

Prof. dr hab. inż. Ewa Liwarska-Bizukojć
Politechnika Łódzka
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych

Łódź, 14.05.2026

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Kamrana Ayaza
pt. „Application of pure and mixed cultures of bacteria strains in synthetic
dyes removal processes – mechanisms and optimisation of process
conditions”**

(tytuł w języku polskim

**„Zastosowanie czystych i mieszanych kultur bakteryjnych w procesach usuwania
barwników syntetycznych – mechanizmy i optymalizacja warunków procesu”)**

Promotor: dr hab. Ewa Zabłocka-Godlewska, prof. PŚ

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Pana prof. dr hab. Krzysztofa Labusa, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w Politechnice Śląskiej w Gliwicach, z dnia 01.04.2026 (RIE-BD.512.17.2026) dotyczące przygotowania oceny wspomnianej wyżej rozprawy doktorskiej.

Recenzowana praca doktorska Pana mgr Kamrana Ayaza została napisana w języku angielskim za wyjątkiem streszczenia, które jest zarówno w języku angielskim, jak i w języku polskim.

Na wstępie recenzji warto podkreślić, że duża część wyników znajdujących się w rozprawie doktorskiej ukazała się w czterech publikacjach, spośród których trzy to artykuły naukowe opublikowane w renomowanych czasopismach o wysokim współczynniku wpływu (IF) od 3.4 do 7.2. Mam tu na myśli zwłaszcza publikacje w *Journal of Water Process Engineering* i *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Publikacje ukazały się w latach 2022-2026. We wszystkich wspomnianych publikacjach Pan Kamran Ayaz jest pierwszym autorem, a w dwóch spośród trzech artykułów naukowych jest również autorem do korespondencji, co wskazuje na Jego kluczową rolę w ich powstawaniu.

Barwniki syntetyczne uwalniane do środowiska przyrodniczego stanowią ogromne zagrożenie zarówno dla samego środowiska, jak i dla człowieka. Są to na ogół substancje trudnodegradowalne, toksyczne, kancerogenne, których znaczna część, bo nawet do 60%

początkowej masy barwnika, może nie być wykorzystana w procesach technologicznych i trafić do ścieków. Przemysł włókienniczy wyróżnia się na tle innych gałęzi przemysłu bardzo dużym zużyciem wody i barwników syntetycznych właśnie. Szacuje się, że większość z nich, bo od 65 do 75%, to barwniki azowe. Do usuwania barwników azowych ze ścieków wykorzystywane są metody chemiczne, fizyczne i biologiczne. Te ostatnie są tańsze i bardziej przyjazne dla środowiska przyrodniczego od pozostałych dwóch grup metod, dlatego budzą od wielu dziesięcioleci duże zainteresowanie zarówno wśród naukowców, jak i praktyków. Choć procesy biologicznego rozkładu barwników azowych w warunkach tlenowych i beztlenowych są dość dobrze poznane, to nadal poszukuje się nowych rozwiązań służących opracowaniu innowacyjnych technologii lub ulepszających istniejące już technologie. Celem tych działań jest poprawa skuteczności oczyszczania ścieków zawierających barwniki syntetyczne poprzez wykorzystanie nieznanych dotąd zdolności mikroorganizmów, czy optymalizację parametrów procesowych, która możliwa jest dzięki rozwojowi technik analizy fizykochemicznej, biochemicznej, czy mikrobiologicznej. Dlatego też uważam, że Pan mgr Kamran Ayaz, zajmując się w swojej pracy mikrobiologicznym rozkładem barwników syntetycznych, a w szczególności barwnika diazowego błękitu Evansa (EB, Direct Blue 53), dokonał właściwego wyboru tematu pracy doktorskiej. Wybór ten jest w pełni uzasadniony względami naukowymi, a także możliwym w przyszłości praktycznym wykorzystaniem uzyskanych w pracy wyników badań.

