

Warszawa, 30 listopada 2025 r.

**Prof. dr hab. inż. Adam Muszyński**

Politechnika Warszawska

Wydział Inżynierii Środowiska

Zakład Biologii

## **Recenzja**

w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego

**dr Małgorzaty Worwąg**

z Politechniki Częstochowskiej,

Wydziału Infrastruktury i Środowiska, Katedry Sieci i Instalacji Sanitarnych

wszczętego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych

**w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.**

---

*Dokumentacja została odebrana przez recenzenta w dniu 13 października 2025 roku.*

### **1. Podstawa formalna opracowania recenzji**

Recenzja została przygotowana w związku z powołaniem w dniu 22 września 2025 r. przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Częstochowskiej komisji habilitacyjnej w celu przeprowadzenia postępowania habilitacyjnego dr Małgorzaty Worwąg. Na tej podstawie otrzymałem w dniu 13 października 2025 roku pismo nr R-WliS.BOD.521.1.2025.3.5. od Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej IŚGiE, Pana dr. hab. inż. Pawła Mirka, profesora PCz, zgodnie z którym występuję w roli recenzenta w powyższym postępowaniu.

Recenzję sporządzono w oparciu o załączone do ww. pisma dokumenty, przesłane w wersji papierowej oraz elektronicznej, zawierające wniosek dr Małgorzaty Worwąg z dnia 28 maja 2025 r. wraz z 4 załącznikami:

- Zał. 1. Dane wnioskodawcy,
- Zał. 2. Kopia dyplomu nadania stopnia doktora nauk technicznych,
- Zał. 3. Autoreferat prezentujący opis osiągnięć w pracy naukowo-badawczej, dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzującej naukę,
- Zał. 4. Wykaz osiągnięć naukowych, stanowiących istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej reprezentowanej przez Habilitantkę, w tym:
  - wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, o których mowa w art. 219 ust. 1. pkt 2a i 2b ustawy: monografia naukowa i cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych,
  - wykaz aktywności naukowej albo artystycznej,

- opis współpracy z otoczeniem społecznym i gospodarczym,
- zestawienie danych naukowych.

Niniejsza recenzja składa się z trzech zasadniczych części, w których dokonano oceny i) osiągnięć naukowych, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy; ii) wykazywania się przez Habilitantkę istotną aktywnością naukową; oraz iii) osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę.

Ocenę osiągnięć naukowych Habilitantki przeprowadzono z uwzględnieniem wymagań określonych w art. 219 ust. 1 pkt 2 i 3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późniejszymi zmianami) oraz zgodnie z wytycznymi przedstawionymi w poradnikach Rady Doskonałości Naukowej:

- „Postępowania dotyczące nadawania stopnia doktora habilitowanego” (aktualizacja: 9 sierpnia 2023 r.),
- „Recenzje w postępowaniach o awans naukowy” z 2022 r.

## **2. Charakterystyka sylwetki naukowej Habilitantki**

Dr Małgorzata Worwąg ukończyła studia licencjackie na kierunku biotechnologia na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Częstochowie w 2004 roku. W 2006 roku, na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, uzyskała tytuł magistra biologii, specjalność biotechnologia roślin i mikroorganizmów. W 2010 roku obroniła z wyróżnieniem pracę doktorską pt. „Intensyfikacja stabilizacji beztlenowej wybranych osadów ściekowych”, której promotorem był prof. dr hab. inż. January Bień, uzyskując decyzją Rady Wydziału Inżynierii i Ochrony Środowiska Politechniki Częstochowskiej stopień doktora nauk technicznych w zakresie inżynierii środowiska.

Kariera zawodowa Dr Małgorzaty Worwąg od początku związana jest z Wydziałem Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej. W roku 2010 Habilitantka została zatrudniona na stanowisku adiunkta w Zakładzie Inżynierii i Chemii Środowiska Instytutu Inżynierii Środowiska (obecnie Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych), a od 2021 roku pełni funkcję Zastępcy Kierownika Katedry. Od września 2024 roku do chwili obecnej Dr Małgorzata Worwąg jest Prodziekanem ds. dydaktycznych na Wydziale Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej.

### **3. Ocena osiągnięć naukowych Habilitantki**

Dr Małgorzata Worwąg przedstawiła dwa osiągnięcia naukowe, stanowiące podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego:

- i. monografię zatytułowaną „Zastosowanie biopreparatów do intensyfikacji kofermentacji metanowej osadów ściekowych i odpadów tłuszczowych”,
- ii. cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych „Ocena właściwości nawozowych fosforanu magnezowo-amonowego w środowisku glebowym”.

#### **3.1. Zastosowanie biopreparatów do intensyfikacji kofermentacji metanowej osadów ściekowych i odpadów tłuszczowych**

Monografia przedłożona przez Habilitantkę jako jedno z osiągnięć naukowych została wydana w 2024 roku przez Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej (ISBN: 978-83-65976-04-8, e-ISBN 978-83-65976-05-5). Recenzentami dzieła byli dr hab. inż. Dariusz Boruszko, prof. PB, oraz prof. dr hab. inż. Ewa Wojciechowska.

