

Katedra Podstawowych Problemów Energetyki
Wydział Energetyki i Paliw
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
30-059 Kraków, al. A. Mickiewicza 30
e-mail: jaszczur@agh.edu.pl
Tel: 126172657, Fax: 126173767

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Dariusza Strąka pt. „Kompaktowe wymienniki ciepła – badania i analiza efektywności cieplnej oraz zastosowanie do chłodzenia elementów instalacji fotowoltaicznej”

I. Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska została zrealizowana w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, przez mgra inż. Dariusza Strąka. Autor rozprawy uzyskał tytuł magistra 24 kwietnia 2009 roku w Wyższej Szkole Ekonomii i Prawa im. Prof. Edwarda Lipińskiego w Kielcach i nie ubiegał się uprzednio o nadanie stopnia doktora.

Podjęta w pracy tematyka dotyczy analizy kompaktowych wymienników ciepła oraz zastosowania ich do chłodzenia panelu fotowoltaicznego. Doktorant kontynuuje tym samym badania prowadzone na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn w Katedrze Mechaniki i Procesów Ciepłych Politechniki Świętokrzyskiej, przez promotora rozprawy Panią profesor dr hab. inż. Magdalenę Piasecką. Kompaktowe wymienniki ciepła szczególnie dla zastosowań przemysłowych oraz nowoczesnych systemów elektrycznych i elektronicznych nadal stanowią olbrzymie wyzwanie i wymagają dalszych intensywnych badań. Kompaktowość rozmiarów konstrukcji pozwala nie tylko na zmniejszenie objętości materiału niezbędnego do jego produkcji, co prowadzi do niższych kosztów, ale również na miniaturyzację, co ma niezwykle istotne znaczenie m.in. w elektronice, jak również pozwala na uzyskanie lepszej wydajności energetycznej dla takich rozwiązań. Podczas projektowania kompaktowych wymienników istotne jest uwzględnienie szeregu czynników, takich jak temperatura, ciśnienie, wielkość, charakter przepływu czy rodzaj czynnika chłodzącego. Elementy te sprawiają, że ich projektowanie nadal stanowi ogromne wyzwanie dla współczesnych inżynierów.

Podjęty temat jest niezwykle aktualny i ważny wobec zmieniającej się w szybkim tempie sytuacji w branży energetycznej i elektronicznej. Rosnące oczekiwania odbiorców, wymogi polityki klimatycznej, miniaturyzacja i rozwój systemów opartych na odnawialnych źródłach energii, stawiają przed wymiennikami ciepła coraz to nowe wyzwania, którymi nie sposób sprostać przy wykorzystaniu obecnych rozwiązań. Już niewielka poprawa efektywności urządzeń będzie przynosiła wymierne korzyści zarówno ekonomiczne, jak i środowiskowe. Praca ma w założeniu Autora przyczynić się do doskonalenia efektywności energetycznej i cieplnej w systemach fotowoltaicznych.

W pracy doktorskiej przeprowadzone przez Autora rozważania, analizy i eksperymenty dotyczą oceny przydatności nowych konstrukcji prototypowych kompaktowych wymienników ciepła z mikrokanalami w zastosowaniach do chłodzenia paneli fotowoltaicznych oraz układów elektronicznych. Jak pokazują badania, kompaktowe wymienniki ciepła z mikrokanalami mogą stanowić alternatywę dla obecnie stosowanych rozwiązań, co sprawia, że badania tego typu są wysoce uzasadnione.

Przeprowadzone przez Autora badania zrealizowane zostały na specjalnie przygotowanym stanowisku pomiarowym i wsparte opracowaną samodzielnie procedurą badawczą, przez co pozwoliła na weryfikację postawionych celów. Analizy nie poprzestają jedynie na pomiarach eksperymentalnych, lecz zostały uzasadnione różnorodnymi metodami obliczeniowymi, w tym również z zakresu numerycznej mechaniki płynów (CFD). Opracowano uproszczony jednowymiarowy model obliczeniowy; model dwuwymiarowy oparty o funkcje Treffza oraz pełny trójwymiarowy model zagadnienia. Porównano wyniki obliczeń z wynikami otrzymanymi z zastosowaniem równań kryterialnych dostępnych w literaturze. Wszystkie te działania pozwoliły Autorowi pracy na przedstawienie propozycji rozwiązań dostosowanych do chłodzenia ogniw fotowoltaicznych.

Opracowane w ramach doktoratu modele i stanowiska pomiarowe, jak i przedstawiona metodologia, mogą w oczywisty sposób przełożyć się zarówno na aspekty poznawcze, jak i aplikacyjne z zakresu transportu ciepła w kompaktowych wymiennikach ciepła ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań z mikrokanalami. Zbudowane stanowiska pomiarowe umożliwiają analizowanie efektów wdrożenia, w tym doskonalenie efektywności energetycznej i cieplnej w systemach fotowoltaicznych. Pomiaru wsparte modelami komputerowymi mogą stanowić znakomite uzupełnienie i wspomaganie dla procesów decyzyjnych.

Rozprawa bazując na różnorodnej metodologii (literaturowe zależności empiryczne, model numeryczny oraz pomiary eksperymentalne), analizuje możliwości efektywnego transportu ciepła w wymiennikach, w których występują przepływy turbulentne, w tym również przepływy ze zmianą fazy (wrzeniem). Skala trudności zrealizowanych badań, ze względu na analizę danych pochodzących z pomiarów jak i modelowania oraz wobec dużej złożoności zachodzących zjawisk fizycznych i wyzwań technicznych, jest odpowiednia i odpowiada wymaganiom stawianym pracom doktorskim.

II. Struktura i ocena wartości naukowej

Opiniowana rozprawa została wykonana na Politechnice Świętokrzyskiej, Wydział Mechaniki i Budowy Maszyn, pod opieką naukową prof. dr hab. inż. Magdaleny Piaseckiej. Pomocniczym opiekunem naukowym jest dr Anna Pawińska. Praca została zredagowana w języku polskim i liczy 249 stron plus dwa jednostronicowe streszczenia w języku polskim oraz angielskim, zawarte na końcu rozprawy. Składa się z 9 rozdziałów, bibliografii, załącznika A zawartego w pracy oraz załącznika B zawartego na płycie CD. Bibliografia zawiera aż 244 pozycje, które niejednokrotnie zostały opisane w pracy dosyć szczegółowo. Bibliografie uzupełniają strony internetowe i inne dokumenty w sumie 17 pozycji. Warto podkreślić, że wiele pozycji opisuje nowe osiągnięcia w dziedzinie rozwiązań i modelowania dla wymienników ciepła, w szczególności dla kompaktowych rozwiązań. Wśród publikacji znalazło się również 5 pozycji Autora rozprawy jako współautora, w tym 4 jako głównego współautora. Na uwagę zasługuje również fakt powoływania się na prace z

polskich ośrodków naukowych, co świadczy o dobrej wiedzy Autora na temat badań realizowanych w kraju.

Główny cel pracy stanowiła analiza procesu wymiany ciepła dla przepływu płynów w kompaktowych wymiennikach ciepła z dwoma minikanalami oraz z grupą minikanatów. Badano wpływ wybranych parametrów cieplnych oraz przepływowych, właściwości fizycznych płynów, materiałów konstrukcyjnych i zmiany powierzchni wymiennika.

Dla tak zdefiniowanego celu głównego podjętych badań Autor zdefiniował również 7 szczegółowych celów, które można podsumować w sposób następujący:

- a) skonstruowanie dwóch stanowisk badawczych z modułami testowymi oraz opracowanie metodyki badań,
- b) sformułowanie jednowymiarowego podejścia matematycznego wraz z jego porównaniem dla przepływu ciepła w modułach testowych,
- c) wyznaczenie lokalnych wartości współczynników przejmowania ciepła z jednowymiarowego modelu,
- d) przeprowadzenie analiz współczynnika przejmowania ciepła na podstawie badań eksperymentalnych oraz obliczeń numerycznych,
- e) analiza kluczowych procesów cieplno-przepływowych i geometrycznych dla dwóch badanych konstrukcji,
- f) analiza efektywności cieplnej badanych konstrukcji minikanatowych wymienników ciepła wraz z doбором rozmiaru powierzchni,
- g) zbadanie wpływu chłodzenia systemem minikanatów na efektywność pracy ogniwa fotowoltaicznego, pracę układu superkondensatorów i akumulatorów.

Opierając się na tak zdefiniowanym celu głównym oraz celach szczegółowych pracy doktorskiej, sformułowano hipotezę naukową rozprawy, która została zdefiniowana przez Autora następująco:

„Istnieje możliwość doboru parametrów kompaktowego wymiennika ciepła w celu dostosowania go do chłodzenia elementów instalacji fotowoltaicznej.”

Wyniki oraz analizy przedstawione w pracy potwierdziły tezę naukową, wykazano, że wymienniki ciepła z minikanalami są w stanie zapewnić bardzo stabilne termiczne warunki pracy ogniw fotowoltaicznych. Wykazano, że skuteczność chłodzenia ogniw ma niezwykle istotne znaczenie dla zapewnienia odpowiedniej temperatury ogniw fotowoltaicznych w długim czasie co wpływa bezpośrednio na żywotność i awaryjność ogniwa fotowoltaicznego, a tym samym całej instalacji PV. Co istotne, zaproponowane i przebadane prototypowe rozwiązania mogą mieć zastosowanie również w innych systemach, od niewielkich przydomowych instalacji jednofazowych małej mocy, aż po rozbudowane farmy i systemy przemysłowe, które charakteryzuje znaczna moc, przyczyniając się tym samym do poprawy efektywności wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w szczególności promieniowania słonecznego.

Chłodzenie panelu fotowoltaicznego zgodnie z fizyką jego działania i zachodzącymi procesami wpływa na większą sprawność ogniwa, tym samym implikuje większą moc, a w konsekwencji większą produkcję energii elektrycznej z systemu PV. Kompaktowe wymienniki ciepła istotnie mogą stanowić niezwykle skuteczne rozwiązanie zapewniające chłodzenie elementów instalacji

fotowoltaicznej, w tym nie tylko ogniw fotowoltaicznych, ale również urządzeń elektronicznych wchodzących w skład całej instalacji. Zrealizowane w ramach doktoratu badania oraz przedstawione w dysertacji ich wyniki i analizy przedstawiają - od strony technicznej - że dobrze dobrane rozwiązania oraz parametry dla kompaktowych wymienników ciepła z minikanalami potwierdzają zasadność stosowania zaproponowanych rozwiązań, które wpływają na sprawność urządzeń, a w perspektywie długoterminowej na ich trwałość i żywotność.

Opracowana przez Autora metoda obliczeniowa, modele numeryczne oraz analizy zastosowane m.in. do wyznaczenia lokalnych współczynników przejmowania ciepła na stykach płyn-płyta grzejna lub ścianka oraz obliczenia współczynnika przejmowania ciepła dla podejścia 1D i 2D, jak również zrealizowane z wykorzystaniem oprogramowania STAR-CCM+ symulacje komputerowe, potwierdziły tezę naukową. Wyniki obliczeń dla lokalnych współczynników przejmowania ciepła porównano szczegółowo z wynikami uzyskanymi innymi metodami obliczeniowymi, co pozwoliło na określenie poprawności zastosowanej metodyki.

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera:

- a) wykaz ważniejszych oznaczeń,
- b) wstęp,
- c) bogaty i wieloźródłowy przegląd literatury, poświęcony głównie metodom obliczeniowym, klasyfikacji i konstrukcji kompaktowych wymienników ciepła,
- d) krótką charakterystykę i klasyfikację hybrydowych modułów PVT,
- e) zwięźle sformułowany cel, cele szczegółowe oraz tezę pracy,
- f) opisy badań eksperymentalnych wraz z opisem metodyki badawczej,
- g) szczegółowy opis stosowanych metod obliczeniowych wykorzystywanych do wyznaczenia współczynnika przejmowania ciepła oraz efektywności pracy instalacji fotowoltaicznej,
- h) wyniki badań oraz analizę rozwiązań poprzedzoną założeniami i uproszczeniami,
- i) porównanie wyników obliczeń z pomiarami eksperymentalnymi,
- j) dyskusję wyników i zwięźłe podsumowanie w postaci najistotniejszych wniosków,
- k) bogatą bazę załączników zawierającą analizę niepewności pomiarów, charakterystykę urządzeń oraz zestawienie parametrów podczas badań eksperymentalnych.

Przyjęta przez Autora koncepcja, jak i niezwykle bogata metodyka badawcza - stanowiąca połączenie analiz numerycznych, eksperymentalnych oraz teoretycznych - dla przedstawionego w rozprawie problemu, zostały dobrze dobrane i pomimo zastosowanych szeregu uproszczeń, pozostają poprawne pod względem merytorycznym. Autor doktoratu udokumentował dobre opanowanie zarówno warsztatu naukowego, jak i technicznego.

Na wyróżnienie zasługują niezwykle cenna wiedza i umiejętności z zakresu budowy stanowiska pomiarowego dedykowanego realizacji pomiarów z wymianą ciepła oraz realizacja pomiarów, jak również opanowanie szeregu metod numerycznych, w tym implementacja własnych modeli i rozwiązań. W rozprawie z sukcesem wykonano szereg eksperymentów fizycznych i numerycznych, gromadząc niezwykle bogatą bazę wyników pomiarów, mogącą służyć do dalszych analiz jak i weryfikacji nowych lub aktualnie wykorzystywanych modeli numerycznych. Opracowana metodologia może stanowić istotne narzędzie wspomagające procesy projektowania i optymalizacji wymienników ciepła.

Do ważniejszych elementów pracy stanowiących oryginalny wkład Autora należy zaliczyć:

1. Budowę dwóch stanowisk do pomiarów eksperymentalnych zawierających m.in. moduł testowy, system akwizycji danych pomiarowych oraz kompaktowe wymienniki ciepła; (a) układ dwóch minikanatów z płynami FC-72 i wodą z płytą rozdzielonych przegrodą z miedzi lub srebra; (b) grupa minikanatów z płynami FC-72 lub HFE-649 i woda rozdzielonych przegrodą z miedzi.
2. Opracowanie procedury pomiarowej oraz metodyki dla realizowanych badań.
3. Przeprowadzenie badań eksperymentalnych z wykorzystaniem modułu z ogniwem fotowoltaicznym i grupą minikanatów oraz z dwoma minikanatami i płytą grzejącą. Przeprowadzenie pomiarów z wykorzystaniem kamer termowizyjnych.
4. Opracowanie jednowymiarowego modelu do wyznaczenia lokalnych współczynników przejmowania ciepła na powierzchniach styku płyty i płynu.
5. Przeprowadzenie obliczeń oraz porównanie wyników uzyskanych z podejścia jednowymiarowego z wynikami uzyskanymi z podejścia dwuwymiarowego.
6. Zwalidowanie wyników obliczeń numerycznych wynikami uzyskanymi z pomiarów eksperymentalnych.

III. Uwagi rzeczowe i pytania do Autora

Praca doktorska jest napisana przejrzysto, jednak niektóre kwestie wyszczególnione poniżej wymagają dodatkowego wyjaśnienia:

1. We wstępie podano, że wraz ze wzrostem temperatury paneli PV podwojeniu ulega tempo ich degradacji, spada ich wydajność, a także żywotność. Niestety nie podano o jakim konkretnie wzroście temperatury mowa oraz nie wskazano źródła tej informacji.
2. W pracy, charakterystyce hybrydowych kolektorów słonecznych PVT poświęcono jedynie 3 strony, nie prezentując typowych parametrów technicznych dla takich rozwiązań. Równocześnie przedstawiając wyniki badań literaturowych podano efektywności pracy ogniw w zakresie 55%-62% oraz w innym miejscu w zakresie 60-70%. W pracy pojawia się również stwierdzenie o efektywności dla ogniw słonecznych rzędu 90%. Obecny rekord wydajności ogniw fotowoltaicznych wynosi 47,6%. Jaką efektywności przedstawiono w pracy i dla jakich typów ogniw? Jak wg Autora należy rozumieć termin ogniwo słoneczne?
3. Podczas badań zmieniano odległość żarnika halogenowego względem panelu słonecznego, co umożliwiało zgodnie z informacją podaną w tekście zmianę strumienia cieplnego padającego na jego powierzchnię. Panele fotowoltaiczne dokonują konwersji promieniowania słonecznego, a nie cieplnego, na energię elektryczną. Zastanawia więc, w jaki sposób była generowana energia elektryczna, jakie było widmo padającego promieniowania oraz jego równomierność.
4. W rozdziale 6.4 poświęconym obliczeniom w programie STAR-CCM+ Autor stwierdza, że wykorzystywane oprogramowanie pozwala osiągnąć wysoki poziom dokładności poprzez

uzyskanie zbieżności dla równania ciągłości na poziomie 10^{-9} . Jednak czy tak dobra zbieżność gwarantuje, że wyniki są dokładne? Co wpływało na dokładność obliczeń numerycznych oraz czy zbadano np. wpływ siatek numerycznych lub schematów numerycznych na uzyskiwane wyniki? W analizie numerycznej kluczowe jest monitorowanie nie tylko residuów, ale również analizowanych wielkości, czy była monitorowana np. liczba Nusselta?

