**Prof. dr hab. inż. Piotr Bugajski**

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

*Kraków, 25 sierpnia 2025 r.*

# RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

## mgr inż. Izabeli Pauliny Świcy

## pt.:

## „Wykorzystanie biomasy mikroglonów i sinic do nawożenia symulantów regolitów marsjańskich i księżycowych”

### 1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie pisma przewodniego Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka Pana Prof. dr hab. inż. Marcina Dębowskiego z dnia 14 lipca 2025 roku.

### 2. Dane ogólne

Rozprawa doktorska mgr inż. Izabeli Pauliny Świcy pt. „Wykorzystanie biomasy mikroglonów i sinic do nawożenia symulantów regolitów marsjańskich i księżycowych” została przygotowana w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Promotorami pracy byli prof. dr hab. inż. Marcin Dębowski (Katedra Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie) oraz prof. dr hab. inż. Mariusz Jerzy Stolarski (Katedra Genetyki Hodowli Roślin i Inżynierii Biosurowców, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie).

### 3. Krótki opis pracy

Rozprawa doktorska liczy łącznie 165 stron i zawiera 8 rozdziałów głównych wraz z szeregiem podrozdziałów oraz 3 rozdziały końcowe, w których umieszczono wykaz literatury, spis tabel oraz spis rysunków. Rozprawa zawiera łącznie 8 tabel, 333 pozycje literatury oraz 64 rysunki.

Pierwszy z rozdziałów, liczący 4 strony, zawiera informacje wprowadzające w tematykę związaną z aktualnymi problemami nadmiernej i destrukcyjnej eksploatacji zasobów naturalnych związanych z działalnością człowieka. Ponadto w tym rozdziale Autorka naświetla problem gospodarki przyjaznej środowisku naturalnemu w aspekcie eksploracji przestrzeni kosmicznej. Wątek ten jest szczególnie istotny w świetle wydarzeń ostatnich tygodni, gdzie Polak dr Sławosz Uznański-Wiśniewski jako 2-gi Polak w kosmosie udowodnił,

że człowiek w przyszłości będzie zasiedlał inne planety i księżyce. Można zatem stwierdzić, że wizja Autorki zawarta w rozprawie doktorskiej jest wizją przyszłości i wpisuje się w ogólnoświatowe badania kosmiczne.

W rozdziale 2, który liczy 26 stron Autorka szczegółowo charakteryzuje aktualny stan wiedzy dotyczący mikroglonów i sinic jak też ich wykorzystanie w energetyce, produkcji biodiesla, wytwarzania bioetanolu, wytwarzania biowodoru, czy wytwarzania biometanu. W tej części pracy Autorka cytuje informacje zawarte w ogólnoświatowej literaturze, która została opublikowana w większości w ostatnich 5 latach. W dalszej części tego rozdziału opisano potencjał możliwości wykorzystania mikroglonów i sinic w inżynierii środowiska w aspekcie procesów oczyszczania ścieków, biosekwestracji ditlenku węgla, oczyszczanie gazów odlotowych oraz zastosowanie mikroglonów i sinic w rolnictwie. W podpunkcie 2.5. Autorka bezpośrednio nawiązuje do głównego nurtu swoich badań, ponieważ opisuje badania nad mikroorganizmami w przestrzeni kosmicznej, gdzie również przytacza najnowsze – światowe doniesienie w tym zakresie. Generalnie uważam, że rozdział ten stanowi doskonałą podbudowę do dyskusji uzyskanych wyników badań, którą Autorka przeprowadziła w rozdziale 6 pn. „Wyniki badań i dyskusja".

W rozdziale 3 precyzyjnie sformułowano główny cel pracy, 2 tezy badawcze oraz zakres prowadzonych badań. W tym rozdziale brakuje sformułowanego problemu badawczego, który zwyczajowo powinien być określony w rozprawie doktorskiej a następnie zweryfikowany w części analitycznej. Jednakże, mimo braku wprost sformułowanego problemu badawczego stwierdzam, że Autorka zawało go w celu pracy i domniemywam, że brzmi *„Istnieje możliwości wykorzystania biomasy mikroglonów Chlorella vulgaris oraz sinic Arthrospira platensis wyhodowanej na medium spreparowanym ze ścieków bytowych w procesie nawożenia symulantów regolitów marsjańskich i księżycowych w celu uzyskania poprawy ich potencjału uprawowego w oparciu o analizę plonu sałaty masłowej (Lactuca sativa L.)."*

