

dr hab. inż. Małgorzata Sikora
profesor Politechniki Koszalińskiej
Politechnika Koszalińska
Wydział Mechaniczny
Raławicka 15-17
75-620 Koszalin

Koszalin, 31.08.2025

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Dariusza Strąka

pod tytułem:

Kompaktowe wymienniki ciepła – badania i analiza efektywności cieplnej oraz zastosowanie do chłodzenia elementów instalacji fotowoltaicznej

Promotor rozprawy doktorskiej: **prof. dr hab. inż. Magdalena Piasecka**
*Praca realizowana w dziedzinie **Nauk Inżynieryjno-Technicznych**,
w dyscyplinie **Inżynieria Mechaniczna***

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo numer MAA-511/83/2025 z dnia 08.07.2025 roku skierowane do mnie przez Pana Profesora Stanisława Błasiaka, Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna.

1. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Dariusza Strąka pod tytułem: *Kompaktowe wymienniki ciepła – badania i analiza efektywności cieplnej oraz zastosowanie do chłodzenia elementów instalacji fotowoltaicznej*. Praca ta zawiera spis treści, wstęp, część teoretyczną oraz praktyczną pracy, spis literatury, spis rysunków, a także spis tabel, załączniki oraz streszczenie po polsku i angielsku. Całość zajmuje 253 strony i załączniki na płycie, tekst rozprawy rozpoczyna się wstępem a kończy się wnioskami i wytycznymi do dalszych badań, tym samym zajmując 185 stron maszynopisu i 16 stron załączników. Praca zawiera łącznie 74 rysunki i 49 tabele.

Analiza tematyki, podjętych problemów i zastosowanych metod badawczych pozwala na stwierdzenie, że *badania i analiza efektywności cieplnej kompaktowych wymienników ciepła oraz ich zastosowania do chłodzenia elementów instalacji fotowoltaicznej*, mieści się w zakresie dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna.

Z uwagi na fakt, że zajmuję się zagadnieniami dotyczącymi wymiany ciepła i masy, przemianami fazowymi czynników chłodniczych oraz chłodnictwem i klimatyzacją mogę stwierdzić, że znam tematykę podjętych przez Autora zagadnień i czuję się kompetentna do opracowania zleconej mi recenzji.

Uważam, że temat chłodzenia paneli fotowoltaicznych w dobie kryzysu energetycznego, zmian klimatycznych oraz wyzwań związanych z pozyskiwaniem energii z Odnawialnych Źródeł Energii oraz odzyskiwanie energii odpadowej jest ważny i został właściwie wybrany. Temat rozprawy został w pełni wykonany co pozwoliło na realizację postawionego w pracy celu i potwierdzenie postawionej hipotezy.

2. Dorobek doktoranta

Pan mgr inż. Dariusz Strąk studia magisterskie ukończył 24 kwietnia 2009 roku w Wyższej Szkole Ekonomii i Prawa im. Prof. Edwarda Lipińskiego w Kielcach, w 2017r. podjął kształcenie na studiach doktoranckich Wydziału

Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Dorobek naukowy doktoranta obejmuje dwa artykuły opublikowane w czasopismach z listy MEiN (ministerialnej listy A), jest współautorem sześciu artykułów w rozdziałach monografii i książkach. Doktorant uczestniczył w sesjach posterowych trzech konferencji, jest również współautorem trzech publikacji w czasopismach wymienionych w wykazie MNiSzW z listy B, dwóch materiałów z konferencji międzynarodowej zarejestrowanych w Web of Science. Brał on też aktywny udział w działalności naukowej wydziału poprzez pracę w projektach badawczych finansowanych przez NCN. Doktorant był członkiem zespołu badawczego projektu Badań Podstawowych NCN, OPUS, pt. „Analiza wymiany ciepła podczas przepływu płynów chłodniczych przez zespół mikro- i minikanalów”, był członkiem zespołu badawczego realizującego temat badań pt: „Badania eksperymentalne wymiany ciepła oraz analiza teoretyczna zagadnień cieplno-przepływowych z wykorzystaniem zaawansowanych metod matematycznych”, brał udział w realizacji wskaźnika rezultatu nr. 12, projektu MOLAB pt. „Rozwój bazy badawczej specjalistycznych laboratoriów uczelni publicznych regionu świętokrzyskiego”. Dorobek doktoranta należy uznać za wystarczający do uzyskania tytułu doktora w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

