



Politechnika Wrocławska

Wydział Chemiczny

Wrocław, 28.08.2026

dr hab. inż. Anna Dzimitrowicz, prof. uczelni
Katedra Chemii Analitycznej i Metalurgii Chemicznej
Wydział Chemiczny
Politechnika Wrocławska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej MSc. Elvany Çako
pt.: „Hybrid g-C₃N₄- based photocatalysts for degradation of pharmaceutical micropollutants”

Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest Uchwała Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Gdańskiej z dnia 12 maja 2026 roku oraz art. 190 ust. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2024 r. Poz. 1571 z późn. zm.).

Wprowadzenie

Rozprawa doktorska pt.: „Hybrid g-C₃N₄-based photocatalysts for degradation of pharmaceutical micropollutants” została zrealizowana przez MSc. Elvanę Çako w Politechnice Gdańskiej. Promotorką pracy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Anna Zielińska-Jurek.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska porusza ważny problem społeczny, związany z zanieczyszczeniem środowiska wodnego, spowodowanym obecnością w nim wybranych farmaceutyków. Przedstawione w dysertacji prace badawcze są związane z opracowaniem innowacyjnych materiałów do degradacji wybranych zanieczyszczeń ze środowiska wodnego, m.in. ibuprofenu, karbamazepiny oraz paracetamolu.

Ogólna ocena rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa doktorska została zredagowana w formie hybrydowej, złożonej zarówno z opublikowanych publikacji naukowych (Rozdziały III-V), jak również z nieopublikowanego wyników przeprowadzonych prac badawczych (Rozdział VI). Rozdziały (III-VI) zostały poprzedzone szczegółowym wprowadzeniem literaturowym (Rozdział I), opisem zakresu, celów pracy oraz metodologii, jak i opisem zawartości rozprawy doktorskiej (Rozdział II). Kolejne rozdziały pracy, tj. Rozdziały III-V, stanowią odpowiednio publikacje naukowe, włączone do rozprawy doktorskiej. Z kolei rozdział VI stanowi opis uzyskanych, dotychczas nieopublikowanych wyników prac badawczych. Zakończenie pracy doktorskiej stanowią wnioski, po których Doktorantka załączyła oświadczenia od współautorów prac naukowych, jak również przedstawiła swoją aktywność naukową związaną z dysertacją.

W pracy doktorskiej nie zabrakło również oczywistych elementów tego rodzaju prac, a mianowicie strony tytułowej, oświadczenia, opisu dysertacji (zawierający streszczenia w języku polskim i angielskim), podziękowań, spisu treści, wykazu skrótów, a także deklaracji udziału współautorów artykułów



CESAER
The strong and united voice of universities
of science and technology in Europe



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska
Wydział Chemiczny

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

www.pwr.edu.pl
www.wch.pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51

Nr konta:
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



naukowych w przygotowaniu poszczególnych publikacjach (sekcja po wnioskach), a także wykazania aktywności naukowej Doktorantki związanej z dysertacją.

Rdzeń dysertacji stanowią trzy publikacje naukowe, opublikowane w renomowanych czasopismach z listy JCR (ang. *Journal Citation Reports*), a mianowicie:

1. ąako, E., Dudziak, S., Głuchowski, P., Trykowski, G., Pisarek, M., Borzyszkowska, A. F., ... & Zielińska-Jurek, A. (2023). *Heterojunction of (P, S) co-doped g-C₃N₄ and 2D TiO₂ for improved carbamazepine and acetaminophen photocatalytic degradation*. **Separation and Purification Technology**, 311, 123320, cytowana 50 razy zgodnie z bazą *Scopus* (dostęp dnia 28.08.2026, bez autocytowań) - stanowiąca rozdział III dysertacji,
2. ąako, E., Gomez-Polo, C., Trykowski, G., Pisarek, M., Sikora, K., & Zielińska-Jurek, A. (2026). *Dual Approach for Effective Photodegradation and Mineralization of Carbamazepine Using a Ternary ZnFe₂O₄/(P, S)-g-C₃N₄/Two-Dimensional TiO₂ Composite*. **ACS Omega**, 11, 7486, cytowana 0 razy zgodnie z bazą *Google Scholar* (dostęp dnia 28.08.2026) - stanowiąca rozdział IV dysertacji,
3. ąako, E., Gomez-Polo, C., Kowalkińska, M., Pisarek, M., & Zielińska-Jurek, A. (2026). *Comparison of ibuprofen photodegradation by persulfate-assisted and magnetic field-assisted photocatalysis processes*. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification**, 222, 110740, cytowana 1 raz zgodnie z bazą *Scopus* (dostęp dnia 28.08.2026, bez autocytowań) - będąca rozdziałem V dysertacji.