Nadrzędnym celem recenzowanej rozprawy doktorskiej było opracowanie i walidacja strategii biologicznych i bioelektrochemicznych, które przyspieszą usuwanie ze ścieków barwników syntetycznych, a zwłaszcza błękitu Evansa, z użyciem czystych i mieszanych kultur bakteryjnych, przy jednoczesnym określeniu transformacji biochemicznej zachodzącej podczas procesów mikrobiologicznego rozkładu tych barwników. Aby osiągnąć ten cel praca doktorska została podzielona na cztery główne etapy badawcze. Celem pierwszego z nich była ocena skuteczności dekoloryzacji trzech barwników, to jest diazowego błękitu Evansa (EB), trifenylometanowej zieleni brylantowej (BG) i fioletu krystalicznego (CV) w procesach z udziałem wyizolowanych szczepów promieniowców. Drugi etap miał za zadanie określenie optymalnych warunków procesowych, m.in. czasu, temperatury, donora elektronów, biodegradacji błękitu Evansa przez aktywną elektrochemicznie bakterię *Shewanella oneidensis* MR-1. Do optymalizacji wykorzystano metodologię powierzchni odpowiedzi (ang. Response Surface Methodology, RSM). Celem trzeciego etapu była przede wszystkim ocena skuteczności biodegradacji błękitu Evansa w dwukomorowym mikrobiologicznym ogniwie paliwowym (DCMFC) połączonym z drugim etapem rozkładu zanieczyszczeń tzw. post-

treatment przebiegającym w warunkach tlenowych z udziałem wyizolowanych szczepów promieniowców. W DCMFC zastosowano mieszane kultury mikroorganizmów i oszacowano ich skład za pomocą technik biologii molekularnej. Celem czwartego etapu badań była ocena biodegradacji błękitu Evansa w pojedynczym mikrobiologicznym ogniwie paliwowym (SCMFC) ze zmodyfikowaną powierzchnią anody. Modyfikacje prowadzono tak, aby uzyskać jak najlepszy efekt mikrobiologicznego rozkładu barwnika z pomocą czystej kultury bakterii *Shewanella oneidensis* MR-1. Autor pracy wymienił jeszcze piąty etap, w którym zamierzał połączyć swoje dokonania, wnioski z czterech wymienionych wyżej etapów prac badawczych i opisać optymalny sposób, czy nawet strategię usuwania błękitu Evansa ze ścieków włókienniczych. Hipoteza badawcza została sformułowana na podstawie celów badawczych. Jest ona rozbudowana i podzielona na pięć części. Każda z nich koresponduje z pięcioma celami cząstkowymi pracy doktorskiej wymienionymi wcześniej. Uważam, że zakres prac, których podjął się Doktorant jest szeroki i odpowiedni dla pracy doktorskiej. Przeprowadzone badania są kompleksowe i mają cechy nowości naukowej, zwłaszcza te przeprowadzone z dwukomorowym mikrobiologicznym ogniwem paliwowym połączonym z dodatkowym stopniem rozkładu zanieczyszczeń w warunkach tlenowych. Wszystkie zrealizowane przez Doktoranta prace badawcze służą rozwiązaniu znanego naukowo, ale wciąż stanowiącego wyzwanie, problemu dekoloryzacji ścieków włókienniczych z zastosowaniem metod biologicznych. Wyniki badań mogą zostać wykorzystane w praktyce do optymalizacji mikrobiologicznego rozkładu barwników azowych. Chciałabym podkreślić, że Doktorant z sukcesem zweryfikował postawioną hipotezę, prowadząc rozległe badania, analizując ich wyniki i formułując odpowiednie wnioski.

Rozprawa doktorska została podzielona na 7 rozdziałów poprzedzonych streszczeniami, listą własnych publikacji z tematu pracy doktorskiej oraz listą skrótów i zmiennych zastosowanych w rozprawie doktorskiej. Streszczenia są szczegółowe i rzadko do tej pory spotykałam streszczenia doktoratów zajmujące ponad trzy strony maszynopisu. Lista skrótów i zmiennych jest kompletna i w czytelny sposób przygotowana. W rozdziale 6 Doktorant umieścił załączniki, a w ostatnim rozdziale, to jest w rozdziale 7 znajduje się lista cytowanych publikacji. Uważam, że załączniki powinny się znajdować na samym końcu pracy i nie powinny stanowić odrębnego rozdziału. Poza tą jedną uwagę organizacyjną, to według mnie zaproponowany podział rozprawy doktorskiej jest logiczny i odpowiedni dla tego typu pracy naukowej.