Fermentacja metanowa jest procesem biochemicznego rozkładu substancji organicznych, prowadzonym przez złożone konsorcja mikroorganizmów w warunkach beztlenowych. W wyniku procesu otrzymuje się między innymi biogaz, składający się głównie z metanu i dwutlenku węgla. W niestabilnej sytuacji gospodarczej i politycznej, beztlenowa stabilizacja osadów ściekowych z dodatkiem odpadów rolniczych i przemysłowych jest postrzegana jako jedna z kluczowych technologii środowiskowych, która może zapewnić krajom europejskim naszego regionu przystępną, zrównoważoną i bezpieczną energię. Znajduje to odzwierciedlenie w badaniach mających na celu optymalizację procesu fermentacji metanowej, wykorzystywanej w oczyszczalniach ścieków oraz w biogazowniach rolniczych do odzysku energii. Intensyfikacja procesu fermentacji metanowej jest ważnym kierunkiem badawczym nie tylko ze względu na fakt, że z biogazu możemy wyprodukować energię elektryczną i ciepło przyczyniając się do zmniejszenia bieżących kosztów związanych z eksploatacją oczyszczalni ścieków, ale również stanowi istotny krok w kierunku rozwoju energetyki z odnawialnych źródeł. Stąd też poszukuje się metod pozwalających na intensyfikację produkcji biogazu, dążąc do uniezależnienia obiektów technicznych od zewnętrznych źródeł energii i osiągnięcia samowystarczalności energetycznej. Jedną z metod pozwalającą na zwiększenie efektywności procesu fermentacji metanowej jest intensyfikacja krytycznych faz wstępnego rozkładu substratu kierowanego do komór fermentacyjnych. Jednakże pomimo wielu badań naukowych w tej tematyce, nie zawsze udaje się osiągnąć pożądany wzrost produkcji biogazu. Zatem z punktu widzenia nie tylko naukowego, ale również społecznego i środowiskowego, podjęta przez Habilitantkę tematyka stanowi ważne zagadnienie poznawcze.

Celem naukowym badań było określenie wpływu zastosowania biopreparatów na przebieg i efektywność procesu kofermentacji osadów ściekowych z odpadami

tłuszczowymi. Cel naukowy Habilitantka zrealizowała w trzyetapowych badaniach, podczas których:

1. analizowała wpływ dawki i rodzaju biopreparatów na efektywność 10-dobowej kofermentacji osadów ściekowych z odpadami tłuszczowymi (udział od 5% do 30% s.m.o.) na podstawie stopnia przefermentowania substratów oraz stopnia usunięcia suchej masy,
2. zbadała efektywność 25-dobowej kofermentacji osadów ściekowych z odpadami tłuszczowymi, wyrażoną stopniem przefermentowania oraz produkcją biogazu, wspomaganą biopreparatami, których rodzaj i dawkę wytypowała w etapie 1. badań,
3. zbadała efektywność 25-dobowej kofermentacji osadów ściekowych z odpadami tłuszczowymi w układzie półciągłym przy stopniowym zwiększaniu obciążenia reaktora, co pozwoliło na ustalenie strategii dawkowania biopreparatu w celu ustabilizowania procesu dla zmiennego obciążenia bioreaktora odpadami tłuszczowymi.

Badania wykazały, że wprowadzenie odpadów tłuszczowych w charakterze kosubstratów do reaktora, w którym fermentacji metanowej poddawane są osady ściekowe, może wpływać negatywnie na stopień ich przefermentowania, szczególnie przy znaczącym udziale tych odpadów, przekraczającym 20%. Habilitantka podkreśla, że zdolność adaptacji mikroorganizmów do zanieczyszczeń odgrywa szczególnie ważną rolę w rozkładzie substratu. W badanym przypadku spadek przefermentowania mieszaniny osadów ściekowych i odpadów tłuszczowych jest prawdopodobnie spowodowany brakiem odpowiednich grup fizjologicznych bakterii, zdolnych do hydrolizy tłuszczów, w zaszczepieniu pochodzącym z komory fermentacyjnej oczyszczalni ścieków. Niestety, Habilitantka nie podaje szczegółowej charakterystyki zaszczepienia, a jedynie jego procentowy udział w mieszaninie wprowadzanej do układów badawczych. Na podstawie informacji, że w badaniach „*zastosowano zaszczep z osadów przefermentowanych, pobranych z komór fermentacyjnych WWTP*”, można się więc jedynie domyślać, że w źródłowych komorach fermentacji poddawane były osady ściekowe, a więc mikroorganizmy obecne w zaszczepieniu nie były zaadaptowane do hydrolizy substratów tłuszczowych.