3. Tematyka rozprawy doktorskiej

Tematyka rozprawy dotyczy zwiększenia efektywności kompaktowych wymienników ciepła chłodzących panele fotowoltaiczne w celu zwiększenia ich żywotności i efektywności pracy. W pracy wykonano kilka modyfikacji wymiennika dwukanałowego oraz przetestowano wymiennik 6 kanałowy, wykorzystano również do badań różne czynniki termodynamiczne aby sprawdzić które rozwiązanie będzie najbardziej efektywne. Celem badawczym pracy była analiza procesu wymiany ciepła podczas przepływu płynów w kompaktowych wymiennikach ciepła z dwoma minikanalami oraz z grupą minikanalów wraz z uwzględnieniem wybranych parametrów cieplno-przepływowych, właściwości fizycznych płynów i materiałów konstrukcyjnych

oraz rozwinięcia powierzchni wymiennika, dla jego zmiennej orientacji przestrzennej. Autor przedstawił w pracy następujące problemy badawcze do rozwiązania.

1. Skonstruowanie dwóch stanowisk badawczych z modułami testowymi, wyposażonych w aparaturę badawczą oraz opracowanie metodyki przeprowadzenia badań. Moduł testowy jednego ze stanowisk stanowił układ dwóch równoległych minikanatów rozdzielonych przegrodą (miedzianą lub srebrną), jedną z płyt zewnętrznych ogrzewano oporowo. Zastosowano gładką lub rozwiniętą jej powierzchnię stykającą się z płynem. Moduł testowy drugiego stanowiska stanowił grupę minikanatów, których jedną ze ścianek ogrzewanych stanowiła powierzchnia ogniwa PV.
2. Sformułowanie jednowymiarowego podejścia matematycznego (1D) dotyczącego przepływu ciepła w modułach testowych. Wyniki otrzymane z podejścia 1D porównano z: wynikami z podejścia 2D, z wynikami otrzymanymi z równań kryterialnych (wybranych z literatury) oraz z wynikami obliczeń uzyskanych z komercyjnego programu numerycznego CFD (Simcenter STAR-CCM+).
3. Wyznaczenie lokalnych wartości współczynników przejmowania ciepła z podejścia obliczeniowego 1D uwzględniającego zmodyfikowane równanie Newtona dla wymiany ciepła przez konwekcję (na styku płyn gorący – płyta środkowa). W metodzie obliczeniowej 1D wykorzystano zmodyfikowaną metodę Wilsona, bazującą na zastępczym współczynniku przenikania ciepła.
4. Przeprowadzenie analizy lokalnych wartości współczynnika przejmowania ciepła na podstawie danych uzyskanych z badań eksperymentalnych oraz obliczeń numerycznych dla modułu z dwoma minikanatami oraz z grupą minikanatów. Uwzględniono przekazywanie ciepła na drodze jednofazowej wymuszonej dla przepływającego czynnika roboczego w kanale zimnym oraz przepływ konwekcyjny ze zmianą fazy (inicjacja wrzenia i wrzenie przechłodzone) w minikanale z gorącym czynnikiem roboczym.
5. Analiza kluczowych procesów ciepłno-przepływowych i geometrycznych ze względu na intensyfikację wymiany ciepła, w tym wpływ: orientacji

przestrzennej modułu testowego, właściwości fizycznych zastosowanych czynników roboczych, rozwinięcia powierzchni grzejnej (tekstutowanej laserowo) oraz masowego natężenia przepływu dla obu konstrukcji modułów.

6. Analiza efektywności cieplnej metodą NTU badanych dwóch konstrukcji minikanałowych wymienników ciepła pod względem skutecznego chłodzenia ogniwa słonecznego oraz doboru optymalnej powierzchni wymiany ciepła.
7. Rozpoznanie wpływu chłodzenia systemem minikanałów na efektywność pracy ogniwa fotowoltaicznego (pod obciążeniem i bez) na pracę układu superkondensatorów i akumulatorów wraz z analizą temperaturowego współczynnika mocy.

