10.1016/j.solener.2021.07.072). Habilitant od kilku lat aktywnie współpracuje również z różnymi krajowymi ośrodkami. W szczególności współpracuje z prof. UJ dr hab. Piotrem Pietrzykiem z Wydziału Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Dotychczasowa, współpraca zaowocowała dwoma artykułami naukowymi w renomowanym czasopiśmie *Journal of Hazardous Materials* [H5,H8] oraz jednym w *ACS Applied Materials & Interfaces* [H9]. Również w przypadku współpracy krajowej Habilitant deklaruje dalszą gotowość współpracy poprzez wspólne przygotowywanie wniosku grantowego oraz manuskryptów. Ponadto, ze względu na interdyscyplinarny charakter najnowszych badań Habilitanta podjął On współpracę z różnymi jednostkami Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Przykładowo, współpraca z badaczami z Centrum Zaawansowanych Technologii dotyczyła identyfikacji produktów degradacji zanieczyszczeń i badań mikrobiologicznych, z Centrum NanoBioMedycznym szczegółowej charakterystyki mikrostruktury nanomateriałów z wykorzystaniem technik mikroskopii elektronowej, a z innymi zespołami z Wydziału Chemii UAM oznaczeń składu katalizatorów i analizy właściwości optycznych ciał stałych.

Lista nagród i wyróżnień Habilitanta związana jest z jego działalnością naukową. W szczególności w roku 2012 był On laureatem Stypendium Ministra Edukacji i Nauki dla wybitnych młodych naukowców oraz stypendystą programu START 2021 przyznanego przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej. Jest laureatem Stypendium Naukowego Miasta Poznania przyznanej w 2020 roku. Ponadto, otrzymał I nagrodę w konkursie na najlepszą pracę doktorską z zakresu katalizy obronioną w latach 2017 - 2018 przyznaną przez Polski Klub Katalizy w 2019 roku. Jest również laureatem konkursu nr 7 organizowanego w ramach projektu ID-UB UAM („premia dla młodych”; I i II edycja; konkurs nagradzający najbardziej produktywną młodą kadrę naukową (do 10 lat od obrony doktoratu) oraz uzyskał nagrody Rektora UAM I stopnia za osiągnięcia naukowe w latach 2019 i 2020.

W okresie zatrudnienia na stanowisku adiunkta Habilitant realizował zajęcia dydaktyczne z Podstaw technologii chemicznej, Techniki przygotowania próbki, Podstaw chemii analitycznej, Analityki chemicznej i badania żywności, Chemicznych i biologicznych podstawy życia, Katalizy w procesach przemysłowych i ochronie środowiska, Materiałów biologicznie czynnych i ich analizy, Technologii oczyszczania gazów. Prowadził również zajęcia dla obcokrajowców w języku angielskim (Erasmus i AMU-PIE) (Food analytical chemistry oraz Environmental analytical chemistry, a także Analytical chemistry). Jest także współautorem skryptu do zajęć laboratoryjnych z „Katalizy w procesach przemysłowych i ochronie środowiska” oraz dwóch wykładów dla doktorantów dotyczących zastosowania technik XPS i *operando* do badania ciał stałych. Sprawował także pomocniczą opiekę nad magistrantami wykonującymi prace dyplomowe w Zakładzie Katalizy Heterogenicznej pod promotorstwem prof. Marii

Ziółek i prof. UAM dr hab. Izabeli Sobczak. Z załączonych informacji wynika, że pełni/pełnił funkcję opiekuna jednej pracy doktorskiej, dwóch prac magisterskich i dwóch licencjackich oraz jednej pracy inżynierskiej.

Dr Łukasz Wolski posiada również dorobek organizacyjny i popularyzatorski. Od 2021 roku jest członkiem Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Chemiczne w Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Od 2023 roku został członkiem „Editorial Board” w nowym czasopiśmie naukowym „Frontiers in Environmental Engineering”. W roku 2022 był także edytorem gościnnym w wydaniu specjalnym w czasopiśmie „Catalysts” (tytuł: "From Design to Application of Nanomaterials in Catalysis"). Bierze również aktywny udział w recenzowaniu artykułów naukowych. Z dostarczonych w autoreferacie informacji wynika, że recenzował łącznie 50 manuskryptów Wydawnictw Elsevier (44 recenzje), ACS (2 recenzje), Springer (1 recenzja) oraz MDPI (3 recenzje). Ponadto w ramach popularyzowania nauki przygotował wykład na platformie YouTube w ramach Akademii Zrównoważonego Rozwoju UAM, który dotyczył przedstawienia i opisanie działań zmierzających do zapewnienia wszystkim ludziom dostępu do czystej i bezpiecznej wody pitnej.

