

Poznań, dn. 23.11.2024 r.

Prof. dr hab. inż. Jacek Dach
Katedra Inżynierii Biosystemów
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marii Łukasiewicz

pt. „Wpływ procesu biologicznego suszenia na wybrane właściwości energetyczne odpadów”, wykonanej na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki

Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

nad którą opiekę naukową sprawowali promotorzy:

dr hab. inż. Jacek Salamon, prof. URK oraz dr hab. inż. Mateusz Malinowski, prof.

URK

OCENA FORMALNA PRACY

Recenzję rozprawy doktorskiej wykonałem na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna UR w Krakowie, zgodnie z pismem Przewodniczącego Rady dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna, dra hab. inż. Pawła Kiełbasy, prof. URK, z dn. 25 września 2024 r. o wyznaczeniu mnie na recenzenta.

Promotorem pracy są panowie dr hab. inż. Jacek Salamon, prof. URK oraz dr hab. inż. Mateusz Malinowski, prof. URK.

Rozprawa liczy łącznie 130 stron, w tym zawiera 41 tabel oraz 54 rysunki.

Praca zawiera 139 pozycji literaturowych w bibliografii, wśród których ponad połowa (82 pozycje) jest anglojęzyczna. Doktorantka wykorzystała literaturę angielskojęzyczną, przede wszystkim w postaci artykułów naukowych z renomowanych czasopism o zasięgu ogólnoświatowym. Przewaga cytowań z literatury światowej w pracy świadczy z jednej strony o nowatorstwie problemu, który podjęła w swej dysertacji, a z drugiej strony znacząco podnosi wartość pracy – zwłaszcza w kontekście przyszłych publikacji wyników badań w uznanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Literaturę polskojęzyczną stanowią akty prawne, normy oraz publikacje naukowe uznanych w polskim środowisku autorów.

Recenzowana przeze mnie praca doktorska posiada strukturę właściwą dla prac naukowo-badawczych – zarówno w zakresie jej podziału na poszczególne rozdziały, jak i w szczególności na klarowne wyodrębnienie rozdziału z problemem naukowym oraz jego późniejsze rozwiązanie w dalszych etapach. Należy także podkreślić, że tematyka podejmowana przez Doktorantkę, Panią mgr Marię Łukasiewicz, w pełni wpisuje się w ważne aktualnie tematy gospodarcze jaką jest w szczególności transformacja energetyczna krajów UE w zakresie Zielonego Ładu, jak i równoczesnym dążeniu do wdrożenia zasad GOZ (gospodarki o obiegu zamkniętym) na poziomie krajowym, ale i lokalnym. Technologia biosuszenia może w znaczący sposób poprawić efektywność energetyczną wykorzystania różnych odpadów – w tym mieszanek odpadów z przetwórstwa rolno-spożywczego, które z powodu wysokiej zawartości wilgoci są trudne do energetycznego zastosowania – może jedynie poza technologią fermentacji metanowej.

SZCZEGÓŁOWA OCENA PRACY

Tytuł ocenianej pracy – jakkolwiek odpowiada jej treści, to jednak wg mnie jest sformułowany nieco za szeroko. Chodzi mi konkretnie o słowo „odpadów” – które to słowo obejmuje wg ustawy o odpadach aż 20 grup odpadów, a przecież Doktorantka badała tylko niektóre z nich. Z kolei korzystnie dla jakości pracy oceniam zawarcie na początku dysertacji rozbudowanego spisu oznaczeń.

