

Prof. dr hab. inż. Lech Lichołai
Politechnika Rzeszowska
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury
Katedra Budownictwa Ogólnego
al. Powstańców Warszawy 12
35-959 Rzeszów

Rzeszów, 23-01-2023 roku

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej

Pani mgr inż. Marii Teresy Małek

pt: „**Wpływ parametrów przegrody aktywowanej termicznie
na komfort cieplny i zużycie energii**”

wykonana pod opieką naukową:

Pani Promotor prof. dr hab. inż. Haliny Koczyk

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest pismo nr WISIE.63.74.2022 z dnia 24.11.2022 roku Pana Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego z prośbą o wykonanie recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Marii Małek pn. „Wpływ parametrów przegrody aktywowanej termicznie na komfort cieplny i zużycie energii”, zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej z dnia 22.11.2022 roku.

2. Informacja dotycząca tytułu rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się w aktualnym postępowaniu o nadanie stopnia doktora

Tytuł recenzowanej rozprawy doktorskiej „Wpływ parametrów przegrody aktywowanej termicznie na komfort cieplny i zużycie energii” jest właściwie sformułowany biorąc pod uwagę treść merytoryczną wykonanej dysertacji. Autorka w kolejnych rozdziałach przedstawia poszczególne zagadnienia, które mają ścisły związek z określonym tytułem przedmiotowej rozprawy. Tematyka badawcza

odnosząca się do tytułu pracy jest ściśle powiązana z jego przekazem tematycznym. Tytuł pracy oceniam pozytywnie jako właściwy dla tematyki doktorskiego opracowania naukowego zrealizowanego przez Panią mgr inż. Marię Teresą Małek.

3. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska, której Autorką jest Pani mgr inż. Maria Teresa Małek pt: „Wpływ parametrów przegrody aktywowanej termicznie na komfort cieplny i zużycie energii”, wykonana pod opieką Pani Promotor prof. dr hab. inż. Haliny Koczyk. Praca została napisana w języku polskim, praca posiada streszczenia zarówno w języku polskim jak i angielskim.

Rozprawa liczy 225 stron i składa się z dziesięciu ponumerowanych rozdziałów. Są to kolejno: 1. Wstęp, 2. Podstawowe tezy pracy, jej cel i zakres, 3. Aktualny stan badań na temat przegród aktywowanych termicznie, 4. Model ściany zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie, 5. Badania eksperymentalne, 6. Porównanie modelu numerycznego z badaniami doświadczalnym, 7. Symulacja stanów eksploatacyjnych systemu opartego na ścianie zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie w programie TRNSYS, 8. Przegroda aktywowana termicznie a komfort cieplny, 9. Podsumowanie, 10. Literatura. Przedstawione rozdziały (za wyjątkiem drugiego i dziesiątego) dzielą się na podrozdziały. Ponadto w dysertacji znajdują się rozdziały, które nie posiadają numeracji (Streszczenie – str. 5, Abstract – str. 5, Wykaz ważniejszych oznaczeń – str. 6.). Zaplanowany przez Panią mgr inż. Marię Teresą Małek układ rozdziałów jest poprawny. Poszczególne rozdziały przedstawiają kolejne, ważne dla tematyki pracy rozważania naukowe. Układ i kolejność rozdziałów jest właściwa.

Rozdział pierwszy - Wstęp - zawiera informacje wprowadzające do tematyki pracy doktorskiej podjętej przez Panią mgr inż. Marię Teresą Małek. Autorka podkreśla ważność działań termomodernizacyjnych w budownictwie w kontekście przedsięwzięć związanych z termomodernizacją budowlaną (ocieplenie przegród nieprzezroczystych, wymiana przegród przezroczystych, zastosowanie osłon i urządzeń ochrony przeciwsłonecznych w postaci żaluzji zewnętrznych i wewnętrznych, rolet, zasłon), a także termomodernizacją instalacyjną, która związana jest z wymianą lub unowocześnieniem elementów systemów ogrzewania oraz systemów chłodzenia. Doktorantka uzasadnia podjęcie tematu pracy na podstawie danych literaturowych oraz na podstawie obliczeń. Przedstawione zostały pozycje literaturowe, w których autorzy rozważali możliwości wykorzystania przegród z elementami aktywowanymi termicznie do celów grzewczych i chłodniczych, a także zamieszczone zostały rozważania dotyczące rozkładów temperaturowych dla przegrody z elementem aktywowanym termicznie oraz bez takiego elementu.