W autoreferacie Habilitantka podkreśla, że „*strategia adaptacji biomasy, polegająca na sukcesywnym zwiększaniu udziału odpadów tłuszczowych w mieszaninie przeznaczonej do fermentacji oraz ich etapowej aplikacji do reaktora, nie zawsze jest możliwa do zastosowania w warunkach praktycznych*”. Innym sposobem na szybką poprawę efektywności fermentacji metanowej substratów o zmodyfikowanym składzie wydaje się być wzbogacenie beztlenowych konsorcjów mikroorganizmów w odpowiednie grupy ekofizjologiczne bakterii poprzez ich wprowadzenie z biopreparatami. Przeprowadzone badania potwierdziły, że zastosowanie biopreparatów do intensyfikacji kofermentacji metanowej osadów ściekowych i odpadów tłuszczowych zwiększa efektywność procesu.

Pomimo, że zastosowanie biopreparatów jest dobrze poznane i udokumentowane w literaturze naukowej, to brakuje jednak wyników badań nad wykorzystaniem biopreparatów do wspomagania i intensyfikacji kofermentacji metanowej osadów ściekowych i odpadów tłuszczowych przy zmiennym obciążeniu ładunkiem, wpływającym negatywnie na stabilność procesu, co niejednokrotnie prowadzi do jego załamania. Następstwem mogą być problemy z przywróceniem normalnego stanu pracy komory fermentacyjnej, a w konsekwencji skutki ekonomiczne, szczególnie istotne w pełnej skali technicznej. Habilitantka wykazała, że skuteczność stosowania biopreparatów zależy od ich właściwej aplikacji i nie zawsze prowadzi ona do oczekiwanych rezultatów. Wzrost efektywności kofermentacji osadów ściekowych z odpadami tłuszczowymi, wyrażonej jako stopień przefermentowania substratu, zależał nie tylko od rodzaju badanego przez Habilitantkę biopreparatu, ale także od jego dawki i udziału odpadów tłuszczowych. O ile zwiększanie procentowej zawartości odpadów tłuszczowych w osadach poddawanych fermentacji wpływało negatywnie na proces, to oddziaływanie to w pewnym stopniu można zniwelować stosując odpowiednio wyselekcjonowane biopreparaty. Habilitantka wykazała, że dodatek 25% i 30% odpadów tłuszczowych był limitującym przebieg fermentacji metanowej, a uzyskany stopień przefermentowania wynosił około 12%, zaś po zastosowaniu biopreparatu nastąpiła poprawa efektywności o około 4%. Istotne jest jednak, aby biopreparat stosowany do intensyfikacji fermentacji metanowej osadów ściekowych z odpadami tłuszczowymi zawierał mikroorganizmy lub enzymy hydrolityczne specyficzne dla złożonych związków organicznych kosubstratu. Ponadto Habilitantka podkreśla, że wydajność hydrolizy zależy od kilku czynników, między innymi rodzaju obróbki wstępnej i dawkowania biopreparatu. Jako kluczowa wydaje się tu jednak adaptacja mikroorganizmów do odpadów tłuszczowych i ich wielokrotne wprowadzanie do komory fermentacyjnej w celu wzbogacenia mikrobioty reaktora, co Habilitantka osiągnęła poprzez odpowiednie skomponowanie własnego biopreparatu i określenie strategii aplikacji.

W mojej opinii Habilitantka w sposób klarowny i zrozumiały omówiła w autoreferacie osiągnięcie naukowe. Wyniki zostały zaprezentowane w monografii w sposób niebudzący zastrzeżeń i w zasadzie ze strony recenzenta brak jest większych uwag o charakterze merytorycznym. Niemniej podczas lektury pojawiają się pewne pytania i niejasności, które warto uwzględnić podczas planowania dalszych badań:

1. Co było powodem zastosowania w badaniach *Saccharomyces cerevisiae*, które są drożdżami wykorzystującymi na ogół cukry proste i dwucukry w charakterze substratów? Moim zdaniem bardziej zasadne byłoby zbadanie możliwości zastosowania mikroorganizmów charakteryzujących się zdolnościami hydrolitycznymi w stosunku do tłuszczów, tym bardziej że Habilitantka sama się do tego odnosi na str. 12 autoreferatu: „*Brak wyraźnej poprawy skuteczności procesu fermentacji metanowej po zastosowaniu biopreparatu z S. cerevisiae może być*

*spowodowany złożonością substratu, który wymaga zastosowania biopreparatu optymalnego dobranego do konkretnych substratów”,*

2. Habilitantka przebadła tylko 2 biopreparaty komercyjne, „z których jeden przeznaczony jest do biodegradacji substancji organicznych, w tym trudnych do rozkładu związków typu powierzchniowo – czynnego, smarów i węglowodorów”. W mojej ocenie praca zyskałaby na wartości, gdyby badaniom poddano kilka innych biopreparatów, przeznaczonych do wspomagania rozkładu tłuszczu. Na podstawie uzyskanych wyników można by było sformułować wówczas bardziej uogólnione wnioski.

Ponadto z drobnych uwag o charakterze edytorskim:

- ze względu na nieprecyzyjny opis legendy na Rys. 6 (str. 15 autoreferatu), trudno jest się zorientować, które słupki odnoszą się do preparatu własnego, a które do komercyjnego,
- na wykresach brakuje słupków błędów, które pokazałyby, na ile istotne są różnice pomiędzy prezentowanymi wariantami, czy też może mieszczą się one w granicach błędów,
- dokładność podawania wyników na wykresach jest różna.

