

Zabrze, 14/12/2023r.

Prof. dr hab. inż. Jarosław Zuwała
Z-ca Dyrektora Instytutu ds. Badań i Rozwoju

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Klaudii SŁOMCZYŃSKIEJ
pt. „Wykorzystanie ciepła odpadowego o niskiej egzergii z procesu produkcji kiełków warzywnych”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Paweł Mirek, prof. PCz
Promotor pomocniczy: dr inż. Marcin Panowski
(Politechnika Częstochowska)

1. Wprowadzenie

Podstawą formalną opracowania recenzji jest umowa o dzieło zawarta pomiędzy Politechniką Częstochowską a autorem niniejszej recenzji. Recenzja przygotowana jest w oparciu o uchwałę Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka nr 07/2023/2024 z dnia 23.10.2023 r. oraz Ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023 poz. 742) z dnia 20 lipca 2018 r. Recenzja opracowana została na podstawie otrzymanej w dniu 8.11.2023 r. rozprawy doktorskiej, stanowiącej opracowanie zwarte.

2. Sylwetka Doktorantki

Autorka recenzowanej rozprawy doktorskiej, Pani Klaudia Słomczyńska uzyskała w roku 2019 tytuł mgr inż. na Wydziale Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej. Według przekazanych informacji, Doktorantka nigdy wcześniej nie ubiegała się o nadanie stopnia doktora w żadnej jednostce organizacyjnej a przedłożona rozprawa doktorska nie była przedmiotem innego postępowania.

Doktorantka w trakcie studiów zrealizowała liczne staże w przedsiębiorstwach przemysłowych. Po uzyskaniu dyplomu brała udział w realizacji dwóch projektów współfinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR). Prowadziła także zajęcia dydaktyczne ze studentami.

Poniżej ujęto Jej przebieg pracy zawodowej:

- Politechnika Śląska w Gliwicach, Szkoła Doktorska, 10.2019 – nadal;
- BSPiR „Energoprojekt – Katowice” SA, 2021 – nadal.

3. Ogólna ocena rozprawy wraz z uwagami krytycznymi

W bieżącym punkcie dokonam zwięzłego podsumowania treści rozprawy oraz ocenę prawidłowość wyboru jej tematyki.

3.1 Zakres rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska została zrealizowana w Szkole Doktorskiej prowadzonej w Politechnice Częstochowskiej pod opieką promotora i promotora pomocniczego, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Praca poświęcona jest ocenie potencjału niskotemperaturowej energii odpadowej oraz analizie możliwości jej zagospodarowania dla rozważanego procesu produkcyjnego kiełków roślinnych na cele spożywcze. Rozważania zawarte w rozprawie opierają się w przeważającej części na szerokim zakresie badań eksperymentalnych związanych z procesem hodowli kiełków roślinnych z nasion fasoli Mung w warunkach przemysłowych. Badania eksperymentalne dostarczają danych wejściowych do opracowania bilansów masy i energii w rozważanym układzie a całość uzupełniona jest modelowaniem symulacyjnym układu wraz z instalacją wykorzystującą procesowe ciepło odpadowe.

W przeprowadzonej dyskusji otrzymanych wyników nacisk położony został na wykazanie, iż zasoby energii odpadowej, które mogą towarzyszyć procesowi hodowli kiełków roślinnych mogą być wykorzystane w miejscu jej powstawania, tak aby zmniejszyć zapotrzebowanie na dodatkową energię niezbędną celom hodowlanym.

Tytuł pracy jest zwięzły i informuje o jej tematyce, która mieści się w obszarze przedmiotowej dyscypliny. Uzasadnienie wyboru tematu znajduje się w rozdziale #II.8 *Podsumowanie*. Prace, które Doktorantka prowadziła w trakcie realizacji własnych badań są zapewne kontynuacją (rozwinięciem) tematyki, która była przez nią podejmowana na etapie pracy magisterskiej oraz przy realizacji projektów badawczych współfinansowanych przez NCBR.

