



Prof. dr hab. Agnieszka Nosal - Wiercińska
Katedra Chemii Analitycznej
Instytut Nauk Chemicznych
Wydział Chemii
Pl. M. Curie – Skłodowskiej 3/518
20-031 Lublin
Tel. 81 537 56 27
agnieszka.nosal-wiercinska@mail.umcs.pl

Lublin, 23.06.2026r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej

mgr. Mateusza Adama Baluka

pt. Fotoaktywne materiały funkcjonalne na bazie szkieletu metalo-organicznego NH₂-MIL-125 (Ti)

Praca została wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Adrian Zaleskiej-Medynskiej jako promotora oraz dr inż. Aleksandry Pieczyńskiej jako promotora pomocniczego i przedłożona Radzie Dyscypliny Nauki Chemiczne Uniwersytetu Gdańskiego.

Jakość wody, powietrza i gleb stanowi główny czynnik warunkujący dobrostan i zrównoważony rozwój społeczeństw ale również utrzymanie równowagi ekologicznej ekosystemów. Globalne wyzwania związane z zanieczyszczeniem środowiska, zmianami klimatycznymi czy kurczącymi się zasobami paliw kopalnych jako konwencjonalnych źródeł energii wymuszają wręcz podjęcie działań umożliwiających ograniczenie emisji zanieczyszczeń lub zmniejszenie ich negatywnego wpływu. Postęp naukowy zwiększył świadomość społeczną w zakresie form zanieczyszczeń i na nowo rozbudził potrzebę ich skutecznej eliminacji.

Tematyka badawcza rozprawy doktorskiej Pana mgr. Mateusza Adama Baluka bardzo dobrze wpisuje się we wspomniany powyżej nurt poszukiwania i otrzymywania



**Prof. dr hab. Agnieszka Nosal - Wiercińska**

Katedra Chemii Analitycznej

Instytut Nauk Chemicznych

Wydział Chemii

Pl. M. Curie – Skłodowskiej 3/518

20-031 Lublin

Tel. 81 537 56 27

agnieszka.nosal-wiercinska@mail.umcs.pl

nowych, jeszcze bardziej skutecznych materiałów stosowanych do eliminacji zanieczyszczeń środowiska naturalnego czy też poszukiwania alternatywnych rozwiązań dotyczących paliw. Obejmuje ona otrzymanie i charakterystykę czterech serii fotokatalizatorów na bazie NH₂-MIL-125 (Ti). W pierwszej serii otrzymano 2 typy materiałów - hybrydowe złożone z szkieletu metalo-organicznego, TiO₂ i nanocząstek metali szlachetnych oraz pochodne szkieletów modyfikowane nanocząstkami metali szlachetnych. Materiały te zostały przetestowane w modelowych reakcjach fotokatalitycznych degradacji fenolu, jak również w fotogenerowaniu wodoru. Druga seria materiałów była związana z opracowaniem metody modyfikacji NH₂-MIL-125 (Ti) miedzią i/lub srebrem poprzez metalację, fotoosadzanie lub inkorporację. Otrzymane materiały wykorzystano w reakcji fotokonwersji CO₂ do kwasu mrówkowego pod wpływem promieniowania z zakresu widzialnego. W trzeciej serii materiałów znalazły się szkielety metalo-organiczne, które zostały otrzymane w wyniku opracowanej nowej metody wtrysku na gorąco i przetestowane w reakcji fotodegradacji fenolu. Otrzymane tą metodą proszki zostały również porównane do materiałów otrzymanych klasyczną metodą solwotermalną. Na podstawie nowej procedury syntezy otrzymano materiały do czwartej serii badań, które zawierały pochodne tlenkowe NH₂-MIL-125 (Ti) modyfikowane Cu, Ni lub Co. Fotokatalizatory z tej serii zostały zbadane w reakcji fotodegradacji zanieczyszczeń z jednoczesnym generowaniem wodoru z wykorzystaniem naturalnych wód morskich jako medium reakcyjnego.