Powyższe uwagi nie wpływają w znaczącym stopniu na ogólnie pozytywną ocenę przedstawionego przez Habilitantkę materiału. Stwierdzam, że zarówno sposób przedstawienia tematyki pracy, jak i uzyskane wyniki badań, są oryginalne. W mojej ocenie do najważniejszych osiągnięć pracy Habilitantki należy zaliczyć:

1. udowodnienie wyższej skuteczności biopreparatu opracowanego przez Habilitantkę z przeznaczeniem do konkretnego rodzaju odpadów (tłuszczów) w porównaniu do komercyjnych produktów,
2. wykazanie, że zastosowanie odpowiednio dobranego biopreparatu i jego dawki do wspomagania kofermentacji metanowej osadów ściekowych z odpadami tłuszczowymi pozwala na zwiększenie udziału odpadów tłuszczowych w mieszaninie, co w rezultacie przekłada się na możliwość unieszkodliwiania większej ilości odpadów tłuszczowych, oraz potwierdzenie, że jednorazowa aplikacja biopreparatu nie wpływa na poprawę efektywności procesu,
3. opracowanie strategii dawkowania biopreparatu w celu szybkiej poprawy efektywności kofermentacji metanowej osadów ściekowych z odpadami tłuszczowymi w przypadku zmiennego obciążenia komór fermentacyjnych, co jest istotnym, z ekonomicznego punktu widzenia, aspektem funkcjonowania ciągu osadowego w pełnoskalowej oczyszczalni ścieków.

**Monografia wzbogaca literaturę krajową w zakresie badań nad intensyfikacją kofermentacji metanowej, wnosi nowe elementy poznawcze do wiedzy w dyscyplinie IŚGiE i spełnia wymagania ustawowe dla osiągnięcia naukowego w postępowaniu habilitacyjnym.**

### **3.2. Ocena właściwości nawozowych fosforanu magnezowo-amonowego w środowisku glebowym**

Drugim osiągnięciem naukowym, przedłożonym przez Habilitantkę, jest cykl powiązanych tematycznie 4 publikacji naukowych, opublikowanych w latach 2018-2019. Trzy z nich to artykuły opublikowane w czasopiśmie indeksowanych w bazie JCR (posiadających IF), jedna zaś w indeksowanych w bazach Web of Science i Scopus materiałach konferencyjnych. Punktacja tych prac, według list czasopism punktowanych (tzw. listy A Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz wykazu opublikowanego w 2019 roku dla dyscypliny IŚGiE), które obowiązywały w roku ukazania się artykułów, wynosi od 15 pkt. do 40 pkt., IF zwiera się w przedziale 0,5 – 1,3.

Podjęta przez Habilitantkę tematyka badawcza dotyczy istotnej, z ekonomicznego i środowiskowego punktu widzenia, możliwości rolniczego wykorzystania struwitu, pozyskanego w procesie oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych, jako źródła fosforu. Fosfor w ostatnich latach postrzegany jest jako pierwiastek strategiczny ze względu na jego znaczenie gospodarcze, zmienną cenę i ryzyko związane z dostawami. Kraje europejskie są silnie uzależnione od importu fosforytów z Maroka, Stanów Zjednoczonych i Kazachstanu, co przy niestabilnej sytuacji politycznej na świecie nabrało w ostatnich latach krytycznego znaczenia. Stąd też rozwój technologii odzyskiwania fosforu w procesach oczyszczania ścieków komunalnych ma kluczowe znaczenie, gdyż pozwala na zmniejszenie strat fosforu i ograniczenie eutrofizacji zbiorników wodnych, związanych z jego odprowadzaniem do środowiska wraz z oczyszczonymi ściekami i osadami ściekowymi. Szacuje się, że odzysk fosforu w oczyszczalniach ścieków poprzez wytrącanie struwitu może zaspokoić niemal 15% zapotrzebowania na nawozy fosforowe w Unii Europejskiej.

Struwit pozyskiwany w procesach oczyszczania ścieków i przeróbki osadów to potencjalnie cenny nawóz o powolnym uwalnianiu. W oczyszczalniach fosfor jest eliminowany ze ścieków na drodze biologicznej, poprzez zwiększone gromadzenie polifosforanów w komórkach PAO, oraz chemicznie strącony solami żelaza i glinu, a następnie usuwany z ciągu ściekowego wraz z zagęszczonym osadem nadmiernym. Wytrącanie struwitu może być realizowane między innymi w strumieniu bocznym odcieków po odwadnianiu osadów prefermentowanych, ze względu na stosunkowo wysokie stężenie jonów fosforanowych i amonowych oraz niską zawartość materii organicznej. Niestety, przydatność tak pozyskanego struwitu jako nawozu glebowego może być ograniczona ze względu na nie tylko zmienne uwalnianie fosforu, zależne od wielu czynników środowiskowych gleby, ale także możliwe zagrożenia środowiskowe, związane z obecnością metali ciężkich. Zatem z punktu widzenia nie tylko naukowego, ale również społecznego, ekonomicznego i środowiskowego, podjęta przez Habilitantkę tematyka stanowi ważne zagadnienie poznawcze.