W rozdziale drugim Pani mgr inż. Maria Teresa Małek przedstawia tezę pracy informującą o możliwości zastosowania przegrody budowlanej aktywowanej termicznie w postaci ściany zewnętrznej, która powoduje zmniejszenie zużycia energii przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu cieplnego oraz jest elementem wspomagającym system grzewczy lub chłodniczy. Cel pracy to sprawdzenie parametrów przegrody aktywowanej termicznie, badanej przez Doktorantkę ściany zewnętrznej dla których nastąpi zmniejszenie zużycia energii przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu cieplnego. W tym rozdziale przedstawiony jest także zakres pracy, zgodny z tezą i celem realizowanej rozprawy doktorskiej.

Rozdział trzeci zawiera informacje na temat obecnego stanu wiedzy w obszarze badań przegród aktywowanych termicznie. Pani mgr inż. Maria Teresa Małek przedstawia rezultaty modelowania i pomiarów eksperymentalnych w obiektach i komorach klimatycznych, a także prezentuje wyniki badań doświadczalnych przegród aktywowanych termicznie. Rozdział ten jest ważny w kontekście przyjęcia istniejącej, naukowej bazy odniesienia do prowadzenia własnych prac badawczych przez Doktorantkę.

W rozdziale czwartym Pani mgr inż. Maria Teresa Małek prezentuje opracowany, własny model ściany zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie wraz z przedstawieniem wyników obliczeń numerycznych dla rozważanej przegrody, która w następnym etapie prac badawczych została poddana badaniom doświadczalnym. Badana przegroda to ściana zewnętrzna o grubości 43 cm, wykonana z warstwy betonu o grubości 15 cm, zaizolowana po obu stronach styropianem o grubościach 13 cm. Element aktywowany termicznie został wykonany w postaci pętli przewodów polipropylenowych o średnicy 20 x 2 mm ułożonych w warstwie betonu w osi symetrii przegrody. Czynnikiem grzewczym była woda, której temperatura zasilania wynosiła: 16°C, 18°C, 20°C i 22°C. Doktorantka przedstawia metody obliczeniowe umożliwiające opisanie wymiany ciepła w przegrodach w postaci metod matematycznych, analitycznych i numerycznych. W rozdziale tym zawarte są wyniki obliczeń modelu numerycznego dla przedmiotowej, betonowej zaizolowanej ściany zewnętrznej zasilanej wodą o temperaturach przedstawionych powyżej w kontekście stabilizacji temperatury na powierzchni przegrody, przebiegu temperatury zewnętrznej w okresie 2 dni oraz wymuszenia skokowego temperatury zewnętrznej.

W rozdziale piątym opisane są badania doświadczalne, wykonywane przez Panią mgr inż. Marię Teresę Małek w ramach realizowanej dysertacji doktorskiej. Badania eksperymentalne zostały prowadzone, mając na uwadze sprawdzenia wykonanego modelu numerycznego przedmiotowej przegrody wyposażonej w element aktywowany termicznie. Zasadniczą częścią stanowiska badawczego jest betonowa ściana o grubości 15 cm, wysokości i długości równej 202 cm, zaizolowana z obu stron styropianem o grubości 13 cm. Wewnątrz ściany w jej osi symetrii umieszczona została pętla polipropylenowych przewodów o średnicy 20 x 2 mm

ułożonych z rozstawem 10 cm o kształcie meandrowym. Przewody zostały wypełnione wodą i podłączone do ultratermostatu, w którym kontrolowano temperaturę zasilania i prędkość obrotową pompy. Stanowisko doświadczalne obudowano płytą OSB, przegroda aktywowana termicznie znajdowała się w środku stanowiska, a pomiędzy przegrodą a obudową znajdowała się pustka powietrzna o szerokości 30,5 cm do której dzięki zainstalowaniu kanałów wentylacyjnych wraz z wentylatorami oraz przepustnicami używanymi do odcięcia dopływu powietrza istnieje możliwość dostarczania i usuwania powietrza z obu przestrzeni powietrznych: wewnętrznej i zewnętrznej, Do przeprowadzenia pomiarów wykorzystano czujniki temperatury, przepływomierz oraz anemometr. Przebieg badań był realizowany w trzech etapach: stabilizacji temperatury na powierzchni przegrody, przebiegu temperatury zewnętrznej w okresie 2 dni oraz wymuszeniu skokowemu temperatury zewnętrznej dla 4 wartości temperatury zasilania przewodów w ścianie: 16°C, 18°C, 20°C i 22°C. Doktorantka przedstawiła w tym rozdziale wyznaczenie odchyłek czujników temperatury zamontowanych wewnątrz i na powierzchni zaizolowanej betonowej ściany z pętlą grzejną przy pomocy specjalistycznego kalibratora. Pierwszy etap polegał na napełnianiu przewodów umieszczonych wewnątrz ściany czynnikiem o stałej temperaturze i przepływie. W drugim etapie wentylator w strefie zewnętrznej nawiewał powietrze przez okres dwóch dni. W trzecim etapie przy pracującym wentylatorze przepustnice umożliwiały cyrkulację w przestrzeni powietrznej zewnętrznej. Także w tym etapie włączana była nagrzewnica, która podgrzewała nawiewane powietrze do strefy zewnętrznej dla osiągnięcia wzrostu temperatury co najmniej 10°C w porównaniu do temperatury w strefie wewnętrznej. Tak zaplanowany i zrealizowany przebieg badań doświadczalnych należy ocenić pozytywnie w kontekście możliwości uzyskania wielu interesujących rezultatów. Wyniki uzyskanych badań dla etapu stabilizacji temperatury pozwoliły na stwierdzenie, że czas potrzebny do osiągnięcia stanu stabilizacji nie przekracza jednej doby. Badana przegroda reagowała z opóźnieniem, a nawet wykazywała się odpornością na zmianę temperatury zewnętrznej. W przypadku wymuszenia skokowego występującego podczas utrzymywania różnicy temperatury po obu stronach przegrody wynoszącej co najmniej 10°C również została zaobserwowana stabilność termiczna przegrody. W rozdziale tym bogata jest dokumentacja graficzna i fotograficzna, obrazująca wygląd i wyposażenie stanowiska doświadczalnego, jest to ważna składowa tego rozdziału. Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań zostały przedstawione bardzo dokładnie z odpowiednim komentarzem. Treść tego rozdziału pozwala zauważyć znaczny i profesjonalny nakład pracy, jaki włożyła Doktorantka, aby przygotować specjalistyczne stanowisko badawcze, zasługuje to na pozytywne podkreślenie i duże uznanie.