5. Proszę wyjaśnić, czy analizowany model był niestacjonarny. Wskazują na to pośrednio warunki początkowe, jednak brak jest informacji na ten temat. Jaki był krok czasowy i zastosowane schematy dla dyskretyzacji czasu?
6. Na rysunkach 7.7 i 7.8 przedstawiono wyniki pomiarów w czasie dla różnych wartości gęstości strumienia ciepła. Jak wynika z przedstawionych wykresów, jedna seria pomiarowa trwała 180 s, po tym czasie zmieniano gęstość strumienia ciepła. Czy taki czas był wystarczający na uzyskanie stanu ustalonego?
7. Tabela 7.7 przedstawia wyniki analiz dla nagrzewanego ogniwa słonecznego TSS65TN. W ostatniej kolumnie przedstawiono sprawność cieplną wyznaczoną dla tego ogniwa. Podstawowym zadaniem ogniwa fotowoltaicznego jest generowanie energii elektrycznej, a nie cieplnej, jak więc należy interpretować podaną sprawność cieplną? W tabeli 7.7 podano również napięcie wyjściowe, które pozostaje na niemal stałym poziomie, podczas gdy na wykresie 7.8 (a) widoczne są znaczne wahania wartości napięcia. Jak to wyjaśnić?
8. W rozdziale 7.6 przedstawiono niezwykle istotne analizy dotyczące temperaturowego współczynnika mocy dla modułu PVT. Pojawia się również stwierdzenie poparte wynikami, że wraz ze wzrostem temperatury moduł fotowoltaiczny generuje mniej energii, co wpływa negatywnie na wartość temperaturowego współczynnika mocy. Czy wartość tego współczynnika nie powinna być stała? Z czego wynika jego zmienność?
9. Termogramy wykonane kamerą termowizyjną zaprezentowane na rysunku 8.15 przedstawiają rozkład temperatury ogniwa słonecznego bez chłodzenia płynami roboczymi. Zaskakuje znaczna nierównomierność pola temperatury. Czym mogła być ona spowodowana. Prosiłbym również o wyjaśnienie, czy przedstawione temperatury rzeczywiście dotyczą ogniwa słonecznego, czy powierzchni szyby. Ogniwa w typowych warunkach pracy mogą osiągać bardzo wysokie temperatury znacznie przekraczające 60°C . W tym kontekście zastanawia przedstawiony w pracy fakt uszkodzenia ogniwa już w temperaturze 53°C .
10. Dla modułu z grupą minikanatów można zaobserwować, że w końcowej części minikanatu zachodzi efektywna wymiana ciepła. Autor przypuszcza, że zachodzi tam inicjalizacja procesu wrzenia. Jak w takim razie wyjaśnić znaczny spadek temperatury pod koniec kanału dla przypadku bez chłodzenia?

Podkreślić należy, że wiele z powyższych uwag ma charakter dyskusyjny i nie umniejsza wartości naukowej recenzowanej rozprawy.

IV. Strona redakcyjna pracy

Praca doktorska od strony redakcyjnej jest zredagowana dobrze. Struktura pracy jest poprawna, wprowadzono właściwy dla tego typu prac podział na sekcje; opisy, modele, pomiary oraz przygotowanie tabel i rysunków o dobrze przemyślanej zawartości w ilości, która nie budzi zastrzeżeń. Praca zawiera kilka drobnych błędów literowych, nieścisłości i niepoprawnych konstrukcji gramatycznych, które nie wpływają na czytelność tekstu ani na jego ocenę. Poniżej zestawiono wybrane zauważone w tekście usterki redakcyjne:

- a) w wykazie oznaczeń dla energii magazynowania, przekazanej do odbiorników oraz energii wyprodukowanej przez panel PV, przypisano błędnie jednostkę Waty (W),
- b) w pracy używa się wielokrotnie (s.9, s.92, s.102) niewłaściwego sformułowania „napięcie prądu” zamiast napięcie zasilania,
- c) w równaniu (2.99) po obydwu stronach znaku równości występuje ta sama wielkość,
- d) rysunek 2.1 (s. 52) przedstawia wykresy, a nie schemat temperatury jak podano w podpisie i tekście,
- e) równanie (2.114) pozwala wyznaczyć efektywność, a nie zmiany efektywności, jak niefortunnie zapisano,
- f) niegramatyczne zapisy (s.56) „...częstotliwość można dla warunków cieplno-przepływowych wyznaczyć liczbę Reynoldsa i liczbę Webera.”
- g) zdanie (s.57) „Zastosowanie hybrydowych systemów magazynowania energii fotowoltaicznej ...” rodzi pytanie, co to jest energia fotowoltaiczna,
- h) niefortunne określenia - „zbieranie ciepła” (s.58), „rozkład temperaturowy” (s.84), „minikanalami” (s.88), „kinematyczny współczynnik lepkości dynamicznej” (s.91), „maleje od zakresu 25,3% do 4,3%” (s.103),
- i) urwane zdania „ różnica temperatur wynosiła $\Delta T_{w,PV}=2^{\circ}\text{C}$ a gęstość strumienia ciepła.” (s.113),
- j) występuje cytowanie zbyt wielu pozycji literaturowych naraz np. [200,226,199,120,192,118] (s.18), [10,35,129,55,230] (s.21), [29,33,122,27,32,28] (s.30),

V. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi dobrze opracowaną zamkniętą całość, dowodzi posiadania przez Autora wiedzy i umiejętnością z zakresu realizacji pomiarów cieplno-przepływowych, modelowania numerycznego oraz opanowania w stopniu dobrym metod analizy zjawisk, wnioskowania, wyciągania logicznych wniosków, analizowania wyników oraz ich falsyfikacji. W rozprawie Autor w pełni zrealizował postawione cele oraz w sposób poprawny przedstawił metodykę i istotę zrealizowanych badań oraz otrzymanych wyników.

Rozprawa wskazuje na znaczny wkład pracy Autora i dowodzi rozwiązania ważnego problemu naukowego. Wyniki z prowadzonych badań zostały opublikowane m. in w publikacjach: M. Piasecka, S. Hożejowska, A. Pawińska, D. Strąk: „Heat transfer analysis of a co-current heat exchanger with two rectangular mini-channels”, *Energies*, 2022, 15, 1340; D. Strąk: „Performance investigation of hybrid photovoltaic thermal-heat with mini-channels for application in electric vehicles.” *The Archives of Automotive Engineering. Archiwum motoryzacji*. 2023, 100(2), 1-26;

Przedstawiona do recenzji rozprawa pozwala stwierdzić, że Autor stał się dobrym specjalistą w zakresie badania, modelowania i analizowania kompaktowych wymienników ciepła, w szczególności dla zastosowań do chłodzenia ogniw fotowoltaicznych. Na podstawie treści rozprawy można stwierdzić, że mgr inż. Dariusz Strąk wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną i praktyczną w dyscyplinie inżynieria mechaniczna a rozprawa doktorska wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie.

Podsumowując, oceniam przedstawioną do recenzji rozprawę pozytywnie i stwierdzam, że mgr inż. Dariusz Strąk wykazał się znajomością aktualnego stanu wiedzy w obszarze związanym z tematyką pracy, gruntownym opanowaniem analizowanego problemu, umiejętnością formułowania zadania naukowego oraz opanował sztukę samodzielnego prowadzenia badań. Będąca przedmiotem oceny rozprawa doktorska pt. "Kompaktowe wymienniki ciepła – badania i analiza efektywności cieplnej oraz zastosowanie do chłodzenia elementów instalacji fotowoltaicznej" przygotowana pod opieką naukową prof. dr hab. inż. Magdaleny Piaseckiej oraz dr Anny Pawińskiej spełnia oczekiwania stawiane zwyczajowo rozprawom doktorskim, a także wymagania formalne stawiane pracom doktorskim i odpowiada warunkom określonym w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 ze zm.) i może stanowić podstawę do ubiegania się przez mgra inż. Dariusza Strąka o stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Na podstawie powyższych danych stawiam wniosek do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej o dopuszczenie mgra inż. Dariusza Strąka do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. dr hab. inż. Marek Jaszczur