Obranymi przez Habilitantkę celami badawczymi były:

1. ocena skuteczności odzysku fosforu w postaci fosforanu magnezowo-amonowego z przefermentowanych osadów ściekowych oraz popiołów z przefermentowanych osadów ściekowych,
2. ocena wpływu dodatku struwitu na wzrost roślin oraz parametry chemiczne i fizyczne gleby,
3. analiza migracji fosforu w profilu glebowym po wprowadzeniu struwitu do gleby w formie nawozu.

Pozyskiwanie struwitu w oczyszczalni ścieków wymaga dodania jonów  $Mg^{2+}$ , ponieważ jego wytrącanie następuje przy odpowiednim stosunku molowym Mg:N:P, gdy stężenia przekraczają stałą iloczynu rozpuszczalności struwitu w zależności od odczynu roztworu. Zużycie odczynników jest głównym parametrem wpływającym na koszty wytrącania struwitu w pełnoskalowych układach. Stosowanie odczynników technicznych ma również znaczący wpływ na środowisko, ograniczając korzyści środowiskowe z wytrącania struwitu w oczyszczalniach ścieków. Podjęte przez Habilitantkę w pracy (P4) badania nad ustaleniem właściwych warunków prowadzenia procesu (m.in. pH, stężenia  $Mg^{2+}$  i  $NH_4^+$ , czasu reakcji) wpisują się zatem w światowy trend badań, aby uczynić wytrącanie struwitu procesem przyjaznym dla środowiska i ekonomicznie opłacalnym, szczególnie w przypadku wykorzystania popiołów i osadów ściekowych. Habilitantka potwierdziła, że obecność metali ciężkich prowadzi nie tylko do zanieczyszczenia nawozu, wpływając na jego jakość i wykorzystanie rolnicze, lecz także oddziałuje bezpośrednio na procesy już na etapie strącania struwitu. Związane jest to z konkurencją tych mikrozanieczyszczeń z jonami magnezu i fosforanowymi w reakcji precypitacji, co wpływa na równowagę jonową roztworu i zaburza mechanizm krystalizacji struwitu. Habilitantka wyjaśnia, że niektóre z tych jonów mogą tworzyć trwałe kompleksy z fosforanami, obniżając dostępność ortofosforanów dla procesu wytrącania struwitu, natomiast inne mogą inicjować tworzenie się trudno rozpuszczalnych osadów, prowadząc do zmniejszenia wydajności odzysku fosforu w postaci struwitu. Nie bez znaczenia jest również aspekt czystości otrzymywanego struwitu, Habilitantka podkreśla, że „obecność mikrozanieczyszczeń wpływa na morfologię, czystość i rozmiar powstałych kryształów struwitu, a w niektórych przypadkach prowadzi do powstawania produktów ubocznych lub amorficznych osadów”.

Po wprowadzeniu struwitu do gleby fosfor uwalniany jest powoli. Związane jest to z faktem, że struwit jest praktycznie nierozpuszczalny w wodzie, natomiast powoli rozpuszcza się w obecności słabych kwasów organicznych w ryzosferze charakteryzującej się intensywną aktywnością mikrobiologiczną i wymianą substancji między korzeniem a glebą, przez co staje się on dostępny dla rośliny z czasem, nawet w glebach zasadowych. Biorąc pod uwagę złożony proces uwalniania fosforu ze struwitu, badania podjęte przez Habilitantkę w pracach (P1-P3) w celu oceny wpływu fosforanu magnezowo-amonowego na wzrost roślin oraz parametry chemiczne i fizyczne gleby,

jak również analiza migracji jonów fosforu w profilu glebowym, należy uznać za ważne i wartościowe z punktu widzenia problematyki możliwości odzysku fosforu ze ścieków i osadów ściekowych w celu rolniczego wykorzystania. Habilitantka przeprowadziła analizę wpływu dodatku struwitu na wzrost i biomasę *Sinapis alba* oraz na chemiczne i fizyczne parametry gleby. W przeprowadzonym eksperymencie wazonowym określiła dawkę struwitu w odniesieniu do parametrów gleby, takich jak odczyn, zawartość materii organicznej oraz struktura i pojemność sorpcyjna gleby. W kolejnym etapie zbadła poziom migracji fosforu w nawożonej glebie oraz oceniła wpływ nawożenia struwitem na właściwości fizyczne i chemiczne gleby na różnych głębokościach. Habilitantka stwierdziła, że pomimo powolnego uwalniania fosforu ze struwitu może on jednak „migrować w procesie wymywania w głąb profilu glebowego i być poddawany procesowi sptukiwania do cieków wodnych”. Przeprowadzone przez Habilitantkę badania wykazały, że w pewnych warunkach środowiskowych, nawet w przypadku nawożenia struwitem, fosfor może być „wyptukiwany przez wodę filtrującą przez profil glebowy, co niestety prowadzi do stopniowego zmniejszania jego zasobów w środowisku glebowym i ograniczenia dostępności dla roślin”.

