

dr hab. inż.
Małgorzata Król, prof. PŚ
Katedra Ogrzewnictwa,
Wentylacji i Techniki Odpylania
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Gliwice, 8.01.2024

Recenzja

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

1. Podstawa opracowania

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie Uchwały nr 31/2023 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w Politechnice Świętokrzyskiej z dnia 25.10.2023 r.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska podejmuje ważne zagadnienia wykorzystania substancji zmiennofazowych do odzysku ciepła w wymiennikach wentylacji fasadowej. Wentylacja fasadowa stanowi bardzo ciekawe rozwiązanie doprowadzenia świeżego powietrza do pomieszczeń, w których przebywają ludzie. Jest to urządzenie indywidualne, które mogłoby zastąpić wentylację naturalną pomieszczeń, w budynkach które nie są wyposażone w wentylację mechaniczną. W okresie zimowym powietrze zewnętrzne napływające do pomieszczeń na drodze wentylacji naturalnej jest podgrzewane przez system grzewczy, w który wyposażone jest pomieszczenie. Ilość ciepła, którą należy dostarczyć do pomieszczenie poprzez system grzewczy, w celu podgrzania powietrza wentylacyjnego, stanowi znaczny procent ogółu dostarczanego ciepła. Oczywistym jest więc poszukiwanie rozwiązań, które mogłyby stawić alternatywę dla zwiększonego zapotrzebowania na ciepło do ogrzania powietrza wentylacyjnego. Takim rozwiązaniem jest wentylacja fasadowa z odzyskiem ciepła z powietrza

wywiewanego. Ze względu, na pożądane niewielkie rozmiary urządzeń fasadowych, nie wszystkie rozwiązania odzysku ciepła stosowane w klasycznych wymiennikach ciepła znajdują tu zastosowanie. Z pewnością wykorzystanie materiałów zmiennofazowych wydaje się być dobrym rozwiązaniem.

To właśnie zagadnienie wykorzystania materiałów zmiennofazowych do odzysku ciepła w wentylacji fasadowej stało się przedmiotem rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Beaty Galiszewskiej pod tytułem „Analiza sprawności odzysku ciepła w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej”. Autorka rozprawy przedstawiła bardzo ciekawe rozwiązanie wentylacji fasadowej, w której odzysk ciepła następuje w wymienniku wypełnionym substancją zmiennofazową.

W rozprawie zaprezentowano trzy konstrukcje wymiennika różniące się średnicą, liczbą i sposobem ułożenia cylindrów wypełnionych substancją zmiennofazową. Przedstawiono badania dla trzech różnych substancji zmiennofazowych oraz dla cylindrów pustych, wypełnionych powietrzem. Testowano różny czas trwania cyklu nawiewu i wywiewu, a dzięki wykorzystaniu komory klimatycznej sprawdzono efektywność pracy urządzenia dla trzech różnych temperatur powietrza zewnętrznego. Tak ogromna liczba zmiennych parametrów spowodowała, że ostatecznie otrzymano 144 kombinacje parametrów, które przeanalizowano w czasie badań laboratoryjnych. Następnie wybrano jedno rozwiązanie, dla którego wykonano badania w warunkach rzeczywistych. Uzupełnienie badań laboratoryjnych stanowiły analizy numeryczne z wykorzystaniem programu Ansys Fluent, w czasie których modelowano wybrane rozwiązanie urządzenia fasadowego z odzyskiem ciepła. W czasie analiz testowano dwie metody modelowania wymiennika wypełnionego substancją zmiennofazową. Następnie porównano obie metody modelowania wskazując na ich zalety i wady.

Tematyka rozprawy jest aktualna i ważna wobec dużych wymagań dotyczących oszczędzania energii w procesach wentylacji pomieszczeń. Przeprowadzenie badań laboratoryjnych oraz analiz numerycznych pozwoliło na dogłębne poznanie procesu przekazywania ciepła w wymienniku wypełnionym substancją zmiennofazową. Opisanym badaniom towarzyszy przegląd literatury, który pozwala określić lukę badawczą wypełnioną przez Autorkę.

Podjęte badania i ich wyniki przedstawione w formie rozprawy odpowiadają wymaganiom stawianym pracom doktorskim.

3. Struktura i zakres rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska została wykonana w Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach, na Wydziale Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki Odnawialnej pod opieką dr hab. inż. Ewy Zender-Świercz profesora PŚk.

Praca została napisana w języku polskim i liczy 106 stron, na które składa się siedem rozdziałów oraz bibliografia. Pracę uzupełniają cztery załączniki, w których przedstawiono wyniki badań substancji zmiennofazowych, dane techniczne rejestratorów wykorzystanych w czasie badań laboratoryjnych, zestawienie przebiegów zmian temperatury oraz zestawienie danych z badań laboratoryjnych.

W pierwszym rozdziale po krótkim wstępie przedstawiono przedmiot badań, cel pracy oraz hipotezy stanowiące punkt odniesienia dla prowadzonych badań, a także zakres pracy.