Doktorant w mojej opinii poprawnie opracował i zilustrował na wykresach i w formie tabelarycznej uzyskane wyniki badań. Recenzowana praca doktorska zawiera 36 rysunków

oraz 10 tabel. Ponadto Autor zamieścił w załączniku 11 rysunków i 4 tabele. Wszystkie tabele są moim zdaniem czytelne i zrozumiałe. Natomiast część rysunków powinna być według mnie lepiej przygotowana pod względem edycyjnym. Niektóre rysunki, np. rysunek wielopanelowy 3.5 lub rys. 3.11, są za małe, co utrudnia ich analizę czytelnikowi. Rysunek 3.15 powinien być przeformatowany, bo jest nieczytelny, choć rozumiem, że wyniki analizy składu mikroorganizmów nie są łatwe do wizualizacji. Podpisy rysunków i tabel zostały na ogół zredagowane poprawnie, ale Autor zastosował wg mnie za małą czcionkę, co nie ułatwia lektury czytelnikowi. Zdecydowana większość rysunków (wyjątek, to np. rys. 3.2, 3.17) zamieszczonych w rozprawie doktorskiej pochodzi wprost z opublikowanych przez Doktoranta artykułów naukowych, ale chciałabym podkreślić, że Autor każdorazowo w podpisie wskazuje źródło pochodzenia danej ilustracji. Odniesienia w tekście do rysunków i tabel są prawidłowe i zostały zamieszczone w odpowiednich miejscach.

Poza wymienionymi wyżej uwagami o charakterze edycyjnym uważam, że rozprawa doktorska jest dobrze przygotowana pod względem edycyjnym, szczególnie mam tu na myśli skład tekstu. Numeracja rozdziałów, podrozdziałów, rysunków oraz tabel jest według mnie poprawna. Podobnie jak numeracja równań. Choć równanie regresji na stronie 91 powinno mieć nadany numer lub powinien być przywołany numer ogólnej postaci tego równania ze strony 71. Skróty i symbole są wyjaśnione w spisie na początku pracy, a także podczas pierwszego pojawienia się w tekście, co pomaga w czytaniu pracy. Szeroki, interdyscyplinarny charakter badań przeprowadzonych w ramach pracy doktorskiej wymagał od Doktoranta użycia i zapanowania nad wieloma symbolami, skrótami, których wedle moich szacunków było ponad sto. Uważam, że z tym zadaniem Doktorant bardzo dobrze sobie poradził. Doktorant nie ustrzegł się drobnych błędów edycyjnych, jak brak w niektórych miejscach indeksów górnych lub dolnych, niepotrzebne spacje, ale one nie mają wpływu na wartość i moją ocenę pracy. Pod względem formalnym oceniam pracę jako dobrze przygotowaną.

Język, którego Autor używa w pracy jest w mojej ocenie poprawny. Jest to język naukowy, odpowiedni dla rozprawy doktorskiej. Uważam, że Doktorant nie najtrafniej używa w kilku miejscach pracy terminu „dye load” (np. na str. 80), czyli ładunek barwnika, gdyż termin ten powinien odnosić stężenie barwnika do np. stężenia biomasy mikroorganizmów i czasu, a tymczasem pod tym pojęciem kryje się stężenie barwnika, dlatego uważam, że tak powinno być ono nazwane. Jak już wspomniałam, nie była to powszechna praktyka w całej pracy, dlatego to jest tylko moja drobna uwaga w zakresie stosowanej terminologii. Jako całość praca doktorska była dla mnie napisana językiem zrozumiałym, merytorycznym i

naukowym. Streszczenie w języku polskim zawiera błędy stylistyczne i niefortunne sformułowania, ale jest to zrozumiałe, gdyż Autor nie zna i nie musi znać języka polskiego.

Przegląd literatury został przez Doktoranta zatytułowany „Wstęp” i jest pierwszym rozdziałem pracy doktorskiej. Autor podzielił go na dziesięć podrozdziałów, w których charakteryzuje między innymi kilka grup barwników syntetycznych, w tym będące obiektem badań eksperymentalnych barwniki azowe i trifenylometanowe, omawia metody biologicznego rozkładu barwników syntetycznych, czynniki wpływające na przebieg tych procesów, a także przedstawia mikrobiologiczne ogniwa paliwowe jako rozwiązanie możliwe do zastosowania w dekoloryzacji ścieków. Przez cały czas w rozdziale 1 Autor stara się uzasadnić potrzebę dalszych badań nad usuwaniem barwników syntetycznych, a szczególnie barwników azowych ze ścieków. Wskazuje to na dojrzałość i świadomość naukową Doktoranta, który w dużej liczbie doniesień naukowych na temat zagadnień, które wybrał jako temat swojego doktoratu, stara się znaleźć i ostatecznie znajduje trafnie niszę badawczą. Bez wątpienia zarówno dobór zagadnień, jak i źródeł literaturowych był właściwy i pomógł Doktorantowi w sformułowaniu problemu badawczego (podrozdział 1.9), a następnie celu i zakresu pracy, a także hipotezy badawczej (podrozdział 1.10).

