

Kraków, 30.11. 2023r.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Energetyki i Paliw
Al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
wnowak@agh.edu.pl
Tel: 604410913

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Klaudii Słomczyńskiej
„Wykorzystanie ciepła odpadowego o niskiej egzergii z procesu produkcji
kiełków warzywnych”

Wstęp

Recenzję rozprawy doktorskiej opracowano na podstawie decyzji Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Częstochowskiej z 23.10.2023, (pismo RWiS.BOD. 511.1.2023.1).

Zasadność tematyki

Wybór tematyki rozprawy doktorskiej mgr inż. Klaudii Słomczyńskiej, skupiającej się na "Wykorzystaniu ciepła odpadowego o niskiej egzergii z procesu produkcji kiełków warzywnych", jest w pełni uzasadniony, opierając się na przeglądzie literatury dotyczącej

mechanizmu wytwarzania ciepła przez rośliny podczas kiełkowania. Uzasadnienie to opiera się na kilku kluczowych aspektach:

Znaczenie energetyczne procesu kiełkowania: badania wskazują, że proces kiełkowania roślin wiąże się z wewnętrznymi przemianami katabolicznymi i anabolicznymi, które generują ciepło. Jest to obszar mało zgłębiany, który oferuje możliwości innowacyjnego wykorzystania energii w procesach produkcyjnych.

Zróżnicowanie generowanego ciepła: ponieważ wielkość strumienia ciepła jest zależna od różnych czynników, takich jak gatunek nasienia, jego budowa, kondycja, oraz warunki mikroklimatyczne, istnieje potrzeba głębszego zrozumienia tych zależności. To otwiera pole do optymalizacji procesów produkcji roślin w kontekście efektywności energetycznej.

Potencjał odzysku ciepła w kontrolowanych warunkach: w pracy podkreślono, że w kontrolowanych warunkach uprawy, generowane ciepło może być odzyskane i wykorzystane, co stanowi znaczący potencjał dla zwiększenia efektywności energetycznej w rolnictwie.

Wyzwanie techniczne i naukowe: rozprawa odpowiada na istotne wyzwania techniczne i naukowe, jakimi są badania nad organizmami roślinnymi i precyzyjne mierzenie generowanego przez nie ciepła. Wskazuje na potrzebę wykorzystania specjalistycznych urządzeń, takich jak ultraczułe kalorymetry mikrokalorymetryczne, co podkreśla nowatorski charakter badania.

Zrównoważony rozwój i efektywność energetyczna: tematyka ta wpisuje się w aktualne trendy zrównoważonego rozwoju i poszukiwania nowych, efektywnych metod wykorzystania energii, co ma istotne znaczenie zarówno naukowe, jak i praktyczne w kontekście zmian klimatycznych i rosnących potrzeb energetycznych.

Podsumowując:

Tematyka pracy doktorskiej bezpośrednio odnosi się do nowych trendów poszukiwania i wdrażania takich procesów, które umożliwiają zwiększenie efektywności systemów wykorzystujących energię odpadową. Naukowy problem został prawidłowo zdefiniowany i rozwinięty za pomocą zaprezentowanych tez pracy. Zarówno cel, jak i zakres badania adekwatnie wynikają z wykonanej analizy literatury naukowej oraz problemu zdefiniowanego przez Doktorantkę.

Układ pracy

Recenzując bibliografię zawartą w przedstawionej pracy doktorskiej, należy zauważyć, że składa się ona z imponującej liczby 135 pozycji. Jest to dowód na szerokie rozeznanie Autorki w literaturze przedmiotu oraz na gruntowne przygotowanie teoretyczne. Jednakże, zwraca uwagę znaczący brak w tej bibliografii - nie odnaleziono w niej żadnych publikacji autorstwa samej Autorki, chociaż podaje swoje publikacje w wykazie dorobku. Byłoby wskazane, aby Autorka rozważyła uzupełnienie tej części pracy o swoje wcześniejsze publikacje, o ile takie istnieją, co mogłoby wzbogacić kontekst badawczy oraz pokazać ewolucję jej myśli naukowej.

