

Gliwice, 14.04.2025 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Wojciecha Droni pt. "Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów"
wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Andrzeja Jędrzaka
(promotor pomocniczy dr inż. Jacek Połomka)
na Uniwersytecie Zielonogórskim

1. Podstawa opracowania

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Pani dr hab. inż. Sylwii Myszograj, prof. uczelni (pismo IIŚ-5.511.2.6.2025 z dnia 13.03.2025).

2. Wprowadzenie

Problematyka selektywnego zbierania i przetwarzania bioodpadów należy obecnie do najistotniejszych zagadnień inżynierii środowiska, ze względu na cele gospodarki o obiegu zamkniętym oraz wyzwania wynikające z unijnych regulacji prawnych w zakresie recyklingu i ograniczania składowania odpadów ulegających biodegradacji. Bioodpady, stanowiące istotny procent masy odpadów komunalnych, mają znaczący potencjał materiałowy i energetyczny – mogą być wykorzystane do produkcji biogazu, kompostu lub nawozów organicznych. Warunkiem koniecznym do ich prawidłowego zagospodarowania jest skuteczne usunięcie zanieczyszczeń, w szczególności tworzyw sztucznych, szkła i metali, których obecność ogranicza możliwości dalszego wykorzystania frakcji organicznej.

W tym kontekście coraz większego znaczenia nabiera opracowywanie rozwiązań technologicznych umożliwiających mechaniczne oczyszczanie bioodpadów. Wysoka efektywność takich procesów musi uwzględniać zarówno skuteczność separacji zanieczyszczeń, jak i ekonomikę wdrażania, niezawodność operacyjną oraz wpływ na parametry jakościowe uzyskanego strumienia organicznego. Zagadnienie to jest aktualne nie tylko z perspektywy eksploatacyjnej instalacji przetwarzania odpadów, lecz również z punktu widzenia projektowania przyszłych modeli gospodarki zasobami.

Rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Droni wpisuje się w ten kontekst, podejmując aktualny i praktycznie zorientowany problem oceny technicznej wykonalności procesu oczyszczania bioodpadów. Głównym celem pracy – zgodnie z sformułowaniem w rozdziale 6.1 rozprawy – była ocena technicznej wykonalności procesu oczyszczania bioodpadów na linii technologicznej wykorzystującej procesy powszechnie stosowane w sortowniach odpadów. Autor skoncentrował się na analizie skuteczności poszczególnych etapów oczyszczania oraz ocenie uzysków strumienia organicznego i strumienia zanieczyszczeń w różnych wariantach konfiguracyjnych. Zastosowanie metodyki opartej na badaniach rzeczywistych, przeprowadzonych w funkcjonującej instalacji MBP w Marszowie, nadaje pracy silny walor aplikacyjny i zwiększa jej przydatność dla praktyki inżynierskiej.

Mając powyższe na względzie, uważam rozprawę doktorską mgr inż. Wojciecha Droni pt. „Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z odpadów” za ważną zarówno z poznawczego, jak i utylitarnego punktu widzenia, a tematykę pracy za niezwykle aktualną.

3. Zakres i ocena rozprawy

Praca doktorska mgr inż. Wojciecha Droni została napisana w języku polskim i liczy 185 stron. Składa się z dwunastu rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, wykazu stosowanych skrótów, wprowadzenia, wykazu literatury (135 pozycji), spisu tabel (w tym spisu tabel z załączników), spisu rysunków i spisu fotografii oraz załączników w formie tabel zawierających m.in. skład morfologiczny bioodpadów i inne wyniki badań uzyskiwanych dla bioodpadów. Układ pracy jest logiczny, a zawartość spójnie przedstawia wyniki badań eksperymentalnych oraz koncepcyjnych.

