

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Droni
pt. **„Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów”**
wykonanej pod kierunkiem Promotora prof. dr hab. inż. Andrzeja Jędrzaka i promotora
pomocniczego dr inż. Jacka Połomki
w Szkole Doktorskiej Nauk Ścisłych i Technicznych
Uniwersytetu Zielonogórskiego

1. Podstawa prawna recenzji

Podstawą wykonania recenzji było powołanie na recenzenta przez Senat Uniwersytetu Zielonogórskiego w dniu 26 lutego 2025r. przekazane pismem Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Uniwersytetu Zielonogórskiego dr hab. inż. Sylwii Myszograj, prof. UZ z dnia 13 marca 2025r.

2. Ogólna charakterystyka

Rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Droni pt. **„Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów”** jest 185-stronicowym zwartym opracowaniem. W dysertacji wyróżniono: streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz skrótów, wprowadzenie, część literaturową, tezy, cel i zakres pracy, dwa zadania badawcze a także porównanie wariantów instalacji oczyszczania bioodpadów, podsumowanie, wnioski końcowe oraz kierunki dalszych badań. Całość zamyka wykaz literatury, spis tabel i rysunków oraz załączniki.

W streszczeniu i w podsumowaniu znajduje się informacja, że celem pracy doktorskiej wykonywanej w ramach V edycji programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Doktorat wdrożeniowy” było opracowanie linii technologicznej do rozrywania i opróżniania worków z bioodpadami oraz ich oczyszczania przy użyciu maszyn i urządzeń wykorzystywanych w zakładach przetwarzających odpady.

W spisie literatury znajduje się 135 pozycji, wśród których, 87% stanowią opracowania angielskojęzyczne. Większość cytowanych prac zostało opublikowane w ostatnich latach. W spisie znajdują się także 2 pozycje współautorskie Doktoranta w tematyce odpowiadającej rozprawie. W rozprawie zachowano właściwą proporcję pomiędzy częścią przeglądową, opisem badań i wyników.

3. Ocena szczegółowa

Rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Droni jest rozprawą o charakterze badawczym dotyczącym rozwiązania problemu przygotowania bioodpadów do przetwarzania na przykładzie Instalacji Komunalnej w Marszowie. We wprowadzeniu nakreślono problem związany z powstawaniem i przetwarzaniem bioodpadów. Informacje teoretyczne opracowane na bazie danych literaturowych przedstawiono w dwóch rozdziałach. W pierwszym przedstawiono ogólne informacje dotyczące bioodpadów, a w punkcie drugim – przygotowanie bioodpadów do przetwarzania. Zdefiniowano pojęcie bioodpadów, ilość tych odpadów w Polsce i na świecie, systemy selektywnej zbiórki tego rodzaju odpadów oraz ich charakterystykę jakościową. Ważnym elementem części przeglądowej jest rozdział dotyczący przygotowania bioodpadów do przetwarzania, w którym przeanalizowano dostępne dane dotyczące wstępnej mechanicznej obróbki bioodpadów w celu wysortowania składników, które należy usunąć przed dalszym przetwarzaniem. W punkcie dotyczącym uzasadnienia podjęcia tematu pracy, opisano aktualny sposób przygotowania odpadów przed procesem kompostowania w Instalacji Komunalnej w Marszowie. Dokonany przegląd danych literaturowych jest ściśle związany z przedmiotem badań własnych. Informacje bazowe zostały właściwie rozpoznane i opisane. Po przeglądzie literatury wprowadzającym czytelnika w tematykę pracy, zamieszczono tezy badawcze, cel i zakres pracy. Tezy pracy sformułowano następująco:

- Możliwe jest wybudowanie linii technologicznej, wykorzystując maszyny i urządzenia powszechnie dostępne na rynku, przy stosunkowo niewielkich nakładach inwestycyjnych oraz kosztach eksploatacji, która pozwoli na skuteczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów.
- Obróbka mechaniczna bioodpadów podczas opróżniania worków nie wpływa negatywnie na przebieg i wydajność przetwarzania bioodpadów.