Praca zaczyna się od Wprowadzenia (Rozdział 1). Rozdział II: Pojęcie, charakterystyka oraz możliwości wykorzystania przemysłowego ciepła odpadowego o niskiej egzergii. W tym rozdziale zawarto kompleksową analizę ciepła odpadowego o niskiej egzergii. Rozpoczyna się od definicji energii odpadowej (II.1), przechodząc następnie do dyskusji o egzergii jako miarze jakości energii (II.2). Następnie przedstawiona jest klasyfikacja źródeł ciepła odpadowego (II.3), a także zasoby tego ciepła i korzyści płynące z jego wykorzystania (II.4). W dalszej części omówione są wyzwania związane z wykorzystaniem ciepła odpadowego o niskiej egzergii (II.5), w tym przykłady źródeł niskotemperaturowych (II.6). W szczególności, uwaga skupiona jest na kiełkujących roślinach jako przykładzie niskotemperaturowego źródła ciepła odpadowego (II.7), zakończone jest podsumowaniem (II.8).

Rozdział III: Mechanizm wydzielania ciepła przez rośliny w procesie kiełkowania. Ten rozdział koncentruje się na procesie wydzielania ciepła przez rośliny podczas kiełkowania. Zawiera dogłębną analizę procesów biochemicznych i fizjologicznych odpowiedzialnych za generowanie ciepła w tej fazie rozwoju roślin. Rozdział IV: Metody określania ciepła emitowanego przez rośliny. Rozdział ten przedstawia różne metody mierzenia ciepła emitowanego przez rośliny. Omówione są rodzaje kalorymetrów (IV.1) oraz termografia jako alternatywna metoda pomiaru (IV.2). Szczególna uwaga poświęcona jest wykorzystaniu metod kalorymetrycznych w badaniach kiełkowania roślin (IV.3). Rozdział V: Podsumowanie przeglądu literatury. W tym rozdziale dokonano podsumowania przeglądu literatury, ukazując stan wiedzy w omawianym zakresie i określając luki badawcze, które praca ma na celu wypełnić.

Rozdział VI: Tezy, cele i zakres pracy. Rozdział ten formułuje główne tezy pracy, określa jej cele oraz zarysowuje zakres badań, jakie zostaną przeprowadzone w ramach dysertacji.

Rozdział VII: Badania laboratoryjne. Zawiera szczegółowy opis przeprowadzonych badań laboratoryjnych, w tym analizę techniczną nasion fasoli Mung oraz słonecznika (VII.1) oraz badania mikrokalorymetryczne (VII.2).

Rozdział VIII: Badania przemysłowe. Prezentuje wyniki badań przemysłowych, w tym szczegółową metodologię badań oraz rezultaty pomiarów przemysłowych w kontekście uprawy kiełków fasoli Mung.

Rozdział IX: Bilans masy, energii i egzergii komory wzrostowej. Rozdział ten poświęcony jest analizie bilansu masy, energii i egzergii w komorze wzrostowej, w tym transportu egzergii w różnych procesach zachodzących w komorze wzrostowej.

Rozdział X: Badania modelowe możliwości zmniejszenia energochłonności instalacji do produkcji kiełków warzywnych. W tym rozdziale skupiono się na modelowaniu i symulacjach mających na celu zidentyfikowanie sposobów na zmniejszenie zużycia energii w instalacjach do produkcji kiełków warzywnych.

Rozdział XI: Wnioski końcowe. Prezentuje główne wnioski wynikające z przeprowadzonych badań, podsumowując główne osiągnięcia pracy.

