

Dr hab. inż. Alicja Siuta-Olcha, prof. uczelni
Politechnika Lubelska
Wydział Inżynierii Środowiska
Katedra Jakości Powietrza Wewnętrznego i Zewnętrznego
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 40 B
e-mail: a.siuta-olcha@pollub.pl
tel.: +48 81 538 43 21

Recenzja rozprawy doktorskiej

Pani mgr inż. Beaty Galiszewskiej

pt. „**Analiza sprawności odzysku ciepła w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej**”
przygotowanej pod kierunkiem naukowym

Promotora dr hab. inż. Ewy Zender-Świercz, prof. Politechniki Świętokrzyskiej

1. Podstawa opracowania

Podstawą formalną opracowania recenzji jest Uchwała nr 31/2023 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 25 października 2023 roku przekazana pismem Pana dr. hab. inż. Łukasza Ormana prof. Politechniki Świętokrzyskiej - Zastępcy Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w Politechnice Świętokrzyskiej (nr pisma: IAA-002-12/2023) z dnia 30 października 2023 roku.

2. Podstawowe dane o Kandydatce

Pani Beata Galiszewska uzyskała tytuł zawodowy magistra inżyniera na kierunku inżynieria środowiska w specjalności ogrzewnictwo i wentylacja w dniu 11 października 2017 roku, nadany przez Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej. Od 2013 roku pracowała na stanowisku administracyjnym w firmie wodociągowo-kanalizacyjnej Molewski Sp. z o.o. W 2018 roku mgr inż. Beata Galiszewska pracowała na stanowisku asystent projektanta, kierownik budowy w firmie wentylacyjno-chłodniczej Klimatechnika S.C. Krzysztof Cienciąła i s-ka oraz rozpoczęła studia doktoranckie na Wydziale Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej. Od 2020 roku Doktorantka jest zatrudniona na stanowisku asystenta w Katedrze Fizyki Budowli i Energii Odnawialnej Wydziału Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki Odnawialnej

Politechniki Świętokrzyskiej. Jest autorką/współautorką pięciu prac naukowych, w tym czterech opublikowanych w wysoko punktowanym czasopiśmie o obiegu międzynarodowym *Energies*.

Z przedstawionej dokumentacji wynika, że dotychczas Kandydatka nie ubiegała się o nadanie stopnia naukowego doktora.

3. Ocena pracy doktorskiej

3.1. Temat rozprawy doktorskiej

Temat rozprawy „Analiza sprawności odzysku ciepła w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej” jest aktualny i ważny. Zapewnienie skutecznej wentylacji pomieszczeń jest działaniem priorytetowym zarówno w budynkach nowych, jak i eksploatowanych. Budynki hermetyczne (o wysokiej szczelności powietrznej), dobrze zaizolowane cieplnie wymagają sprawnej i energooszczędnej wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła z powietrza usuwanego. Jednym ze sposobów wentylacji może być badane przez Doktorantkę zdecentralizowane fasadowe urządzenie wentylacyjne z wymiennikiem do odzysku ciepła oraz z wentylatorem rewersyjnym, realizującym naprzemienny nawiew i wywiew. Wykorzystanie materiałów zmiennofazowych, jako wypełnienia wymiennika odzysku ciepła w urządzeniu wentylacyjnym, jest innowacyjnym rozwiązaniem, wartym przebadania.

3.2. Układ pracy

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 114 stron, zawiera 57 rysunków (łącznie z fotografiami), 12 wykresów, 17 tabel, spis bibliografii, jednostronicowe streszczenie w języku polskim oraz w języku angielskim. Na końcu pracy, na nienumerowanych stronach, zamieszczone są 4 załączniki. Praca składa się z trzynastu głównych rozdziałów.

Rozdział 1. **Wprowadzenie** obejmuje bardzo krótki wstęp, który stanowi skrócone streszczenie pracy oraz przedmiot badania. W rozdziale tym zamieszczono cztery główne cele pracy (bez wyraźnego podziału na cele naukowe i cele utylitarne), sformułowano trzy hipotezy, podano ramowy zakres pracy.

