

**Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Klaudii Słomezyńskiej:
Wykorzystanie ciepła odpadowego o niskiej egzergii z procesu produkcji kiełków
warzywnych**

1. Przedmiot i zakres rozprawy

Przedmiotem recenzowanej rozprawy jest określenie ilości ciepła generowanego w procesie wzrostu kiełków warzywnych oraz dyskusja sposobów jego wykorzystania w procesie technologicznym uprawy dla zwiększenia efektywności energetycznej tego procesu. W badaniach zastosowano podejście analityczne i eksperymentalne. Część wstępną rozprawy stanowią dwa pierwsze rozdziały, w pierwszym z nich omówiono istotę polityki klimatycznej UE i Polski (rozdział I), w drugim przedstawiono ogólną charakterystykę rodzajów i zasobów niskotemperaturowego ciepła odpadowego oraz możliwości jego wykorzystania. W końcowej części tego rozdziału doktorantka wskazuje na proces kiełkowania fotoblastycznie ujemnych nasion jako na proces generacji ciepła niskotemperaturowego (20 – 40 °C), który dla konkretnej instalacji jest przedmiotem studiów i analiz w rozprawie. Trzy następne rozdziały (III – V) stanowią merytoryczne wprowadzenie do badań prowadzonych w rozprawie oraz podstawę do sformułowania jej tezy i zakresu. Pierwszy z nich (rozdział III) wyjaśnia podstawy mechanizmu generacji ciepła w procesie kiełkowania, w następnym przedstawiono dogłębną informację o eksperymentalnych metodach określenia ciepła generowanego przez rośliny w procesach ich wzrostu. Rozdział zawiera obszerną informację o rodzajach kalorymetrów stosowanych w badaniach rozpatrywanych procesów. Dokonano tu także szerokiego przeglądu literatury przedmiotu. Dwa następne rozdziały to *Podsumowanie przeglądu literatury* (rozdział V) i *Tezy , cele i zakres rozprawy* (Rozdział VI). Podsumowanie dokonane w rozdziale V dotyczy głównie zagadnień energii odpadowej oraz metod badania generacji ciepła towarzyszącej wzrostowi roślin. Dyskusja literatury obejmującej zagadnienia bilansowania substancji, energii i egzergii została przedstawiona w następnych rozdziałach. Ogólnie można stwierdzić, że jest ona wystarczająco dogłębną dla oceny stanu badań i wiarygodności metodycznej prowadzonych analiz. W rozdziale VI sformułowano następujące tezy rozprawy:

1. Procesy biologiczne zachodzące podczas uprawy kiełków warzywnych mogą być źródłem znacznych zasobów niskotemperaturowego ciepła odpadowego.

2. Istnieje możliwość zmniejszenia energochłonności oraz zużycia paliw konwencjonalnych w instalacji do produkcji kiełków warzywnych na cele spożywcze poprzez wykorzystanie ciepła odpadowego generowanego przez rośliny.

Zakres badań służących dowodowi tak sformułowanych tez jest spójny metodycznie i odpowiada stanowi badań przedstawionych w literaturze przedmiotu.

Zasadniczą część pracy stanowią trzy moduły. Pierwszy obejmuje badania laboratoryjne z użyciem mikrokalorymetru (rozdział VII). Z pierwotnie zamierzonych badań wzrostu nasion fasoli Mung i słonecznika trudności z realizacją procesu w przypadku słonecznika spowodowały, że ograniczono się do analizy fasoli Mung. W badaniach wykorzystano izotermiczny kalorymetr TAM III. Jako wyniki badań pokazano wykresy przebiegu uśrednionych dla określonych liczb prób wartości jednostkowych strumieni ciepła dla fazy namaczania (6 prób) i wzrostu (4 próby).

Drugi ważny moduł rozprawy obejmuje opis metody pomiaru, wyniki pomiarów oraz ich analizę dla badań na obiekcie rzeczywistym (rozdziały VIII i IX). Doktorantka najpierw opisuje obiekt badań, ogólny schemat pomiarowy i wyniki pomiarów temperatury w wybranych przekrojach instalacji. Następnie przedstawia algorytmy określające bilanse masy, energii i egzergii dla komory wzrostowej. Istotnymi w tej części rozprawy są wyniki wartości energii i egzergii dla całego cyklu wzrostu. W końcowej części rozpatrywanego modułu dokonano porównania ilości ciepła generowanego w badaniach kalorymetrycznych i przemysłowych. W trzecim module rozprawy (rozdział X) przedyskutowano wykorzystania ciepła generowanego w procesie wzrostu do optymalizacji zużycia energii w całej instalacji. Po przedstawieniu koncepcji instalacji z wykorzystaniem ciepła odpadowego przeprowadzono szczegółowe badania symulacyjne z wykorzystaniem oprogramowania FLOWNEX[®]. Rozprawę kończą rozdziały: XI. *Wnioski końcowe*, XII. *Niepewności pomiaru*. Spis literatury obejmuje 135 pozycji. W zestawieniu nie dostrzegłem opracowań doktorantki. Z przesłanej dokumentacji wynika jednak, że kilka artykułów wysłano do ważnych czasopism naukowych, część z nich jest po recenzjach. Zakres rozprawy, przyjęte założenia metodologiczne oraz stosowane przez Autorkę metody analiz sprawiają, że mieści się ona w obszarze dyscyplin *inżynieria mechaniczna* oraz *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*.

