

Gliwice, dnia 02.03.2020

Prof. dr hab. inż. Jan Ślusarek

Katedra Procesów Budowlanych i Fizyki Budowli
Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

**pt. „Analiza efektywności energetycznej przezroczystych
przegród budowlanych modyfikowanych
materiałami zmiennofazowymi ”**

autorstwa mgra inż. Michała Musiała

1. PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA RECENZJI

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej z dnia 9 stycznia 2020 oraz pismo Dziekana Wydziału Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury tejże Uczelni, a także umowa o dzieło numer NN/381/2020 zawarta w dniu 20 stycznia 2020.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgra inż. Michała Musiała. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Lech Lichołai, prof. PRz. Rozprawa ma charakter doświadczalno – teoretyczny i liczy 256 stron, które stanowią zasadniczą część pracy. Dodatkowo, na końcu wprowadzono streszczenie w języku polskim oraz *summary* w języku angielskim. Praca składa się zasadniczo z 8 rozdziałów, wykazu najważniejszych skrótów i oznaczeń, wykazu symboli greckich, wykazu skrótów i akronimów, wykazu ilustracji i tabel oraz listy bibliograficznej. Zawiera wiele rysunków, fotografii, wykresów, tabel i wzorów matematycznych.

Rozpoczyna się spisem treści z odpowiednimi informacjami odnośnie do stron, od których rozpoczynają się poszczególne rozdziały i podrozdziały.

Właściwa struktura pracy umożliwia czytelnikowi szybkie zorientowanie się w zakresie poruszanych w niej zagadnień. Przyjęty układ pracy i sposób uporządkowania treści jest logiczny, typowy dla prac o charakterze doświadczalno-teoretycznym. Praca jest obszerna, może nawet zbyt obszerna. Biorąc jednak pod uwagę prawdopodobny zamiar Autora polegający na jak najlepszym przedstawieniu poruszanych w niej zagadnień, taka jej objętość może być uznana jako uzasadniona.

Praca napisana jest dobrą polszczyzną, jest starannie zredagowana i nie budzi zastrzeżeń od strony graficznej. Wprawdzie zauważa się drobne usterki redakcyjne, które wymieniłem w p. 4.2.

Dobór literatury jest trafny. Autor przytoczył łącznie 161 pozycji bibliograficznych. Należy zaznaczyć, że ponad 60 % cytowanych prac wydano po roku 2000. Prawie 30 cytowanych publikacji ukazało się w latach 1970÷2000. Na szczególną uwagę zasługuje praca J. Stefana, wydana w roku 1891. Osiągnięcia J. Stefana są znaczące, zwłaszcza w zakresie problemów poruszanych w rozprawie.

Zaprezentowana lista bibliograficzna świadczy o dobrym rozeznaniu Autora w zakresie problemów analizowanych w rozprawie doktorskiej.

3. OCENA PRACY

Opiniowana rozprawa dotyczy ważnych i aktualnych zagadnień z zakresu szeroko pojętej fizyki budowli, a zwłaszcza analizą wykorzystania materiałów zmiennofazowych do modyfikowania przegród przezroczystych i współpracujących z nimi elementów w celu poprawy efektywności cieplnej takich przegród. W tym miejscu należy zaznaczyć, że w pracy wykorzystano autorski materiał zmiennofazowy.

Autor precyzyjnie zaplanował realizację swoich badań i analiz, co znajduje odzwierciedlenie już na etapie spisu treści. Świadczy to o dobrym przygotowaniu Autora do realizacji zaawansowanych badań naukowych. W pierwszych rozdziałach Autor zapoznaje czytelnika z podstawowymi problemami dotyczącymi analizowanych w rozprawie zagadnień. Następnie definiuje tezę oraz przedstawia cel i zakres pracy.

W dalszej części przedstawia Autor stanowiska oraz aparaturę badawczą oraz wykorzystane materiały i odczynniki chemiczne.