Rozdział 2. **Definicje i przegląd literatury** podzielono na pięć podrozdziałów. W pierwszej części przedstawiono zwięzłą charakterystykę stosowanych systemów wentylacji, tj. wentylacji naturalnej i mechanicznej. Podkreślono zasadność realizacji odzysku ciepła w instalacji wentylacyjnej. W podrozdziale 2.3 scharakteryzowano materiały zmiennofazowe do magazynowania ciepła jawnego i utajonego. W punkcie 2.4 podano przykłady zastosowań materiałów zmiennofazowych w systemach wentylacji na podstawie przeprowadzonych badań,

zarówno eksperymentalnych, jak i symulacyjnych. W ostatniej części opisano jedną z metod numerycznych, to jest metodę elementów skończonych, stosowaną do analizy zagadnień przepływowych. Przedstawiono metodę bezpośredniej numerycznej symulacji do obliczeń przepływów turbulentnych, metodę symulacji dużych wirów turbulentnych oraz różne modele turbulencji bazujące na metodzie Reynolds.

W rozdziale 3. **Badania eksperymentalne w warunkach laboratoryjnych** przedstawiono opis stanowiska badawczego umieszczonego w komorze klimatycznej oraz metodykę badań. Podano budowę, parametry techniczne trzech badanych wymienników ciepła oraz właściwości termofizyczne wybranych materiałów zmiennofazowych, takich jak: olej kokosowy, olej jojoba, woda destylowana. Zamieszczono wyniki analizy przebiegu zmian temperatury powietrza oraz temperatury wypełnienia w charakterystycznych punktach, określono i porównano sprawności urządzenia wentylacyjnego oraz sprawności wymiennika ciepła dla wszystkich rozważanych wariantów.

Rozdział 4. **Badania eksperymentalne w warunkach rzeczywistych** obejmuje opis stanowiska badawczego zlokalizowanego w Laboratorium Mikroklimatek Politechniki Świętokrzyskiej oraz opis metody obliczeniowej. Pokazano dynamikę zmian temperatury powietrza w charakterystycznych punktach urządzenia oraz zestawiono sprawności urządzenia i sprawności wymiennika ciepła dla dziesięciu ustabilizowanych cykli.

W rozdziale 5. **Analiza statystyczna wyników badań laboratoryjnych** przebadano wpływ temperatury zewnętrznej, średnicy cylindra wymiennika odzysku ciepła, rodzaju materiału zmiennofazowego oraz długości cyklu trwania nawiewu/wywiewu na sprawność urządzenia wentylacyjnego. Wykorzystano analizę wielowymiarową wariancji MANOVA wykonaną w programie IBM SPSS Statistics 28 do wskazania czynników, które mają największy wpływ na sprawność urządzenia i mogą służyć do optymalizacji parametrów pracy wymiennika ciepła. Do analizy porównawczej zastosowano testy post-hoc Bonferroniego.

Rozdział 6. **Analiza numeryczna** przedstawia opis metodologii badań symulacyjnych wykonanych z wykorzystaniem programu ANSYS Fluent v. 22. Opracowano dwa modele 3D wymiennika ciepła typu 1 z wypełnieniem w postaci oleju jojoba, stosując hybrydowy model turbulencji k-omega SST (Shear-Stress Transport) oraz algorytm PISO (Pressure-Implicit with Splitting of Operators). Model pierwszy wymiennika odzysku ciepła został opracowany bezpośrednio w programie symulacyjnym poprzez zamodelowanie parametrów fizycznych materiału wypełniającego. Model drugi wymiennika wymagał opracowania zewnętrznego skryptu UDF (User Defined Functions) do zdefiniowania zmieniającej się temperatury na ściankach cylindrów wymiennika, z uwzględnieniem akumulacji ciepła przez materiał

zmiennofazowy. Dla opracowanych dwóch metod, A i B, przy założeniu jednonominutowego cyklu nawiewu i wywiewu, porównano dynamikę zmian średniej temperatury powietrza nawiewanego oraz zmian średniej sprawności wymiennika odzysku ciepła.

W rozdziale 7. **Wnioski i dyskusja** wskazano możliwości i ograniczenia stosowania materiałów zmiennofazowych w systemach wentylacyjnych. Sformułowano najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych badań i analiz oraz przedstawiono kierunki dalszych badań. Wprowadzono autoocenę realizacji określonych celów rozprawy doktorskiej oraz słuszności postawionych tez badawczych.

Rozdział 8. stanowi **wykaz literatury**, rozdział 9. to **streszczenie w języku polskim i angielskim**. Rozdział 10. obejmuje **spis tabel**, rozdział 11. **wykaz rysunków**, a rozdział 12. **spis wykresów**. Rozdział 13. zawiera **spis załączników**.

