

Recenzja rozprawy doktorskiej

Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów

Mechanical removal of contaminants from bio-waste

mgr inż. Wojciecha Droń

Recenzja została wykonana na prośbę Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, dr hab. inż. Sylwii Myszograj prof. UZ pismem nr IIŚ-S.5.11.2.5.2025 z dnia 13.03. 2025 r. oraz Uchwały Nr 106 Senatu Uniwersytetu Zielonogórskiego z dnia 26. lutego 2025 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora Panu mgr inż. Wojciechowi Droni.

Analiza i ocena merytoryczna rozprawy

Treść przedstawionej do recenzji rozprawy ujęta została w 9. merytorycznych rozdziałach umieszczonych na 141 stronach tekstu, wraz ze streszczeniem w j. polskim i angielskim, ponadto ze spisem rysunków, tabel i fotografii oraz załączników. Wykaz literatury zawiera 135 poz., w którym dominują pozycje datowane po 2000 roku.

Uzasadnienie celowości podjęcia tematu badawczego

Bardzo rzadko zdarza się w rozprawach doktorskich, że uzasadnieniem celowości podjęcia tematu badawczego jest zawężenie do problemu lokalnego. Niewątpliwie jest to związane z tym, że badania a zatem i cel rozprawy doktorskiej, były efektem realizacji, w ramach V edycji programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Doktorat wdrożeniowy”.

Aby być w zgodzie z oceną wyboru tematu trzeba stwierdzić, że tak naprawdę jest to problem nie tylko ogólnopolski. Od kiedy doczekaliśmy się zdefiniowania frakcji bioodpadów i ukazania się stosownych wymogów postępowania z nimi tak w Europie jak i w kraju problem został dostrzeżony. W tej sytuacji rozwiązanie problemu dla konkretnego obszaru jakim jest Łużyckie Centrum Recyklingu w Marszowie gmina Żary, które zagospodarowuje odpady

komunalne wytwarzane na obszarze 22 gmin zamieszkałych przez blisko 200 tys. mieszkańców jest dobrym, a zarazem i charakterystycznym dla kraju poligonem doświadczalnym. Ponadto ważnym atutem dla prowadzenia badań jest fakt, że na terenie Zakładu eksploatowana jest kompostowania bioodpadów o wydajności 14 000 Mg/rok, do której dostarcza się trzy rodzaje odpadów biodegradowalnych tj. 20 02 01, 20 01 08 i 02 02 08. Produkcja kompostu wymaga jednak surowca o wysokiej jakości dlatego też strumień bioodpadów kierowany do procesu biologicznego musi być oczyszczany, ponieważ nawet drobne zanieczyszczenia takie jak resztki opakowań mogą skutecznie utrudniać jego przetworzenie lub zdeklasyfikować wytworzony produkt.

Ogólna charakterystyka rozprawy

Praca składa się z 12. rozdziałów, gdzie po streszczeniu w j. polskim i angielskim oraz wykazie skrótów jest Wprowadzenie (1.), a kolejno omawiane są: Bioodpady (2.), Ilość bioodpadów (2.1.), Selektywne zbieranie (2.1.1), Czynniki sukcesu dla selektywnego zbierania bioodpadów (2.1.2), Ilość bioodpadów zbierana selektywnie (2.1.3), Skład i właściwości bioodpadów (2.2) i Recykling (2.3.). Kolejno w rozdz. 3. opisano przygotowanie bioodpadów do przetwarzania. Rozdział 4. to uzasadnienie wyboru tematu pracy, w tym aktualny system przygotowywania odpadów do procesu oraz kompostowania w Instalacji Komunalnej w Marszowie i Strategia rozwoju instalacji (4.1. i 4.2.).

Badania przeprowadzano w oparciu o strumień bioodpadów dostarczanych na ww. instalację w Marszowie, a kluczowym procesem jednostkowym linii oczyszczania bioodpadów jest urządzenie do rozrywania i opróżniania worków z bioodpadami.