Ocena wartości osiągnięcia naukowego - cyklu publikacji

Na cykl składa się dziewięć artykułów naukowych (H1-H9) opublikowanych w Wydawnictwach o zasięgu międzynarodowym. Sześć prac zostało opublikowanych w Wydawnictwie Elsevier (dwie publikacje w czasopismach *Journal of Hazardous Materials* oraz po jednej w *Applied Catalysis B: Environmental*, *Materials Research Bulletin*, *Catalysis Today* i *Applied Surface Science*), dwie kolejne publikacje w Wydawnictwie ACS (po jednej w czasopiśmie *Journal of Physical Chemistry C* i *ACS Applied Materials & Interfaces*) oraz jedna praca w czasopiśmie *Catalysts* należącym do Wydawnictwa MDPI. Należy w tym miejscu nadmienić, że wśród czasopism znajdują się tytuły, takie jak *Applied Catalysis B: Environmental* (IF=16,7), *Journal of Hazardous Materials* (IF=14,2) czy *ACS Applied Materials & Interfaces* (IF=10,4) o ugruntowanej renomie w środowisku naukowym, co świadczyć może o aktualności tematyki oraz wysokiej jakości badań. Wszystkie prace w cyklu są już cytowane. Pomimo krótkiego czasu od ich publikacji (dwie z 2019r., jedna z 2020r. cztery z 2021r. i dwie z 2022r.) artykuły w cyklu były już cytowane łącznie 109 razy, w szczególności praca H5 (27 cytowani) oraz H7 (32 cytowania). Niewątpliwie wskazuje to na zainteresowanie środowiska naukowego tematyką Habilitanta.

We wszystkich publikacjach z cyklu Habilitant jest autorem pierwszym i dodatkowo korespondencyjnym. W pracy H3 Habilitant jest jedynym autorem, podczas gdy pozostałe artykuły w cyklu (H1, H2 i H4-H9) są to dzieła wieloautorskie z wkładem własnym Habilitanta oszacowanym na 60-70 %. Zgodnie z złożonymi oświadczeniami Współautorów uczestniczył On w opracowaniu koncepcji badawczej, wykonywał szereg badań fizykochemicznych (w tym *operando* i *in-situ*) i pomiarów katalitycznych, a także współuczestniczył w interpretacji wyników i przygotowywał publikacje (przygotowanie manuskryptu, odp. recenzje i korekty). W podsumowaniu, wkład Habilitanta w powstanie wszystkich publikacji w cyklu poparty stosownymi oświadczeniami współautorów jest dominujący i bezsporny. W związku z powyższym uważam, że zgłoszenie cyklu 9 artykułów przez Habilitanta było uzasadnione.

Wspólną kanwą cyklu są badania dotyczące katalizatorów na osnowie niobu i ceru, które użyte zostały w procesach selektywnego [H2,H3,H4] oraz całkowitego [H1,H2,H5,H7,H8,H9] utleniania prowadzonych w fazie ciekłej [H1,H3,H4,H5,H7,H8,H9] i gazowej [H2,H6] stosując tlen cząsteczkowy lub nadtlenek wodoru jako utleniacze. Główny wątek naukowy jest zogniskowany na procesach inicjowanych [H2,H6,H7] lub wspomaganych [H1,H9] światłem, w których utleniające indywiduala generowane były:

- *in situ* w medium reakcyjnym,
- podczas ekspozycji fotokatalizatora na promieniowanie UV,
- poprzez wspomaganie wytwarzania aktywnych form tlenu promieniowaniem UV.

Mając na uwadze typ badanych reakcji, katalizator oraz główny wątek badawczy podjęty przez Habilitanta można stwierdzić, że przedstawione do oceny prace są spójne tematycznie.