Załącznik 1 prezentuje wyniki badań testowych zastosowanych materiałów zmiennofazowych do odzysku ciepła. **Załącznik 2** przedstawia dane techniczne zastosowanego rejestratora Almemo 5690-1 V5. **Załącznik 3** zawiera 144 wykresy przebiegu zmian temperatury, określonych na podstawie danych pomiarowych w warunkach laboratoryjnych. **Załącznik 4** zawiera 144 tabele z zestawieniem danych pomiarowych (temperatura powietrza) i parametrów obliczonych (sprawność urządzenia, sprawność wymiennika ciepła).

3.2.1. Ocena układu rozprawy doktorskiej

Treść rozprawy doktorskiej ściśle odpowiada tematowi określonemu w tytule. Dokonano ciekawego, obszernego przeglądu wyników badań systemów wentylacji wykorzystujących materiały zmiennofazowe. Przedstawiony opis badań został dopełniony starannymi rysunkami o bardzo dobrej jakości. Rozdziały autorskie, to jest rozdziały 3-6, kończą się trafnie sformułowanymi wnioskami.

W moim odczuciu brakuje zamieszczenia na początku pracy wykazu akronimów zastosowanych w rozprawie wraz z opisem, również w języku polskim. Jeżeli chodzi o układ dysertacji, to cel i zakres pracy powinien w mojej ocenie stanowić oddzielny rozdział oraz powinien zawierać uzasadnienie podjętego tematu. Natomiast podrozdział Wstęp powinien nakreślać ogólnie problematykę dotyczącą zastosowania zdecentralizowanych fasadowych urządzeń wentylacyjnych oraz wykorzystania materiałów zmiennofazowych w układach wentylacji i klimatyzacji. Rozdział Definicje i przegląd literatury powinien być zatytułowany Przegląd literatury i zakończyć się krótkim podsumowaniem oraz wskazaniem luki badawczej. Tytuł rozdziału Wnioski i dyskusja powinien brzmieć Podsumowanie i wnioski. Dyskusja dotyczy otrzymanych wyników badań i ich interpretacji.

3.3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa

Spis literatury obejmuje 70 pozycji, w tym: 51 publikacji naukowych w języku angielskim o obiegu międzynarodowym, 3 publikacje naukowe w języku polskim, 2 materiały konferencyjne, 7 publikacji dostępnych online, 5 książek, w tym 3 w języku polskim, 2 normy. Liczba publikacji, które ukazały się w latach 2014 – 2023, wynosi 37, co daje udział wynoszący 53% dla publikacji z ostatniego dziesięciolecia, a dla ostatniego pięciolecia udział ten wynosi 25,7%. Wykaz literatury jest uporządkowany według kolejności pojawiania się w tekście pracy. Jedna praca stanowi autocytywanie Doktorantki. Dobór literatury oceniam jako prawidłowy, ściśle związany z tematyką rozprawy, świadczy o dobrym rozeznaniu Autorki w zakresie literatury przedmiotu.

3.4. Wskazanie oraz ocena celu pracy doktorskiej

W pracy Doktorantka wskazała 4 najważniejsze cele, takie jak:

- 1) Ocena w warunkach laboratoryjnych efektywności odzysku ciepła wymienników wypełnionych PCM, umieszczonych w zdecentralizowanym urządzeniu fasadowym do naprzemiennego nawiewu i wywiewu;
- 2) Ocena w warunkach rzeczywistych efektywności odzysku ciepła wymienników wypełnionych PCM, umieszczonych w zdecentralizowanym urządzeniu fasadowym do naprzemiennego nawiewu i wywiewu;
- 3) Określenie optymalnych warunków pracy wymiennika do odzysku ciepła;
- 4) Budowa modelu numerycznego opisującego działanie wymienników do odzysku ciepła wypełnionego substancją zmiennofazową.

Następnie Doktorantka sformułowała trzy tezy badawcze:

- 1) Zastosowanie materiałów PCM pozwala odzyskiwać ciepło w urządzeniach fasadowych do naprzemiennego nawiewu i wywiewu powietrza;
- 2) Wykorzystanie materiałów PCM w celu poprawienia sprawności wymienników, w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej, jest zasadne;
- 3) Możliwe jest opracowanie modelu komputerowej dynamiki płynów opisującego pracę wymienników do odzysku ciepła stosowanych w urządzeniach do naprzemiennego nawiewu i wywiewu.

