

Dr hab. inż. Anna Bogdan, prof. uczelni
Wydział Instalacji Budowlanych,
Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska
ul. Nowowiejska 20
00-653 Warszawa

Warszawa, dn. 14.11.2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Beaty Galiszewskiej pt. „Analiza sprawności odzysku ciepła w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej”

Wstęp

Podstawą przygotowania recenzji jest pismo (znak IAA-002-12/20231 z dnia 30.10.2023 r.) dr hab. inż. Łukasza Ormana, prof. PŚk, Zastępcy Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Świętokrzyskiej, w związku z powołaniem mnie przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Świętokrzyskiej (uchwała z dnia 25.10.2023 r.) na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Beaty Galiszewskiej nt. „Analiza sprawności odzysku ciepła w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej”.

Rozprawa doktorska została przygotowana pod opieką naukową dr hab. inż. Ewy Zender-Świercz, prof. PŚk. Rozprawa składa się z 114 stron, na których zamieszczono: wprowadzenie, 5 rozdziałów głównych, wnioski i dyskusję, wykaz wykorzystanej literatury, streszczenie pracy w języku polskim i angielskim oraz wykazy tabel, rysunków, wykresów i załączników.

Podstawowe dane o kandydacie

Pani Beata Galiszewska ukończyła studia na kierunku *inżynieria środowiska*, w specjalności *ogrzewnictwo i wentylacja* w dniu 11 października 2017 r. uzyskując tytuł magistra inżyniera na Wydziale Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej. Na tym samym Wydziale, w 2018 r., rozpoczęła studia doktoranckie a od 2020 r. pracuje jako nauczyciel akademicki na stanowisku asystenta, prowadząc m.in. zajęcia z przedmiotów związanych z realizowaną pracą naukową tj. „instalacje wentylacyjne i klimatyzacyjne”, „budownictwo i konstrukcje inżynierskie” oraz „wentylacja i klimatyzacja”.

Na dorobek naukowy Kandydatki składa się 5 publikacji, z czego cztery są współautorskie (udział Kandydatki w publikacjach wynosi od 10% do 70%) i zostały opublikowane w czasopiśmie *Energies* (140 punktów zgodnie z wykazem publikacji naukowych obowiązującym na dzień recenzji) a jedna – autorska w czasopiśmie *Journal of New Technologies in Environmental Science* (czasopismo poza wykazem). Kandydatka nie ubiegała się uprzednio o nadanie stopnia doktora.

Data wpływu:
16.11.2023r.
Cedro

W zakresie doświadczenia zawodowego poza uczelnią - Kandydatka w 2013 r. pracowała w firmie Molewski Sp. z o.o. na stanowisku pracownika administracyjnego a w 2018 r. w firmie Klimatechnika S.C. Krzysztof Cienciała i s-ka na stanowisku asystent projektanta i inżynier budowy.

Ocena układu rozprawy doktorskiej

Trzon rozprawy stanowi 6 rozdziałów podzielonych na następujące części: wprowadzenie; definicje i przegląd literatury, badania eksperymentalne w warunkach laboratoryjnych, badania eksperymentalne w warunkach rzeczywistych, analiza statystyczna wyników badań laboratoryjnych, analiza numeryczne oraz dyskusja i wnioski.

W pierwszym rozdziale przedstawiono następujące podrozdziały: wstęp, przedmiot badania, cele pracy, hipotezy badawcze oraz zakres pracy. Treść podrozdziału „wstęp” odpowiada merytorycznie informacjom, które powinny być zawarte w podrozdziale „zakres pracy”, zatem w pracy brakuje prawidłowego wprowadzenia do rozprawy, w tym np. uzasadnienia wyboru tematu lub osadzenia zakresu pracy w szerszym kontekście inżynierskim. Cel pracy został prawidłowo zdefiniowany w podrozdziale „przedmiot badania”, natomiast cele szczegółowe zostały zdefiniowane w podrozdziale „cel pracy”.

