

prof. dr hab. Mariusz Matyka

Puławy, 31.07.2025 r.

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa

Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

Recenzja pracy doktorskiej

mgr inż. Izabeli Pauliny Świca

**pt.: „Wykorzystanie biomasy mikroglonów i sinic do nawożenia symulantów regolitów
marsjańskich i księżycowych”**

wykonanej w

Katedrze Inżynierii Środowiska

na Wydziale Geoinżynierii

Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie

oraz

Wageningen University&Research

pod kierunkiem

prof. dr hab. inż. Marcina Dębowskiego

oraz

prof. dr hab. inż. Mariusza J. Stolarskiego

Cywilizacja ludzka stoi obecnie przed licznymi wyzwaniami, spośród których jednym z głównych jest nadmierne wykorzystanie zasobów naturalnych. Wynika ono z dwóch kluczowych przesłanek tj. wykładniczego wzrostu liczebności populacji ludzkiej oraz rozwoju technologicznego opartego na wykorzystaniu zasobów nieodnawialnych. Czynniki te budzą uzasadnione obawy o dalsze możliwości rozwoju, a nawet utrzymania populacji ludzkiej na planecie ziemskiej. Jako jeden z pierwszych obawy te wyartykułował Klub Rzymski w 1972 r w książce o wymownym tytule „Granice Wzrostu”. Pytanie to z roku na rok przybiera na sile i staje się coraz bardziej palące. Nie ulega wątpliwości, że problem ten wymaga bezwzględnego rozwiązania głównie poprzez ograniczenie negatywnego wpływu człowieka na środowisko przyrodnicze.

Czynniki te w połączeniu z mocno wpisaną w naturę ludzką potrzebą rozwoju i poznawania „nowego” powoduje, że nasza cywilizacja począwszy od zakończenia II wojny światowej coraz śmielej zmierza do podboju kosmosu. Docelowo stać się ma on dodatkowym miejscem rozwoju ludzkości. Historia naszej cywilizacji wskazuje, że człowiek wielokrotnie pokonywał naturalne ograniczenia. Jednym z pierwszych etapów było przemieszczenie się naszych przodków z terenu obecnej Afryki na

półkulę północną. Było to możliwe dzięki ewolucji kulturowej i postępowi, który wtedy znalazł wyraz w odkryciu ognia i wykorzystaniu skór zwierząt jako odzież chroniąca przed zimnem. Kolejnym etapem były odkrycia geograficzne i ekspansja, często brutalna, społeczeństw o wyższym poziomie rozwoju gospodarczego, naukowego i technicznego. W tym kontekście podbój planet pozaziemskich i ich zasiedlanie przez ludzi traci swój atrybut fantastyki i skłania do refleksji, że ten kierunek rozwoju jest realny. Nieokreślona pozostaje tylko perspektywa czasowa jego realizacji.

W świetle powyższych faktów podjęte przez mgr inż. Izabelę Świca badania dotyczące wykorzystania biomasy mikroglonów i sinic do nawożenia symulantów regolitów marsjańskich i księżycowych należy uznać za interesujące i perspektywiczne. Problemy poruszane w ocenianej rozprawie doktorskiej mają głównie charakter poznawczy. Niemniej jednak w perspektywie kolejnych lat mogą one zyskiwać na znaczeniu również z praktycznego punktu widzenia.

Przedłożona do oceny praca obejmuje 157 stronicowy maszynopis. Integralną częścią rozprawy jest 65 rysunków oraz 8 tabel, które ilustrują wyniki przeprowadzonych badań. Bibliografia jest bardzo obszerna i obejmuje 324 pozycji literatury, z czego publikacje polskojęzyczne stanowią tylko 7 (2%). Zarówno wykaz literatury jak i jej cytowanie w tekście nie budzi zastrzeżeń. Zasadniczą treść opracowania przedstawiono w dziewięciu rozdziałach, uszeregowanych w następujący sposób: 1. Wprowadzenie, 2. Stan wiedzy, 3. Cel, hipotezy i zakres badań, 4. Metodyka badań, 5. Metody analityczne, 6. Wyniki badań i dyskusja, 7. Podstawowe założenia techniczno-technologiczne, 8. Podsumowanie i wnioski końcowe, 9. Literatura. Zaproponowanym przez Doktorantkę temat rozprawy jest adekwatny do jej treści, a układ pracy jest logiczny i spełnia wymagania stawiane dysertacjom doktorskim. Łączące się logicznie z wprowadzeniem hipotezy badawcze oraz cele pracy zostały postawione w sposób syntetyczny i nie budzą wątpliwości. Praca generalnie napisana jest językiem zrozumiałym oraz umożliwiającym śledzenie przeprowadzonych badań i analizę przedstawionych wyników. Zawiera jednak liczne błędy edytorskie, stylistyczne i semantyczne. Jako przykładowe błędy można wskazać:

- W rozdziale 2.1 (str. 10) użyto niefortunnego sformułowania „aplikacja roślin ekstraktami”, chodzi zapewne o oprysk roślin.
- W rozprawie użyto niepoprawnych określeń takich „ścieki świńskie”, „ścieki bydlęce”, wynika to zapewne z nieprofesjonalnego tłumaczenia literatury obcojęzycznej i dotyczy zapewne gnojowicy lub gnojówki.
- Za niefortunny należy uznać również tytuł rozdziału 2.4.1 „Biologiczna warstwa gleby” znacznie częściej w odniesieniu do tego zagadnienia używa się określenia „Mikrobiom glebowy”.

- W tekście kilkakrotnie wykorzystane zostały słowa i frazy potoczne i nie mające charakteru naukowego np.: „postuluje się”, „szczypior”, „biomasa nie była trzymana” itp.
- Lektura rozprawy wskazuje, że Doktorantka nie zapoznała się z klasyfikacją nawozów oraz stosownym słownictwem dotyczącym tego obszaru. Pisząc (str. 29) o właściwościach nawozowych określa azot jako pierwiastek biogeny, co nie wiąże się z kontekstem merytorycznym wyводу. W odniesieniu do składników pokarmowych/nawozowych używa określeń „zasoby nawozowe”, „wartości nawozowe”, „związki biogenne”. Charakteryzując nawozy używa dość często nieaktualnej lub niepoprawnej nomenklatury np.: „nawozy sztuczne”, „naturalne nawozy organiczne”, „nawożenie chemiczne” itp.
- Niezgodnie z przyjętymi zasadami w pracy jednostki miary nie są prezentowane w układzie SI.
- Zdjęcia i rysunki powinny być numerowane odrębnie.
- W pracy występują liczne błędy w odwołaniu do rysunków, ich numeracji oraz opisie, co znacznie utrudnia śledzenie i analizę wyników np.: str. 76 str. opisy zamienione pomiędzy rys. 24 i rys. 25, str. 78 błędne odwołanie do rys. 27, str. 79 błędna numeracja, odwołania i opisy dla rysunków 28-31, rys 37 umieszczono znacznie wcześniej niż odwołanie do niego w tekście.
- Rysunki 32-35 należy uznać za zbędne ponieważ powielają one dane zawarte w tabeli 8 i nie wnoszą nic dodatkowego w zakresie interpretacji wyników.

Podstawę do opracowania rozprawy doktorskiej stanowiły dwuetapowe badania empiryczne dotyczące określenia możliwości produkcji biomasy mikroglonów *Chlorella vulgaris* oraz sinic *Arthrospira platensis* w fotobioreaktorach zasilanych ściekami bytowymi i jej wykorzystania do nawożenia symulantów regolitów marsjańskich i księżycowych w celu poprawy ich potencjału plonowania.

W pierwszym etapie przeprowadzono proces produkcji biomasy mikroglonów z gatunku *Chlorella vulgaris* oraz sinic *Arthrospira platensis*. Celem tego etapu było określenie efektywności produkcji biomasy przez mikroglony i sinice oraz ocena skuteczność usuwania zanieczyszczeń z medium hodowlanego opartego na ściekach bytowych. Głównym czynnikiem doświadczenia w tym etapie był rodzaj ścieków stosowanych do przygotowania medium hodowlanego. Do eksperymentu zostały wykorzystane modelowe, syntetyczne ścieki bytowe oraz naturalne ścieki bytowe pochodzące ze zbiornika bezodpływowego dla domu jednorodzinnego.

W drugim etapie mgr inż. Izabela Świca badała możliwość zastosowania biomasy mikroglonów oraz sinic do użyznienia testowanych symulantów regolitów marsjańskich i księżycowych. Jako obiekt

kontrolny zastosowano komercyjne podłoże ogrodnicze. Biomasa uzyskaną z mikroglonów nawożono 4 symulanty regolitu księżycowego i 2 symulanty regolitu marsjańskiego. Natomiast biomasę sinic nawożono po 2 symulanty regolitu księżycowego i marsjańskiego

W każdym z wariantów wyodrębniono cztery dawki nawożenia, które różniły się ilością biomasy mikroglonów lub sinic wprowadzanej do testowanych podłoży doświadczalnych. Stosowano kolejno: D0 - 0 g suchej masy/kg podłoża, D5 – 5 g suchej masy/kg podłoża, D10 – 10 g suchej masy/kg podłoża, D15 – 15 g suchej masy/kg podłoża. Doświadczenie prowadzono w 4 powtórzeniach.

