

RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

„Otrzymywanie półproduktów farmaceutycznych w przepływowych procesach katalitycznego uwodornienia”

przedstawionej przez **mgr. inż. Bartosza Romualda Zawadzkiego**
wykonanej pod kierunkiem dr hab. Anny Śrębowatej, prof. IChF PAN
w ramach Międzynarodowych Studiów Doktoranckich
Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk

Podstawą opracowania opinii jest uchwała Rady Naukowej Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk z dn. 7 grudnia 2021 roku. Recenzja została opracowana zgodnie z art. 228 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. 2021 poz. 478) w oparciu o przedstawioną dokumentację przesłaną w dniu 11 maja 2023 r.

Analiza merytoryczna pracy

Praca doktorska Pana mgr. inż. Bartosza Zawadzkiego dotyczy bardzo intensywnie eksplorowanych zagadnień związanych z opracowaniem katalizatorów dedykowanych do otrzymywania związków chemicznych o wysokiej wartości tak dla przemysłu farmaceutycznego jak i chemii specjalistycznej a służących jako prekursorzy do syntezy witamin, leków czy barwinków i żywic. Wysokowartościowe związki chemiczne są produkowane w ograniczonych ilościach (< 1000 ton rocznie) zgodnie z rygorystycznymi normami, głównie na drodze tradycyjnej syntezy organicznej. Ich ogromne zróżnicowanie pod względem natury chemicznej implikuje liczbę procesów stosowanych w ich produkcji. Substancje te są sprzedawane – na podstawie specyfikacji czystości lub na podstawie ich zdolności do dostarczania określonego działania – przedsiębiorstwom obsługującym szeroki zakres rynków użytkowników końcowych. Procesowi produkcji w sposób nieunikniony towarzyszy produkcja bardzo wysokiej liczby i ilości substancji, które nie są niestety definiowane jako związki o wartości dodanej, a które są usuwane jako odpady lub przekształcane w systemach unieszkodliwiania.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska jest zatem bardzo interesującą propozycją wpisującą się w nurt najbardziej aktualnych trendów badawczych związanych z poszukiwaniem wysoce selektywnych katalizatorów do procesów tzw. „fine chemistry” mogących jednocześnie sprostać wyzwaniom „zielonej chemii”. Praca doktorska Pana Bartosza Zawadzkiego to także doskonały przykład wykorzystania przez Autora osiągnięć Zespołu, kierowanego przez prof. Annę Śrębowatą do twórczego rozwinięcia własnych pomysłów badawczych związanych z propozycją prowadzenia procesów katalitycznego uwodornienia w warunkach ciągłego przepływu. Sam Autor pracy podkreśla, że podjęcie takiego wyzwania może skutkować poprawą wydajności oraz selektywności badanych procesów na skutek ograniczenia reakcji ubocznych dzięki zdefiniowaniu nie tylko właściwości samej fazy aktywnej czy też nośnika ale i w kontekście precyzyjnej kontroli zmiennych procesowych (np. czasu kontaktu pomiędzy reagentami a katalizatorem).

Doktorant stanął przed nietrywialnym zadaniem zaproponowania katalizatorów, których właściwości redoksowo-kwasowe, strukturalno-teksturalne musiały zostać gruntownie scharakteryzowane w celu zoptymalizowania parametrów nieodzownych do zapewnienia wysokiej aktywności i selektywności reakcjach selektywnego uwodornienia 2-metylobut-3-yn-2-olu do 2-metylobut-3-en-2-olu (prekursora w syntezie witaminy A i E) oraz but-2-yno-1,4-diolu do but-2-eno-1,4-diolu (substrat w syntezie m. in. nylonu, żywic oraz witamin A i B₆) a także chemoselektywnego uwodornienia 2-metylopent-2-enalu do 2-metylopentanal (substrat do produkcji meprodamatu – leku anksjolitycznego, barwników czy żywic).