Przedstawione cele pracy zostały jasno zredagowane oraz w pełni zrealizowane. Postawione hipotezy zostały zweryfikowane na podstawie przeprowadzonych badań i analiz.

3.5. Ocena zastosowanych metod badawczych

W celu realizacji zadań badawczych Doktorantka przeprowadziła badania eksperymentalne efektywności odzysku ciepła w zdecentralizowanym fasadowym urządzeniu wentylacyjnym o średnicy 250 mm i strumieniu powietrza wentylacyjnego 318 m³/h (nawiew)/353 m³/h (wywiew) z wentylatorem rewersyjnym w warunkach laboratoryjnych w komorze klimatycznej oraz w warunkach rzeczywistych. Plan badań laboratoryjnych obejmował łącznie 144 przypadki, zróżnicowane z uwagi na budowę wymiennika odzysku ciepła (3 typy różniące się układem rur, rozstawem, liczbą i średnicą aluminiowych cylindrów), na rodzaj wypełnienia rur wymiennika (4 przypadki: wypełnienie olejem kokosowym, olejem jojoba, wodą destylowaną, bez wypełnienia), na czas trwania pojedynczego cyklu nawiew/wywiew (4 przypadki: cykl wynoszący 1 minutę, 2 minuty, 3 minuty oraz 5 minut), na temperaturę powietrza zewnętrznego (3 przypadki: temperatura zewnętrzna -20°C, -10°C, 0°C). Temperatura wewnętrzna utrzymywana była na stałym poziomie wynoszącym 20°C. Dla wybranych materiałów zmiennofazowych, w celu określenia ich podstawowych właściwości termofizycznych, wykonano testy różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC) w Instytucie Chemii Wydziału Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej filia w Płocku. Do obliczeń sprawności temperaturowej urządzenia wentylacyjnego oraz wymiennika odzysku ciepła wykorzystano dane pomiarowe. W tym celu przewidziano układ pomiarowy składający się z dwunastu termopar. Rejestracja temperatury następowała co 5 sekund. Sprawność była określana jako wartość średnia z minimum 10 ustabilizowanych cykli nawiewu i wywiewu.

Przedmiotowe badania w warunkach rzeczywistych prowadzone były w okresie luty-marzec 2023 roku, przy temperaturze zewnętrznej z zakresu -5÷13°C dla wymiennika odzysku ciepła typu 1 z wypełnieniem w postaci oleju jojoba i przy realizacji jednoczynnikowego cyklu nawiew/wywiew.

Do ustalenia wpływu rozważanych zmiennych na sprawność temperaturową urządzenia wentylacyjnego przeprowadzono analizę statystyczną, w tym wieloczynnikową analizę wariancji (MANOVA) z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania IBM SPSS Statistics v.28. Do analizy porównawczej par grup zmiennych zastosowano testy post-hoc Bonferroniego.

W celu poznania chwilowych sprawności temperaturowych badanego wymiennika ciepła przeprowadzono badania symulacyjne w programie ANSYS Fluent v.22, wykorzystując technikę numeryczną mechaniki płynów CFD. Badania przeprowadzono dla dwóch opracowanych przez Autorkę modeli 3D wymiennika odzysku ciepła.

Przyjęte metody badawcze są odpowiednie do realizacji postawionych celów. Na uznanie zasługuje różnorodny warsztat badawczy wykorzystany przez Doktorantkę.

3.6. Ocena omówienia wyników badań

Wyniki badań eksperymentalnych, przeprowadzonych przez Doktorantkę, dotyczących dynamiki zmian temperatury w wyznaczonych punktach pomiarowych urządzenia wentylacyjnego zostały zaprezentowane na czytelnych, starannie opracowanych wykresach zamieszczonych w tekście oraz w załączniku. W celu oceny efektywności odzysku ciepła dla wszystkich rozważanych przypadków policzono sprawności temperaturowe urządzenia wentylacyjnego oraz wymiennika odzysku ciepła, a wyniki zestawiono w tabelach. Uzyskane wyniki zostały omówione w sposób wystarczający. Na ich podstawie zostały sformułowane wnioski podsumowujące. Dyskusja wyników byłaby ciekawsza, gdyby wyniki badań własnych zostały porównane z wynikami innych autorów.