W rozdziale pierwszym (str. 7 - 8) Autor wprowadza w problematykę gospodarowania bioodpadami w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym. Przedstawione zostały dane statystyczne dotyczące ilości wytwarzanych odpadów biodegradowalnych oraz ich udziału w strumieniu odpadów komunalnych. Autor słusznie zwraca uwagę, że pomimo istotnego znaczenia tego strumienia odpadowego, w literaturze trudno znaleźć szczegółowe i aktualne dane dotyczące składu materiałowego oraz stopnia zanieczyszczeń bioodpadów, co znacząco utrudnia projektowanie i optymalizację systemów ich przetwarzania. Rozdział ten stanowi poprawne i uzasadnione tło dla dalszych rozważań technicznych i badawczych.

Rozdział drugi (str. 9 – 26) zawiera szczegółowe informacje dotyczące bioodpadów, ich ilości, sposobów zbierania, uwarunkowań skuteczności selektywnej zbiórki oraz składu i właściwości fizykochemicznych. Autor odwołuje się do danych statystycznych

i dokumentów normatywnych, zarówno krajowych, jak i unijnych. Część ta w sposób uporządkowany przedstawia kluczowe parametry technologiczne bioodpadów oraz możliwe kierunki ich waloryzacji.

Warto jednak zwrócić uwagę, że przywoływane dane pochodzą z różnych lat, w tym m.in. z 2017, 2020 i 2021 roku, co może wpływać na spójność analizy oraz utrudniać ocenę dynamiki zmian. W przypadku tak zmiennego i regulacyjnie dynamicznego obszaru, jak gospodarka odpadami, przyjęcie jednolitego okresu odniesienia mogłoby zwiększyć klarowność prezentowanych analiz. Niemniej, rozdział stanowi dobrą podstawę do dalszych rozważań technologicznych.

W rozdziale trzecim (str. 27 – 33) Autor koncentruje się na etapach przygotowania bioodpadów do biologicznego przetwarzania, z uwzględnieniem technologii mechanicznego oczyszczania. Opisano funkcję i znaczenie wstępnej obróbki mechanicznej (WOM) jako etapu niezbędnego do rozluźnienia struktury materiału, rozdrobnienia frakcji oraz separacji zanieczyszczeń mineralnych i opakowaniowych. Omówiono kolejno takie operacje jednostkowe, a także ich wpływ na jakość substratu kierowanego do fermentacji lub kompostowania.

Zwrócono również uwagę na problemy praktyczne, takie jak niewystarczające rozrywanie worków z bioodpadami, które utrudnia skuteczne oddzielenie frakcji organicznej od zanieczyszczeń. Przedstawiony materiał, mimo syntetycznej formy, prezentuje aktualny stan wiedzy technologicznej w tym zakresie i stanowi właściwy punkt odniesienia dla dalszych analiz projektowych zawartych w rozprawie.

Rozdział czwarty (str. 34 – 36) zawiera uzasadnienie podjęcia tematu badawczego w kontekście sytuacji rzeczywistej instalacji MBP w Marszowie. Przedstawiono funkcjonujący system przygotowania bioodpadów do kompostowania, oparty na przesiewaniu oraz ograniczonej separacji mechanicznej, który dotychczas nie zapewniał wystarczającej czystości frakcji organicznej. Wskazano, że wraz ze wzrostem ilości bioodpadów dostarczanych do zakładu (obserwowanym sukcesywnie w ostatnich latach), pojawiła się konieczność rozbudowy instalacji o nowy moduł fermentacyjny, w którym przewidziano również etap mechanicznego otwierania worków.

Autor trafnie identyfikuje problemy związane z niewystarczającą skutecznością istniejących rozwiązań w zakresie oczyszczania frakcji organicznej oraz koniecznością osiągnięcia wysokiej jakości substratu kierowanego do dalszego przetwarzania. Argumentacja ta logicznie łączy część przeglądową z badaniami własnymi i uzasadnia potrzebę przeprowadzenia analiz nad techniczną wykonalnością alternatywnych wariantów linii mechanicznego oczyszczania bioodpadów.

W rozdziale piątym, na stronie 37, przedstawiono tezy pracy, które zostały sformułowane w sposób jasny, logicznie powiązany z celami rozprawy i możliwy do weryfikacji na podstawie zaprezentowanych wyników. Tezy odnoszą się do skuteczności zaproponowanego wariantu technologicznego w zakresie oczyszczania bioodpadów oraz jego wpływu na poprawę jakości strumienia biologicznego.