Omówienie przez Habilitantkę osiągnięcia naukowego w autoreferacie nie budzi zastrzeżeń pod względem merytorycznym. Wyniki i wnioski z badań, opisanych w każdej z omawianych prac składających się na cykl, przedstawione zostały w sposób prawidłowy. Pozytywnej oceny merytorycznej osiągnięcia nie obniżają następujące uwagi, które mogą być użyteczne w dalszej karierze naukowej Habilitantki:

1. Generalnie podejście Habilitantki do problemu badawczego wydaje się słuszne, jednak pewne wątpliwości może budzić fakt przebadania właściwości nawozowych struwitu tylko w przypadku jednego typu gleby. Moim zdaniem wartościowe byłoby rozszerzenie badań na inne rodzaje gleb, oraz dodatkowo dla porównania zastosowanie gleby standardowej. Analogiczne pytania pojawiają się w odniesieniu do badanych roślin.
2. W autoreferacie pojawiają się niefortunne i nieprecyzyjne określenia, np. „wytrącanie osadu z popiołów”.
3. Pewnym mankamentem w mojej ocenie wydaje się być wybór czasopism, w których zostały opublikowane wyniki prac stanowiących osiągnięcie naukowe Habilitantki. Moim zdaniem przedstawiony materiał, przynajmniej w części, mógł zostać opublikowany w bardziej rozpoznawalnych i lepiej punktowanych czasopismach o wyższym współczynniku IF. Pojawia się zatem pytanie, co sprawiło, że Habilitantka nie opublikowała żadnej z prac, stanowiących element cyklu, w lepiej punktowanych czasopismach, gdy jednocześnie w swoim dorobku posiada ona całkiem sporo prac opublikowanych w czasopismach za 100 pkt. i 140 pkt. Ponadto, jedna praca z cyklu ukazała się w formie materiałów konferencyjnych. W mojej ocenie ta skądinąd ciekawa droga publikowania prac w materiałach konferencyjnych,

indeksowanych w bazach Web of Science i Scopus, nie powinna służyć do prezentowania wyników, które mają stanowić ważne osiągnięcie naukowe. Tego typu publikacje powinny stanowić materiał uzupełniający, stanowiący osobne elementy dorobku ocenianego w postępowaniu habilitacyjnym, jednak nie powinny raczej być miejscem do publikowania osiągnięcia kluczowego z punktu widzenia awansu naukowego.

Mimo relatywnie nisko- i średniopunktowanych czasopism, w których przedstawiono elementy osiągnięcia naukowego, pod względem merytorycznym stanowią one wartościowe prace, zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia. Do najważniejszych osiągnięć pracy Habilitantki zaliczam:

1. Wykazanie, że niezbędnym krokiem w procedurze odzyskiwania fosforu z osadów ściekowych i popiołów jest wstępne usunięcie z nich metali ciężkich. Zanieczyszczenia te nie tylko obniżają jakość i ograniczają wykorzystanie rolnicze nawozu, lecz także oddziałują negatywnie już na etapie strącania struwitu.
2. Wskazanie strategii i parametrów zwiększających selektywność wytrącania struwitu jako kluczowego działania dla efektywnego i bezpiecznego odzysku fosforu z cieczy nadosadowej przefermentowanych osadów ściekowych i popiołów.
3. Wykazanie, że efektywność odzysku fosforu z osadów ściekowych jest niższa niż z popiołów z osadów ściekowych.
4. Wskazanie dawki struwitu poprawiającej właściwości fizyczne i chemiczne gleby.
5. Wskazanie czynników mających istotny wpływ na uwalnianie fosforu ze struwitu w glebie oraz jego wymywanie w zależności od warstwy w profilu glebowym.

**W mojej ocenie osiągnięcie naukowe stanowi istotny wkład w obszar badań naukowych, którymi zajmuje się Habilitantka, oraz wnosi elementy poznawcze do wiedzy w dyscyplinie IŚGiE, spełniając tym samym wymagania ustawowe dla osiągnięcia naukowego w postępowaniu habilitacyjnym.**

#### **4. Ocena istotnej aktywności naukowej Habilitantki**

Działalność naukowa dr Małgorzaty Worwąg dotyczy 3 obszarów badawczych:

- unieszkodliwiania osadów ściekowych i odpadów tłuszczowych metodą fermentacji metanowej,
- odzysku wody w procesie oczyszczania ścieków i substancji biogenych z osadów ściekowych,
- problematyki odorów.

