

dr hab. inż. Tomasz Jakubowski

Kraków, dn. 13 VI 2018 roku

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych

Zakład Inżynierii Produkcji Rolno-Spożywczej

Ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Pawła Sokołowskiego

pt. *Kształtowanie się wymiany ciepła pomiędzy chłodnią warzyw a gruntem*

przygotowanej pod kierunkiem naukowym

Promotora dr hab. inż. Grzegorza Nawalany i Promotora pomocniczego

dr inż. Agnieszki Sadłowskiej-Sałęga

1. Uwagi wstępne

Podstawą wydania opinii jest pismo prof. dr hab. inż. Krzysztofa Gawrońskiego, Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie z dnia 26 marca 2018 roku o sygnaturze DI-520-5/2016.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska obejmuje w swej części merytorycznej, poprzedzonej streszczeniem, 6 rozdziałów, w tym 22 podrozdziały, i zawiera 130 stron. Część uzupełniającą stanowi bibliografia oraz spis tabel i rycin. Bibliografia obejmuje 143 pozycje literaturowe, w tym 115 pozycji obcojęzycznych co stanowi ponad 80% zbioru, 3 dokumenty normalizacyjne oraz 6 źródeł internetowych. Całość rozprawy doktorskiej, obejmująca właściwą część merytoryczną oraz część uzupełniającą, mieści się na 153 stronach. Praca napisana została przy użyciu czcionki typu Times New Roman o rozmiarze 12 pt., interlinia między wierszami 1,5.

Zgodnie z brzmieniem artykułu 13.1. Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*, Dz.U. nr 65, poz. 595, z późn. zm. wymogiem ustawowym, stawianym rozprawie doktorskiej, jest oryginalność rozwiązania problemu naukowego a kandydat musi wykazywać się ogólną wiedzę

teoretyczną w danej dyscyplinie naukowej. Zgodnie z powyższym, przy ocenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Sokołowskiego, przyjęto kolejne kryteria: znaczenie podjętej tematyki, poprawność w formułowania celów i hipotez badawczych, przyjęta metoda badawcza, struktura rozprawy wraz z jej stroną warsztatową.

2. Znaczenie podjętej tematyki

W budownictwie, w aspekcie ochrony środowiska i poszanowania energii, istotny jest problem ograniczenia strat ciepła nie tylko przez przegrody stykające się z powietrzem zewnętrznym, lecz również powodowanych przenoszeniem ciepła do gruntu.

Poruszane w pracy Doktoranta zagadnienia wymiany ciepła pomiędzy obiektem chłodniczym a gruntem w ich otoczeniu dotyczą swoim zakresem fizyki cieplnej budowli. Tematyka fizyki cieplnej budowli, w ujęciu budynków ogrzewanych przeznaczonych dla bytowania ludzi (budynki mieszkalne, budynki użyteczności publicznej), jest znana, opisana przepisami prawnymi i normami. W przypadku jednak budynków rolniczych, zarówno akty prawne jak i normy mogą nie mieć swojego zastosowania – przyczyną jest tutaj specyfika warunków wilgotnościowych i cieplnych. Taki brak analogii wymusza poszukiwania metod, które byłyby przydatne w określaniu procesów dotyczących wymiany ciepła pomiędzy obiektem rolniczym a gruntem.

3. Struktura rozprawy

Struktura rozprawy jest poprawna i zgodna z koncepcją badawczą. Praca składa się ze streszczenia, sześciu rozdziałów oraz spisu literatury, rysunków i tabel. Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie do zagadnienia Wymiany ciepła z gruntem w aspekcie budynków rolniczych. W rozdziale tym odczuwalny jest brak odwołań do źródeł literaturowych. W rozdziale drugim zaprezentowano cel i zakres pracy. Rozdział ten powinien być napisany w czasie przeszłym (w stronie biernej). Zakres pracy, w 6 wypunktowaniu, dla uściślenia powinien brzmieć: „... analizę porównawczą wariantów obliczeń wymiany ciepła ...”. Rozdział trzeci stanowi przegląd literatury w zakresie tematyki poruszanej przez Doktoranta, w którym obszernie opisano, we właściwie ustrukturyzowanych podrozdziałach, zagadnienia dotyczące funkcjonowania obiektów przechowalniczych, wymiana ciepła budynku z gruntem (metod normowych i obliczeniowych) oraz programów komputerowych powiązanych z badanym tematem. Powyższy rozdział ma charakter teoretyczny i został opracowany w oparciu o fachową literaturę tematu. Rozdział czwarty ma charakter metodyczny, w którym Autor opisuje obiekt badań, wykorzystane narzędzia badawcze i przyjęte metody