W jednej z tez pojawia się sformułowanie o „stosunkowo niewielkich nakładach inwestycyjnych”. Sformułowanie to jest dość ogólne i ma charakter względny — zasadne byłoby doprecyzowanie, w odniesieniu do jakiego typu instalacji lub poziomu nakładów to porównanie jest formułowane, co zwiększyłoby precyzję wypowiedzi i jej użyteczność dla praktyki.

W rozdziale szóstym (str. 38 -39) Autor określił cel oraz zakres pracy, a także przedstawił dwa szczegółowe zadania badawcze. Celem rozprawy było określenie technicznej wykonalności procesu oczyszczania bioodpadów w warunkach rzeczywistych, z zastosowaniem urządzeń typowych dla instalacji mechanicznego przetwarzania odpadów.

W ramach zadania 1 przeprowadzono roczne badania w cyklu miesięcznym, mające na celu analizę zmian składu morfologicznego oraz poziomu zanieczyszczeń bioodpadów zbieranych selektywnie na obszarach miejskich i wiejskich, zarówno metodą „od drzwi do drzwi”, jak i metodą donoszenia.

Zadanie 2 dotyczyło opracowania koncepcji technologicznej wstępnej obróbki bioodpadów, która umożliwi usunięcie zanieczyszczeń do poziomu akceptowalnego dla dalszego przetwarzania (kompostowania lub fermentacji), przy możliwie niskich stratach frakcji organicznej, oraz oceny technicznej wykonalności proponowanego rozwiązania.

Rozdział ten stanowi czytelne wprowadzenie do części empirycznej pracy.

Rozdział siódmy (str. 40–54) poświęcony jest realizacji zadania 1, obejmującego ocenę składu morfologicznego i poziomu zanieczyszczeń bioodpadów zbieranych selektywnie w różnych warunkach przestrzennych i organizacyjnych.

Autor szczegółowo przedstawia metodykę badań, obejmującą podział lokalizacji na gminy miejskie i wiejskie, sposób zbiórki (worki vs pojemniki), częstotliwość poboru próbek (miesięcznie przez 12 miesięcy), a także sposób ich przygotowania i analizy. Uwzględniono 12 różnych strumieni bioodpadów, co pozwoliło uchwycić zmienność sezonową i strukturalną.

Następnie zaprezentowano wyniki badań empirycznych, które wskazują na wyraźne różnice w poziomie zanieczyszczeń w zależności od formy zbiórki i typu zabudowy. Przedstawione dane mają charakter tabelaryczny i graficzny, co ułatwia ich interpretację.

W części dyskusyjnej Autor odnosi się do przyczyn obserwowanych różnic i wskazuje czynniki wpływające na jakość selektywnej zbiórki — m.in. rodzaj zabudowy, udział odpadów zielonych, dostępność infrastruktury oraz zachowania użytkowników.

Rozdział zamyka zestawienie wytycznych projektowych i zaleceń praktycznych dotyczących planowania linii technologicznej do oczyszczania bioodpadów — stanowiących pomost między analizą stanu istniejącego a koncepcją nowego wariantu opracowanego w rozdziale 8.

Rozdział ósmy (str. 55–115) stanowi najobszerniejszą i kluczową część rozprawy. Autor przedstawia w nim realizację zadania 2, polegającego na opracowaniu koncepcji technologicznej linii do oczyszczania bioodpadów oraz ocenie jej skuteczności technicznej.

Analizę rozpoczyna przegląd dostępnych urządzeń do rozrywania worków z bioodpadami — zaprezentowano sześć rozwiązań rynkowych, zróżnicowanych pod względem konstrukcji, zasady działania oraz stopnia destrukcji materiału wsadowego. W dalszej części przedstawiono dwa urządzenia do klasyfikacji sitowej, które mogą stanowić uzupełnienie procesu wstępnego przygotowania bioodpadów.

Na podstawie analizy parametrów technicznych dokonano następnie wyboru jednego urządzenia do rozrywania worków, które uznano za najlepiej odpowiadające specyfice badanego strumienia odpadów oraz możliwości technicznych instalacji referencyjnej.