W kolejnym szóstym rozdziale Pani mgr inż. Maria Teresa Małek dokonała porównania uzyskanych wyników z obliczeń numerycznych z wynikami otrzymanymi z badań doświadczalnych. W tym celu Doktorantka określiła wartości bezwzględne

różnicy temperatury między wielkościami obliczonymi z modelu numerycznego dla danego punktu pomiarowego, a danymi zapisanymi podczas badań doświadczalnych dla czujnika umieszczonego w tym samym punkcie pomiarowym. Dla każdego zestawu wartości bezwzględnych została wyznaczona ich wartość maksymalna, minimalna i średnia, które przedstawione są w tabelach odpowiednio dla numerów czujników. Wspomniane wartości Doktorantka wyznaczyła dla czujników umieszczonych na powierzchniach warstw; betonu od strony wewnętrznej i zewnętrznej, a także styropianu w strefie wewnętrznej oraz zewnętrznej. Dodatkowo zaprezentowane zostały wyniki dla czujników zlokalizowanych na powierzchni przewodów zabetonowanych w ścianie. Otrzymane wyniki Pani mgr inż. Maria Teresa Małek uzyskała z przeprowadzonych trzech etapów badań (stabilizacja temperatury na powierzchni przegrody, przebieg temperatury zewnętrznej w okresie dwóch dni i wymuszenie skokowe temperatury zewnętrznej) dla poszczególnych czterech wariantów temperatury zasilania pętli w ścianie: 16°C, 18°C, 20°C i 22°C. Wyniki dotyczące stabilizacji temperatury na powierzchni przegrody zostały przedstawione dla okresu od osiągnięcia stabilnej temperatury zasilania pętli przewodów polipropylenowych do chwili uzyskania stabilnej temperatury na powierzchni przegrody. Na potrzeby porównania wyników badań eksperymentalnych z rezultatami otrzymanymi z modelu numerycznego dla etapu przebiegu temperatury zewnętrznej przyjęto godzinową zmienność temperatury zewnętrznej w okresie czterdziestu dziewięciu godzin. Interesująca analiza dotyczy porównania wyników uzyskanych z badań eksperymentalnych i obliczeń numerycznych podczas wymuszenia skokowego temperatury zewnętrznej przez okres dwudziestu trzech godzin. Otrzymane wyniki Doktorantka zestawiała w postaci opracowań tabelarycznych i wykresów, analiza uzyskanych rezultatów drogą numeryczną i doświadczalną pozwala stwierdzić, że są one do siebie zbliżone.

Rozdział siódmy zawiera rozważania dotyczące obliczeń symulacyjnych stanów eksploatacyjnych systemu opartego na ścianie zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie w programie TRNSYS. Pani mgr inż. Maria Teresa Małek wykonała analizę budynku posiadającego jedną kondygnację, w którym program funkcjonalny przewiduje jedenaście pomieszczeń. Budynek posiada płaski dach, łączna powierzchnia wynosi 106 m². Jedna ściana zewnętrzna wykonana została z 15 cm warstwy betonu w obu stronach izolacjami styropianowymi o grubościach 13 cm. W osi symetrii warstwy betonej umieszczono przewody polipropylenowe o średnicy 20x2 mm z rozstawem 10 cm, które wypełniono wodą. Współczynnik przenikania ciepła przegrody bez elementów polipropylenowych wynosi 0,12 W/m²·K. Pozostałe przegrody również spełniają obowiązujące wymagania w zakresie ochrony cieplnej budynków. W obiekcie zastosowano wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła wynoszącym 85%. Doktorantka założyła dla sezonu grzewczego w całym budynku temperaturę wewnętrzną wynoszącą 20°C, natomiast w okresie letnim, od czerwca do sierpnia na równą 24°C. Wykonana analiza charakteryzowała