Pan mgr Kamran Ayaz skorzystał w całej pracy łącznie z około 313 źródeł literaturowych anglojęzycznych, wśród których dominowały artykuły naukowe opublikowane w renomowanych czasopismach. Tak duża liczba zacytowanych publikacji wskazuje na dociekliwość Doktoranta, a także świadczy o dokonaniu głębokiej analizy danych literaturowych. Chciałabym też podkreślić, że zdecydowana większość zacytowanych prac, bo ponad trzy czwarte (około 77%) została opublikowana w latach 2016-2026. Oznacza to, że Doktorant korzystał z najnowszych, aktualnych osiągnięć naukowych związanych z tematem Jego dysertacji. Dobór źródeł literaturowych uważam za wyczerpujący, prawidłowy i aktualny. Zaprezentowana w rozdziale 7 lista cytowanych źródeł literaturowych powinna być staranniejsz przygotowana. W co najmniej kilku zacytowanych źródłach brak nazwisk autorów. Spis źródeł literaturowych zawiera też błędy edycyjne, np. rok publikacji jest raz napisany tłustą czcionką, a raz nie. Sposób cytowania publikacji w tekście jest niejednorodny. Zazwyczaj są to nazwiska i rok publikacji, ale w niektórych przypadkach nazwiska autorów poprzedzone są pierwszą literą imienia. Uważam, że same nazwiska autorów i rok publikacji byłyby wystarczające.

W rozdziale drugim recenzowanej rozprawy doktorskiej Doktorant omówił materiały i metody badawcze zastosowane w pracy eksperymentalnej. Zagadnienia zostały podzielone na 16 podrozdziałów i przedstawione w mojej ocenie we właściwy sposób w konwencjonalnym

ujęciu. Doktorant opisał tutaj m.in. wybrane do badań barwniki syntetyczne, czyste i mieszane kultury mikroorganizmów, których używał, pożywki i inne media/substancje wykorzystane w badaniach laboratoryjnych, a także zastosowany sprzęt, w tym mikrobiologiczne ogniwa paliwowe, metody analizy fizykochemicznej (np. metody chromatografii cieczowej i gazowej połączonej ze spektrometrią mas), analizy mikrobiologiczne (np. PCR, sekwencjonowanie 16S rRNA na platformie Illumina MiSeq, oznaczenie żywotności bakterii z pomocą laserowego mikroskopu konfokalnego) i metody elektrochemiczne. Przegląd tych metod analitycznych wskazuje na interdyscyplinarny charakter pracy eksperymentalnej oraz na konieczność opanowania przez Doktoranta wiedzy z różnych obszarów nauki, m.in. z mikrobiologii, biologii molekularnej, chemii, elektrochemii, a także umiejętności obsługi wielu aparatów niezbędnych do analizy i oceny przebiegu procesów mikrobiologicznego rozkładu barwników. Do opracowania danych Kandydat wykorzystał oprogramowanie komputerowe dostępne przez Python Software Foundation, a także MS Excel, OriginPro (OriginLab), program do analizy obrazu ImageJ oraz program do analizy i symulacji widm impedancyjnych. Umiejętne połączenie różnych technik eksperymentalnych, w tym bioelektrochemii, i metod analitycznych wskazuje na wysoki poziom naukowy pracy i zasługuje w mojej ocenie na duże uznanie.

Wyniki badań i dyskusja nad nimi zostały połączone w jeden rozdział (rozdział 3) i stanowią najobszerniejszą część recenzowanej rozprawy doktorskiej. Do połączenia wyników z dyskusją nie mam zastrzeżeń. Uważam, że takie podejście jest często praktykowane w pracach naukowych z inżynierii środowiska i była to dobra decyzja Doktoranta. Rozdział 3 został podzielony na cztery podrozdziały, których treść koresponduje z pierwszymi czterema celami pracy. Wszystkie cele dysertacji wymieniłam już wcześniej w recenzji, dlatego nie będę ich ponownie przytaczać. Natomiast zabrakło mi piątego podrozdziału w rozdziale 3, w którym Autor tak, jak zapowiadał w celu pracy, zintegrowałby i porównał wszystkie swoje dokonania z przeprowadzonych prac eksperymentalnych. Oczywiście podsumowanie tych dokonań znalazło się w kolejnym rozdziale pracy, to jest we wnioskach, a zatem cel został w pełni zrealizowany. Według mnie dobrze przygotowany przegląd tabelaryczny uzyskanych w pracy efektów usuwania błękitu Evansa, porównujący stopień usunięcia tego barwnika różnymi metodami, z zastosowaniem różnych mikroorganizmów, różnych układów badawczych i warunków procesowych byłby bardzo cenny i pomógłby także Doktorantowi w sformułowaniu wniosków, które wprost wynikałyby z takiego zestawienia. Jest to tylko moja wskazówka dla Doktoranta, z której być może zechce skorzystać w przyszłości.