W tej części Recenzentka zwraca uwagę na brak przedstawionej krótkiej listy publikacji, wchodzących do pracy doktorskiej, która wg. Recenzentki powinna zostać zamieszczona już na początku rozprawy doktorskiej, zamiast na jej końcu. Jest to związane z tym, że w końcowej części pracy, a mianowicie w sekcji „Aktywność badawcza związana z dysertacją”, Kandydatka wykazuje cztery prace naukowe. Oprócz prac wskazanych powyżej przez Recenzentkę jako rdzeń dysertacji, Kandydatka uwzględnia również publikację: ąako, E., Gunasekaran, K. D., Rajendran, S., & Zielińska-Jurek, A. (2024). *Recent advances on magnetic carbon-related materials in advanced oxidation processes of emerging pollutants degradation*. **Water Resources and Industry**, 31, 100241, jako pracę naukową związaną z aktywnością badawczą, związaną z dysertacją. Praca ta, stanowiąca przegląd literaturowy, nie została włączona do przedstawionej do recenzji dysertacji. Mając na uwadze wybrane oświadczenia udziału współautorów prac, a mianowicie Dr. Kumaravel Dinesh Gunasekaran, prof. dr Saravanan Rajendran, MSc. ąako oraz prof. dr hab. inż. Anny Zielińskiej-Jurek w/w praca naukowa jest wykazywana jako część dysertacji.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska
Wydział Chemiczny

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

www.pwr.edu.pl
www.wch.pwr.edu.pl

REGON: 00001614
NIP: 896-000-58-51

Nr konta:
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



1. Proszę o wyjaśnienie, dlaczego publikacja Çako, E., Gunasekaran, K. D., Rajendran, S., & Zielińska-Jurek, A. (2024). *Recent advances on magnetic carbon-related materials in advanced oxidation processes of emerging pollutants degradation. Water Resources and Industry*, 31, 100241, nie została włączona do rozprawy doktorskiej jako jej część (zgodnie z opisem zawartości pracy przedstawionym przez Kandydatkę na stronach 69-82), mimo tego, że praca ta została wykazana w sekcji „Aktywność badawcza związana z dysertacją”.

W dysertacji przedstawiono również opis wyników prac badawczych, które stanowią kontynuację prac eksperymentalnych, dotyczących materiałów na bazie grafitowego azotku węgla, stosowanych do degradacji wybranych zanieczyszczeń organicznych ze środowiska wodnego.

2. Dlaczego Doktorantka zdecydowała się w rozdziale II, podrozdziale 3. o nieprzedstawienie skróconego opisu rozdziału VI, pomimo tego, że w sposób skrócony opisały prace naukowe, stanowiące podstawę rozdziałów III, IV i V?

Uszczegółowiając strukturę rozprawy doktorskiej. Dysertacja rozpoczyna się Wprowadzeniem (Rozdział I), w którym Kandydatka w sposób niezwykle precyzyjny opisuje istotne problemy związane z globalnym zanieczyszczeniem środowiska farmaceutykami, tj. karbamazepina, ibuprofen i paracetamol, podając zawartości tych związków organicznych w próbkach pochodzących z wybranych próbek wodnych lub/i w próbkach z oczyszczalni ścieków. Przedstawione wartości są niezwykle istotne ze względu na określenie poziomu tych związków organicznych w środowisku wodnym. Kolejno, Doktorantka przedstawia właściwości ekotoksyczne roztworów wodnych, obrazując w sposób niezwykle szczegółowy wartości m.in. $LC_{50, 48 h}$, $LC_{50, 96 h}$ i $EC_{50, 96 h}$ dla karbamazepiny i paracetamolu, jednakże Recenzentka nie znalazła odpowiednich danych dla ibuprofenu.

3. Proszę o przedstawienie wartości $LC_{50, 48 h}$, $LC_{50, 96 h}$ i $EC_{50, 96 h}$ dla ibuprofenu w odniesieniu do wybranych modeli biologicznych.

Następnie Kandydatka opisuje procesy zaawansowanego utleniania, stosowane do usuwania mikrozanieczyszczeń ze środowiska wodnego, ze szczególnym uwzględnieniem połączenia heterogenicznych fotokatalizatorów z metodami zaawansowanego utleniania lub z zewnętrznym polem magnetycznym. Na uwagę zasługuje dokładne opisanie w/w sposobów usuwania zanieczyszczeń przez Kandydatkę, jednakże może warto byłoby przedstawić najważniejsze cechy danego sposobu usuwania zanieczyszczeń w formie osobnej Tabeli.