Kolejnym krokiem było opracowanie trzech wariantów konfiguracji linii technologicznej:

- Wariant I – aktualnie stosowany w instalacji MBP w Marszowie, o ograniczonym zakresie separacji mechanicznej, z wysokim udziałem zanieczyszczeń w strumieniu biologicznym oraz dużymi stratami materiału organicznego.
- Wariant II – pierwsza propozycja modernizacji, obejmująca dodatkowe elementy separacji. Uzyskano poprawę parametrów oczyszczania przy umiarkowanym poziomie strat substratu.
- Wariant III – druga, najbardziej rozbudowana propozycja, obejmująca rozrywacz worków, przesiewacz, separator balistyczny i separator ciężki. Wariant ten

uzyskał najlepsze parametry oczyszczania, tj. najniższy udział zanieczyszczeń i największy odzysk frakcji organicznej.

Opis każdego z wariantów uwzględnia dobór urządzeń, ich konfigurację oraz oczekiwane efekty operacyjne. W dalszej części rozdziału przedstawiono metodykę pobierania i charakteryzowania próbek, umożliwiającą ocenę efektywności działania poszczególnych układów.

Następnie przeanalizowano, jaki poziom usunięcia zanieczyszczeń z bioodpadów należy osiągnąć, aby frakcja organiczna mogła być kierowana do procesów biologicznego przetwarzania (kompostowania lub fermentacji), zgodnie z wymaganiami jakościowymi. W tym kontekście zaprezentowano wyniki badań i ocenę skuteczności proponowanych konfiguracji.

Szczególne znaczenie ma tabela 19, w której zestawiono najważniejsze dane dotyczące wybranych urządzeń. Jest ona kluczowa dla zrozumienia logiki projektowej i wyboru rozwiązań technologicznych.

Autor deklaruje, że w analizie uwzględniono również koszty zakupu, jednak przedstawiono je wyłącznie w sposób jakościowy — bez danych liczbowych, analiz kosztów eksploatacyjnych, energetycznych czy serwisowych. Brakuje również odniesień do trwałości urządzeń czy dostępności części zamiennych, co ogranicza ocenę realnej wykonalności inwestycyjnej poszczególnych wariantów.

Rozdział dziewiąty (str. 116 – 123) pt. *„Porównanie wariantów instalacji mechanicznego oczyszczania bioodpadów i wybór ostatecznego rozwiązania”* zawiera próbę kompleksowego zestawienia trzech przeanalizowanych wcześniej wariantów konfiguracji technologicznej. Autor odnosi się zarówno do parametrów technicznych (sprawność usuwania zanieczyszczeń, straty frakcji organicznej, jakość uzyskanego kompostu), jak i kosztów eksploatacyjnych. W zakończeniu przedstawiono autorską rekomendację rozwiązania, które uznano za najkorzystniejsze z punktu widzenia przyjętych kryteriów.

Zawarte w rozdziale zestawienia tabelaryczne i opisowe prezentują czytelnie wyniki porównania poszczególnych układów. Autor trafnie identyfikuje mocne strony wariantu III w zakresie skuteczności oczyszczania i jakości uzyskanego materiału, przy jednoczesnym wskazaniu na większe straty masowe i potencjalnie wyższe koszty operacyjne. Za optymalne rozwiązanie przyjęto jednak wariant II, jako kompromis między skutecznością separacji zanieczyszczeń a racjonalnością kosztową.

W części dotyczącej kosztów eksploatacyjnych wskazano zużycie energii i paliwa oraz przypisano im szacunkowe koszty jednostkowe. Analiza ta, choć poprawnie osadzona

w strukturze porównawczej, pozostaje jednak dość uproszczona – przedstawiono jedynie koszty operacyjne, bez odniesienia do kosztów inwestycyjnych, czasu zwrotu nakładów czy pełnych wskaźników opłacalności, takich jak NPV czy IRR.