doświadczalne. W rozdziale piątym, o charakterze empirycznym, dokonano walidacji modelu obliczeniowego oraz określono warunki termiczne w badanym obiekcie i jego otoczeniu gruntowym dla przyjętych poszczególnych wariantów doświadczenia. Rozdział szósty ma charakter podsumowania w którym zawarto konkluzje wynikające z przeprowadzonych badań. W strukturze pracy wskazane byłoby umieszczenie, w początkowej części opracowania, spisu/wykazu użytych symboli, oznaczeń i skrótów (ułatwiłoby to lekturę). Brak numeracji poszczególnych formuł matematycznych /wzorów.

4. Poprawność formułowania problemu naukowego i celu pracy

Doktorant podjął się próby rozwiązania problemu naukowego polegającego na określeniu wpływ kształtowania się wymiany ciepła z gruntem w aspekcie usytuowania poziomego posadzki chłodni względem powierzchni terenu, zastosowanej termoizolacji stanu zerowego obiektu oraz uwzględnienia 3-miesięcznej przerwy technologicznej pomiędzy badanymi cyklami chłodniczymi. Na podstawie tak sformułowanego problemu badawczego Doktorant, jako cel pracy, przyjął rozpoznanie kształtowania się wymiany ciepła pomiędzy chłodnią warzyw a gruntem dla wybranych wariantów materiałowo-konstrukcyjnych i technologicznych. Aby zrealizować założony cel pracy Doktorant przyjął niezbędny zakres zadań do wykonania. Zakresem tym objęto m. in. wykonanie pomiarów temperatury powietrza wewnątrz chłodni oraz w jej otoczeniu, temperatury gruntu pod chłodnią i gruntu w jej bezpośredniej bliskości, przeprowadzenie specyfikacji i adaptacji modelu wymiany ciepła chłodni z gruntem wraz z jego walidacją. W dalszej kolejności przyjęto poszczególne czynniki techniczne i technologiczne uwzględniane w doświadczeniu, przeprowadzono obliczenia dla czynników technicznych i technologicznych w warunkach niestacjonarnych. Etapem końcowym badań była analiza porównawcza wymiany ciepła chłodni z gruntem i kształtowania się temperatury gruntu dla przyjętych rozwiązań technicznych i technologicznych.

Problem naukowy został poprawnie zidentyfikowany oraz prawidłowo sformułowany, poprawnie również sformułowano cel pracy. Przyjęty przez Doktoranta zakres pracy jest wystarczający i prawidłowo dobrany do jej celu. W tym miejscu zauważyć jednak należy, że prezentowana praca ma charakter eksperymentalno-analityczny - w tego typu pracach podstawą do postawienia problemu badawczego jest studium literaturowe. Studium literaturowe powinno ukazywać stan braku wiedzy w danym obszarze co generuje powstanie problemu badawczego a z niego dopiero wynika cel pracy. W ocenianej pracy doktorskiej

Doktorant pierwsze, we wstępie, stawia problem naukowy, następnie określa cel badań a w kolejnym kroku dopiero dokonuje przeglądu literatury tematu.

W pracy brak jest wyraźnie postawionej hipotezy badawczej czyli przypuszczenia lub domysłu dotyczącego badanego zjawiska, które to wymaga empirycznego sprawdzenia (tym bardziej, że we wniosku nr 6 Autor stawia jedną z kwestii jako „przypuszczenie” – które to notabene we wnioskach znaleźć się nie powinno). Treść wniosku nr 6, oraz użyta w nim nomenklatura, jednoznacznie wskazują, że wskazane było postawienie hipotezy.