Jak napisano w rozprawie, celem pracy była ocena technicznej wykonalności procesu oczyszczania bioodpadów na linii technologicznej wykorzystującej procesy powszechnie stosowane w sortowniach odpadów. Dla realizacji ogólnego celu wyznaczono cele szczegółowe:

- określenie składu morfologicznego i poziomu zanieczyszczenia bioodpadów selektywnie zbieranych na terenie miast i wsi,
- opracowanie koncepcji linii technologicznej wstępnej obróbki bioodpadów umożliwiającej wydzielenie występujących w nich zanieczyszczeń w stopniu zapewniającym produkcję kompostu, przy niewielkich stratach materiału organicznego,
- badania polegające na praktycznej ocenie sprawności usuwania zanieczyszczeń w wybranych urządzeniach zaplanowanych do oczyszczania bioodpadów na linii wstępnej obróbki bioodpadów oraz wybór optymalnego rozwiązania linii technologicznej.

W ramach realizacji założonego celu wydzielono dwa następujące zadania badawcze:

- Zadanie 1 – wykonanie rocznych badań w cyklu miesięcznym zmian składu morfologicznego i poziomu zanieczyszczenia bioodpadów selektywnie zbieranych na terenie miast i wsi, metodą „od drzwi do drzwi” i metodą „donoszenia”.

- Zadanie 2 – opracowanie koncepcji technologicznej (optymalnego rozwiązania) linii wstępnej obróbki bioodpadów umożliwiającej wydzielenia z nich zanieczyszczeń (ciał obcych) w stopniu uniemożliwiającym produkcję kompostu i/lub pofermentu, przy niewielkich stratach materiału organicznego oraz ocena technicznej wykonalności procesu.

Następnie w kolejności przedstawiono informacje dotyczące metodyki badań, wyniki i dyskusję dla poszczególnych zadań badawczych.

Realizacja badań zaplanowanych w ramach zadania 1 polegała na badaniach morfologii bioodpadów zbieranych selektywnie na terenie wiejskim i miejskim. Obejmowało to pobór próbek w 4 gminach wiejskich i 4 miastach, w tych drugich z uwzględnieniem terenów zabudowy jedno- i wielorodzinnej. Badano 12 strumieni odpadów, w cyklu miesięcznym, przez okres jednego roku. Zatem liczba próbek przeznaczanych do badań wynosiła 144. Skład materiałowy bioodpadów określono selekcjonując manualnie 27 rodzajów odpadów. Do trzech głównych kategorii zaliczono odpady żywności, ogrodowe i zanieczyszczenia. Odpady żywności podzielono na dwie podkategorie: odpady jadalne i niejadalne, a w każdej z nich wydzielono 6 rodzajów: chleb i pieczywo, mięso i ryby, nabiał, suszona żywność, owoce i warzywa oraz inne żywności. W ramach odpadów ogrodowych selekcionowano trawę, liście, gałęzie oraz inne ogrodowe. Wśród zanieczyszczeń bioodpadów wyróżniono: papier i tekturę (opakowania, inne i tektura), tworzywa sztuczne (opakowania i inne), metale (żelazne i nieżelazne) oraz inne takie jak szkło tekstylia, odpady wielomateriałowe, mineralne i frakcję mniejsza od 10 mm. Czterokrotnie w ciągu roku oznaczano wilgotność odpadów oraz zawartość związków organicznych (jako straty prażenia) oraz skład morfologiczny frakcji o średnicy mniejszej od 10 mm. Wyniki badań składu morfologicznego dla każdego miesiąca przedstawiono tabelarycznie w załącznikach. Na rysunkach przedstawiono zmiany ilościowe w przeliczeniu na mieszkańca miasta lub gminy oraz udział procentowy wybranych grup odpadów pochodzących z terenów zabudowy jedno- i wielorodzinnej w miastach oraz na terenach wiejskich. W załącznikach podano także wartości wskaźników jakościowych z badań analitycznych. W dyskusji wyników opisano ilość zanieczyszczeń w bioodpadach oraz główne grupy takie jak: drewno przetworzone, tworzywa sztuczne, odpady mineralne, papier, szkło oraz tekstylia. Następnie wyznaczono korelacje między zawartością poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń a zawartością odpadów kuchennych i ogrodowych w bioodpadach. Na podstawie wyników opracowano wytyczne do zaprojektowania linii wstępnego oczyszczania bioodpadów.

W punkcie 8, gdzie opisano zadanie 2, przedstawiono urządzenia zaproponowane do mechanicznego usuwania zanieczyszczeń z bioodpadów, metodykę badań, otrzymane wyniki i ich dyskusję. Do testów wybrano 6 urządzeń, którymi były: mobilny rozdrabniacz wolnoobrotowy, stacjonarne rozrywarki worków dwóch firm, mobilny przesiewacz gwiaździsty, mobilne rozdrabniacze jednowałowe dwóch firm i mobilny rozdrabniacz jednowałowy.

Badania obejmowały wyznaczenie: masy worków wysortowanych z bioodpadów poddawanych obróbce, masy bioodpadów pozostałych w rozerwanych workach usuniętych na linii sortowniczej

(strata bioodpadów), masy opróżnionych worków po oczyszczeniu z bioodpadów, czas trwania operacji opróżniania worków oraz zużycie energii/oleju napędowego. Dla dwóch wybranych urządzeń określono poziom manualnego wysortowywania zanieczyszczeń z bioodpadów. Oznaczano masę wysortowanych zanieczyszczeń oraz ich ilość pozostałą w bioodpadach. Oznaczano zawartości następujących zanieczyszczeń: worki na bioodpady, woreczki i torby z tworzyw sztucznych, inne tworzywa sztuczne, szkło, metale żelazne i nieżelazne, odpady wielomateriałowe oraz odpady mineralne.

Zaprojektowano, wybudowano i oceniono dwa warianty procesu wstępnego mechanicznego przetwarzania bioodpadów pod kątem ich skuteczności w usuwaniu zanieczyszczeń z selektywnie zbieranych bioodpadów. Analizie i ocenie poddano również proces do podczyszczania bioodpadów obecnie stosowany w Marszowie. Wykonano 21 serii pomiarowych: jedna dotyczyła obecnie stosowanego rozwiązania (wariant I), 14 – dla wariantu II i 6 – wariantu III. Otrzymane składniki i bioodpady po obróbce analizowano określając ich ilość i skład materiałowy oraz dla wybranych strumieni odpadów, wilgotność. Określano również liczbę i czas pracy pracowników obsługujących linię, czas pracy urządzeń. Przeanalizowano także jakość kompostu obecnie wytwarzanego oraz powstającego z wyselekcjonowanych bioodpadów po uprzednim oczyszczaniu ich według projektowanych wariantów II i III. Sporządzono bilans materiałowy dla wariantów, także z uwzględnieniem terenu zbiórki bioodpadów. Wyznaczono sprawność usuwania zanieczyszczeń z poszczególnych materiałów odpadowych na każdym etapie oczyszczania (rozrywarka, elektro-magnesy, sortowanie ręczne, przesiewacz, sito – w zależności od wariantu). Otrzymane wyniki badań dla poszczególnych wariantów porównano oceniając sprawność usuwania zanieczyszczeń, straty masy bioodpadów, dystrybucji wydzielonych składników, bilans masowy, skład jakościowy kompostu oraz koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. Punkt 10 zawiera podsumowanie, a na zakończenie rozprawy zamieszczono 7 obszernych wniosków. W badaniach wykazano, że

- Głównym składnikiem bioodpadów z gospodarstw domowych są odpady spożywcze, których udział w masie mokrej bioodpadów na terenach gmin wiejskich, w miastach w dzielnicach z zabudową wielorodzinną i jednorodziną wynosił średnio odpowiednio: 47%, 48% 37% (w zabudowie jednorodzinnej w miastach przeważały odpady ogrodowe - 53%)
- Udział oddzielonych składników wynosi 12%, 11% oraz 17% odpowiednio w bioodpadach z terenów wiejskich, miejskich z zabudową jednorodziną i wielorodzinną
- Mechaniczne rozrywanie i opróżnianie worków, separacja magnetyczna oraz przesiewanie, wsparte sortowaniem ręcznym są skuteczne w usuwaniu zanieczyszczeń z bioodpadów w stopniu zapewniającym spełnienie warunków prawnych dla nawozów organicznych w odniesieniu do kompostu otrzymanego na bazie tych bioodpadów
- Skuteczność usuwania zanieczyszczeń w obecnie stosowanym procesie oczyszczania (wariant I) nie przekraczała 5%, a w opracowanych rozwiązaniach złożonych z następujących urządzeń wynosiła:

- 72% - wariant II: rozdrabniacz dwuwiałowy z SFM + kabina sortownicza + sito obrotowe 80 mm;
 - 76% - wariant III: rozdrabniacz dwuwiałowy z SFM + sito gwiaździste + kabina sortownicza + sito obrotowe
- Udział zanieczyszczeń w bioodpadach w odniesieniu do suchej masy wytworzonego kompostu wynosił 0,45% i 0,52% odpowiednio dla wariantów II i III
 - Analiza porównawcza dwóch wariantów mechanicznego oczyszczania bioodpadów wskazuje, że preferowanym rozwiązaniem jest wariant II przy mniejszej (3%) skuteczności usuwania zanieczyszczeń od wariantu III i mniejszych (1,7-; 1,4-krotnie) jednostkowych kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych
 - Komposty niezależnie od zastosowanej metody podczyszczania bioodpadów spełniały aktualne wymagania prawne dla nawozów organicznych.

Analizując treść pracy, opis wyników i podsumowanie należy stwierdzić, że teza pierwsza została w pełni udowodniona, a teza druga – częściowo (co zostało zawarte we wniosku 7 recenzowanej rozprawy). Nakreślone cele badań zostały osiągnięte i udokumentowane wynikami badań. Należy tu podkreślić duże zaangażowanie Doktoranta w zaplanowanie, zorganizowanie i logistykę poszczególnych etapów i serii badań, a także interpretację wyników. Zostały one zestawione w tabelach w tekście i w załącznikach, przedstawione na przejrzystych rysunkach oraz właściwie i wyczerpująco opisane.

Tematyka doktoratu wpisuje się w aktualne problemy inżynierii środowiska w zakresie gospodarki odpadami i posiada elementy naukowe oraz użytkowe. Rozprawa jest opracowaniem przedstawiającym wyniki badań, które poszerzają wiedzę dotyczącą morfologii bioodpadów w zależności od terenu zbierania. Rozprawa zawiera duży materiał wyników obejmujący nie tylko wyniki badań jakościowych bioodpadów, ale także ocenę możliwości zastosowania różnych urządzeń do separacji zanieczyszczeń z tych materiałów. Stanowi to cenny materiał informacyjny dla projektantów i eksploataatorów linii technologicznych do przetwarzania biodegradowalnych odpadów. Praca stanowi kompleksowe podejście do postępowania z bioodpadami począwszy od ich selektywnej zbiórki, poprzez sortowanie, oczyszczanie i przetwarzanie w procesie kompostowania. Proponowane rozwiązanie jest zbieżne z zasadą gospodarki o obiegu zamkniętym. Zgodnie z zasadą doktoratów wdrożeniowych, wyniki badań zostaną wdrożone w opróbowanym zakładzie przetwarzania odpadów, w którym perspektywnie będzie można przyjąć, poddać oczyszczaniu i przetwarzaniu (obecnie w procesie kompostowania, a w perspektywie – fermentacji) nad 4 -krotnie większą ilość bioodpadów. Dodatkową wartością tych badań jest przeanalizowanie jakości kompostu powstającego z bioodpadów, uprzednio oczyszczonych z zastosowaniem proponowanych urządzeń. Badania te wykazały, że jakość kompostu nie będzie odbiegać od otrzymywanego obecnie materiału spełniającego wymagania prawne określone dla produktów nawozowych.