Patrząc całościowo na prezentację wyników badań, uważam, że zostały one bardzo dobrze przedstawione na rysunkach i w tabelach. Autor w każdym z podrozdziałów dokładał starań, aby uzasadnić kolejność przeprowadzonych prac wskazując zalety i wady, czy raczej ograniczenia, zastosowanych sposobów usuwania barwników. Treść ułożył w sposób logiczny, merytoryczny i na wysokim poziomie naukowym. Dyskusja wyników była dogłębna. Doktorant porównywał swoje wyniki z wieloma pracami opublikowanymi przez inne zespoły badawcze wskazując na podobieństwa i różnice, a w przypadku tych drugich szukał wyjaśnienia ich przyczyn.

We wnioskach (rozdział 4) Doktorant na wstępie odniósł się do celu pracy zaznaczając, że został on zrealizowany, co jako recenzent potwierdzam bez żadnych wątpliwości. Natomiast nie odniósł się wprost do stawianych hipotez badawczych. Co prawda były one skorelowane z celami pracy, może dlatego Doktorant nie czuł takiej potrzeby. W kolejnych akapitach wniosków Autor wskazuje najważniejsze osiągnięcia z każdego z czterech etapów prac eksperymentalnych. W mojej ocenie robi to w sposób jasny podkreślając oryginalność przeprowadzonych badań i własny wkład w rozwój inżynierii środowiska.

Uważam, że Doktorant dowiódł, że metody bioelektrochemiczne mogą być z powodzeniem stosowane do usuwania barwników azowych, ale nie zawsze prowadzą do pełnej mineralizacji tych barwników. Dlatego potrzebny jest drugi etap degradacji produktów pośrednich, głównie amin aromatycznych, który jak pokazał Doktorant może być przeprowadzony z udziałem *Actinomyces*. Doktorant wykazał, że niezwykle ważny jest dobór mikrobiologicznego ogniwa paliwowego, jego konstrukcja (jedno- lub dwukomorowe ogniwo), materiał, z którego zbudowane są elektrody, dobór mikroorganizmów immobilizowanych na elektrodach (czyste lub mieszane kultury mikroorganizmów, źródło pochodzenia mikroorganizmów), warunki prowadzenia procesów, w tym stężenie początkowe barwnika. Za najważniejsze osiągnięcie Doktoranta, poszerzające wiedzę w zakresie inżynierii środowiska, uważam sformułowanie wytycznych do optymalizacji procesów usuwania i biodegradacji barwników syntetycznych za pomocą mikrobiologicznych ogniw paliwowych. Pan mgr Kamran Ayaz wykazał, że możliwe jest usunięcie i przynajmniej częściowa mineralizacja produktów rozkładu błękitu Evansa przy wysokim stężeniu tego barwnika wynoszącym 100 mg/l lub wyższym w czasie nieprzekraczającym jednej doby w mikrobiologicznych ogniwach paliwowych. Te osiągnięcia mogą być wykorzystane do projektowania mikrobiologicznych ogniw paliwowych służących oczyszczaniu ścieków włókienniczych.

Do recenzowanej pracy mam kilka uwag merytorycznych, które podzieliłam na cztery grupy. Prosiłabym, żeby Doktorant odniósł się do nich podczas obrony rozprawy doktorskiej. Są one następujące.

1. Pierwsza z nich dotyczy wyników z procesów biodegradacji błękitu Evansa przez bakterię *Shewanella oneidensis* MR-1, a zwłaszcza ich opracowania statystycznego. Proszę o przybliżenie, w jaki sposób była zastosowana analiza wariancji (ANOVA) do oceny dopasowania modelu przewidującego stopień usunięcia barwnika (równanie xi), jaka to była analiza wariancji, jedno- czy wieloczynnikowa. Jak interpretować fakt, że parametr D wyrażający temperaturę jest znaczący, ale D^2 nie jest znaczący (Tabela 3-1)? Porównując wartości stopnia usunięcia przewidywane za pomocą modelu (równanie xi) z rzeczywistymi wartościami (Tabela S6-1, strony 158-159) widać duże różnice wskazujące, że model może nie jest najlepszym dopasowaniem. Ponadto niektóre oszacowane wartości stopnia usunięcia są ujemne, a niektóre przekraczają 100%.

