

Prof. dr hab. inż. Piotr Bugajski
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
aleja Mickiewicza 21,31-120 Kraków
piotr.bugajski@urk.edu.pl

Kraków, 23 lutego 2026r.

RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Humam Ahmed

z tytułu:

„Degradation of selected drug used in COVID-19 therapy in the aquatic environment by means of solar light driven processes”

[„Degradacja wybranych leków stosowanych w terapii COVID-19 w środowisku wodnym za pomocą procesów napędzanych światłem słonecznym”]

1. Podstawa przygotowania recenzji

Niniejsza recenzja została przygotowana na podstawie pisma przewodniego przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górniczo i Energetyki Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. Krzysztofa Labusa, z dnia 15 stycznia 2026 r. Pismo przewodnie dotyczące uchwały w sprawie oceny wyżej wymienionej pracy doktorskiej wpłynęło w dniu 19 stycznia 2026 r.

2. Informacje ogólne

Rozprawa doktorska mgr inż. Humam Ahmed pt. *"Degradation of selected drugs used in COVID-19 therapy in the aquatic environment by means of solar-light- driven processes"* została przygotowana w dziedzinie nauk technicznych, w ramach dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Ewa Felis z Katedry Biotechnologii Środowiskowej Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej.

3. Syntetyczny opis rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska liczy łącznie 133 strony i zawiera sześć rozdziałów merytorycznych oraz siedem rozdziałów dodatkowych, w tym wykaz cytowanej literatury, wykaz rysunków, wykaz tabel oraz wykaz publikacji autorstwa lub współautorstwa doktorantki.

Rozprawa zawiera łącznie 18 tabel, 25 rysunków i 128 cytowanych pozycji bibliograficznych.

Na stronach 12 i 13 zamieszczono streszczenia w języku polskim i angielskim, które w zwięzły sposób opisują cel badania, przeprowadzone eksperymenty oraz najważniejsze wnioski. Należy podkreślić, że treść streszczeń zachęca do szczegółowej lektury rozprawy.

[strona 1]

Pierwszy rozdział, „Przegląd literatury”, obejmujący 14 stron, zawiera wprowadzające informacje na temat aktualnych zagadnień związanych z lekami i środkami farmaceutycznymi stosowanymi w terapii COVID-19 oraz ich degradacją w środowisku. W rozdziale tym autorka szczegółowo opisuje: leki przeciwwirusowe jako nowe zanieczyszczenia środowiska wodnego, zaawansowane procesy utleniania, ich mechanizmy i korzyści dla środowiska. W dalszej części rozdziału przedstawiono szczegółową charakterystykę leków użytych w eksperymentach.

W rozdziale 2 prawidłowo sformułowano hipotezę badawczą, trzy problemy naukowe, główny cel badawczy oraz dziewięć celów szczegółowych. Pewne wątpliwości budzi treść szóstego celu szczegółowego: „Porównanie działania różnych fotokatalizatorów”. Powstaje pytanie: porównanie działania w odniesieniu do jakiego czynnika? Brakuje odniesienia wskazującego podstawę porównania.

W rozdziale 2.5 „Zakres pracy” autorka zwięźle opisuje treść poszczególnych rozdziałów pracy doktorskiej.

Rozdział 3, zawierający liczne podrozdziały, przedstawia opis zastosowanej metodologii pomiarowej oraz charakterystykę aparatury pomiarowej. Rozdział 3.2 „Matryce wodne” zawiera informacje na temat trzech rodzajów wody wykorzystanych w eksperymencie. W sekcji tej brakuje jednak szczegółowego opisu metodologii pobierania próbek wody z kranu i rzeki Ostropka. Czy próbki pobrano jednorazowo, czy też przygotowano próbki zbiorcze z kilku punktów poboru? Jak powszechnie wiadomo, analiza fizykochemiczna i bakteriologiczna pojedynczej próbki wody

może nie być reprezentatywna. Jaki rodzaj wody jest dostarczany do systemu dystrybucji wody w Gliwicach – woda powierzchniowa czy gruntowa? Kolejna kwestia dotyczy uzasadnienia wyboru tych trzech rodzajów wody do analizy. Z punktu widzenia analizy statystycznej w rozdziale „Materiały i metodologia” brakuje skali i interpretacji współczynnika determinacji R², który jest często wykorzystywany do interpretacji wielu zależności przedstawionych w rozdziale „Wyniki i dyskusja”.