Podkreślić jednak należy, że dominującą tematyką naukową w dorobku Habilitantki są zagadnienia intensyfikacji procesu fermentacji osadów i ich kofermentacja z odpadami tłuszczowymi. Analiza opublikowanych prac naukowych wskazuje,

że od początku kariery naukowej Pani Małgorzata Worwąg miała wyraźnie sprecyzowane zainteresowania, które początkowo rozwijała w zespole prof. dr hab. inż. Januarego Bienia, między innymi podczas realizacji projektów badawczych, dotyczących zastosowania pola ultradźwiękowego do wspomaganie stabilizacji osadów z wybranych gałęzi przemysłu i nowej technologii kofermentacji osadów ściekowych i odpadów tłuszczowych. W swych pracach Habilitantka koncentrowała się głównie na poszukiwaniu rozwiązań technologicznych, poprawiających efektywność stabilizacji osadów ściekowych i ich kofermentacji z odpadami tłuszczowymi. Zgromadzony bogaty materiał badawczy stanowił podstawę do opracowania wyróżnionej rozprawy doktorskiej, dotyczącej intensyfikacji stabilizacji beztlenowej osadów ściekowych, której promotorem był prof. dr hab. inż. January Bień. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora Pani dr Małgorzata Worwąg kontynuowała podjętą wcześniej tematykę intensyfikacji fermentacji metanowej, między innymi przy wykorzystaniu biopreparatów, co było głównym zagadnieniem badawczym jednego z osiągnięć przedstawionych w postępowaniu habilitacyjnym. Prowadzone badania wpłynęły na poszerzenie zainteresowań naukowych o kompostowanie osadów ściekowych, co zaowocowało realizacją w latach 2011-2013 projektu badawczego „Unieszkodliwianie osadów ściekowych w procesach stabilizacji beztlenowej oraz kompostowania wspomaganym polem ultradźwiękowym”.

W ostatnich latach Habilitantka podjęła także badania dotyczące gospodarki o obiegu zamkniętym (odzysk wody ze ścieków i substancji biogenych z osadów ściekowych) oraz zmniejszenia uciążliwości zapachowej. Zagadnienia te stanowią tematykę realizowanych prac doktorskich, w których Habilitantka pełni funkcję promotora pomocniczego.

Dorobek publikacyjny Habilitantki w mojej ocenie należy uznać za obszerny i rozpoznawalny. Sumaryczny IF czasopism, w których ukazały się te prace, oraz liczba cytowań (bez autocytowań), zgodnie z tabelą zamieszczoną w autoreferacie w rozdziale „5.3 Podsumowanie dorobku naukowego” wyniosły odpowiednio niemal 44 i 840, co można uznać za stosunkowo wysokie. Pomimo, że większość cytowań (635) dotyczyła tylko 1 artykułu, to ponadprzeciętny indeks Hirscha, wynoszący zgodnie z bazą Scopus 10, jest potwierdzeniem rozpoznawalności prac Habilitantki w środowisku naukowym. Zwracam jednak w tym miejscu uwagę na pewne nieścisłości, które pojawiły się w przedstawionych przez Panią dr Worwąg dokumentach. Zgodnie z załączonym raportem, przygotowanym przez Bibliotekę Główną Politechniki Częstochowskiej, Habilitantka jest autorką i współautorką 26 zacytowanych publikacji indeksowanych w bazie Scopus, a nie 34, jak czytamy w autoreferacie. Uwzględniając 3 niezacytowane publikacje, znajdujące się w wyżej wspomnianej tabeli, liczba publikacji z listy JCR wynosi więc 29. Z kolei sumaryczna liczba cytowań prac Habilitantki zgodnie z raportem Biblioteki wynosi 868 i jest wyższa od wartości zawartej w ww. tabeli w autoreferacie (840).

Na uwagę zasługuje również znaczny wzrost aktywności naukowej Pani dr Worwąg w okresie po uzyskaniu stopnia doktora, znajdujący odzwierciedlenie w liczbie 45 opublikowanych prac przy sumarycznej liczbie punktów i IF odpowiednio 1870 i 44, w porównaniu do 8 publikacji i analogicznych wartości 27 oraz 0 dla okresu przed doktoratem. Uzpełnieniem dorobku publikacyjnego jest 1 monografia naukowa, 13 rozdziałów w monografiach oraz 20 prac opublikowanych w materiałach konferencyjnych, przy czym większość tych osiągnięć dotyczy okresu po uzyskaniu stopnia doktora.

Dorobek projektowy Habilitantki jest również ponadprzeciętny. Lista finansowanych w drodze konkursów projektów badawczych obejmuje 8 pozycji, w tym 6 po doktoracie. Za duży atut należy uznać uczestnictwo dr. Małgorzaty Worwąg w dwóch projektach badawczych, realizowanych we współpracy z partnerami z zagranicy, oraz odbycie 2 zagranicznych staży naukowych. Aktywność naukowa Habilitantki przejawia się także w staraniach o pozyskanie finansowania badań naukowych, Pani dr Worwąg brała udział w przygotowaniu wniosków w ramach programu Horyzont Europa (HORIZON-CL6-2023-ZEROPOLLUTION-02-1-two stage) oraz konkursu NAWA.

Do istotnej aktywności naukowej zaliczyć należy także udział w komitetach organizacyjnych i naukowych 2 konferencji, członkostwo w panelu doradczym czasopisma Sustainability (MDPI) i trzykrotne pełnienie funkcji redaktora gościnnego w czasopismach Water i Applied Sciences (MDPI). Habilitantka jest autorką 35 recenzji artykułów badawczych w latach 2020-2024 dla czasopism międzynarodowych. Dopetnieniem działalności naukowej Pani dr Małgorzaty Worwąg jest jej współpraca z otoczeniem społeczno-gospodarczym, głównie z oczyszczalniami ścieków, dla których wykonała ekspertyzy i opracowania dotyczące projektów i eksploatacji układów technologicznych. Za działalność naukową Habilitantka uzyskała 5 nagród Rektora Politechniki Częstochowskiej.