Rozdział XII: Niepewności pomiaru. Ostatni rozdział omawia niepewności pomiarowe związane z wykorzystywanymi metodami badawczymi, w tym standardową niepewność pomiaru ciepła w kalorymetrze i pomiaru strumienia objętości płynu.

Każdy rozdział zawiera szczegółowe analizy, badania i dyskusje, które razem składają się na pełny obraz badanego tematu.

Elementy nowości naukowej i praktycznej rozprawy doktorskiej

Na podstawie przedstawionego doktoratu, można wyróżnić kilka kluczowych osiągnięć naukowych, które znacząco przyczyniają się do rozwoju dziedziny efektywności energetycznej i zrównoważonego rozwoju:

1. **Innowacyjne wykorzystanie ciepła odpadowego:** jednym z najważniejszych osiągnięć jest zidentyfikowanie i wykorzystanie ciepła odpadowego generowanego podczas kiełkowania roślin. To odkrycie otwiera nowe możliwości w wykorzystaniu energii, która do tej pory była traktowana jako nieistotny produkt uboczny.

2. **Zrozumienie zmiennych wpływających na generowanie ciepła:** praca podkreśla złożoność procesu generowania ciepła przez rośliny, uwzględniając różne czynniki, takie jak gatunek nasienia, jego budowa, kondycja i warunki mikroklimatyczne. Rozumienie tych zmiennych pozwala na bardziej celowe i efektywne wykorzystanie energii w procesach produkcyjnych.
3. **Optymalizacja procesów produkcji roślin w kontekście efektywności energetycznej:** praca wnosi istotny wkład w optymalizację procesów produkcyjnych, proponując wykorzystanie generowanego ciepła do zwiększenia efektywności energetycznej w rolnictwie.
4. **Rozwój nowych metod badawczych:** praca wprowadza nowe, zaawansowane techniki badawcze, w tym wykorzystanie ultraczułych urządzeń mikrokalorymetrycznych do precyzyjnego mierzenia ciepła generowanego przez rośliny. To osiągnięcie ma znaczenie zarówno dla badań naukowych, jak i praktycznych zastosowań w rolnictwie i przemyśle.
5. **Identyfikacja ograniczeń współczesnych urządzeń mikrokalorymetrycznych w analizie strumienia ciepła generowanego przez naturalnie występujące ziarna słonecznika:** w trakcie badań dokonano istotnego odkrycia, iż współczesne urządzenia mikrokalorymetryczne nie są w stanie przeprowadzić pełnej i precyzyjnej analizy strumienia ciepła generowanego przez ziarna słonecznika, zarówno w fazie namaczania, jak i wzrostu kielków. To odkrycie ma kluczowe znaczenie dla nauki, ponieważ wskazuje na konieczność rozwoju bardziej zaawansowanych metod pomiarowych, które umożliwią dokładniejsze badania w tej dziedzinie. Wykazanie istniejących ograniczeń technologicznych stanowi ważny krok w kierunku udoskonalenia metod badawczych oraz rozwoju bardziej efektywnych i dokładnych urządzeń, które pozwolą na głębsze zrozumienie procesów termodynamicznych zachodzących w roślinach. Jest to osiągnięcie, które nie tylko zwraca uwagę na istotne luki w obecnym stanie techniki, ale również otwiera nowe perspektywy dla dalszych badań i innowacji w dziedzinie biotermodynamiki i inżynierii energetycznej.
6. **Ustalenie znaczącego potencjału wykorzystania niskotemperaturowego ciepła odpadowego o niskiej egzergii generowanego w procesie uprawy kielków fasoli Mung:** w pracy udało się wykazać, że procesy biologiczne zachodzące podczas uprawy kielków fasoli Mung są źródłem istotnych zasobów niskotemperaturowego ciepła odpadowego. To ciepło, charakteryzujące się niską egzergią, posiada znaczący potencjał do wykorzystania w miejscu jego powstawania, czyli w instalacji do uprawy

roślin. To osiągnięcie naukowe jest szczególnie ważne, gdyż wskazuje na możliwość ograniczenia energetycznych potrzeb własnych procesu produkcyjnego, zwłaszcza w kontekście zmniejszenia zależności od paliw nieodnawialnych niezbędnych do przygotowania ciepłej wody wykorzystywanej w fazach podlewania uprawy.