Uzyskane wyniki badań wykorzystane zostały do opracowania modelu numerycznego przy wykorzystaniu metody różnic skończonych

w układzie jawnym, jednowymiarowym. Model ten pozwala na określenie zysków związanych z zastosowaniem materiałów zmiennofazowych (PCM) w rozwiązaniu okna zespolonego przy wykorzystaniu różnych kombinacji zespołów szybowych oraz klimatów zewnętrznych. Model ten następnie został zweryfikowany za pomocą testu statystycznego co umożliwiło porównanie wariancji populacji wyników doświadczalnych i uzyskanych na drodze analiz numerycznych. Należy podkreślić, że uzyskano bardzo wysokie wartości współczynników determinacji przy dopasowywaniu wartości empirycznych i teoretycznych. Obliczone, na ich podstawie, wartości współczynników korelacji mieszczą się w przedziale $0.95 \div 0.98$, co oznacza, że występuje bardzo wysoka korelacja, czyli zależność analizowanych wartości jest bardzo istotna.

Zweryfikowany model pozwolił na opracowanie symulacji bilansów ciepła dla całego okresu grzewczego dla różnych klimatów, a co najważniejsze pozwolił na spełnienie, w określonych warunkach, postawionej przez Autora tezy.

Przeprowadzone studia literaturowe pozwoliły Autorowi postawić ambitne cele do rozwiązania, nie tylko na drodze badawczej, ale także na drodze rozważań teoretycznych jak również analiz wspomaganych numerycznie. Świadczy to o bardzo dobrym rozpoznaniu przez Autora tematyki i o Jego dobrym przygotowaniu do samodzielnego prowadzenia eksperymentów badawczych oraz zaawansowanych analiz numerycznych.

W rozprawie Autor jasno sformułował cele, które starał się konsekwentnie realizować. I choć proporcje pomiędzy objętościami poszczególnych rozdziałów można uznać jako dyskusyjne, to jednak uważam, że założone cele Autor zrealizował bardzo skutecznie. Pragnę również dodać, że tytuł rozprawy dobrze koresponduje z zawartą w niej treścią.

Zrealizowane przez Autora badania i przeprowadzone analizy są oryginalne. Zostały one zaprogramowane właściwie z punktu widzenia założonych celów. Widoczna jest duża staranność Autora w przeprowadzaniu zaplanowanych eksperymentów i graficznym udokumentowaniu uzyskanych wyników. Analiza i interpretacja tych wyników zostały przeprowadzone prawidłowo.

4. UWAGI KRYTYCZNE I Dyskusyjne

4.1. Strona merytoryczna

W trakcie lektury analizowanej rozprawy doktorskiej nie zauważyłem znaczących uchybień merytorycznych. Autor rozwiązał postawione sobie zadania naukowe, dotyczące efektywności energetycznej

przezroczystych przegród budowlanych modyfikowanych materiałami zmiennofazowymi. Wykazał się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem, umiejętnościami programowania i prowadzenia badań doświadczalnych oraz umiejętnościami rozwiązywania problemów teoretycznych.

Zaproponowany model jest interesujący. Zabrakło jednak w pracy, moim zdaniem, bardziej zaawansowanego modelowania analizowanego procesu funkcjonowania cieplnego okna zespolonego z poduszką z materiału zmiennofazowego w funkcji czasu. Należało, moim zdaniem, wykorzystać współczesne możliwości modelowania pól termicznych z uwzględnieniem nie tylko przepływów jednowymiarowych (na przykład ELMER, ANSYS czy ESP-R). Czy Autor rozważał w swoich analizach wykorzystanie bardziej zaawansowanych, dostępnych obecnie, modeli numerycznych?

4.2. Strona redakcyjna

W trakcie lektury analizowanej rozprawy doktorskiej zauważyłem drobne usterki redakcyjne, które przedstawiam poniżej.

- Rozdział 3 rozprawy powinien mieć brzmienie: „Teza, cel i zakres pracy”, wówczas punkty 3.1, 3.2, 3.3 byłyby bardziej spójne z nazwą rozdziału.
- Literaturę potraktowano jako kolejny rozdział pracy, co nie powinno mieć miejsca. Ta część pracy powinna mieć brzmienie „Bibliografia” i nie powinna być numerowana. W części tej bowiem zamieszczono nie tylko zasadnicze pozycje bibliograficzne (właściwa literatura), ale również dokumenty prawne ([8], [38], [39]) jak i strony internetowe ([62], [109]÷[112], [119]÷[124], [161]).
- W wykazie literatury Autor nie oddzielił zasadniczych pozycji bibliograficznych od dokumentów prawnych oraz od innych materiałów wykorzystanych. Zasadnicze pozycje bibliograficzne powinny być na początku listy, a następnie z zachowaniem numeracji powinny się znaleźć dokumenty prawne oraz adresy stron internetowych.
- Wykaz ilustracji i tabel nie powinien być numerowany. Nie stanowi on również, podobnie jak bibliografia, kolejnego rozdziału rozprawy.

- Wykaz skrótów i akronimów powinien być ujednoznaczony. Chodzi tutaj o doprecyzowanie skrótów nazw angielskich takich jak:
 - **PCM** – Phase Change **M**aterial,
 - **SBS** – Sick **B**uilding **S**yndrome,
 - **LCC** – Life Cycle **C**ost.

- Zauważyłem drobne usterki redakcyjne:
 - s.30 – wiersz 7^d (powinno być: „....czy elementu...”,
 - s.179 – p.5.6 (wyniki okna? Powinno być chyba: wyniki dla okna)
 - s.184 – wiersz 5^g (powinno być: przepływ, a nie przepływu),
 - s.184 – wiersz 11^d (powinno być:przybliżoną....),
 - s.245 – w poz. [6] chodzi zapewne o Runkiewicza?
 - s.258 – wiersz 5^d (powinno być:....grzewczego...).

Wymienione wyżej uwagi krytyczne i dyskusyjne nie mają większego znaczenia dla ogólnie wysokiej oceny recenzowanej rozprawy. Uwagi te podałem z nadzieją, że jeśli Autor zechce opublikować wybrane fragmenty tego dzieła to zechce, być może, je uwzględnić.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Opiniowana rozprawa doktorska mgra inż. Michała Musiała udanie rozwiązuje postawione oryginalne zadanie naukowe dotyczące efektywności energetycznej przezroczystych przegród budowlanych modyfikowanych materiałami zmiennofazowymi.

Wytyczone w rozprawie cele zostały osiągnięte. Wyciągnięte zostały też prawidłowe wnioski. Autor pracy wykazał się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem, umiejętnościami programowania i prowadzenia badań doświadczalnych oraz umiejętnościami rozwiązywania problemów teoretycznych. Otrzymał oryginalne wyniki, przeanalizował je i krytycznie ocenił. Świadczy to o predyspozycjach Autora do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych. W trakcie opracowywania postawionego problemu naukowego Autor nie ustrzegł się jednak pewnych niedoskonałości, które w postaci uwag krytycznych przedstawiłem w rozdziale 4 recenzji.

Pomimo tych uwag opiniowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa i Transport w zakresie szeroko rozumianej fizyki budowli. Oprócz znaczenia naukowego opiniowana

rozprawa ma również duże znaczenie dla praktyki inżynierskiej, co zaznaczone zostało zwłaszcza w rozdziale siódmym, w którym opisano możliwości stosowania przezroczystych przegród z akumulacyjnymi materiałami zmiennofazowymi.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, iż recenzowana rozprawa spełnia wymogi odnośnie do prac doktorskich zawarte w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tj. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) oraz Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018, poz. 261) i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