Sama definicja katalizatora selektywnego narzuca ograniczenia co natury i właściwości centrów aktywnych w kontekście aktywacji wybranego fragmentu cząsteczki substratu a więc i sposobu i siły chemisorpcji reagenta na powierzchni katalizatora. Aspekty selektywnego działania katalizatora, a dotyczące geometrii wiązania reagentów z centrami aktywnymi jak i związanej z tym faktem zmiany struktury elektronowej centrów aktywnych i reagujących cząsteczek czy udziału centrów adsorpcji na powierzchni samego nośnika zostały skrupulatnie, ale i z dużą swobodą, przeanalizowane przez Doktoranta na przykładzie chociażby chemoselektywnego uwodornienia nienasyconych aldehydów. Jako przykład należytej refleksji naukowej przywołam stwierdzenie pojawiające się w kontekście zapewnienia pożądanej, powiedzmy celowanej, dyspersji fazy metalicznej na swojej powierzchni nośnika. Autor dysertacji słusznie zauważa, iż w przypadku katalizatorów o szerokim rozkładzie wielkości cząstek zdyspergowanej fazy metalicznej rozważanie aktywności katalitycznej w kontekście średniego rozmiaru cząstek może być niezasadne. Fakt dominującej, a nawet wyłącznej, aktywności cząstek o pewnym wąskim zakresie rozmiarów jest bardzo często pomijany literaturze a aktywność jest, niestety niezasadnie, dyskutowana w odniesieniu do ich średniej wielkości.

Operując bardzo swobodnie pojęciami właściwymi zjawisku katalizy selektywnego uwodornienia Pan Bartosz Zawadzki wykonał ogromną pracę tak w aspekcie syntezy materiałów o potencjalnych katalitycznych zastosowaniu, jak i późniejszej kompleksowej dyskusji relacji ich właściwości fizykochemicznych oraz katalitycznych. W ramach pracy doktorskiej zsyntezowano i wnikliwie scharakteryzowano katalizatory selektywnego oraz chemoselektywnego uwodornienia o różnej zawartości

fazy metalicznej (2% wag – 14% wag.) oparte na palladzie oraz łatwo dostępnych i tanich metalach przejściowych (Co Cu, Fe) a osadzonej na węglu aktywnym, zaszczerpione na żywicy polimerowej TentaGel™ S-NH₂ lub zawarte w składzie materiałów hydrotalcytowych. Wynikiem tego zaangażowania jest opis właściwości centrów powierzchniowych odpowiedzialnych za selektywny przebieg badanych reakcji a w konsekwencji wnioskowanie o mechanizmie badanych procesów.

Przywołam kilka najważniejszych osiągnięć Doktoranta, które w mojej ocenie mają istotny wkład w poszerzenie wiedzy dotyczących możliwości produkcji związków ważnych dla „fine chemicals”.

- i) Przypisanie różnic w selektywności do pożądanego produktu, tj. 2-metylobut-3-en-2-olu wykazywanych katalizatory o podobnej aktywności charakterowi oddziaływania między fazą aktywną (nanocząstki palladu) a nośnikiem (żywica polimerowa TSNH₂ vs γ -Al₂O₃);
- ii) Ustalenie parametrów (rodzaj fazy aktywnej, ciśnienie, temperatura) pozwalające na uzyskanie ze 100% selektywnością pożądanego produktu reakcji uwodornienia MPEA - 2-metylopentanal. Spośród badanych materiałów to układy Fe/CNR115 wykazały się najwyższą aktywnością i selektywnością do 2-metylopentanal w szerokim zakresie ciśnienia i temperatury;
- iii) Wykazanie, iż materiał Fe/CNR115 jest także najlepszym kandydatem jako stabilny i wysoce selektywny (100%) katalizator reakcji częściowego uwodornienia but-2-yno-1,4-diolu do but-2-eno-1,4-diolu w szerokim zakresie ciśnienia i temperatury;
- iv) W mojej ocenie szczególnie interesujące wnioski wyciągnięto na podstawie wyników badań przeprowadzonych dla katalizatorów opartych na hydrotalcytach CuZnAl w reakcji chemoselektywnego uwodornienia MPEA. Wykazano silny wpływ składu powierzchni katalizatora na chemoselektywność badanego procesu. Stwierdzono, że układ z najmniejszą zawartością miedzi – CuZnAl (0,5:1:1) dzięki wysokiej zawartości Cu⁰ w stosunku do pozostałych układów, wykazuje wysoką aktywność i selektywność do nasyconego aldehydu. Natomiast powierzchnia CuZnAl (2:1:1) o niskiej zawartości Cu⁰ pozwala na otrzymanie z zadawalającą selektywnością 2-metylopent-2-en-1-olu, co świadczy o zależności pomiędzy strukturą układów katalitycznych a aktywnością i selektywnością w reakcji chemoselektywnego uwodornienia nienasyconego aldehydu.