7. **Promowanie zrównoważonego rozwoju i efektywności energetycznej:** praca wpisuje się w globalne dążenia do zrównoważonego rozwoju i efektywności energetycznej, oferując praktyczne rozwiązania w kontekście zmian klimatycznych i rosnących potrzeb energetycznych.

Najważniejsze osiągnięcia praktyczne to:

1. **Efektywne przeprowadzenie badań bilansowych komory wzrostowej i określenie rzeczywistego potencjału odzysku ciepła od kiełkujących nasion fasoli Mung:** przeprowadzenie pomiarów kluczowych parametrów związanych z uprawą kiełków w kontrolowanych warunkach umożliwiło dokładne wykonanie badań bilansowych komory wzrostowej. Te badania pozwoliły na określenie rzeczywistego potencjału odzysku ciepła generowanego podczas kiełkowania nasion fasoli Mung. To osiągnięcie ma duże znaczenie praktyczne, ponieważ zapewnia cenne dane, które mogą być wykorzystane do optymalizacji procesów produkcyjnych w rolnictwie, zwłaszcza w kontekście zwiększenia efektywności energetycznej. Uzyskane wyniki stanowią solidną podstawę dla opracowania nowych, bardziej zrównoważonych i energooszczędnych metod produkcji roślin, przyczyniając się tym samym do redukcji kosztów energetycznych oraz zwiększenia efektywności wykorzystania zasobów energetycznych w rolnictwie. Jest to znaczący krok w kierunku zrównoważonego rozwoju i efektywności energetycznej w sektorze rolniczym.
2. **Precyzyjne określenie rzeczywistego potencjału odzysku ciepła odpadowego od kiełkujących roślin poprzez zaawansowane pomiary i bilansowanie transportu ciepła:** praca wnosi istotny wkład naukowy poprzez opracowanie metodologii przeprowadzania pomiarów na linii technologicznej, które umożliwiają zbilansowanie transportu ciepła wymienianego w procesach namaczania i podlewania roślin. Kluczowym osiągnięciem jest tu identyfikacja i pomiar strumieni ciepła powstających pomiędzy różnymi fazami (powietrze-powietrze, woda-powietrze oraz woda-woda). Dokładne określenie tych strumieni, możliwe dzięki pomiarom przepływów objętościowych oraz temperatury powietrza i wody doprowadzanych i

odprowadzanych z komory wzrostowej, pozwoliło na pełniejsze zrozumienie i wykorzystanie procesów termodynamicznych zachodzących w uprawie roślin. To osiągnięcie nie tylko ułatwia efektywniejsze wykorzystanie ciepła odpadowego w rolnictwie, ale również stanowi cenny wkład w naukę o energii, termodynamice i technologii upraw, otwierając nowe możliwości dla dalszych badań i zastosowań w praktyce rolniczej oraz przemysłowej.