Warto również zwrócić uwagę na detaliczne opisanie możliwości zastosowania materiałów na bazie grafitowego azotku węgla w procesach zaawansowanego utleniania do usuwania mikrozanieczyszczeń. Ten podrozdział został przygotowany przez Kandydatkę w sposób uporządkowany, jednakże w niektórych miejscach tekstu widoczne są drobne błędy edytorskie. Wspomniane błędy edytorskie są związane m.in. z zamiennym stosowaniem nazw tlenków i symboli tlenków, zamiast konsekwentnego stosowania jednej,



ściśle określonej nomenklatury w całej rozprawie. Ta część kończy się listą referencji, jednakże zdaniem Recenzentki nie we wszystkich przypadkach zostały podane pełne dane bibliograficzne pozycji literaturowych. Nie wpływa to na możliwość znalezienia danej pracy w bazach naukowych, tj. np. *Scopus* czy *WoS*, jednakże może stanowić niespójność (referencje nr 13, 16, 67, 70 127, 131, 132).

Podsumowując, wprowadzenie do dysertacji zostało przedstawione w sposób rzetelny i klarowny, jednakże dodatkowe przedstawienie w formie Tabeli np. cech danego sposobu usuwania zanieczyszczeń byłoby niezwykle zasadne.

W rozdziale II Doktorantka przedstawia m.in. zakres, cele pracy oraz metodologię badań. Odnosząc się do przedstawionych protokołów syntezy związków chemicznych,

4. Proszę o dopracowanie czy procedury syntezy $g\text{-C}_3\text{N}_4$, $(P,S)\text{-}g\text{-C}_3\text{N}_4$, $2D\text{ TiO}_2$, i $(P, S)\text{-}g\text{-C}_3\text{N}_4/2D\text{ TiO}_2$ zostały opracowane w laboratorium czy też opierały się już na wcześniej opisanych doniesieniach literaturowych?

5. W odniesieniu do materiału ZnFe_2O_4 w jaki sposób Kandydatka potwierdziła, że uzyskany materiał wykazywał właściwości magnetyczne (strona 58)?

6. Proszę o przedstawienie w formie Tabeli do analizy jakich materiałów, wykorzystywano poszczególne techniki eksperymentalne tj. XRD, BET, DR/UV-Vis, PL, XRF, FTIR, TEM, SEM, EDS, XPS, EIS itp.

W tym rozdziale również Kandydatka przechodzi do opisu zawartości rozprawy doktorskiej, opisując które artykuły stanowią jej rdzeń, a które wyniki badań zostały opisane w rozdziale końcowym. Do tej części Recenzentka ma następujące pytania:

7. Proszę podać nowości naukowe prac wchodzących w skład Rozdziałów III-V odniesieniu do innych prac naukowych opisanych w literaturze.

8. Proszę o porównanie skuteczności opracowanych metod usuwania wybranych farmaceutyków z roztworów wodnych z innymi stosowanymi metodami ich usuwania opisanymi w literaturze.

9. Dlaczego Kandydatka wybrała ZnFe_2O_4 jako materiał o właściwościach magnetycznych zamiast np. Fe_3O_4 ?

10. W jaki sposób określono właściwości magnetyczne analizowanego materiału?

11. W odniesieniu do strony 80, na jakiej podstawie przypisano położenie pasm w widmie FTIR?

Podsumowując tą część dysertacji, uważam, że została ona przygotowana w sposób przemyślany, a także podkreślający wagę społeczną prac eksperymentalnych, prowadzonych w zespole p. prof. dr hab. inż. Anny Zielińskiej-Jurek.

Ocena prac naukowych stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej

Ze względu na to, że rozprawa doktorska została przygotowana w formie hybrydowej, poniżej przedstawiam ocenę prac naukowych (rozdział III-V), jak



CESAER

The strong and united voice of universities
of science and technology in Europe



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska
Wydział Chemiczny

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

www.pwr.edu.pl
www.wch.pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51

Nr konta:
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



również nieopublikowanych wyników badań (rozdział (VI), stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej.