Rozdział 5. przedstawia tezy pracy. W badaniach zaproponowano udowodnienie 2. tez, tj: *1. 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; 2. Obróbka mechaniczna bioodpadów podczas opróżniania worków nie wpływa negatywnie na przebieg i wydajność przetwarzania bioodpadów.*

W rozdziale 6. i w jego podpunktach Doktorant wskazał na cel i zakres pracy, mianowicie: *celem pracy była ocena technicznej wykonalności procesu oczyszczania bioodpadów na linii technologicznej wykorzystującej procesy powszechnie stosowane w sortowniach odpadów.*

Trzeba zauważyć, że Doktorant poprawnie zdiagnozował istotne zagadnienia, które należy uwzględnić aby poprawnie zrealizować wyznaczone Sobie cele przy postawionych tezach: *...uzyskanie informacji na temat zmian składu morfologicznego i poziomu zanieczyszczenia bioodpadów selektywnie zbieranych na terenie miast i wsi; opracowanie koncepcji technologicznej (optymalnego rozwiązania) linii wstępnej obróbki bioodpadów umożliwiającej wydzielenie występujących w nich zanieczyszczeń (ciał obcych) w stopniu zapewniającym produkcję kompostu i/lub pofermentu, przy niewielkich stratach materiału organicznego; ocena technicznej wykonalności procesu oczyszczania bioodpadów na linii wstępnej obróbki bioodpadów. W związku z ambitnym celem badań bardzo szeroki okazał się być też zakres prac, który obejmował kompleksowo zagadnienia, począwszy od: określenia zmian składu morfologicznego i zawartości zanieczyszczeń (ciał obcych) w bioodpadach zbieranych selektywnie w ciągu roku; pogrupowania zanieczyszczeń ze względu na właściwości fizyczne; zebrania informacji o dostępnych na rynku maszynach i urządzeniach do usuwania wyodrębnionych rodzajów zanieczyszczeń; poprzez badanie wydajności urządzeń mechanicznych zastosowanych w koncepcji linii technologicznej do wstępnej obróbki, a w rezultacie powyższych badań: opracowanie koncepcji technologicznej instalacji do oczyszczania bioodpadów wykorzystującej procesy powszechnie stosowane w sortowniach odpadów; wykonanie badań składu materiałowego bioodpadów po obecnie stosowanym procesie ich podczyszczania oraz po przejściu przez zaprojektowany i wybudowany ciąg technologiczny (2 warianty) w celu oceny jego wydajności w oddzielaniu zanieczyszczeń, od materiałów organicznych; ustalenie niezbędnego poziomu usunięcia zanieczyszczeń z bioodpadów w procesie mechanicznego ich oczyszczania oraz wpływu tych operacji na właściwości bioodpadów i jakość wytwarzanego kompostu oraz opracowanie bilansów materiałowych procesów wstępnej obróbki bioodpadów.*

Aby zrealizować ww. ambitny program Doktorant podzielił to na dwa dobrze sprecyzowane zadania badawcze (6.2), w tym zadanie pierwsze, tj. wykonanie rocznych badań w cyklu miesięcznym zmian składu morfologicznego i poziomu zanieczyszczenia bioodpadów selektywnie zbieranych w czterech gminach miejskich oraz czterech wiejskich, dla różnych typów zabudowy (wielorodzinna i jednorodzinna, w cyklu miesięcznym), w okresie od listopada 2021 do października 2022 r. metodą od drzwi do drzwi i donoszenia (*Skład morfologiczny bioodpadów dostarczanych na instalację, w tym 7.1. Metodyka badań morfologii bioodpadów oraz 7.1.1. Rodzaje badanych odpadów, Pobór próbek odpadów 7.1.2*