3. **Opracowanie koncepcji instalacji do odzysku ciepła generowanego przez rośliny oraz stworzenie modelu symulacyjnego kompletnej linii technologicznej do produkcji kielków:** w ramach pracy opracowano innowacyjną koncepcję instalacji, która umożliwi odzysk ciepła produkowanego przez rośliny. Dodatkowo, stworzono zaawansowany model symulacyjny całej linii technologicznej do produkcji kielków, który został zintegrowany z zaproponowanym systemem odzysku ciepła. Kluczowym elementem tego osiągnięcia jest wykorzystanie obliczeń symulacyjnych w stanach nieustalonych przy pomocy zaawansowanego środowiska symulacyjnego FLOWNEX®. Ta metoda pozwoliła na szczegółową analizę możliwości zmniejszenia energochłonności instalacji. Takie podejście reprezentuje istotny krok naprzód w dziedzinie inżynierii systemów energetycznych, zapewniając naukowe i techniczne podstawy do projektowania bardziej efektywnych energetycznie systemów produkcji roślin. Osiągnięcie to ma znaczenie zarówno dla teorii inżynierii procesowej, jak i dla praktycznych zastosowań w rolnictwie.
4. **Dokładne określenie rzeczywistego potencjału odzysku ciepła w procesie produkcyjnym kielków:** istotnym osiągnięciem jest ustalenie, że rzeczywisty potencjał ciepła generowanego w procesie produkcji kielków, określony na podstawie analizy bilansowej przeprowadzonej na bazie pomiarów wykonanych na linii technologicznej, wynosi 2287,4 J/g. Dla jednego cyklu produkcyjnego, przekłada się to na 4942 MJ ciepła, które może zostać wykorzystane w dalszym procesie produkcyjnym lub zagospodarowane w inny sposób. Ta kwantyfikacja rzeczywistego potencjału odzysku ciepła jest istotna z kilku powodów. Po pierwsze, dostarcza cennych informacji o wielkości energii, która może być efektywnie odzyskana w procesach rolniczych, co ma znaczenie dla zwiększenia efektywności energetycznej i zrównoważonego rozwoju w sektorze roślinnym. Po drugie, stanowi solidną podstawę dla opracowania nowych technologii i systemów, które mogą wykorzystać to ciepło, przyczyniając się do zmniejszenia zapotrzebowania na energię z zewnętrznych źródeł, szczególnie tych nieodnawialnych.

Poziom warsztatowy

Rozprawa, którą oceniam, jest efektem skrupulatnych i żmudnych prac zarówno laboratoryjnych, jak i symulacyjnych. Autorka wykazała się dobrym przygotowaniem do badań eksperymentalnych, posiada dogłębną wiedzę teoretyczną oraz duże umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Szczególnie godne podkreślenia jest biegłe posługiwanie się przez Autorkę metodami badawczymi oraz interpretacja uzyskanych wyników. Zarówno wybór tematu, jak i analizowane źródła są adekwatne. Praca charakteryzuje się przejrzystym układem treści, konsekwentnym stosowaniem nazewnictwa oraz symboliki. Drobne uwagi redakcyjne, w tym dotyczące terminologii naukowej i używanych sformułowań, zaznaczyłem w maszynopisie. Te uwagi są całkowicie drugorzędne, a stosowane sformułowania ogólnie uznaję za adekwatne i poprawne. Nie mam żadnych zastrzeżeń do materiału ilustracyjnego, poza drobnymi kwestiami redakcyjnymi zaznaczonymi w tekście. Materiał ilustracyjny jest odpowiednio dobrany i celowy.

Uwagi krytyczne

W trakcie czytania pracy nasunęły mi się pewne uwagi krytyczne, które nie mają jednak istotnego wpływu na wartość merytoryczną przedstawionej rozprawy, a dotyczą zagadnień omówionych poniżej.

1. **Zakres i głębokość analizy technologicznej:** chociaż praca prezentuje znaczne osiągnięcia w zakresie analizy bilansowej ciepła generowanego przez rośliny, pojawia się pytania dotyczące zakresu i głębokości analizy technologicznej. Przykładowo, czy badania uwzględniały wszystkie istotne zmienne i potencjalne ograniczenia procesów technologicznych? Czy analizowano różne scenariusze operacyjne i warunki środowiskowe, które mogą wpłynąć na efektywność odzysku ciepła?
2. **Ograniczenia modelowania symulacyjnego:** użyte modele symulacyjne, mimo że zaawansowane, mogą mieć swoje ograniczenia. Istotne jest, aby zwrócić uwagę na potencjalne uproszczenia w modelach oraz ich wpływ na wiarygodność wyników. Czy modele te adekwatnie odwzorowują złożoność rzeczywistych procesów biologicznych i termodynamicznych zachodzących w instalacji?

