

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej

„*Wpływ materiałów zmienna-fazowych na efektywność energetyczną modyfikowanych przegród kolektorowo - akumulacyjnych*”

Pani mgr inż. Joanny Krasoń

### 1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę formalną niniejszego opracowania stanowi pismo Pana prof. dr hab. inż. Tomasza Siwowskiego Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza z dnia 14.07.2022 r. z informacją o powierzeniu mi zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej z dnia 13.07.2022 r. roli recenzenta rozprawy doktorskiej *Wpływ materiałów zmienna-fazowych na efektywność energetyczną modyfikowanych przegród kolektorowa - akumulacyjnych*” pani mgr inż. Joanny Krasoń.

Merytoryczną ocenę dokonałam na podstawie treści przedłożonej rozprawy.

### 2. Charakterystyka i ocena rozprawy doktorskiej

#### 2.1. Opisanie treści rozprawy

Rozprawa doktorska *Wpływ materiałów zmienna-fazowych na efektywność energetyczną modyfikowanych przegród kolektorowa - akumulacyjnych*” pani mgr inż. Joanny Krasoń została wykonana pod promotorstwem prof. dr hab. inż. Lecha Lichołaja i dr inż. Bernadety Dębskiej, jako promotora pomocniczego.

Rozprawa składa się z siedmiu numerowanych rozdziałów, które mają następujące tytuły: rozdział 1 - *Wprowadzenie* (3 strony), rozdział 2 - *Analiza literatury* (53 strony), rozdział 3 - *Cele, Teza i Zakres pracy* (2 strony), rozdział 4 - *Metodyka badań własnych* (40 stron), rozdział 5 - *Analiza wyników badań wstępnych* (5 stron), rozdział 6 - *Analiza wyników badań zasadniczych* (91 stron), rozdział 7 - *Zakończenie* (4 strony). Pozostałe części pracy nie są numerowane i są to: *Bibliografia*, *Wykaz rysunków*, *Wykaz tabel*, *Streszczenie*, *Abstract*. Na początku rozprawy po spisie treści znajduje się *Wykaz ważniejszych oznaczeń*, symboli i skrótów. Bibliografię stanowi spis 208 pozycji literaturowych, przy czym sześć z nich jest współautorstwa Kandydatki i w dwóch z nich jest pierwszym autorem. W Bibliografii jest sześć odniesień do aktów prawnych, dwa dotyczą Dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady Europy, trzy norm PN-EN i jedno rozporządzenia krajowego. Ponadto odwołano się do dziewięciu adresów stron internetowych, z których zaczerpnięto dane materiałowe, statystyczne i inne wielkości wykorzystane do badań. Całość liczy 242 strony. Tytuł rozprawy dobrze odzwierciedla analizowany problem badawczy.

Rozprawa doktorska jest napisana na bardzo wysokim poziomie i obrazuje ogrom pracy badawczej włożonej w jej przygotowanie przez Kandydatkę. Przedstawienie w bardzo szczegółowy sposób przeprowadzonego przeglądu literatury, udokumentowanie podjęcia się przedmiotowych badań, sformułowanie tezy i celów pracy, oraz opis wykonanych badań teoretycznych, a przede wszystkim ogromna liczba przeprowadzonych badań polowych i laboratoryjnych, popartych wnikliwą analizą uzyskanych wyników, oraz sformułowane wnioski o charakterze podstawowym i aplikacyjnym, stanowią o istotnej ponad przeciętnej wartości pracy.

Układ treści jest przejrzysty i uporządkowany. Poszczególne rozdziały koncentrują się na poszczególnych podstawowych zagadnieniach pracy i odzwierciedlają chronologię przeprowadzonych badań. Rozdziały są odpowiednio ze sobą połączone i tworzą logiczną całość.

We *Wprowadzeniu* Kandydatka w sposób skrótowy przedstawiła rozważane w pracy zagadnienia i zakres pracy.

