

prof. dr hab. inż. Władysław Szaflik
Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Ciepłownictwa
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego
70-310 Szczecin, Al. Piastów 50
e-mail: wladyslaw.szaflik@zut.edu.pl

Szczecin, dn. 15 stycznia 2023 r.

R E C E N Z J A

Pracy doktorskiej **mgr inż. Marii Teresy MAŁEK**
pt. „**WPLYW PARAMETRÓW PRZEGRODY AKTYWOWANEJ TERMICZNIE
NA KOMFORT CIEPLNY I ZUŻYCIE ENERGII**”

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzje opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej w Poznaniu (pismo: WISIE.63.74.2022 z dnia 24.11.2022 r.). Podstawą opracowania jest egzemplarz pracy doktorskiej, literatura naukowa dotycząca zakresu pracy oraz wyniki badań własnych.

2. Charakterystyka rozprawy

Tytuł dysertacji ma postać „*Wpływ parametrów przegrody aktywowanej termicznie na komfort cieplny i zużycie energii*”. Celem rozprawy jest określenie parametrów zewnętrznej przegrody aktywowanej termicznie (z barierą termiczną) oraz temperatury bariery, przy których nastąpi zmniejszenie zużycia energii i dla których będą zapewnione warunki komfortu cieplnego w pomieszczeniu oraz ustalenie stopnia wpływu na zużycie energii wartości parametrów elementów budowlanych (grubość i przewodność cieplna użytych materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych) oraz temperatury bariery. Doktorantka przyjęła, że przegroda aktywowana termicznie będzie zasilana z indywidualnych źródeł energii niepowiązanych z systemami zaopatrzenia w gaz, energię elektryczną lub ciepło.

Doktorantka po wstępie, z którego wynikało uzasadnienie podjętego tematu pracy, podała tezę pracy, jej cel oraz zakres i przedstawiła stan badań dotyczących przegród aktywowanych termicznie. W dalszej części dysertacji, omówiła opracowany przez siebie model numeryczny ściany zewnętrznej z barierą termiczną i przedstawiła wyniki obliczeń wybranych stanów przegrody dla przyjętych parametrów przegrody. Przeprowadziła również

badania eksperymentalne dla wybranych stanów wykonanego modelu fizycznego przegrody i parametrów przyjętych w modelu numerycznym. Następnie porównała wyniki badań eksperymentalnych z uzyskanymi z modelu fizycznego i we wnioskach stwierdziła dobrą zgodność modelu numerycznego i wyników eksperymentalnych. W dalszej części pracy dla wybranego budynku ze ścianami zewnętrznymi z elementami aktywowanymi termicznie przeprowadziła w programie TRNSYS symulacje stanów eksploatacyjnych określając zużycie energii i warunki komfortu cieplnego dla wybranego pomieszczenia. Obliczenia przeprowadziła dla czterech wartości temperatury bariery termicznej. W analizie tej wzięła pod uwagę 5 grubości warstwy betonu, 7 grubości warstwy styropianu oraz 6 wartości współczynnika przewodzenia ciepła styropianu. Na tej podstawie stwierdziła, że czynniki instalacyjne są istotne dla komfortu cieplnego i zużycia energii, natomiast czynniki budowlane ściślej warstwy konstrukcyjnej jako mniej znaczące. Praca kończy się podsumowaniem.

Na początku rozprawy Doktorantka umieściła spis treści, następnie jej streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz najważniejszych oznaczeń, dziewięć rozdziałów samej pracy i na końcu bibliografię. Bibliografia liczy łącznie 77 pozycji, obejmuje najważniejsze prace badawcze z przedmiotowej literatury, normy oraz strony internetowe. Praca jest obszerna, liczy 220 stron tekstu, zamieszczono w niej 48 tabel i 158 rysunków.

Doktorantka w rozdziale 1 pt. „Wstęp” we „Wprowadzeniu” na jego początku charakteryzuje współczesną tendencję do ograniczenia zużycia energii oraz wykorzystania odnawialnych źródeł energii i przedstawia jej uzasadnienie, zwracając uwagę na możliwość wykorzystania do tego celu przegród aktywowanych termicznie. W następnym podrozdziale o tytule „Uzasadnienie na podstawie danych literaturowych” omawia literaturę dotyczącą aspektów stosowania przegród aktywowanych termicznie do ograniczenia strat ciepła przez przenikanie. W ostatnim, o tytule „Uzasadnienie na podstawie obliczeń” przedstawia w formie tabelarycznej i graficznej wyniki wykonanych przez siebie obliczeń rozkładu temperatury dla przegrody bez elementu aktywowanego termicznie i z nim oraz ich analizę.

W rozdziale 2 pod tytułem „Podstawowe tezy pracy, jej cel i zakres” konstatuje, że: „Podstawową tezą pracy jest stwierdzenie, że przegroda aktywowana termicznie w postaci ściany zewnętrznej zmniejsza zużycie energii przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu cieplnego oraz jest elementem wspomagającym system grzewczy lub chłodniczy”. Zaś celem pracy jest „sprawdzenie parametrów przegrody aktywowanej termicznie – ściany zewnętrznej dla których nastąpi zmniejszenie zużycia energii przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu cieplnego” oraz ustalenie, jakie powinny być rozwiązania tych przegród i wskazanie od czego zależy ono bardziej - od czynników budowlanych czy instalacyjnych?

Rozdział 3 o tytule „Aktualny stan badań na temat przegród aktywowanych termicznie” składa się z trzech podrozdziałów. W pierwszym przedstawia wyniki modelowania i pomiarów eksperymentalnych w obiektach i komorach klimatycznych, zaś w drugim wyniki badań doświadczalnych przegród aktywowanych termicznie. Należy podkreślić, że przedstawiła wyniki opublikowane w 22 pozycjach bibliograficznych.

W rozdziale 4 noszącym nazwę „Model ściany zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie”, na początku dokonała charakteryzacji i klasyfikacji metod numerycznych, następnie wybrała numeryczną metodę obliczeń (metoda bilansów elementarnych) i uzasadniła jej przyjęcie. W dalszej kolejności dla poszczególnych typów komórek wydzielonego, powtarzalnego elementu tej ściany szczegółowo przedstawiła opracowane przez siebie równania bilansu ciepła. W równaniach tych został założony nieustalony przepływ ciepła. Na końcu rozdziału dla różnych temperatur zasilania bariery termicznej przedstawiła wybrane wyniki obliczeń temperatury w przekrojach przegrody: ustalonej po pięciu dobach, dla przebiegu temperatury zewnętrznej po dwóch dobach oraz dla wymuszenia skokowego temperatury zewnętrznej po okresie jednej doby

Doktorantka w rozdziale 5 pt. „Badania eksperymentalne” przedstawiła opis wykonanego w ramach pracy doktorskiej stanowiska badawczego, którego podstawowym elementem była betonowa ściana o grubości 15 cm z umieszczonymi w jej osi symetrii polipropylenowymi przewodami o średnicy 20×2 mm ułożonymi w kształt meandra o rozstawie 10 cm. Ściana ta, o wysokości i długości równej 202 cm, została wyposażona w czujniki temperatury, była ona z obu stron zaizolowana warstwą styropianu o grubości 13 cm i obudowana w odległości 30,5 cm od ściany płytą OSB również pokrytą na zewnątrz 10 cm warstwą styropianu. W pustkach przy ścianie przewidywano przepływ powietrza. Przeprowadzono również kalibrację czujników temperatury poprzez określenie dla różnych temperatur różnic wskazań między nimi a termometrem wzorcowym. Badania na stanowisku doświadczalnym przeprowadzono kolejno dla 4 wartości nastawy temperatury czynnika płynącego w rurkach: 16°C, 18°C, 20°C i 22°C. Badania te przeprowadzono dla trzech stanów przegrody:

- stan I – stabilizacja temperatury na powierzchni przegrody, przy braku przepływu powietrza,
- stan II – przebieg temperatury na zewnątrz przegrody w okresie 2 dni przy nawiewie do zewnętrznej przestrzeni powietrznej przegrody powietrza zewnętrznego,
- stan III – przebieg temperatury przy wymuszeniu skokowym temperatury zewnętrznej.

Rozdział 6 nosi tytuł „Porównanie modelu numerycznego z badaniami doświadczalnymi”. W rozdziale tym Doktorantka porównała dla tych samych danych wejściowych wyniki obliczeń uzyskanych na podstawie opracowanego przez siebie modelu numerycznego z wynikami pomiarów na zbudowanym stanowisku badawczym. Porównania dokonała dla obliczonych wcześniej trzech czasów stany pracy ściany (stabilizacji temperatury, nawiewu powietrza zewnętrznego w czasie dwóch dni, wymuszenia skokowego temperatury zewnętrznej). Po bardzo szczegółowym porównaniu wyników i obliczeń dla poszczególnych stanów pracy przegrody na końcu tego rozdziału przedstawiła wniosek w którym stwierdziła, że „Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że otrzymano dobrą zgodność wyników modelu numerycznego i wyników eksperymentów”.

W rozdziale 7 o tytule „Symulacja stanów eksploatacyjnych systemu opartego na ścianie zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie w programie TRNSYS” przedstawiła wyniki obliczeń symulacji stanów eksploatacyjnych programem TRNSYS dla pomieszczenia w przyjętym do analizy budynku. Na początku rozdziału scharakteryzowała przyjęty do obliczeń budynek i przyjęte założenia dotyczące wymiarów pomieszczeń, konstrukcji przegród, wentylacji pomieszczeń, zysków ciepła od ludzi, urządzeń elektrycznych i oświetlenia oraz przyjęty harmonogram użytkowania budynku. Podała również przyjęte temperatury w pomieszczeniach w okresie zimowym i letnim. W dalszej części przeprowadziła analizę wpływu bariery termicznej na zużycie energii na ogrzewanie budynku. Analizę przeprowadził dla kilkunastu wariantów rozwiązań przegrody. Rozpoczęła ją od ściany o grubości 15 cm zaizolowanej dwustronnie 13 cm styropianu, uwzględniła przy niej 5 różnych temperatur czynnika zasilającego barierę termiczną (16°C, 18°C, 20°C i 22°C) W dalszej kolejności przeanalizowała dla 5 przypadków wpływ grubości betonu (10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm oraz 30 cm) oraz dla 15 cm grubości betonu przeanalizowano zastosowanie styropianu o grubości: 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). Dla ściany o grubości 15 cm zaizolowanej obustronnie 13 cm warstwą styropianu przeprowadziła obliczenia dla różnych przewodności styropianu (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) i 0,050 W/(m·K)). Dla każdego z wariantów przeanalizowano również wpływ braku bariery termicznej na zapotrzebowanie ciepła. Symulacje wykonano z 1 godzinowym krokiem czasowym. Doktorantka przeanalizowała wpływ:

- temperatury zasilania elementu aktywowanego termicznie w ścianie zewnętrznej na zużycie energii na ogrzewanie,
- grubości betonowe części ściany na zużycie energii na ogrzewanie,
- grubości warstwy styropianu,

- wartości współczynnika przewodzenia ciepła styropianu na zużycie energii na ogrzewanie.

Na końcu rozdziału przedstawiła wnioski.

W rozdziale 8 o nazwie „Przegroda aktywowana termicznie a komfort cieplny” wykorzystując możliwości programu TRNSYS określiła w przyjętym budynku dla analizowanych wcześniej wariantów wskaźniki oceny komfortu cieplnego: wskaźnik PMV (ocena odczucia) oraz wskaźnik PPD (przewidywany procent osób niezadowolonych), dla wartości izolacyjnej odzieży przebywających w pomieszczeniu ludzi 1 clo ($0.155 \text{ m}^2\text{K/W}$) i o aktywności 1 met, czyli znajdujących się w rozluźnionej pozycji siedzącej. Wyniki obliczeń wskaźników PMV i PPD dla pomieszczenia nr 5 (pokój), dla analizowanych przypadków przedstawiła na wykresach. Analizowała wpływ na wskaźniki komfortu następujących wielkości: temperatury zasilania elementu aktywowanego termicznie w ścianie zewnętrznej, grubości ściany betonowej, grubości izolacji (styropianu) oraz grubości styropianu. We wnioskach z tego rozdziału omawia dla analizowanych przypadków otrzymane wartości wskaźników.

W rozdziale 9 o tytule „Podsumowanie”, w pierwszej jego części pt. „Wnioski końcowe” omawia podsumowanie treści poszczególnych rozdziałów rozprawy, opisując zaprezentowane w nich wnioski i wyniki. W drugiej części o tytule „Potencjał naukowy do kolejnych badań i analiz” przedstawia możliwości wykorzystania opracowanego przez nią modelu przegrody aktywowanej termicznie i rozszerzenia badań.

3. Ocena rozprawy

Celem recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Marii Teresy Małek było określenie parametrów przegrody aktywowanej termicznie – ściany zewnętrznej dla których nastąpi zmniejszenie zużycia energii przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu cieplnego w pomieszczeniach. Następnie wskazanie, jaki wpływ ma rozwiązanie budowlane czy to rozwiązanie zależy od czynników budowlanych i instalacyjnych? Czy elementy budowlane (grubości – materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych) wpływają i w jakim stopniu na zużycie energii? Czy ważniejszym elementem jest właściwe dobranie temperatury czynnika grzejącego? W tym celu doktorantka opracowała numeryczny i fizyczny model ściany zewnętrznej z barierą termiczną (przegrody aktywowanej termicznie). Porównała wyniki obliczeń numerycznych z wynikami badań doświadczalnych dla procesu stabilizacji temperatury na powierzchni przegrody, dla przebiegu temperatury zewnętrznej w okresie 2 dni, dla wymuszenia skokowego temperatury zewnętrznej. Otrzymała zadowalającą zgodność wyników obliczeń numerycznych i badań na modelu fizycznym przegrody.

Dla wybranego pomieszczenia przyjętego do analizy budynku w programie TRNSYS przeprowadziła wielowariantowe obliczenia wpływu temperatury bariery termicznej, grubości warstwy nośnej i izolacji oraz przewodności cieplnej przegrody na zużycie energii i wartości wskaźników komfortu cieplnego PMV i PPD. Na końcu rozprawy syntetycznie ją podsumowała. Doktorantka zrealizowała zaplanowane badania, z podsumowania wynika, że cel rozprawy został w pełni przez nią zrealizowany.

Recenzowana rozprawa jest logiczna i przemyślana. Praca została wykonana rzetelnie, jest kompletna, zawiera rozległą analizę literatury, interesujące i szerokie badania eksperymentalne oraz rozległe obliczenia numeryczne. Otrzymane wyniki mogą być wdrożone w praktyce inżynierskiej. Nieliczne błędy stylistyczne i literowe zaznaczyłem na sprawdzanym egzemplarzu pracy. Niestety Doktorantka nie ustrzegła się przed uchybieniami. Istotnych uwag i zastrzeżeń do przeprowadzonych badań oraz pokazanych wyników w pracy nie mam.

4. Uwagi ogólne

Wątpliwości budzi sformułowanie tezy, Doktorantka w tezie zakłada „że przegroda aktywowana termicznie w postaci ściany zewnętrznej zmniejsza zużycie energii”, nie definiując, o jaką energię chodzi, czy energię wyprowadzaną z wnętrza budynku, energię odprowadzaną z bariery termicznej, czy energię odprowadzaną przez przegrodę aktywowaną termicznie (z barierą termiczną) na zewnątrz. Domyślam się, że Doktorantce chodzi o energię oddawaną z pomieszczenia przez taką przegrodę. Należało również zwrócić uwagę na fakt, że wykorzystywanie bariery termicznej nie jest darmowe – związane jest z kosztami inwestycyjnymi oraz eksploatacyjnymi i właściwie to one decydują o opłacalności stosowania przegród zewnętrznych aktywowanych termicznie.

Model numeryczny ściany zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie został opisany bardzo lakonicznie, z opisu nie wynika, czy dotyczy całej przegrody czy jej elementu.

W rozprawie zawarto bardzo dużą liczbę tabel i wykresów, ze względu na jednorodność niektórych z nich należało wydzielić w rozprawie załącznik i część z nich tam umieścić, należało również umieścić w nich Tablicę 4.1.

W podsumowaniu Doktorantka stwierdziła, że „W rozprawie skoncentrowano się na udowodnieniu stwierdzenia, że przegroda aktywowana termicznie w postaci ściany zewnętrznej zmniejsza zużycie energii przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu cieplnego oraz jest elementem wspomagającym system grzewczy lub chłodniczy”, natomiast nie ustosunkowała się do tego, czy zostało w rozprawie to udowodnione, czy nie.

Napisała również, że „W pracy wykazano, że opory cieplne warstwy konstrukcyjnej nie wpływają na wskaźniki komfortu cieplnego” dobrze by było, gdyby dodała, że dotyczy to analizowanych w rozprawie rozwiązań ściany zewnętrznej aktywowanej termicznie.

We wnioskach stwierdziła również, że „czynniki instalacyjne, a co się z tym wiąże rozwiązanie źródła ciepła istotnie wpływa na komfort cieplny”, ponieważ Doktorantka analizowała wpływ temperatury czynnika płynącego w barierze termicznej na komfort cieplny, a nie wpływ rozwiązania zasilającego ją źródła ciepła, wniosek ten powinien być inaczej sformułowany.

5. Uwagi szczegółowe

W czasie czytania pracy nasunęły mi się pewne uwagi, podałem je poniżej:

- grubość ściany wynosi $15 + 2 \times 13 = 41$ [cm], a nie 43 [cm] (str. 31 w. 6),
- nie podano, czym się różni w modelu przewodzenia ciepła „komórka” od „elementu” czy „segmentu” (str. 32),
- na wykresach w rozdziale 4 nie opisano temperatur na zewnątrz przegrody (rys. 4.2 – 4.9),
- przy przedstawianiu wyników pomiarów eksperymentalnych na wykresach w funkcji czasu na osi poziomej należało podać czas a nie numer pomiaru (rys. 5.39 – 5.53), rysunki nie są czytelne,
- należało wyjaśnić, skąd się wzięły takie duże wahania temperatury powietrza na rysunkach 5.49 – 5.53, w jaki sposób zostały one uwzględnione przy opracowaniu wyników?,
- należało wyjaśnić dlaczego czas reakcji czujnika temperatury POW_W_1 jest najkrótszy (tabl. 5.4. 5.5),
- należało podać wartości strumieni powietrza przy prowadzonych badaniach (rozdz. 5),
- w tytule tablic 6.1 – 6.8 należało wyraźnie napisać o jaką analizowaną różnicę temperatur chodzi,
- należało wyjaśnić z czego wynika wzrost i spadek temperatury S_Z_2 i S_Z_2-model i różnice pomiędzy nimi na rysunku 6.4. – 6.8.,
- należało skomentować lub inaczej podejść do ogrzewania i chłodzenia na początku i końcu sezonu letniego na rysunkach dotyczących zapotrzebowania na moc grzejną i chłodniczą (rozdz. 7.2.),

6. Uwagi o charakterze redakcyjnym

Uwagi o charakterze redakcyjnym zaznaczyłem w sprawdzonym egzemplarzu pracy. Praca napisana jest poprawnym językiem, nie zauważyłem rzucających się w oczy błędów stylistycznych. Kolejność rozdziałów i treści dysertacji jest przemyślana i logiczna, a układ pracy jest właściwy. Rozprawa pod względem edytorskim opracowana jest starannie.

7. Podsumowanie oceny rozprawy

Recenzent stwierdza, że rozprawa doktorska mgr inż. Marii Teresy Małek p.t. „*Wpływ parametrów przegrody aktywowanej termicznie na komfort cieplny i zużycie energii*” stoi na dobrym poziomie naukowym i jest oryginalnym oraz cennym osiągnięciem naukowym Doktorantki.

W ramach pracy Doktorantka:

- 1) przedstawiła wyniki przeprowadzonego przeglądu literatury na temat przegród zewnętrznych aktywowanych termicznie,
- 2) opracowała własny numeryczny model obliczeniowy, pozwalający na określenie przepływu ciepła przez przegrodę aktywowaną termicznie. Dla przyjętego modelu opracowała algorytmy obliczeniowe i stworzyła program komputerowy.
- 3) Opracowała koncepcję i wykonała stanowisko badawcze przegrody aktywowanej termicznie (z barierą termiczną), o skali 1 do 1 umożliwiające przeprowadzenie badań eksperymentalnych oraz analizę współpracy termicznej takiej przegrody z pomieszczeniem i jej otoczeniem zewnętrznym.
- 4) Przeprowadziła badania eksperymentalne wpływu na pole temperatury w przegrodzie stabilizacji temperatury na powierzchni przegrody, zmian temperatury zewnętrznej w okresie dwóch dób i skokowego wzrostu temperatury zewnętrznej w okresie doby.
- 5) Wykorzystując opracowany program komputerowy przeprowadziła analizę i porównanie wyników badań eksperymentalnych i uzyskanych z modelu numerycznego. Stwierdziła dobrą zgodność wyników.
- 6) Dla wybranego pomieszczenia dokonała w programie TRNSYS symulacji stanów eksploatacyjnych systemu opartego na ścianie zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie. Określiła wpływ parametrów przegrody i temperatury czynnika zasilającego barierę termiczną na zużycie ciepła.
- 7) Dla analizowanego pomieszczenia wykorzystując program TRNSYS określiła wpływ parametrów przegrody i temperatury czynnika zasilającego barierę

termiczną na wskaźniki charakteryzujące komfort cieplny. Porównała otrzymane wartości z uzyskanymi dla przegrody bez bariery termicznej.

Uważam, że oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego zaprezentowanym w rozprawie jest opracowany i zweryfikowany przez Doktorantkę model numeryczny przegrody aktywowanej termicznie oraz opracowany na jego podstawie program komputerowy, który został zweryfikowany na podstawie pomiarów doświadczalnych, umożliwiając przeprowadzenie analizy przepływu ciepła przez taką przegrodę dla warunków rzeczywistych. Można go zastosować dla pomieszczeń o różnej kategorii i różnych warunków eksploatacji.

Doktorantka w ostatniej części swojej rozprawy opisała dalsze, niezbadane dotychczas, zagadnienia związane z przedstawioną i analizowaną w rozprawie tematyką i na tej podstawie sprecyzowała planowane kierunki dalszych badań wykorzystujące opracowany przez Nią model symulacyjny przegrody aktywowanej termicznie.

W ostatnich latach coraz bardziej zwracana jest uwaga na zmniejszenie zużycia energii pierwotnej i wykorzystanie do ogrzewania pomieszczeń ciepła o niskiej temperaturze z odnawialnych źródeł energii lub niskoparametrowego ciepła odpadowego. Jeżeli temperatura czynnika jest zbliżona lub niższa od temperatury w pomieszczeniu do obniżenia zużycia ciepła na ogrzewanie w okresie grzewczym mogą zostać wykorzystane w tym celu przegrody zewnętrzne z aktywną barierą termiczną, spowoduje to obniżenie poboru ciepła z podstawowego źródła ciepła, jeżeli natomiast w okresie letnim chcemy zmniejszyć temperaturę w pomieszczeniach to zastosowanie przegrody aktywnej termicznie o temperaturze niższej niż wymagana w pomieszczeniu spowoduje ograniczenie zysków ciepła przez przegrodę oraz obniżenie temperatury w pomieszczeniu. Doktorantka podjęła się realizacji ciekawego zadania dotyczącego zbadania wpływu parametrów przegrody aktywowanej termicznie i temperatury czynnika dopływającego do przegrody na zużycie ciepła na ogrzewanie i wartość wskaźników komfortu cieplnego. Jak już stwierdziłem, wyniki przeprowadzonych przez Doktorantkę badań przegrody aktywowanej termicznie potwierdziły, że podjęte zadanie zostało pomyślnie zrealizowane. W ten sposób zrealizowała cel postawiony w rozprawie i potwierdziła przyjętą w niej tezę.

8. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska **mgr inż. Marii Teresy Małek p.t. „Wpływ parametrów przegrody aktywowanej termicznie na komfort cieplny i zużycie energii”** spełnia wszystkie wymagania stawiane doktorom w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018, poz.1668, z późn. zm.). Reprezentuje

ona dobry poziom naukowy, ponadto zostały przedstawione w niej wyniki przeprowadzonych przez Doktorantkę obszernych badań symulacyjnych wykorzystujących napisany przez Nią program komputerowy, opracowany na podstawie algorytmów opartych na własnym modelu numerycznym i zweryfikowanym doświadczalnie w skali 1 do 1, podnosi to dodatkowo wartość rozprawy. Wyniki pracy mają aspekt praktyczny i mogą być wykorzystane w praktyce inżynierskiej przy projektowaniu takich przegród zewnętrznych.

Przedkładam Radzie Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej w Poznaniu niniejszą recenzję z wnioskiem o przyjęcie pracy jako rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Handwritten signature in blue ink, reading "Władysław Szaflik".

prof. dr hab. inż. Władysław Szaflik

prof. dr hab. inż. Władysław Szaflik
Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Ciepłownictwa
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego
70-310 Szczecin, Al. Piastów 50
e-mail: wladyslaw.szaflik@zut.edu.pl

Szczecin, dn. 15 stycznia 2023 r.

R E C E N Z J A

Pracy doktorskiej **mgr inż. Marii Teresy MAŁEK**
pt. „**WPLYW PARAMETRÓW PRZEGRODY AKTYWOWANEJ TERMICZNIE
NA KOMFORT CIEPLNY I ZUŻYCIE ENERGII**”

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzje opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej w Poznaniu (pismo: WISIE.63.74.2022 z dnia 24.11.2022 r.). Podstawą opracowania jest egzemplarz pracy doktorskiej, literatura naukowa dotycząca zakresu pracy oraz wyniki badań własnych.

2. Charakterystyka rozprawy

Tytuł dysertacji ma postać „*Wpływ parametrów przegrody aktywowanej termicznie na komfort cieplny i zużycie energii*”. Celem rozprawy jest określenie parametrów zewnętrznej przegrody aktywowanej termicznie (z barierą termiczną) oraz temperatury bariery, przy których nastąpi zmniejszenie zużycia energii i dla których będą zapewnione warunki komfortu cieplnego w pomieszczeniu oraz ustalenie stopnia wpływu na zużycie energii wartości parametrów elementów budowlanych (grubość i przewodność cieplna użytych materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych) oraz temperatury bariery. Doktorantka przyjęła, że przegroda aktywowana termicznie będzie zasilana z indywidualnych źródeł energii niepowiązanych z systemami zaopatrzenia w gaz, energię elektryczną lub ciepło.

Doktorantka po wstępie, z którego wynikało uzasadnienie podjętego tematu pracy, podała tezę pracy, jej cel oraz zakres i przedstawiła stan badań dotyczących przegród aktywowanych termicznie. W dalszej części dysertacji, omówiła opracowany przez siebie model numeryczny ściany zewnętrznej z barierą termiczną i przedstawiła wyniki obliczeń wybranych stanów przegrody dla przyjętych parametrów przegrody. Przeprowadziła również

badania eksperymentalne dla wybranych stanów wykonanego modelu fizycznego przegrody i parametrów przyjętych w modelu numerycznym. Następnie porównała wyniki badań eksperymentalnych z uzyskanymi z modelu fizycznego i we wnioskach stwierdziła dobrą zgodność modelu numerycznego i wyników eksperymentalnych. W dalszej części pracy dla wybranego budynku ze ścianami zewnętrznymi z elementami aktywowanymi termicznie przeprowadziła w programie TRNSYS symulacje stanów eksploatacyjnych określając zużycie energii i warunki komfortu cieplnego dla wybranego pomieszczenia. Obliczenia przeprowadziła dla czterech wartości temperatury bariery termicznej. W analizie tej wzięła pod uwagę 5 grubości warstwy betonu, 7 grubości warstwy styropianu oraz 6 wartości współczynnika przewodzenia ciepła styropianu. Na tej podstawie stwierdziła, że czynniki instalacyjne są istotne dla komfortu cieplnego i zużycia energii, natomiast czynniki budowlane ściślej warstwy konstrukcyjnej jako mniej znaczące. Praca kończy się podsumowaniem.

Na początku rozprawy Doktorantka umieściła spis treści, następnie jej streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz najważniejszych oznaczeń, dziewięć rozdziałów samej pracy i na końcu bibliografię. Bibliografia liczy łącznie 77 pozycji, obejmuje najważniejsze prace badawcze z przedmiotowej literatury, normy oraz strony internetowe. Praca jest obszerna, liczy 220 stron tekstu, zamieszczono w niej 48 tabel i 158 rysunków.

Doktorantka w rozdziale 1 pt. „Wstęp” we „Wprowadzeniu” na jego początku charakteryzuje współczesną tendencję do ograniczenia zużycia energii oraz wykorzystania odnawialnych źródeł energii i przedstawia jej uzasadnienie, zwracając uwagę na możliwość wykorzystania do tego celu przegród aktywowanych termicznie. W następnym podrozdziale o tytule „Uzasadnienie na podstawie danych literaturowych” omawia literaturę dotyczącą aspektów stosowania przegród aktywowanych termicznie do ograniczenia strat ciepła przez przenikanie. W ostatnim, o tytule „Uzasadnienie na podstawie obliczeń” przedstawia w formie tabelarycznej i graficznej wyniki wykonanych przez siebie obliczeń rozkładu temperatury dla przegrody bez elementu aktywowanego termicznie i z nim oraz ich analizę.

W rozdziale 2 pod tytułem „Podstawowe tezy pracy, jej cel i zakres” konstatuje, że: „Podstawową tezą pracy jest stwierdzenie, że przegroda aktywowana termicznie w postaci ściany zewnętrznej zmniejsza zużycie energii przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu cieplnego oraz jest elementem wspomagającym system grzewczy lub chłodniczy”. Zaś celem pracy jest „sprawdzenie parametrów przegrody aktywowanej termicznie – ściany zewnętrznej dla których nastąpi zmniejszenie zużycia energii przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu cieplnego” oraz ustalenie, jakie powinny być rozwiązania tych przegród i wskazanie od czego zależy ono bardziej - od czynników budowlanych czy instalacyjnych?

Rozdział 3 o tytule „Aktualny stan badań na temat przegród aktywowanych termicznie” składa się z trzech podrozdziałów. W pierwszym przedstawia wyniki modelowania i pomiarów eksperymentalnych w obiektach i komorach klimatycznych, zaś w drugim wyniki badań doświadczalnych przegród aktywowanych termicznie. Należy podkreślić, że przedstawiła wyniki opublikowane w 22 pozycjach bibliograficznych.

W rozdziale 4 noszącym nazwę „Model ściany zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie”, na początku dokonała charakteryzacji i klasyfikacji metod numerycznych, następnie wybrała numeryczną metodę obliczeń (metoda bilansów elementarnych) i uzasadniła jej przyjęcie. W dalszej kolejności dla poszczególnych typów komórek wydzielonego, powtarzalnego elementu tej ściany szczegółowo przedstawiła opracowane przez siebie równania bilansu ciepła. W równaniach tych został założony nieustalony przepływ ciepła. Na końcu rozdziału dla różnych temperatur zasilania bariery termicznej przedstawiła wybrane wyniki obliczeń temperatury w przekrojach przegrody: ustalonej po pięciu dobach, dla przebiegu temperatury zewnętrznej po dwóch dobach oraz dla wymuszenia skokowego temperatury zewnętrznej po okresie jednej doby

Doktorantka w rozdziale 5 pt. „Badania eksperymentalne” przedstawiła opis wykonanego w ramach pracy doktorskiej stanowiska badawczego, którego podstawowym elementem była betonowa ściana o grubości 15 cm z umieszczonymi w jej osi symetrii polipropylenowymi przewodami o średnicy 20×2 mm ułożonymi w kształt meandra o rozstawie 10 cm. Ściana ta, o wysokości i długości równej 202 cm, została wyposażona w czujniki temperatury, była ona z obu stron zaizolowana warstwą styropianu o grubości 13 cm i obudowana w odległości 30,5 cm od ściany płytą OSB również pokrytą na zewnątrz 10 cm warstwą styropianu. W pustkach przy ścianie przewidywano przepływ powietrza. Przeprowadzono również kalibrację czujników temperatury poprzez określenie dla różnych temperatur różnic wskazań między nimi a termometrem wzorcowym. Badania na stanowisku doświadczalnym przeprowadzono kolejno dla 4 wartości nastawy temperatury czynnika płynącego w rurkach: 16°C, 18°C, 20°C i 22°C. Badania te przeprowadzono dla trzech stanów przegrody:

- stan I – stabilizacja temperatury na powierzchni przegrody, przy braku przepływu powietrza,
- stan II – przebieg temperatury na zewnątrz przegrody w okresie 2 dni przy nawiewie do zewnętrznej przestrzeni powietrznej przegrody powietrza zewnętrznego,
- stan III – przebieg temperatury przy wymuszeniu skokowym temperatury zewnętrznej.

Rozdział 6 nosi tytuł „Porównanie modelu numerycznego z badaniami doświadczalnymi”. W rozdziale tym Doktorantka porównała dla tych samych danych wejściowych wyniki obliczeń uzyskanych na podstawie opracowanego przez siebie modelu numerycznego z wynikami pomiarów na zbudowanym stanowisku badawczym. Porównania dokonała dla obliczonych wcześniej trzech czasów stany pracy ściany (stabilizacji temperatury, nawiewu powietrza zewnętrznego w czasie dwóch dni, wymuszenia skokowego temperatury zewnętrznej). Po bardzo szczegółowym porównaniu wyników i obliczeń dla poszczególnych stanów pracy przegrody na końcu tego rozdziału przedstawiła wniosek w którym stwierdziła, że „Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że otrzymano dobrą zgodność wyników modelu numerycznego i wyników eksperymentów”.

W rozdziale 7 o tytule „Symulacja stanów eksploatacyjnych systemu opartego na ścianie zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie w programie TRNSYS” przedstawiła wyniki obliczeń symulacji stanów eksploatacyjnych programem TRNSYS dla pomieszczenia w przyjętym do analizy budynku. Na początku rozdziału scharakteryzowała przyjęty do obliczeń budynek i przyjęte założenia dotyczące wymiarów pomieszczeń, konstrukcji przegród, wentylacji pomieszczeń, zysków ciepła od ludzi, urządzeń elektrycznych i oświetlenia oraz przyjęty harmonogram użytkowania budynku. Podała również przyjęte temperatury w pomieszczeniach w okresie zimowym i letnim. W dalszej części przeprowadziła analizę wpływu bariery termicznej na zużycie energii na ogrzewanie budynku. Analizę przeprowadziła dla kilkunastu wariantów rozwiązań przegrody. Rozpoczęła ją od ściany o grubości 15 cm zaizolowanej dwustronnie 13 cm styropianu, uwzględniła przy niej 5 różnych temperatur czynnika zasilającego barierę termiczną (16°C, 18°C, 20°C i 22°C). W dalszej kolejności przeanalizowała dla 5 przypadków wpływ grubości betonu (10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm oraz 30 cm) oraz dla 15 cm grubości betonu przeanalizowano zastosowanie styropianu o grubości: 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). Dla ściany o grubości 15 cm zaizolowanej obustronnie 13 cm warstwą styropianu przeprowadziła obliczenia dla różnych przewodności styropianu (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) i 0,050 W/(m·K)). Dla każdego z wariantów przeanalizowano również wpływ braku bariery termicznej na zapotrzebowanie ciepła. Symulacje wykonano z 1 godzinowym krokiem czasowym. Doktorantka przeanalizowała wpływ:

- temperatury zasilania elementu aktywowanego termicznie w ścianie zewnętrznej na zużycie energii na ogrzewanie,
- grubości betonowej części ściany na zużycie energii na ogrzewanie,
- grubości warstwy styropianu,

- wartości współczynnika przewodzenia ciepła styropianu na zużycie energii na ogrzewanie.

Na końcu rozdziału przedstawiła wnioski.

W rozdziale 8 o nazwie „Przegroda aktywowana termicznie a komfort cieplny” wykorzystując możliwości programu TRNSYS określiła w przyjętym budynku dla analizowanych wcześniej wariantów wskaźniki oceny komfortu cieplnego: wskaźnik PMV (ocena odczucia) oraz wskaźnik PPD (przewidywany procent osób niezadowolonych), dla wartości izolacyjnej odzieży przebywających w pomieszczeniu ludzi 1 clo ($0.155 \text{ m}^2\text{K/W}$) i o aktywności 1 met, czyli znajdujących się w rozluźnionej pozycji siedzącej. Wyniki obliczeń wskaźników PMV i PPD dla pomieszczenia nr 5 (pokój), dla analizowanych przypadków przedstawiła na wykresach. Analizowała wpływ na wskaźniki komfortu następujących wielkości: temperatury zasilania elementu aktywowanego termicznie w ścianie zewnętrznej, grubości ściany betonowej, grubości izolacji (styropianu) oraz grubości styropianu. We wnioskach z tego rozdziału omawia dla analizowanych przypadków otrzymane wartości wskaźników.

W rozdziale 9 o tytule „Podsumowanie”, w pierwszej jego części pt. „Wnioski końcowe” omawia podsumowanie treści poszczególnych rozdziałów rozprawy, opisując zaprezentowane w nich wnioski i wyniki. W drugiej części o tytule „Potencjał naukowy do kolejnych badań i analiz” przedstawia możliwości wykorzystania opracowanego przez nią modelu przegrody aktywowanej termicznie i rozszerzenia badań.

3. Ocena rozprawy

Celem recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Marii Teresy Małek było określenie parametrów przegrody aktywowanej termicznie – ściany zewnętrznej dla których nastąpi zmniejszenie zużycia energii przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu cieplnego w pomieszczeniach. Następnie wskazanie, jaki wpływ ma rozwiązanie budowlane czy to rozwiązanie zależy od czynników budowlanych i instalacyjnych? Czy elementy budowlane (grubości – materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych) wpływają i w jakim stopniu na zużycie energii? Czy ważniejszym elementem jest właściwe dobranie temperatury czynnika grzejnego? W tym celu doktorantka opracowała numeryczny i fizyczny model ściany zewnętrznej z barierą termiczną (przegrody aktywowanej termicznie). Porównała wyniki obliczeń numerycznych z wynikami badań doświadczalnych dla procesu stabilizacji temperatury na powierzchni przegrody, dla przebiegu temperatury zewnętrznej w okresie 2 dni, dla wymuszenia skokowego temperatury zewnętrznej. Otrzymała zadowalającą zgodność wyników obliczeń numerycznych i badań na modelu fizycznym przegrody.

Dla wybranego pomieszczenia przyjętego do analizy budynku w programie TRNSYS przeprowadziła wielowariantowe obliczenia wpływu temperatury bariery termicznej, grubości warstwy nośnej i izolacji oraz przewodności cieplnej przegrody na zużycie energii i wartości wskaźników komfortu cieplnego PMV i PPD. Na końcu rozprawy syntetycznie ją podsumowała. Doktorantka zrealizowała zaplanowane badania, z podsumowania wynika, że cel rozprawy został w pełni przez nią zrealizowany.

Recenzowana rozprawa jest logiczna i przemyślana. Praca została wykonana rzetelnie, jest kompletna, zawiera rozległą analizę literatury, interesujące i szerokie badania eksperymentalne oraz rozległe obliczenia numeryczne. Otrzymane wyniki mogą być wdrożone w praktyce inżynierskiej. Nieliczne błędy stylistyczne i literowe zaznaczyłem na sprawdzanym egzemplarzu pracy. Niestety Doktorantka nie ustrzegła się przed uchybieniami. Istotnych uwag i zastrzeżeń do przeprowadzonych badań oraz pokazanych wyników w pracy nie mam.

4. Uwagi ogólne

Wątpliwości budzi sformułowanie tezy, Doktorantka w tezie zakłada „że przegroda aktywowana termicznie w postaci ściany zewnętrznej zmniejsza zużycie energii”, nie definiując, o jaką energię chodzi, czy energię wyprowadzaną z wnętrza budynku, energię odprowadzaną z bariery termicznej, czy energię odprowadzaną przez przegrodę aktywowaną termicznie (z barierą termiczną) na zewnątrz. Domyślam się, że Doktorantce chodzi o energię oddawaną z pomieszczenia przez taką przegrodę. Należało również zwrócić uwagę na fakt, że wykorzystywanie bariery termicznej nie jest darmowe – związane jest z kosztami inwestycyjnymi oraz eksploatacyjnymi i właściwie to one decydują o opłacalności stosowania przegród zewnętrznych aktywowanych termicznie.

Model numeryczny ściany zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie został opisany bardzo lakonicznie, z opisu nie wynika, czy dotyczy całej przegrody czy jej elementu.

W rozprawie zawarto bardzo dużą liczbę tabel i wykresów, ze względu na jednorodność niektórych z nich należało wydzielić w rozprawie załącznik i część z nich tam umieścić, należało również umieścić w nich Tablicę 4.1.

W podsumowaniu Doktorantka stwierdziła, że „W rozprawie skoncentrowano się na udowodnieniu stwierdzenia, że przegroda aktywowana termicznie w postaci ściany zewnętrznej zmniejsza zużycie energii przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu cieplnego oraz jest elementem wspomagającym system grzewczy lub chłodniczy”, natomiast nie ustosunkowała się do tego, czy zostało w rozprawie to udowodnione, czy nie.

Napisała również, że „W pracy wykazano, że opory cieplne warstwy konstrukcyjnej nie wpływają na wskaźniki komfortu cieplnego” dobrze by było, gdyby dodała, że dotyczy to analizowanych w rozprawie rozwiązań ściany zewnętrznej aktywowanej termicznie.

We wnioskach stwierdziła również, że „czynniki instalacyjne, a co się z tym wiąże rozwiązanie źródła ciepła istotnie wpływa na komfort cieplny”, ponieważ Doktorantka analizowała wpływ temperatury czynnika płynącego w barierze termicznej na komfort cieplny, a nie wpływ rozwiązania zasilającego ją źródła ciepła, wniosek ten powinien być inaczej sformułowany.

5. Uwagi szczegółowe

W czasie czytania pracy nasunęły mi się pewne uwagi, podałem je poniżej:

- grubość ściany wynosi $15 + 2 \times 13 = 41$ [cm], a nie 43 [cm] (str. 31 w. 6),
- nie podano, czym się różni w modelu przewodzenia ciepła „komórka” od „elementu” czy „segmentu” (str. 32),
- na wykresach w rozdziale 4 nie opisano temperatur na zewnątrz przegrody (rys. 4.2 – 4.9),
- przy przedstawianiu wyników pomiarów eksperymentalnych na wykresach w funkcji czasu na osi poziomej należało podać czas a nie numer pomiaru (rys. 5.39 – 5.53), rysunki nie są czytelne,
- należało wyjaśnić, skąd się wzięły takie duże wahania temperatury powietrza na rysunkach 5.49 – 5.53, w jaki sposób zostały one uwzględnione przy opracowaniu wyników?,
- należało wyjaśnić dlaczego czas reakcji czujnika temperatury POW_W_1 jest najkrótszy (tabl. 5.4. 5.5),
- należało podać wartości strumieni powietrza przy prowadzonych badaniach (rozdz. 5),
- w tytule tablic 6.1 – 6.8 należało wyraźnie napisać o jaką analizowaną różnicę temperatur chodzi,
- należało wyjaśnić z czego wynika wzrost i spadek temperatury S_Z_2 i S_Z_2-model i różnice pomiędzy nimi na rysunku 6.4. – 6.8.,
- należało skomentować lub inaczej podejść do ogrzewania i chłodzenia na początku i końcu sezonu letniego na rysunkach dotyczących zapotrzebowania na moc grzejną i chłodniczą (rozdz. 7.2.),

6. Uwagi o charakterze redakcyjnym

Uwagi o charakterze redakcyjnym zaznaczyłem w sprawdzonym egzemplarzu pracy. Praca napisana jest poprawnym językiem, nie zauważyłem rzucających się w oczy błędów stylistycznych. Kolejność rozdziałów i treści dysertacji jest przemyślana i logiczna, a układ pracy jest właściwy. Rozprawa pod względem edytorskim opracowana jest starannie.

7. Podsumowanie oceny rozprawy

Recenzent stwierdza, że rozprawa doktorska mgr inż. Marii Teresy Małek p.t. „*Wpływ parametrów przegrody aktywowanej termicznie na komfort cieplny i zużycie energii*” stoi na dobrym poziomie naukowym i jest oryginalnym oraz cennym osiągnięciem naukowym Doktorantki.

W ramach pracy Doktorantka:

- 1) przedstawiła wyniki przeprowadzonego przeglądu literatury na temat przegród zewnętrznych aktywowanych termicznie,
- 2) opracowała własny numeryczny model obliczeniowy, pozwalający na określenie przepływu ciepła przez przegrodę aktywowaną termicznie. Dla przyjętego modelu opracowała algorytmy obliczeniowe i stworzyła program komputerowy.
- 3) Opracowała koncepcję i wykonała stanowisko badawcze przegrody aktywowanej termicznie (z barierą termiczną), o skali 1 do 1 umożliwiające przeprowadzenie badań eksperymentalnych oraz analizę współpracy termicznej takiej przegrody z pomieszczeniem i jej otoczeniem zewnętrznym.
- 4) Przeprowadziła badania eksperymentalne wpływu na pole temperatury w przegrodzie stabilizacji temperatury na powierzchni przegrody, zmian temperatury zewnętrznej w okresie dwóch dób i skokowego wzrostu temperatury zewnętrznej w okresie doby.
- 5) Wykorzystując opracowany program komputerowy przeprowadziła analizę i porównanie wyników badań eksperymentalnych i uzyskanych z modelu numerycznego. Stwierdziła dobrą zgodność wyników.
- 6) Dla wybranego pomieszczenia dokonała w programie TRNSYS symulacji stanów eksploatacyjnych systemu opartego na ścianie zewnętrznej z elementem aktywowanym termicznie. Określiła wpływ parametrów przegrody i temperatury czynnika zasilającego barierę termiczną na zużycie ciepła.
- 7) Dla analizowanego pomieszczenia wykorzystując program TRNSYS określiła wpływ parametrów przegrody i temperatury czynnika zasilającego barierę

termiczną na wskaźniki charakteryzujące komfort cieplny. Porównała otrzymane wartości z uzyskanymi dla przegrody bez bariery termicznej.

Uważam, że oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego zaprezentowanym w rozprawie jest opracowany i zweryfikowany przez Doktorantkę model numeryczny przegrody aktywowanej termicznie oraz opracowany na jego podstawie program komputerowy, który został zweryfikowany na podstawie pomiarów doświadczalnych, umożliwiając przeprowadzenie analizy przepływu ciepła przez taką przegrodę dla warunków rzeczywistych. Można go zastosować dla pomieszczeń o różnej kategorii i różnych warunków eksploatacji.

Doktorantka w ostatniej części swojej rozprawy opisała dalsze, niezbadane dotychczas, zagadnienia związane z przedstawioną i analizowaną w rozprawie tematyką i na tej podstawie sprecyzowała planowane kierunki dalszych badań wykorzystujące opracowany przez Nią model symulacyjny przegrody aktywowanej termicznie.

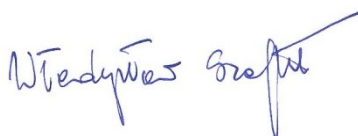
W ostatnich latach coraz bardziej zwracana jest uwaga na zmniejszenie zużycia energii pierwotnej i wykorzystanie do ogrzewania pomieszczeń ciepła o niskiej temperaturze z odnawialnych źródeł energii lub niskoparametrowego ciepła odpadowego. Jeżeli temperatura czynnika jest zbliżona lub niższa od temperatury w pomieszczeniu do obniżenia zużycia ciepła na ogrzewanie w okresie grzewczym mogą zostać wykorzystane w tym celu przegrody zewnętrzne z aktywną barierą termiczną, spowoduje to obniżenie poboru ciepła z podstawowego źródła ciepła, jeżeli natomiast w okresie letnim chcemy zmniejszyć temperaturę w pomieszczeniach to zastosowanie przegrody aktywnej termicznie o temperaturze niższej niż wymagana w pomieszczeniu spowoduje ograniczenie zysków ciepła przez przegrodę oraz obniżenie temperatury w pomieszczeniu. Doktorantka podjęła się realizacji ciekawego zadania dotyczącego zbadania wpływu parametrów przegrody aktywowanej termicznie i temperatury czynnika dopływającego do przegrody na zużycie ciepła na ogrzewanie i wartość wskaźników komfortu cieplnego. Jak już stwierdziłem, wyniki przeprowadzonych przez Doktorantkę badań przegrody aktywowanej termicznie potwierdziły, że podjęte zadanie zostało pomyślnie zrealizowane. W ten sposób zrealizowała cel postawiony w rozprawie i potwierdziła przyjętą w niej tezę.

8. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska **mgr inż. Marii Teresy Małek p.t. „Wpływ parametrów przegrody aktywowanej termicznie na komfort cieplny i zużycie energii”** spełnia wszystkie wymagania stawiane doktorom w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018, poz.1668, z późn. zm.). Reprezentuje

ona dobry poziom naukowy, ponadto zostały przedstawione w niej wyniki przeprowadzonych przez Doktorantkę obszernych badań symulacyjnych wykorzystujących napisany przez Nią program komputerowy, opracowany na podstawie algorytmów opartych na własnym modelu numerycznym i zweryfikowanym doświadczalnie w skali 1 do 1, podnosi to dodatkowo wartość rozprawy. Wyniki pracy mają aspekt praktyczny i mogą być wykorzystane w praktyce inżynierskiej przy projektowaniu takich przegród zewnętrznych.

Przedkładam Radzie Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej w Poznaniu niniejszą recenzję z wnioskiem o przyjęcie pracy jako rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony.



prof. dr hab. inż. Władysław Szaflik