Wszystkie otrzymane materiały kompleksowo scharakteryzowano pod względem fizykochemicznym wykorzystując do tego całą gamę technik pomiarowych. Wartością dodaną jest zaproponowany w każdej z serii badań mechanizm fotoreakcji oraz wspomaganie eksperymentu modelowaniem teoretycznym.

Recenzowana rozprawa doktorska napisana jest w języku polskim i oparta jest na cyklu czterech publikacji naukowych, które ukazały się w renomowanych czasopismach



Prof. dr hab. Agnieszka Nosal - Wiercińska
Katedra Chemii Analitycznej
Instytut Nauk Chemicznych
Wydział Chemii
Pl. M. Curie – Skłodowskiej 3/518
20-031 Lublin
Tel. 81 537 56 27
agnieszka.nosal-wiercinska@mail.umcs.pl

naukowych z listy Filadelfijskiego Instytutu Informacji Naukowej (*Catalysis Science and Technology, Applied Catalysis B: Environment and Energy, Chemical Engineering Journal, International Journal of Hydrogen Energy*). We wszystkich pracach Doktorant jest pierwszym autorem a jego udział w ich powstaniu jest dominujący. Deklarowany zakres merytoryczny jest szeroki i dotyczy opracowania koncepcji i metodologii, przeprowadzenia badań, analizy wyników oraz przygotowania manuskryptów. Sumaryczny współczynnik wpływu (*Impact Factor*) tych publikacji wynosi 45,7, co daje bardzo wysoki średni IF przypadający na jedną pracę równy 11,425. Biorąc powyższe fakty pod uwagę, stwierdzam, że Doktorant wykazał się bardzo wysoką aktywnością na wszystkich etapach badań, co świadczy o jego dużej samodzielności i szerokiej wiedzy w zakresie podjętego tematu badawczego.

Teksty publikacji naukowych wchodzące w skład rozprawy doktorskiej wraz z materiałami uzupełniającymi zostały poprzedzone częścią opisową, która liczy 114 stron. Składają się na nią następujące rozdziały: lista skrótów, streszczenie (również w języku angielskim), część literaturowa, cel i zakres badań, metodyka badawcza, wyniki badań i dyskusja, wnioski, bibliografia oraz dorobek naukowy i działalność pozanaukowa. Dysertacja zawiera również oświadczenia współautorów.

Studia literaturowe przedstawione na 28 stronach zawierają szczegółowe wprowadzenie teoretyczne związane z budową, synteza, charakterystyką, zastosowaniem szkieletów metalo-organicznych (MOF-y). Szczególną uwagę poświęcono również fotokatalizie oraz odmianie MOF-u typu MIL-125 (Ti), który to jest szkieletem metaloorganicznym zbudowanym z jonów Ti^{4+} oraz anionów kwasu tereftalowego.

W kolejnej części rozprawy Autor klarownie wskazuje na cel i zakres badań oraz metodykę badawczą.

Część Wyniki badań i dyskusja Autora do serii publikacji stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej obejmuje przedstawienie metodyki syntez i charakterystyki



Prof. dr hab. Agnieszka Nosal - Wiercińska
Katedra Chemii Analitycznej
Instytut Nauk Chemicznych
Wydział Chemii
Pl. M. Curie – Skłodowskiej 3/518
20-031 Lublin
Tel. 81 537 56 27
agnieszka.nosal-wiercinska@mail.umcs.pl

badanych materiałów oraz streszczenie wyników zaprezentowanych szczegółowo w publikacjach. Doktorant oparł część opisową na 172 pozycjach literaturowych, wśród których przeważającą większość stanowią najnowsze doniesienia ściśle powiązane z tematyką rozprawy. Świadczy to zatem o dużej aktualności problemu badawczego, jaki został zdefiniowany i rozwiązany przez Doktoranta w toku przeprowadzonych eksperymentów.

