

**dr hab. inż. Jan Danielewicz, prof.uczelni**

**Politechnika Wroclawska**

**Wydział Inżynierii Środowiska**

**Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa , Gazownictwa i Ochrony Powietrza  
W7/K3**

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

pt. "Wpływ przesłon słonecznych z materiałem fazowo-zmiennym na właściwości cieplne fasad szklanych " autorstwa mgr inż. Anny Komerskiej., opracowana na podstawie pisma dziekana Wydziału. Instalacji Budowlanych , Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej z dnia 7.05.2019r. Promotorem rozprawy jest Prof. dr hab. inż. Marian Rosiński.

### **1.Tematyka rozprawy**

Tematyka rozprawy obejmuje zagadnienia wykorzystania zjawiska przemiany fazowej w przeszklonych elewacjach budynków i jego wpływu na bilans cieplny fasady co jest zgodne z aktualnymi tendencjami ukierowanymi na oszczędzanie energii w budownictwie zarówno na ogrzewanie jak i chłodzenie budynków. Tematyka rozprawy wpisuje się doskonale w te zagadnienia a szczególnie sprawa np. redukcji dobowych strumieni energii co przekłada się pozytywnie na bilanse energetyczne budynków

Celem rozprawy doktorskiej jest zbadania wpływu przesłon słonecznych z materiałem fazowo zmiennym na własności cieplne fasad szklanych (przezroczystych). Jest to tematyka oryginalna, wpisująca się w poszukiwanie rozwiązań prowadzących do zmniejszenia zapotrzebowania na energię w budownictwie.

Tytuł rozprawy uważam za właściwy a osiągnięcia kandydata mieszczą się w zakresie dyscypliny naukowej Inżynieria Środowiska (wg nowej klasyfikacji w dyscyplinie: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka).

## 2. Charakterystyka Rozprawy

Praca zawiera 168 stron, podzielona na 13 rozdziałów. Zawiera 92 pozycje literaturowe, 61 rysunków oraz 34 tabele.

Rozdział 1-szy zatytułowany jako wstęp obejmuje wprowadzenie do budownictwa z wielkoformatowym przeszkleniem elewacji, które powodują nadmierne zyski ciepła od nasłonecznienia, asymetrii radiacyjnej oraz oślepienia światłem. Autorka stwierdziła, iż technologie charakteryzujące się selektywnością i zmiennością własności optycznych należy do przyszłościowych rozwiązań które mogą wpłynąć na charakterystykę energetyczną przegród transparentnych. Autorka zwróciła uwagę, że z wykorzystaniem transparentnych przegród związane są takie niekorzystne zjawiska wystąpienia nadmiernych zysków ciepła, asymetrii radiacyjnej co może wpływać negatywnie na bilans energetyczny budynków.

Poszukiwane są rozwiązania o zmiennym (selektywnym) współczynniku transmisji promieniowania słonecznego. Autorka zalicza do materiałów częściowo transparentnych, charakteryzujących się zmiennością i selektywnością własności optycznych materiały z grupy PCM (Phase Change Materials). Materiały te charakteryzują się m.in. relatywnie wysoką wartością przemiany fazowej, i są w stanie magazynować energię. Wśród tych materiałów niektóre z nich posiadają wysoki stopień transparentności w zakresie światła widzialnego jednocześnie posiadają wysokie właściwości akumulacyjne w zakresie promieniowania w tzw. bliskiej podczerwieni. Autorka wskazuje, że rozwiązania przegród transparentnych z zastosowaniem PCM mogą przynieść następujące efekty: ograniczenie zysków ciepła od promieniowania słonecznego, redukcja strat ciepła, zwiększenie pojemności cieplnej przegrody, zwiększenie bezwładności cieplnej przegrody oraz stabilizację temperatury powierzchni wewnętrznej fasady.

Rozdział 2-gi obejmuje studia literaturowe. Dokonano w nim przeglądu systemów i technologii zaciemniających. Zwrócono uwagę na stan wiedzy dotyczący wykorzystania materiałów PCM.

Autorka podkreśla m.in. zjawisko ograniczenia szczytowych zysków ciepła w pomieszczeniach, zwiększenie bezwładności cieplnej przegrody z zastosowaniem materiałów PCM, polepszenie komfortu cieplnego w pomieszczeniach a także zmniejszenie zużycia energii. Zwrócono uwagę na pewne krytyczne aspekty takich rozwiązań jak: konieczność odpowiedniego doboru temperatury przemiany fazowej np. zbyt wczesne stopienie materiału fazowo-zmiennego powodowało zwiększenie strumienia ciepła wnikającego do

pomieszczenia. Również problemem jest odbiór energii zakumulowanej w materiale PCM, co może skutkować np. mniejszym schłodzeniem budynku w okresie nocnym, Może to wpływać negatywnie na komfort cieplny w pomieszczeniach. Inny aspekt zagadnienia to wygląd estetyczny takiej fasady w niektórych przypadkach w zależności od stanu przemiany fazowej Materiału PCM. Autorka stwierdza, że na chwilę obecną, brak jest wystarczających badań pozwalających na rzetelną ocenę działania systemów tzw. zacieńających semitransparentnych zintegrowanych z materiałami PCM. To uzasadnia również podjęcie tematyki dysertacji .

Rozdział 3-ci dotyczy tezy i zakresu pracy. Stwierdzono, że zastosowanie materiałów PCM w przesłonach słonecznych wpłynie korzystnie na poprawienie bilansu cieplnego fasady szklanej zapewniając jednocześnie wysoki stopień przepuszczalności dla promieniowania widzialnego.

Rozdział 4-ty dotyczy charakterystyki koncepcji badanej przegrody oraz wpływu materiałów PCM na bilans cieplny przeszklonych fasad oraz opisu zaprojektowanego częściowo transparentnego systemu zacieńającego z materiałem fazowo-zmiennym.

Zaprojektowana do badań przesłona bazuje na wykorzystaniu materiału fazowo-zmiennego i jednocześnie charakteryzującymi się selektywnymi własnościami optycznymi, wysoką przepuszczalnością dla światła widzialnego oraz niską transparentnością w zakresie bliskiej podczerwieni oraz własnościami rozpraszającymi. Materiałem konstrukcyjnym przegrody był poliwęglan komorowy o grubości 10 cm.

Rozdział 5-ty dotyczy scharakteryzowania głównych parametrów fizycznych opisujących właściwości termodynamiczne i optyczne materiałów PCM oraz parametrów będące podstawą do przeprowadzenia analizy energetycznej takich przegród. Ocenę energetyczną przegrody wykonano na podstawie badań eksperymentalnych oraz metody numerycznej wykorzystując parametry zdefiniowane w tym rozdziale.

Rozdział 6-ty dotyczy przeglądu metod badawczych np. do badań wpływu temperatury na właściwości substancji PCM. Pod wpływem temperatury (ogrzewania materiału PCM) mogą zachodzić w nim różne zjawiska fizykochemiczne tj. przemiany fazowe, zeszklenia . dysocjacja termiczna, przemiany polimorficzne nawet zjawiska rozkładu termicznego. W rozdziale tym autorka opisuje metody badawcze najczęściej stosowane przy tego typu zagadnieniach :

- Metoda różnicowej kalorymetrii skaningowej(DSC-Diferential Scanning Calorimetry) -polegająca na pomiarze różnicy przepływu ciepła pomiędzy substancją badaną z substancją referencyjną.
- Metoda różnicowej analizy termicznej (DTA-Diferential Thermal Analysis )-polegająca ma pomiarze różnicy temperatury pomiędzy substancją badaną i substancją odniesienia (próbką referencyjną).
- Metoda analizy termicznej (T-history method)-pomiar temperatury badanej próbki w czasie w odniesieniu do substancji referencyjnej , najczęściej wody przy niskiej szybkości zmiany temperatury.

Autorka opisała również metody analityczne wykorzystywane do modelowania przemian fazowych.

Rozdział 7-my dotyczącym wyznaczenia właściwości termofizycznych wybranych materiałów PCM autorka opisała cel badania, metodę kalometryczną, skaningową-DSC, Rozdział ten zakończony został wnioskami z badań oraz dyskusją błędów pomiarowych. Na podstawie przeprowadzonych badań, autorka wytypowała następujące materiały do dalszych badań (charakteryzujące się stabilnością właściwości) RT25, RT 31 oraz RT HC firmy Rubitherm

Rozdział 8-my dotyczy opisu stanowiska badawczego służącego do wyznaczenia charakterystyki przesłony słonecznej. Opisano w nim komorę pomiarową, czujniki oraz układ pomiarowy, źródło promieniowania którym był zestaw czterech lamp wyładowczych metalohalogenowych typu HQI-TS 400 W/D, każda o mocy znamionowej 400 W. Lampy te o temperaturze barwowej 5500 K charakteryzowały się wysoką tzw. skutecznością świetlną, równomierną emisją światła, dobrym oddawaniem barw oraz wysoką trwałością. Lampy te zgodnie z PN-EN 60904-9 można zakwalifikować do klasy C symulatorów słońca.

Rozdział 9-ty dotyczy badania przepuszczalności promieniowania przesłony. Przedstawiono w nim wartości przepuszczalności promieniowania przesłony badanej otrzymane na drodze doświadczalnej. Współczynniki transmisji promieniowania słonecznego określono dla materiału PCM w stanie stałym i ciekłym. Współczynniki przepuszczalności promieniowania określano dla całego widma promieniowania, dla światła widzialnego oraz dla zakresu bliskiej podczerwieni. Otrzymane wyniki badań wykorzystano w modelu obliczeniowym, jako dane wejściowe określające właściwości optyczne przesłony.

Rozdział 10-ty pracy dotyczy wykonano analizę energetyczną przeszklonej fasady wyposażonej w przesłonę słoneczną z materiałem fazowo-zmiennym. wykorzystując wyniki

badan doświadczalnych przeprowadzonych w komorze cieplnej TWINS na Wydziale Energetyki Politechniki w Turynie.

Rozdział 11-ty przedstawia szczegółowy opis modelu matematycznego, metody numerycznej wykorzystanej do rozwiązania równań bilansu ciepła przesłony słonecznej oraz opisano przyjęty algorytm obliczeniowy. Przeprowadzono walidację modelu na drodze badan doświadczalnych.

Dysertację kończy podsumowanie przeprowadzonych badań (prac) oraz wnioski z wykonanej pracy. Autorka stwierdza, że zastosowanie materiałów fazowo-zmiennych w konstrukcji przesłony słonecznych wpływa korzystnie na bilans cieplny przegrody.

Układ redakcyjny pracy należy uznać za poprawny. Tytuły z rozdziałów i ich treści są adekwatne.

### **3. Uwagi szczegółowe i ogólne**

- 1/ W tekście rozprawy występują pojęcia transmisji promieniowania przesłony (str.11), oraz współczynnik przepuszczalności promieniowania. Czy to są pojęcia równoważne czy oznaczają np. czy pojęcie współczynnika przepuszczalności odnosi się do konstrukcji a współczynnik transmisyjności do materiału? Proszę o ustosunkowanie się autorki wobec tej kwestii podczas obrony pracy.
- 2/ Na stronie 121 znajduje się stwierdzenie, że zastosowanie przesłony z materiałem PCM może negatywnie wpływać na bilans energetyczny przegrody- przykładowo w okresach przejściowych w okresie niskiego promieniowania słonecznego. Również problem związany z estetyką fasad z materiałem PCM o którym wspomniała autorka w rozdziale 10, jest także nie bez znaczenia. Pytanie zatem jest następujące, jak te ograniczenia, niedogodności takich rozwiązań mogą wpłynąć na ich szersze wykorzystanie w praktyce w budownictwie? Czy jest to problem, który może wpłynąć na zakres stosowania tego typu rozwiązań w praktyce? Proszę o ustosunkowanie się autorki wobec tej kwestii podczas obrony pracy.
- 3/ Na wykresach 7.1 do 7.8 na osi pionowej oznaczono jednostkę Wg? (nazwa osi „Heat flow” a jednostka (W/g). Co to oznacza, gdyż w oznaczeniach takiej jednostki nie znalazłem [101] ? Proszę o ustosunkowanie się autorki wobec tej kwestii podczas obrony pracy.

#### **4. Osiągnięcia zawarte w rozprawie**

W swojej dysertacji autorka sformułowała problem naukowy, zrealizowała część eksperymentalną. Opracowała modele teoretyczne, rozwiązała je. Oznacza to, że autorka potrafi rozwiązać zagadnienie naukowe, przeprowadzić eksperyment i wyciągnąć poprawne wnioski. Należy podkreślić, iż zagadnienia związane z materiałami PCM nie należą do łatwych przy ich opisie. Są tam zarówno zagadnienia z obszaru chemii, obszaru termodynamiki, Zagadnienia zostało rozwiązane w sposób poprawny. Osiągnięte rezultaty należy uznać za interesujące, dające podstawy do dalszych badań w tym zakresie co opisuje autorka w rozdziale 13. Uzyskane wyniki pokazały, że jest wiele zagadnień wymagających dalszych badań w dziedzinie takich przegród/fasad w budownictwie, Autorka słusznie zasygnalizowała problemy i zjawiska występujące przy wykorzystaniu fasad przezroczystych w połączeniu z materiałami PCM. Stopień realizacji celu rozprawy należy uznać za wystarczający. Autorka wykazała że w zastosowanie materiałów PCM w przesłonach słonecznych korzystnie wpływa na ograniczenia przenikania promieniowania słonecznego do wnętrza pomieszczenia a jednocześnie przegrody takie zapewniają wysoki stopień przepuszczalności promieniowania słonecznego. Autorka jednocześnie sygnalizowała takie zjawiska jak w pewnych okresach komfort wizualny może nie być osiągnięty gdy materiał PCM znajduje się w stanie 'mieszanym: tzn. ciało stałe-ciecz. Również sprawa 'zwiększonego strumienia ciepła do pomieszczenia (w „okresach przejściowych” w wyniku wyższej temperatury PCM też jest problemem do rozwiązania.

#### **5. Wniosek końcowy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Anny Komerskiej pt. "Wpływ przesłon słonecznych z materiałem fazowo-zmiennym na właściwości cieplne fasad szklanych stanowi oryginalne rozwiązanie problemu w dyscyplinie „inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka” (wg klasyfikacji określonej w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin i dyscyplin naukowych i artystycznych (Dz. U. z dnia 25 września 2018 r. poz.1818))’ Osiągnięcie autorki spełnia



wymagania określone w artykule 13. ustęp. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie (Dz. U. z dnia 27.09.2017 r., poz. 1789) i może być dopuszczona do publicznej obrony.