Rozprawę Doktorantka zawarła na 188 stronach tekstu zasadniczego. Praca jest bogata w liczne formy graficzne (tabele, rysunki, schematy), zawiera ułatwiającą lekturę pracy listę symboli i oznaczeń, spis tabel oraz rysunków. Manuskrypt podzielono na dwanaście numerowanych rozdziałów z czego zasadniczą część pracy zawarto w rozdziałach III+XI, rozdział XII to *Niepewności pomiaru*, ostatni, nienumerowany rozdział *Spis literatury*. Jest on dość bogaty, obejmuje 135 pozycji, przy czym cytowane źródła są aktualne a przeważający udział cytowanych prac pochodzi z ostatnich lat. W wykazie literatury Doktorantka umieściła ponadto liczne akty prawne (ustawy, dyrektywy). Pozycje bibliograficzne podano w kolejności ich cytowania a odwołania do nich mają uzasadnienie wynikające z treści rozprawy. Sposób oznaczenia cytowań źródeł literatury jest zgodny ze stylistyką stosowaną w naukowej literaturze technicznej.

W rozdziale I *Wprowadzenie*, Autorka omawia aspekty polityki energetyczno – klimatycznej Polski oraz Unii Europejskiej. Wskazuje także na potrzebę realizacji działań prowadzących do poprawy efektywności energetycznej procesów energetycznych.

Rozdział II traktuje o *Pojęciu, charakterystyce oraz możliwości wykorzystania przemysłowego ciepła odpadowego*. Autorka szerzej przedstawia pojęcie energii odpadowej, definicję energii jako miary jakości energii a także klasyfikuje źródła energii odpadowej z uwagi na temperaturę jej nośnika. Omawiając zasoby energii odpadowej oraz wyzwania towarzyszące jej zagospodarowaniu wskazuje na proces przemysłowej hodowli kiełków spożywczych jako potencjalne źródło energii odpadowej. Energia, którą potencjalnie można zagospodarować towarzyszy procesom namaczania nasion, z których produkowane są kiełki oraz procesom podlewania na etapie rozwoju i wzrostu siewek.

W rozdziale #III opisany jest *Mechanizm wydzielania ciepła przez rośliny w procesie kiełkowania*. Rozdział ten jest bardzo krótki (zawiera jedynie 5 stron) i mógłby stanowić część rozdziału poprzedzającego. Istotną częścią pracy jest rozdział #IV, który traktuje o istotnym z punktu widzenia badań prowadzonych w pracy problemie wiarygodnego określania efektów cieplnych towarzyszących procesowi wzrostu kiełków. Autorka po analizie możliwych metod pomiaru ilości przekazywanego przez rozwijające się rośliny ciepła wybiera metodę kalorymetryczną, jako jedyną pozwalającą na ocenę ilościową. Wybór uzasadnia przeglądem literaturowym wybranych badań nad kiełkowaniem i wzrostem nasion wykorzystujących metody kalorymetryczne. W tym rozdziale wskazana została także luka badawcza: brak w literaturze informacji na temat analiz w zakresie całkowitej ilości energii generowanej przez kiełkujące nasiona i wzrastające siewki w uprawach przemysłowych.



Podsumowanie przeglądu literatury (rozdział #V) zawiera wyraźne podsumowanie w/w luki badawczej oraz możliwości zastosowania w celu oceny potencjału energii odpadowej analizy egzergetycznej, co do tej pory nie było w literaturze przedmiotu przeprowadzone.