Drugi rozdział rozprawy stanowi przegląd literatury dotyczącej w wąskim zakresie wentylacji i odzysku ciepła a w szerszym - metod implementacji związków zmiennofazowych (dalej określanych jako PCM) w rozwiązaniach służących do wentylacji czy klimatyzacji pomieszczeń. Tytuł rozdziału brzmi „definicje i przegląd literatury” jednakże treść pracy odpowiada wyłącznie zakresowi „przeglądu literatury”, zatem nie było konieczności stosowania w tytule wyrazu „definicje”. Informacje dotyczące konieczności używania wentylacji mechanicznej oraz odzysku ciepła, choć lakonicznie, ale uzasadniają wybór rozwiązania analizowanego w dalszych częściach rozprawy. Kolejny podrozdział stanowi opis związków zmiennofazowych pod kątem chemicznym. W podrozdziale tym skupiono się na bardzo ogólnych informacjach i niedosyt budzi brak usystematyzowanego zestawienia dotyczącego wad i zalet poszczególnych związków chemicznych, szczególnie, że w literaturze naukowej jest dostępnych wiele przeglądów zawierających te informacje. Brak takiego zestawienia uważam za najpoważniejszy mankament tego rozdziału, gdyż uniemożliwia on zrozumienie decyzji podjętych przez Kandydatkę w kolejnych etapach pracy, tj. uzasadnienia dlaczego wybrane zostały do badań konkretne trzy związki zmiennofazowe (tj. olej jojoba, olej kokosowy i woda). W kolejnym podrozdziale znacznie więcej miejsca, w stosunku do poprzednich podrozdziałów, poświęcono rozwiązaniom do wentylacji i klimatyzacji zawierającym związki zmiennofazowe. Rozdział został przygotowany prawidłowo, z literatury wyselekcjonowano rozwiązania zbliżone pomysłem do celu pracy doktorskiej a wraz z opisem danego układu lub urządzenia i warunków prowadzenia badań, wskazano również uzyskane główne rezultaty. W następnym podrozdziale przedstawiono podstawowe informacje dotyczące sposobu prowadzenia symulacji CFD.

W trzecim rozdziale skupiono się na opisie badań prowadzonych w warunkach laboratoryjnych począwszy od opisu stanowiska badawczego, metody badawczej aż do opisu wyników pomiarów i przeliczenia uzyskanych wyników na sprawność urządzenia oraz wymiennika. Analogiczny układ

przyjęto w rozdziale czwartym – w badaniach prowadzonych w warunkach rzeczywistych. W obu przypadkach treść podrozdziałów odpowiada ich tytułom i jest prawidłowa.

W rozdziale piątym przedstawiono przeprowadzone analizy statystyczne zrealizowanych z wykorzystaniem wyników uzyskanych w badaniach laboratoryjnych. W pierwszej części określono wartości średnie, medianę, odchylenie standardowe, wartość maksymalną i minimalną dla obliczonych sprawności urządzenia a następnie wyniki przeprowadzonej analizy wariancji. Treść rozdziału odpowiada jego tytułowi jednak wydaje się, że rozdział ten powinien być umieszczony przed badaniami w warunkach rzeczywistych lub też być częścią rozdziału omawiającego wyniki badań laboratoryjnych.

Rozdział szósty poświęcono działaniom zrealizowanym do przygotowania modelu numerycznego. Rozdział składa się z ogólnych informacji o modelu a także założeń wprowadzonych do modelu dla dwóch metod symulowania wymienników ciepła zawierających związki zmiennofazowe, wyników uzyskanych w obliczeniach dla obu metod oraz wniosków z uzyskanych obliczeń. Układ rozdziału jest prawidłowy.

Rozdział siódmy „wnioski i dyskusja” odpowiada treścią nazwie „podsumowanie i wnioski” gdyż pierwsza część rozdziału zawiera podstawowe informacje o perspektywach zastosowania rozwiązań zawierających związki zmiennofazowe w układach wentylacji i podsumowanie zrealizowanych prac, druga część rozdziału przedstawia wypunktowane wnioski z przeprowadzonych badań a trzecia część – odniesienie zrealizowanych prac do założonych hipotez badawczych. Przyjęty układ ostatniego rozdziału jest prawidłowy, choć zabrakło w nim dyskusji z wynikami uzyskanymi przez innych badaczy.

Prace uzupełniają załączniki prezentujące szczegółowo wyniki badań.

W rozprawie, oprócz kwestii wskazanych powyżej, pojawiają się drobne błędy gramatyczne i stylistyczne, jednakże nie rzutują one na ogólną ocenę pracy. Podsumowując układ rozprawy doktorskiej uważam za poprawny, tj. przyjęta struktura pracy jest prawidłowa i zgodna z cyklem prowadzonych badań; rysunki i tabele są opisane i przytoczone prawidłowo.