2. Ocena rozprawy

Rozprawa dotyczy ciekawego interdyscyplinarnego obszaru badawczego, rzadko podejmowanego przez nauki techniczne, a mianowicie identyfikacji i wykorzystania niskotemperaturowego ciepła generowanego w procesie wzrostu roślin. Tezy i zakres rozprawy zostały sformułowane po wyczerpującej analizie literatury przedmiotu. Interdyscyplinarny charakter pracy wymagał od autorki odpowiedniej wiedzy i umiejętności w zakresie upraw roślin i energetyki (termodynamiki i wymiany ciepła). Do ważnych elementów rozprawy zaliczam:

- Przeprowadzenie wnikliwej analizy literaturowej w zakresie kalorymetrycznego pomiaru niskich wartości strumieni ciepła, w tym w obszarze badania generacji ciepła w procesie wzrostu roślin;
- Określenie algorytmów pomiaru i bilansowania energetycznego oraz egzergetycznego głównych modułów technologicznej instalacji produkcji kiełków warzywnych;
- Opracowanie koncepcji wykorzystania ciepła generowanego w procesie wzrostu roślin do optymalizacji zużycia energii w całej instalacji.

Uzyskane wyniki mają istotną wartość poznawczą oraz aplikacyjną. Należy podkreślić, że przeprowadzone badania mają charakter komplementarny, mogą stanowić podstawę do analiz instalacji w różnej skali. Ważna znaczenie, przy tym, ma konkluzja przedstawiona w rozprawie dotycząca odpowiedniości wyników uzyskanych w skali laboratoryjnej i przemysłowej.

Rozprawa zawiera liczne przykłady obliczeniowe, które mogą stanowić podstawę do oceny skuteczności zastosowania podejścia metodycznego przyjętego w recenzowanej pracy.

W punkcie IX.4 autorka szczegółowo omawia człony występujące w równaniu bilansu egzergii dla komory wzrostowej. To ważna, z poznawczego punktu widzenia, część rozprawy. Pozwala ustalić procesy o największym stopniu nieodwracalności termodynamicznej (najwyższych wartościach generacji entropii). Obliczenia przedstawione w pracy wskazują na te procesy. Biorąc pod uwagę zakres obliczeń, ich złożoność, należy docenić wysiłek doktorantki zarówno w zakresie sformułowania modelu obliczeniowego, jak i analizy wyników. Autorka nie przedstawia praktycznych sposobów zmniejszenia strat egzergii, co nieco zmniejsza wartość aplikacyjną tych analiz.. W rozprawie używa się pojęcia "*egzergia destrukcji*" równoległe z pojęciem "*straty egzergii*". To drugie określenie wydaje się bardziej odpowiednie i głównie używane w polskiej literaturze.

Praca, zdaniem recenzenta, zawiera jednak także pewne usterki utrudniające analizę jej pełnej wartości merytorycznej. I tak:

- str. 95: w trzecim wierszu od góry stwierdza się, że średnia ilość wygenerowanego ciepła mieści się w granicach: 1689,72 - 3132, 18 J/g. Jak należy to interpretować wobec informacji, że wyniki uśredniano dla określonej liczby prób:

- str. 105: jako wartości mierzone (zob. rys. 27) wymienia się wartości temperatury i tylko strumień wody doprowadzonej, jak w związku z tym określano wartości entalpii i egzergii w przekrojach wylotowych;

- str. 133 i dalsze (tab. 8 -12): jak określano strumienie entropii (W/K) i egzergii (W) dysponując wartościami entropii (kJ/K) i egzergii (kJ);

- str. 155: na rys. 50 zaznaczono funkcję pompy ciepła, w analizie symulacyjnej brak jest dyskusji jej znaczenia.

3. Wnioski końcowe

a. Mgr inż. Klaudia Słomeczyńska sformułowała i rozwiązała oryginalne zadanie badawcze dotyczące identyfikacji i wykorzystania niskotemperaturowego ciepła generowanego w procesie wzrostu roślin. Przedstawiła wnikliwą analizę literatury przedmiotu na podstawie której sformułowała tezy rozprawy i zakres rozwiązywanych zadań. Ważną częścią pracy jest bilansowanie energii i egzergii przeprowadzone dla przemysłowej instalacji produkcji kielków warzywnych oraz opracowanie koncepcji wykorzystania niskotemperaturowego ciepła generowanego we wszystkich stadiach wzrostu analizowanej fasoli Mung dla optymalizacji energetycznej tej klasy technologii.

b. Doktorantka wykazała się dużą wiedzą i umiejętnościami w badaniach i analizie złożonych interdyscyplinarnych zagadnień dotyczących energetycznych aspektów upraw roślin.

c. Biorąc pod uwagę walory merytoryczne i edytorskie ocenianej rozprawy doktorskiej, stwierdzam że spełnia ona wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim sformułowane w odpowiednich Ustawach i przepisach.

d. Na podstawie powyższych opinii i uwag wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.