Końcową ocenę wykonano w oparciu o analizę uzyskiwanych plonów biomasy naziemnej i podziemnej rośliny wskaźnikowej, którą była sałata masłowa (*Lactuca sativa* L).

Po zakończeniu badań eksperymentalnych Doktorantka wykonała analizę statystyczną uzyskanych wyników badań. Podjęła także próbę opracowania koncepcji techniczno-technologicznej systemu produkcji biomasy mikroglonów i sinic przeznaczonej na cele nawozowe dla symulantów regolitów pozaziemskich.

Dobór i zakres metod badawczych oraz przyjętych kryteriów oceny należy uznać za wystarczający i umożliwiający realizację założonego celu i zakresu badań.

Opis wyników zawarty w ocenianej dysertacji naukowych wskazuje na dobre rozeznanie Kandydatki w zakresie tematyki objętej badaniami. Autorka w wyniku przeprowadzonych prac wykazała, że ścieki bytowe mogą być stosowane jako medium hodowlane do produkcji biomasy mikroglonów *Chlorella vulgaris* oraz sinic *Arthrospira platensis*. Niezależnie od rodzaju wykorzystanych ścieków zarówno w przypadku mikroglonów jak i sinic efektywność przyrostu biomasy nie różniła się istotnie statystycznie. Organizmy te również bardzo efektywnie usuwały z obydwu rodzajów ścieków i wbudowywały w swoją strukturę związki azotu i fosforu. Istotne różnice dla mikroglonów i sinic zostały wykazane w wartości wskaźnika ChZT w zależności od rodzaju ścieków. Wskazuje to na zróżnicowany potencjał mikroglonów i sinic do zmniejszenia poziomu zanieczyszczeń ścieków w zależności od ich składu. Doktorantka wykazała także, że zawartość azotu, fosforu i potasu w wyprodukowanej biomacie mieściła się w wąskich granicach i wynosiła: $83,1 \pm 2,3 - 85,1 \pm 1,4 \text{ gN} \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$, $15,4 \pm 3,5 - 17,5 \pm 2,0 \text{ gP} \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ oraz $8,2 \pm 1,9 - 8,6 \pm 2,1 \text{ gK} \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$, w zależności od wariantu i gatunku mikroorganizmów. Zawartość węgla organicznego kształtowała się natomiast w zakresie od $470,7 \pm 61,9$ do $502,4 \pm 31,1 \text{ gC} \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$, co jest porównywalne z nawozami organicznymi.

Ponadto mgr inż. Izabela Świca wykazała, że w większości badanych symulantów regolitów marsjańskich i księżycowych najwyższe plony świeżej i suchej masy naziemnej i podziemnej sałaty siewnej uzyskiwano przy dawce $10 \text{ g} \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ zarówno w przypadku mikroglonów jak i sinic. Zwiększenie dawki do $15 \text{ g} \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ nie miało istotnego statystycznie wpływu na wzrost plonowania.

Natomiast analiza w odniesieniu do podłoża wykazała, że najwyższe plony rośliny wskaźnikowej uzyskano na obiekcie kontrolnym. Spośród symulantów regolitów najniższym plonowaniem sałaty siewnej cechował się regolit księżycowy AGK-2010 nawożony biomasą mikrogłonów, najwyższym natomiast regolit księżycowy JCS-1A nawożony biomasą sinic i uprzednio wykorzystywany do uprawy. Na tej podstawie Doktorantka bardzo trafnie stwierdziła, iż istnieje możliwość zwiększania wydajności upraw na podłożach pozaziemskich z każdym kolejnym cyklem produkcyjnym. Istotnym jest również wykazanie, że zastosowanie magnetycznej separacji związków ferromagnetycznych z symulanta regolitu księżycowego JCS-1A zwiększyło jego przydatność do uprawy sałaty siewnej.

Bardzo istotnym elementem pracy, który w przyszłości może znaleźć zastosowanie praktyczne, jest opracowanie założeń techniczno-technologicznych zamkniętego systemu oczyszczania ścieków bytowych, produkcji mikrogłonów i sinic, które będą stanowić nawóz umożliwiający uprawę roślin w warunkach stacji kosmicznych na Marsie i Księżycu. Proces ten jednocześnie wspomagałby usuwanie CO_2 i pozwalał na produkcję O_2 .