Wszystkie te problemy zostały przeanalizowane w rozprawie doktorskiej. Zakres pracy jest dość szeroki gdyż dotyczy badań wymiany ciepła w kilku konstrukcjach wymienników zróżnicowanych nie tylko pod względem ilości kanałów i ich wymiarów ale również wykorzystanych materiałów, struktury powierzchni i czynników termodynamicznych wykorzystanych w procesie wymiany ciepła.

Doktorant przeprowadził badania eksperymentalne wymiany ciepła w dwóch typach wymienników: z płytą grzejną z dwoma minikanałami oraz z grupą minikanałów współpracującą z ogniwem słonecznym. Analizy wykonał dla różnych orientacji przestrzennych, natężeń przepływu oraz gęstości strumieni ciepła, uwzględniając przepływ jednofazowy i wrzenie przechłodzone. Zastosował ścianki z miedzi i srebra (z tekstutowaniem laserowym lub wgłębieniami zwiększającymi powierzchnię wymiany ciepła).

Oprócz badań opracował metodę obliczeniową 1D do wyznaczania lokalnych współczynników przejmowania ciepła, porównaną z podejściem 2D i obliczeniami numerycznymi CFD w STAR-CCM+. Analizy przeprowadzono dla układów termodynamicznych FC-72–woda oraz HFE649–woda. Wyniki zestawiono z metodami innych autorów, wybierając najbardziej dopasowane. W końcowej części pracy Autor ocenił efektywność cieplną wymienników metodą NTU oraz współczynnik temperaturowy mocy modułu PVT.

Podjęta tematyka jest ważna i aktualna. Zrealizowane badania dotyczą efektywnego chłodzenia paneli fotowoltaicznych. Przeprowadzone badania i symulacje miały na celu wyłonienie konstrukcji wymiennika i parametrów jego pracy, które korzystnie wpłyną na efektywność wymiany ciepła a co za tym idzie na efektywność pracy paneli PVT. Zakres pracy jest bardzo szeroki a tematyka pracy niewątpliwie mieści się w zakresie dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna.

4. Opis i ocena struktury recenzowanej rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji dysertacja składa się z dziewięciu rozdziałów, które można podzielić na dwie główne części. Pierwsza z nich to przegląd literatury zajmujący 3 rozdziały, o objętości 59 stron. Druga część ma charakter praktyczny oraz metodyczno-badawczy (192 strony). Pierwszą część zamykają cel naukowy pracy i hipotezy, natomiast część drugą rozpoczyna opis stanowiska i metodologii badań. Rozdział 1. to wstęp, Rozdział 2. zawiera przegląd literatury dotyczącej kompaktowych wymienników ciepła, natomiast Rozdział 3. to charakterystyka hybrydowych kolektorów słonecznych PVT. Rozdział 4. zawiera cel, zakres i hipotezę pracy, rozdział 5. to badania eksperymentalne i procedura badawcza. Rozdział 6 opisuje metody obliczeniowe zastosowane do wyznaczenia współczynnika przejmowania ciepła zaś rozdział 7 metody obliczeniowe do wyznaczenia efektywności pracy instalacji fotowoltaicznej. Rozdział 8. to wyniki badań i ich analiza, natomiast rozdział 9 zawiera podsumowanie i wytyczne do dalszych badań.

W pierwszym rozdziale pracy zawarto wstęp z motywacją do podjęcia tematu pracy. Rozdział drugi dotyczy przeglądu stosowanych konstrukcji kompaktowych wymienników ciepła oraz charakterystykę metod obliczeniowych stosowanych w opisie wymiany ciepła, metody określania efektywności cieplnej wymiennika ciepła, a także opis metod intensyfikacji wymiany ciepła. Rozdział trzeci zawiera opis i charakterystykę hybrydowych wymienników ciepła oraz sposobów chłodzenia paneli fotowoltaicznych. Rozdział

czwarty zawiera cel naukowy pracy, jej zakres, założenia i hipotezę badawczą.

Rozdział piąty zawiera opis budowy dwóch stanowisk badawczych z głównymi elementami pomiarowymi a także opis metodyki przeprowadzenia badań. Rozdział zawiera schematy obu stanowisk oraz wariantów przeprowadzonych badań. Przedstawiono tu ponadto charakterystykę aparatury pomiarowej i jej dokładność.