Udokumentowanie przywołanych powyżej zależności było kwestią skomplikowaną ze względu na złożoną i często nieoczywistą relację pomiędzy właściwościami nośnika (γ -Al₂O₃, żywica polimerowa Tentagel-S-NH₂, węgiel aktywny CNR115, hydrotalcyt) a katalityczną aktywnością fazy metalicznej. Jak podkreśla Autor, sama natura nośnika determinuje właściwości aktywnej katalitycznej fazy metalicznej definiowane przez jej dyspersję, redukowalność, czy współobecność innych faz. Pominąć nie można oczywiście aspektu właściwości samego nośnika warunkowanych nie tylko stopniem rozwinięcia powierzchni ale i liczbą, mocą oraz rodzajem centrów kwasowych czy redoksowych i nieodłącznie związanymi z powyższym właściwościami hydrofilowymi/hydrofobowymi.

W mojej opinii podjęcie się ambitnej tematyki, obszerny zakres badań jak i przeprowadzonej charakterystyki fizyko-chemicznej dowodzą dużej dojrzałości naukowej Pana Bartosza Zawadzkiego, który

precyzyjnie zaplanował, wykonał i szczegółowo udokumentował wyniki swojej pracy badawczej proponując jednocześnie serię katalizatorów o satysfakcjonującej aktywności i selektywności katalitycznej.

Analiza formalna pracy

Rozprawa zredagowana jest w zasadzie w układzie tradycyjnym. *Przegląd literatury* to zwięzły opis literaturowy zawarty w czterech podrozdziałach. Pierwszy z podrozdziałów poświęcony jest naukowej refleksji nad reakcją katalitycznego uwodornienia poprzez szczegółową dyskusję roli wodoru, typu katalizatorów wykorzystywanych w reakcjach uwodornienia, wpływu nośnika na właściwości tychże czy sposobów prowadzenia samego procesu. Kolejne podrozdziały stanowią dyskusję uzasadnienia konieczności pozyskiwania 2-metylobut-3-yn-2-olu, but-2-yno-1,4-diolu oraz 2-metylopent-2-enalu w produkcji wysokowartościowych produktów oraz metod prowadzenia procesów (układy okresowe vs układy przepływowe). Ta część nie jest zbyt rozbudowana, niemniej Doktorantowi udało się w syntetyczny i elegancki sposób przedstawić dostępne w literaturze, najważniejsze zagadnienia związane z tematyką pracy. Bazując na 239 pozycjach literaturowych wykazał spore rozeznanie w tematyce, a opisane zagadnienia zostały przedstawione w sposób kompetentny, co świadczy o dobrym zrozumieniu opisywanych problemów a co jest wymagane od kandydatów do stopnia doktora. Ten jasny sposób wprowadzenia czytelnika w zagadnienia pracy zachęca do zapoznania się z wynikami prac własnych. Ta poprzedzona jest *Częścią doświadczalną* dokumentującą spektrum metod analitycznych oraz testów katalitycznych wykorzystanych w charakterystyce badanych materiałów. Część pracy zatytułowana *Wyniki badań i ich omówienie* liczy 111 stron i została pogrupowana na trzy obszernie rozdziały (każdy z nich zawiera po kilka podrozdziałów). Pierwsza część dyskusji wyników dotyczy procesu uwodornienia 2-metylobut-3-en-2-olu w warunkach przepływowych na katalizatorach Pd/ γ -Al₂O₃ o różnej zawartości palladu, w której wykazano, iż zachowanie katalityczne układu palladowego zależy od warunków jego redukcji. Wysokotemperaturowa redukcja znacząco promuje selektywność w kierunku pożądanego produktu (MBE), minimalizując nadmierne uwodornienie. Wpływ konkurujących procesów powstawania form adsorpcyjnych PdH i PdC_x został powiązany z efektem *spillover* wodoru oraz możliwą współobecnością faz stopów Pd-Al i przedyskutowany w kontekście selektywności katalizatorów do prekursora witaminy A i E (MBE). Kolejny podrozdział dyskusji wyników własnych został poświęcony syntezie, dogłębnej charakterystyce oraz badaniom procesu uwodornienia 2-metylobut-3-yn-2-olu do 2-metylobut-3-en-2-olu nanocząstek palladu tym razem zaszczerpionym na żywicy polimerowej Tentagel-S-NH₂ (TSNH₂). Wysoka aktywność i selektywność (>90%) w kierunku pożądanego produktu uwodornienia MBY została przypisana obecności bardzo małych (około 2 nm) nanocząstek palladu. Optymalne warunki reakcji dla tworzenia 2-metylobut-3-en-2-olu ustalono na 298 K i 5 barów. Jako że porównanie parametrów katalitycznych katalizatorów palladowych opartych na γ -Al₂O₃ oraz żywicy polimerowej wykazało porównywalną aktywność w przeliczeniu na gram palladu, przy jednocześnie znacznie niższej selektywności do pożądanego nienasyconego alkoholu (MBE), w dalszym etapie badań Doktorant słusznie przeanalizował wpływ właściwości nośnika fazy aktywnej na selektywność uwodornienia 2-metylobut-3-yn-2-olu. Zaproponował także alternatywę dla kosztownego metalu szlachetnego, tj. Pd, którego nadmierna