Artykuł naukowy ąako, E., Dudziak, S., Głuchowski, P., Trykowski, G., Pisarek, M., Borzyszkowska, A. F., ... & Zielińska-Jurek, A. (2023). *Heterojunction of (P, S) co-doped g-C₃N₄ and 2D TiO₂ for improved carbamazepine and acetaminophen photocatalytic degradation*. **Separation and Purification Technology**, 311, 123320, dotyczy wytwarzania nowego rodzaju fotokatalizatora na bazie grafitowego azotku węgla, współdomieszkowanego fosforem i siarką, włączonego w strukturę dwuwymiarowego tlenku tytanu(IV), stosowanego do napędzanej energią słoneczną degradacji karbamazepiny i paracetamolu, jako przykładów związków odpornych na biodegradację. Uzyskany fotokatalizator szczegółowo scharakteryzowano z zastosowaniem szeregu technik eksperymentalnych, m.in. XRD, FTIR, PL, DR/UV-Vis, XPS i TEM. Kolejno porównano możliwości zastosowania opracowanego fotokatalizatora do usuwania karbamazepiny i paracetamolu. Określono także reaktywne formy, odpowiedzialne za rozkład omawianych związków organicznych. Zdefiniowano także produkty degradacji z zastosowaniem LC-MS, porównując uzyskane wyniki z obliczeniami DFT. Przedstawione badania są niezwykle ważne, gdyż w niezwykle detaliczny sposób przedstawiają charakterystykę opracowanego fotokatalizatora, ale także określają i wyjaśniają jego możliwości zastosowania do usuwania karbamazepiny i paracetamolu. **W odniesieniu do niniejszej pracy proszę Kandydatkę o odpowiedź na następujące pytania:**

- 12. Mając na uwadze wykorzystanie fotokatalizatora w maksymalnie sześciu cyklach degradacji, w jaki sposób, o ile w ogóle, możliwe byłoby zwiększenie trwałości uzyskanego fotokatalizatora?
- 13. Czy została określona ilościowo zawartość S i P w badanych próbkach?
- 14. Odnosząc się do Fig. 7., Dlaczego wybrano 350 nm jako długość fali do wzbudzenia?

W pracy ąako, E., Gomez-Polo, C., Trykowski, G., Pisarek, M., Sikora, K., & Zielińska-Jurek, A. (2026). *Dual Approach for Effective Photodegradation and Mineralization of Carbamazepine Using a Ternary ZnFe₂O₄/(P,S)-g-C₃N₄/Two-Dimensional TiO₂ Composite*. **ACS Omega**, 11, 7486, opisano dwutorowe podejście do efektywnej fotodegradacji i mineralizacji karbamazepiny m.in. z zastosowaniem trójskładnikowego kompozytu ZnFe₂O₄/(P,S)-g-C₃N₄/dwuwymiarowego TiO₂. Przedstawione w publikacji naukowej badania zostały przeprowadzone z najwyższą dokładnością, o czym świadczy zastosowanie licznych technik eksperymentalnych do charakterystyki uzyskanych materiałów. Niezwykle ważnym z ekonomicznego punktu widzenia jest określenie możliwości ponownego wykorzystania stosowanych materiałów w kilku cyklach, co zostało omówione w niniejszej pracy. Ponadto, istotne z gospodarczego punktu widzenia jest kalkulowanie kosztów prowadzenia procesów, w tym przypadku, kosztów oczyszczania w odniesieniu do



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska
Wydział Chemiczny

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

www.pwr.edu.pl
www.wch.pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51

Nr konta:
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



fotokatalizy, wspomaganej za pomocą nadsiarczanu katalizy, jak również zastosowanie tylko nadsiarczanu. W przypadku tej pracy przedstawiono całosciowy cykl badawczy, zaczynając od wytworzenia materiałów, ich charakterystyki, określenie możliwości zastosowania do degradacji karbamazepiny, wyjaśnienia mechanizmów i pokazania ścieżki rozkładu karbamazepiny w wyniku zastosowania odpowiedniego materiału, jak również określenia przydatności do ponownego użycia i zdefiniowania kosztów.