5. Przyjęta metoda badawcza

Rozwój metod obliczeniowych dotyczących wymiany ciepła między chłodnią rolniczą a gruntem wymaga znajomości układu pola temperatury w gruncie oraz jego zmienności w czasie i przestrzeni. Jednym ze sposobów dla uzyskania powyższych informacji jest wykonanie pomiarów, które realizowane są przez odpowiednio długi czas w rzeczywistych warunkach eksploatacji obiektu. Autor badał obiekt rzeczywisty w postaci komory chłodniczej przeznaczonej do przechowywania warzyw umiejscowionej w Sielcu Kolonii, w gminie Skalbmierz, w województwie świętokrzyskim.

Wyznaczenie pola temperatur wiąże się z zagadnieniem niestacjonarnego przepływu ciepła w gruncie pod budynkiem i w jego otoczeniu. Obszar przewodzenia ciepła jest trójwymiarowy i teoretycznie nieograniczony, który jednak w pewnej odległości od budynku zanika (zarówno poziomy jak i pionowy przepływ ciepła). Układ taki pozwala na wyodrębnienie z nieograniczonej przestrzeni bryły o skończonych wymiarach – co wykorzystał Autor w swojej pracy (naturalnym obszarem przewodzącym ciepło staje się prostopadłościan gruntu z posadzkami i ścianami fundamentowymi).

Trzyletnie badania terenowe dotyczyły, w aspekcie walidacji modelu obliczeniowego, pomiarów temperatury powietrza wewnątrz badanego obiektu i powietrza na zewnątrz komory chłodniczej. Zakresem pracy objęto również temperatury w pobliżu posadzki komory chłodniczej oraz temperatury w gruncie. Jako narzędzie badawcze wykorzystano czujniki APATOR TOP 168 podłączone do rejestratora HP 34970A. W tym miejscu pojawia się kilka wątpliwości, które powinny być wyjaśnione:

1) Podstawa komory chłodni ma kształt prostokąta (rys. 10 a,b str. 28). Czujniki temperatury, zgodnie z przyjętymi sposobami przeprowadzania pomiarów, powinny być umieszczone w dwóch osiach symetrii oraz na przekątnej. Dlaczego zatem Doktorant czujniki temperatury umieścił tylko w jednej z osi przekroju poziomego chłodni?

2) W jaki sposób Doktorant uwzględnił przyleganie (rys. 10 a str. 28) do badanej komory chłodniczej „A” komory chłodniczej „B”? Czy komora chłodnicza „B” nie wpłynie na rozkład temperatur w badanym obiekcie i gruncie pod obiektem?

3) Na str. 18 Doktorant wspomina o warunkach brzegowych I i II rodzaju a na str. 48 o warunku brzegowym rodzaju III. Warunek brzegowy I rodzaju (Dirichleta) przyjmowany jest, jeśli cały brzeg lub jego część posiada znaną temperaturę określoną poprzez znaną, zależną od czasu funkcję. Warunek brzegowy II rodzaju (Neumana) przyjmowany jest gdy znana jest funkcja określająca natężenie strumienia cieplnego na brzegu obszaru. Warunek brzegowy III rodzaju (Fouriera) przyjmowany jest gdy następuje swobodny przepływ ciepła przez powierzchnię brzegową obiektu. W jaki zatem sposób określono/uszczegółowiono warunek brzegowy III rodzaju (temperatura posadzki komory chłodni i temperatura powierzchni gruntu) gdy czujniki pomiarowe znajdowały się odpowiednio 5 i 2,9 cm poniżej poziomu posadzki/gruntu?

Na stronie 38 Doktorant podaje równania na bilans energii za pomocą ilorazu różnicowego jawnego i niejawnego oraz na stronie 39 podaje równanie na bilans energii za pomocą ilorazu różnicowego Cranka-Nicolson jednak w obliczeniach korzysta jedynie z ilorazu różnicowego jawnego. Zatem pozostałe równania powinny znaleźć się w rozdziale dotyczącym przeglądu literatury.

