

Lublin, dn. 14.06.2022 r.

dr hab. inż. Tomasz Cholewa, prof. uczelni
Politechnika Lubelska
Wydział Inżynierii Środowiska
Katedra Jakości Powietrza Wewnętrzznego i Zewnętrznego
ul. Nadbystrzycka 40B
20-618 Lublin
e-mail: t.cholewa@pollub.pl
tel.: +48 81 538 4424

Recenzja rozprawy doktorskiej
Pana mgr inż. Filipa Pawlaka
**pt. „Wpływ dynamicznych oddziaływań radiacyjnych podłóg chłodzących
na ich charakterystyki użytkowe”**
przygotowana pod kierunkiem naukowym
Promotora prof. dr hab. inż. Haliny Koczyk
oraz Promotora pomocniczego dr inż. Andrzeja Górki

1. Podstawa formalna recenzji

Podstawą formalną przygotowania przedmiotowej recenzji jest zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej w Poznaniu (pismo: WISIE.63.36.2022 z dnia 26.05.2022 r.).

2. Aktualność wyboru tematu i umiejscowienie tematyki badawczej

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej związana jest z szczegółowymi badaniami w zakresie chłodzenia podłogowego i dobrze wpisuje się w aktualne trendy badań w obszarze dyscypliny *inżyniera środowiska, górnictwo i energetyka*.

Obecnie prowadzonych jest nadal wiele badań (również przez osoby z zagranicznych ośrodków naukowych) nad optymalizację pracy elementów ogrzewania/chłodzenia płaszczyznowego. Wynika to między innymi z faktu, że tego typu rozwiązania techniczne pozwalają na zapewnienie warunków komfortu cieplnego użytkowników zarówno dla funkcji ogrzewania jak i chłodzenia przy niskim zużyciu energii oraz mogą współpracować

z niskotemperaturowymi źródłami ciepła jak i wysokotemperaturowymi źródłami chłodu. Jednak w przypadku rozwiązań masywnych tych elementów, które charakteryzują się dużą bezwładnością cieplną ciągle brakuje wyników badań ich dynamicznych oddziaływań cieplnych w pomieszczeniu, w tym w szczególności z promieniowaniem słonecznym. Brakuje również analiz wpływu innych czynników, które mogą realnie oddziaływać na moc chłodniczą tego typu rozwiązań technicznych służących do chłodzenia pomieszczeń przeznaczonych do stałego przebywania osób.

Dlatego też podjęta w przedmiotowej rozprawie doktorskiej tematyka w zakresie zależności charakterystyk użytkowych radiacyjnych podłóg chłodzących jest w pełni uzasadniona i wpisuje się w aktualne trendy badawcze.

Głównym celem pracy było zbadanie dynamicznych oddziaływań cieplnych, zachodzących pomiędzy systemem radiacyjnej podłogi chłodzącej a niejednorodnym, szybkozmiennym środowiskiem jakim jest pomieszczenie i jego otoczenie, a następnie ocena wpływu tych oddziaływań na charakterystykę użytkową tego typu systemu chłodzenia. Dodatkowo Autor postanowił sformułować praktyczne wnioski, które będą mogły być wykorzystane w procesie projektowym. Zatem podjęty w rozprawie temat badawczy ma również znaczenie użytkowe, co jest bardzo istotne dla osób z szeroko rozumianej branży sanitarnej, które w przyszłości będą mogły wykorzystać i wdrożyć wybrane aspekty do praktyki inżynierskiej.

3. Ocena merytoryczna pracy

Oceniana rozprawa doktorska liczy 209 stron i zawiera 267 pozycji cytowanego piśmiennictwa. W rozprawie znajduje się poprawnie zredagowane streszczenie w języku polskim i angielskim.

Praca podzielona jest logicznie na 7 głównych rozdziałów. Ich układ jest poprawny i pozwala wprowadzić czytelnika pracy w szczegółowy zakres prowadzonych badań czy też aktualnie diskutowanych wyników.