3. **Generalizacja wyników:** wyniki dotyczące specyficznego przypadku kiełkowania fasoli Mung mogą nie być w pełni generalizowalne na inne rodzaje roślin lub różne warunki uprawy. Warto zastanowić się, na ile wyniki te można przenieść na inne konteksty produkcyjne.
4. **Aspekty środowiskowe i zrównoważony rozwój:** praca koncentruje się głównie na efektywności energetycznej, ale brakuje głębszej analizy wpływu proponowanych rozwiązań na środowisko. Należałoby rozważyć pełniejszą ocenę cyklu życia (LCA) systemu odzysku ciepła, aby lepiej zrozumieć jego środowiskowe implikacje.
5. **Analiza kosztów i opłacalności ekonomicznej:** chociaż praca prezentuje technologiczne aspekty odzysku ciepła, nie zawiera ona szczegółowej analizy kosztów i opłacalności ekonomicznej wdrożenia proponowanych rozwiązań. Przydatne byłoby zbadanie, czy inwestycje w systemy odzysku ciepła są ekonomicznie opłacalne w krótkim i długim okresie.
6. **Skalowalność proponowanych rozwiązań:** praca koncentruje się na określonych warunkach i skali uprawy kiełków fasoli Mung. Ważne jest zatem zastanowienie się nad skalowalnością proponowanych systemów i ich adaptacji do różnych rozmiarów i rodzajów upraw.
7. **Analiza porównawcza z innymi technologiami:** brakuje porównania zaproponowanych technologii z innymi rozwiązaniami na rynku, co mogłoby lepiej umieścić wyniki pracy w szerszym kontekście branżowym.
8. Chociaż osiągnięcie to wskazuje na znaczącą poprawę efektywności energetycznej procesu przygotowywania wody do podlewania kiełków warzywnych oraz potencjalną redukcję zużycia paliw konwencjonalnych, ważne jest dokładne zbadanie, **czy oszacowane oszczędności są realne w różnych warunkach operacyjnych i w różnych skalach produkcji.** Oszczędność blisko 1 tonę węgla kamiennego i redukcja emisji CO₂ o ok. 6,1 Mg w ciągu tygodnia pracy instalacji może wydawać się imponująca, jednak należy uwzględnić szereg czynników, które mogą wpłynąć na te wyniki, takich jak:
 - **Zmienny profil energetyczny instalacji:** w rzeczywistych warunkach pracy instalacji do produkcji kiełków warzywnych, zapotrzebowanie na energię oraz efektywność odzysku ciepła mogą się różnić w zależności od wielu czynników, w tym od warunków klimatycznych, stanu technicznego urządzeń czy praktyk operacyjnych.

- **Skalowalność rozwiązania:** zastosowanie dwustopniowego układu odzysku ciepła i uzyskane oszczędności mogą być trudne do osiągnięcia w większej skali, szczególnie w różnych typach instalacji produkcyjnych, które mogą mieć odmienne charakterystyki energetyczne.
- **Koszty inwestycji i czas zwrotu:** wprowadzenie zaawansowanego systemu odzysku ciepła wiąże się z kosztami inwestycyjnymi, które mogą wpływać na ekonomiczną opłacalność projektu. Czas zwrotu i długoterminowe korzyści finansowe powinny być dokładnie ocenione.
- **Porównanie z innymi metodami redukcji emisji CO₂:** warto rozważyć, czy inwestycja w technologię odzysku ciepła jest najbardziej efektywnym sposobem na redukcję emisji CO₂ w porównaniu z innymi dostępnymi metodami, takimi jak na przykład modernizacja istniejących systemów energetycznych czy inwestycje w odnawialne źródła energii.