Rozdział szósty zawiera omówienie metod wyznaczania lokalnego współczynnika przejmowania ciepła. Zaproponowano uproszczone podejście jednowymiarowe (1D) oraz podejście dwuwymiarowe (2D). Przedstawiono kompleksowe podejście do modelowania procesu wymiany ciepła z wykorzystaniem metody obliczeniowej mechaniki płynów CFD w programie STAR-CCM+. Rozdział zawiera omówienie fizycznych podstaw analizowanego zagadnienia oraz opis równań opisujących przebieg przepływu i wymiany ciepła a także opis przebiegu symulacji w programie STAR-CCM+.

Rozdział siódmy przedstawia zastosowanie opracowanych metod obliczeniowych do wyznaczenia efektywności pracy instalacji fotowoltaicznej. Znajdują się tu schematy poszczególnych elementów stanowiska badawczego wraz z modułem testowym, dwoma obiegami „gorącym” i „zimnym”, system magazynowania energii i system akwizycji danych. Zaprezentowano tu wpływ chłodzenia ogniwa PV na jego charakterystykę mocy, opisano również parametry i czynniki wpływające na straty wydajności modułów. Rozdział ten zawiera również wyniki przeprowadzonej analizy porównawczej panelu bez chłodzenia oraz chłodzonego minikanalami. Znajduje się tu opis i analiza wpływ gęstości strumienia ciepła na napięcie prądu nagrzewanego ogniwa słonecznego oraz ogniwa chłodzonego.

Rozdział ósmy zawiera analizę wyników uzyskanych z eksperymentów dla modułów z dwoma i z grupą minikanatów, podczas których zastosowano dwie kamery termowizyjne. W dalszej części rozdziału przedstawiono wartości współczynników przejmowania ciepła oraz temperatury powierzchni, które zostały opracowane na podstawie badań obu modułów. Rozdział ten zawiera również analizę porównawczą wyników uzyskanych z obliczeń wg

podejścia 1D z wynikami z podejścia 2D oraz z równań kryterialnych wybranych z literatury a także z wynikami obliczeń numerycznych wykonanych w komercyjnym programie CFD (STAR-CCM+).

Ostatni rozdział, dziewiąty, zawiera podsumowanie wyników pracy i wytyczne do prowadzenia dalszych badań.

Należy stwierdzić, że struktura pracy jest typowa dla prac kwalifikacyjnych i jest właściwa. Każdy z rozdziałów części praktycznej posiada streszczenie i wnioski z danego etapu badań. Struktura pracy jest jasna i czytelna.

5. Ocena tez naukowych, celu naukowego i użyteczności oraz zakresu pracy

Przedstawiona w czwartym rozdziale pracy hipoteza brzmi następująco: *„Istnieje możliwość doboru parametrów kompaktowego wymiennika ciepła w celu dostosowania go do chłodzenia elementów instalacji fotowoltaicznej.”*

Przedstawiona przez Doktoranta hipoteza oraz cel naukowy stosunkowo dobrze definiują obszar zadań niezbędnych do rozwiązania postawionych problemów badawczych. Zrealizowany i opisany w pracy zakres badań należy uznać za szeroki i ocenić jako poprawny. Należy zatem pozytywnie ocenić zarówno hipotezę, cel jak i zakres pracy.

6. Ocena poziomu naukowego rozprawy

Część przeglądowa pracy została sporządzona prawidłowo, zawiera ona opis stosowanych obecnie wymienników ciepła, metod obliczania ich efektywności a także obecnie stosowanych systemów i konstrukcji paneli hybrydowych PVT.

W pracy przeprowadzono badania eksperymentalne procesu wymiany ciepła w dwóch wymiennikach ciepła. Pierwszy przypadek to wymiennik z płytą grzejącą z dwoma minikanalami, drugi natomiast współpracował z ogniwem słonecznym i był zbudowany z grupy minikanalów. Badania przeprowadzono dla trzech orientacji przestrzennych oraz dziewięciu ustawień masowego natężenia przepływu czynników roboczych. Współczynniki przejmowania ciepła zostały wyznaczone na podstawie badań z płytą

grzejną z dwoma minikanalami (dla pięciu gęstości strumieni ciepła) oraz z ogniwem słonecznym z grupą minikanalów, (dla sześciu gęstości strumieni ciepła). Badania przeprowadzono dla przepływu jednofazowego oraz dla wrzenia przechłodzonego. W przypadku wymiennika dwukanałowego wykorzystano ścianę oddzielającą czynniki robocze z miedzi i srebra. Powierzchnia ścianki srebrnej została poddana dodatkowo teksturowaniu laserowemu w jednym przypadku w innym na jej powierzchni znajdowały się wgłębienia rozwijające powierzchnię wymiany ciepła.