W rozdziale 4 „Metodyka badań" w rozdziale 4.1. Autorka precyzyjnie opisuje koncepcję oraz etapy prowadzonych badań. W dalszej części tego podrozdziału szczegółowo podano miejsce przeprowadzonych eksperymentów. W kolejnej części Autorka podaje szczegółowo skład (wartości/stężenia) używanych w eksperymencie dwóch rodzajów ścieków, które stanowią pożywkę. W tym miejscu Autorka używa nazw: ścieki syntetyczne i jest to prawidłowe oraz ścieki rzeczywiste i to określnie budzi moje pewne wątpliwości. Zarówno ścieki syntetyczne jak też ścieki pochodzące z „szamba" są ściekami rzeczywistymi a nie wirtualnymi. Proponuję nazwać „ścieki rzeczywiste" np. ściekami bytowymi-naturalnymi lub ściekami bytowymi-sanitarnymi lub wprost ścieki bytowe. Ponadto Autorka pisze, że „ścieki rzeczywiste" pozyskiwano ze zbiorników bezodpływowych zwanych potocznie „szambo" – pytanie z ilu zbiorników i dlaczego nie z jednego zbiornika – jaka była podstawa tej metodyki?

Proszę o wyjaśnienie tej kwestii na obronie pracy doktorskiej. W dalszej części tego rozdziału prawidłowo opisano roślinę wskaźnikową wykorzystaną do eksperymentu oraz podłoże kontrolne. Bardzo precyzyjnie i szczegółowo opisano także stanowisko badawcze uzupełnione dokumentacją fotograficzną.

W rozdziale 5 „Metody analityczne" precyzyjnie opisano: medium hodowlane, Biomasę mikroglonów i sinic, symulanty regolitów oraz roślinę wskaźnikową. W podsumowaniu tego rozdziału Autorka opisała dokładnie metody statystyczne, które wykorzystała w opracowaniu statystycznym wyników badań. Zaproponowane metody statystyczne są trafne do interpretacji statystycznej tego rodzaju wyników badań. W tym rozdziale brakuje natomiast okresu prowadzonych prac laboratoryjnych oraz liczby próbek poddanych analizie z określonym interwałem ich próbkowania.

W najważniejszym z punktu widzenia merytorycznego rozdziale 6, który podzielono na 2 podstawowe podrozdziały nazwane „Etap 1" i Etap 2" Autorka szczegółowo opisuje wyniki przeprowadzonego eksperymentu. W tym rozdziale w logiczny sposób są zaprezentowane wyniki badań w sposób opisowy i graficzny w postaci opracowanych wykresów.

W rozdziale 7, który niejako stanowi pewnego rodzaju podsumowanie Autorka prezentuje schematyczny układ dotyczący funkcjonalnych procesów jednostkowych w zintegrowanym systemie oczyszczania ścieków, produkcji biomasy mikroglonów oraz sinic i ich wykorzystania w rolnictwie pozaziemskim.

Rozdział 8 dysertacji to kompilacja podsumowania i 8 wniosków wynikających z przeprowadzonych badań.

W pracy wykorzystano 333 pozycje bibliograficzne polsko i obcojęzyczne, cytowane w rozprawie.

**4. Ocena formalna rozprawy doktorskiej**

Z merytorycznego punktu widzenia układ rozprawy doktorskiej mgr inż. Izabeli Pauliny Świcy, uważam za właściwy i prawidłowy. Rozprawa doktorska stanowi logiczny ciąg występujących po sobie rozdziałów i podrozdziałów. Praca zawiera wszystkie wymagane elementy rozprawy doktorskiej i ma charakter naukowo-badawczy, a także aplikacyjny. Przejrzysty i logiczny układ pracy, prezentacja wyników w formie tabel oraz rysunków oraz przeprowadzona dyskusja uzyskanych wyników sprawiają, że mimo drobnych uchybień językowych i stylistycznych, czytający śledzi wywody Autorki z pełnym zrozumieniem.