15. *W odniesieniu do Fig. 5 i Fig. 6, ile razy przeprowadzone były analizy związane z wyznaczeniem efektu wpływu związku maskującego oraz określenia zawartości hydroksykumaryny?*

Z kolei w pracy Çako, E., Gomez-Polo, C., Kowalkińska, M., Pisarek, M., & Zielińska-Jurek, A. (2026). *Comparison of ibuprofen photodegradation by persulfate-assisted and magnetic field-assisted photocatalysis processes. Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 222, 110740, przedstawiono możliwości zastosowania fotokatalizatorów do wspomaganego zewnętrznym polem magnetycznym lub za pomocą nadsiarczanu rozkładu ibuprofenu, jak również oranżu metylowego. Na uwagę zasługuje kompleksowe podejście badawcze, związane ze szczegółową charakterystyką właściwości fizykochemicznych, granulometrycznych i magnetycznych materiałów. Istotne jest także określenie wpływu każdego z komponentów uzyskanego kompozytu na skuteczność degradacji ibuprofenu i oranżu metylowego. Wykonane prace badawcze pozwoliły na odpowiedź na pytania dotyczące możliwości wyboru najskuteczniejszego sposobu usuwania zanieczyszczenia z roztworów wodnych, jednakże proszę o doprecyzowanie.

- 16. *W jaki sposób wykonano model QSAR celem określenia toksyczności ostrej i przewlekłej?*
- 17. *W odniesieniu do Fig. 4, ile razy przeprowadzone były eksperymenty związane z określeniem wpływu pola magnetycznego i fotokatalizy na rozkład oranżu metylowego i ibuprofenu?*

W rozdziale VI Kandydatka opisuje funkcjonalizację powierzchni hydroksylovanego $g\text{-C}_3\text{N}_4$ celem uzyskania struktury typu sfrustrowanej pary Lewisa. Do tego celu Doktorantka wybrała zdefektowany tlenowo $\text{ZnO}(\text{OH})$. Właściwości granulometryczne stosowanych w eksperymencie związków zostały szczegółowo scharakteryzowane z zastosowaniem takich technik eksperymentalnych jak m.in. XRD, FTIR, FESEM, XPS. Następnie zastosowano uzyskany układ, jak również m.in. poszczególne części układu do określenia fotokatalitycznego rozkładu karbamazepiny. Proszę o wyjaśnienie:

- 18. *W odniesieniu do Fig. 6.6. proszę o zaproponowanie mechanizmu usuwania karbamazepiny z zastosowaniem $\text{ZnOH-V}_\text{o}/g\text{-CN-OH}$.*

Po tej części pracy Doktorantka zawarła Wnioski, gdzie w sposób uporządkowany przedstawia najważniejsze osiągnięcia pracy doktorskiej.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska
Wydział Chemiczny

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

www.pwr.edu.pl
www.wch.pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51

Nr konta:
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska pt.: „*Hybrid g-C₃N₄-based photocatalysts for degradation of pharmaceutical micropollutants*” stanowi innowacyjne podejście naukowe, dotyczące opracowania innowacyjnych fotokatalizatorów hybrydowych na bazie g-C₃N₄ do usuwania wybranych mikrozanieczyszczeń ze środowiska wodnego. Do najważniejszych osiągnięć przedstawionych w dysertacji należą:

- wytworzenie, scharakteryzowanie i zastosowanie fotokatalizatora (P,S)-g-C₃N₄/dwuwymiarowego TiO₂, stosowanego do napędzanej energią słoneczną degradacji karbamazepiny i paracetamolu,

- uzyskanie, ocena właściwości i zastosowanie trójskładnikowego kompozytu ZnFe₂O₄/(P,S)-g-C₃N₄/dwuwymiarowego TiO₂ do skutecznej fotodegradacji i mineralizacji karbamazepiny, z określeniem trwałości stosowanego materiału, zdefiniowaniem produktów rozkładu karbamazepiny, jak również określeniem kosztów prowadzenia procesu fotokatalizy, kosztów prowadzenia fotokatalizy wspomaganiej nadsiaczanem oraz kosztów zastosowania nadsiaczanu,

- przygotowanie, scharakteryzowanie i wykazanie możliwości zastosowania ZnFe₂O₄/(P,S)-g-C₃N₄/dwuwymiarowego TiO₂ jako fotokatalizatora do wspomaganego zewnętrznym polem magnetycznym lub za pomocą nadisraczanu rozkładu ibuprofenu i oranżu metylowego,

- uzyskanie struktury typu sfrustrowanej pary Lewisa do fotokatalitycznego usuwania rozkładu karbamazepiny.

W mojej opinii przedstawiona do oceny rozprawa doktorska spełnia wymogi merytoryczne i formalne Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i w nauce (t.j. Dz.U. z 2024 r. Poz. 1571 z późn. zm.) i **wnoszę o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania doktorskiego.**

dr hab. inż. Anna Dzimitrowicz, prof. uczelni



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wrocławska
Wydział Chemiczny

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

www.pwr.edu.pl
www.wch.pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51

Nr konta:
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434