Analiza statystyczna wyników badań laboratoryjnych pozwoliła jednoznacznie wskazać te czynniki, które mają najistotniejszy wpływ na sprawność temperaturową urządzenia wentylacyjnego.

W analizie symulacyjnej brakuje szczegółowej walidacji opracowanych modeli wymiennika odzysku ciepła. Wprawdzie porównano średnie wartości sprawności temperaturowej wymiennika odzysku ciepła otrzymane na podstawie badań symulacyjnych metodą A i metodą B ze średnią sprawnością wymiennika uzyskaną na podstawie badań eksperymentalnych w warunkach rzeczywistych, natomiast nie podano szczegółów walidacji związanej ze średnią temperaturą powietrza nawiewanego. Uzupełnienia wymaga interpretacja wyników badań przedstawionych na wykresach 11 oraz 12.

3.7. Praktyczne zastosowanie uzyskanych wyników badań

Uzyskane wyniki badań są wartościowe pod względem zarówno poznawczym, jak i użytkowym. Ustalono, że zastosowanie materiałów zmiennofazowych w wymiennikach do odzysku ciepła zwiększa sprawność temperaturową wymiennika w stosunku do wymienników bez wypełnienia, ale tylko o kilka procent, tj. od 1,91% do 4,38%. **Potrzebne są zatem dalsze badania wymienników odzysku ciepła z materiałem zmiennofazowym w aspekcie zwiększenia sprawności temperaturowej tego wymiennika oraz analiza opłacalności energetycznej tego rozwiązania.**

Stwierdzono, że istotny wpływ na sprawność urządzenia wentylacyjnego ma rodzaj wymiennika ciepła (powinien być o dużej powierzchni wymiany ciepła, tu wynoszącej

2,95 m²) oraz czas trwania cyklu nawiew/wywiew (powinien być możliwie krótki, tu wynoszący 1 minutę).

3.8. Informacja o nieprawidłowościach w rozprawie doktorskiej

Poniżej wskazano elementy pracy doktorskiej, które wymagają doprecyzowania lub uzupełnienia:

1. Str. 41, tabela 4: Proszę wyjaśnić tytuł tabeli „Parametry termopar – Pt100”. Czy czujniki rezystancyjne temperatury Pt100 były stosowane? W tabeli 4 powinna znajdować się charakterystyka termopar, czyli zastosowanych czujników termoelektrycznych do pomiaru temperatury. Z rys. 40 wynika, że były to termopary NiCr-Ni typu K.
2. Str. 44, równanie (2): W nawiązaniu do opisu temperatury t_4 i odróżnienia go od opisu temperatury t_1 , uzupełnienia wymaga opis układu pomiarowego, najlepiej o schemat z zaznaczonymi wszystkimi czujnikami temperatury, rejestratorem oraz z legendą, który czujnik temperatury (oznaczenia literą Mx) mierzy dokładnie jaką temperaturę, tj. w którym miejscu (oznaczenia literą t_i). Czy mierzony był przepływ objętości powietrza wentylacyjnego? Proszę skomentować, czy nie było potrzeby wprowadzenia korekty do równania (2), skoro strumienie powietrza nawiewanego i wywiewanego były różne? Proszę również wyjaśnić, dlaczego w równaniu (1) przyjęto temperaturę t_2 jako średnią temperaturę nawiewu określoną z czujników M4, M5, M6, a nie jako temperaturę wskazaną przez czujnik M7?
3. Str. 47, wiersz 6: Poniższy zapis wymaga doprecyzowania. „Przy najwyższej temperaturze zewnętrznej, różnica temperatur jest najmniejsza, co wynika ze zbliżenia temperatury powietrza wewnątrz i na zewnątrz pomieszczenia. Mniejsze różnice temperatury prowadzą do mniejszej wymiany ciepła, co może mieć wpływ na efektywność systemu”.
4. Str. 52, wiersz 4 od dołu nad tabelą 8: W nawiązaniu do cytowanego zapisu: „To sugeruje, że inne elementy urządzenia, nie tylko wymiennik, również wpływają na ogólną efektywność. Elementy takie jak silnik wentylatora, który generuje dodatkowe ciepło, czy inne składowe urządzenia zdolne do gromadzenia i uwalniania ciepła, również przyczyniają się do końcowej efektywności.” O jakie „inne elementy urządzenia” chodzi? Z kolei na str. 56 zapisano, że „Stanowisko nie stanowi rzeczywistej instalacji wentylacyjnej, pozwala jedynie na ocenę sprawności odzysku ciepła”.