Oprócz badań eksperymentalnych doktorant opracował metodę obliczeniową wg podejścia jednowymiarowego, stosowaną do wyznaczenia lokalnych współczynników przejmowania ciepła na styku poszczególnych płyt i płynów. Następnie obliczenia współczynnika przejmowania ciepła z podejścia 1D porównano z wynikami podejścia 2D. Doktorant wykonał również obliczenia numeryczne w programie STAR-CCM+ wraz z modelem CFD dla dwóch przedstawionych w eksperymencie modułów testowych w celu weryfikacji i sprawdzenia wyników współczynnika przejmowania ciepła z opracowanym podejściem 1D. Badania i obliczenia wykonano dla konfiguracji czynników termodynamicznych FC-72 – woda oraz HFE649 – woda.

Pan mgr inż. Dariusz Strąk opracował wyniki badań oraz porównał je z innymi metodami obliczeniowymi autorstwa Dutkowskiego, Coopera, Piaśkiej oraz Mikieliewicza D. i innych, następnie wybrał najbardziej dopasowane wyniki. W pracy zbadano również pola temperatur powierzchni wymienników za pomocą kamery termowizyjnej i termopar.

Przeanalizował wpływ położenia kompaktowego wymiennika ciepła przy wrzeniu przechłodzonym dla dwóch równoległych minikanalów prostokątnych. Pod uwagę wziął wpływ wybranych parametrów i czynników na intensyfikację wymiany ciepła podczas przepływu czynnika roboczego w minikanalach. W celu zbadania wpływu chłodzenia na pracę panelu fotowoltaicznego, wyznaczono podstawowe parametry opisujące pracę modułu pod obciążeniem, w tym sprawność cieplną oraz moc użyteczną. Autor przeanalizował wyniki obliczeń współczynnika przejmowania ciepła dla płyty środkowej miedzianej oraz srebrnej, w przypadku płyty srebrnej wystąpiła wyższa

intensywność wymiany ciepła ze względu na współczynnik przewodzenia ciepła tej płyty.

Przeanalizował także maksymalne względne różnice temperatur wyznaczone z pomiaru eksperymentalnego oraz obliczeń numerycznych w programie STAR-CCM+ oraz różnice względne między współczynnikami uzyskanymi z równań kryterialnych wymienionych dla wymiennika z płytą grzejącą. W ostatnim rozdziale pracy opisano analizę temperaturowego współczynnika mocy dla modułu PVT oraz zastosowanie kompaktowego wymiennika ciepła do chłodzenia elementów systemu fotowoltaicznego. Autor przedstawił efektywność cieplną dla obu badanych wymienników, którą określono metodą NTU. Na końcu pracy Doktorant przedstawił dokładności pomiarowe urządzeń oraz błędy pomiarowe i obliczeniowe badanych parametrów.

Doktorantka potwierdziła zatem, że potrafi dokonać analizy literatury, potrafi właściwie dobrać materiał badawczy i stosowne techniki badawcze, w tym symulacje numeryczne, potrafi je zrealizować i przeanalizować uzyskane wyniki.

7. Merytoryczne uwagi szczegółowe

W trakcie lektury niniejszej dysertacji nasunęło mi się wiele mniej lub bardziej istotnych uwag i wątpliwości o charakterze merytorycznym:

- 1) Str. 17 co oznacza pojęcie „gęstość powierzchni wymiany ciepła” i „gęstość powierzchniowa”?
- 2) Tab. 2.2 na rysunku przedstawiono wymiennik ożebrowany i płaszczowo rurowy, jak to się ma do siebie i do opisu w tabeli?
- 3) Str. 32-33 definicje sposobów wymiany ciepła to wiedza podstawowa, której nie trzeba wyjaśniać w rozprawie doktorskiej.
- 4) Równanie (2.8), przydały by się mnożniki.
- 5) Str. 36 opisano ruch laminarny i turbulentny ale nie wspomniano nawet o przejściowym.
- 6) Str. 56, „ważnymi wielkościami charakteryzującymi wgłębienia są amplituda, częstotliwość można dla warunków....” O co chodzi w tym zdaniu?