Rozdział 4, „Wyniki i dyskusja”, opracowany na stronach 46-89, stanowi główną i merytorycznie najważniejszą część rozprawy doktorskiej. W rozdziale tym autorka konsekwentnie realizuje hipotezę badawczą, cel naukowy i odnosi się do sformułowanych problemów badawczych. Rozdział przedstawia wyniki badań wraz z ich interpretacją mechanistyczną i środowiskową. Rozdział 4 ma strukturę logiczną sekwencji badawczej charakterystycznej dla rozpraw doktorskich. Najważniejsze wątki naukowe w tej części obejmują: charakterystykę matryc wodnych (4.1.1), ocenę podstawowych procesów (fotoliza) (4.1.2), rozszerzenie na procesy zaawansowane (fotokataliza, H₂O₂) (4.1.3-4.1.5), analiza czynników modyfikujących mechanizm (aniony, adsorpcja) (4.1.6-4.1.7) oraz ocena mineralizacji jako miary skuteczności środowiskowej (4.1.8). Struktura ta wyraźnie wskazuje na świadomą narrację naukową, a nie tylko prezentację wyników. Niektóre kwestie wymagające wyjaśnienia pojawiają się w interpretacji wyników przedstawionych na kilku rysunkach, które zostaną szczegółowo omówione w sekcji „Merytoryczna ocena pracy doktorskiej”.

[strona] 2

Rozdział 5, „Podsumowanie i wnioski”, zawiera podsumowanie części analitycznej i interpretacji wyników. Rozdział ten zawiera zwięzłe podsumowanie i cztery rozszerzone wnioski.

Rozdział 6, „Kierunki przyszłych badań”, jest interesującym i stosunkowo rzadkim elementem rozpraw doktorskich. Stanowi on merytoryczne uzupełnienie części poświęconej wynikom. Autorka wskazuje ograniczenia przeprowadzonych badań i wskazuje realistyczne i istotne z naukowego punktu widzenia kierunki dalszych badań, w tym potrzebę identyfikacji produktów przemiany przy użyciu zaawansowanych technik analitycznych, pogłębienia badań mechanistycznych dotyczących reaktywnych form tlenu oraz oceny stabilności i możliwości ponownego wykorzystania fotokatalizatorów. Na uwagę zasługuje również krytyczna refleksja autorki na temat braku analiz FTIR i XRD, które mogłyby poszerzyć interpretację mechanizmów adsorpcji i zmian strukturalnych katalizatora. Proponowane zalecenia stanowią logiczną konsekwencję uzyskanych wyników, wzmacniają praktyczny charakter pracy i potwierdzają wysoką świadomość metodologiczną autorki, nie podważając jednocześnie fundamentalnych wniosków rozprawy.

4. Ocena formalna rozprawy doktorskiej

Z merytorycznego punktu widzenia struktura rozprawy doktorskiej mgr inż. Humam Ahmed jest odpowiednia i poprawna. Rozprawa przedłożona do recenzji stanowi logiczną sekwencję rozdziałów i podrozdziałów. Praca zawiera wszystkie wymagane elementy rozprawy doktorskiej i ma charakter zarówno naukowo-badawczy, jak i stosowany. Przejrzysta i logiczna struktura, przedstawienie wyników w formie tabel i wykresów oraz omówienie uzyskanych wyników sprawiają, że pomimo drobnych niedociągnięć językowych i stylistycznych czytelnik może w pełni podążać za rozumowaniem autorki.

W części analitycznej pracy doktorskiej każdy podrozdział opisuje najważniejsze wyniki i omawia je w odniesieniu do doniesień literaturowych. Ta godna pochwały forma analizy i dyskusji pozwala czytelnikowi jasno zidentyfikować namacalne wyniki każdej analizy bez konieczności poszukiwania ich wyłącznie w podsumowaniu lub wnioskach końcowych. Świadczy to o tym, że autorka posiada odpowiednią wiedzę teoretyczną i doświadczenie w danej dziedzinie nauki, a także umiejętności niezbędne do opracowania i prawidłowej analizy uzyskanych wyników. Wynika z tego, że mgr inż. Humam Ahmed jest w stanie właściwie zaplanować badania, osiągnąć cele naukowe, potwierdzić lub obalić hipotezy badawcze oraz prawidłowo zinterpretować wyniki, formułując odpowiednie wnioski i sugestie dotyczące przyszłych badań.