zdolność uwodorniająca stanowi źródło problemu w reakcjach, w których pożądanym produktem finalnym jest produkt częściowego lub chemoselektywnego uwodornienia. W pracy zaproponowano atrakcyjną alternatywę w postaci metali przejściowych takich jak Ni, Cu, Co oraz Fe. Doktorant wskazuje na konieczność stosowania bardziej wymagających warunków prowadzenia procesu w układach okresowych (wyższego ciśnienia i temperatury) ale i uwypukla fakt, iż wykorzystanie metody ciągłego przepływu pozwala nie tylko zastosować łagodniejsze warunki reakcji ale i uzyskać zadowalającą aktywność i selektywność w badanych procesach.

Z doniesień literaturowych wynikało, że katalizatory kobaltowy, żelazowy oraz miedziowy, tj. odpowiednia faza metaliczna osadzona na węglu aktywnym NORIT® CNR115, nie były dotąd wcale, bądź jedynie w niewielkim stopniu badane pod kątem ich skuteczności w reakcji chemoselektywnego uwodornienia 2-metylopent-2-enalu (MPEA) oraz częściowego uwodornienia 2-metylobut-3-yn-2-olu i but-2-yno-1,4-diolu w fazie ciekłej, w warunkach ciągłego przepływu. Poszukując katalizatora wykazującego korzystny stosunek pomiędzy wysoką aktywnością a selektywnością do pożądanego produktu Doktorant skoncentrował się na przeanalizowaniu wpływu zawartości Co na chemoselektywne uwodornianie wiązania C=C w cząsteczce MPEA w celu wytworzenia pożądanego produktu: 2-metylopentanal (MPAA) oraz na częściowe uwodornienie wiązania C≡C w cząsteczkach MBY i BYD dążące do otrzymania 2-metylobut-3-en-2-olu oraz but-2-eno-1,4-diolu. Stwierdził, iż w przypadku uwodornienia nienasyconego aldehydu, wysoka selektywność w kierunku pożądanego produktu, tj. nasyconego aldehydu (MPAA), jest uwarunkowana obecnością mniejszych nanocząstek kobaltu, wykazujących większą skuteczność w uwodornieniu wiązania C=C niż C=O. W przypadku katalizatorów opartych na bazie żelaza wysoka selektywność w kierunku pożądanego produktu, nasyconego aldehydu (MPAA), warunkowana preferencyjnym uwodornieniem wiązania C=C w porównaniu z C=O została określona jako zależna od obecności jonowych form żelaza na trzecim stopniu utlenienia (Fe³⁺). Katalizatory charakteryzujące się większą różnorodnością form Fe na powierzchni, kosztem form Fe(III), cechowały się znacznie niższą selektywnością do MPAA na korzyść produktu pełnego uwodornienia MPAO, przy równoczesnym braku wzrostu konwersji. Również dla katalizatorów miedziowych obserwowana była preferencja uwodornienia wiązania C=C nad uwodornieniem C=O czego gwarantem była wysoka dyspersja fazy metalicznej. Ze względu na zwiększenie liczby centrów aktywnych charakteryzujących się mniejszą siłą adsorpcji produktów na powierzchni, mniejsze nanocząstki Cu wykazywały nieco niższą aktywność katalityczną, ale wyższą selektywność w kierunku pożądanego produktu. W tym przypadku szczególny wpływ na wydajność katalityczną mają zjawiska związane są z energetyką adsorpcji i rodzajem produktów pośrednich chemisorbowanych na centrach aktywnych; oba różnią się geometrią i stanem elektronowym. W przypadku tego katalizatora Doktorant udokumentował kluczową rolę, tak istotnych dla zjawiska katalizy, efektów geometrycznych i elektronowych. Wysoka aktywność i selektywność katalizatorów Cu/CNR115 w badanych reakcjach uwodornienia oraz raportowana w literaturze wysoka aktywność materiałów opartych na hydrotalcytach zawierających miedź w licznych reakcjach uwodornienia stała się motywacją dla Doktoranta do zbadania układów hydrotalcytach zawierających Cu, Zn i Al w chemoselektywnym uwodornieniu MPEA. W tym przypadku Autor pracy najwyższą aktywność