oraz Częstotliwość i zakres badań 7.1.3). Moja wątpliwość dotyczy tego, czy wybrany rok był czasem, który mógł być uznany za wzorcowy i czy na pewno 1. rok badań można uznać za wystarczający, bo wiemy jak bardzo zmieniają się zachowania ludzi w zakresie gromadzenia i segregowania odpadów? Mam w tym zakresie własne doświadczenia ze zmiennością składu frakcji palnej odpadów. Natomiast wybór obiektów badawczych, częstotliwość w badanym okresie jak i zakres przedstawionych badań nie budzą zastrzeżeń.... A drugie zadanie, tj. opracowanie koncepcji technologicznej (optymalnego rozwiązania) linii wstępnej obróbki bioodpadów umożliwiającej wydzielenia z nich zanieczyszczeń w stopniu uniemożliwiającym produkcję kompostu i/lub pofermentu, przy niewielkich stratach materiału organicznego i ocena technicznej wykonalności zadania. Zadanie 2. jest więc efektem realizacji badań zadania 1. Z tego powodu (jak sam Doktorant tłumaczy) *...dalsza część rozprawy została opracowana niestandardowo. Składa się ona z dwóch rozdziałów (7 i 8), z których każdy zawiera podrozdziały „Metodyka prowadzenia badań”, „Wyniki badań” i „Dyskusja wyników”. (W klasycznym układzie praca powinna mieć po jednym rozdziale „Metodyka prowadzenia badań”, „Wyniki badań” i „Dyskusja wyników”).... Taki układ pomaga w prowadzeniu badań i opracowywaniu wyników Doktorantowi, natomiast powoduje dwubiegunowość dla czytającego.*

Na rysunku nr 10. poprawnie przedstawiono wyniki badań, w tym skład materiałowy kategorii zanieczyszczenia w badanych bioodpadach w czasie od listopada 2021 do października 2022 r. Obserwacje przebiegu zmian zostały także poprawnie zinterpretowane/opisane i tak m.in. wskazano, że: *... bioodpady odbierane w listopadzie oraz od kwietnia do czerwca zawierały więcej zanieczyszczeń niż w pozostałych miesiącach (czy jest sugestia dlaczego takie wyniki?); w grupie składników określanych jako zanieczyszczenia bioodpadów największy udział miały tworzywa sztuczne i frakcja <10 mm; w bioodpadach z zabudowy jednorodzinnej w miastach i z terenów wiejskich udziały papieru, metali, szkła (poza próbą pobraną z gmin wiejskich w marcu) oraz gruzu i kamieni >10 mm (poza miesiącami listopadem i grudniem) były mniejsze niż 1% m/m....*

Trudno nie zwrócić uwagi na dyskusję wyników (7.3), w tym podrozdział 7.3.1. ilość zanieczyszczeń w zbieranych bioodpadach. Dane zebrane w tabeli 6, w której przedstawiono średnie roczne ilości wytworzonych bioodpadów i zawartych w nich zanieczyszczeń w przeliczeniu na mieszkańca oraz udziały zanieczyszczeń w bioodpadach, wagowo, na

kontrolowanych obszarach, stanowią istotny wkład do dalszych rozważań i wyboru technologii.

Nie sposób też pominąć uwadze ciekawie omówione wyniki i ich interpretację dotyczącą głównych grup zanieczyszczeń (7.3.2.). Można tu trochę dyskutować z podejściem Doktoranta w zakresie wybranych pięciu składników uznanych za zanieczyszczenie (dla każdego kontrolowanego obszaru), których udział w bioodpadach był największy wagowo. Ale podoba mi się, i uważam za zasadne zaproponowanie dwóch metod do ich oceny, tj: (M-I), która polegała na wyznaczeniu dla każdego składnika, uznanego za zanieczyszczenie, wartości średniej miesięcznej jego udziału masowego w bioodpadach (% m/m) w okresie badań i wytypowaniu pierwszej piątki materiałów o najwyższych wartościach wskaźnika. Druga metoda (M-II) polegająca na wyznaczeniu dla każdego zanieczyszczenia średniej wartości miesięcznej i jego zawartości w bioodpadach w przeliczeniu na mieszkańca (kg/(M·miesiąc)) doprowadziła podobnie jak w metodzie 1. do wytypowania pierwszej piątki składników o najwyższych wartościach wskaźnika. Dane te (z którymi trudno dyskutować) poprawnie zebrano w tabeli 7, gdzie przedstawiono je jako średnie miesięczne ilości pięciu głównych rodzajów składników zanieczyszczeń w bioodpadach (bez frakcji <10 mm), w przeliczeniu na mieszkańca (kg/(M·miesiąc)) oraz ich udziały wagowe w bioodpadach (% m/m) na kontrolowanych obszarach. Nie bez zaczerwienia są podane zakresy wartości parametrów (min. i maks.) oraz wartość średnia. **Trochę zaskakują mnie uzyskane wyniki (może to specyfika obszarów badawczych), że zanieczyszczeniem występującym w bioodpadach w największych ilościach na terenie gmin wiejskich, jako pierwsze z czterech, niezależnie od zastosowanej metody, jest: drewno przetworzone**, a dopiero kolejno < tworzywa sztuczne < odpady mineralne < papier, piąty szkło (wg metody I) lub tekstylia – (metoda II). Pięć głównych zanieczyszczeń stanowiło 88% wszystkich zanieczyszczeń w ocenie metodą I i II. **W miastach w dzielnicach z zabudową jednorodzinną**, gdzie bioodpady zbierane były w workach z tworzyw sztucznych, kolejność: tworzywa sztuczne < papier < drewno przetworzone < szkło < tekstylia (wg met.I), - tworzywa sztuczne < drewno przetworzone < odpady mineralne (kamienie, gruz) < papier < szkło (wg met.II). Pięć głównych zanieczyszczeń stanowiło ponad 92% wszystkich zanieczyszczeń w ocenie metodą I i 94% metodą II. **W miastach/w dzielnicach z zabudową wielorodzinną**, (bioodpady zbierane w pojemnikach 1100 dm³ lub w kontenerach), pierwsze dwa miejsca, niezależnie od zastosowanej metody, zajmowały tworzywa sztuczne < papier, a kolejne trzy: metoda I: drewno przetworzone < odpady