Rozdział drugi stanowi przegląd literatury obejmujący tematykę obszaru badań. Autorka wyjaśnia w nim również właściwe definicje. Kolejne podrozdziały prezentują stan wiedzy dotyczący wentylacji, odzysku ciepła w wentylacji oraz materiałów zmiennofazowych. W czwartym podrozdziale Autorka szeroko opisuje publikowane badania obejmujące zastosowanie substancji zmiennofazowych w systemach wentylacji. Bardzo szczegółowo, wraz z podaniem schematów stanowisk badawczych, opisane są publikowane ostatnio badania dotyczące przedmiotu rozprawy. Pozwala to ocenić przedstawione w rozprawie badania w kontekście doświadczeń wykonanych przez innych badaczy. Ostatni podrozdział przedstawia zagadnienia modelowania numerycznego. Opisane są kolejne kroki analiz numerycznych, rodzaje siatek obliczeniowych, sposoby formułowania warunków brzegowych oraz niezwykle ważne zagadnienie wyboru odpowiedniego modelu turbulencji, który ma być zastosowany w obliczeniach.

W rozdziale trzecim zaprezentowano badania eksperymentalne wykonane w laboratorium. W pierwszym podrozdziale obszernie opisano stanowisko badawcze, uzupełniając opis schematami, zdjęciami oraz tabelami, w których zamieszczono parametry stosowanych urządzeń. W kolejnym podrozdziale przedstawiono metodę obliczania sprawności całego urządzenia oraz sprawności samego wymiennika. W trzecim i czwartym podrozdziale zaprezentowano przebieg zmian temperatury oraz analizę sprawności całego urządzenia i samego wymiennika. Oba podrozdziały uzupełnione są wykresami i tabelami prezentującymi wyniki badań. W ostatnim podrozdziale przedstawiono wnioski z badań laboratoryjnych.

Czwarty rozdział obejmuje opis badań wybranego urządzenia do wentylacji fasadowej w warunkach rzeczywistych. W kolejnych podrozdziałach, tak jak w przypadku badań

laboratoryjnych, opisano stanowisko badawcze, przestawiono metody obliczeniowe oraz analizy przebiegu zmian temperatury i sprawności urządzenia oraz wymiennika. Podsumowaniem rozdziału są wnioski.

Rozdział piąty zawiera analizy statystyczne wyników badań laboratoryjnych. Poza podstawowymi statystykami opisowymi badanych zmiennych, w analizach wykorzystano wieloczynnikową analizę wariancji (MANOVA), dzięki której zweryfikowano wpływ każdego czynnika na sprawność urządzenia oraz ich wszystkie możliwe interakcje między sobą. Rozdział zakończono wnioskami opisującymi wyniki przeprowadzonych analiz statystycznych.

W rozdziale szóstym przestawiono analizy numeryczne wykonane z wykorzystaniem programu Ansys Fluent v. 22. Opisano założenia numeryczne analiz takie jak wybór modelu turbulencji czy określenie warunków brzegowych. W rozdziale zaproponowano dwie metody modelowania numerycznego akumulacji ciepła przez materiał zmiennofazowy. W jednej metodzie modelowano materiał zmiennofazowy poprzez modelowanie jego parametrów fizycznych, z uwzględnieniem ciepła przemiany fazowej, bezpośrednio w programie. W drugiej metodzie utworzono zewnętrzny skrypt (UDF), którego zadaniem było zdefiniowanie zmieniającej się temperatury na ściankach cylindrów w wymienniku, z uwzględnieniem akumulacji ciepła przez materiał zmiennofazowy. Podsumowaniem rozdziału są wnioski, w których porównano obie metody modelowania numerycznego akumulacji ciepła przez materiał zmiennofazowy.

Siódmy rozdział zawiera obszerne wnioski oraz dyskusję otrzymanych wyników.

4. Ocena rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy wykorzystania materiałów zmiennofazowych do odzysku ciepła w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej. W pierwszej, teoretycznej części pracy zaprezentowano przegląd literatury obejmujący przykłady zastosowania materiałów zmiennofazowych w różnych rozwiązaniach wentylacyjnych zarówno do odzysku ciepła jak i chłodu. Wnikliwa analiza tych rozwiązań pozwoliła Autorce zaproponować własne urządzenie, które następnie poddała badaniom w laboratorium. Autorka rozprawy zaprezentowała w tej części pracy wysoki poziom wiedzy teoretycznej prezentując powyższe rozwiązania oraz wskazując na ich wady i zalety.