[strona 3]

Ponadto koncepcja badawcza dotycząca globalnego problemu, jakim jest zanieczyszczenie wody wynikające z powszechnego stosowania leków, w szczególności leków przeciwwirusowych stosowanych w leczeniu COVID-19, jest aktualna i przyszłościowa. Wirus COVID-19 nie zniknął, ale nadal mutuje, co wiąże się z rozwojem przemysłu farmaceutycznego i stosowaniem nowych leków. Wszystkie leki stosowane przez ludzi są i będą obecne w ściekach odprowadzanych do wód powierzchniowych i gruntowych. Dlatego badania przedstawione w recenzowanej rozprawie niewątpliwie przyczyniają się do rozwoju technologii oczyszczania ścieków (zaawansowanego oczyszczania) mających na celu neutralizację leków.

5. Merytoryczna ocena rozprawy doktorskiej

Głównym celem naukowym pracy doktorskiej mgr inż. Humam Ahmed jest analiza fotodegradacji wybranych leków stosowanych w terapii COVID-19 w środowisku wodnym pod wpływem światła słonecznego i sztucznego, zarówno w obecności, jak i przy braku fotokatalizatorów wspomagających proces degradacji. Jak wspomniano wcześniej, cel

naukowy i metodologia badań zostały jasno i precyzyjnie określone. W niniejszej sekcji oceniono treść merytoryczną zawartą głównie w rozdziale 4.

Rozdział 4, „Wyniki i dyskusja”, jest centralną i najbardziej istotną merytorycznie częścią rozprawy. W rozdziale tym autorka przedstawia i interpretuje wyniki badań w spójny i logiczny sposób. Wyniki nie są jedynie opisowe, ale poddane są dogłębnej analizie mechanistycznej i środowiskowej oraz dyskusji. Struktura tego rozdziału jest spójna i dobrze przemyślana. Analiza rozpoczyna się od scharakteryzowania składu jonowego badanych matryc wodnych (woda Milli-Q, woda z kranu i woda powierzchniowa), co stanowi ważny punkt odniesienia dla dalszych rozważań. Podejście to umożliwi wiarygodną interpretację różnic w skuteczności degradacji i podkreśla praktyczny charakter badań, wykraczający poza laboratoryjne systemy modelowe.

Na rysunkach 9a, 9b i 9c oraz w tabeli 7 podano współczynnik determinacji R^2 , wskazujący procent obserwacji wyjaśnionych przez model regresji. Jednak interpretacja wartości liczbowej R^2 nie pozwala stwierdzić, czy zależność jest statystycznie istotna, czy losowa. W tej części analizy przydatne mogłoby być zastosowanie dodatkowego współczynnika korelacji (xy) z testem istotności (np. testem t-Studenta). Sugestia ta dotyczy również dalszych analiz statystycznych w kolejnych podrozdziałach. Wyniki bezpośredniej fotolizy słonecznej wyraźnie wskazują na niską podatność badanych związków (IPN, RTR, REM) na ten proces, co zostało prawidłowo zinterpretowane jako uzasadnienie zastosowania zaawansowanych procesów utleniania. Co ważne, ten etap badań pełni kluczową funkcję metodologiczną, eliminując ryzyko nadinterpretacji wyników uzyskanych w obecności fotokatalizatorów.