W części analitycznej w każdym z podrozdziałów Autorka opisuje najważniejsze rezultaty poddając je dyskusji z doniesieniami z literatury. Taka, godna pochwały, forma analizy i dyskusji wyników powoduje, że czytający w każdym momencie wie, jakie są wymierne rezultaty danej analizy i nie musi ich szukać dopiero w podsumowaniu lub wnioskach końcowych. Świadczy to o tym, że Autorka dysertacji posiada odpowiednią wiedzę teoretyczną

oraz doświadczenie w zakresie dyscypliny naukowej, której dotyczy tematyka badawcza, a także dysponuje odpowiednimi umiejętnościami umożliwiającymi opracowywanie oraz poprawną analizę uzyskanych wyników. Wynika z tego, że Autorka dysertacji mgr inż. Izabela Paulina Świca potrafi poprawnie zaplanować badania, zrealizować postawione cele naukowe oraz poprawnie zinterpretować uzyskane wyniki wraz podaniem właściwych wniosków.

**5. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej**

Jako główny cel naukowy rozprawy doktorskiej mgr inż. Izabeli Pauliny Świcy to określenie możliwości wykorzystania biomasy mikroglonów *Chlorella vulgaris* oraz sinic *Arthrospira platensis* wyhodowanej na medium spreparowanym ze ścieków syntetycznych i bytowych (pochodzących ze zbiorników typu „szambo") w procesie nawożenia symulantów regolitów marsjańskich i księżycowych w celu uzyskania poprawy ich potencjału uprawowego w oparciu o analizę plonu sałaty masłowej (*Lactuca sativa* L.). Podjęcie tej problematyki badawczej jest bardzo słuszne i trafne, ze względu na ogólnoświatowy trend w prowadzeniu programów (projektów) badawczych dotyczących zasiedlania innych planet czy księżyców przez człowieka.

W rozdziale metodyka badań, jak już wspomniano Autorka charakteryzuje pożywkę w fotobioreaktorach (FBR), którą stanowią ścieki syntetyczne oraz ścieki rzeczywiste. Szczegóły odnośnie wartości/stężenia wraz z wartościami odstającymi (±) poszczególnych parametrów ww. rodzajów ścieków zaprezentowano w tabeli 5. Jak widomo ścieki pochodzące z „szamb" są ściekami o bardzo zróżnicowanym stężeniu zanieczyszczeń, co wynika ze wielu przyczyn tj. np. oszczędzania zużycia wody przez mieszkańców, interwału ich wywożenia czy wprowadzaniu do nich nadmiernej ilości detergentów. W tej części pracy brakuje szczegółowych wyjaśnień dotyczących wyboru konkretnych zbiorników wybieranych (szamb) jako miarodajnych w aspekcie jakości ścieków w nich gromadzonych.

Część analityczna pracy, czyli rozdział 7 „Wyniki badań i dyskusja" Autorka w sposób szczegółowy opisuje postępy prowadzonych eksperymentów naukowych. W pierwszej kolejności zostały opracowane wyniki dotyczące efektywności przyrostu biomasy mikroglonów i sinic. W tej części rozdziału Autorka prawidłowo prezentuje na rycinach (rysunki od 15 do 31) zależności korelacyjne dotyczące zmiany: biomasy, ChZT, stężenia fosforu, stężenia azotu itd. (jako zmienne zależne) od czasu podanego w dobach (jako zmienne niezależne). Zarówno ryciny, jak też ich opis są wykonane prawidłowo merytorycznie i zrozumiale dla czytelnika. Natomiast uważam, że Autorka mogła uzupełnić tą część pracy o analizę statystyczną np. opracować zależność korelacyjną wyrażoną w skali korelacji – czyli związek pomiędzy badanymi zależnymi wskazującymi jak silny jest związek pomiędzy zmiennymi i potwierdzić tą zależność testem obrazującym czy te zależności są istotne statystycznie. Podrozdział 6.1.2. dotyczący charakterystyki biomasy *C. vulgaris i A. platensis* jest opracowany popranie pod