W celu zapewnienia wyczerpującego opisu stanowiska badawczego i sposobu prowadzenia badań, doprecyzowania wymaga opis urządzenia wentylacyjnego w zakresie: typu i charakterystyki pracy wentylatora, elementów i zasady działania układu automatycznego sterowania pracą wentylatora, zabezpieczenia przed ewentualnym przekroczeniem wymaganego przepływu powietrza, rodzaju filtra, tłumika (jeżeli były), rodzaju zastosowanej izolacji cieplnej.

5. Str. 66-67: Wykresy 6-9 zostały pozostawione w tekście bez komentarza.
6. Str. 82, tabela 15: Dla siatki 3 maksymalny rozmiar zgodnie z tabelą to 10 mm, natomiast w tekście (wiersz 3) podano 15 mm.
7. Str. 84, wykres 10: Proszę zwrócić uwagę na jednostkę c_p (oś rzędnych) oraz opis wykresu w tekście.
8. Str. 95, wiersz 9 od dołu: Co należy rozumieć przez „nieidealne warunki otoczenia”?
9. Czy podczas wykonywania badań eksperymentalnych w warunkach rzeczywistych napotkano na problemy związane z eksploatacją badanego urządzenia wentylacyjnego?

3.8.1. Uwagi edycyjne

1. Rozprawa została zredagowana starannie, ale mają miejsce błędy interpunkcyjne, gramatyczne, stylistyczne oraz „literowe”. Formalnie w pracy nie powinno być skrótów (np., m. in., tj., ok.), a w przypadku ich zastosowania powinny zostać wyjaśnione.
2. Większość prezentowanych rysunków (rysunki: 9-17, 20, 24-27, 34-36, 40-41, 48-49) oraz tabela 7 nie mają odniesienia w tekście pracy.
3. Str. 19, wiersz 4: jest: „TRANSYS 17”, powinno być: „TRNSYS 17”.
4. Str. 23, wiersz 9: w miejsce cytowania [39] powinno być cytowanie [38].
5. Str. 27, wiersz 10: jest: „... rodzaj zastosowanych materiałów na co opisują w swoim opracowaniu ...”, powinno być: „... rodzaj zastosowanych materiałów, co opisują w swoim opracowaniu ...”.
6. Str. 29, wiersz 12: jest: „... od liczby Pranthla.” powinno być: „... od liczby Prandtla.”
7. Str. 32, wiersz 12: „Często stosowany w branży lotniczej i maszynach wirnikowych.” Brakuje w zdaniu podmiotu i orzeczenia.
8. Str. 33, wiersz 5: jest: „... przy jednoczesnym zmniejszeniu start energii ...”, powinno być: „... przy jednoczesnym zmniejszeniu strat energii ...”.
9. Str. 38, wiersz 2: jest: „W Tabela 2 podano szczegóły ...” powinno być: „W Tabeli 2 podano szczegóły ...”.