Ocena zastosowanego piśmiennictwa

W pracy wykorzystano 70 pozycji literaturowych, wśród których jest: 58 artykułów naukowych, 2 normy oraz w sumie 10 podręczników, monografii i materiałów edukacyjnych producentów oprogramowania. Wykorzystano w pracy prawidłowe materiały źródłowe (głównie anglojęzyczne ale są też polskojęzyczne) opublikowane w ostatnich latach, ale również starsze stanowiące postawy w wiedzy. Kilka pozycji w zestawieniu literatury nie ma prawidłowo przytoczonych źródeł. Podsumowując, zastosowano poprawne piśmiennictwo do rozpoznania obszaru nauki będącego tematem pracy.

Ocena celu pracy

Celem nadrzędnym badań opisanych w rozprawie była *analiza sprawności odzysku ciepła wymiennika wypełnionego substancją zmienną fazowo w zdecentralizowanym urządzeniu do wentylacji fasadowej*. Cel nadrzędny dopełniają cztery cele szczegółowe:

- *ocena w warunkach laboratoryjnych efektywności odzysku ciepła wymienników wypełnionych PCM, umieszczonych w zdecentralizowanym urządzeniu fasadowym do naprzemiennego nawiewu i wywiewu,*

- *ocena w warunkach rzeczywistych efektywności odzysku ciepła wymienników wypełnionych PCM, umieszczonych w zdecentralizowanym urządzeniu fasadowym do naprzemiennego nawiewu i wywiewu,*
- *określenie optymalnych warunków pracy wymiennika do odzysku ciepła,*
- *opracowanie modelu numerycznego opisującego działanie wymienników do odzysku ciepła wypełnionego substancją zmiennofazową.*

Zdefiniowane zostały również trzy hipotezy pracy brzmiące następująco:

- *zastosowanie materiałów PCM pozwala odzyskiwać ciepła w urządzeniach fasadowych do naprzemiennego nawiewu i wywiewu powietrza,*
- *wykorzystanie materiałów PCM w celu poprawienia sprawności wymienników, w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej, jest zasadne,*
- *możliwe jest opracowanie modelu komputerowej dynamiki płynów opisującego pracę wymienników do odzysku ciepła stosowanych w urządzeniach do naprzemiennego nawiewu i wywiewu.*

Cel pracy oraz przedstawione hipotezy badawcze zdefiniowane są prawidłowo. Wykorzystanie związków zmiennofazowych jest od wielu lat przedmiotem badań wielu naukowców i inżynierów na świecie. Związki te mają niekwestionowany potencjał do akumulowania i oddawania ciepła w okresach, kiedy jest go nadmiar lub niedobór co może prowadzić do ograniczenia zużycia energii na cele wentylacji/klimatyzacji budynków – kluczowego problemu do rozwiązania w obecnych czasach. Niemniej ze względu na właściwości chemiczne i pojemność cieplną, kwestie związane z palnością, przewodzeniem ciepła, problemami z implementacją a nawet ceną, cały czas nie ma jednoznacznych wskazań jak efektywnie wykorzystać ten potencjał. W literaturze omawiane są konkretne zastosowania PCM i wyniki uzyskanych badań, jednakże należy pamiętać, że są one aplikowane wyłącznie dla jednego konkretnego rozwiązania oraz warunków prowadzonych badań. Zastosowanie innego związku lub też innych warunków pomiarów sprawi, że wyniki mogą nie być tak obiecujące. Z tej przyczyny doceniam chęć Kandydatki do zaistnienia w gronie badaczy, którzy testują kolejne rozwiązania i szukają układów umożliwiających pełne wykorzystanie potencjału związków zmiennofazowych. Podsumowując, wybór tematu badawczego uważam za bardzo wartościowy i z dużym potencjałem aplikacyjnym.

Ocena zastosowanych metod badawczych

W przedstawionej rozprawie Kandydatka przeprowadziła cały cykl badawczy, na który składały się:

- *studia literaturowe dotyczące głównie metod implementacji związków zmiennofazowych w urządzeniach służących do wentylacji/klimatyzacji;*
- *badania przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych na stanowisku badawczym składającym się z dwóch komór klimatycznych i zamontowanego urządzenia do wentylacji fasadowej wyposażonego w wymiennik ciepła z wmontowanymi cylindrami wypełnionymi różnymi rodzajami PCM w zależności od przyjętego wariantu badania, na którym przeprowadzono pomiary dla trzech rodzajów wielkości cylindrów i trzech rodzajów PCM (olej jojoba, olej kokosowy i woda) porównując uzyskane wyniki z wariantami konstrukcji wymienników ale bez wypełnienia PCM;*

na podstawie pomiarów ustalono sprawności (na podstawie autorskich założeń) osobno całego urządzenia i wyłącznie wymiennika;

- analiza statystyczna wyników badań laboratoryjnych przy pomocy prawidłowych metod;
- badania przeprowadzone w warunkach rzeczywistych, tj. urządzenie zainstalowano ponownie w laboratorium jednakże już w przegrodzie zewnętrznej zatem parametry środowiska zewnętrznego były zgodne z panującymi warunkami atmosferycznymi;
- przygotowanie modelu numerycznego wraz z przeprowadzonymi obliczeniami dla dwóch sposobów opisanego wymiany ciepła zachodzącej w wymienniku;
- sformułowanie wniosków z przeprowadzonych prac.