**W mojej ocenie dorobek związany z pozostałą aktywnością naukową Habilitantki jest ponadprzeciętny i spełnia zwyczajowe wymagania stawiane kandydatom w postępowaniu habilitacyjnym, wzięwszy pod uwagę zwłaszcza wskaźniki naukometryczne oraz liczbę projektów badawczych, w których dr Małgorzata Worwąg brała udział. Prowadzona przez Habilitantkę współpraca naukowa ma charakter zarówno krajowy, jak i międzynarodowy.**

## **5. Ocena osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę**

Pani dr Małgorzata Worwąg jest aktywnym i doświadczonym nauczycielem akademickim. Działalność dydaktyczną podjęła na studiach doktoranckich, prowadząc zajęcia laboratoryjne i ćwiczenia audytoryjne głównie o charakterze biologicznym i biotechnologicznym na kierunkach Ochrona Środowiska i Inżynieria Środowiska. Po uzyskaniu stopnia doktora i zatrudnieniu na stanowisku adiunkta rozpoczęła również prowadzenie autorskich wykładów, także w języku angielskim, na kierunkach Inżynieria Środowiska, Ochrona Środowiska, Biotechnologia i Architektura Krajobrazu. W ramach programu ERASMUS+ prowadziła zajęcia dydaktyczne w Kauno Kolegija (Higher Education Institution w Kownie). Jest promotorem 25 prac dyplomowych oraz autorką 17 recenzji, aktualnie jest promotorem pomocniczym w kształceniu 3 studentów Szkoły Doktorskiej. Podkreślić należy zgodność tematyki prowadzonych zajęć z uzyskanym wykształceniem oraz obszarami działalności naukowej.

Habilitantka brała aktywny udział w pracach nad dostosowaniem programu kształcenia na kierunku Architektura Krajobrazu do zmieniających się standardów nauczania. Od 2023 r. do chwili obecnej jest koordynatorem tego kierunku, a w latach 2022-2024 była opiekunem I roku. Była także współautorką programów kształcenia dla kierunku Biotechnologia, uczestniczyła w tworzeniu stanowisk dydaktycznych do prowadzonych przez nią zajęć laboratoryjnych na ww. kierunkach.

W pracy zawodowej dr Małgorzata Worwąg w istotnym stopniu angażuje się w działalność organizacyjną na rzecz Uczelni. Pełniła bądź pełni szereg funkcji kierowniczych, związanych z działalnością naukową i dydaktyczną, aktualnie jest między innymi Prodziekanem ds. dydaktycznych, członkiem Senatu Politechniki Częstochowskiej, członkiem Komisji ds. dydaktycznych Politechniki Częstochowskiej, członkiem Komisji ds. imprez masowych, Przewodniczącą Rady Programowej i Członkiem Rady Społeczno-Gospodarczej na Wydziale Infrastruktury i Środowiska. Jest założycielką oraz opiekunem Studenckiego Koła Naukowego EnviBioTeam, była koordynatorem kilku zespołów badawczych na Wydziale Infrastruktury i Środowiska i pełniła funkcję Zastępcy Kierownika Katedry Sieci i Instalacji Sanitarnych.

Habilitantka, oprócz znaczącego dorobku dydaktycznego i organizacyjnego, ma również osiągnięcia w zakresie popularyzowania nauki. W ramach tej aktywności aktywnie uczestniczy w przygotowaniu Pikników Naukowych, Festiwalu Nauki, Industriady i Dni Otwartych Politechniki Częstochowskiej. Jest współautorką wniosku i wykonawcą w projekcie NCBiR POWER „EKOdetywi na jurajskim szlaku - program rozwoju oferty dydaktycznej uczelni technicznej w zakresie realizacji trzeciej misji”.

Działalność dydaktyczna i organizacyjna Habilitantki została doceniona w środowisku akademickim, czego wyrazem jest 5 nagród Rektora Politechniki Częstochowskiej. W mojej ocenie **dorobek dydaktyczny, organizacyjny oraz popularyzujący naukę**

należy zdecydowanie uznać za wyróżniający się i spełniający zwyczajowe wymagania stawiane kandydatom w postępowaniu habilitacyjnym.

## **6. Wniosek końcowy**

Przedstawione przez dr Małgorzatę Worwąg osiągnięcia naukowe **wnoszą istotny wkład w rozwój i wiedzę w reprezentowanej przez Nią dyscyplinie naukowej IŚGiE**, zaś bogate doświadczenie i osiągnięcia w działalności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzującej naukę dodatkowo podnoszą tę ocenę. **Spełnione są więc kryteria określone w art. 219 ust. 1 pkt 2 i 3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce** (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późniejszymi zmianami). Składam zatem do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Częstochowskiej **wniosek o dopuszczenie dr Małgorzaty Worwąg do dalszego etapu postępowania habilitacyjnego.**