mineralne < szkło i metoda II: odpady mineralne < szkło < drewno przetworzone; pięć głównych zanieczyszczeń stanowiło kolejno 86 i 79% wszystkich zanieczyszczeń.

Za poprawną uważam decyzję Doktoranta, aby w ostatecznej ocenie poziomu zanieczyszczeń do plastików nie wliczano worków z tworzyw, w których zbierano bioodpady na terenach gmin wiejskich i z zabudowy jednorodzinnej w miastach. Nie jest dla mnie zaskoczeniem, że po doliczeniu worków na bioodpady do plastików, były one głównymi zanieczyszczeniami, na wszystkich kontrolowanych obszarach badań, niezależnie od zastosowanej metody. Już wcześniej zaskakująca była dla mnie wysoka zawartość frakcji/grupy „drewno przetworzone” na terenach wiejskich i w miastach, w dzielnicach z zabudową jednorodziną. Wyjaśnienie Doktoranta wskazujące, że jakoby było to wynikiem, *błędnego wrzucenia elementów mebli do kontenera na bioodpady (styczeń, W- Żagań) lub do worka (czerwiec, MJ - Gozdnicza)* **sprawia, że jednak właściwa interpretacja wyników bez dogłębnych dociekań jest błędna.** Natomiast kolejne obserwacje potwierdzające, że w miastach, w dzielnicach z zabudową jednorodziną i wielorodziną (ocena metodą I) pierwsze dwie pozycje zajmowały tworzywa i papier, głównie woreczki foliowe i papierowe faktycznie potwierdza wiele informujących źródeł spoza kraju, bo nasze krajowe rzadko są publikowane. Ciekawe i faktycznie nowe oraz bardzo obiecujące jest stwierdzenie małego udziału szkła w zanieczyszczeniach, na piątej lub czwartej pozycji (MJ). Z kolei w ocenie metodą II szkło pojawiło się tylko w bioodpadach zbieranych w miastach z zabudowy wielorodzinnej.

Każdy analizowany rozdział rozprawy jest ciekawy, w tym m.in. korelacja między zawartością zanieczyszczeń, a zawartością odpadów kuchennych i ogrodowych w bioodpadach (7.3.3). **Mimo to zaskakują mnie trochę wyznaczone korelacje, ale jednak trudno mi dyskutować z rzetelnie zebranymi danymi. W tym m.in....** *Stwierdzona ścisła dodatnia zależność pomiędzy łączną zawartością zanieczyszczeń w szczególności z plastikami a odpadami kuchennymi w bioodpadach zbieranych w gminach wiejskich i w miastach z zabudowy wielorodzinnej wskazuje, że prawdopodobnie są one głównym źródłem pochodzenia tych zanieczyszczeń. Z drugiej strony stwierdzony brak korelacji odpadów kuchennych i ogrodowych z przetworzonym drewnem, szkłem, metalami, odpadami mineralnymi zawartymi w bioodpadach zbieranych w workach (na terenie gmin wiejskich i w miastach z zabudowy jednorodzinnej) może wskazywać, że ich obecność w bioodpadach wynika na ogół z nie zawsze dobrego rozumienia przez mieszkańców celów selektywnego*

zbierania lub prowadzenia zbierania we właściwy sposób (Brás, 2022)...**Czy to spostrzeżenia zacytowanego Autora czy Doktoranta ?**