Pierwszy wątek badawczy poruszony w cyklu w pracy [H1] dotyczył badań nad wyjaśnieniem reaktywności Nb₂O₅ w procesach całkowitego utleniania Rodaminy B (RhB) w obecności H₂O₂ jako utleniacza. Aktywność otrzymanego metoda hydrotermalną Nb₂O₅ testowano w trzech wariantach w procesie fotokatalitycznym, z użyciem H₂O₂ jako utleniacza i procesie hybrydowym, w którym połączono wyżej wspomniane metody prowadzenia reakcji utleniania. Dowiedziono, że Nb₂O₅ jest obiecującym katalizatorem dla procesów hybrydowych, w których łączy się efekty fotokatalityczne z aktywowaniem H₂O₂ na powierzchni tego tlenku metalu. Ważnym osiągnięciem habilitanta było wykazanie że AFT zaadsorbowane na powierzchni Nb₂O₅ pod wpływem światła przekształcają się do tlenu singletowego, który wykazuje dużą reaktywność w procesie odbarwienia RhB z czym powiązano podwyższoną efektywność procesu hybrydowego. Ponadto, w pracy [H1] zauważono związek pomiędzy ubytkiem masy całkowitego węgla organicznego (TOC) w mieszaninie reakcyjnej w obecności Nb₂O₅ i H₂O₂, i następujący po nim ponowny wzrost zawartości węgla organicznego po naświetlaniu tej mieszaniny promieniowaniem UV ($\lambda=365$ nm). Habilitant, wysnuł przypuszczenie, że powodem obserwowanego wzrostu stężenia TOC w medium reakcyjnym jest oderwanie grup funkcyjnych od barwnika (odpowiadających za jego wiązanie), co w rezultacie prowadzi do desorpcji pozostałych fragmentów.

Wyjaśnienie tego zjawiska stało się przedmiotem dalszych studiów nad reaktywności Nb₂O₅ w procesach utleniania z użyciem H₂O₂ kontynuowanych w pracy [H9]. Głównym celem tych badań było wyjaśnienie roli AFT powstałych podczas aktywacji H₂O₂ na Nb₂O₅ pochodzenia komercyjnego w usuwaniu cyprofloksacyny (CIP) z wody. W pracy opisano efektywność degradacji tego antybiotyku w trzech wariantach eksperymentalnych, tj. z i bez dodatku H₂O₂ oraz bez dodatku H₂O₂ w obecności katalizatora, który uprzednio został poddany działaniu H₂O₂ w warunkach *ex situ*. Otrzymane wyniki okazały się zaskakujące, gdyż wykazały, że AFT powstające w warunkach reakcji nie są w stanie efektywnie zdegradować CIP, a znaczący ubytek CIP w krótkim czasie reakcji wynikał przede wszystkim z adsorpcji CIP na powierzchni Nb₂O₅. Niewątpliwie uzyskane wyniki można uznać za bardzo cenne. Dowiedziono bowiem, że CIP jest adsorbowana na powierzchni Nb₂O₅, a jego efektywna degradacja następuje dopiero podczas reakcji hybrydowej, łączącej działanie światła UV ($\lambda = 365$ nm) i H₂O₂. Zapewne uzyskane wyniki na modelowym antybiotyku, który po przedostaniu się do środowiska naturalnego sprzyja rozwojowi antybiotykooporności, można rozwinąć na inne grupy problematycznych zanieczyszczeń innych niż antybiotyki. W tym miejscu nasuwa się pytanie w jaki sposób zachowałby się czysty Nb₂O₅ w reakcji hybrydowej na próbkach wody zawierającej zanieczyszczenia organiczne (kilka) o różnym powinowactwie do jego powierzchni? Czy kompetencyjna adsorpcja na Nb₂O₅ wpłynęłaby na kolejność/kierunek utleniania?