Rozdział #VI to *Tezy, cele i zakres pracy*. Struktura tego rozdziału wskazuje na dobrze przemyślaną koncepcję pracy naukowej stanowiącej przedmiot rozprawy: najpierw Doktorantka na podstawie badań wstępnych oraz przeglądu literatury zidentyfikowała lukę badawczą, następnie sformułowała tezy pracy:

- procesy biologiczne zachodzące podczas uprawy kiełków warzywnych mogą być źródłem znacznych zasobów niskotemperaturowego ciepła odpadowego,
- istnieje możliwość zmniejszenia energochłonności oraz zużycia paliw konwencjonalnych w instalacji do produkcji kiełków warzywnych na cele spożywcze poprzez wykorzystanie ciepła odpadowego generowanego przez rośliny;

postawiła sobie następujące cele pracy:

- określenie zasobów ciepła odpadowego w procesie wzrostu kiełków wybranych roślin,
- opracowanie metody zagospodarowania ciepła odpadowego generowanego w procesie wzrostu kiełków celem zwiększenia efektywności energetycznej procesu produkcyjnego.

by ostatecznie ustalić zakres prac badawczych.

Podsumowując powyższe, stwierdzam że sposób w jaki Doktorantka sformułowała tezy, cele i zakres pracy był poprawny metodycznie, właściwy i doprowadził w konsekwencji do zaplanowania eksperymentów i analiz, które zostały przeprowadzone i opisane w pracy. Zakres pracy zaplanowany dla realizacji postawionych celów uznaję za wystarczający w pełni.

3.2 Ocena prawidłowości wyboru tematu

W kontekście wyzwań dekarbonizacyjnych, przed którymi stoi nie tylko energetyka ale również wiele gałęzi gospodarki i przemysłu, efektywne zagospodarowanie źródeł energii odpadowej stanowić będzie jedną z dróg prowadzących do realizacji celów związanych ze zmniejszeniem wykorzystania zasobów energii pierwotnej paliw kopalnych.

Zagospodarowanie energii odpadowej, szczególnie niskotemperaturowej stanowi duże wyzwanie, wiąże się bowiem często z koniecznością poniesienia nakładów inwestycyjnych na dodatkowe instalacje i aparaty, które będą umożliwiały odzyskanie traconych zasobów energii i przekazanie jej do nowych bądź już istniejących nośników. Istotnym elementem analiz ukierunkowanych na wykorzystanie energii odpadowej jest wiarygodne określenie jej potencjału, co jest podstawą do działań o charakterze optymalizacyjnym. Szczególne wyzwania wiążą się z wykorzystaniem energii niskotemperaturowej, której zasoby są znaczne, ale utrudnione do efektywnego wykorzystania z uwagi na poziomy temperatury nośników.

Prace Doktorantki podążały w kierunku wiarygodnego określenia zasobów energii odpadowej z procesu produkcyjnego uprawy kiełków spożywczych a następnie zaproponowania metody ich zagospodarowania. Biorąc pod uwagę powyższe, uważam, że temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Klaudii Słomczyńskiej został wybrany prawidłowo a całość podjętej pracy, uwarunkowanej w dużej części zamierzeniami o charakterze stricte utylitarnym, zawiera istotne elementy nowości naukowej. Dodatkowo, podkreślenia wymaga fakt, iż realizowane przez Doktorantkę badania uzyskały wsparcie finansowe w ramach dwóch programów badawczych finansowanych przez NCBR, co także potwierdza rangę i istotność analizowanej oraz rozwijanej przez Nią w pracy tematyki.

4. Analiza treści rozprawy wraz z uwagami krytycznymi

W poniższym rozdziale recenzji skupię uwagę na zagadnieniach naukowych samodzielnie rozwiązanych przez Doktorantkę oraz dyskusji prawidłowości rozważań, uzyskanych wyników i wniosków oraz na uwagach i

wątpliwościach, które nasunęły mi się przy pisaniu recenzji. Na końcu zamieszczonej analizy odniosę się do oryginalności i wskażę na główne walory rozprawy.

4.1 Zagadnienia naukowe i utylitarne rozwiązane samodzielnie przez Doktorantkę

Po przeprowadzeniu analizy treści rozprawy stwierdzam, że postawione przez Doktorantkę cele naukowe pracy zostały zrealizowane.