występującą dla układu CuZnAl (1:1:1) wiąże ze składem powierzchniowym katalizatora, głównie z obecnością różnych form miedzi na powierzchni (Cu^0/Cu^+), w odpowiednich proporcjach. Niekorzystna preferencja uwodornienia wiązania C=O nad uwodornieniem C=C przypisana została niedoborowi form Cu^0 na powierzchni katalizatora bowiem utworzenie chemisorbowanego adduktu warunkującego mechanizm selektywnego uwodornienia wiązania C=C wymaga obecności dwóch sąsiadujących atomów Cu^0 . Doktorant dyskutuje jednak w sposób bardziej dogłębny przyczyny spadku tak jak i konwersji mimo zwiększenia zawartości fazy aktywnej i wiąże ten efekt z dominacją płaszczyzny krystalicznej Cu(111), która hamuje ogólną adsorpcję α,β -nienasyconych aldehydów czy efektem *spillover* obserwowanego dla wodoru. Świadczy to o dużej dojrzałości naukowej Doktoranta, którą zauważyć można także w swobodzie z jaką operuje wyjaśniając obserwowane przez siebie zjawiska korzystając z zasobu wiedzy z obszaru katalizy i najnowszych doniesień literaturowych.

Całość kończy spis cytowanej literatury (239 pozycji) oraz rozdziały prezentujące osiągnięcia naukowe Doktoranta tj. *Lista publikacji naukowych*, *Lista prezentacji naukowych*, *Wystąpienia posterowe*. Na dorobek naukowy Autora składa się 5 publikacji, które ukazały się w czasopismach z bazy JCR. Wiodący udział Pana Zawadzkiego w powstaniu prac nie pozostawia wątpliwości: jest on udokumentowany faktem, iż w dwóch publikacjach Doktorant jest pierwszym autorem, w pozostałych autorem drugim. Wyniki badań były prezentowane 24-krotnie na konferencjach naukowych (13 prezentacji ustnych, 11 prezentacji posterowych), głównie przez samego Autora pracy (8 prezentacji ustnych, 7 prezentacji posterowych).

Na uwagę zasługuje fakt, że działalność naukowa Doktoranta nie została ograniczona jedynie do aktywności związanej bezpośrednio z realizacją celów pracy doktorskiej. Pani Bartosz jest bowiem współautorem jednej pracy (oraz 1 wystąpienia ustnego oraz posteru) związanej z aktywacją struktury ligniny w kierunku zastosowań elektrochemicznych a dotyczących wytworzenia większej liczby grup karboksylowych odpowiedzialnych za transport protonów i elektronów.

Na uwagę zasługuje i fakt, że praca została zrealizowana w ramach projektu OPUS 17 zatytułowanego „Nowe nanokatalizatory w procesach selektywnego uwodornienia w warunkach przepływowych w kierunku tworzenia półproduktów farmaceutycznych” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki. Biorąc pod uwagę przedstawioną do oceny pracę doktorską jak i ww. aspekty aktywności naukowej stwierdzam, że działalność badawcza Pana Bartosza Zawadzkiego spełnia warunek samodzielności naukowej jakiej należy oczekiwać od osób pretendujących do stopnia naukowego.

Uwagi polemiczne

Z ciekawości, w odniesieniu do zawartości dysertacji, wymienię kilka uwag w nadziei na ich dyskusję już w czasie publicznej obrony pracy Pana Bartosza. W odniesieniu do dysertacji trudno doszukać się błędów merytorycznych można jednak postawić komentarzy.