Wytyczne i zalecenia do zaprojektowania linii do wstępnego oczyszczania bioodpadów (7.4.) przedstawiono poprawnie w oparciu o właściwą interpretację wyników z przeprowadzonych badań składu morfologicznego bioodpadów dostarczanych do Instalacji Komunalnej w Marszowie. Z badań tych wynika że główną grupę zanieczyszczeń stanowią tworzywa sztuczne, **(ale sporadycznie drewno???)** i to bez względu na to w jakim systemie prowadzono ich zbieranie. W wytycznych i zaleceniach wskazujących na konieczność usunięcia tworzyw sztucznych z surowca wskazano, że ich łączny średni udział w masie mokrej zanieczyszczeń wynosił 58,7% (w tym opakowania wielomateriałowe) (rys. 13), drugą grupą składników zanieczyszczających stanowią częściowo biodegradowalne papier (8,8% m/m) i drewno przetworzone **(11,6% m/m)**. Za zupełnie logiczne uważam stwierdzenie, że *większe elementy powinny być usunięte z bioodpadów i poddane rozdrobnieniu*. Trzecia grupa to odpady mineralne – gruz (8,3%), tekstylia (5,3%), szkło (4,8%) i metale (2,7%). Już wcześniej w pracy padło stwierdzenie...*w grupie składników określanych jako zanieczyszczenia bioodpadów największy udział miały tworzywa sztuczne i frakcja <10 mm...co zatem w sprawie tej frakcji?* To wszystko są to składniki niepożądane w surowcach do biologicznego przetwarzania (zarówno kompostowania jak i fermentacji) i powinny być z nich usunięte. Na str. 53 jest następujący akapit: *...frakcji mineralnej <10 mm nie uznano za zanieczyszczenie, które należy usunąć na etapie przygotowywania wsadu do procesu. Zawiera ona bardzo mało zanieczyszczeń (punkt 7.2.2, rys. 11) i jest bogata w składniki biodegradowalne. Straty prażenia wynoszą średnio 37,8% sm, a jednostkowa produkcja biogazu waha się od 0,07 do 0,25 m³/kg smo (średnio 0,25 m³/kg smo) (Dronia i in. 2024). Proszę wyjaśnić o jakie to składniki biodegradowalne chodzi?*

W związku z powyższym słusznie założono, że optymalne rozwiązanie linii wstępnej obróbki bioodpadów powinno zapewnić maksymalne usunięcie z bioodpadów tworzyw sztucznych, tekstyliów, szkła i metali, przy niewielkich stratach materiału organicznego. Słusznie zaproponowano, że pierwszym urządzeniem linii obróbki mechanicznej powinna być rozrywarka worków, której zadaniem będzie nie tylko rozerwanie worków w jakich gromadzone są odpady, ale również uwolnienie z nich jak największej ilości materiału biologicznego. Kolejną istotną funkcją rozrywarki (rozdrabniacza) jest równomierne rozłożenie

(dozowanie) materiału na taśmociągu doprowadzającym bioodpady na drugi element układu jakim powinna być kabina sortownicza. W kabinie sortowniczej, w sposób manualny, będą usuwane rozerwane worki, inne tworzywa sztuczne, szkło, ewentualnie tekstylia, gruz i duże kamienie oraz inne zidentyfikowane przez personel „ciała obce” w postaci dużych kawałków przetworzonego drewna, zwykle w postaci płyt wiórowych i korzeni, które można wyeliminować, z reguły, bez trudu...**i tu żałosny powrót do usług manualnych...???**