9. Zapis dotyczący ograniczeń w prezentacji szczegółowych danych procesowych ze względu na klauzulę niejawności może stanowić wyzwanie w kontekście pełnej oceny i weryfikacji proponowanego systemu odzysku ciepła w rozprawie doktorskiej. Oto kilka moich uwag:

- brak dostępu do szczegółowych danych procesowych może utrudniać niezależną weryfikację i ocenę wyników symulacji prezentowanych w pracy. Dla pełnego zrozumienia i potwierdzenia efektywności opracowanego systemu, istotne jest, aby inni badacze mogli dokonać powtórzenia eksperymentów lub symulacji.
- Jeśli dane procesowe są unikalne dla określonej instalacji lub specyficznego scenariusza produkcyjnego, może to ograniczać możliwość generalizacji wyników na inne warunki lub instalacje. Wyniki mogą być bardziej reprezentatywne dla konkretnego przypadku, niż dla szerszej gamy zastosowań.

Podsumowując, klauzula niejawności, choć zrozumiała z biznesowego punktu widzenia, może stanowić ograniczenie w kontekście pełnej naukowej oceny i weryfikacji opracowanego systemu odzysku ciepła. Jeśli proponowana koncepcja w rozprawie doktorskiej mgr inż. Klaudii Słomczyńskiej jest ściśle związana z konkretną firmą (Uniflora sp. z o.o.), może to sugerować, że rozwiązanie nie jest uniwersalne, lecz dopasowane do

specyficznym warunków i potrzeb tej firmy. Taka sytuacja rodzi kilka istotnych kwestii i wymaga komentarza:

Charakter pracy zorientowany na specyficzne potrzeby firmy: jeśli rozprawa skupia się na rozwiązaniu opracowanym specjalnie dla jednej firmy, może to ograniczać możliwość zastosowania tego rozwiązania w innych kontekstach lub dla innych firm. Rozwiązania mogą być zoptymalizowane pod kątem specyficznych warunków operacyjnych, technologicznych i ekonomicznych danej firmy.

Udział firmy w pracy badawczej: kluczowym pytaniem jest, jaki był udział firmy w badaniach. Czy firma dostarczała dane, wsparcie techniczne, finansowanie, czy też pełniła inną rolę? Współpraca z firmą może przynieść korzyści, takie jak dostęp do rzeczywistych danych i realnych warunków operacyjnych, ale może również wpłynąć na zakres i kierunek badań.

Przejrzystość i pełne ujawnienie współpracy: w naukowych pracach badawczych kluczowe jest pełne ujawnienie wszelkich form współpracy, w tym detali dotyczących udziału firm, co pozwala na właściwą ocenę wyników i metodologii.

Wnioski końcowe

Reasumując, można stwierdzić, iż tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Klaudii Słomczyńskiej „Wykorzystanie ciepła odpadowego o niskiej entalpii z procesu produkcji kiełków warzywnych” wiąże się bezpośrednio z koniecznością wprowadzenia nowego podejścia i rozwiązań w technologiach zrównoważonego rozwoju oraz efektywnego zarządzania energią w procesach produkcji kiełków warzywnych. Praca ta stawia przed branżą upraw rolniczych wyzwanie adaptacji do współczesnych potrzeb ekologicznych, proponując innowacyjne metody wykorzystania ciepła odpadowego, które do tej pory było traktowane jako nieistotny produkt uboczny procesów produkcyjnych. Wprowadzenie tej technologii ma potencjał znaczącego obniżenia kosztów energetycznych oraz ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko, co jest szczególnie istotne w obliczu globalnych problemów klimatycznych i konieczności poszukiwania zrównoważonych źródeł energii. Rozprawa mgr inż. Słomczyńskiej wskazuje na nowe możliwości w zakresie odzyskiwania i wykorzystywania ciepła odpadowego, otwierając tym samym nowy rozdział w dziedzinie efektywności energetycznej i zrównoważonego rozwoju tej gałęzi przemysłu.