4) Podstawowy wariant W01 zakładał rzeczywiste wymiary komory chłodniczej – jak wyniki badań symulacyjnych korespondują z wynikami pomiarów rzeczywistych?

5) Jakimi przesłankami kierował się Autor badając normalność rozkładu w próbach i dobierając jako narzędzie test Shapiro-Wilka wiedząc jednocześnie, że liczba danych z jednego czujnika jest wypadkową $\approx 24 \times 365$ dla 1 roku badań?

6) Z czego wynika rozbieżność co do kubatury komór chłodniczych A i B uwidoczniła na rys. 10a (s. 28) a powierzchnią opisaną na stronie 25?

7) Na stronie 26 Autor rozpoznaje grunt bezpośrednio przyległy do chłodni jako glinę piaszczystą (wraz z humusem) a w tabeli nr1 (s. 41), dla celów obliczeniowych, stosuje parametry fizyczne dla gliny.

8) Tabela 1 (s. 41) czy określenia „humus” i „grunt roślinny” mogą być utożsamiane?

9) s. 46 i 47 na jakiej podstawie przyjęto dane klimatyczne dla Krakowa skoro obiekt badań był oddalony o ≈ 50 km?

10) Czy wartość współczynnika korelacji Spearmana (s. 49) dla danych rzeczywistych (A1, B1, C1) i obliczonych z modelu, w połączeniu z wykresem nr 31 (s. 61) nie sugeruje konieczności umieszczenia czujnika temperatury bezpośrednio na posadzce?

- 11) s. 64, II akapit, do jakich badań nawiązuje Autor; rzeczywistych czy symulacyjnych?
- 12) Czy wszystkie wykresy przedstawiające przebieg temperatury w poszczególnych miesiącach zostały wykonane w oparciu o uśrednione wartości z 1 doby (dla 3 letniego okresu badań)?
- 13) Jakiej metody użył Autor szacując przebieg izolinii i kierunek strumienia ciepła (rys. 75, s. 110)? Wskazane byłoby podanie sposobu szacowania w rozdziale dotyczącym metodyki.
- 14) Wniosek nr 3 (s. 134) – „*Sposób usytuowania chłodni (zagłębiona w gruncie, wyniesiona powyżej powierzchni terenu (zatem zagłębiona czy wyniesiona?), brak izolacji termicznej fundamentów i posadzki) istotnie wpływa na jej bilans energetyczny. Udział posadzki chłodni zagłębionej wynosi aż 33%, natomiast w przypadku posadzki wyniesionej powyżej powierzchni terenu (+ 0,75 m) udział ten wynosi 8% (% czego lub w stosunku do czego?).*”
- 15) Jaka jest przydatność uzyskanych wyników dla praktyki (czy uzyskane wyniki można uogólnić)?

6. Dobór źródeł literaturowych

Doktorant w swojej pracy korzystał ze 143 pozycji bibliograficznych – głównie obcojęzycznych. Dobór pozycji literaturowych jest adekwatny do tematyki poruszanej w pracy. Literatura reprezentuje pozycje aktualne i upowszechniane przez renomowane wydawnictwa naukowe. Znaczna większość bibliografii to prezentacja oryginalnych prac badawczych.

Analiza bibliograficzna pozwoliła Doktorantowi na określenie częściowego stanu braku wiedzy w zagadnieniu wpływ kształtowania się wymiany ciepła z gruntem w aspekcie usytuowania poziomu posadzki chłodni względem powierzchni terenu, zastosowanej termoizolacji stanu zerowego obiektu oraz uwzględnienia 3-miesięcznej przerwy technologicznej pomiędzy badanymi cyklami chłodniczymi.