Do **najważniejszych zagadnień naukowych** rozwiązanych przez Nią samodzielnie zaliczam:

- zidentyfikowanie tzw. „luki badawczej” w obszarze badań nad zasobami energii odpadowej możliwej do pozyskania w procesie wzrostu kiełków spożywczych w warunkach przemysłowych,
- weryfikację w warunkach rzeczywistych możliwości zastosowania metod kalorymetrycznych do laboratoryjnego pomiaru ilości ciepła odpadowego z procesu produkcji kiełków,
- określenie na drodze eksperymentalnej potencjału ilościowego energii niskotemperaturowej pochodzącej z procesu przemysłowej hodowli kiełków;

Za **najistotniejsze elementy pracy w aspekcie praktycznym** uważam natomiast:

- odwzorowanie złożonego obiektu rzeczywistego oraz przepływów masy i energii w przyjętym do rozważań układzie komory hodowlanej za pomocą złożonego układu równań bilansowych,
- zaproponowanie dwustopniowego układu odzysku ciepła dla celów wykorzystania energii odpadowej w rozważanym procesie.

4.2 Prawdliwość rozważań, uzyskanych wyników i wniosków oraz uwagi krytyczne

Treść rozprawy dowodzi, że Doktorantka bardzo dobrze znajduje się w przedmiotowej problematyce. Nie stwierdzam w tym zakresie uchybień i oceniam Jej znajomość przedmiotu zagadnienia - w tym przygotowanie zawodowe i naukowe – bardzo pozytywnie. Przyczynę do podjęcia pogłębionej dyskusji naukowej stanowi natomiast kilka zagadnień, które przedstawiam poniżej, z prośbą o odniesienie się do nich w trakcie obrony pracy:

1. Pytanie #1: co przesądziło o wyborze do eksperymentów badawczych kiełków fasoli Mung i słonecznika? O ile w przypadku kiełków fasoli Mung można go uzasadnić faktycznie (ale czy jedynie?) współpracę z firmą, prowadzącą przemysłową hodowlę kiełków tej rośliny, to co przemówiło za wyborem słonecznika?
2. Pytanie #2: (str. 93, Tabela 5) – z czego wynikała przyjęta w pracy liczba próbek – w przypadku fasoli Mung: 10 a w przypadku słonecznika 12 a także liczba nasion przypisana każdej z próbek?
3. Pytanie #3: (str. 105): co oznacza sformułowanie „*Strumień objętości wody do podlewania nasion realizowany był z częstotliwością 1 Hz...*”?
4. Pytanie #4: czy komora wzrostowa (str. 102, rys. 5) była przed prowadzeniem badań eksperymentalnych zmodyfikowana konstrukcyjnie?
5. Pytanie #5: (str. 107) – czy pod pojęciem „magazyn ciepła” rozumie się przestrzeń wypełnioną ciepłym powietrzem nad komorą wzrostową?
6. Pytanie #6: (str. 128) – czy w zależności (30), pod pojęciem egzergii destrukcji (ozn. symbolem X_{dest}) rozumieć należy tzw. wewnętrzną stratę egzergii (zgodnie z nazewnictwem stosowanym przez prof. J. Szarguta)?
7. Pytanie #7: (str. 128) – podobne pytanie dotyczy wyrażenia opisanego jako „*transport egzergii towarzyszący wymianie ciepła*” – czy jego wartość określać będzie tzw. przyrost egzergii zewnętrznego źródła ciepła (ponownie, zgodnie z nazewnictwem stosowanym przez prof. J. Szarguta)?
8. Pytanie #8: czy można przyjąć, iż traktowana w pracy jako tzw. „czarna skrzynka” sama kabina wzrostowa jest układem wewnętrznym zoptymalizowanym? Czy rozważano w pracy ingerencję konstrukcyjną w samą komorę, mającą na celu modyfikację polegającą na zamianie usypanego złoża nasion na złożo o większej przepuszczalności (a zatem umożliwienie poprawy warunków wymiany ciepła)?
9. Pytanie #8: (str. 133) – proszę o wskazanie zależności, na podstawie której wyznaczono wartość strat egzergii (Tabela 8).
10. Pytanie #9: (str. 179) – ile energii zużywane jest do napędu sprężarkowej pomy ciepła?