Wyniki prac badawczych i rozwojowych przedstawione w ocenianej rozprawie uprawniają to pozytywnego zweryfikowania postawionych hipotez badawczych oraz dokumentują realizację założonego celu i zakresu badań.

Dyskusja wyników badań ma charakter wielowątkowy i powstała w oparciu o obszerne piśmiennictwo. Autorka umiejętnie skonfrontował wynik badań własnych z danymi i opiniami innych autorów.

Zawarte w podsumowaniu wnioski końcowe w większości zostały sformułowane w sposób poprawny, są one jednak nazbyt rozbudowane. W efekcie stanowią one raczej kontynuację podsumowania i nie mają typowego charakteru syntetyzującego. Przykładem tego może być wniosek 5, które de facto stanowi kontynuację wniosku 4. Ponadto ostatnie zdanie wniosku 4 jest nieprawdziwe, ponieważ w pracy nie wykorzystywano analizy korelacji, a omawiana zależność dotyczy istotności różnic. We wniosku 2 Doktorantka wskazuje, że wskaźnik ChZT określa poziom zanieczyszczeń związkami organicznymi, a w rzeczywistości odnosi się on również do niektórych związków nieorganicznych np. siarczynów, siarczków. We wniosku 3 Kandydatka odnosi uzyskane wyniki do zawartości węgla organicznego, chociaż zarówno w metodyce jak i omówieniu wyników dotyczą one węgla całkowitego. Zakładam, że wynika to z prostego błędu semantycznego, a nie braku rozróżnienia powyższych form węgla. Należy tu jednak nadmienić, że poszerzenie analizy zawartej w rozdziale 6.1.2 właśnie o wyniki dotyczące C-org. podniosłoby wartość merytoryczną ocenianej rozprawy.

Podsumowując należy stwierdzić, że Doktorantka przygotowując ocenianą dysertację wykazała się odpowiednim poziomem ogólnej wiedzy teoretycznej i praktycznej z dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Legitymuje się również umiejętnością samodzielnej pracy naukowej. Nie ulega wątpliwości, że przygotowana przez mgr inż. Izabelę Paulinę Świca rozprawa stanowi oryginalne i cenne rozwiązanie postawionego problemu naukowego.

Niemniej jednak lektura przedmiotowej rozprawy skłania do przedstawienia kilku uwag merytorycznych o charakterze krytycznym oraz polemicznym, które w niczym nie umniejszają wartości merytorycznej pracy:

- We wstępie do rozprawy (str. 8) Doktorantka charakteryzując regolity wskazują że składają się także z materii organicznej. Rodzi się więc pytanie o pochodzenie tej materii organicznej w kosmosie? Na tej samej stronie co najmniej dwukrotnie zaprzecza temu podnosząc, że regolity mają jałowy charakter. Ponadto w rozdziale 2.6. przytacza literaturę jednoznacznie wskazującą na brak materii organicznej i węgla w regolitach.
- W rozdziale 2.2.1. poprawnie pod względem formalnym, ale nieznacznie tendencyjnie Kandydatka cytując pracę Mata i in., 2010, przytaczając wyniki dotyczące produkcji biodiesla z mikroglonów i kukurydzy: „Z kolei mikroglony charakteryzujące się 70% zawartością lipidów wykazują potencjał do produkcji ponad 120 ton biodiesla na hektar rocznie, co stanowi wynik blisko 800-krotnie wyższy niż w przypadku upraw kukurydzy, przy jednoczesnym ograniczeniu zapotrzebowania na powierzchnię uprawną niemal 160-krotnie”. W pracy tej znajdują się także dane m.in. dla rzepaku i palmy oleistej, które to rośliny, w odróżnieniu od kukurydzy, są typowymi surowcami do produkcji biodiesla. W tych przypadkach różnice są znacznie mniej spektakularne.
- Biorąc pod uwagę koncepcję i układ doświadczenia należy wskazać, że Doktorantka nie prowadziła jednego kompleksowego eksperymentu. Faktycznie były to dwa niezależne eksperymenty prowadzone odrębnie dla mikroglonów i odrębnie dla sinic. Znajduje to również odzwierciedlenie w omówieniu wyników, gdzie Doktorantka nie podjęła próby porównania różnic w efektywności i przydatności biomasy pomiędzy mikroglonami i sinicami. Uzupełnieniem w tym zakresie mogłaby być analiza wariancji (ANOVA) dla zmiennych niezależnych: gatunek mikroorganizmu, rodzaj ścieku, typ regolitu i zmiennej zależnej: plon sałaty siewnej. Możliwe i pożądane byłoby również wykonanie analizy głównych składowych (PCA). Pozwoliłoby to na jednoznaczne wskazanie najbardziej perspektywicznego rozwiązania w zakresie wykorzystania mikroglonów i sinic do nawożenia regolitów księżycowych i marsjańskich.