Na podstawie przedstawionych informacji uznaję wybór zastosowanych metod badawczych za właściwy i zgodny z obecnymi trendami i badaniami w tym zakresie.

Ocena części rozprawy zawierających omówienie wyników badań

Omówienie wyników przeprowadzonych badań laboratoryjnych zaprezentowano częściowo w rozdziale 3 a w pełni w rozdziale 5, wyniki badań przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych przedstawiono w rozdziale 4 a obliczeń numerycznych – w rozdziale 6. Następnie wyniki przeprowadzonych badań zostały zestawione z przyjętymi hipotezami badawczymi i podsumowanie w rozdziale 7.

W zakresie analizy wyników badań laboratoryjnych Kandydatka przyjęła właściwie metody do porównania uzyskanych wyników pomiarów i do ich opisanego. Kandydatka prawidłowo zdefiniowała wnioski wskazujące na fakt, który rodzaj konstrukcji wymiennika uzyskiwał najwyższą sprawność i że kwestia konstrukcji wymiennika oraz czas trwania cyklu są kluczowymi parametrami wpływającymi na sprawność całego układu.

Opis wyników badań przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych jest już bardziej lakoniczny, jednakże z uwagi na swoją specyfikę oczywistym jest, że nie było możliwości przeprowadzenia tak obszernych analiz. Wyniki jednak przedstawiono w sposób prawidłowy i wyczerpujący.

Wyniki analizy numerycznej natomiast zostały omówione w sposób prawidłowy, choć budzą niedosyt co zostało przedstawione w dalszej części recenzji. Modelowanie procesu nieustalonego, jakim jest wymiana ciepła w układzie zawierającym PCM, jest procesem trudnym do odwzorowania, stąd Kandydatka spróbowała opisać zachodzące zmiany za pomocą dwóch metod a następnie dokonała porównania uzyskanych wyników. Wnioski z uzyskanych analiz są przedstawione prawidłowo.

Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Celem pracy była ocena działania, pod kątem efektywności odzysku ciepła, konkretnego urządzenia, które może być wykorzystywane w lokalnej wentylacji jednej strefy w budynku, np. wybranego mieszkania. Przewagą urządzenia nad rozwiązaniami centralnymi jest możliwość montażu podczas modernizacji budynku a zatem w obiektach już istniejących. W urządzeniu zastosowano trzy rozwiązania konstrukcji wymiennika ciepła, w którym dodatkowo wprowadzono trzy różne związki zmiennofazowe. Przeprowadzono pełen cykl badań i określono w jakich przypadkach efektywność odzysku ciepła jest zwiększona a kiedy jest ona bliska efektywności urządzenia bez wprowadzonego PCM.

Wyniki przeprowadzonych analiz mają aplikacyjny charakter, gdyż mogą być wykorzystane do dalszego udoskonalania urządzenia i w przyszłości do jego wprowadzenia w praktykę inżynierską.

Informacja o ewentualnych nieprawidłowościach

Celem nadrzędnym wskazanym przez Kandydatkę było analiza sprawności odzysku ciepła wymiennika wypełnionego PCM. Ciąg logiczny działań został poprowadzony prawidłowo, jednakże przedstawione opisy zrealizowanych prac budzą pewien niedosyt. Poniżej przedstawiono kwestie wymagające szerszego rozważenia, które nie zostały zawarte w przedstawionych wcześniej częściach recenzji.