We wstępie doktoratu Autorka wprowadza czytelników w problematykę zagospodarowania odpadów, opisując zarówno ostatnie trendy technologiczne, jak i legislację w tym zakresie. Słusznie przy tym stwierdza, iż *„Energetyczne wykorzystanie odpadów organicznych (w sposób inny niż wytworzenie z nich biogazu, który stanowi źródło energii elektrycznej i ciepła) wymaga ich wcześniejszego wysuszenia”*. Mam jednak wątpliwości, czy w sposób prosty można stwierdzić, iż zastosowanie procesu biologicznego suszenia odpadów prowadzi do wytworzenia stałego paliwa zastępczego czyli RDF. Uznanie utraty statusu odpadu i wytworzenie paliwa RDF jest w istocie bardziej skomplikowane w aspekcie prawnym. Brakuje mi też we wstępie krótkiej definicji biosuszenia, choć znajduje się ona później w rozdziale 1.4.

Przegląd literatury (oznaczony jako rozdział 1 – choć w mojej opinii rozdziałem 1. powinien być Wstęp) został przygotowany bardzo obszernie i oparty na licznych cytowaniach publikacji, w większości anglojęzycznych. Mam przy tym pewne uwagi, jak np. zdanie

„Przetworzone odpady z przemysłu rolno-spożywczego, po uzyskaniu odpowiednich parametrów fizykochemicznych, stają się cennym zasobem energetycznym” nie jest do końca zgodne z prawdą, bowiem odpady takie w przytłaczającej większości mogą być bezpośrednio wykorzystane do produkcji biogazu. Brakuje mi też w pracy konkretnej definicji paliwa RDF. Słowo to pojawia się w pracy aż 325 razy, a *de facto* Autorka nie zamieściła jednej konkretnej definicji tegoż paliwa - zwłaszcza, że nie ma jej też w polskim prawodawstwie. Proszę o ustosunkowanie się do tego w czasie publicznej obrony i wyjaśnienie, jak wg Doktorantki powinna być właściwa definicja paliwa RDF.

Ciekawym i cennym wkładem do pracy jest głęboka analiza zjawisk zachodzących w różnych technologiach suszenia (ze szczególnym naciskiem na biosuszenie), co zresztą wiąże się bezpośrednio z tematyką badań. Nie do końca zgodziłbym się ze stwierdzeniem Doktorantki, iż w czasie biosuszenia „*Na skutek obniżania się zawartości wody, aktywność mikrobiologiczna mikroorganizmów maleje*”. To obniżenie aktywności ma także związek ze zmniejszeniem się ilości łatworozkładalnych związków organicznych, stanowiących główny materiał energetyczny dla rozwoju bakterii prowadzących proces biosuszenia wskutek generowania ciepła z rozkładu materii organicznej czy też kompostowania (w początkowej fazie oba procesy w zasadzie nie różnią się od siebie). Tym niemniej bardzo wysoko oceniam przygotowany przegląd literatury i sugeruję wykorzystanie tego rozdziału w publikacji związanej z tematyką biosuszenia czy szerzej – biologicznych metod przetwarzania odpadów.

W kolejnym rozdziale Doktorantka formułuje problem badawczy w formie pytania: „*jaki jest wpływ zróżnicowanych warunków prowadzenia procesu biologicznego suszenia odpadów z PRS o wysokiej zawartości wilgoci oraz zastosowanych materiałów strukturalnych na przebieg procesu i zmiany wybranych właściwości odpadów*”. W mojej opinii taki problem badawczy sformułowany jest w sposób właściwy.

W kolejnym rozdziale Pani mgr Łukasiewicz opisuje cel pracy („*analiza wpływu warunków prowadzenia procesu biologicznego suszenia odpadów z przemysłu rolno-spożywczego o wysokiej zawartości wilgoci na przebieg procesu i wybrane właściwości energetyczne wytwarzanego paliwa*”) i formułuje 3 hipotezy badawcze. Cel jak i hipotezy zostały w mojej opinii utworzone właściwie.