7. Strona warsztatowa – ocena formalna

Strona warsztatowa opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Sokołowskiego zasługuje na pozytywną ocenę. Pracę cechuje kompleksowość i wnikliwość dociekań badawczych. W pracy istnieje ciąg logiczny określony poprzez tytuł – cel – metodykę – wyniki i wnioski. Doktorant wyczerpująco wyjaśnił wykorzystywane pojęcia i charakteryzowane zjawiska posługując się przy tym poprawnym, od strony stylistycznej i komunikatywnej, językiem. Wykorzystane metody badań zostały użyte przez Doktoranta zgodnie z zaleceniami metodologii badań naukowych. Do nielicznych usterek formalnych, nie

wpływających na pozytywną ocenę (ponieważ wynikają z cytowań i przeniesień), można zaliczyć:


- s. 6 – procesy fizjologiczne w warzywach to nie tylko oddychanie ale i transpiracja,
- określenie powietrze „zewnątrzne” i „wewnętrzne”, choć używane w publikacjach naukowych, jest dużym uproszczeniem, raczej powinno się używać sformułowań powietrze „wewnątrz” i „na zewnątrz” obiektu,
- s. 7 raczej przechowujemy plon po zbiorach niż zbiór,
- s. 8 zdanie: „... technologia przechowywania zbiorów, a w szczególności długość cyklu chłodniczego, może bezpośrednio przekładać się na zapotrzebowanie energetyczne na cele chłodnicze ...” – jest oczywiste,
- s. 10 procesy mikrobiologiczne wchodzi w skład procesów biologicznych,
- s.10 „... nanoszenie powłok jadalnych, potencjalnie nieszkodliwych dla człowieka ...” nieszkodliwych wg jakich norm/wytycznych?
- s. 12 „... pojawiało się coraz więcej wyników, opisujących mechanizmy przepływu ciepła w gruncie w otoczeniu budynków ...” – brak rozwinięcia tematu lub odwołania do pozycji literaturowych,
- s. 14, rys. 1 wykres nie wskazuje jak odczytać parametr B’,
- s. 26 „styropian” to polska nazwa handlowa dla spienionego polistyrenu - w pracach naukowych nie powinno się używać nazw handlowych,
- s. 29 gdzie umiejscowiony jest wspomniany rozdział 4.3.5?
- s. 29 zdania: „obliczenie ilości wilgoci do nawilżania i osuszania powietrza” oraz „obliczenie zużycia ciepła do ogrzewania i energii chłodzenia” powinny być przeredagowane,
- s. 32 – wzory, „R”, brak wyjaśnienia oznaczenia (opór przewodzenia ciepła),
- s. 36, 37 – brak oznaczenia dla parametru „C”,
- s. 39 - program „Statistica”, brak nr-u wersji,
- s. 40 - na rys. 12 dwukrotnie oznaczono podsypkę żwirową,
- pt. pomiarowe A1, B1, C1 zlokalizowane są w posadzce chłodni – w opisie rycin Autor używa opisu „temperatura gruntu”,
- s. 71 podrozdział 5.2.3, I akapit, jest WO2 powinno być WO3,

8. Konkluzja końcowa

Analiza całości recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Sokołowskiego pozwala na stwierdzenie, iż stanowi ona naukowo cenne studium badawcze, prezentujące proces, wraz ze zjawiskami towarzyszącymi, kształtowania się wymiany ciepła pomiędzy chłodnią rolniczą a gruntem. Autor zrealizował w całości postawiony cel pracy co oznacza, że przyjęte przez Niego metody i narzędzia badawcze były poprawne i wystarczające. Pracę oceniam wysoko zarówno w warstwie teoretycznej, jak i praktycznej.

Oceniając pracę całościowo jednoznacznie stwierdzam, że stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wskazując na odpowiedni poziom wiedzy teoretycznej jej Autora oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Niego pracy naukowej. Biorąc pod uwagę wszystkie przyjęte kryteria oceny, stwierdzam, że recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Sokołowskiego pt. *„Kształtowanie się wymiany ciepła pomiędzy chłodnią warzyw a gruntem”* odpowiada warunkom stawianym tego typu opracowaniom (a zatem jest zgodna z wymogami Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz.U. nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i wnoszę do Wysokiej Rady Wydziału Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

dr hab. inż. Tomasz Jakubowski


13 VI 2018 r.