Rozdział 1 (*Wprowadzenie*) przedstawia historię wykorzystania chłodzenia podłogowego w budynkach, metodykę projektowania tego typu układów, gdzie określenie projektowego obciążenia chłodniczego może być zrealizowane różnymi metodami, które Doktorant klarownie przedstawił na podstawie dostępnej literatury przedmiotu. Zwrócił również uwagę na badania naukowe, które dotyczą sposobów określania mocy chłodniczej

oraz sterowania systemami radiacyjnych podłóg chłodzących. Ten rozdział został podsumowany poprawnie przez Doktoranta, gdzie uzasadnił podjęcie przedmiotowego tematu badawczego. Zdaniem Recenzenta Doktorant mógł bardziej wyraźnie podkreślić, czy nie prowadzono wcześniej tego typu badań naukowych czy tylko ich ilość jest nadal za mała.

Następnie w *rozdziale 2 (Cel i tezy rozprawy)* przedstawił klarowny i ambitny cel badawczy pracy wraz z planem realizacji pięciu zadań cząstkowych. Przedstawione są również cztery tezy pracy.

W *rozdziale 3* Doktorant przedstawił, odpowiednio przedyskutował i adoptował zagadnienia z zakresu wymiany ciepła i masy, które mogą występować w praktyce w pomieszczeniach wyposażonych w wbudowane w przegrodę chłodzenie podłogowe. W tym zakresie przedstawił również dyskusję z zakresu dostępnej literatury przedmiotu. Na uwagę zasługują treściwe, konkretne i co najważniejsze trafne podsumowania Doktoranta zamieszczane na zakończenie omawiania każdego z mechanizmów z zakresu wymiany ciepła oraz dodatkowych czynników wpływających na wymianę ciepła i masy w pomieszczeniach. W tych podsumowaniach Autor odnosić się już krytycznie do zakresu i sposobu uwzględnienia danego aspektu w swoim autorskim modelu matematycznym.

W *rozdziale 4* Autor przedstawił (mimo złożoności omawianych zagadnień) w bardzo jasny sposób proces tworzenia autorskiego modelu numerycznego do analiz wymiany ciepła w pomieszczeniach z podłogą chłodzącą, co świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu Doktoranta z tego zakresu. Realizowany algorytm obliczeniowy przedstawił na czytelnie opracowanym schemacie blokowym, dzieląc go na blok inicjalizacyjny oraz symulacyjny. Z kolei w bloku symulacyjnym świadomie i właściwie uwzględnił w formie kilku modułów wpływ poszczególnych czynników atmosferycznych oraz innych z zakresu wymiany ciepła i masy. Uwzględnienie i omówienie wpływu danego czynnika w formie indywidualnego i wyodrębnionego modułu pozwoliło Autorowi na usystematyzowanie całości procesu tworzenia autorskiego modelu, co jest dużą zaletą. Należy podkreślić, że przy omawianiu i dokładnym opisie (również matematycznym) każdego z modułów Autor przewidział odpowiednią i merytoryczną dyskusję naukową w zakresie przyjmowanych założeń (również wariantowych) oraz metod i parametrów weryfikacyjnych jak i kryteriów akceptacji dla poszczególnych modułów, co świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu merytorycznym Doktoranta.

Zdaniem Recenzenta Doktorant mógł przewidzieć bardziej szczegółową dyskusję w zakresie przejmowania ciepła (współczynników przejmowania ciepła) z powierzchni chłodzenia

podłogowego biorąc pod uwagę ciepło dostarczane i przejmowane oraz w zakresie wartości i rodzaju temperatury referencyjnej przy obliczeniach ciepła przejmowanego na drodze konwekcji, promieniowania oraz w zakresie całkowitej ilości ciepła.

Dodatkowo przedmiotowa praca byłaby jeszcze bardziej ciekawa, jeśli przedstawione byłyby bardziej klarownie relacje i powiązania między poszczególnymi, opracowywanymi modułami oraz wpływ uwzględniania lub nie danego modułu w procesie obliczeniowym.

W rozdziale 4.5 przedstawiono wieloetapową weryfikację i walidację opracowanego, autorskiego modelu numerycznego między innymi przy wykorzystaniu metody analitycznej jak i doświadczalnej.

W zakresie walidacji analitycznej (rozdział 4.5.1) warto było przewidzieć całość nomenklatury na rysunkach w języku polskim oraz podać uzyskaną dokładność walidacji.

Następnie przeprowadzono walidację na podstawie wyników eksperymentalnych w komorze doświadczalnej. Szczegółowo przedstawiono metodykę prowadzonych badań eksperymentalnych (z podaniem lokalizacji i charakterystyki stosowanych elementów pomiarowych) i omówiono uzyskane wyniki z podaniem ograniczeń walidowanego modelu i stanowiska doświadczalnego. Potwierdzono dokładność opracowanego modelu numerycznego w zakresie symulacji złożonej wymiany ciepła w pomieszczeniach chłodzonych systemami wodnych radiacyjnych podłóg chłodzących typu przy udziale zysków ciepła od promieniowania słonecznego.

Przy wykorzystaniu zwalidowanego modelu numerycznego wykonano kolejne badania symulacyjne, dla których szczegółowa metodyka oraz wyniki zostały zestawione w *rozdziale 5*. Doktorant odpowiednio zaplanował analizę naukową w tym zakresie i pokazał wyniki zarówno dla warunków ustalonej wymiany ciepła jak i w warunkach dynamicznych. Wyniki przedstawił na ciekawie przygotowanych i w pełni opisanych wykresach, gdzie analizował wpływ poszczególnych czynników. Dyskusja uzyskanych wyników prowadzona była prawidłowo przez Doktoranta z uwzględnieniem nawiązania do podstawowych zagadnień z zakresu wymiany ciepła i masy, co znacznie wzbogaca wartość merytoryczną pracy.

W *rozdziale 6 (Podsumowanie wyników pracy)* przedstawiono trafne wnioski oraz rekomendacje dla potrzeb projektowania i eksploatacji radiacyjnych podłóg chłodzących.

W rozdziale tym znajdują się również planowane kierunki dalszych badań, które mogą pozwolić na dalszą optymalizację tego typu rozwiązań.

Zdaniem Recenzenta Autor powinien uwzględnić w tym rozdziale więcej mierzalnych wyników, które uzyskał w ramach prowadzonych badań i analiz.

4. Uwagi do pracy

Uwagi o charakterze ogólnym:

Doktorant powinien w bardziej jasny sposób podkreślać uniwersalny charakter, oryginalność oraz możliwości szerokiego wykorzystania proponowanych rozwiązań i metod w całej rozciągłości pracy (szczególnie przy prowadzonych dyskusjach oraz w zamieszczanych podsumowaniach), a nie głównie na jej końcu.

5. Wnioski końcowe

Pan mgr inż. Filip Pawlak przedstawił do oceny ciekawą rozprawę doktorską, którą oceniam bardzo pozytywnie. Układ i zawartość pracy jest właściwy i odpowiednio przemyślany przez Autora. Przedstawione uwagi i sugestie w ramach rozdziału 3 oraz rozdziały 4 recenzji nie wpływają na wartość merytoryczną rozprawy oraz na pozytywny odbiór całości kształtu rozprawy.

Biorąc pod uwagę sposób opisywania metody badawczej oraz prowadzoną dyskusję wyników stwierdzam, że Pan mgr inż. Filip Pawlak wykazał się bardzo dobrą znajomością wiedzy teoretycznej i umiejętnościami praktycznymi w zakresie prowadzonych badań symulacyjnych i eksperymentalnych objętych przedmiotową rozprawą. Tematyka rozprawy doktorskiej została właściwie wybrana i wpisuje się w najnowsze trendy badań w obszarze dyscypliny *inżyniera środowiska, górnictwo i energetyka*.

Podsumowując moją recenzję stwierdzam, że oceniana rozprawa doktorska mgr inż. Filipa Pawlaka p.t. „Wpływ dynamicznych oddziaływań radiacyjnych podłóg chłodzących na ich charakterystyki użytkowe” spełnia wszystkie wymagania określone przez Ustawę o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (tekst jednolity Dz. U. nr 0 z 2014, poz. 1852) stawiane rozprawom doktorskim. Dlatego wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie Pana mgr inż. Filipa Pawlaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Biorąc pod uwagę zakres pracy oraz jakość zamieszczonych wyników i ich dyskusję wnioskuję również o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Filipa Pawlaka.

Lublin, dn. 14.06.2022 r.



dr hab. inż. Tomasz Cholewa