Rozdział 3:

- Na początku rozdziału zapisano, że *badanie miało na celu analizę pracy zdecentralizowanego urządzenia do wentylacji pomieszczeń, którego zadaniem jest poprawa jakości powietrza wewnętrznego, przy jednoczesnym zmniejszeniu strat energii przez odzysk ciepła*. Takie zapisanie celu rozdziału sugeruje, że te aspekty będą celem prowadzonych badań, tymczasem ani jakość powietrza ani ocena zmniejszenia zużywanej energii nie były badane.
- W rozdziale wskazane jest, że do badań zastosowano trzy różne związki PCM, jednakże w żadnym miejscu rozprawy nie uzasadniono w pełni dlaczego akurat te trzy związki zostały wybrane, jakie były przesłanki, czy były one związane z parametrami cieplnymi, a może np. z dostępnością lub ceną? Olejek jojoba jest związkiem palnym, olej kokosowy natomiast nie palnym, więc z tej perspektywy lepszym rozwiązaniem jest olej kokosowy. Woda natomiast ma dużą pojemność cieplną, ale temperatura topnienia i krzepnięcia nie sprzyjają akumulacji ciepła w systemach klimatyzacji. Wybór zatem tych związków nie jest oczywisty i wymagał szerszego omówienia. Brak wyjaśnienia tej kwestii uważam za największy mankament rozprawy.
- W pracy pojawiają się często skróty myślowe, np. *temperatura zewnętrzna, temperatura nawiewana, temperatura wewnętrzna* itp. Uczulam, że warto stosować pełne oznaczenie mierzonych parametrów.
- Wartości przedstawione w tabelach w podrozdziale 3.4. byłyby czytelniejsze do interpretacji jeżeli byłyby przedstawione w formie wykresów z jednocześnie zaznaczonymi pełnymi informacjami (odchylenie standardowe itp.). Częściowo jest to zrobione na kolejnych stronach i rozdziałach, niemniej bardziej przejrzyste byłoby zebranie i analiza wszystkich wyników pracy w jednym miejscu, najlepiej w formie graficznej z odniesieniem do wariantu porównawczego – trzech wariantów wymiennika bez wprowadzonych PCM.

Rozdział 5:

- W tabeli 10 brakuje informacji w kolumnie 1 (wymiennik) dla dwóch pozostałych rodzajów konstrukcji.

Rozdział 6:

- Wykonano model wymiennika w programie Ansys Fluent, jednakże nie przeprowadzono pełnego cyklu weryfikacji i walidacji opracowanego modelu. Niedostatecznie zatem udokumentowano, która z zastosowanych metod symulacji wymiany ciepła przez PCM jest bliższa procesom zachodzącym w rzeczywistości. Nie do końca zatem jest zrozumiała dla mnie idea przyświecająca

opracowaniu modelu numerycznego. Jeżeli byłoby on opracowany przed badaniami laboratoryjnymi, mógłby posłużyć do sprawdzenia sprawności urządzenia dla różnego rodzaju PCM czy też konstrukcji wymiennika (można było np. sprawdzić więcej wariantów średnic cylindrów wewnętrznych czy też analizować wyniki dla innych PCM), natomiast jeżeli przeprowadzona byłaby pełna walidacja uzyskanych wyników – możliwe byłoby zarekomendowanie innym naukowcom, która z metod (A lub B) jest efektywniejsza do stosowania w tego rodzaju obliczeniach.

Jednocześnie pragnę podkreślić, że powyższe uwagi nie rzutują na moją ogólną pozytywną ocenę prac zrealizowanych przez Kandydatkę.

Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Oryginalnym osiągnięciem przedstawionej rozprawy jest przede wszystkim sprawdzenie efektywności odzyskiwania ciepła przez urządzenie do wentylacji fasadowej, w którym zastosowano trzy konsytuacje wymienników wypełnionych trzema rodzajami PCM. Wyniki uzyskanych badań mogą być wkładem w rozwój tej trudnej dziedziny, jaką jest poszukiwanie najlepszego wykorzystania potencjału związków zmiennofazowych w szeroko rozumiany budownictwie. Nawet jeżeli wyniki nie pokazują spektakularnych osiągnięć, należy uznać to jako kolejny element w układance i wziąć pod uwagę przy pracy nad następnymi rozwiązaniami.

Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Podsumowując przedstawione powyżej uwagi krytyczne lub dyskusyjne stwierdzam, że nie wpływają one na moją pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej mgr inż. Beaty Galiszewskiej, przygotowanej pod opieką dr hab. inż. Ewy Zender-Świercz, prof. PŚW. W mojej opinii przedstawiona rozprawa doktorska jest wartościowym wkładem w dyskusję na temat wykorzystania związków zmiennofazowych w inżynierii środowiska. Uważam, że Kandydatka zrealizowała postawiony cel, wykazała się odpowiednim poziomem wiedzy teoretycznej w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętnością do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wnioski końcowe

Rozprawa doktorska mgr inż. Beaty Galiszewskiej pt. *Analiza sprawności odzysku ciepła w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej* spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Przedstawiona rozprawa doktorska mieści się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*. Wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Beaty Galiszewskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