Zaprojektowany i przedstawiony na rys. 14 schemat oparto o omówione wcześniej systemy, tj: rozrywarkę worków, kabinę sortowniczą, min. 3 stanowiskową z 6 zsykami; separatory Fe i opcjonalnie nFe oraz przesiewacz obrotowy o sicie 80 mm. Konsekwencją tego było opracowanie linii technologicznej do wstępnej obróbki bioodpadów (8.). Urządzenia do mechanicznego oczyszczania bioodpadów przedstawiono poprawnie w rozdz.8.1, a metodykę prowadzenia badań (8.2.), w tym wybór urządzenia do rozrywania i opróżniania worków (8.2.1.). Natomiast proponowany zakres badań (8.2.1.2), który obejmował wyznaczenie masy: worków wysortowanych z bioodpadów poddawanych obróbce, bioodpadów pozostałych w rozerwanych workach usuniętych na linii sortowniczej (strata bioodpadów) oraz opróżnionych worków po oczyszczeniu z bioodpadów uważam za bardzo istotny element badań.

Koncepcja linii do wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów została przedstawiona w rozdziale 8.2.2. W bardzo szczegółowym opisie procesów przedstawiono je w oparciu o 3 wybrane warianty: Wariant I: proces obecnie stosowany; Wariant II: proponowana linia mechanicznego oczyszczania bioodpadów (rozwiązanie 1); Wariant III: proponowana linia mechanicznego oczyszczania bioodpadów (rozwiązanie 2). W celu realizacji zadania poprawnie przedstawiono sposób poboru oraz charakterystykę próbek jako materiał wejściowy i wyjściowy (8.2.2.2). Istotnie ważne było ustalenie niezbędnego poziomu usunięcia zanieczyszczeń z bioodpadów w procesie mechanicznego ich oczyszczania oraz wpływu tych operacji na właściwości bioodpadów i jakość wytwarzanego kompostu (8.2.3.). W podrozdziale 8.2.3.1 wyczerpująco i właściwie przedstawiono opis procesu. W dalszej części rozprawy traktowanej jako opis wyników badań w rozdziale 8.3.1. w przedstawiono wybór urządzenia do rozrywania i opróżniania worków, a kolejno w rozdz. 8.3.2. koncepcję linii do wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów. Bardzo istotna dla prowadzonych badań jest przeprowadzona dogłębna analiza wszystkich zaproponowanych wariantów (I,II,III) wraz z ustaleniem niezbędnego poziomu usunięcia zanieczyszczeń z bioodpadów w procesie

mechanicznego ich oczyszczania oraz wskazaniem wpływu tych operacji na właściwości bioodpadów, a przede wszystkim na jakość wytwarzanego kompostu (8.3.3.). Dyskusja wyników (8.4) to ta część rozprawy, w której zwrócono uwagę na wybór urządzenia do rozrywania i opróżniania worków (8.4.1.), w tym na szczegółową analizę porównawczą badanych rozrywarek i rozdrabniaczy (8.4.1.1), rozdrabniacza Pronar MRW 2.85 oraz rozrywarki do worków Matthiessen SFIII-K4-SB (8.4.1.2). Cała część rozdziału dyskusji wyników jest prowadzona poprawnie, a co istotne przekonująca do proponowanego rozwiązania. Ukoronowaniem badań jest zaprezentowana koncepcja linii do wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów, tj. linii technologiczne – wariantu I,II,III (8.4.2), które wymagały ustalenia niezbędnego poziomu usunięcia zanieczyszczeń z bioodpadów w procesie mechanicznego ich oczyszczania oraz wpływu tych operacji na właściwości bioodpadów i jakość wytwarzanego kompostu (8.4.3.). W rozdziale 9. porównano omawiane warianty instalacji mechanicznego oczyszczania bioodpadów i przedstawiono wybór ostatecznego wariantu przedsięwzięcia inwestycyjnego, który należy ocenić bardzo pozytywnie, pomimo trudności z właściwym określeniem kryteriów oceny. Ostatecznie uważam, że poprawnie omówiono zaprojektowane układy oczyszczania bioodpadów (wariant I, II, III), a co najistotniejsze to porównanie ich w oparciu o takie kryteria jak: sprawność usuwania zanieczyszczeń, stratę masy strumienia bioodpadów, dystrybucję masową składników, bilans masowy procesu w procentach sm., skład i jakość produktu końcowego oraz o analizę ekonomiczną. W rozdziale 9.7. przedstawiono wybrane system/systemy. W podsumowaniu (rozd.10) Doktorant wskazuje na wykonaną analizę danych dostępnych w literaturze, które pozwoliły Mu na stwierdzenie, iż *badania bioodpadów, przeprowadzone w takim zakresie i w takiej skali, były pierwsze w Polsce, i jedno z nielicznych na świecie, mimo że wiedza na ten temat jest interesująca dla szeregu zainteresowanych stron (władze krajowe i lokalne, firmy zajmujące się gospodarką odpadami i naukowcy)*, które po części potwierdzam. Natomiast wysoko oceniam badania przeprowadzone, w skali przemysłowej, dla sześciu urządzeń do rozrywania worków (3 rozrywarki worków i 3 rozdrabniacze odpadów), które dostępne są na rynku europejskim. Na podstawie wyników badań ich wydajności i skuteczności rozrywania worków, szczególnie biorąc pod uwagę: równomierność rozkładu bioodpadów na przenośniku taśmowym, straty bioodpadów w usuwanych workach i koszt zakupu urządzenia, a także cenne informacje na temat urządzeń ich użytkowników, ostatecznie do budowy linii wytypowano rozdrabniacz dwuwałowy. Bardzo ważne dla praktyki/wdrożenia