Przedstawiony przez Pana mgr. Mateusza Adama Baluka materiał doświadczalny, a także wnikliwa analiza i dyskusja uzyskanych wyników wnosi znaczący element nowości naukowej w obecny stan wiedzy. Wszystkie postawione cele pracy zostały poprawnie i w pełni zrealizowane. Wyniki badań zostały przedstawione w przejrzysty i zrozumiały sposób. Odznaczają się one oryginalnością, a ich rezultaty wskazują na olbrzymi potencjał aplikacyjny. Jest to niezwykle istotne z punktu widzenia stale rosnącego zapotrzebowania na nowe, innowacyjne rozwiązania dotyczące otrzymywania materiałów, które mogą być wykorzystane jako potencjalne materiały do fotodegradacji zanieczyszczeń organicznych, fotogenerowania wodoru jako zielonego paliwa lub fotokonwersji dwutlenku węgla do użytecznych paliw.

Za najważniejsze i najbardziej wartościowe osiągnięcie recenzowanej rozprawy doktorskiej uważam **otrzymanie czterech serii fotokatalizatorów na bazie NH₂-MIL-125 (Ti), które charakteryzowały się wysoką aktywnością fotokatalityczną w zakresie promieniowania UV-Vis lub Vis w reakcjach fotokonwersji CO₂, fotogenerowania wodoru i/lub fotodegradacji zanieczyszczeń.**

W pierwszej serii materiałów opracowano dwie serie fotokatalizatorów pochodzących z NH₂-MIL-125 (Ti), stosując metody hydrolizy, kalcynacji i fotodepozycji. Materiały h-MOFs wykazywały wysoką aktywność w generowaniu wodoru pod wpływem promieniowania z zakresu UV-Vis, podczas gdy ch-MOFs wykazywały wysoką aktywność w procesie degradacji fenolu pod wpływem promieniowania UV-Vis lub Vis. Modyfikacja





Prof. dr hab. Agnieszka Nosal - Wiercińska
Katedra Chemii Analitycznej
Instytut Nauk Chemicznych
Wydział Chemii
Pl. M. Curie – Skłodowskiej 3/518
20-031 Lublin
Tel. 81 537 56 27
agnieszka.nosal-wiercinska@mail.umcs.pl

metalami szlachetnymi materiałów h-MOFs wzmocniła efekt fotokatalityczny (generowania wodoru) podczas naświetlania promieniowaniem UV-Vis, z kolei obniżyła ten efekt odpowiednio dla próbek ch-MOFs (degradacji zanieczyszczeń). NPs metali szlachetnych wykazywały natomiast ważną rolę w zwiększeniu aktywności dla ch-MOFs pod wpływem promieniowania z zakresu Vis.

W drugiej serii materiałów otrzymano trzy rodziny fotokatalizatorów na bazie NH₂-MIL-125 (Ti) za pomocą różnych metod – metalacji, fotoosadzania i inkorporacji, używając do modyfikacji związków srebra i/lub miedzi. Zaproponowano sposób oczyszczania materiału, który wykazywał się wysokimi właściwościami sorpcyjnymi wychwytu CO₂. Modyfikacje miedzią zmniejszyły powierzchnię właściwą i sorpcję CO₂ w porównaniu z niemodyfikowanym MOF-em, ciepło adsorpcji CO₂ tych materiałów uległo zwiększeniu. Modelowy eksperyment fotokonwersji CO₂ z użyciem otrzymanych materiałów wykazał, że pod wpływem promieniowania z zakresu Vis materiały modyfikowane przez metalację miedzią generują największe ilości kwasu mrówkowego. Dodatkowo najlepszy materiał wykazywał stabilność fotokatalityczną zbadaną w trzech cyklach, bez widocznej znacznej zmiany w aktywności i właściwościach strukturalnych.