W pracach [H5 i H8] habilitant podjął wątek modyfikacji właściwości katalitycznych w procesach utleniania poprzez dotowanie Nb₂O₅ innymi pierwiastkami o odmiennych właściwościach. Bazując na wcześniejszych doświadczeniach z układami Nb-Zn-O oraz na analizie literatury Habilitant skierował swoją uwagę na układy bimetaliczne niobowo-cerowe (Nb-Ce-O) [H5]. Jako modelową reakcję została wybrana degradacja błękitu metylenowego w obecności H₂O₂ jako utleniacza. Jak wskazuje w autoreferacie Habilitant, wybór reakcji był uwarunkowany wzajemnie się dopełniającymi właściwościami obu komponentów. Nb₂O₅ ma mniejszą reaktywność w tworzeniu AFT niż CeO₂, ale jest

lepszym adsorbentem błękitu metylenowego (MB). Z kolei, CeO_2 jest znacznie bardziej efektywny w tworzeniu AFT na drodze mechanizmu typu Fentona, ale jego reaktywność w procesach degradacji związków organicznych jest limitowana niewielką zdolnością do adsorpcji zanieczyszczenia. W pracy [H5] zbadano mieszane katalizator typu NbCeO_x cechujące się zwiększoną ilością defektów w postaci jonów Ce^{3+} i Nb^{4+} w jego strukturze. Szczegółowa analiza pozwoliła wykazać, że wyżej wspomniane defekty są wynikiem utworzenia układów $\text{Nb}^{\text{IV}}-\text{O}-\text{Ce}^{\text{IV}} \leftrightarrow \text{Nb}^{\text{V}}-\text{O}-\text{Ce}^{\text{III}}$, w których oba metale mogły stosunkowo łatwo zmieniać stopnie utlenienia. Ponadto wykazano, że NbCeO_x cechował się większą powierzchnią właściwą niż czyste tlenki, a także zachował właściwości kwasowe oraz redoks pochodzące odpowiednio od Nb_2O_5 i CeO_2 . Niewątpliwie, unikalne właściwości NbCeO_x przyczyniły się do jego większej aktywności w procesie odbarwiania błękitu metylenowego w porównaniu do czystych tlenków. Za istotne osiągnięcie w pracy [H5] można uznać wyjaśnienie natury synergizmu pomiędzy Nb i Ce zarówno w procesie aktywowania H_2O_2 , jak i degradacji MB, a także potwierdzenie, że aktywnymi formami tlenu w degradacji MB są tlen singletowy i anionorodniki ponadtlenkowe.

W drugiej z prac w tematyce modyfikacji właściwości Nb_2O_5 [H8] został podjęty wątek zwiększenia pojemności sorpcyjnej poprzez dotowanie jonami fosforowymi $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$. W pracy tej porównano serię materiałów o różnej proporcji Nb/P. Dowiedziono, że materiał Nb/P-5/1 charakteryzuje się dużą pojemnością sorpcyjną oraz wysoką reaktywnością w degradacji MB w obecności H_2O_2 . Ponadto, na podstawie badań stabilności w czterech cyklach dowiedziono, że Nb/P-5/1 poddany regeneracji po procesie w roztworze H_2O_2 w temperaturze pokojowej pozwala praktycznie całkowicie odzyskać jego aktywność. Zapewne ciekawy wątek aplikacyjny związanym ze stabilnością katalizatora w cyklach uzupełniłaby analiza składu katalizatora na zawartość fosforu po kilku cyklach. Pomijając ten wątek uważam pracę za kompleksową i cenną w dorobku Habilitanta.

W kolejnej serii trzech prac [H2, H6 i H7] Habilitanta podjął tematykę procesów fotokatalitycznego utleniania związków organicznych prowadzonych w fazie gazowej i ciekłej. Pierwsza praca [H2] w tym wątku dotyczy szczegółowej charakterystyki fizykochemicznej i katalitycznej materiałów złotych, miedziowych i złotowo-miedziowych osadzonych na Nb_2O_5 . W zamyśle Habilitanta było zwiększenie (przesunięcie) aktywności fotokatalitycznej w zakresie światła widzialnego poprzez dodatek Cu i Au. W wyniku analiz fizykochemicznych stwierdzono, że w katalizatorze $\text{AuCu-Nb}_2\text{O}_5$ miedź pełni rolę promotora strukturalnego, który pozwala uzyskać wysoką dyspersję złota. Dowiedziono, że złoto w katalizatorze $\text{AuCu-Nb}_2\text{O}_5$ występuje głównie w formie metalicznej, a miedź w formie silnie zdyspergowanych indywiduów zawierających $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$. Testy katalityczne w procesie hybrydowego utleniania dowiodły, że aktywność katalityczna $\text{AuCu-Nb}_2\text{O}_5$ w monochromatycznym promieniowaniu UV ($\lambda = 365 \text{ nm}$) jest podobna do uzyskanej w zakresie światła widzialnego. Niestety, w świetle widzialnym stwierdzono dramatyczny wzrost udziału produktów całkowitego, a nie częściowego utleniania, co powiązano z wzbudzeniem wyłącznie nieselektywnych centrów Cu i Au.