10. Sposób zapisu jednostek: przykładowo str. 41, tabela 3: jest: „J/gK”, powinno być: „J/(g·K)”, str. 79: jest: „W/m²K”, powinno być: „W/(m²·K)”.
11. Str. 47, wiersz 1: jest: „Na Wykres 3 przedstawiono ...”, powinno być: „Na Wykresie 3 przedstawiono ...”.
12. Str. 47, wiersz 11: jest: „... przedstawiają wartości wydajności urządzenia oraz wydajności samego wymiennika ...”, powinno być raczej: „... przedstawiają wartości sprawności urządzenia oraz sprawności samego wymiennika ...”.
13. Str. 61, wiersz 5: jest: „Średnicy wymiennika ...”, powinno być: „średnicy zewnętrznej pojedynczej rury wymiennika ...”.
14. Str. 61, tabela 10: W tabeli zostały pominięte opisy w kolumnie „Wymiennik” oraz „Cykl” na str. 62-64.
15. Str. 65, wiersz 2 od dołu: Zdanie niezrozumiałe: „Na podstawie wyników dla poszczególnych grup sporządzono Wykres 6-Wykres 9 obrazujące statystykę”.
16. Str. 79, 8 wiersz od dołu: jest: „Podczas cyklu nawiewu wlotem była płaszczyzna znajdująca się po stronie zewnętrznej, natomiast wylotem była płaszczyzna po stronie zewnętrznej.” Powinno być: „Podczas cyklu nawiewu wlotem była płaszczyzna znajdująca się po stronie zewnętrznej, natomiast wylotem była płaszczyzna po stronie wewnętrznej.”
17. Sposób zapisu liczb dziesiętnych: przykładowo str. 82, tabela 15: jest: „0.03”, powinno być: „0,03”, str. 85, wiersz 3 od dołu: jest: „0.3”, powinno być: „0,3”.
18. Str. 84, wiersz 3: jest: „Wartość ciepła właściwego z w granicach temperatury topnienia, ...”, powinno być: „Wartość ciepła właściwego w granicach temperatury topnienia, ...”.
19. Str. 88, wiersz 6: jest: „energii przejścia fazowego”, powinno być: „energia przejścia fazowego”.
20. Str. 90, wiersz 2 od dołu: jest: „... temperatury powietrza ...”, powinno być: „... temperatury powietrza ...”.
21. Str. 91, wiersz 8: jest: „... co wynika ze sposobu ze sposobu modelowania”. Powinno być: „... co wynika ze sposobu modelowania”.
22. Str. 95, wiersz 18: jest: „Wpływ na wyniki mogą mieć także zyski i straty ciepła ...”, powinno być: „Wpływ na wyniki mogą mieć także zyski i straty ciepła ...”.
23. Str. 99, wiersz 12 od dołu: nieprawidłowe sformułowanie: „Badania określające ilość akumulacji ciepła jawnego i utajonego ...”.

Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne są głównie natury formalnej oraz redakcyjnej, nie wpływają na pozytywną wartość merytoryczną rozprawy doktorskiej.

3.9. Ocena oryginalności rozwiązania problemu naukowego

Obszar badań wpisuje się w aktualne problemy inżynierii środowiska związane z możliwością poprawy efektywności energetycznej systemów wentylacyjnych poprzez zastosowanie materiałów zmiennofazowych do odzysku ciepła w zdecentralizowanych fasadowych urządzeniach wentylacyjnych z wentylatorem rewersyjnym i tym samym zwiększenie sprawności temperaturowej urządzenia. Nowością pracy jest ocena efektywności odzysku ciepła w wymienniku z wypełnieniem w postaci oleju kokosowego, oleju jojoba oraz wody destylowanej, umieszczonym w jednostce wentylacyjnej na podstawie badań eksperymentalnych, prowadzonych w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych.

Ponadto opracowano dwa autorskie modele numeryczne wymiennika do odzysku ciepła z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania ANSYS Fluent do badań symulacyjnych.

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

Pani mgr inż. Beata Galiszewska wykazała się dobrą znajomością wiedzy teoretycznej, jak również praktycznymi umiejętnościami w zakresie prowadzenia badań doświadczalnych i modelowych oraz analiz statystycznych. Dowiodła umiejętności samodzielnego rozwiązywania zadań badawczych poprzez właściwe zaplanowanie i realizację badań eksperymentalnych, zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i rzeczywistych oraz aplikację programu ANSYS Fluent v. 22 do opracowania dwóch modeli 3D pozwalających na symulację pracy wymiennika z wypełnieniem w postaci materiału zmiennofazowego do odzysku ciepła z powietrza wentylacyjnego wywiewanego. Uzyskane wyniki badań poszerzają wiedzę na temat wykorzystania materiałów zmiennofazowych, takich jak: olej kokosowy, olej jojoba, woda destylowana, do odzysku ciepła w wymiennikach, będących elementem urządzenia wentylacji fasadowej z naprzemiennym nawiewem i wywiewem. Podjęta tematyka badań jest oryginalna, interesująca pod względem poznawczym oraz uzasadniona potrzebami praktyki inżynierskiej, mieści się w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

4. Wniosek końcowy

Podsumowując niniejszą recenzję rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Beaty Galiszewskiej pt. „Analiza sprawności odzysku ciepła w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej”, stwierdzam, że **spełnia ona wymagania** określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku

Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023 poz. 742 t.j. z dnia 20 kwietnia 2023 r. ze zm.).

Wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej o **dopuszczenie Pani mgr inż. Beaty Galiszewskiej do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.**

Lublin, dn. 28.12.2023 r.

A. Siuta-Olcha
.....
dr hab. inż. Alicja Siuta-Olcha