Zabrakło również analizy wrażliwości, która mogłaby pokazać, jak zmiany kluczowych parametrów (np. ceny energii, ilości odpadów, kosztów serwisu) wpływają na ocenę wariantów. Tego rodzaju podejście byłoby szczególnie cenne, biorąc pod uwagę, że mamy do czynienia z oceną przedsięwzięcia inwestycyjnego.

Warto również zauważyć, że przyjęta w analizie cena oleju napędowego wydaje się niedoszacowana, co może wpływać na relatywną ocenę kosztów dla urządzeń z napędem spalinowym.

Pomimo tych ograniczeń, rozdział dziewiąty stanowi logiczne podsumowanie wcześniejszych analiz technologicznych. Wskazanie wariantu II jako rozwiązania rekomendowanego zostało oparte na jasno przedstawionych kryteriach, choć – z uwagi na uproszczenia w części ekonomicznej – warto byłoby tę część rozbudować o bardziej pogłębione podejście analityczne.

Rozdział 10 (str. 124 – 127) stanowi podsumowanie pracy, a w rozdziale 11 (str. 128 - 129) przedstawiono wnioski końcowe. Rozdział 12 (str. 130) zawiera opis kierunków dalszych badań.

Za główne osiągnięcia Autora pracy uważam:

1. Przeprowadzenie rocznego cyklu badań morfologii bioodpadów zbieranych selektywnie w różnych systemach zbiórki (worki, pojemniki) na terenach wiejskich i miejskich, w ujęciu sezonowym i operacyjnym.
2. Opracowanie i wdrożenie metodyki oceny składu i zanieczyszczeń bioodpadów, uwzględniającej podział na frakcje kuchenne i ogrodowe, oraz ich wpływ na jakość strumienia biologicznego.
3. Przeprowadzenie szczegółowej analizy sześciu urządzeń do rozrywania worków oraz dwóch do klasyfikacji sitowej, wraz z ich parametrami eksploatacyjnymi, co stanowi cenny wkład aplikacyjny.
4. Opracowanie i porównanie trzech wariantów konfiguracyjnych linii mechanicznego oczyszczania bioodpadów, w tym rzeczywistego układu (wariant I) oraz dwóch propozycji modernizacyjnych (warianty II i III), wraz z oceną ich skuteczności technicznej.

5. Wskazanie wariantu technologicznego zapewniającego najniższy poziom zanieczyszczeń w bioodpadach oraz najmniejsze straty frakcji organicznej, z uwzględnieniem podstawowych kosztów operacyjnych.
6. Zaproponowanie zestawu wytycznych projektowych i eksploatacyjnych dla przyszłych modernizacji instalacji MBP, zorientowanych na poprawę jakości frakcji biologicznej kierowanej do przetwarzania.

Mając to wszystko na względzie, stwierdzam, że tytuł rozprawy trafnie oddaje jej zakres. Geneza tematu i uzasadnienie celowości podjęcia go jako problemu badawczego wynikają z przeglądu stanu wiedzy. W rozprawie wyznaczono cel, sformułowano tezy i określono zakres badań. Zdaniem recenzenta tematyka pracy jest oryginalna, aktualna i interesująca. Warto zauważyć kompleksowy charakter prowadzonych badań. Uważam zakres, strukturę merytoryczną i układ recenzowanej za właściwe.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Poniżej przedstawiam uwagi krytyczne i dyskusyjne jakie nasunęły się podczas lektury pracy:

1. Warto zwrócić uwagę, że tylko około 30% wykorzystanych w rozprawie źródeł literaturowych stanowią publikacje wydane po 2020 roku, a jedynie 3 pochodzą z roku 2024 (na łączną liczbę 135 pozycji). Ponadto w wielu przypadkach Autor deklaruje dostęp do źródeł na poziomie roku 2017 (np. pozycja 59). Biorąc pod uwagę dynamiczny rozwój badań i wdrożeń technologicznych w zakresie przetwarzania bioodpadów, aktualność części wykorzystanej literatury może być niewystarczająca i ograniczać odniesienie analiz do najnowszego stanu wiedzy.
2. Strona 9 – w jaki sposób można zachęcać mieszkańców do kompostowania domowego?
3. Strona 15 – Autor wskazuje, że jednym z działań mogących przyczynić się do ograniczenia poziomu zanieczyszczeń w strumieniu bioodpadów jest stosowanie przezroczystych worków, umożliwiających wstępną kontrolę zawartości przez odbierającego. Warto jednak zauważyć, że rozwiązanie to nie znajduje powszechnego zastosowania w praktyce systemów komunalnych. Przykładowo, w mieście Gliwice system zbiórki bioodpadów przy użyciu worków będzie funkcjonował tylko do końca bieżącego roku, po czym całość bioodpadów ma być gromadzona wyłącznie w pojemnikach. W kontekście