się zróżnicowanymi wariantami temperatury zasilania elementu aktywowanego termicznie w przedmiotowej przegrodzie wynoszącymi: 16°C, 18°C, 20°C i 22°C. W kolejnych analizach dla każdej wartości temperatury zasilania rozważono 5 różnych grubości betonu wynoszących: 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm oraz 30 cm. Dla warstwy betonu o grubości 15 cm Doktorantka przeanalizowała zastosowanie styropianu o grubościach: 8 cm, 10 cm, 11 cm, 12 cm, 13 cm, 14 cm oraz 15 cm, o współczynniku przewodzenia ciepła równym 0,031 W/(m·K). Współczynnik przewodzenia ciepła styropianu również był zmienny dla przegrody podstawowej (beton o grubości 15 cm z obustronnym, styropianowym dociepleniem wynoszącym 13 cm) i wynosił: 0,030 W/(m·K), 0,031 W/(m·K), 0,035 W/(m·K), 0,040 W/(m·K), 0,045 W/(m·K) oraz 0,050 W/(m·K). Każdy z wariantów został także przeanalizowany w przypadku braku elementu aktywowanego termicznie. Doktorantka wykonała symulacje z jedno godzinowym krokiem czasowym. Rozdział zawiera zestawienia uzyskanych wyników w postaci wykresów liniowych i słupkowych. Przegroda posiadająca element aktywowany termicznie osiągała największe różnice w kontekście zapotrzebowania na moc dla zmiennej temperatury zasilania, a najmniejsze różnice osiągała dla zmiennej grubości betonu. Doktorantka porównała także wyniki z rezultatami dla ściany zewnętrznej bez przewodów polipropylenowych i stwierdza, że największe oszczędności uzyskane zostały dla grubości styropianu 8 cm i wartości temperatury zasilania: 16°C latem i 22°C zimą, które wyniosły: 15,93% (w lecie) i 40,35% (w zimie).

W rozdziale ósmym zostały przedstawione rezultaty dotyczące zagadnień komfortu cieplnego rozszerzone o rozważania w obszarze niepokrytego zapotrzebowania na cele grzewcze i chłodnicze. Do oceny komfortu cieplnego Pani mgr inż. Maria Teresa Małek wykorzystywała wskaźniki PMV (ocena odczucia) oraz PPD (przewidywany procent osób niezadowolonych). Doktorantka przeanalizowała wpływ wartości temperatury zasilania elementu aktywowanego termicznie w ścianie zewnętrznej, grubości betonu, grubości styropianu oraz współczynnika przewodzenia ciepła styropianu na komfort cieplny. Zmiennymi temperaturami zasilania były wartości: 16°C, 18°C, 20°C i 22°C, zmiennymi grubościami betonu były wielkości 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm oraz 30 cm, a zmiennymi grubościami styropianu były wartości: 8 cm, 10 cm, 11 cm, 12 cm, 13 cm, 14 cm oraz 15 cm. Dla każdego z wariantów Doktorantka przedstawiła także wyniki dla przegrody bez elementu aktywowanego termicznie, oraz zaprezentowała również przypadki niepokrytego zapotrzebowania na cele grzewcze i chłodnicze. Krok czasowy w obliczeniach został przyjęty podobnie jak w analizie opisanej w poprzednim rozdziale jako jedna godzina. W przypadku funkcjonowania przegrody z elementem aktywowanym termicznie dla sytuacji z pokrytym zapotrzebowaniem na cele grzewcze i chłodnicze wartości wskaźników PPD nie przekroczyły 25%, a PMV 1 (odczucie lekko ciepło) bądź -1 (odczucie lekko chłodno). Analizując rozbieżności pomiędzy poszczególnymi wariantami, Doktorantka stwierdza, że największe różnice wystąpiły dla zmiennej temperatury zasilania a najmniejsze dla zmiennej grubości betonu.

Rozdział dziewiąty to podsumowanie całości wykonanej rozprawy doktorskiej, który Pani mgr inż. Maria Teresa Małek podzieliła na dwa podrozdziały: wnioski końcowe oraz potencjał naukowy do kolejnych badań i analiz. Doktorantka stwierdza, że przegroda aktywowana termicznie może wypełniać funkcję grzejną jak również chłodniczą, ponadto dodaje, że parametry charakterystyczne dla warstwy konstrukcyjnej w postaci oporów cieplnych nie wpływają na wskaźniki komfortu cieplnego, natomiast czynniki instalacyjne są istotnymi dla komfortu cieplnego i zużycia energii. Zamieszczone przez Doktorantkę spostrzeżenia dotyczące kierunków przyszłych badań należy uznać jako interesujące i mogące przyczynić się do poprawy funkcjonowania przegród budowlanych aktywowanych termicznie.