4. Uwagi edycyjne

Podkreślając profesjonalne podejście Doktoranta do zagadnienia, zarówno w kwestii przeglądu literatury jak i organizacji badań a także opisu wyników, w rozprawie znalazły się drobne niedociągnięcia edycyjne. Nie mają one jednak wpływu na ocenę strony merytorycznej rozprawy. Uwagi te są następujące:

- W spisie treści brakuje podpunktów 8.1.1.1;8.1.1.2;8.1.1.3;8.1.1.4; 8.1.1.5;8.1.1.6;
- Powtarzające się tytuły podrozdziałów: Wybór urządzenia do rozrywania i opróżniania worków, (pkt.8.2.1; 8.3.1; 8.4.1), Koncepcja linii do wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów (pkt.8.2.2; 8.3.2; 8.4.2) oraz Ustalenie niezbędnego poziomu usunięcia zanieczyszczeń z bioodpadów w procesie mechanicznego ich oczyszczania oraz wpływu tych operacji na właściwości bioodpadów i jakość wytwarzanego kompostu (pkt.8.2.3; 8.3.3; 8.4.3).
- Opis rys. 14 nieco różni się od rys. 14, opis oznakowanych próbek na str. 74 różni się od danych na rys. 19
- Na str. 73 wymieniono procesy II i III zamiast wariant II i III
- Nieprawidłowe sformułowania: „pozbyć się odpadów” (str.14), „ko-lokowanych instalacji fermentacji” (str.26), „informacje z Niemiec” (str.28), „zanim trafią/ „trafi do ” (str.29, 36), „uwolnione bioodpady...” (str. 71), „kompost wykazywał odczyn” (str.91), „bilans masowy procesu” (str.99), „dodatnia korelacja R^2 ” (str.115), „firma boryka się” (str.122), „całkowita luka w wiedzy”, „szeregu interesujących informacji” (str.124)

5. Zagadnienia do wyjaśnienia w ramach obrony pracy

- Wyjaśnić część tezy „ przy stosunkowo niewielkich nakładach inwestycyjnych oraz kosztach eksploatacji” - jaka była graniczna wartość w odniesieniu do której oceniono koszty jako niewielkie?
- Wyjaśnić czy wyznaczono współczynniki korelacji czy determinacji (w opisie podano R^2)
- Wyjaśnić aktualny stan przedsięwzięcia w kontekście tego, że na str. 1/70/125 napisano, że zaprojektowano i wybudowano dwa warianty linii wstępnego mechanicznego, a na str. 85/112 – „linia jest zaprojektowana/proponowana”.
- W proponowanych wariantach do przetwarzania wyselekcjonowanych bioodpadów planuje się fermentację – na jakim etapie jest ta inwestycja
- Skomentować różną sprawność usuwania zanieczyszczeń z bioodpadów pochodzących z różnych terenów (rys. 33, 36)
- W odniesieniu do tab. 14 wyjaśnić etapy oczyszczania w wariantcie I oraz różnice w wariantcie IIIa i IIIb wymienionych na str. 123/126/127
- Wyjaśnić na jakiej podstawie we wniosku 3 napisano, że fermentat będzie spełniał wymagania prawne odnośnie nawozu organicznego

- W odniesieniu do tezy 2 – skomentować wpływ mechanicznego opróżniania worków i oczyszczanie bioodpadów na przebieg procesu przetwarzania bioodpadów, jakość produkowanego kompostu i wydajność procesu

6. Wniosek końcowy

Rozpoznanie literaturowe tematu, zaplanowanie badań i ich przeprowadzenie, a także szczegółowy opis wyników i ich wyczerpująca interpretacja potwierdzają teoretyczną wiedzę Doktoranta z zakresu podjętego tematu oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, mające perspektywę zastosowania w praktyce, opisanych w rozprawie wyników badań naukowych. Dlatego stwierdzam, że opracowanie otrzymane do recenzji spełnia aktualne warunki prawne (*art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce – Dz. U. z 2024r. poz. 1571*) określone dla rozpraw doktorskich.

Zatem wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Uniwersytetu Zielonogórskiego o dopuszczenie mgr inż. **Wojciecha Dronię** do dalszego postępowania kwalifikacyjnego przewidzianego w procedurze do uzyskania stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Prof. dr hab. inż. Waldemar Malinowski