W rozdziale 4. (Materiał i metodyka) Autorka opisuje rodzaje używanych odpadów (z przetwórstwa warzyw i owoców), z ewentualnym dodatkiem innych odpadów jako materiału strukturalnego – stąd moja wcześniejsza uwaga dotycząca tytułu: wydaje się, że właściwszy

byłby tytuł pracy „Wpływ procesu biologicznego suszenia na wybrane właściwości energetyczne odpadów warzywnych i owocowych” – czyli znacznie zawężający spektrum odpadów. Bardzo przydatne dla zrozumienia procesu badawczego było zamieszczenie w pracy schematu pobierania próbek (rys. 5) oraz (zwłaszcza) schematu blokowego doświadczenia (rys. 7). Natomiast dość niezrozumiały jest dla mnie, jako inżyniera, rysunek 6 przedstawiający schemat budowy bioreaktora BKB. Brak jest na tym schemacie odprowadzania powietrza („przewód do pomiaru gazów” nie jest rurą do odprowadzania gazów – jak rozumiem). Ponadto brak jest zaznaczenia sposobu usuwania skroplin gromadzących się na górnej pokrywie reaktora – czy one w ogóle są usuwane w jakiś sposób?

Warianty prowadzonego doświadczenia procesu biologicznego suszenia (tab. 4), w tym zróżnicowanie przepływu powietrza oraz 2 terminy poboru próbek (w 7. i 14. dniu) w mojej opinii założono właściwie. Próbkę poddawano właściwej procedurze analitycznej, choć moją wątpliwość budzą następujące procedury:

- a) Zawartość wilgoci całkowitej (str. 35): dlaczego ważono co 60 min. tace z próbkami wyjętymi z suszarki z temperatury 105°C? Czy procedura nie przewiduje konieczności wychłodzenia tac i próbek i czy ważenie gorącej tacy nie wpływa na zmianę wyniku?
- b) l_{vs} – gęstość suchej masy, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (str. 39) przyjęto na poziomie 2500 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ – co jest wg mnie wartością znacznie zawyżoną, bowiem materia organiczna stanowiąca zdecydowaną większość masy kompostowanego wsadu posiada zazwyczaj gęstość poniżej 1000 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Proszę Doktorantkę o odniesienie się do tych wątpliwości w trakcie publicznej obrony pracy.

W rozdziale 5. w sposób bardzo szeroki Doktorantka zaprezentowała wyniki badań i ich omówienie. Co prawda w tabeli 5 kolumna PW zawiera łącznie nieco ponad 100% frakcji – więc należy to sprawdzić przed przygotowaniem wyników pod kątem publikacji w wysoko punktowanych czasopismach.

Mam wątpliwości co do wyjaśnienia braku nagrzewania się odpadów PRS, gdzie Autorka stwierdza „W powtórzeniach, w których materiałem wejściowym były tylko odpady z PRS, osiągnięte temperatury maksymalne nie przekraczały 26°C, co oznacza że proces biologicznego suszenia w ogóle nie nastąpił”. Dla tak kategorycznego stwierdzenia należałoby umieścić na rys. 14. krzywą poziomu temperatury zewnętrznej. W laboratoriach bowiem rzadko kiedy temperatura wynosi 26°C, z reguły oscyluje w okolicach 17-20°C, a to

by oznaczało, że jednak jakieś reakcje biologicznego rozkładu nastąpiły. Proszę Doktorantkę o wyjaśnienie tej kwestii oraz sugeruję umieszczenie krzywej temperatury zewnętrznej na wykresach zmian temperatur przygotowywanych do publikacji (o ile jest jeszcze możliwe wsteczne uzyskanie tych danych).

Mam też wątpliwości w zakresie danych odnośnie „strat” lub „straty” prażenia (Doktorantka używa wyrażen straty i strata prażenia zamiennie). Na stronie 41. Autorka stwierdza, iż ubytek strat prażenia to ubytek materii organicznej. Wg mnie wyrażenie „*ubytek strat prażenia*” to pleonazm – bowiem ubytek i straty oznaczają wszak to samo. Także na stronie 42. Doktorantka wyjaśniając skrót „VS” podaje „*ubytek strat prażenia*” – co jest nieprawdą bowiem z angielskiego jest to volatile solids czyli w kontekstowym tłumaczeniu materia organiczna. W całej dysertacji wyrażenie „*ubytek strat prażenia*” powinno być więc zamienione na zawartość materii organicznej. Proszę o ustosunkowanie się Doktorantki do tej uwagi w czasie publicznej obrony.