- 7) Czemu powierzchnia ogniwa jest podawana z dokładności 6 miejsc po przecinku (str.103)?
- 8) Rys. 7.10 zanotowano spadek temperatury przy wzroście wartości strumienia ciepła od pewnego momentu w przypadku zielonych punktów, jaka jest tego przyczyna?
- 9) W niektórych tabelach Autor podaje temperaturę w K a różnicę temperatur w °C (np. tab.7.6), dla czego?
- 10) Rys. 8.4 a, proszę wyjaśnić przebieg krzywych na wykresie.
- 11) Niektóre z wniosków pod wynikami pomiarów są dość oczywiste, np. str.137 wniosek drugi.
- 12) Str. 139, Autor pisze o rozbieżnościach pomiędzy badaniami eksperymentalnymi a symulacją, z czego to może wynikać?
- 13) Jak określono emisyjność powierzchni badanych za pomocą termowizji?
- 14) Czemu wiele wartości przedstawiono na wykresach w funkcji długości kanału?
- 15) Czy cała powierzchnia podczas badań termowizyjnych była jednakowo oświetlona, tzn. czy natężenie promieniowania na całej powierzchni było stałe, rys. 8.17.
- 16) Rys. 8.21 dla czego współczynnik przejmowania ciepła na długości mnikanału raz rośnie, potem maleje, potem znów rośnie itd.?
- 17) Jak wyznaczono eksperymentalnie współczynnik przejmowania ciepła?
- 18) Str. 161, rys. 8.27, wartości współczynnika k są stosunkowo niskie co jest spowodowane zastosowaniem przepływu wody, ponad to jak wynika z pracy w większości przepływ czynnika też był jednofazowy, tylko czasem zachodziło wrzenie przechłodzone. W przypadku przepływu jednofazowego właściwości cieplne zastosowanych czynników nie są dużo lepsze od wody dla czego więc wybrano taki sposób chłodzenia? To powinno być podkreślone w pracy, czemu akurat taki sposób chłodzenia.
- 19) Rys.8.38, czy do porównania z korelacjami wybrano tylko te punkty gdzie zachodziło wrzenie?

- 20) Proszę o wyjaśnienie przyczyn zjawiska opisanego w obserwacji 5 na str.177.
- 21) Str. 182, pierwszy akapit, rodzaj czynnika nie wpływa w opisanym przypadku na liczbę Nu bo te czynniki mają zbliżone właściwości termodynamiczne.
- 22) Na stronie 195 jest wniosek mówiący o tym, że chłodzenie ogniów PV może wydłużyć ich czas pracy o 5-10 lat, ale ten wniosek nie wynika z badań więc chyba nie powinien się w tym miejscu znajdować.
- 23) Zakres badań jest bardzo szeroki, ale części z podjętych kroków Autor nie motywuje konkretnymi względami. Czemu badano wymiennik z 2 i z 6 kanałów, czemu jeden był grzany inaczej a drugi inaczej. Istotne jest aby umotywować naukowo dla czego wybrano takie a nie inne rozwiązanie, a we wnioskach podać, które rozwiązanie i dla czego jest najbardziej optymalne. W pracy jest przedstawionych wiele obserwacji ale Autor nie zawsze próbuje wyjaśnić z czego może wynikać taki a nie inny wynik.

8. Ocena strony redakcyjnej pracy

Pomimo starań Autora w pracy znajdują się błędy literowe, interpunkcyjne oraz edycyjne, jednak nie zmniejszają one wartości pracy. W pracy zauważono kilka mniejszych i większych usterek redakcyjnych, poniżej przedstawiono najważniejsze:

- 1) Autor niepoprawnie używa punktorów, „kropki” służą do wymienienia czegoś jako kontynuacja zdania, w pracy np. na str. 26 po kropce są całe opisy pełnymi zdaniami. W takim wypadku używa się punktorów 1, 2 itp. Ponad to przy wymienianiu czegoś każdy podpunkt zaczynamy z małej litery, na końcu jest przecinek a dopiero po ostatnim podpunkcie kropka jako koniec zdania.
- 2) Równania są częścią zdania dla tego należy stosować do nich interpunkcję.
- 3) Czemu w równaniach 2.25-2.28 stopień suchości oznaczono dużym X.