jest nie tylko zaprojektowanie, ale i wybudowanie dwóch wariantów instalacji wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów przygotowującej je do procesów kompostowania bądź fermentacji, tj. Wariant II: rozdrabniacz dwuwałowy z SFM zamontowany na końcu urządzenia + kabina sortownicza + sito obrotowe o oczkach 80 mm i Wariant III: rozdrabniacz dwuwałowy z SRM na końcu urządzenia + sito gwiaździste + kabina sortownicza + sito obrotowe o oczkach 80 mm (opcja). Aby jeszcze bardziej potwierdzić sukces wyboru ww. rozwiązań analizie porównawczej i ocenie poddano również obecnie stosowany proces do podczyszczania bioodpadów przed ich kompostowaniem (wariant I). Analizując wyniki badań przeprowadzonych przez Doktoranta, tak w zakresie porównania badań zawartości zanieczyszczeń w wytworzonym kompoście jak i poziomu ich usunięcia z bioodpadów po przejściu przez wszystkie trzy ciągi technologiczne wskazano, że produkty końcowe kompostowania bioodpadów podczyszczanych proponowanymi metodami W-II i W-III linii były podobne, i jak stwierdził Sam Doktorant były to wartości niższe od dopuszczalnych dla kompostów w rozporządzeniu UE w sprawie nawozów (Rozporządzenia (UE), 2019) **oraz znacznie niższe niż dopuszczalne dla nawozów organicznych w rozp. krajowym (Rozp. (MRiRW), 2024, rozporządzenie w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu), które jednak nie mówi jednak nic o zanieczyszczeniach innych niż chemiczne, tak jak ma to miejsce w rozp. UE...proszę o komentarz** Uważam, że wnioski końcowe są adekwatne do uzyskanych efektów badań i poprawne merytorycznie, zwięzłe i o aspekcie praktycznym. Szczególnie istotne dla nauki i praktyki są wnioski 3,4,5 i 7.

Uwagi, pytania Recenzenta w tekście zaznaczone boldem. Jedną uwagę jednak muszę dopisać, bo w całej rozprawie naprzemiennie pojawiają się określenia: **plastiki, tworzywa sztuczne folia...** przed publikowaniem należy to ujednolicić.

Podsumowanie - wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska w swoich założeniach jest słuszna i zasadna w aspekcie gospodarki odpadami, a szerzej w zakresie ochrony środowiska. Jest to jeden z tych ważnych akcentów/działań, które wprowadzone do praktyki mogą poprawić także efekt ekonomiczny proponowanych działań i wartość produktu finalnego. Poprawna merytorycznie realizacja zaplanowanych badań odpadów i prac projektowych wraz z oceną ekonomiczną potwierdziła realność postawionych tez i celu badań, a jest to m.in. zawarte w stwierdzeniu, że *...sprawność usuwania zanieczyszczeń w odniesieniu do bioodpadów osiągała*