takiej zmienności i lokalnych różnic systemowych, zasadna byłaby szersza dyskusja na temat trwałości i realnej skuteczności tego typu rozwiązań.

4. Strona 17 – jak wytłumaczyć wartość "0" jeżeli chodzi o masę zbieranych bioodpadów selektywnie na Malcie?
5. Wiele sformułowań ma charakter popularnonaukowy: np. „Informacje z Niemiec sugerują...”, „Z literatury wiadomo...” itd.
6. W tekście rozprawy Autor posługuje się wymiennie określeniami „plastiki” oraz „tworzywa sztuczne”. Choć znaczeniowo są to pojęcia zbliżone, to z punktu widzenia poprawności terminologicznej i precyzji naukowej zalecane jest stosowanie spójnego i jednoznacznego nazewnictwa, szczególnie w pracach o charakterze technicznym. Określenie „tworzywa sztuczne” jest terminem fachowym i bardziej odpowiednim w kontekście klasyfikacji odpadów, dlatego warto rozważyć jego konsekwentne stosowanie w całej rozprawie.
7. Rysunek 8 (i inne) – co oznaczają przedstawione „słupki błędów” na wykresie? Jaka jest dokładność pokazanych wyników?
8. Z punktu widzenia realizacji zadania badawczego 2, którego celem było opracowanie koncepcji linii oczyszczania bioodpadów umożliwiającej ich dalsze przetwarzanie, Autor w rozdziale 8 koncentruje się wyłącznie na aspekcie jakości wytwarzanego kompostu. Tymczasem w rozdziale 7, opisując skład morfologiczny oraz poziom zanieczyszczeń w bioodpadach, Autor wielokrotnie odnosi się do ich przydatności do produkcji biogazu oraz możliwego wpływu zanieczyszczeń na przebieg fermentacji beztlenowej. Taka rozbieżność może sugerować brak pełnej spójności podejścia do kryteriów oceny jakości strumienia biologicznego. Choć oba kierunki waloryzacji bioodpadów (kompostowanie i fermentacja) są technicznie uzasadnione, warto byłoby doprecyzować, dlaczego w analizie wariantów technologicznych skupiono się wyłącznie na aspekcie kompostowym, mimo wcześniejszych odniesień do uwarunkowań fermentacyjnych. Ujednolicenie tego podejścia zwiększyłoby spójność argumentacji i przejrzystość interpretacji wyników.
9. Spójność danych: tabela 26 dla wariantu 1 – 4 000,00Mg/rok, a dla W2 po 17 000Mg/rok; dlaczego zakłada się różne wartości ilości przetworzonych odpadów?

Podkreślić należy, że powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają wartości naukowej pracy i pozytywnej oceny pracy.