- 4) Dla czego w równaniu (2.57) zapisano gęstość strumienia masy z potęgą?
- 5) W opisach równań dobrze by było podawać jednostki.
- 6) Dla czego masowe natężenie przepływu oznaczono jako Q tak jak ciepło?
- 7) Należy wybrać czy od nowego akapitu stosuję się wcięcie, czy odstępy między akapitami, nigdy jedno i drugie jednocześnie.
- 8) Str. 115, jeżeli rysunek czy tabela nie mieszczą się zaraz pod opisem to należy przenieść tekst z następnej strony żeby nie zostawiać pustego miejsca.
- 9) Czemu właściwości czynników użytych w badaniach podano dopiero na str.181?
- 10) W pracy znajduje się kilka lapsusów słownych.

9. Podsumowanie

Wymienione powyżej uwagi mogą mieć częściowo charakter dyskusyjny. W recenzji przedstawiono najważniejsze uwagi i nie wyczerpują one również wszystkich, zwłaszcza drobniejszych błędów edycyjnych znalezionych w tekście recenzowanej pracy. Nie wpływają one znacząco na ocenę recenzowanej pracy. W recenzji przedstawiono tylko bardziej znaczące uwagi o charakterze redakcyjnym, oraz uwagi merytoryczne.

Poziom naukowy pracy spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023r., poz. 212). Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Dariusza Strąka dotyczy modyfikacji konstrukcji kompaktowych wymienników ciepła do chłodzenia hybrydowych paneli fotowoltaicznych PVT. Modyfikacji dokonano na podstawie badań eksperymentalnych a także modelowania matematycznego procesu wymiany ciepła różnymi metodami.

Należy również wspomnieć, że Doktorant jest współautorem wielu artykułów naukowych, w indeksowanych czasopismach z listy A i B oraz w rozdziałach monografii (suma punktów za publikacje ogółem to ponad 300) uczestniczył w pracach naukowych do kilku projektów badawczych, a także

brała udział w trzech konferencjach, w tym jednej zagranicznej, gdzie prezentowano wyniki badań zawarte w rozprawie doktorskiej. Oznacza to, że praca Autora została już doceniona na arenie międzynarodowej a sam Autor rozwija cały czas swój kunszt naukowy. Doktorant prowadził również zajęcia ćwiczeniowe i laboratoryjne na Politechnice Świętokrzyskiej.

Pan mgr inż. potwierdził zatem, że potrafi dokonać prawidłowej analizy literatury, potrafi właściwie dobrać materiały do badań a także techniki pomiarowe do określonej specyfiki badań. Potrafi poprawnie zaplanować i zrealizować eksperyment oraz symulacje a także przeanalizować uzyskane wyniki.

Powyżej opisane fakty potwierdzają, że Doktorant, Pan mgr inż. Dariusz Strąk posiada stosowną wiedzę i umiejętności z zakresu prowadzenia pracy naukowej, może zatem ubiegać się o nadanie tytułu doktora nauk technicznych.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską Pana magistra inżyniera Dariusza Strąka pt. „Kompaktowe wymienniki ciepła – badania i analiza efektywności cieplnej oraz zastosowanie do chłodzenia elementów instalacji fotowoltaicznej” stwierdzam, że opracowanie to uzupełnia wiedzę i stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego a także potwierdza, że Doktorant nabył, w stopniu bardzo dobrym, wiedzę teoretyczną oraz umiejętności z zakresu pracy naukowej i jest gotowy do samodzielnego prowadzenia dalszych badań naukowych, spełnia zatem wymagania stawiane kandydatom do nadania stopnia naukowego doktora. Recenzowana dysertacja może zatem stanowić podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora w dyscyplinie *Inżynieria Mechaniczna*. Wobec powyższego, wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana magistra inżyniera Dariusza Strąka do publicznej obrony.



dr hab. inż. Małgorzata Sikora, prof. PK