Ostatnim, dziesiątym rozdziałem jest wykaz siedemdziesięciu siedmiu pozycji literaturowych wykorzystanych przez Doktorantkę do przygotowania niniejszej rozprawy doktorskiej.

W podsumowaniu tego punktu recenzji stwierdzam, że układ wykonanej rozprawy doktorskiej jest prawidłowy. Kolejność rozdziałów jest właściwa, a merytoryczna zawartość poszczególnych rozdziałów jest ściśle związana z tytułami poszczególnych rozdziałów. Pani mgr inż. Maria Teresa Małek w czytelny sposób przedstawia naukowe zagadnienia, rozważane w kolejnych składowych zrealizowanej dysertacji doktorskiej.

4. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Pani mgr inż. Maria Teresa Małek skompletowała pozycje literaturowe w łącznej liczbie siedemdziesięciu siedmiu sztuk. W większości są to artykuły, jak również pozycje zwarte książkowe, a także strony internetowe (netografia). Artykuły opublikowane są w renomowanych czasopismach naukowych, pozycje książkowe zostały wydane przez uznane wydawnictwa, a strony internetowe są właściwie opisane wraz z podanymi datami dostępów. Wszystkie zamieszczone pozycje literaturowe są w sposób bardzo istotny lub istotny związane z tematyką realizowanej rozprawy doktorskiej. Wszystkie pozycje literaturowe są właściwie cytowane w tekście przedmiotowej pracy doktorskiej. W większości są to współczesne opracowania, choć oczywiście również występują pozycje z wcześniejszych lat. Od strony formalnej wszystkie zamieszczone pozycje literaturowe zostały właściwie opisane, co jest ważne w kontekście dotarcia do materiałów źródłowych. Zestawiony przez Doktorantkę zestaw pozycji literaturowych posiada wysoką wartość naukową co ma istotne znaczenie w kontekście opracowywania poszczególnych składowych wykonywanej pracy doktorskiej. Zastosowane piśmiennictwo w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej oceniam pozytywnie.

5. Wskazanie oraz ocena celu pracy Kandydatki do stopnia doktora

Cel realizowanej pracy doktorskiej został jednoznacznie sprecyzowany przez Kandydatkę, Panią mgr inż. Marię Teresę Małek. Cel ten związany jest z poprawą efektywności funkcjonowania przegród budowlanych aktywowanych termicznie. W początkowej części wykonywanej rozprawy doktorskiej Doktorantka stwierdza, że zasadniczym celem pracy jest sprawdzenie parametrów przegrody aktywowanej termicznie, funkcjonującej jako ściany zewnętrznej dla których nastąpi zmniejszenie zużycia energii przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu cieplnego. Zakładany cel pracy Doktorantka realizowała w wielu etapach, konsekwentnie trzymając się głównej tematyki rozprawy doktorskiej. Ważnym celem było określenie, jakie powinny być rozwiązania przegród aktywowanych termicznie oraz wskazanie, czy te rozwiązania zależą od czynników budowlanych i instalacyjnych. Także celem pracy jest ustalenie czy elementy budowlane (grubości materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych) wpływają i w jakim stopniu na zużycie energii, czy może ważniejszym zadaniem jest właściwe dobranie elementów instalacyjnych w przegrodzie aktywowanej termicznie. Istotną część pracy dotyczy przeglądu literaturowego w kontekście prowadzonych obecnie przez różnych badaczy prac dotyczących funkcjonowania przegród aktywowanych termicznie. Szczególnie ważne składowe wykonanej pracy doktorskiej dotyczą wykonania przez Doktorantkę modelu numerycznego przedmiotowej przegrody, zaprojektowania i zrealizowania stanowiska do badań eksperymentalnych oraz wykonania licznych obliczeń symulacyjnych dotyczących funkcjonowania przegrody, także w kontekście wpływu na komfort cieplny. Należy stwierdzić, że ogólny cel pracy został poprawnie sformułowany, a realizacja zadań naukowych przez Doktorantkę jest zgodna z celem pracy i przyniosła ważne, poznawcze i aplikacyjne efekty naukowe.

6. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

Pani mgr inż. Maria Teresa Małek prowadząc prace badawcze realizowane zgodnie z przyjętymi założeniami naukowymi przyjęła właściwe metody badawcze. Zwraca uwagę obszerny i wnikliwy przegląd stanu wiedzy w tematyce wykonywanej pracy doktorskiej. Ważną część pracy to zaproponowanie modelu numerycznego przegrody budowlanej posiadającej w swojej strukturze element aktywowany termicznie. Kandydatka przedstawiła charakterystykę i klasyfikację metod numerycznych, a na potrzeby własnych rozważań naukowych wybrała metodę bilansów elementarnych, umożliwiającą wykonanie analizy przewodzenia ciepła w rozpatrywanej przez Doktorantkę przegrodzie budowlanej. Na potrzeby sprawdzenia wykonanego modelu numerycznego ściany zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie Kandydatka, posługując się metodą badań

eksperymentalnych zaprojektowała i wykonała autorskie stanowisko badawcze umożliwiające rzeczywiste funkcjonowanie rozpatrywanej przegrody w dużej skali laboratoryjnej. Przeprowadzenie eksperymentów w tym stanowisku badawczym jest mocną stroną zrealizowanej rozprawy doktorskiej. Doktorantka przeprowadziła wiele wariantów badań i bardzo dobrze opracowała uzyskane wyniki z wykonanych badań doświadczalnych. Ważną składową pracy są analizy porównawcze wyników uzyskanych z modelu numerycznego z wynikami otrzymanymi z przeprowadzonych badaniami eksperymentalnych. W kolejnej części pracy Kandydatka przedstawia symulacyjne rozważania naukowe dotyczące stanów eksploatacyjnych rozpatrywanej, przedmiotowej przegrody budowlanej z elementem aktywowanym termicznie w programie TRNSYS. Przyjęte przez Panią mgr inż. Marię Teresę Małek poprawne metody badawcze pozwoliły na prowadzenie kolejnych prac badawczych zgodnie tematyką i złożeniami badawczymi, co przyczyniło się do uzyskania wielu wyników i umożliwiło ich dyskusję naukową. Metody badawcze przyjęte przez Doktorantkę są właściwe i zasługują na uznanie.

7. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Pani mgr inż. Maria Teresa Małek, dzięki przyjętym założeniom badawczym oraz w wyniku prowadzonych, kolejnych dociekań naukowych uzyskała bardzo dużą liczbę wartościowych wyników. Są to wyniki uzyskane zarówno z obliczeń numerycznych jak też z wykonanych badań eksperymentalnych oraz analiz symulacyjnych. Doktorantka w sposób staranny odnosi się do uzyskanych wyników z przeprowadzonych prac badawczych, analizuje i przeprowadza rzetelną dyskusję uzyskanych wyników badań. Uzyskane wyniki są ściśle związane z przyjętymi, naukowymi założeniami badawczymi. Szczególnie cenne są wyniki uzyskane z badań doświadczalnych, umożliwiających ocenę funkcjonowania przegrody budowlanej z wbudowanym elementem aktywowanym termicznie. Na podkreślenie zasługuje staranne przedstawienie wyników badań w postaci graficznych zestawień wykresowych jak również tabelarycznych. Uzyskane wyniki przyczyniły się do sformułowania przez Kandydatkę wniosków końcowych. Na podstawie uzyskanych wyników z badań oraz przedstawionych wniosków, można stwierdzić, że założona teza badawcza została zweryfikowana w sposób pozytywny. Uzyskane przez Panią mgr inż. Marię Teresę Małek wyniki z wykonanych prac badawczych realizowanych w ramach niniejszej dysertacji doktorskiej są wartościowe w naukowym obszarze badawczym, wchodzącym w skład dyscypliny naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Otrzymane wyniki są równocześnie ważne w aspekcie przyszłych prac badawczych w tematyce wykonanej rozprawy doktorskiej.

8. Informacja dotycząca praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Uzyskane wyniki badań, zamieszczone w zrealizowanej przez Panią mgr inż. Marię Teresę Małek dysertacji doktorskiej stwarzają możliwość ich praktycznego zastosowania. Przegrody budowlane są podstawowymi elementami składowymi budynków, jakże istotnymi w wielu aspektach dotyczących rozwiązań konstrukcyjnych, funkcjonalnych czy też w kontekście cieplnego funkcjonowania tych przegród. Przegrody budowlane mają znaczący wpływ na energoefektywność budynków. Przegroda budowlana z elementem aktywowanym termicznie, której funkcjonowanie jest rozważane w przedmiotowej pracy doktorskiej może przyczynić się do poprawy charakterystyki cieplnej budynków o różnym przeznaczeniu użytkowym. Różne rozwiązania materiałowe, konstrukcyjne, technologiczne, konfiguracyjne i instalacyjne mogą być uwzględniane w dalszych badaniach. Prace badawcze przedstawione przez Kandydatkę w dysertacji doktorskiej posiadają potencjał naukowy w kierunku prowadzenia dalszych rozważań naukowych celem uzyskiwania rozwiązań rozwojowych, mogących znaleźć praktyczne zastosowanie.