Jednakże wyniki przedstawione w rozdziale 5., pomimo pewnych uwag – reprezentują bardzo duży wkład do powiększenia bazy wiedzy w zakresie biosuszenia.

W rozdziale 6. (Dyskusja) stwierdzam, że interpretacja uzyskanych wyników jest właściwa. Choć Doktorantka podpira się licznymi wynikami badań uzyskiwanymi przez wielu autorów – na podstawie znacznie ponad 100. eksperymentów z kompostowaniem bardzo szerokiej gamy bioodpadów przeprowadzonych w kierowanej przeze mnie Pracowni Ekotechnologii stwierdzam, że uzyskane wyniki były zbliżone do rezultatów naszych badań. Główną różnicę widzę w maksymalnej temperaturze: wg wyników badań w dysertacji maksymalna temperatura osiągnięta to 65,0°C, podczas gdy standardowo w bioreaktorach wykorzystywanych w badaniach realizowanych od 2001 roku w Pracowni Ekotechnologii osiągnano temperaturę 70-78°C (co jest jednakże zbyt wysokim wynikiem dla optymalnego procesu dekompozycji biologicznej), a najwyższą zanotowaną temperaturą było 82,7°C. Prosiłbym Doktorantkę o opinię, dlaczego w Jej eksperymentach maksymalna temperatura wynosiła zaledwie 65,0°C.

Pracę kończy rozdział 7. (podsumowanie i wnioski), gdzie Doktorantka, pomimo uzyskania wielu wartościowych wyników – nie do końca odpowiada wprost na sformułowany wcześniej problem naukowy (*„jaki jest wpływ zróżnicowanych warunków prowadzenia procesu biologicznego suszenia odpadów z PRS o wysokiej zawartości wilgoci oraz zastosowanych materiałów strukturalnych na przebieg procesu i zmiany wybranych*

właściwości odpadów”). W związku z tym prosiłbym o krótką i zwięzłą odpowiedź (*jaki jest wpływ tych warunków*) podczas publicznej obrony pracy.

WNIOSKI KOŃCOWE

Recenzowana przeze mnie dysertacja podejmuje w szeroki i dogłębny sposób tematykę biosuszenia odpadów z przetwórstwa owoców i warzyw z dodatkiem materiałów strukturalnych w postaci innych odpadów. Jest to tematyka, która wpisuje się w aktualne trendy gospodarcze, stąd prezentowane wyniki mogą być nie tylko wykorzystane w przygotowaniu publikacji do wysoko ocenianych czasopism międzynarodowych, ale także do zastosowań w realnej gospodarce. Doktorantka rozwiązała także sformułowany wcześniej problem naukowy.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska przedłożona przez mgr inż. Marię Łukasiewicz, spełniła ustawowe wymagania do ubiegania się o stopień naukowy doktora, zawarte w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dn. 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Nieliczne, drobne błędy popełnione przez Doktorantkę w żaden znaczący sposób nie pomniejszają wartości przedłożonej mi do recenzji pracy. Na tej podstawie kieruję wniosek do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie o dopuszczenie mgr inż. Marii Łukasiewicz do publicznej obrony oraz o przyjęcie przedłożonej rozprawy doktorskiej.

Jednocześnie, z uwagi na bardzo szeroki zakres wykonanych prac, rozbudowane obliczenia statystyczne, dogłębną analizę wyników i konstruktywne wnioski – zwracam się do Rady Naukowej dyscypliny Inżynieria Mechaniczna o wyróżnienie niniejszej pracy doktorskiej.