W trzeciej serii materiałów otrzymano NH₂-MIL-125 (Ti) metodą wtrysku na gorąco, porównując wybrane właściwości fizykochemiczne i fotokatalityczne z materiałami otrzymanymi w klasycznej metodzie solwotermalnej. W optymalnych warunkach syntezy otrzymano jednorodny materiał o oktaedrycznym kształcie cząstek, wykazujący wysoką krystaliczność i wysokie właściwości sorpcyjne. W porównaniu z materiałem otrzymanym metodą solwotermalną wykazuje nieco niższe właściwości sorpcyjne, choć ma prawie identyczne właściwości krystaliczne, optyczne oraz fotokatalityczne w procesie degradacji fenolu pod wpływem promieniowania z zakresu UV-Vis. Stwierdzono, że materiał działa, generując głównie anionorodniki tlenkowe, które reagują z zanieczyszczeniem, degradując go. Ponadto w przypadku obu metod





Prof. dr hab. Agnieszka Nosal - Wiercińska
Katedra Chemii Analitycznej
Instytut Nauk Chemicznych
Wydział Chemii
Pl. M. Curie – Skłodowskiej 3/518
20-031 Lublin
Tel. 81 537 56 27
agnieszka.nosal-wiercinska@mail.umcs.pl

otrzymywania testy stabilności w wodzie wykazały niewielkie i porównywalne wymywanie się łącznika chemiczne – prawdopodobnie z porów.

W czwartej serii materiałów otrzymano mieszane pochodne tlenkowe z materiałów otrzymanych metodą wtrysku na gorąco. Opracowano sposób wytwarzania porowatych struktur tlenkowych z modyfikowanych Cu, Ni, lub Co NH₂-MIL-125 (Ti), tworząc wieloskładnikowe hybrydy. Zbadano również mechanizm formowania się tlenków z MOF-u modyfikowanego miedzią. Materiał modyfikowany miedzią wykazywał najlepsze wartości degradacji modelowego zanieczyszczenia (5-FU) ze sztucznej wody morskiej i osiągał wysokie właściwości generowania wodoru z jednoczesnym usuwaniem 5-FU w wodzie morskiej z dodatkiem gliceryny. Ponadto wykazano, że materiał wykazuje niższą, ale wciąż wysoką efektywność tego procesu z wykorzystaniem naturalnej wody morskiej pobranej z Morza Bałtyckiego, Morza Śródziemnego i Oceanu Atlantyckiego.

Obowiązkiem recenzenta jest również wskazanie pewnych nieścisłości oraz kwestii dyskusyjnych, których oczywiście bardzo trudno uniknąć podczas opracowywania tak obszernego materiału badawczego jaki został przesłany do recenzji. Zadanie to zostało mi ułatwione, ponieważ oceniany cykl prac został poddany rzeczowej i dogłębnej analizie przez kompetentnych ekspertów w procesie recenzji związanej z ich publikacją na łamach renomowanych czasopism naukowych. Niemniej jednak w czasie lektury rozprawy doktorskiej, nasunęły mi się pewne uwagi, wątpliwości i pytania, które przytoczyłam poniżej oraz proszę o odniesienie się do nich podczas publicznej obrony pracy.

- Dlaczego spośród wielu MOF-ów to NH₂-MIL-125 (Ti) został wybrany do przeprowadzenia przedstawionych badań?
- Jakie są ograniczenia otrzymywania przedstawionych fotokatalizatorów?
- Dlaczego w części badań zastosowano naturalną wodę morską jako medium reakcyjne?





Prof. dr hab. Agnieszka Nosal - Wiercińska
Katedra Chemii Analitycznej
Instytut Nauk Chemicznych
Wydział Chemii
Pl. M. Curie – Skłodowskiej 3/518
20-031 Lublin
Tel. 81 537 56 27
agnieszka.nosal-wiercinska@mail.umcs.pl

Przedstawione powyżej uwagi, pytania lub sugestie nie umniejszają w żadnym stopniu bardzo wysokiej wartości merytorycznej zaprezentowanych wyników, a co szczególnie istotne nie wpływają na moją bardzo pozytywną ocenę recenzowanej dysertacji. Ich wskazanie może okazać się jednak przydatne w planowaniu przyszłych badań oraz podczas przygotowywania kolejnych opracowań naukowych.