Tematyka utleniania metanolu była kontynuowana w pracy [H6] w obecności tlenkowych katalizatorów cerowo-niobowych otrzymanych metodą impregnacji i mieszania mechanicznego tlenków. Badania dowiodły, że wprowadzenie ceru metodą impregnacji powoduje zdecydowane pogorszenie właściwości katalitycznych. Mniejszy efekt, jakkolwiek w dalszym ciągu negatywny, zaobserwowano po fizycznym zmieszaniu CeO_2 z Nb_2O_5 . Opierając się na wynikach badań *operando* IR, szczegółowej analizie fizykochemicznej oraz pomiarach fotoluminescencji Habilitant wyjaśni, iż dezaktywacja układów $\text{Ce/Nb}_2\text{O}_5$ wynika ze zwiększonej rekombinacji „nośników ładunków” (wzbudzonych elektronów i dziur elektronowych) wytworzonych podczas naświetlania fotokatalizatorów, co spowodowane jest bardzo małym rozmiarem cząstek CeO_2 na powierzchni Nb_2O_5

i w konsekwencji dużą liczbą defektów strukturalnych. Konkluzja Habilitanta, iż unikalne właściwości układów na osnowie Nb-Ce nie zawsze są pożądane, w świetle uzyskanych wyników wydaje się jak najbardziej uzasadniona.

W kolejnej pracy z cyklu [H7] Habilitant podjął tematykę wyjaśnienia natury oddziaływania pomiędzy CeO_2 a ZnO w procesie fotokatalitycznej degradacji cyprofloksacyny (CIP) w fazie ciekłej. Celem było zweryfikowanie, czy połączenie CeO_2 z innymi tlenkami metali również przyczyni się do efektu dezaktywacji w sposób analogiczny jak w układów $\text{Ce}/\text{Nb}_2\text{O}_5$ opisanych w pracy [H6]. Badania przeprowadzone w reakcji degradacji CIP dowiodły, że odmiennie niż w przypadku układu $\text{Ce}/\text{Nb}_2\text{O}_5$, połączenie CeO_2 z ZnO powoduje wzrost aktywności podczas naświetlania promieniowaniem UV. Za istotne osiągnięcie Habilitanta można uznać wyjaśnienie, że efekt zwiększonej aktywności układów mieszanych ZnO/CeO_2 wynika z korzystnego ułożenia poziomów energetycznych pasm walencyjnych i przewodnictwa w tych tlenkach, które sprzyjało zwiększonej efektywności separacji h^+ i e^- na drodze mechanizmu Z. Na uwagę zasługuje również zaproponowanie dwutorowej reakcji degradacji CIP oraz sposobu wyhamowania dezaktywacji katalizatora (fotodegradacji ZnO) poprzez kontrolę pH mieszaniny reakcyjnej.

Ostatni wątek badawczy poruszany w cyklu (w chronologii autoreferatu), opisany w pracach [H3 i H4] dotyczy procesów utleniania z użyciem tlenu w fazie ciekłej. W pracach tych Habilitant skupił się na selektywnym procesie utleniania gliceryny [H3] oraz alkoholu benzyłowego [H4]. W ramach tematyki utleniania gliceryny [H3] opracowano i przebadano serię katalizatorów na osnowie złota z i bez dodatku miedzi osadzonych na amorficznym Nb_2O_5 , oraz na krystalicznym Nb_2O_5 o strukturze zdeformowanej ortorombowej i heksagonalnej. Dowiedziono, że stopień krystaliczności nośnika Nb_2O_5 nie ma istotnego wpływu na właściwości katalityczne. Większy wpływ na aktywność katalityczną ma sposób nanoszenia prekursora złota, który ma wpływ na wielkość nanocząstek Au. Badania układów miedziowo-złotowych dowiodły, iż dodatek miedzi wpływa na zmniejszenie wielkości nanocząstek złota, co skutkuje zwiększeniem aktywności niestety kosztem selektywności do pożądanych produktów. Za istotne osiągnięcie Habilitanta można uznać opracowanie metody preparatyki katalizatora złotowego, który charakteryzuje się wyższą selektywności do pożądanego produktu jakim jest kwas glicerynowy w porównaniu z komercyjnym katalizatorem Au-TiO₂ AUROLite™.