Praca mieści się w dyscyplinie *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*.

Do najważniejszych walorów recenzowanej rozprawy zaliczam:

- poprawnie postawiony problem naukowy oraz rozwinięty za pośrednictwem sformułowanych tez rozprawy. Cel jak i zakres pracy adekwatnie wynikają z przeprowadzonej analizy literatury przedmiotu oraz postawionego problemu przez Doktorantki.
- rozprawa doktorska w pełni pokazuje ogromną wiedzę teoretyczną Autorki, podkreślając jej zdolność do dogłębnego zrozumienia skomplikowanych koncepcji naukowych. Jest to widoczne zarówno w jej systematycznym podejściu do analizy literatury, jak i w umiejętności stosowania tej wiedzy w praktyce. Dodatkowo, sposób, w jaki Autorka tłumaczy skomplikowane koncepcje naukowe i techniczne w swojej pracy, pokazuje jej umiejętność przekazywania wiedzy teoretycznej w sposób zrozumiały dla czytelnika, co jest kluczową cechą dobrego naukowca.
- rozprawa doktorska zawiera rozwiązanie ważnego zadania naukowego, jakim jest „projektowanie i wdrożenie innowacyjnych metod odzysku ciepła odpadowego w procesach rolniczych, szczególnie w kontekście uprawy kiełków warzywnych”. Rozprawa ta wnosi istotny wkład w rozwój zrównoważonych technologii w rolnictwie, koncentrując się na wykorzystaniu niewykorzystanych dotąd zasobów energetycznych, co przyczynia się do zwiększenia efektywności energetycznej oraz redukcji śladu węglowego związanego z produkcją roślinną. Praca ta, poprzez integrację innowacji technologicznych z praktycznymi aspektami produkcji roślinnej, stanowi znaczący krok w kierunku bardziej zrównoważonej i ekonomicznie efektywnej przyszłości w branży rolniczej.
- przeprowadzenie trudnych prac eksperymentalnych na wysokim poziomie naukowym, co podkreśla zdolność Autorki do samodzielnego prowadzenia badań naukowych,
- oryginalne rozwiązanie problemu naukowego przedstawione przez Autorkę polega na opracowaniu zaawansowanej metody odzysku ciepła odpadowego generowanego przez rośliny w trakcie procesu kiełkowania, w połączeniu z innowacyjnym systemem zarządzania energią w instalacji do produkcji

kiełków warzywnych. To rozwiązanie opiera się na zastosowaniu dwustopniowego układu odzysku ciepła, który nie tylko umożliwia efektywniejsze wykorzystanie energii odpadowej, ale także znacznie redukuje zużycie paliw konwencjonalnych w procesie produkcyjnym. Przez to, praca wnosi nowe perspektywy w efektywności energetycznej i zrównoważonym rozwoju w sektorze roślinnym, oferując praktyczne i efektywne rozwiązania, które mogą mieć znaczący wpływ na ograniczenie emisji dwutlenku węgla oraz na koszty operacyjne w rolnictwie.

- Szczególnie doceniam zaangażowanie Autorki w opracowanie geometrii wymiennika z wykorzystaniem modeli numerycznych. To ambitne zadanie, które Autorka wykonała skutecznie, dostarczając w ten sposób praktyczne narzędzia, które mogą być wykorzystane w dalszych badaniach i praktyce inżynierskiej,
- na koniec warto zauważyć, że Autorka zadbała o właściwą strukturę i klarowność prezentacji wyników, co znacznie ułatwia zrozumienie pracy.

Reasumując, stwierdzam że oceniona rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym. Wobec powyższego *wniosuję, by Wysoka Rada Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Częstochowskiej dopuściła mgr inż. Klaudię Słomczyńską do dalszego etapu postępowania doktorskiego.*