- W tekście wielokrotnie aktywność katalityczna definiowana jest przez parametr TOF. Niestety nie znalazłam opisu w jaki sposób zostało uwzględnione stężenie fazy aktywnej przy obliczeniu tego parametru.

- Czy w kontekście obecności kilku produktów reakcji, w opisie aktywności katalitycznej, nie byłoby bardziej zasadne użycie parametru STY zamiast TOF?
- Na podstawie analizy profili TPD-NH₃ dla katalizatorów Pd/Al₂O₃ kalcynowanych w różnych temperaturach Doktorant wykluczył znaczący wpływ centrów kwasowych na zachowanie katalityczne tych układów. Pomimo własnego sceptycznego podejścia do zasadności stosowania tej metody do badań właściwości ciał stałych, w szczególności mikroporowatych, w mojej opinii niesłusznie zaniedbano udział piku TPD w temperaturze > 523K. Jego obecność może wskazywać na bardziej zaawansowany proces dehydroksylacji powierzchni tlenku glinu (tym samym konwersja centrów Brønsteda w centra Lewisa) i zmniejszenie charakteru hydrofilowego powierzchni nośnika. W kontekście analizy ilościowej kwasowości katalizatorów bardziej zasadne jest rozważanie wartości względnych niż bezwzględnych stężeń centrów kwasowych. Udział względny wysokotemperaturowego piku TPD, w odniesieniu do piku niskotemperaturowego staje się wówczas istotny. Jak zatem Doktorant zapatruje się na uwzględnienie w dyskusji roli centrów Lewisa, centrów o charakterze elektrono-akceptorowym mogącym sprzyjać przeniesieniu gęstości elektronowej z centrów palladowych na nośnik?

Powyższe uwagi mają charakter polemiczny i nie umniejszają mojej wysokiej oceny całości pracy przedstawionej do oceny.

Uwagi mniejszej wagi:

- Pewne zastrzeżenia budzi opis niektórych rysunków.

Przykładowo: „Wpływ warunków reakcji na aktywność wyrażoną jako TOF...”, „Wpływ warunków reakcji uwodornienia 2-metylobut-3-yn-2-olu na konwersję...” itp. Wpływ warunków na konkretny parametr można przedyskutować, rysunek może jedynie przedstawiać zależność aktywności/konwersji od warunków prowadzenia procesu.

Podobnie, „Al 2p XPS”. Rozumiem, że chodzi o wyniki pomiarowe, a więc stosowne widma.

Kolejno, „Synteza β-jononu...” nie brzmi jak schemat ilustrujący przebieg syntezy.

- Niekonsekwentny jest także sposób oznaczania stopień utlenienia pierwiastka w nazwie związku chemicznego. Format zapisu to liczba rzymska w nawiasie okrągłym, *bez spacji* pomiędzy członem nazwy a nawiasem.
- Zastosowanie w pracy skrótów myślowych typu: „Preparat pod kątem 60° obracał się z regulowaną prędkością...”

Wnioski końcowe

Praca doktorska Pana mgr. inż. Bartosza Zawadzkiego dotyczy bardzo aktualnych i niezmiernie ważnych zagadnień tak dla chemii środowiska, chemii farmaceutycznej jak i wielkotonażowych procesów przemysłowych. W mojej opinii praca nie budzi najmniejszych zastrzeżeń po względem formalnym i merytorycznym wnosząc wiele elementów nowości naukowej, tak w odniesieniu do części badawczej jak i interpretacyjnej. Analiza wyników oraz ich dyskusja wskazuje na dojrzałość naukową Doktoranta. Stosownie do powyższego stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana Bartosza Romualda Zawadzkiego spełnia kryteria określone w art. 228 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz.U.2021 poz. 478) i wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Biorąc pod uwagę wysoką wartość merytoryczną przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej, rzetelność i dojrzałość w formułowaniu hipotez badawczych, obszerny zakres przeprowadzonych badań, które w mojej opinii stanowią istotny wkład w rozwój prac nad projektowaniem katalizatorów procesów katalitycznego uwodornienia w warunkach ciągłego przepływu *wnoszę o wyróżnienie pracy*, jeżeli Doktorant spełnia pozostałe wymogi stawiane dla wyróżnionych prac w Instytucie Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk.