

prof. dr hab. inż. Iwona Ewa Zawieja

Częstochowa, 01.06.2026r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Bhautika Dave'a

pod tytułem

„Degradation of natural and anthropogenic pollutant on surface
water in aspect of self-cleaning phenomenon”przygotowanej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej
w Gliwicach,

wykonanej pod kierunkiem Promotor Pani dr. hab. inż. Ewy Łobos-Moysy, prof. PŚ

Recenzja opracowana została na zlecenie Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny
Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej
w Gliwicach

prof. dr hab. Krzysztofa Labusa, z dnia 23.03.2026r.

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzja została wykonana na podstawie umowy o dzieło nr UMC/1337/2026 z dnia 23. marca 20256 roku zawartej pomiędzy Politechniką Śląską w Gliwicach, a jej autorem.

2. Informacje dotyczące wykształcenia oraz przebiegu pracy naukowo-zawodowej mgr inż. Bhautika Dave'a

Doktorant stopień inżyniera uzyskał w 2018 roku na Sardar Patel University w Anand (Indie), a tytuł magistra w 2021 roku na Marwadi University w Gujarat (Indie). Według mojej wiedzy, Pan **mgr inż. Bhautik Dave** nie ubiegał się wcześniej o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Doktorant był uczestnikiem Szkoły Doktorskiej Politechniki Śląskiej w dyscyplinie Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Zajmowane stanowiska:

- ✓ Od października 2021r. do marca 2026r. Doktorant pracował na stanowisku PhD Researcher/Project Investigator na Politechnice Śląskiej w Gliwicach uczestnicząc w 3 projektach badawczych jako główny wykonawca.
- ✓ Od stycznia 2024r. do kwietnia 2024r. Doktorant pracował na stanowisku Research Intern (pełny etat) na Gujarat University, Ahmadabad, Gudźarat, Indie.
- ✓ Od kwietnia 2019r. do lipca 2019r. Doktorant pełnił funkcję Plant Supervisor and R&D Engineer (pełny etat) w Sheetal Cool Products Limited, Amreli, Gudźarat, Indie.
- ✓ W latach 2018-2019 Doktorant podjął pracę na pełny etat w Ingress Bio-solutions, Ahmadabad, Gudźarat, Indie (startup) zdobywając wiedzę specjalistyczną w dziedzinie mikrobiologii i doświadczenie menedżerskie.

Pan **mgr inż. Bhautik Dave** jest autorem i współautorem szeregu publikacji naukowych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym, takich jak: Sustainability, Molecules, International Biodeterioration & Biodegradation, Desalination and Water Treatment oraz International Journal of Environmental Science and Technology. W części tych prac występuje jako pierwszy autor, co potwierdza jego udział w przygotowaniu koncepcji badań, prowadzeniu eksperymentów, opracowaniu wyników oraz procedowaniu manuskryptów.

Ponadto **mgr inż. Bhautik Dave** jest współautorem dwóch rozdziałów w monografiach naukowych oraz prac prezentowanych na konferencjach krajowych i międzynarodowych w formie referatów i posterów.

Doktorant pozyskał finansowanie na badania naukowe realizowane w ramach subwencji dla młodych naukowców w Katedrze Inżynierii Wody i Ścieków Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej oraz na badania w ramach programu IDUB (Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza). Uczestniczył również w realizacji trzech międzynarodowych projektów badawczych takich jak:

1. „Enhancing biodegradation with microorganisms via a media replacement strategy”, BKM grant 2024, no. 08/040/BKM24/0212
2. „Biodegradation of caffeine and nicotine, by microorganism and microbial consortia”, BKM No. 08/040/BKM22/0177,
3. „Biodegradation of ingredients of cosmetics” Pro-quality grant No 32/014/SDU/10-22-3.

Doktorant otrzymał wyróżnienie za najlepszą prezentację artykułu na temat “Biodegradation and self-cleaning phenomenon in wastewater” podczas Young Science Beyond Borders 2023” 2nd Edition, 1-2 June 2023 Kraków.

Mgr inż. Bhautik Dave prowadził na kierunku Inżynieria Środowiska oraz Biotechnologia zajęcia laboratoryjne lub uczestniczył w nich w formie asysty. Realizowane zajęcia obejmowały przedmioty: chemia, chemia środowiska oraz informatyka.

3. Tematyka rozprawy doktorskiej

Tematyka rozprawy doktorskiej **mgr inż. Bhautika Dave'a** dotyczy problemu degradacji zanieczyszczeń naturalnych i antropogenicznych w wodach powierzchniowych w aspekcie zjawiska samooczyszczania. W pracy założono, że nowe zanieczyszczenia (ECs), takie jak kofeina, nikotyna, metyloparaben (MeP) i trichlorokarbanilid (TCC) są powszechnie wykrywane w środowisku wodnym i wykazują zróżnicowane właściwości fizykochemiczne, zachowania środowiskowe i stanowią zagrożenie ekologiczne. Naturalne procesy atenuacji i mikrobiologicznego samooczyszczania przyczyniają się do degradacji zanieczyszczeń. Należy podkreślić, że mechanizmy te nie są jednak wystarczające, aby poradzić sobie ze wzrastającym ładunkiem i złożonością zanieczyszczeń wprowadzanych do systemów wodnych. Utrzymujące się efekty rozcieńczania, konkurencja ekologiczna i zmienność środowiska ograniczają efektywność naturalnej degradacji mikrobiologicznej, co prowadzi do niepełnego usunięcia i długotrwałego utrzymywania się związków biologicznie czynnych. W pracy poruszono problem dotyczący naturalnej zdolności wód powierzchniowych do samooczyszczania. Zaznaczono, że w obecnych warunkach środowiskowych zdolność ta jest często niewystarczająca. Biodegradacja mikrobiologiczna stanowi główny biologiczny mechanizm transformacji zanieczyszczeń organicznych i w sprzyjających warunkach może prowadzić do ich znacznej degradacji. W naturalnych środowiskach wodnych proces mikrobiologicznego samooczyszczania ma jednak charakter pasywny i cechuje się dużą zmiennością, wynikającą z efektów rozcieńczania, ograniczonej dostępności składników odżywczych, konkurencji ekologicznej oraz zmiennych warunków fizykochemicznych. W rezultacie wiele biologicznie aktywnych związków utrzymuje się w wodach powierzchniowych pomimo ich potencjalnej podatności na biodegradację w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych. Bakterie i grzyby stanowią komplementarne systemy biologiczne odpowiedzialne za degradację zanieczyszczeń. Podjęcie przez Doktoranta tematyki badawczej dotyczącej mikrobiologicznego samooczyszczania wód powierzchniowych z



**Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych - Wydział Infrastruktury i Środowiska
Politechnika Częstochowska**

ul. Brzeźnicka 60A, 42-201 Częstochowa

tel. +48 34 325 09 17, e-mail: bok.ksiis.wiis@pcz.pl

www.is.pcz.pl



zanieczyszczeń na drodze degradacji wpisuje się w aktualne kierunki badawcze, których nadrzędnym celem jest ochrona środowiska i troska o jakość życia przyszłych pokoleń. W tym kontekście niniejsze badania stanowią rozwinięcie koncepcji inżynierskiego podejścia do mikrobiologicznego samooczyszczania wód powierzchniowych, którego istotą jest celowe wzmocnienie biologicznie kontrolowanych procesów degradacji zanieczyszczeń ponad poziom pasywnej naturalnej atenuacji. Wspecjalizowane mikroorganizmy zdolne do degradacji zanieczyszczeń są adaptowane do wzrostu w warunkach opartych na matrycach ściekowych, co umożliwia degradację zanieczyszczeń przy wykorzystaniu naturalnej zawartości składników odżywczych w syntetycznych ściekach jako jedyne źródła wzrostu. Tak przystosowane układy mikrobiologiczne są systematycznie oceniane w coraz bardziej złożonych warunkach, od eksperymentów biodegradacyjnych w skali laboratoryjnej po integrację w systemach sztucznych mokradeł. Niniejsza praca redefiniuje paradygmat samooczyszczania przenosząc punkt ciężkości z niekontrolowanych procesów naturalnych na celowo projektowane, biologicznie napędzane strategie umożliwiające zwiększone, systemowe usuwanie zanieczyszczeń emergentnych z matryc wód powierzchniowych.

Dążenie do skojarzenia optymalizacji laboratoryjnej z walidacją w skali pilotażowej w systemach mokradeł sztucznych, wskazuje, że praca ta wyznacza nowy kierunek badawczy, którego podstawę stanowi skalowalna i zrównoważona strategia aktywnej intensyfikacji mikrobiologicznego samooczyszczania, wykraczającą poza pasywną naturalną atenuację w zanieczyszczonych ekosystemach wodnych.

Badania przeprowadzono w dwóch następujących po sobie skalach: laboratoryjnej oraz pilotażowej, obejmującej system mokradeł sztucznych. Doktorant zaznaczył, że oryginalnością pracy jest zastosowanie syntetycznych ścieków zaprojektowanych w celu odwzorowania zanieczyszczonych wód powierzchniowych, które jednocześnie w trakcie przeprowadzonych badań pełniły funkcję modelowego układu wodnego oraz jedyne źródła składników odżywczych dla wzrostu mikroorganizmów. Należy zaznaczyć, że wprowadzenie ograniczeń nutrientowych wymusiło bezpośrednie sprzężenie wzrostu

[KSIIS]

Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych - Wydział Infrastruktury i Środowiska
Politechnika Częstochowska

ul. Brzeźnicka 60A, 42-201 Częstochowa

tel. +48 34 325 09 17, e-mail: bok.ksiis.wiis@pcz.pl

www.is.pcz.pl



mikroorganizmów z metabolizmem zanieczyszczeń, zwiększając tym samym relewantność środowiskową oraz potencjał skalowania w porównaniu z mediami laboratoryjnymi zoptymalizowanymi pod kątem wzrostu mikroorganizmów. Jak podkreśla Doktorant strategia ta została celowo zaprojektowana w celu odejścia od klasycznych pożywek laboratoryjnych oraz zwiększenia degradacji zanieczyszczeń poprzez zmuszenie mikroorganizmów do wykorzystania składników odżywczych pochodzących ze ścieków przy jednoczesnym metabolizowaniu docelowych związków.

Wybór tematyki rozprawy doktorskiej jest bardzo ciekawy i aktualny. Autor wskazał, że celowana adaptacja mikroorganizmów do syntetycznych ścieków intensyfikuje degradację zanieczyszczeń poprzez umożliwienie wzrostu aktywności metabolicznej przy wykorzystaniu składników odżywczych pochodzących ze ścieków.

Doktorant dokonał redefinicji idei samooczyszczania wód powierzchniowych jako procesu celowo projektowanego i biologicznie wzmacnianego, a nie wyłącznie zjawiska o charakterze naturalnym. Takie nowatorskie podejście do zagadnienia problemu degradacji zanieczyszczeń naturalnych i antropogenicznych w wodach powierzchniowych w aspekcie zjawiska samooczyszczania stanowi istotne poszerzenie stanu wiedzy w tym zakresie.

Na podkreślenie zasługuje nie tylko naukowy charakter pracy, ale również jej przyszły aplikacyjny charakter tj. wdrożenie proponowanej strategii mikrobiologicznego wspomagania procesu samooczyszczania.

Problematyka pracy dotyczy niezmiennie aktualnych obszarów badawczych, tj. poprawy samooczyszczania wód powierzchniowych w oparciu o celową selekcję, adaptację i integrację mikroorganizmów zdolnych do rozkładu kofeiny, nikotyny, metyloparabenu i trichlorokarbanilidu, z uwzględnieniem skalowania systemu od eksperymentów laboratoryjnych do konfiguracji mokradła. W odniesieniu do podniesionej tematyki badawczej należy zaznaczyć, że w naturalnych ekosystemach wodnych procesy samooczyszczania przebiegają pasywnie i są silnie ograniczone zmiennością

środowiskową, podczas gdy niniejsze badania traktują samooczyszczanie jako proces celowo projektowany i biologicznie intensyfikowany.

4. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska **mgr inż. Bhautika Dave'a** obejmuje 202 strony maszynopisu, zawiera odwołania do 59 rysunków oraz 25 tabel. Rozprawa składa się ze streszczenia (w języku angielskim oraz polskim), spisu treści, wykazu współautorskich 4 publikacji Doktoranta zawartych w dysertacji, wykazu innych aktywności naukowych, innych publikacji naukowych, wykazu stosowanych skrótów i oznaczeń, części teoretycznej w formie rozdziału 1 pt. "Introduction", rozdziału 2 pt. „Literature Review”, rozdziału 3 poświęconego motywacji, uzasadnieniu naukowemu podjęcia tematu, celom, zakresowi i hipotezom pracy, części doświadczalnej podzielonej na rozdziały takie jak: rozdział 4 pt. „Research Methodology”, rozdział 5 pt. „Analytical Methods and Data Validation”, rozdział 6 pt. „Results and Discussion” podsumowania w formie rozdziału 7 pt. „General Conclusions and Future Perspectives” i rozdziału 8 pt. „Conclusions”, spisu literatury, spisu tabel i rysunków.

W pracy Doktorant zawarł swoje kluczowe badania w formie adekwatnych do jej tematu 4 współautorskich, monotematycznych publikacji naukowych, w formie przeglądowej - jedna publikacja i badawczej tj.:

1. **Dave Bhautik***, Łobos-Moysa Ewa; *A comprehensive review of caffeine and nicotine as emerging environmental contaminants in water systems*; Architecture Civil Engineering Environment; 2025; vol. 18, no. 2; pp. 171–190; (MNiSW: 70 points, IF: 0.4)
2. **Dave, B.***, Łobos-Moysa, E., Kuźnik, A.; Enhancing fungal adaptation for efficient caffeine degradation in wastewater: biomimetic approach and environmental optimization; *Desalination and Water Treatment*; 2024; 321; 1–16; (MNiSW:100 points, IF:1.0)
3. **Dave Bhautik***, Łobos-Moysa Ewa, Kuźnik Anna; *Nicotine degradation by Trametes*

versicolor: insights from diverse environmental stressors and wastewater medium; Molecules; 2025; vol. 30, no. 12; pp. 1–20 (Article no. 2658); (MNiSW: 140 points, IF: 4.6)

4. **Dave Bhautik***, Łobos-Moysa Ewa, Kuźnik Anna, Maqsood A., Appiah A. N. S., Krzeszowski S., Joshi R.; *Enhancing microbial biodegradation of PPCPs in wastewater via natural self-purification in a novel constructed wetland system*; Sustainability; 2026; vol. 18, no. 1; pp. 1–18 (Article no. 548); (MNiSW: 100 points, IF: 3.9)

Rozdział 1 pt. „Introduction” stanowi tło naukowe pracy. W treści tego rozdziału Doktorant w sposób syntetyczny przedstawił problem występowania w środowisku wodnym zanieczyszczeń nowej generacji (ECs), które pomimo występowania w niskich stężeniach mogą wywierać istotny wpływ ekologiczny i toksykologiczny. Doktorant zaznaczył, że obiecującym procesem przyczyniającym się do degradacji zanieczyszczeń występujących w wodach powierzchniowych jest proces samooczyszczania mikrobiologicznego, który jednak w warunkach naturalnych wykazuje ograniczoną skuteczność wynikającą między innymi ze zmienności środowiska, niedoboru składników odżywczych i konkurencji ekologicznej. Należy stwierdzić, że w rozdziale tym, na podstawie dokonanego rozpoznania literaturowego, Doktorant sprecyzował istotne problemy naukowe i wskazał tym samym główne kierunki badawcze rozprawy, co zostało potwierdzone w kolejnych rozdziałach pracy. Przedmiotem niniejszej rozprawy było rozwiązanie istotnego problemu badawczego poprzez opracowanie innowacyjnej strategii samooczyszczania mikrobiologicznego, która intensyfikuje degradację wywołaną biologicznie poprzez celowe zastosowanie specjalistycznych degradatorów grzybowych i bakteryjnych dostosowanych do warunków wzrostu w ściekach.

W rozdziale 2 pt. „Literature Review” w podrozdziale 2.1 Doktorant dokonał charakterystyki nowych zanieczyszczeń obecnych w wodach powierzchniowych, z uwzględnieniem intensywności ich występowania i znaczenia środowiskowego. Następnie w podrozdziale 2.2 przedstawiono klasyfikację zanieczyszczeń docelowych w systemach wodnych odnosząc się do zanieczyszczeń naturalnych i antropogenicznych, a

następnie w kolejnych podpunktach dysertacji Pan mgr inż. **Bhautik Dave** dokonał szczegółowej charakterystyki analizowanych w części doświadczalnej pracy zanieczyszczeń takich jak: kofeina, nikotyna, metyloparaben (MeP), trichlorokarbanilid (TCC). W kolejnym podrozdziale 2.3 Doktorant poruszył istotny problem badawczy dotyczący ograniczenia naturalnego osłabiania i niekontrolowanej degradacji mikrobiologicznej w systemach wodnych, czego konsekwencją było poddanie wnikliwej ocenie dokonanej w podrozdziale 2.4 procesu samooczyszczania mikrobiologicznego w degradacji zanieczyszczeń w aspekcie mechanizmów nim kierujących tj. degradacji bakteryjnej (podpunkt 2.4.1) oraz degradacji grzybiczej (podpunkt 2.4.2). W podpunkcie 2.4.3 dokonano oceny efektywności procesu mikrobiologicznego samooczyszczania uwzględniając komplementarność i synergistyczne interakcje występujące pomiędzy systemami mikrobiologicznymi. Podrozdział uzupełniono podpunktem 2.4.4, którego treść nawiązuje do identyfikacji ograniczeń w aspekcie degradacji z udziałem pojedynczego mikroorganizmu. W podrozdziale 2.5 Doktorant scharakteryzował sztuczne tereny podmokłe przypisując im potencjalną rolę zaprojektowanych systemów samooczyszczających napędzanych mikrobiologiczną remediacją.

W podrozdziale 2.6 Doktorant wskazał na istotne wyzwania związane ze skalowaniem biodegradacji mikrobiologicznej tj. przeniesieniem badań prowadzonych w skali laboratoryjnej do warunków rzeczywistych wraz z ich praktycznym wdrożeniem przy jednoczesnym zachowaniu efektywności uzyskanej na etapie badań eksperymentalnych. W podrozdziale 2.7 podsumowującym dokonany przegląd danych literaturowych wskazano lukę badawczą dotyczącą poruszanego zagadnienia tj. procesu mikrobiologicznego oczyszczania wód powierzchniowych z wybranych zanieczyszczeń. Na tle przedstawionych zagadnień dokonano uzasadnienia znaczenia oraz celowości przeprowadzonych badań. Jak podkreślił Doktorant zanieczyszczenia emergentne (ECs), takie jak kofeina, nikotyna, metyloparaben (MeP) i trichlorokarbanilid (TCC), są powszechnie wykrywane w środowiskach wodnych i wykazują zróżnicowane właściwości fizykochemiczne, zachowania środowiskowe i zagrożenia ekologiczne, a

[KSiIS >

**Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych - Wydział Infrastruktury i Środowiska
Politechnika Częstochowska**

ul. Brzeźnicka 60A, 42-201 Częstochowa

tel. +48 34 325 09 17, e-mail: bok.ksiis.wiis@pcz.pl

www.is.pcz.pl



naturalne procesy atenuacji i mikrobiologicznego samooczyszczania wykazują ograniczone działanie w aspekcie ich usunięcia. Doktorant wskazał, że zjawisko to uwarunkowane jest wzrastającym wraz z uprzemysłowieniem ładunkiem zanieczyszczeń i ich złożonością, efektem rozcieńczania, konkurencją ekologiczną i zmienność środowiska.

Jak zaznaczył Doktorant dotychczasowe badania koncentrowały się głównie na izolowanej degradacji mikrobiologicznej w warunkach laboratoryjnych lub na zastosowaniu sztucznych mokradeł jako pasywnych systemów oczyszczania, które opierają się na niezdefiniowanych zbiorowiskach mikroorganizmów.

Dodatkowym niedostatecznie rozpoznanym zagadnieniem jest brak kontrolowanych ram skalowania, które ułatwiałyby przeniesienie strategii degradacji mikrobiologicznej z warunków laboratoryjnych do systemów zachowujących złożoność ekologiczną z jednoczesną kontrolą efektywności procesu.

Doktorant podkreślił istotność środowiskową przeprowadzonych badań wskazując, że zrealizowane eksperymenty przyczyniają się do rozwoju biologicznie sterowanych strategii samooczyszczania, wypełniając istniejącą lukę pomiędzy laboratoryjnymi badaniami nad biodegradacją a projektowanymi ekologicznymi systemami oczyszczania, co stanowiąc *novum* rozprawy.

W mojej opinii, część teoretyczna rozprawy stanowi zwarte i przemyślane, opracowanie zagadnień ściśle powiązane z celem pracy oraz postawionymi hipotezami, jak i zaproponowanym zakresem badań. Doktorant poprzez dokonanie krytycznego przeglądu danych literaturowych wskazał na problemy badawcze, które nie zostały jeszcze rozpoznane, a stan wiedzy, który ich dotyczy wymaga poszerzenia. Część teoretyczna rozprawy poparta jest 133 pozycjami literaturowymi, co wskazuje na dobre rozpoznanie przez Doktoranta tematu rozprawy.

W rozdziale 3 rozprawy pt. „Research Aim, Objectives, and Scope of the Study” Doktorant przedstawił przesłanki stanowiące podstawę realizacji założonego tematu pracy wraz uzasadnieniem, ponadto sprecyzował główne i szczegółowe cele rozprawy,

tezy badawcze i zakres pracy. W podrozdziale 3.1, jako motywację przyjęto założenie, że „microbial biodegradation emerges as an environmentally sustainable alternative, offering the potential for low-energy, in situ transformation of organic contaminants”. Rozpatrując powyższe założenie stwierdzono, że „the effective application of microbial processes beyond laboratory conditions remains a key scientific and technological challenge, particularly for achieving sustained and reliable contaminant degradation in nutrient-limited, dynamically changing aquatic environments”.

Doktorant w podrozdziale 3.2 wskazał, że głównym celem rozprawy doktorskiej jest opracowanie i eksperymentalna walidacja strategii samooczyszczania mikrobiologicznego, mającej na celu zwiększenie biodegradacji zanieczyszczeń antropogenicznych występujących w wodzie powierzchniowej (ang. „The primary objective of this doctoral dissertation is to develop and experimentally validate a microbial self-purification strategy designed to enhance the biodegradation of emerging anthropogenic contaminants in surface water environments”). Natomiast w podrozdziale 3.3 Doktorant sprecyzował szczegółowe cele badawcze wynikające z przyjętego celu nadrzędnego tj.:

1. Selekcja i ocena funkcjonalna degraderów mikrobiologicznych (ang. Selection and functional evaluation of microbial degraders)
2. Badanie adaptacji mikroorganizmów do warunków wzrostu występujących w ściekach (ang. Investigation of microbial adaptation to wastewater-based growth conditions)
3. Ocena kinetyczna i procesowa biodegradacji (ang. Kinetic and process-level evaluation of biodegradation)
4. Projektowanie i eksploatacja inżynieryjnie skonstruowanego systemu mokradłowego (ang. Design and operation of an engineered constructed wetland system)
5. Ocena synergii mikrobiologicznej i wydajności na poziomie systemowym (ang. Assessment of microbial synergy and system-level performance)

6. Walidacja wydajności i powtarzalności w skali systemu (ang. Validation of system-scale performance and reproducibility)

Autor rozprawy przyjął hipotezę badawczą, zgodnie z którą, naturalna zdolność mikrobiologiczna do samooczyszczania zanieczyszczonych systemów wód powierzchniowych jest na ogół niewystarczająca do skutecznego usuwania pojawiających się zanieczyszczeń w rzeczywistych warunkach środowiskowych, zwłaszcza gdy zasoby składników odżywczych są ograniczone. Dla potwierdzenia założonej hipotezy przeprowadzono adekwatne badania.

Ponadto Doktorant sformułował zakres pracy wskazując na chronologię etapów badawczych, wykazując wzajemne powiązania i wynikające z nich zależności, które obejmują badania w skali laboratoryjnej i na poziomie sztucznych terenów podmokłych, wykorzystując syntetyczne ścieki jako modelową matrycę zanieczyszczonej wody. W pracy szczególny nacisk położono na funkcjonalną wydajność biodegradacji i wyniki na poziomie systemowym. Program eksperymentalny został wdrożony etapami, aby odzwierciedlić rosnącą złożoność systemu i dostępność reprezentatywnych systemów mikrobiologicznych. Przeprowadzono badania laboratoryjne z wykorzystaniem systemów grzybowych w przypadku zanieczyszczeń takich jak: kofeina i nikotyna, natomiast zanieczyszczenia takie jak: metyloparaben i trichlorokarbanilid zostały poddane badaniom z wykorzystaniem konsorcjów bakteryjnych. Następnie w celu oceny synergii mikrobiologicznej i wydajności na poziomie systemu w warunkach mieszanych zanieczyszczeń przeprowadzono eksperymenty w skali sztucznych terenów podmokłych z wykorzystaniem trzech reprezentatywnych zanieczyszczeń takich jak: kofeina, metyloparaben i trichlorokarbanilid.

Opisane przez Doktoranta w rozdziale 4 pt. „Research Methodology” metody badawcze pozwoliły na zweryfikowanie postawionej w pracy hipotezy badawczej i są adekwatne do założonego celu nadrzędnego rozprawy doktorskiej.

W podrozdziale 4.1 Autor zawarł informację dotyczące przygotowania i charakterystyki zanieczyszczeń docelowych, przedstawiając ogólną charakterystykę

procesu ekstrakcji zanieczyszczeń naturalnych (kofeiny i nikotyny) (podpunkt 4.1.1); wyekstrahowanych związków (podpunkt 4.1.2), ponadto opisano procedurę przygotowania roztworów zanieczyszczeń antropogenicznych - metyloparaben i trichlorokarbanilid (podpunkt 4.1.3). W podrozdziale 4.2 Doktorant zawarł informację dotyczące przebiegu eksperymentów prowadzonych w skali laboratoryjnej dotyczących procesu biodegradacji i adaptacji, szczegółowo opisując zadadnienia dotyczące adaptacji i wzrostu grzybów w środowisku zanieczyszczeń naturalnych (podpunkt 4.2.1); degradacji kofeiny i nikotyny przez grzyby (podpunkt 4.2.2); degradacji metyloparabenu (MeP) i trichlorokarbanilidu (TCC) przez bakterie (podpunkt 4.2.3). W podpunkcie 4.2.4 Doktorant zdefiniował podstawowe założenia procedury inokulacji mikrobiologicznej, natomiast w podpunkcie 4.2.5 zasady pobierania próbek, ekstrakcji i ich oczyszczania.

W podrozdziale 4.3 Doktorant zdefiniował ramy dotyczące eksperymentów prowadzonych z wykorzystaniem pilotażowych biomimetycznych, sztucznych mokradeł, uwzględniając takie zagadnienia jak: projektowanie i konfigurację systemu sztucznych mokradeł (podpunkt 4.3.1); adaptację mikroorganizmów i dynamikę ich wzrostu w środowisku z mieszanymi zanieczyszczeniami (podpunkt 4.3.2); szczepienie mikroorganizmów i eksploatację systemu (podpunkt 4.3.3), monitorowanie parametrów operacyjnych (podpunkt 4.3.4); pobieranie i oczyszczanie próbek pochodzących z mokradeł (podpunkt 4.3.5).

Należy podkreślić, że przedstawiony opis metodyki badawczej jest wyczerpujący, wskazuje na właściwą etapowość prowadzonych badań, ma odniesienie do przyjętego zakresu pracy i naświetla omawiane w części wynikowej zagadnienia badawcze.

W kolejnym podrozdziale 5 dysertacji opisano wykorzystane metody analityczne i walidację danych uwzględniając przegląd strategii analitycznej i wybór adekwatnej metody (podrozdział 5.1); spektroskopię w podczerwieni z transformacją Fouriera (FT-IR) (podrozdział 5.2); spektroskopię magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR) (podrozdział 5.3); wysokosprawną chromatografię cienkowarstwową (HPTLC) (podrozdział 5.4) oraz skaningową mikroskopię elektronową (SEM) (podrozdział 5.5).

Doktorant w celu oceny przebiegu badań zastosował metody analityczne, które zapewniają identyfikację chemiczną, dokładność oznaczania stężeń oraz interpretowalność wyników w różnych skalach eksperymentalnych i przy zróżnicowanej złożoności matrycy. Zastosowano zintegrowany system analityczny w celu walidacji skuteczności mikrobiologicznego samooczyszczania od systemów laboratoryjnych po pilotażowy biomimetyczny system mokradła. Doktorant wykorzystał komplementarne analizy spektroskopowe, chromatograficzne oraz strukturalne, zapewniające niezależne i wzajemnie uzupełniające się dowody. Techniki spektroskopowe wykorzystano jako podstawowe narzędzia do potwierdzania tożsamości chemicznej oraz analizy transformacji zanieczyszczeń pochodzenia naturalnego tj. kofeiny i nikotyny. Natomiast spektroskopię magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR) zastosowano, jako główną technikę analityczną do ilościowej i jakościowej walidacji procesów biodegradacji. Analizy jakościowej NMR użyto do monitorowania zmian stężeń związanych z degradacją mikrobiologiczną zarówno w systemach laboratoryjnych, jak i w systemie mokradła. Analiza chromatograficzna została zastosowana w celu wiarygodnego oznaczania zanieczyszczeń antropogenicznych w biologicznie złożonych układach ciekłych. Wysokosprawną chromatografię cienkowarstwową (HPTLC) wybrano jako podstawową metodę monitorowania metyloparabenu i trichlorokarbanilidu w eksperymentach biodegradacji bakteryjnej. W celu wsparcia interpretacji funkcjonowania systemu w skali całego układu zastosowano również skaningową mikroskopię elektronową (SEM) jako narzędzie uzupełniające o charakterze strukturalnym. Obserwacje SEM nie były jednak wykorzystywane do wnioskowania o mechanizmach degradacji chemicznej, lecz jedynie do potwierdzenia fizycznej i biologicznej integralności systemu oczyszczania.

W rozdziale 6 dysertacji pt. „Wyniki i dyskusja” podzielonym na trzy podrozdziały Doktorant w podrozdziale 6.1 poddał analizie zagadnienia badawcze dotyczące: biodegradacji w skali laboratoryjnej i adaptacji mikrobiologicznej z uwzględnieniem kwantyfikacji i walidacji wyekstrahowanej kofeiny i nikotyny metodą

qNMR (podpunkt 6.1.1); adaptacji i wzrostu grzybów na zanieczyszczeniach naturalnych (kofeina i nikotyna) (podpunkt 6.1.2); efektywności biodegradacji zanieczyszczeń naturalnych przez grzyby (podpunkt 6.1.3); efektywności biodegradacji zanieczyszczeń antropogenicznych przez bakterie (podpunkt 6.1.4); porównawczej efektywności degradacji i interpretacji na poziomie systemowym systemów grzybowych i bakteryjnych (podpunkt 6.1.5). W kolejnym podrozdziale dysertacji 6.2 dokonano oceny wydajności biomimetycznego systemu hydrofitowego w skali pilotażowej w aspekcie adaptacji mikrobiologicznej i stabilności operacyjnej (podpunkt 6.2.1); skuteczności usuwania zanieczyszczeń przez system hydrofitowy (podpunkt 6.2.2); strukturalnych i biologicznych spostrzeżeń dotyczących porowatych ośrodków, oceny wydajności samooczyszczania hydrofitowego w skali pilotażowej (podpunkt 6.2.4). W podrozdziale 6.3 Doktorant dokonał wnikliwej analizy zagadnień dotyczących: ogólnej syntezy i implikacji dla skalowania uwzględniając funkcjonalne rozróżnienie pomiędzy zanieczyszczeniami naturalnymi i antropogenicznymi (podpunkt 6.3.1); adaptacji mikrobiologicznej jako podstawowej wydajności samooczyszczania (podpunkt 6.3.2); synergistycznych interakcji mikrobiologicznych i kinetyki przyspieszonej degradacji (podpunkt 6.3.3); przełożenia systemów laboratoryjnych na sztuczne mokradła (podpunkt 6.3.4); implikacji dla projektowania sztucznych mokradeł i ich przyszłych zastosowań (podpunkt 6.3.5).

Jak podkreślił Doktorant na bazie zaprojektowanych eksperymentów laboratoryjnych opracowano mechanistyczne podstawy inżynierskiego podejścia do procesu samooczyszczania, dokonując identyfikacji biologicznych mechanizmów degradacji w odniesieniu do efektów hydraulicznych, oddziaływań roślin oraz czynników fizykochemicznych. Przeprowadzono badania z wykorzystaniem funkcjonalnie dopasowanych systemów mikrobiologicznych w odniesieniu do dwóch odmiennej klasy zanieczyszczeń naturalnych takich jak: kofeina i nikotyna z użyciem degradacji grzybowej oraz zanieczyszczeń antropogenicznych takich jak: metyloparaben i trichlorokarbanilid z wykorzystaniem konsorcjum bakteryjnego. Jak podaje

mgr inż. Bhautik Dave badania dotyczące możliwości skalowania systemów mikrobiologicznych poprzez zintegrowanie z biomimetycznym systemem sztucznego mokradła pracującym w trybie okresowym przeprowadzono stosując trzy konfiguracje biologiczne: mokradło A (system bakteryjny), mokradło B (system grzybowy) oraz mokradło C (konsorcjum grzybowo-bakteryjne), a także system kontrolny bez inokulacji. Wszystkie mokradła z bioaugmentacją osiągnęły stabilną pracę po początkowej fazie aklimatyzacji. Wskaźniki stabilności obejmowały utrzymujący się wzrost mikroorganizmów w warunkach stresu związanego z mieszaniną zanieczyszczeń, stabilny rozwój roślin (*Phragmites australis*) oraz stabilne wartości pH w zakresie zbliżonym do obojętnego. Jak podaje Doktorant wzrost populacji grzybów oraz bakterii nie uległ załamaniu przy jednoczesnej ekspozycji na kofeinę, metyloparaben i trichlorokarbanilid. Uzyskane wyniki badań wskazują, iż środowisko mokradła sprzyjało zachowaniu długotrwałej żywotności mikroorganizmów. Wykazano, że matryca mokradła stanowi stabilne rusztowanie dla rozwoju biofilmu i retencji biomasy, co potwierdza założenie usuwania zanieczyszczeń jako biologicznie napędzanego procesu samooczyszczania, a nie dominującej adsorpcji.

Doktorant zaznaczył, że samooczyszczanie nie jest pojedynczym procesem, lecz właściwością emergentną wynikającą z interakcji pomiędzy adaptacją mikroorganizmów, właściwościami chemicznymi zanieczyszczeń oraz strukturą środowiska. Stwierdzono, że mechanizmy mikrobiologicznego samooczyszczania mogą być skalowane tj. możliwe jest przejście od systemów laboratoryjnych do mokradeł, pod warunkiem zagwarantowania właściwej struktury przestrzennej, retencji biomasy oraz ograniczonej dostępności składników odżywczych. Skuteczna biodegradacja badanych zanieczyszczeń wspierana poprzez implementację ścieków syntetycznych nie wymaga zewnętrznej suplementacji składników odżywczych.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że zarówno metodyka badań, jak i etapy badań są spójne i zostały zdefiniowane przez Doktoranta w sposób prawidłowy, zgodny z założonym celem rozprawy. Wyniki badań zostały opisane w sposób logiczny, a tabele i rysunki,

które są integralną częścią dysertacji, umożliwiły ich właściwą interpretację i ocenę. Szczególnie istotne jest, że uzyskane wyniki badań potwierdziły sformułowaną tezę rozprawy doktorskiej wskazującą, iż procesy samooczyszczania wód powierzchniowych można skutecznie wzmacniać poprzez projektowanie systemów mikrobiologicznych dostosowanych do charakterystyki zanieczyszczeń, zamiast polegać wyłącznie na pasywnej naturalnej atenuacji.

W rozdziale 7 dysertacji Doktorant skonsolidował wnioski ogólne i płynące z nich perspektywy dalszego rozwoju formułując wnioski eksperymentalne (podrozdział 7.1) uwzględniając ocenę biodegradacji mikrobiologicznej w skali laboratoryjnej (podpunkt 7.1.1) oraz ocenę wydajności biodegradacji mikrobiologicznej w skali pilotażowej (podpunkt 7.1.2). Doktorant w podrozdziale 7.2 zdefiniował kluczowe wnioski, natomiast w podrozdziale 7.3 podkreślił znaczenie przeprowadzonych badań i wkład wniesiony w obowiązującą wiedzę.

W skali laboratoryjnej badania jednoznacznie wykazały zróżnicowane role funkcjonalne systemów grzybowych i bakteryjnych. Wykazano dużą przydatność grzybów w długoterminowej degradacji biologicznie aktywnych zanieczyszczeń naturalnych.

Z kolei eksperymenty bakteryjne wykazały wysoką efektywność kinetyczną oraz odporność metaboliczną konsorcjów bakteryjnych wobec zanieczyszczeń antropogenicznych. Natomiast syntetyczne ścieki zapewniały efektywność degradacji porównywalną lub wyższą niż pożywki bogate w składniki odżywcze po okresie adaptacji mikroorganizmów. Doktorant wykazał, że ograniczenie składników odżywczych może stymulować wykorzystanie zanieczyszczeń jako substratu metabolicznego zamiast je hamować. Istotnym wkładem Doktoranta w rozwój nauki jest sformułowanie wniosku, który podważa założenie wskazujące, że czyste pożywki laboratoryjne stanowią optymalne środowisko dla biodegradacji. Doktorant podkreślił istotność znaczenia systemów opartych na matrycach ściekowych.

[KSiIS] >

**Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych - Wydział Infrastruktury i Środowiska
Politechnika Częstochowska**

ul. Brzeźnicka 60A, 42-201 Częstochowa

tel. +48 34 325 09 17, e-mail: bok.ksiis.wiis@pcz.pl

www.is.pcz.pl



Doktorant wykazał, że biomimetyczne sztuczne mokradła mogą stanowić efektywne systemy samooczyszczania wód powierzchniowych. Zastosowana konfiguracja inżynierska zapewniała retencję biomasy, organizację przestrzenną oraz stabilizację warunków środowiskowych, umożliwiając długotrwałą aktywność mikroorganizmów. Zanieczyszczone wody powierzchniowe mogą funkcjonować jako aktywne matryce biodegradacyjne, a nie jedynie jako bierne nośniki zanieczyszczeń.

Jak wskazuje Doktorant sprecyzowane zasady projektowania systemów mikrobiologicznych oraz koncepcja mokradel bioaugmentowanych stanowią podstawę do implementacji badanej technologii będącej zrównoważonym narzędziem ochrony i rekultywacji wód powierzchniowych.

Rozdział 8 pt. „Conclusions” zawiera dwie strony tekstu. Doktorant, na podstawie uzyskanych wyników badań dowiódł prawdziwości postawionej hipotezy badawczej, formułując dziewięć wniosków o dużym stopniu szczegółowości.

Pod względem edycyjnym dysertacja nie budzi zastrzeżeń. Oceniając styl pracy można stwierdzić, że językowo jest on właściwy i spójny, natomiast ewentualne błędy i nieścisłości uważam za niewielkie i nie rzutujące na jej ogólną ocenę.

5. Ogólna ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Istnieje ścisła korelacja pomiędzy przeprowadzonymi analizami wnioskującymi w istotę procesu mikrobiologicznego samooczyszczania wód powierzchniowych prowadzącego do zwiększenia biodegradacji zanieczyszczeń antropogenicznych w środowisku wód powierzchniowych, a ich praktycznym wykorzystaniem, co w mojej opinii jest znaczącym i istotnym wkładem Doktoranta w rozwój nauki. Pan **mgr inż. Bhautik Dave** jest badaczem, który potrafi planować eksperyment, realizować założone badania oraz poprawnie analizować wyniki badań, prezentując je w sposób wysoce akademicki. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że Doktorant zrealizował postawiony cel pracy potwierdzając założoną hipotezę badawczą.

Przeprowadzone badania i uzyskane wyniki przyczyniły się do lepszego poznania istoty przemian wybranych mikrozanieczyszczeń emergentnych w środowisku wodnym w kontekście naturalnych procesów samooczyszczania wód powierzchniowych. Doktorant poddał ocenie efektywność usuwania różnych grup mikrozanieczyszczeń, charakteryzujących się zróżnicowaną trwałością w środowisku wodnym, w układach biologicznych z wykorzystaniem dobranych i zaadaptowanych grzybów oraz bakterii. Zrealizował założony cel rozprawy, którym było określenie możliwości biodegradacji czterech związków organicznych występujących w wodach powierzchniowych takich jak kofeina, nikotyna, metyloparaben oraz trichlorokarbanilid w procesie mikrobiologicznego samooczyszczania wód powierzchniowych.

Doktorant wykazał, że istnieje możliwość dedykowanego wzmocnienia społeczności mikrobiologicznych zaangażowanych w samooczyszczanie wód powierzchniowych, poprzez selekcję, adaptację i integrację specyficznych dla grzybów i bakterii degradatorów, co wpływa na efektywność biodegradacji występujących zanieczyszczeń antropogenicznych poza naturalne tłumienie.

Cel ten został zrealizowany poprzez integrację zaadaptowanych degradatorów mikrobiologicznych w platformę sztucznego mokradła oraz systematyczną ocenę wydajności degradacji w różnych skalach eksperymentalnych, od badań laboratoryjnych po pilotażowy system oczyszczania.

Taka adaptacja umożliwia degradację zanieczyszczeń, wykorzystując wewnętrzną zawartość składników odżywczych w ściekach jako jedyne źródło wzrostu, eliminując potrzebę zewnętrznego uzupełniania składników odżywczych.

Ponadto Doktorant wykazał, że:

1. Celowe usprawnienie procesów samooczyszczania mikrobiologicznego prowadzi do skuteczniejszego usuwania wybranych zanieczyszczeń w porównaniu z naturalnymi procesami atenuacji.

2. Grzyb wywołujący białą zgniliznę (*Trametes versicolor*) wykazał wysoką skuteczność w biodegradacji naturalnych alkaloidów w warunkach ograniczonej

dostępności składników odżywczych, osiągając ponad 97–98% usunięcia kofeiny i nikotyny w optymalnych warunkach środowiskowych.

3. Konsorcja bakteryjne (*Alcaligenes–Rhodococcus* i *Pseudomonas aeruginosa*) wykazały wysoką tolerancję na zanieczyszczenia antropogeniczne i zdolność do efektywnego rozkładu związków takich jak trichlorokarbanilid i metyloparaben.

4. Integracja układów grzybowych i bakteryjnych w ramach jednego systemu oczyszczania zaowocowała komplementarną aktywnością metaboliczną, umożliwiając skuteczniejsze usuwanie mieszanin zanieczyszczeń o różnej strukturze chemicznej.

5. Skład i dostępność składników odżywczych w syntetycznych ściekach może stymulować procesy biodegradacji, ponieważ ograniczenie łatwo przyswajalnych źródeł węgla sprzyja wykorzystaniu zanieczyszczeń jako substratów metabolicznych.

6. Temperatura i inne parametry środowiskowe znacząco wpływają na efektywność biodegradacji, przy czym aktywność grzybów jest szczególnie wrażliwa na wzrost temperatury powyżej zakresu mezofilowego.

7. Biomimetyczne systemy sztucznych terenów podmokłych obsadzone trzciną pospolitą (*Phragmites australis*) umożliwiają stabilne funkcjonowanie mikroorganizmów degradujących zanieczyszczenia i skuteczne usuwanie badanych związków w warunkach odpowiednich dla środowiska.

8. Przekształcenie systemu z eksperymentów laboratoryjnych w konfigurację mokradła potwierdziło wykonalność praktycznego wdrożenia proponowanej strategii mikrobiologicznego wspomagania procesów samooczyszczania.

9. Opracowana koncepcja bioaugmentowanych biomimetycznych terenów podmokłych stanowi obiecujące, niskoenergetyczne i skalowalne rozwiązanie wspomagające oczyszczanie zanieczyszczonych wód powierzchniowych i ścieków zawierających mieszaniny zanieczyszczeń antropogenicznych.

Rozprawa doktorska dostarcza systematycznych, wieloskalowych dowodów na to, że funkcjonalna komplementarność między grupami drobnoustrojów zwiększa skuteczność oczyszczania mieszanych zanieczyszczeń.

Doktorant udowodnił, że zanieczyszczone ścieki mogą jednocześnie służyć jako źródło składników odżywczych i czynnik napędzający degradację. Wykorzystując wewnętrzną zawartość składników odżywczych w ściekach, można zaprojektować systemy mikrobiologiczne wspierające zarówno wzrost mikroorganizmów, jak i usuwanie zanieczyszczeń bez konieczności polegania na zewnętrznej suplementacji składników odżywczych. To podejście bezpośrednio wspiera rozwój opłacalnych, energooszczędnych i środowiskowo zrównoważonych strategii oczyszczania strumieni ścieków o wysokim stężeniu zanieczyszczeń.

Udane przejście od eksperymentów laboratoryjnych do systemu hydrofitowego pokazuje, że zwiększenie skuteczności samooczyszczania mikrobiologicznego nie ogranicza się do kontrolowanych systemów laboratoryjnych, ale może być wdrażane w ośrodkach porowatych, środowiskach związanych z roślinami i warunkach mieszanych zanieczyszczeń. Stanowi to istotny aspekt badań łącząc mechanizm biodegradacji badanych zanieczyszczeń z praktycznym zastosowaniem systemów oczyszczania opartych na technologiach hydrofitowych.

Reasumując rozprawa autorstwa **mgr inż. Bhautika Dave'a** wnosi istotny wkład zarówno w rozwój wiedzy mechanistycznej, jak i w aspekty aplikacyjne, wskazując iż możliwe jest zastosowanie mikrobiologicznego samooczyszczania ukierunkowanego na specyfikę ścieków jako skalowalnej, niskoenergetycznej oraz biologicznie kontrolowanej strategii oczyszczania środowiska wodnego.

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a Doktorant pozyskał wiedzę teoretyczną niezbędną do zrealizowania zaplanowanego zadania badawczego, o istotnym znaczeniu poznawczym i użytkowym. Na podkreślenie zasługuje fakt, przeprowadzenia przez **mgr inż. Bhautika Dave'a** szerokiego zakresu badań wymagającego wdrożenia różnych narzędzi metodycznych i analitycznych, co świadczy o dużej aktywności badawczej Doktoranta i jego samodzielności naukowej.

6. Uwagi krytyczne

Na podstawie lektury dysertacji sformułowano kilku pytań i uwag o charakterze polemicznym. Nie wpływają one jednak na moją ostateczną ocenę wartości naukowej rozprawy.

Główne uwagi krytyczne skierowane są w odniesieniu do podrozdziału 3.2, pt.: „Aim of the Study”. W mojej opinii wskazane byłoby rozważenie przez Doktoranta wyraźnego sformułowania celu naukowego, jak i celu użytecznego, co nasuwa się w sposób oczywisty po zapoznaniu się z treścią punktu. Sformułowanie celu naukowego i użytecznego pozwoliłoby na postawienie adekwatnych tez badawczych.

W podrozdziale 3.3 pt.: „Specific Research Objectives” sformułowano cele szczegółowe, które w mojej opinii powinny znaleźć odzwierciedlenie w zakresie pracy w formie punktów lub, co znacznie ułatwiłoby interpretację rozprawy, w formie graficznej.

Ponadto Doktorant wskazał, iż w dysertacji zawarł swoje kluczowe badania w formie adekwatnych do tematu pracy publikacji tj. 4 współautorskie prace w tym jedną w formie przeglądowej, pozostałe badawcze. Należałoby rozważyć zaznaczenie na graficznej interpretacji zakresu dysertacji, na jakim etapie zostały one zacytowane i jakich zagadnień dotyczyły. Takie podejście na wstępie pracy znacznie ułatwiłoby jej interpretację, czyniąc bardziej przejrzystą.

Pierwszej publikacji naukowej wymienionej w podanym cyklu Autor nie umieścił w formie jednoznacznego odniesienia w treści dysertacji. Z treści artykułu wnioskuje jednak, że zawarte w nim informacje zostały przytoczone w części literaturowej dysertacji.

Pomocne w procesie oceny byłoby podanie udziału procentowego Doktoranta w wykonaniu artykułów naukowych, które wskazano za kluczowe.

Doktorant wskazał, że wydajność degradacji mikrobiologicznej uzyskana w skali laboratoryjnej może być przeniesiona na działanie systemu hydrofitowego, wykorzystując syntetyczne ścieki jako modelową matrycę zanieczyszczoną wodą, co pozwoli na stworzenie powtarzalnych ram dla biologicznego samooczyszczania

zanieczyszczonych systemów wodnych. – czy rozważano weryfikację układu z zastosowaniem ścieków rzeczywistych, np. dla poszczególnych zanieczyszczeń, czy też ich mieszaniny.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano wnioski poznawcze poszerzające w sposób znaczący obecny stan wiedzy dotyczący poruszonego zagadnienia, wykazując istotny potencjał aplikacyjny przeprowadzonych badań. Proszę o sprecyzowanie jaki jest stopień gotowości proponowanego rozwiązania w aspekcie wdrożenia praktycznego, czy istnieje potencjał zastosowania badanej technologii do samooczyszczania nie tylko w przypadku wody stojącej, ale również wody płynącej. Jakie wyzwania lub bariery technologiczne mogą wystąpić na etapie implementacji?

W pracy doktorskiej zdecydowanie warto byłoby umieścić punkt dotyczący uwarunkowań prawnych odnoszących się do występowania badanych zanieczyszczeń w wodach powierzchniowych, nawet jeśli takie normy formalnie nie istnieją. Kontekst prawny wskazywałby na osadzenie badań w realnym problemie środowiskowym i legislacyjnym. Punkt dotyczący rozważań legislacyjnych podkreśliłby lukę regulacyjną, aktualność problemu badawczego, znaczenie uzyskanych wyników i sformułowanych wniosków dla przyszłych regulacji środowiskowych.

W mojej opinii nie jest prawidłowe wyszczególnianie w spisie treści i adekwatnie treści dysertacji jednego podpunktu dla podrozdziału, co zostało trzykrotnie podane w sformułowanym spisie treści. Sugeruję wkomponowanie treści podpunktu do podrozdziału nadrzędnego.

W przypadku rysunków 1, 2, 4, 5, 7 oraz 8 brak informacji odnośnie opracowania własnego i podania ewentualnych źródeł literaturowych, na których podstawie stworzono grafikę rysunku, co ma istotne znaczenie w przypadku praw autorskich. Analogicznie brak odnośników literaturowych w przypadku tabeli 1.

W rozprawie nie zastosowano numeracji wprowadzonych równań, str. 57, 90, 113, 118, 128 i właściwych dla nich źródeł literaturowych.

Pozostałe pomyłki edycyjne i stylistyczne, które odnotowałam w pracy, nie umniejszają jej wartości, dlatego nie uwzględniłam ich w recenzji.

7. Wnioski końcowe

Podsumowując, przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską Pana **mgr inż. Bhautika Dave'a** oceniam, jako bardzo wartościową. Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością narzędzi badawczych oraz innowacyjnością w podejściu do założonego celu badawczego. Praca zawiera elementy nowości i stanowi istotne rozszerzenie badań dotyczących degradacji zanieczyszczeń naturalnych i antropogenicznych występujących w wodach powierzchniowych w aspekcie zjawiska samooczyszczania. Przedstawiona do recenzji rozprawa nie jest pozbawiona pewnych błędów i nieścisłości, ale mieszczą się w granicach akceptowalnych dla warsztatu badacza i nie mają znamion błędów kardynalnych, nie rzutując tym samym na ogólną, bardzo dobrą ocenę pracy.

Podsumowując ocenę przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej Pana **mgr inż. Bhautika Dave'a** stwierdzam, że stanowi ona oryginalne osiągnięcie o charakterze poznawczym i użytkowym. Praca dostarcza nowych informacji na temat możliwości mikrobiologicznego samooczyszczania wód powierzchniowych w aspekcie degradacji nowych zanieczyszczeń z wykorzystaniem integracji komplementarnych funkcjonalnie degradatorów grzybowych i bakteryjnych.

Aplikacyjny charakter pracy, dokonany przegląd literatury, jej realizacja wymagająca przeprowadzenia badań uwzględniających przejście od kontrolowanych eksperymentów biodegradacji mikrobiologicznej w skali laboratoryjnej do biomimetycznego systemu sztucznego mokradła w skali pilotażowej, jak również poprawna interpretacja uzyskanych wyników badań, wskazują na bardzo dobre kompetencje naukowe Doktoranta i samodzielność jako badacza. Dlatego uważam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska Pana **mgr inż. Bhautika Dave'a** pt. „Degradation of natural and anthropogenic pollutant on Surface water in aspect of self-cleaning phenomenon” w pełni

spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim 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.). Tym samym wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej w Gliwicach o jej dopuszczenie do kolejnych czynności w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska Górnictwo i Energetyka i wyróżnienie.

Podpisała Iwona Zawieja