2. Druga grupa pytań dotyczy badań przeprowadzonych w DCMFC z doczyszczaniem w warunkach aerobowych. Doktorant pisze w rozdziale 3.3.2, że uzyskane wyniki, a zwłaszcza analiza widm absorpcyjnych, wskazują na całkowitą biodegradację amin aromatycznych i innych produktów rozkładu powstałych w warunkach beztlenowych. Na rys. 3.11a) pokazane są widma absorpcyjne w zakresie długości fal od około 300 do 1000 nm, podczas gdy dla pierścienia aromatycznego maksimum absorpcji jest poniżej 300 nm. Czy zatem te widma pokazane na rys. 3.11a) są wystarczającym dowodem na całkowitą biodegradację amin aromatycznych, czy może Doktorant dysponuje innymi widmami, których nie zamieścił w pracy doktorskiej?

3. Kolejne pytania są związane z badaniami przeprowadzonymi w SCMFC. Dlaczego zdecydowano się tutaj na stężenia błękitu Evansa 150, 300 i 400 mg/l, a nie badano stężenia 100 mg/l? Gdyby wybrano je jako jedno ze stężeń, to łatwiej byłoby porównać skuteczność biodegradacji błękitu Evansa z wynikami uzyskanymi w poprzednich etapach pracy eksperymentalnej, w tym także łatwiej byłoby porównać SCMFC z DCMFC. Doktorant według mnie prawidłowo opisał zmiany stopnia usunięcia błękitu Evansa w czasie w SCMFC kinetyką pseudo pierwszego rzędu (rys. 3.25 c)), ale na tym rysunku lub w odrębnej tabeli powinny być pokazane równania aproksymacyjne oraz wartości współczynnika korelacji R^2 dla każdego badanego stężenia. Wartości stopnia usunięcia ChZT nieprzekraczające 90% (rys. 3.25 d)) wskazują, że część produktów rozkładu błękitu Evansa nie uległa biodegradacji. Wskazują na to także wyniki analizy chromatograficznej GC-MS. Czy nie powinien być zatem zastosowany dodatkowy stopień usuwania tych zanieczyszczeń?

4. Na koniec chciałabym poprosić Doktoranta o podsumowanie i zapytać, nawiązując do głównego celu pracy, jaka powinna być strategia, czy sposób postępowania w przypadku usuwania barwników syntetycznych, a szczególnie azowych ze ścieków. Które mikrobiologiczne ogniwo paliwowe jedno- czy dwukomorowe, z czego zbudowane, z jakimi mikroorganizmami, zdaniem Doktoranta najlepiej sprawdziłoby się w dekoloryzacji barwników azowych i biodegradacji produktów ich rozkładu, głównie amin aromatycznych, w skali pełnowymiarowej.

Mimo przedstawionych powyżej uwag i pytań uważam, że recenzowana praca jako całość jest rozprawą doktorską o bardzo dobrej jakości. Spełnia ona z powodzeniem wymagania stawiane pracom doktorskim i wnosi oryginalny wkład w rozwój inżynierii środowiska, a przedstawione uwagi mają w większości charakter dyskusyjny.

Podsumowując recenzję stwierdzam, że Pan mgr Kamran Ayaz przedstawił rozprawę doktorską spełniającą wymogi określone w stosownych przepisach Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r., poz. 1571, z późn. zm.). W związku z tym wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej w Gliwicach o dopuszczenie Pana mgr Kamrana Ayaza do dalszych przewidzianych przepisami etapów postępowania doktorskiego.

Biorąc pod uwagę bardzo wysoką jakość przeprowadzonych badań, ich interdyscyplinarny charakter oraz opublikowanie dużej części wyników badań w renomowanych czasopismach naukowych, posiadających wysoki współczynnik wpływu od 3.4 do 7.2, np. artykuł naukowy opublikowany w *Journal of Environmental Chemical Engineering*, którego IF=7.2, składam wniosek o wyróżnienie niniejszej rozprawy doktorskiej.

Podpisała Ewa Liwarska-Bizukojć