względem merytorycznym. Wykresy zawarte na rysunkach od 32 do 35 są opracowane właściwie i czytelnie. Opis do ww. wykresów jest także opracowany szczegółowo i właściwie pod względem merytorycznym. Etap 1 badań kończy rozdział 6.1.3. dotyczący charakterystyki podłoża kontrolnego oraz symulantów regolitów marsjańskich i księżycowych. Opis szczegółowy składu chemicznego jest wykonany prawidłowo i wyczerpująco. W Etapie 2, który opisano w rozdziale 6.2.1. w sposób merytorycznie poprawny opisano uzyskane wyniki badań dotyczące uzyskanego plonu *C. vulgaris* części nadziemnej i części podziemnej w zależności od dawki nawozowej w różnej modyfikacji z interwałem 5 g s. m./kg. Na wykresach zaprezentowanych na rysunkach od 36 do 47 przedstawiono zależność plonów części nadziemnej oraz części podziemnej od dawek biomasy: 0, 5, 10 i 15 g s. m./kg podłoża. W treści pracy brakuje informacji dotyczącej metodyki odnośnie przyjętych wielkości i interwału dawek. Na wykresach w tej części pracy zaprezentowano linie obrazujące trendy, które opisano współczynnikiem determinacji $R^2$. Współczynnik determinacji informuje % obserwacji modelu regresji, natomiast na wykresie jak też w tekście brakuje modeli regresji, które opisują poszczególne linie trendu. Ponadto z merytorycznego punktu widzenia tworzenie linii trendu łączącą punkty, bez ciągłości funkcji (oś odciętych) jest niewłaściwe, gdyż opisujące ją równanie może być błędnie interpretowane w tym przypadku np. dla dawki 2 lub 4 itd. W sposób analogiczny opracowano rozdział 6.2.2. dotyczący wyników odnośnie nawożenia biomasą *A. platenis.* Również i w tym przypadku uważam, że prawidło opracowano uzyskane wyniki z drobną uwagą merytoryczną dotyczącą linii trendów zaprezentowanych na wykresach od 62 do 59. Jako bardzo istotne uważam, że w części analitycznej pracy, czyli w rozdziale 6 jest bardzo dobrze przeprowadzona pod względem merytorycznym dyskusja uzyskanych wyników. Na podstawie przeprowadzonej dyskusji, stwierdzam, że Autorka dysertacji gruntownie zaznajomiła się z wynikami badań opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych, co pozwoliło Jej na zaplanowanie i przeprowadzenie eksperymentu. W rozdziale 7, gdzie opracowano wytyczne techniczno-technologiczne zawarto tabelę 8 gdzie zaprezentowano „krok po kroku" wykaz i charakterystyka procesów jednostkowych z zintegrowanym systemie oczyszczania ścieków bytowych, produkcji biomasy mikroglonów/sinic oraz wykorzystania ich biomasy do użyźniania gleb pozaziemskich (regolitów). Rozdział ten stanowi niejako fragment podsumowania. Właściwe podsumowanie wraz z wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych analiz zawarto w rozdziale 8. W tym rozdziale pewną wątpliwość merytoryczną budzi tekst (podsumowanie) umieszczony przed właściwymi wnioskami końcowymi. W tym tekście Autorka niejako powtarza cel pracy oraz ogólny opis uzyskanych wyników bez podania konkretów. Natomiast wnioski są opracowane właściwie pod względem merytorycznym i stanowią kwintesencję wyników badań. Drobną wątpliwość budzi stwierdzenie we wniosku 7 – mianowicie na stronie 131 w wierszu jest „

*Zgromadzona materia organiczna, stanowiąca źródło łatwo dostępnych form węgla, azotu oraz innych biopierwiastków, mogła przyczynić się do poprawy właściwości fizykochemicznych symulanta, w tym retencji wody, struktury agregatowej oraz dostępności składników mineralnych"* - jest to przypuszczenie a nie wniosek wynikający z analizy wyników. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii na obronie pracy doktorskiej.

Uwagi redakcyjne:

- Str. 53, wiersz 3: jest nieścisłe określenie: „*Sałata masłowa jest rośliną łatwą do uprawy zarówno w warunkach laboratoryjnych.*
- Str. 53, wiersz 6: jest *„…różnych metod hodowli"* – powinno być *„…różnych metod uprawy"*
- Str. 55, wiersz 5: jest *„…je gazowy zawór…" – powinno być „…je w gazowy zawór…"*
- Rysunki w rozdziale 6.1.1. są numerowane od prawej do lewej a powinny być od lewej do prawej strony. Ponadto rysunki na stronie 79 są ponumerowane w sposób nielogiczny tzn. jest 31, 28, 30 i 29 a powinno być idąc od lewej: 28, 29, 30 i 31.
- Rysunki na stronie107 są ponumerowane w sposób nielogiczny tzn. jest 50, 48, 51 i 49 a powinno być idąc od lewej: 48, 49, 50 i 51.
- Str. 70, wiersz 24: jest *„Biologiczne technologia beztlenowe…"* – powinno być *„Technologie biologiczne-beztlenowe…"*
- Str. 78, wiersz 11, jest *„W badaniu (Thi Kieu Oanh i in., 2022)…* - powinno być *„W badaniach przeprowadzonych przez Thi Kieu Oanh i in (2022)…*