[strona] 4

Najważniejszym elementem rozdziału „Wyniki i dyskusja” jest szczegółowa analiza procesów fotokatalitycznych. Autorka wykazała, że skuteczność degradacji zależy zarówno od rodzaju zastosowanego fotokatalizatora, jak i od właściwości fizykochemicznych degradowanego leku oraz składu matrycy wodnej. Szczególnie cenne jest rozróżnienie dominujących mechanizmów dla poszczególnych związków: kinetyka pseudo-pierwszego rzędu dla degradacji izoprinozyny, znacząca rola adsorpcji dla rytonawiru oraz złożona dynamika adsorpcji-desorpcji dla remdesiwiru. Wskazuje to na dojrzałe podejście do analizy kinetycznej i mechanistycznej. Ważnym wkładem jest również analiza wpływu wybranych anionów (Cl , SO_4^{2-} , NO_3^- , CO_3^{2-}) na skuteczność fotokatalitycznej degradacji. Autorka prawidłowo interpretuje ich rolę jako modyfikatorów ścieżek reakcji poprzez interakcje z rodnikami hydroksylowymi i powierzchnią katalizatora. Wyniki w przekonujący sposób wyjaśniają różnice między wodą modelową a rzeczywistymi wodami środowiskowymi.

Na uznanie zasługuje również uwzględnienie badań mineralizacji jako kryterium oceny rzeczywistej skuteczności procesu, ponieważ zapobiega to ograniczaniu interpretacji wyłącznie do zaniku związku macierzystego i wzmacnia ocenę środowiskową proponowanych technologii.

Podsumowując, rozdział „Wyniki i dyskusja” charakteryzuje się wysokim poziomem merytorycznym, spójnością logiczną i poprawnością metodologiczną. Autorka wykazuje się umiejętnością krytycznej analizy wyników i interpretacji ich w kontekście mechanizmów reakcji i warunków środowiskowych. Przedstawione wyniki w pełni realizują główne i szczegółowe cele rozprawy i stanowią cenny wkład w rozwój wiedzy na temat degradacji farmaceutyków przy użyciu procesów inicjowanych światłem słonecznym.

Po przeczytaniu tej części rozprawy nasuwa się kilka pytań: Czy według autorki zastosowane metody degradacji mogą być stosowane w przypadku ścieków z miejskich oczyszczalni ścieków? Jeśli tak, to na jakim etapie oczyszczania można by zastosować te procesy? Czy mają one uzasadnienie ekonomiczne zarówno w oczyszczalniach scentralizowanych, jak i domowych?

Uwagi redakcyjne i stylistyczne:

- Uproszczenie nadmiernie złożonych zdań.
W niektórych sekcjach występują wielokrotnie złożone zdania, które można podzielić na krótsze, co poprawiłoby przejrzystość przekazu i ułatwiło odbiór treści naukowej.
- Ujednolicenie czasu gramatycznego.
W opisie własnych badań autorki w niektórych miejscach używa się zamiennie czasu przeszłego i teraźniejszego. Aby zachować spójność stylistyczną, wskazane byłoby konsekwentne stosowanie jednego czasu (najczęściej czasu przeszłego).
- Wyjaśnienie odniesień anaforycznych.
Czasami pojawiają się zaimki takie jak „to”, „takie” lub „wyżej wymienione”, których odniesienia mogą nie być jednoznaczne. Warto byłoby zastąpić je pełnymi wyrażeniami, aby uniknąć niejasności interpretacyjnych.
- Złagodzenie sformułowań kategoriowych.
W kilku miejscach użyto wyrażen o silnym charakterze kategoriowym (np. „wyraźnie dowodzi”, „całkowicie eliminuje”). Styl naukowy pozwala na stosowanie bardziej ostrożnych sformułowań, takich jak „wskazuje”, „potwierdza tendencję” lub „sugeruje”.

[strona] 5

Pomimo tych uwag, uzyskane wyniki, ich analiza i wnioski potwierdzają, że mgr inż. Humam Ahmed osiągnął zamierzony cel naukowy, a zastosowana metodologia była odpowiednia i zgodna z aktualnym stanem wiedzy naukowej i technicznej. Rozprawa ma znaczną wartość naukową i aplikacyjną.

Na pochwałę zasługuje szeroki zakres zaplanowanych i zrealizowanych badań laboratoryjnych, świadczący o pracowitości i zaangażowaniu doktorantki w kompleksową analizę problemu badawczego. Wyniki są przedstawione w sposób jasny i przystępny w postaci wykresów i tabel.