Kolejny rozdział (rozdział 2) jest bardzo obszerny i dotyczy przeglądu literatury krajowej i zagranicznej w obszarze rozważanej w pracy tematyki dotyczącej przegród słonecznych kolektorowo - akumulacyjnych, ich efektywności energetycznej i stosowania materiałów zmiennie-fazowych w tych przegrodach, a także stosowanej metodyki planowania prowadzenia badań eksperymentalnych. Rozdział ten w pierwszej części odnosi się przede wszystkim do podstaw energetyki słonecznej, w szczególności dostępności promieniowania słonecznego na ziemi. Następnie Kandydatka przedstawia pasywne systemy wykorzystania energii promieniowania słonecznego, koncentrując się na przegrodach kolektorowo - akumulacyjnych. W kolejnej części przedstawia podstawy fizyczne stosowania materiałów zmiennie - fazowych, w tym w szczególności w budownictwie. Zgodnie z tematem rozprawy rozważa przegrody kolektorowo - akumulacyjne modyfikowane materiałem zmiennie-fazowym i przedstawia w sposób usystematyzowany prowadzone w kolejnych latach końca XX wieku i obecnie badania eksperymentalne takich przegród. Opisuje metodykę badań eksperymentalnych i symulacyjnych prowadzonych na świecie. Dalsza część rozważań opartych na przeglądzie literatury jest poświęcona planowaniu doświadczeń eksperymentalnych oraz analizie otrzymanych wyników przy wykorzystaniu metod statystycznych, które odpowiednio opisuje. Na zakończenie tego rozdziału Kandydatka przedstawia wnioski z przeprowadzonego przeglądu literatury istotne do sformułowania celów i zakresu podjętych przez Nią prac naukowo - badawczych.

W rozdziale 3 Kandydatka sformułowała cele i tezę pracy oraz określiła ich zakres. Cele pracy mają z jednej strony charakter ilościowy dotyczą bowiem określenia udziału ilościowego i miejsca lokalizacji materiału zmiennie - fazowego w różnych rodzajach przegrody kolektorowo - akumulacyjnej. Z drugiej strony mają charakter jakościowy służą bowiem ocenie wpływu stosowania materiału zmiennie - fazowego na funkcjonowanie przedmiotowych przegród, jak i ocenę możliwości stosowania tych przegród w warunkach lokalnych. Tezą pracy jest stwierdzenie, iż dzięki zastosowaniu materiału zmiennie - fazowego w strukturze akumulacyjnej przegrody pasywnej istnieje możliwość poprawy efektywności energetycznej takiej przegrody. Zakres pracy zawiera 9 punktów opisujących dziewięć etapów badań wyznaczonych przez Kandydatkę, jako koniecznych do realizacji postawionych celów badawczych i udokumentowania sformułowanej tezy.

W rozdziale 4 opisana została metodyka prowadzonych badań. Kandydatka przeprowadziła badania polowe w rzeczywistych warunkach klimatycznych przy wykorzystaniu dwóch komór heliometrycznych, a także badania laboratoryjne przy wykorzystaniu komory termicznej. Stanowiska badawcze, w tym ich konstrukcja, zastosowana aparatura pomiarowa i systemy akwizycji danych zostały opisane w sposób bardzo

szczególony. Bardzo dokładnie zostały też opisane elementy badanych obiektów, tj. przegród kolektorowo - akumulacyjnych. Szczególną wagę Kandydatka przywiązała do zaprezentowania parametrów stosowanych materiałów zmiennie -fazowych, ich umiejscowienia w strukturze przegród i udziału ilościowego w tych strukturach. Pierwsza część opisu badań doświadczalnych dotyczy badań polowych, druga badań laboratoryjnych. Kandydatka opisuje przyjęcie założeń, co do wstępnego wyznaczenia parametrów klimatycznych dla planowanego okresu badawczego, a także założenia co do podstawowych parametrów testowanych przegród kolektorowo - akumulacyjnych, sposobu opomiarowania tych przegród i wyznaczenia odpowiednich danych wyjściowych, w tym strumienia ciepła przepływającego przez te przegrody i na ich powierzchniach. W celu oceny otrzymanych parametrów działania przegród kolektorowo - akumulacyjnych Kandydatka wykorzystuje analizę statystyczną. Zajmuje się m.in. analizą statystyczną rozkładów strumienia ciepła przepływającego przez rozważane warianty przegród i na ich powierzchniach. Jako jeden z istotnych parametrów wpływających na te rozkłady rozważa natężenie promieniowania słonecznego. W dalszej części rozdziału 4 w punkcie 4.5 Kandydatka opisuje metodykę prowadzonych badań laboratoryjnych. Przy planowaniu badań laboratoryjnych Kandydatka skorzystała z metody Taguchi, dzięki czemu przy odpowiednio dużej zaplanowanej liczbie danych wejściowych sama liczba przeprowadzonych badań została ograniczona do tych niezbędnych pozwalających uzyskać wymagane wyniki.

W rozdziale 5 Kandydatka przedstawia analizę wyników wstępnych badań polowych, które zostały przeprowadzone w marcu i kwietniu 2017 r. i dotyczyły dwóch struktur przegród kolektorowo - akumulacyjnych, jednej z materiałem zmiennie - fazowym (umieszczonym w dwóch warstwach od strony zewnętrznej) i drugiej bez tego materiału. Przedstawiono zmienność napromieniowania słonecznego powierzchni poziomej i temperatur powietrza otoczenia zewnętrznego, a także gęstości strumienia ciepła na powierzchniach wewnętrznych przegród w kolejnych dniach miesiący. Na podstawie badań wstępnych Kandydatka zdecydowała o zakresie dalszych badań, w tym o czasie ich prowadzenia i strukturze badanych przegród.

Rozdział 6 przedstawia analizę wyników badań zasadniczych, tzn. badań polowych przeprowadzonych dla 4 struktur przegród kolektorowo - akumulacyjnych różniących się ilością i umiejscowieniem materiału zmiennie - fazowego w cyklu rocznym (X 2017 - IX 2018). Do przedstawienia w pracy i przeprowadzenia analizy wybrano pewne przedziały czasu i pewne wielkości opisujące funkcjonowanie rozważanych przegród, tj. ich stan termiczny. Rozważane były wybrane miesiące (X, I, IV, VII) reprezentujące poszczególne pory roku. Zmierzone wielkości dziennego napromieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą i pionową, i temperatury powietrza otoczenia były porównywane z wielkościami uzyskanymi z TRM - typowego roku meteorologicznego, co zilustrowano odpowiednimi wykresami. Przeprowadzono również analizę parametrów klimatycznych w postaci sum miesięcznych napromieniowania słonecznego i średnich miesięcznych temperatur powietrza, co również porównano z danymi typowego roku meteorologicznego i zilustrowano graficznie. Analogiczne przedziały czasu zostały wybrane do przedstawienia zmienności gęstości strumienia ciepła na wewnętrznych powierzchniach czterech wariantów rozważanych przegród kolektorowo - akumulacyjnych. Graficznie przedstawiono sumy dzienne i sumy miesięczne ciepła wpływającego lub wypływającego z pomieszczeń (komór) w kolejnych dniach miesiący reprezentujących odpowiednie pory roku. W kolejnej części sumy miesięczne zostały przedstawione dla siedmiu miesięcy sezonu grzewczego i pozostałych pięciu miesięcy roku, dla wszystkich analizowanych przegród. Kandydatka przeprowadza następnie szczegółową analizę wpływu materiału zmiennie - fazowego na efektywność energetyczną badanych wariantów przegród. Wybiera do analizy cykle kilkunastodniowe, w których na początku

występował okres kilku dni o dużej liczbie godzin słonecznych, dużej liczbie odpowiednio dla danej prezentowanej pory roku. W sposób graficzny przedstawia rozkłady gęstości strumienia ciepła od strony wewnętrznej przegród oraz w kolejnych warstwach szczelin w danych (dla danej pory) cyklach kilkunastodniowych. Do przeprowadzenia analizy wykorzystuje metody (testy) statystyczne. Potwierdzają one zależność pomiędzy warunkami klimatycznymi a strumieniem ciepła przekazywanym do wnętrza przez przegrody kolektorowo - magazynujące, co jest ilustrowane graficznie, i szczegółowo opisano w punkcie 6.1.6. W kolejnej części tego rozdziału (6.2) Kandydatka przedstawia wyniki badań laboratoryjnych przegród kolektorowo - magazynujących, przeprowadza ich analizę na podstawie planu eksperymentu opracowanego przy wykorzystaniu metody Taguchi. Posłużyło to do wyznaczenia najkorzystniejszego wariantu przegrody z punktu widzenia jej efektywności energetycznej przy założonych parametrach wejściowych, którymi były parametry klimatu (natężenie promieniowania słonecznego i temperatura powietrza zewnętrznego).

Ostatni rozdział 7 zawiera podsumowanie przeprowadzonych prac badawczych, wnioski końcowe i przedstawia proponowane przez Kandydatkę kierunki dalszych badań.

## 2.2. Ocena merytoryczna

Praca ma charakter badań doświadczalnych polowych i laboratoryjnych, do zaplanowania których, a także analizy otrzymanych wyników Kandydatka wykorzystuje metody statystyczne, co stanowi o istotnej wartości poznawczej i aplikacyjnej pracy. Autorka rozprawy w odpowiedni sposób łączy doświadczalne i statystyczne metody badawcze do rozwiązania postawionego problemu i udokumentowania prawdziwości postawionej tezy oraz do realizacji założonych celów badawczych.

**Rozprawa dotyczy bardzo istotnego zagadnienia zarówno badawczo - naukowego, jak i aplikacyjnego, a mianowicie możliwości stosowania w zmiennych warunkach pogodowych innowacyjnych rozwiązań słonecznych pasywnych elementów obudowy budynku. w postaci przegród kolektorowo - akumulacyjnych modyfikowanych wprowadzeniem w ich strukturę materiałów zmiennie - fazowych służących zwiększeniu ich zdolności akumulacyjnych.** Problem wykorzystania rozwiązań pasywnych obudowy w warunkach klimatu umiarkowanego jest ciągle niewystarczająco opisany w literaturze i przebadany w warunkach polowych oraz laboratoryjnych. Brakuje zaleceń, co do metodyki prowadzenia badań doświadczalnych przegród kolektorowo- akumulacyjnych, odpowiedniego opracowywania wyników i na ich podstawie formułowania wniosków, co do efektywności stosowania takich przegród w krajach klimatu umiarkowanego o istotnie zmiennych warunkach napromieniowania słonecznego w skali pojedynczych dni, jak i całego roku. Dlatego też podjęcie takiej tematyki badawczej przez Kandydatkę uważam za bardzo celowe i świadczące o Jej dogłębnym rozeznaniu problematyki słonecznych systemów pasywnych stosowanych w budownictwie.

Praca jest przykładem nowatorskiego podejścia do badań naukowych, w tym w szczególności badań doświadczalnych z zakresu. energetyki słonecznej i budownictwa, które ze względu. na okresowość i częściową stochastyczność występowania promieniowania słonecznego wymagają stosowania odpowiedniej metodyki badań, w tym zbierania danych i analizy otrzymanych wyników. Badania polowe wykorzystania energii promieniowania słonecznego są utrudnione ze względu na bardzo małe prawdopodobieństwo prowadzenia eksperymentów w tych samych warunkach pogodowych, przy tych samych warunkach otoczenia zewnętrznego i wewnętrznego. Dlatego też tak istotne jest stosowanie odpowiedniej metody analizy otrzymanych wyników. Kandydatka wykazuje w pracy, jak do analizy wyników badań polowych można efektywnie wykorzystywać metody statystyczne, a

co więcej, jak prowadzone badania polowe można wesprzeć odpowiednio zaplanowanymi badaniami laboratoryjnymi, do przygotowania których również wykorzystuje metodę statystyczną. Pani Joanna Krasoń w sposób konsekwentny i bardzo przejrzysty opisuje podstawy fizyczne rozważanych zjawisk, przyjęte metody badań doświadczalnych i analizę otrzymanych wyników, co pozwala Jej odpowiednio sformułować wnioski o charakterze poznawczym i aplikacyjnym, udowodnić tezę pracy i zrealizować postawione cele.

Rozdział 1 *Wprowadzenie* został opracowany w sposób przemyślany i w przejrzysty sposób wprowadza w tematykę pracy i złożoność rozważanych zagadnień.

Przeprowadzony w rozdziale 2 przegląd odnosi się zarówno do podstaw energetyki słonecznej, jak i pasywnych metod wykorzystania energii promieniowania słonecznego do celów użytkowych. Przedstawione standardowe rozwiązania słonecznych pasywnych elementów obudowy budynku w postaci przegród kolektorowo - akumulacyjnych odpowiednio wprowadzają w tematykę pracy badawczej. Przegląd stosowanych materiałów zmiennofazowych i metod ich wykorzystania w budownictwie odpowiednio dokumentuje ideę stosowania tych materiałów do poprawy efektywności działania słonecznych przegród pasywnych, kolektorowo - akumulacyjnych. Opisany przez Kandydatkę przegląd badań prowadzonych na świecie dotyczący działania przegród pasywnych modyfikowanych materiałem zmiennofazowym wyraźnie obrazuje, jak mało jest jeszcze rozpoznany obszar badań związanych z tematyką rozprawy, w szczególności w odniesieniu do stosowania materiałów zmiennofazowych w budownictwie w krajach klimatu umiarkowanego. Kandydatka wykazuje jak istotne jest odpowiednie planowanie badań eksperymentalnych do uzyskania odpowiednich wyników charakterystycznych dla postawionego celu eksperymentu. Rozważa stosowanie metod statystycznych. Szczegółowo opisuje metodę Taguchi wykorzystywaną do analizy badań z obszaru budownictwa, w tym weryfikacji parametrów wpływających na sprawność/ efektywność rozwiązań zintegrowanych z budynkiem. Rozwiązaniami takimi są rozważane w pracy materiały zmiennofazowe zintegrowane z pasywnymi kolektorowo - magazynującymi przegrodami budynku. Kandydatka wykazała, że niewiele ośrodków naukowych na świecie wykorzystuje w badaniach eksperymentalnych słonecznych przegród pasywnych metody statystyczne, które pozwalają na znaczne skrócenie czasu i kosztów takich badań. Rozdział ten **jest istotną częścią rozprawy wskazującą na innowacyjność podjętej przez Kandydatkę tematyki prac badawczych i zastosowanych metod rozwiązania postawionego problemu badawczego.**

W rozdziale 3 Kandydatka przedstawiła trzy główne cele i podstawą tezę badawczą, które sukcesywnie udowadnia w rozprawie, a służy temu przemyślany i odpowiednio sformułowany program badań opisany w dziewięcio- etapowym zakresie pracy.

W rozdziale 4 Kandydatka w sposób szczegółowy i przejrzysty opisuje metodykę badań własnych, w pierwszej części w odniesieniu do badań polowych, a w drugiej do laboratoryjnych. Przy ocenie zmierzonych parametrów opisujących zjawiska zachodzące w przegrodach kolektorowo - akumulacyjnych Kandydatka wykorzystuje analizę statystyczną. Na uwagę zasługuje dokładnie zaplanowane przygotowanie do badań eksperymentalnych rozważanych przegród, w tym samych przegród kolektorowo - akumulacyjnych, jak i sąsiadujących z nimi zewnętrznych przegród izolowanych cieplnie. Należy docenić bardzo dobrze przygotowany materiał ilustracyjny (zdjęcia) poszczególnych przegród, ich struktury, umiejscowienia w obudowie względem pozostałych przegród, a także zastosowanej aparatury badawczej. Można zauważyć, że nie zastosowano żadnego wariantu przegrody, w którym materiał PCM byłby umieszczony od wewnątrz pomieszczenia. Takie umiejscowienie materiału PCM jest najbardziej wskazane ze względu na wysoką efektywność akumulacji ciepła i powinno być przedmiotem dalszych badań.

Przedstawiony w rozdziale 4 opis stanowisk badawczych wskazuje na bardzo dokładne opomiarowanie badanych przegród, m.in. poprzez zastosowanie licznych czujników temperaturowych i ciepłomierzy, w tym czujników rozmieszczonych sukcesywnie w poprzek grubości przegrody. Prowadzone badania obejmowały wyznaczenie udziału energii promieniowania słonecznego oddziaływującego na bilans cieplny przegrody. W tym miejscu (str. 97) opis zachodzących zjawisk należy uzupełnić o:

1. podanie danych dotyczących absorpcyjności i transmisyjności dla promieniowania słonecznego rozważanych przegród kolektorowo - akumulacyjnych.

W rozważaniach dotyczących badań polowych i modelu zjawisk zachodzących w tych przegrodach Kandydatka przyjmuje dwa podstawowe parametry niezależne, jednym jest natężenie promieniowania słonecznego, drugim strumień ciepła przenikający przez przegrodę będący wynikiem gradientu temperatury pomiędzy dwoma ośrodkami otaczającymi przegrodę. Kandydatka pisze o wykorzystaniu danych całkowitego natężenia promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię poziomą (str. 98). Jednakże, w rozważaniach i przyjętym modelu regresji liniowej opisu zjawisk (równanie 4-7) powinny być brane dane promieniowania na powierzchnię pionową odpowiednio zorientowaną, o czym nie wspomina Kandydatka. Proszę o wyjaśnienie:

2. Jakie dane natężenia promieniowania słonecznego (jako zmiennej niezależnej) są brane pod uwagę i uwzględniane w równaniu (4-7)?

Opis metodyki prowadzonych badań laboratoryjnych jest bardzo precyzyjnie opisany w punkcie 4.5 rozdziału 4 i ilustrowany licznymi zdjęciami i rysunkami, co umożliwi szybkie zrozumienie koncepcji stanowisk badawczych wraz z ich opomiarowaniem, struktur badanych przegród i zlokalizowania różnych czujników, jak i przyjęcie odpowiedniego czasu badań i wielkości wejściowych. Wybór metody Taguchi do zaplanowania badań laboratoryjnych i ich zakresu został również przedstawiony bardzo czytelnie. W punkcie 4.5.2 przy opisie przyjęcia wielkości wejściowych promieniowania słonecznego, a dokładnie wielkości zaabsorbowanej energii (str.105), Kandydatka podaje, iż uwzględniono: „współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego dla danego zestawu szyb” oraz „współczynnik absorpcji dla powierzchni warstwy murowej”. Otóż nie są to współczynniki zgodnie z nomenklaturą odpowiadającą fizyce zachodzących zjawisk (definicje ich są inne, a co więcej współczynnik absorpcji wyraża się w  $[m^{-1}]$ ). Są to odpowiednio: transmisyjność danego zestawu szyb i absorpcyjność powierzchni warstwy murowej. Podobna nieścisłość występuje w zestawieniu symboli na str. 9 (tam dodatkowo wymieniony jest też współczynnik refleksyjności, który z punktu widzenia fizyki jest również definiowany inaczej i ma standardowe oznaczenie  $r$ . Natomiast wielkość zamieszczona to refleksyjność.), a także w kilku innych miejscach pracy.

Rozdział 5 zawiera opis polowych badań wstępnych, które dały podstawę do określenia zakresu czasowego i przedmiotowego badań zasadniczych. Nasuwa się jedno pytanie.

3. Skoro temperatura wewnątrz badanych komór była stabilizowana, w jaki sposób wyznaczano zyski energetyczne wynikające z zastosowania materiału zmienno - fazowej w jednej z przegród, czy jedynie na podstawie różnicy w mierzonych strumieniach ciepła na wewnętrznych powierzchniach przegród?

Kolejny najbardziej obszerny w całej pracy rozdział 6 przedstawia bardzo obszerne wyniki badań polowych przeprowadzonych dla 4 struktur przegród kolektorowo - akumulacyjnych różniących się ilością i umiejscowieniem materiału zmienno - fazowego w strukturach przegród przeprowadzone w cyklu rocznym. Można uznać, że **uzyskane z badań eksperymentalnych wyniki stanowią obecnie najbardziej obszerną bazę danych**

**pomiarowych parametrów funkcjonowania przegród kolektorowo - akumulacyjnych w klimacie umiarkowanym w Europie.** Rozdział ten przedstawia też szczegółową analizę uzyskanych wyników przeprowadzoną przez Kandydatkę. **Na uznanie zasługuje umiejętność pani mgr Joanny Krasoń do odpowiedniego wyboru i opracowania danych eksperymentalnych służących analizie funkcjonowania przedmiotowych przegród.** Dostęp do bardzo dużej bazy danych może powodować, iż nie wszystkie z wyników zostały przedstawione i przeanalizowane w pracy, stąd też nasuwa się kilka uwag i pytań, a są one następujące:

4. Jaka jest orientacja przegród kolektorowo- akumulujących, należy sądzić, że południowa, czy tak?
5. Do analiz przepływu ciepła przez przegrody należy wykorzystać dane pomiarów temperatury w kolejnych miejscach (szczelinach) przegrody, ze szczególnym uwzględnieniem miejsc, gdzie jest umiejscowiony materiał zmiennie -fazowy, a także na powierzchniach tych przegród i w warstwach przyściennych przegród, i ich zmienność w czasie. Uzyskując rozkłady temperatur wzdłuż grubości przegrody i ich zmienność w czasie można wyznaczyć i ocenić wpływ zachodzących przemian fazowych na zdolność przegrody do akumulacji ciepła i przepływ pozyskanego (zakumulowanego) ciepła w czasie.
6. Zastosowana metoda przedstawiania uzyskanych danych pomiarowych napromieniowania słonecznego i ciepła na powierzchniach wewnętrznych przegrody jako sum dziennych, miesięcznych, sezonowych, itp. oznacza uproszczenie prowadzonych analiz, a otrzymane wyniki mogą nie oddawać dynamiki zjawisk zachodzących zjawisk. Otóż sumy dzienne, miesięczne, itp. ciepła na powierzchniach wewnętrznych powstają z sumowania wartości dodatnich (zyski-ciepło przepływa do wnętrza) i ujemnych (straty- ciepło odpływa z wnętrza), co nie oddaje rzeczywistych warunków cieplnych przegrody w danym czasie, stąd też rys. 6.17, 6.20, 6.23, 6.26 nie oddają rzeczywistych warunków funkcjonowania przegród w zmiennych warunkach otoczenia zewnętrznego, co powinno być zaznaczone w pracy przy opisie przedstawionych wyników.
7. Przedstawione w rozdziale 6 wyniki badań służą wyznaczeniu efektywności energetycznej przegród. Niestety w pracy nie podano definicji, proszę więc o jej podanie, bo jest to kluczowe do analizy wyników.

Wnioski końcowe zawarte w rozdziale 7 mają istotne znaczenie poznawcze i aplikacyjne, a zaproponowane kierunki dalszych badań powinny być rozszerzone o te wyszczególnione w recenzji

Podsumowując należy stwierdzić, iż **recenzowana rozprawa dokumentuje głęboką i wszechstronną wiedzę oraz ogromne doświadczenie pani mgr inż. Joanny Krasoń w prowadzeniu badań eksperymentalnych i analizie ich wyników.** Zamieszczone pytania i uwagi wynikają przede wszystkim z chęci rozszerzenia dyskusji na temat przedmiotowych badań i rekomendacji, co do wykorzystania i odpowiedniego opracowania wyników już przeprowadzonych prac eksperymentalnych, jak i dalszych kierunków badań przegród kolektorowo - magazynujących modyfikowanych materiałami zmiennie - fazowymi, jako innowacyjnych energooszczędnych rozwiązań w budownictwie.

**Wyrażam opinię, że w świetle rozpoznanego przez Kandydatkę stanu wiedzy, decyzja o napisaniu niniejszej monografii i przeprowadzeniu badań była przemyślana i słuszna, główna teza pracy została udowodniona, a postawione cele rozprawy zostały osiągnięte.**

### 3. Wniosek Końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Krasoń wnosi widoczny wkład do rozwoju nauk technicznych, w szczególności badań z zakresu szeroko pojętego budownictwa, w szczególności budownictwa energooszczędnego wykorzystującego nowoczesne technologie pasywnego wykorzystania energii słonecznej.

Przeprowadzone przez Kandydatkę prace stanowią bardzo widoczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria lądowa i transport. W szczególności wnoszą one wartość odaną w odniesieniu do badań dotyczących efektywnego wykorzystania energii promieniowania słonecznego w elementach obudowy budynku, jakimi w tym przypadku są słoneczne systemy pasywne w postaci przegród kolektorowo-akumulacyjnych modyfikowanych materiałami zmiennie - fazowymi. Problematyka pracy jest bardzo innowacyjna, a przeprowadzone badania stanowią istotny wkład w szczególności w rozwój badań eksperymentalnych nowoczesnych energo-aktywnych struktur przegród zewnętrznych budynku umożliwiających efektywne wykorzystanie i magazynowanie energii promieniowania słonecznego. Praca jest przykładem współczesnego nowatorskiego podejścia do badań naukowych, które wymagają wszechstronnej wiedzy i umiejętności kompleksowego podejścia do rozważanych problemów reprezentujących różne dziedziny nauki, w tym przypadku z zakresu budownictwa, energetyki słonecznej i statystyki.

W związku z powyższym wnoszę o nadanie wyróżnienia rozprawie doktorskiej Pani mgr inż. Joannie Krasoń pt. *Wpływ materiałów zmiennie-fazowych na efektywność energetyczną modyfikowanych przegród kolektorowo - akumulacyjnych*.

Tematyka pracy zawiera się w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. Jej wartość merytoryczna i oryginalne osiągnięcia Kandydatki **spełniają wymagania** wymienione w przepisach ustawy z dnia 14 marca 2003 r. *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (t.j. Dz. U. z 2017 r., poz. 1789 z późn. zm.) oraz § 3.1 pkt. 2 i § 7.2 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30 stycznia 2018 roku *w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora* (Dz.U. z 2018 r. poz. 261), i wobec powyższego wnoszę do Wysokiej Rady Dyscypliny Inżynierii Lądowej i Transportu Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie o przyjęcie rozprawy doktorskiej *Wpływ materiałów zmiennie-fazowych na efektywność energetyczną modyfikowanych przegród kolektorowo - akumulacyjnych* i dopuszczenie Pani mgr inż. Joanny Krasoń do dalszego etapu w postępowaniu o nadanie stopnia doktora nauk technicznych.