W kolejnej części pracy Autorka opisała badania laboratoryjne, badania w obiekcie rzeczywistym oraz analizy numeryczne. Bardzo dobrze został opisany prototyp urządzenia wraz z możliwymi wariantami wykonania. Na uznanie zasługują również przeprowadzone analizy

numeryczne a szczególnie opisanie dwóch metody modelowania akumulacji ciepła przez materiał zmiennofazowy. Zaplanowanie programu badań i zastosowanie różnych metod badawczych pozwala stwierdzić, że Autorka wykazała umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Zaproponowanie rozwiązania zdecentralizowanej wentylacji fasadowej wykorzystującej substancje zmiennofazowo pozwala stwierdzić, że prezentowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Poniżej przedstawiam uwagi krytyczne i dyskusyjne, które nasunęły mi się w trakcie czytania rozprawy. Równocześnie chciałam podkreślić, że nie umniejszają one wartości naukowej pracy.

1. Skrót PCM pojawia się po raz pierwszy w Rozdziale 1.3 ale wyjaśnienie tego skrótu znajduje się dopiero w kolejnym Rozdziale.
2. W Rozdziale 2.4 przedstawiono bardzo ciekawy przegląd literatury dotyczący zastosowania substancji zmiennofazowych w systemach wentylacji. W Rozdziale 2.5, w oparciu o literaturę, przedstawiono ogólne zasady modelowania numerycznego przepływów. Brakuje jednak w tym Rozdziale przeglądu literatury dotyczącego modelowania numerycznego procesów zmiennofazowych. Nie zaprezentowano tutaj przykładów modelowania numerycznego urządzeń, które realizują odzysk ciepła poprzez zastosowanie substancji zmiennofazowych. Pozwoliłoby to pełniej ocenić rozwiązania numeryczne zaproponowane przez Autorkę rozprawy.
3. W Rozdziale 4.2 w opisie rozmieszczenia termopar, termopara M1 i termopara M8 monitorują tą samą temperaturę. Czy nie pojawiła się tutaj pomyłka?
4. Przy opisie wyników badań laboratoryjnych, wartość temperatury podawana jest w °C. Natomiast przy opisie analiz numerycznych wartość temperatury podawana jest w K. Utrudnia to porównywanie obu wartości.
5. Dlaczego nie wykonano i nie pokazano wykresów, na których porównano by temperatury zmierzone w trakcie badań laboratoryjnych i uzyskane w czasie analiz numerycznych. Pokazanie wykresów temperatury z badań laboratoryjnych i obliczonych numerycznie pozwoliły by jednoznacznie określić czy przygotowane modele numeryczne są poprawne. Tradycyjnie jest to najprostszy sposób pokazania, że model numeryczny jest zbudowany właściwie a wszystkie założenia i uproszczenia poczynione w trakcie modelowania numerycznego nie wpłynęły na jakość uzyskiwanych wyników.

Uwagi drobne

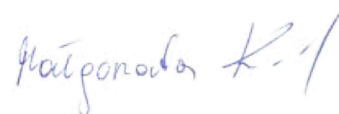
1. Czytelność tabel 5, 6, 7, 8 i 9 byłaby większa gdyby znak „%” został przeniesiony do nagłówek poszczególnych tabel.
2. Dla wszystkich analiz sprawności urządzenia i wymiennika w Rozdziale 3.4, temperatura wewnętrzna nie jest parametrem zmiennym, więc mogłaby być pominięta w tabelach 5, 6, 7, 8 i 9.
3. Na stronie 79 (Rozdział 6.1) w zdaniu „*Podczas cyklu nawiewu wlotem była płaszczyzna znajdująca się po stronie zewnętrznej, natomiast wylotem była płaszczyzna po stronie zewnętrznej.*” jest prawdopodobnie pomyłka.
4. Na stronie 95 (Rozdział 7) jest prawdopodobnie błąd w zdaniu „*Sprawność urządzenia i sprawność samego wymiennika w badaniach rzeczywistych dla analizowanego przypadku jest niższa niż w badaniach laboratoryjnych i wynosi 10%.*”

6. Wnioski końcowe

Przedstawiona rozprawa opisuje zagadnienia związane z wykorzystaniem substancji zmiennofazowych do odzysku ciepła w wentylacji zdecentralizowanej. Autorka zaproponowała nowe urządzenie, zaplanowała obszerne badania zarówno w laboratorium jak i z wykorzystaniem metod numerycznych. W efekcie przeprowadzonych analiz otrzymano informacje dotyczące możliwości wykorzystania substancji zmiennofazowych w systemach wentylacji.

Recenzowana rozprawa doktorska wskazuje na duży wkład pracy Autorki oraz jej umiejętności obejmujące zarówno przygotowanie prototypu urządzenia, rozległego planu badań, wykonania samych pomiarów jak i przeprowadzenie analiz numerycznych. Dodatkowo Autorka pokazała, że opanowała podstawy teoretyczne badanego problemu oraz znajomość stanu wiedzy w obszarze obejmującym treść rozprawy.

Będąca przedmiotem oceny, rozprawa doktorska mgr inż. Beaty Galiszewskiej pt. „Analiza sprawności odzysku ciepła w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej” spełnia wszystkie wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742). W związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Beaty Galiszewskiej do publicznej obrony.



Małgorzata Król