- W metodyce brak jest informacji w jaki sposób przetransportowano zamrożone mikroorganizmy z UWM Olsztyn do Uniwersytetu w Wageningen? Proszę również o informację, czy transport mógł mieć wpływ na przeżywalność mikroglonów i sinic oraz czy zamrożenie mogło mieć wpływ na tempo uwalniania składników pokarmowych.
- Czy zastosowana w trakcie badań dezintegracja biomasy będzie możliwa i uzasadniona z energetycznego punktu widzenia w warunkach stacji kosmicznej?
- Proszę o wyjaśnienie na czym polegało losowe rozmieszczenie doniczek na stole (rozd. 4.4.5, str 64). Czy był to układ całkowicie losowy, losowanych rozszczepionych poletek (split-plot) czy układ losowanych bloków?
- Znaczny niedosyt budzi fakt, że w ramach prowadzonych badań nie wykonano nawet uproszczonej analizy składu i oceny jakości biomasy nadziemnej sałaty. Ma to kluczowe znaczenie pod względem wartości odżywczych i bezpieczeństwa (np. zawartość azotanów) sałaty jako źródła pożywienia.
- Początkowa część rozdziału 6.1.1. nie jest omówieniem wyników tylko kontynuacją przeglądu literatury i powinna być przeniesiona do tego rozdziału.
- Cennym byłoby uzupełnienie rozdziału 6.1.1 o pogłębioną analizę i próbę wyjaśnienia znacznych różnic w obniżaniu ChZT w zależności od rodzaju ścieku wykorzystanego do badań przez mikroglony i sinice.
- Charakteryzując skład podłoża użytego jako kontrola (rozd. 6.1.3) mgr inż. Izabela Świca odniosła się do pochodzenia poszczególnych torfów, co jest informacją mało istotną. Należało wskazać rodzaj torfu (niski, wysoki, przejściowy) ponieważ to decyduje o jego kluczowych właściwościach fizycznych i chemicznych. Należy również przypuszczać, że „torf ogrodniczy” to przekompostowane reszki roślinne, które powinny być raczej określane jako kompost.
- Rozdział 6.1.3 stanowi uzupełnieniu informacji zawartych w rozdziale 4.2.4 i z tego powodu rozdziały te powinny być zintegrowane oraz zawarte w części metodycznej pracy.
- Proszę o wyjaśnienie przyczyn zmniejszenia plonu biomasy podziemnej i naziemnej sałaty siewnej nawożonej biomasą mikroglonów i sinic w dawce $15 \text{ g} \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ w stosunku do dawki $10 \text{ g} \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$. W tym kontekście za błędne należy uznać stwierdzenie zawarte na str. 107: „W każdym z tych przypadków obserwowano wzrost średniej wartości plonu w odpowiedzi na zastosowanie mikroglonów jako dodatku glebowego w porównaniu z kontrolą, przy czym większe dawki zazwyczaj skutkowały większymi wzrostami średnich wartości plonu”.

- Należałoby rozważyć uzupełnienie schematu funkcjonalnego procesów jednostkowych w zintegrowanym systemie oczyszczania ścieków, produkcji biomasy mikroglonów/sinic i ich wykorzystania w rolnictwie pozaziemskim o elementy zagospodarowania resztek żywności oraz zagospodarowania biomasy podziemnej roślin. Analizując cały proces rodzi się pytanie, czy istnieją w warunkach kosmicznych potencjalne zagrożenia związane z porażeniem roślin przez patogeny?

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Izabeli Pauliny Świca pt.: *„Wykorzystanie biomasy mikroglonów i sinic do nawożenia symulantów regolitów marsjańskich i księżycowych”* spełnia wymagania stawiane tego typu pracom w art. 187 ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2022 poz. 574) i kwalifikuję Kandydatkę do ubiegania się o stopień doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w zakresie dyscypliny naukowej *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*. **W związku z powyższym zwracam się do Rady Naukowej dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie o dopuszczenie mgr inż. Izabeli Pauliny Świca do dalszych etapów postępowania doktorskiego.**


prof. dr hab. Mariusz Matyka