6. Wkład autorki w rozwój dyscypliny

Rozprawa doktorska stanowi znaczący i oryginalny wkład naukowy w dyscyplinę inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki, szczególnie w dziedzinie technologii uzdatniania wody i zrównoważonych zaawansowanych procesów utleniania (AOP). Wkład ten obejmuje:

- a. a. Poszerzenie wiedzy na temat losów farmaceutyków w środowisku wodnym. Po raz pierwszy przeprowadzono kompleksową ocenę degradacji wybranych leków przeciwwirusowych stosowanych w terapii COVID-19 (izoprinozyna, rytonawir, remdesiwir) w warunkach symulowanego promieniowania słonecznego, z uwzględnieniem rzeczywistych matryc wodnych (woda z kranu i wody powierzchniowe). Uzyskane wyniki znacznie poszerzają aktualny stan wiedzy na temat abiotycznych procesów samoczyszczenia w środowisku wodnym.
- b. Wykazanie ograniczonej skuteczności bezpośredniej fotolizy. Rozprawa dostarcza nowych dowodów eksperymentalnych potwierdzających, że bezpośrednia fotoliza słoneczna badanych leków jest procesem niewystarczającym, co ma kluczowe znaczenie dla realistycznej oceny trwałości farmaceutyków w środowisku i projektowania technologii ich usuwania.
- c. Opracowanie i porównanie skutecznych systemów fotokatalitycznych. W badaniu systematycznie porównano skuteczność szeregu fotokatalizatorów półprzewodnikowych, w tym TiO₂ P25, ZnO i kompozytowego systemu SnO₂:ZnO, wykazując ich wysoką wydajność w procesach inicjowanych światłem słonecznym. Wyniki te stanowią znaczący wkład praktyczny w rozwój energooszczędnych technologii uzdatniania wody.
- d. Nowatorskie podejście kinetyczne do opisu degradacji farmaceutyków. Rozprawa wnosi oryginalny wkład metodologiczny poprzez: potwierdzenie kinetyki pseudo-pierwszego rzędu dla degradacji izoprinozyny, zastosowanie modelu Langmuira-Hinshelwooda do opisu usuwania rytonawiru oraz innowacyjne wykorzystanie dwufazowego modelu adsorpcji-desorpcji do opisu zachowania remdesiwiru w procesach fotokatalitycznych. Takie podejście nie zostało dotychczas opisane w literaturze.

[strona] 6

- e. Wykazanie kluczowej roli składu matrycy wodnej. Badanie wyraźnie wykazało, że skład jonowy wody (Cl, SO₄²⁻, HCO₃⁻) znacząco modyfikuje wydajność procesów AOP, co ma bezpośrednie znaczenie dla projektowania technologii środowiskowych w rzeczywistych, a nie wyłącznie laboratoryjnych warunkach.
- f. Wkład w rozwój zrównoważonych technologii środowiskowych. Proponowane rozwiązania oparte na fotokatalizie aktywowanej światłem słonecznym są zgodne z aktualnymi trendami w zakresie energooszczędnych i niskoemisyjnych technologii inżynierii środowiska, które są również ważne z punktu widzenia sektora energetycznego i gospodarki zasobami.

7. Wnioski końcowe

Niniejszym stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Humam Ahmed spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r., poz. 1571, z późn. zm.) i może stanowić podstawę do nadania stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Rekomenduję dopuszczenie Autorki do publicznej obrony pracy doktorskiej i nadanie jej stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Ponadto rekomenduję pracę do wyróżnienia ze względu na bardzo dobrze zaplanowane, przeprowadzone i udokumentowane badania laboratoryjne, a także nowatorskie wyniki dotyczące globalnego problemu zanieczyszczenia wody farmaceutykami i jego łagodzenia.

Kraków, dnia 23 lutego 2026r.

[podpis nieczytelny]

Prof. dr hab. inż. Piotr Bugajski

[strona] 7

Ja, Małgorzata Sokołowska, tłumacz przysięgły języka angielskiego w Gliwicach, nr wpisu na listę tłumaczy przysięgłych TP/1509/05. Poświadczam zgodność niniejszego tłumaczenia z okazanym mi oryginałem sporządzonym w języku angielskim. Gliwice, dnia 9 marca 2026 r. Repertorium nr 081/2026.