Chciałabym szczególnie podkreślić niezwykle imponujący dorobek naukowy Doktoranta, który znacznie wykracza poza przeciętne osiągnięcia prezentowane przez młodych naukowców. Pan mgr Mateusz Adam Baluk jest współautorem 27 oryginalnych publikacji naukowych, które to ukazały się w renomowanych czasopismach z listy filadelfijskiej o bardzo wysokich współczynnikach wpływu IF oraz 4 inne teksty naukowe, 1 przyznany patent i 4 zgłoszenia patentowe. Dorobek naukowy Doktoranta stanowią także 93 prezentacje na konferencjach międzynarodowych i krajowych, w tym 22 wystąpienia ustne. Naukowy potencjał Doktorant prezentuje również jako kierownik (8) i wykonawca (9) w grantach, projektach, ekspertyzach w tym również finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki oraz w odbytych stażach w cenionych ośrodkach badawczych głównie poza granicami kraju. Swoje zdolności organizacyjne, a tym samym umiejętność współpracy, wykazał współorganizując konferencje naukowe.

Pragnę zaznaczyć, że zarówno działalność naukowa ale także organizacyjna Pana mgr. Baluka była wielokrotnie nagradzana.

Na podstawie przeprowadzonej analizy rozprawy doktorskiej mgr. Mateusza Adama Baluka stwierdzam, że recenzowana praca jest oryginalnym i wartościowym opracowaniem, które stanowi znaczące rozszerzenie wiedzy w dziedzinie nauk chemicznych. Otrzymane materiały mogą stanowić doskonałą alternatywę i być wykorzystane jako potencjalne materiały do fotodegradacji zanieczyszczeń organicznych, fotogenerowania wodoru jako zielonego paliwa lub fotokonwersji dwutlenku węgla do użytecznych paliw.





Prof. dr hab. Agnieszka Nosal - Wiercińska
Katedra Chemii Analitycznej
Instytut Nauk Chemicznych
Wydział Chemii
Pl. M. Curie – Skłodowskiej 3/518
20-031 Lublin
Tel. 81 537 56 27
agnieszka.nosal-wiercinska@mail.umcs.pl

Na podkreślenie zasługuje szeroki zakres wykonanej pracy doświadczalnej, a także umiejętność interpretacji danych uzyskanych przy zastosowaniu różnych technik pomiarowych. Wskazuje to na solidne podstawy naukowe Doktoranta, a także nowoczesne podejście do postawionego problemu badawczego. Dodatkowo, tematyka pracy bardzo dobrze wpisuje się w realizowane aktualnie strategie rozwoju związane z nurtem „zielonej chemii”

W podsumowaniu stwierdzam, że recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska Pana mgr. Mateusza Adama Baluka spełnia kryteria określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668). Na tej podstawie wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Uniwersytetu Gdańskiego o przyjęcie pracy i dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego celem uzyskania stopnia doktora nauk chemicznych w dyscyplinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dziedzinie nauki chemiczne.

Ponadto składam wniosek o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej, motywując go aktualnością podjętej tematyki badawczej, jej rozległym zakresem, wysoką jakością prezentowanych wyników, ważnym aspektem praktycznym oraz istotnym wkładem uzyskanych rezultatów w istniejący stan wiedzy. Chciałabym podkreślić również nowatorskie podejście do postawionego problemu badawczego, a także samodzielność Doktoranta w jego rozwiązaniu. W mojej ocenie znacząca aktywność naukowa Pana mgr. Mateusza Adama Baluka w pełni zasługuje na wyróżnienie.

Prof. dr hab. Agnieszka Nosal – Wiercińska