11. Uwaga #1: (str. 129) – sformułowanie „*Ponieważ ciepło jest formą nieuporządkowanej energii jedynie pewna jego część może być zamieniona na pracę*” jest nieco niefortunne. Energia – w przeciwieństwie do ciepła – nie jest funkcją stanu.
12. Uwaga #2: (str. 130) – to samo dotyczy pojęcia „*transport egzergii*”.

Podkreślić należy, że wskazane powyżej uwagi i komentarze nie umniejszają wartości naukowej i oraz istotnych aspektów użytkowych pracy. Zaplanowany zakres pracy został zrealizowany a postawione cele zostały osiągnięte.

Praca jest bardzo dobrze zredagowana i pomimo złożoności treści, czyta się ją z przyjemnością. Nie spotkałem w niej błędów stylistycznych czy ortograficznych, co wymaga podkreślenia.

4.3 Oryginalność i główne walory rozprawy

Doktorantka planując i realizując zakres badań eksperymentalnych i analitycznych uzyskała materiał służący ocenie zasobów energii odpadowej towarzyszącej procesom biochemicznym zachodzącym w nasionach/siewkach w trakcie procesów ich namaczania i podlewania składających się na przemysłową hodowlę kiełków spożywczych. Zaproponowała także koncepcję techniczną dla instalacji umożliwiającej zagospodarowanie tej energii w układzie komory wzrostowej.

Zakres zrealizowanych prac stanowi Jej oryginalny dorobek a wyniki uzyskane w trakcie realizacji pracy dostarczają oprócz wartościowych wniosków naukowych także istotnych rekomendacji o charakterze praktycznym, przez co są one cenne z użytkowego punktu widzenia.

Uzyskany w trakcie realizacji pracy materiał jest bardzo interesujący i z pewnością wart dalszej popularyzacji poprzez np. prezentowanie uzyskanych wyników jako publikacji w czasopismach naukowych a także poprzez referaty wygłaszane na konferencjach z obszaru nie tylko energetyki czy inżynierii środowiska ale także hodowli i uprawy roślin.

5. Wnioski końcowe

Na podstawie przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej, biorąc pod uwagę przedstawione wcześniej uwagi i spostrzeżenia **stwierdzam, że przedstawiona przez Panią mgr inż. Klaudię Słomczyńską rozprawa pt. „Wykorzystanie ciepła odpadowego o niskiej egzergii z procesu produkcji kiełków warzywnych” spełnia w całości określone w Art. 13.1 przywołanej w pkt. 1 Ustawy warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim.**

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka; dowodzi także Jej umiejętności samodzielnego zaplanowania i przeprowadzenia szerokiego zakresu badań eksperymentalnych.

Praca posiada bardzo wartościowe aspekty użytkowe, osiągnięte wyniki mogą być przydatne oraz dalej rozwijane nie tylko w przedsiębiorstwie, w którym prowadzona jest uprawa kiełków spożywczych ale także w innych sektorach przemysłu hodowli i uprawy roślin.

Wobec powyższych faktów wnioskuję do Wysokiej Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka o dopuszczenie Pani mgr inż. Klaudii Słomczyńskiej do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

Dodatkowo, z uwagi na:

- stopień skomplikowania przeprowadzanych badań eksperymentalnych i obliczeń bilansowych,
- przyjęcie do analizy obiektu badań, w którym zachodzą złożone procesy biochemiczne co nadaje pracy kontekst interdyscyplinarności,
- istotny walor użytkowy uzyskanych wyników badań,

uważam, że praca zasługuje na wyróżnienie, o co niniejszym wnoszę.