5. Zagadnienia do wyjaśnienia podczas obrony

1. W kilku miejscach rozprawy Autor wskazuje, że ograniczona dostępność danych dotyczących składu materiałowego oraz stopnia zanieczyszczeń bioodpadów wynika z konieczności stosowania czasochłonnych i pracochłonnych procedur badawczych. Z punktu widzenia oceny wiarygodności i reprezentatywności takich danych, zasadne byłoby doprecyzowanie, jakie konkretnie procedury Autor ma na myśli. Czy są to procedury obowiązujące w Centralnym Laboratorium Instytutu Inżynierii Środowiska?
2. Autor wskazuje, że odpady charakteryzujące się wysoką zawartością ligniny nie są odpowiednie do przetwarzania w instalacjach fermentacji beztlenowej. Z punktu widzenia merytorycznego zasadne byłoby doprecyzowanie, z czego dokładnie wynika ta ograniczona podatność substratów ligninowych na proces fermentacji.
3. W rozprawie, m.in. przy analizie przedstawionej na rysunku 12, Autor posługuje się współczynnikiem determinacji R^2 w celu opisanie zależności pomiędzy udziałem odpadów kuchennych i ogrodowych a łączną zawartością zanieczyszczeń w strumieniu bioodpadów. Zastosowanie R^2 jako miary dopasowania modelu regresji liniowej do danych jest metodologicznie uzasadnione. Współczynnik ten przyjmuje wartości w przedziale od 0 do 1 i wskazuje, jaka część zmienności zmiennej objaśnianej jest wyjaśniana przez zmienną objaśniającą. Warto jednak zauważyć, że w kilku przypadkach przedstawione wartości R^2 są bardzo niskie (np. 0,0058), co świadczy o braku istotnej zależności. W innym przypadku, dla $R^2=0,29$, Autor określa poziom korelacji jako wysoki, co może być wątpliwe — taka wartość świadczy raczej o słabej lub umiarkowanej korelacji i wymaga ostrożnej interpretacji. W związku z powyższym, proszę o doprecyzowanie, na jakiej podstawie Autor kwalifikuje wartości R^2 jako niskie, umiarkowane lub wysokie i czy przyjęto jakiekolwiek progi interpretacyjne lub odniesienia literaturowe. Ujednolicenie podejścia zwiększyłoby przejrzystość analizy statystycznej.
4. W wielu miejscach rozprawy Autor przedstawia wyniki pomiarów z zapisem „plus/minus”, np. $21,8 \pm 23,5$ czy $6,8 \pm 24,2$. Warto zwrócić uwagę, że w części przypadków wielkość podawanego błędu jest większa niż sama wartość średnia, co może sugerować bardzo wysoką niepewność lub wręcz brak statystycznej reprezentatywności uzyskanych danych. Takie zapisy budzą pytania o liczbę próbek, warunki powtarzalności pomiarów oraz sposób wyliczenia odchylenia. Szczególnie istotne jest to w kontekście tabeli 23, która służy jako podstawa porównawcza dla oceny trzech wariantów

technologicznych. W tej tabeli nie podano żadnych informacji o błędach pomiarowych ani zakresie zmienności danych. Trudno zatem ocenić, czy różnice pomiędzy wariantami są rzeczywiście istotne, czy mieszczą się w granicach przypadkowej zmienności. Jak należy interpretować tak wysoki poziom niepewności? Czy Autor sprawdził, czy różnice między wariantami są istotne statystycznie, czy też mogą wynikać jedynie z przypadkowego rozrzutu wyników?

6. Wnioski końcowe

W podsumowaniu chciałbym zaznaczyć, że wszelkie uwagi o charakterze krytycznym nie wpływają na ogólną ocenę rozprawy, która jest jednoznacznie pozytywna i bardzo wysoka. Przedstawiona praca doktorska mgr inż. Wojciecha Droni stanowi oryginalne i aplikacyjnie zorientowane podejście do rozwiązania konkretnego problemu inżynierskiego z zakresu zagospodarowania bioodpadów.

Autor skutecznie zrealizował wyznaczone cele badawcze, a zakres przeprowadzonych analiz należy uznać za szeroki i pogłębiony. Na szczególne podkreślenie zasługuje praktyczny wymiar pracy, oparty na rzeczywistych danych i analizach ukierunkowanych na poprawę efektywności instalacji technologicznych.

Mgr inż. Wojciech Dronia wykazał się znajomością aktualnego stanu wiedzy w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, umiejętnością formułowania problemów badawczych, samodzielnością w prowadzeniu badań oraz rzetelnością w prezentowaniu wyników.

Na podstawie przedłożonej rozprawy pt. *„Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów”*, stwierdzam, że spełnia ona wymogi określone w art. 219 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2022, poz. 574 z późn. zm.).

Wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Wojciecha Droni do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

14/04/2025

Jelonek Me