W pracy [H4] Habilitant podjął tematykę utleniania alkoholu benzyłowego tlenem cząsteczkowym w obecności katalizatorów na osnowie złota naniesionego na CeO_2 . Katalizatory otrzymał prostą metodę współstrącania. Do współstrącania użył trzy różne czynniki (NaOH, mocznik i heksametylenotetraminę). Habilitant dowiódł, iż rodzaj zastosowanego odczynnika współstrącającego nie ma istotnego wpływu na efektywność wprowadzenia złota oraz powierzchnię właściwą. Ma natomiast istotny wpływ na rozmiar nanocząstek złota. Najmniejsze i jednocześnie najbardziej jednorodne nanocząstki złota uzyskano dla katalizatora otrzymanego z użyciem NaOH jako czynnika strącającego. Z kolei mocznik i urotropina prowadzą do uzyskania dużych i niejednorodnych cząstek złota, co najprawdopodobniej wynika z innego mechanizmu tworzenia i wzrostu nanostruktur. Szczególnie, różnice w wielkości nanocząstek złota miały wpływ na aktywność katalityczną. Najwyższą uzyskano w reakcji utleniania alkoholu benzyłowego wobec katalizatora, w którym były cząstki złota otrzymane z użyciem NaOH jako odczynnika strącającego.

Podsumowując tematykę badawczą stwierdzam, że dokonania Habilitanta zamieszczone w pracach [H1-H9] mają istotny wkład na rozwój dyscypliny naukowej chemia. Nowatorskie badania poruszają różne aspekty utleniania związków organicznych wobec katalizatorów na osnowie niobu

i ceru zawierające składniki takie jak złoto, miedź i cynk. W większości artykułów Habilitant korzysta z pełnego warsztatu fizykochemicznych technik badawczych w tym również technik spektroskopowych w modzie *operando* i *in-situ*. Dobrze zaplanowane badania pozwoliły habilitantowi w większości przypadków wysnuć jednoznaczne wnioski i poprzeć postawione hipotezy.

3. Podsumowanie

Dr Łukasz Wolski ma dorobek publikacyjny liczący łącznie 25 prac opublikowanych w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, z czego 6 prac z badań prowadzonych przed otrzymaniem stopnia doktora i 19 prac po uzyskaniu stopnia doktora. Wartość dorobku Habilitanta należy mierzyć nie liczbą publikacji, lecz ich jakością, bowiem wszystkie prace zostały opublikowane w bardzo dobrych czasopismach naukowych wymagających od twórcy/twórców szerokiego warsztatu badawczego oraz wnikliwej znajomości tematyki. W tym kontekście badania Habilitanta opublikowane w cyklu zgłoszonym do oceny można uznać za wybitne. W cyklu znajduje się jedna praca monoautorska oraz osiem publikacji, w których jest On autorem pierwszym i korespondencyjnym.

Spełnione są też zawiązka inne formalne i zwyczajowe wymagania do jakich można zaliczyć staże w liczących się zagranicznych ośrodkach badawczych zakończone wspólnymi publikacjami, aktywność na polu dydaktycznym (zajęcia ze studentami, opieka nad pracami dyplomowymi) oraz organizacyjnym.

W dorobku Pana dr Łukasza Wolskiego znaleźć można również istotne w życiu naukowym aktywności, takie jak współpraca naukowa krajowa i zagraniczna, udział w gremiach edytorskich numerów specjalnych czasopism oraz recenzje publikacji naukowych (łącznie 50 recenzji). To wszystko skłania mnie do wniosku, iż Habilitant dotarł do kolejnego etapu kariery naukowej.

W związku z powyższym uważam, że dr Łukasz Wolski spełnia wszelkie ustawowe warunki do otrzymania stopnia doktora habilitowanego (Dz. U. 2023 rok, poz. 742, art. 219) i wnioskuję o dopuszczenie go do dalszych etapów postępowania.