Omówione ww. niedociągnięcia stylistyczne, „drobne potknięcia" edycyjne nie umniejszają merytorycznej wartości pracy. Uwagi merytoryczne są dyskusyjne i nie mają charakteru krytyki, lecz są podstawą do polemiki naukowej. Generalnie oceniam przedłożoną do recenzji rozprawę doktorską bardzo wysoko, a uwzględnienie przez Doktorantkę wymienionych w niniejszej recenzji uwag pozwoli na udoskonalenie warsztatu pisarskiego oraz pozwoli na uniknięcie różnych uchybień i niedociągnięć na etapie przygotowania publikacji, bądź też referatów konferencyjnych.

Pomimo wymienionych uwag, uzyskane wyniki badań, ich opracowanie analityczne oraz wnioskowanie pozwalają na stwierdzenie, że mgr inż. Izabela Paulina Świca zrealizowała postawiony w rozprawie cel naukowy, a użyta metodologia pomiarowa i analityczna była właściwa i odpowiadała aktualnemu stanowi wiedzy naukowej i technicznej. Co istotne uzyskane rezultaty są ważne w aspekcie praktycznym w zakresie szeroko rozumianych badań kosmicznych . Przedstawione w zakończeniu rozprawy wnioski dają odpowiedź na postawione tezy badawcze oraz cel pracy. Oceniana praca posiada istotne walory naukowe i aplikacyjne.

Na pochwałę zasługuje bardzo szeroki zakres zaplanowanych i zrealizowanych badań laboratoryjnych. Wskazuje to na dużą pracowitość Doktorantki oraz jej dążenie do jak

najbardziej kompletnego i wnikliwego przeanalizowania problemu badawczego. Zarazem uzyskane wyniki przedstawiono w przemyślanej i przystępnej formie tabel i wykresów, przez co są czytelnie i klarownie zaprezentowane.

**6. Wkład autorki w rozwój dyscypliny**

Wyniki badań wnoszą oryginalny i istotny wkład w rozwój nauki w obszarze inżynierii środowiska oraz technologii rolnictwa pozaziemskiego. Praca łączy aspekty biotechnologiczne, środowiskowe i kosmiczne, dostarczając nowych rozwiązań mogących znaleźć zastosowanie zarówno w praktyce ziemskiej, jak i w planowanych misjach kosmicznych.

Do najważniejszych osiągnieć naukowych Autorki zaliczam wyniki dotyczące:

- możliwości wykorzystania ścieków bytowych do stosowane jako medium hodowlane w produkcji biomasy mikroglonów C. vulgaris oraz sinic A. platensis.
- Określenie efektywności (%) usuwania związków biogennych oraz związków organicznych ze ścieków bytowych oraz ze ścieków syntetycznych medium hodowlanego.
- Określenie konkretnych dawek testowanych symulantów regolitów marsjańskich i księżycowych, przy których przyrosty biomasy Lactuca sativa L. były najwyższe.
- Zastosowania magnetycznej separacji związków ferromagnetycznych z symulanta regolitu księżycowego JSC-1A, który istotnie wpływa na zwiększenie jego rolniczej użyteczności.

**7. Wniosek końcowy**

Rozprawa doktorska mgr inż. Izabeli Pauliny Świcy spełnia wymogi określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.) oraz w stosownych aktach wykonawczych.

Wnoszę o dopuszczenie Autorki dysertacji mgr inż. Izabeli Pauliny Świcy do publicznej obrony rozprawy doktorskiej oraz o nadanie Jej stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Ponadto wnioskuję o wyróżnienie dysertacji mgr inż. Izabeli Pauliny Świcy. Za wyróżnieniem przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej przemawiają moim zdaniem bardzo dobrze zaplanowane, przeprowadzone i udokumentowane badania laboratoryjne a uzyskane wyniki są wartościowe w aspekcie międzynarodowych prac naukowych dotyczących wypraw kosmicznych na księżyc, marsa i innych planet.

*Kraków, dnia 25 sierpnia 2025r.*

……
*Prof. dr hab. inż. Piotr Bugajski*