wartości od 89,8 do 96,0% (średnio $92,7\% \pm 2,4\%$), a w odniesieniu do bioodpadów po kompostowaniu od 88,5 do 94,0% (średnio $91,4\% \pm 1,8$)... A zatem oba proponowane/analizowane warianty II i III instalacji podczyszczania bioodpadów charakteryzowały się tak wysoką skutecznością usuwania zanieczyszczeń, która zapewnia uzyskiwanie surowców o jakości bioodpadów. Przy czym istotne jest to, że Doktorant wskazał także na udział zanieczyszczeń odniesiony do suchej masy kompostu, który był niższy od wartości dopuszczalnych określonych w rozporządzeniu UE w sprawie nawozów (Rozporządzenia (UE), 2019). Natomiast uważam za rozsądne, że mimo wyższej skuteczności Wariantu III, względy ekonomiczne zdecydowały aby wybrać wariant II. I tu widzę dojrzałość Doktoranta, który rozważył poprawnie wszystkie aspekty. Generalnie pracę/badania i projekt oceniam bardzo wysoko. Ogromnym walorem prowadzonych badań i projektu instalacji promującej odpady pozbawione dużej ilości zanieczyszczeń jest wdrożenie. Jest to jedna z ciekawszych prac o charakterze wdrożeniowym jakie oceniałam.

Pan **mgr inż. Wojciech Dronia** wykazał się dobrą ogólną wiedzą teoretyczną z zakresu szeroko pojętej gospodarki odpadami (dziedzina nauki inżynierijno-techniczne, dyscyplina Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka), a jakość i poprawność przeprowadzonych badań wraz z interpretacją wyników, także należy uznać za umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W tej sytuacji przedkładałam wniosek o dopuszczenie **mgr inż. Wojciech Droń** do publicznej obrony, po przyjęciu przez Radę Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Uniwersytetu Zielonogórskiego, w ramach obowiązujących przepisów, tj. *Ustawie prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r.(nowelizacja Dz.U.2022) oraz w Rozporządzeniu MNiSW w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora z dnia 30 stycznia 2018 roku (Dz.U. poz. 261).

W tej sytuacji oceniając całokształt dobrze przeprowadzonych badań, projekt i jego realizację, przedstawioną w rozprawie doktorskiej mgr inż. W. Droń, które uważam za b. istotne i ważne nie tylko dla praktyki, ale i nauki, wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Uniwersytetu Zielonogórskiego o jej wyróżnienie.



Uzasadnienie wyróżnienia

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 powszechnie w gospodarce odpadami. Dla realizacji tego celu wykonano poprawnie badania zmian składu morfologicznego bioodpadów zbieranych w czterech gminach miejskich oraz czterech wiejskich, dla różnych typów zabudowy (wielorodzinna i jednorodzinna), w cyklu miesięcznym, w okresie od listopada 2021 do października 2022 r. Badania te wykonano b. rzetelnie, a pozyskana wiedza była podstawą do opracowania koncepcji linii technologicznej mechanicznego oczyszczania bioodpadów oraz przeprowadzenia badań jej skuteczności w wydzielaniu zanieczyszczeń, obecnych w strumieniu bioodpadów dostarczanych na instalację Łużyckiego Centrum Recyklingu w Marszowie. Kluczowym procesem jednostkowym linii oczyszczania bioodpadów jest urządzenie do rozrywania i opróżniania worków z bioodpadami.

Szeroki i poprawnie wykonany zakres badań oraz zaprojektowanie i wybudowanie dwóch wariantów instalacji wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów przygotowujących je do procesów kompostowania bądź fermentacji uważam za bardzo istotne nie tylko jako wdrożenie, ale i dla nauki z tego zakresu. Warte podkreślenia jest także fakt rozsądnego ostatecznego wyboru, uwzględniającego skuteczność i rachunek ekonomiczny wariant instalacji (II). Uzyskane wyniki badań potwierdzają tezę, że 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.

Zatem całokształt przeprowadzonych badań, projekt i jego realizację przedstawioną w rozprawie doktorskiej mg inż. W. Droń, które uważam za b. istotne i ważne, nie tylko dla praktyki, ale i nauki, wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Uniwersytetu Zielonogórskiego o jej wyróżnienie.