9. Informacje o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej

Wykonana rozprawa doktorska jest wartościowym opracowaniem naukowym. Całość jest starannie opracowana, jednak po zapoznaniu się z zawartością zrealizowanej przez Panią mgr inż. Marię Teresę Małek rozprawy doktorskiej nasuwają się pewne uwagi - pytania o charakterze krytyczno-dyskusyjnym:

- str. 27 - teza pracy - jest poprawna merytorycznie lecz lepiej gdyby była sformułowana w formie przypuszczającej (np. Istnieje możliwość zmniejszenia zużycia energii przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu cieplnego ...),
- Rozdział 4 - do dyskusji: czy nie powinien być nazwany: Model numeryczny ściany zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie ?
- str. 16, str. 20, str. 24 i na innych stronach - znajdują się rozważania teoretyczne związane z zagadnieniami przekazywania przez przegrodę strumienia ciepła - czy Doktorantka przewiduje w przyszłości badania doświadczalne dotyczące przekazywania przez przegrodę strumienia ciepła ?
- jakie jest zdanie Doktorantki w temacie połączenia rozważanej w pracy przegrody, jako ściany zewnętrznej z pasywnymi systemami ogrzewania słonecznego (np. przegroda kolektorowo-akumulacyjna posiadająca element aktywowany termicznie) ?

- jakie jest zdanie Doktorantki na temat zastosowania w przegrodzie innego materiału konstrukcyjnego - np.; ceramika, beton komórkowy, wyroby wapienno-piaskowe ... ?
- czy rozważane było zastosowanie innego niż styropian materiału izolacyjnego, czy rozważane było zastosowanie ruchomej warstwy materiału izolacyjnego (np. w postaci rolety termoizolacyjnej) ?
- jakie problemy aplikacyjne związane z praktycznym zastosowaniem rozważanych w rozprawie przegród mogą pojawiać się, np. zwiększone obciążenia działające na fundamenty ?
- czy przewidywane są przez Doktorantkę prace badawcze dotyczące możliwości zastosowania w przedmiotowej przegrodzie dodatkowo materiału zmienno - fazowego? jakie mogą być zalety czy też wady takiego rozwiązania ?
- jakie jest zdanie Doktorantki w temacie zastosowania przegród wyposażonych w elementy aktywowane termicznie jako jedyne źródła ogrzewania budynków ? czy przegrody wewnętrzne można również wyposażać w takie elementy aktywowane termicznie ?
- czynnikiem grzewczym w rozpatrywanej w pracy przegrodzie jest woda, jakie jest zdanie Doktorantki dotyczące innych technologii grzewczych w takich przegrodach, np. grzewcze instalacje elektryczne ?
- co można powiedzieć o zagadnieniach ekonomicznych (inwestycyjnych i eksploatacyjnych) przegrody rozważanej w pracy ?

Pod względem edytorskim praca jest starannie opracowana, można doszukać się drobnych przeoczeń, np.:

- str. 217 – jest: ... *przegród z elementami aktywowanymi termicznymi do celów grzewczych i chłodniczych* ... raczej powinno być: ... *termicznie* ...

10. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Wykonana przez Panią mgr inż. Marię Teresę Małek rozprawa doktorska bardzo trafnie wpisuje się we współczesne zagadnienia naukowe związane z prowadzeniem innowacyjnych prac badawczych dotyczących poprawy efektywności cieplnej zewnętrznych przegród budowlanych. Do najważniejszych oryginalnych zagadnień dotyczących rozwiązania problemu naukowego można zaliczyć:

- wnikliwe przedstawienie stanu wiedzy w tematyce wykonywanej rozprawy doktorskiej,
- opracowanie modelu numerycznego ściany zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie i wykonanie obliczeń dla jej różnych wariantów,

- zaprojektowanie i wykonanie stanowiska do badań eksperymentalnych modelu ściany zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie w postaci pętli przewodów we wnętrzu części konstrukcyjnej przegrody i przeprowadzenie pomiarów,
- omówienie uzyskanych rezultatów z przeprowadzonych badań,
- porównanie wyników uzyskanych z obliczeń numerycznych z rezultatami, otrzymanymi z badań eksperymentalnych,
- wykonanie symulacji stanów eksploatacyjnych budowlanej przegrody zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie w programie TRNSYS,
- analizę wyników uzyskanych z przeprowadzonych symulacji,
- przedstawienie wniosków z prac badawczych i wskazanie kierunków przyszłych badań w tematyce zrealizowanej rozprawy doktorskiej.

Zrealizowana dysertacja doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Doktorantka wykazała się umiejętnością określenia oryginalnego problemu naukowego, który merytorycznie rozważała w ramach zrealizowanej pracy doktorskiej oraz sformułowała wartościowe wnioski końcowe.

11. Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki do stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Po szczegółowym zapoznaniu się z zawartością zrealizowanej dysertacji doktorskiej, stwierdzam, że wykonana rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Pani mgr inż. Marii Teresy Małek do stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Doktorantka zajęła się ważnymi zagadnieniami dotyczącymi cieplnego funkcjonowania budowlanej przegrody zewnętrznej posiadającej w swojej strukturze element aktywowany termicznie. Obecność takiej przegrody w budynku może przyczynić się do poprawy charakterystyki cieplnej całego obiektu. Doktorantka dla osiągnięcia zakładanych efektów naukowych wykazała się dużą wiedzą teoretyczną potrzebną do przedstawienia modelu numerycznego przedmiotowej przegrody. Również wiedza teoretyczna Kandydatki była pomocna do zaprojektowania i wykonania autorskiego stanowiska laboratoryjnego służącego do prowadzenia badań eksperymentalnych dotyczących funkcjonowania przegrody aktywowanej termicznie. Praca zawiera właściwą analizę uzyskanych wyników, co także świadczy o wiedzy teoretycznej Kandydatki do stopnia doktora. Zapoznanie się z wykonaną pracą doktorskiej pozwala

także stwierdzić, że Pani mgr inż. Maria Teresa Małek posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

12. Podsumowanie

Pani mgr inż. Maria Teresa Małek w zrealizowanej rozprawie doktorskiej pt: „Wpływ parametrów przegrody aktywowanej termicznie na komfort cieplny i zużycie energii”, wykonanej pod opieką naukową Pani Promotor prof. dr hab. inż. Haliny Koczyk, zajęła się istotnymi z naukowego punktu widzenia zagadnieniami dotyczącymi funkcjonowania budowlanej przegrody, wyposażonej w element aktywowany termicznie w postaci pętli polipropylenowej. Praca zawiera bogaty przegląd stanu wiedzy w tematyce realizowanej rozprawy doktorskiej. Doktorantka przeprowadziła obliczenia numeryczne dotyczące funkcjonowania rozpatrywanej przegrody, zaprojektowała i wykonała autorskie stanowisko do badań doświadczalnych, a następnie przeprowadziła dużą liczbę wielowariantowych badań eksperymentalnych. Ważną składową pracy są również obliczenia symulacyjne stanów eksploatacyjnych przedmiotowej przegrody w kontekście zużycia energii i wpływu na komfort cieplny.

Zrealizowana przez Panią mgr inż. Marię Teresę Małek rozprawa doktorska wnosi nowe wartości naukowe dotyczące zagadnień funkcjonowania cieplnego przegród budowlanych aktywowanych termicznie w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Uzyskane wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że przyjęta w pracy doktorskiej teza badawcza została pozytywnie udowodniona. Wykonana przez Kandydatkę praca doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego oraz posiada duże wartości w zakresie zastosowania otrzymanych wyników badań naukowych w sferze gospodarczej. Zamieszczone w niniejszej recenzji dyskusyjne uwagi krytyczne nie pomniejszają merytorycznej zawartości wykonanej rozprawy doktorskiej.

13. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt: „Wpływ parametrów przegrody aktywowanej termicznie na komfort cieplny i zużycie energii”, wykonana przez Panią mgr inż. Marię Teresę Małek, pod opieką Pani Promotor prof. dr hab. inż. Haliny Koczyk, spełnia wymagania określone w art. 186 ust. 1 pkt 5 oraz w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 roku poz. 478 ze zm.) oraz spełnia wymagania określone w art. 13 ust.1 ustawy z dnia

14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789, z późn. zm.).

W związku z powyższym przedstawiam pozytywną konkluzję i uprzejmie wnoszę o przyjęcie przedmiotowej rozprawy doktorskiej oraz wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Marii Teresy Małek do kolejnych etapów przewodu doktorskiego - Ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 roku poz. 478 ze zm.) art. 191.1.

Równocześnie zgłaszam wniosek o wyróżnienie przedmiotowej rozprawy doktorskiej. Uzasadnieniem wniosku jest wysoki poziom merytoryczny wykonanej dysertacji, aktualność i ważność podjętej tematyki badawczej. Pani mgr inż. Maria Teresa Małek opracowała model numeryczny ściany zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie oraz wykonała obliczenia dla jej różnych wariantów. Ponadto zaprojektowała i wykonała autorskie stanowisko do badań eksperymentalnych modelu ściany zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie. Przeprowadziła także analizy symulacyjne dotyczące funkcjonowania przedmiotowej ściany w kontekście zużycia energii i wpływu na komfort cieplny. Uzyskane wyniki z wykonanych badań i analiz zawierają znaczną wartość poznawczą. Wykonana dysertacja jest kompletnym, oryginalnym opracowaniem doktorskim, posiadającym duży potencjał naukowy w zagadnieniach energooszczędnego kształtowania przegród budowlanych.

