

prof. dr hab. inż. Dariusz Mikielwicz, czł. koresp. PAN
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa
Instytut Energii
Zakład Systemów i Urządzeń Energetyki Ciepłej
80-233 Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12
tel. +58 347 2254
email: Dariusz.Mikielwicz@pg.edu.pl

Gdańsk, 07 lipca 2023 r.

R E C E N Z J A

pracy doktorskiej mgr inż. Bartosza Stanka pt.

"Multi-variant experimental and numerical analysis of selected design and energetic aspects of parabolic trough collectors"

wykonana na podstawie zlecenia pismem RIE-BD.512.34.2023 z dnia 28 czerwca 2023 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo, Energetyka Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina, zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo, Energetyka z dnia 22 czerwca 2023 r.

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Łukasz Bartela, prof. PŚI. Promotorem pomocniczym jest dr inż. Daniel Węcel.

1. Przedmiot rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca pod tytułem „*Multi-variant experimental and numerical analysis of selected design and energetic aspects of parabolic trough collectors*” dotyczy identyfikacji i analiz procesów wymiany ciepła zachodzących w parabolicznym koncentratorze promieniowania słonecznego, określenie metod intensyfikacji odbioru ciepła w takim koncentratorze oraz redukcji nakładów inwestycyjnych wybranych elementów, a także wykazanie potencjału wprowadzania tych elementów do wybranych instalacji. Przedstawiona do oceny praca jest zbiorem czterech współautorskich publikacji, opublikowanych w renomowanych czasopismach światowych o znaczącym współczynniku wpływu. W pracach tych udział autorski Doktoranta jest w granicach 55-80%, co przekonuje o jego sprawczym wpływie na ich powstanie. Każda z publikacji dotyczy innego zagadnienia i łącznie składają się one na monotematyczny cykl. W każdej z tych prac Doktorant określa się jako pomysłodawca oraz podstawowy badacz tematyki, co potwierdza jego istotny wpływ na kształt każdej z publikacji. Dodatkowo Autor przytacza trzy inne publikacje, w których jest współautorem, dotyczące koncentratorów parabolicznych, również opublikowanych w uznanych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym, z czego jednym z listy JCR. Ponadto Doktorant jest współautorem 17 doniesień konferencyjnych, przede wszystkim uznanych konferencji międzynarodowych. Przewodnik do wspomnianych czterech prac, które są podstawą ubiegania się o stopień doktora, jest napisany, podobnie jak wszystkie publikacje w języku angielskim, w którym Doktorant przedstawił w sposób monograficzny zagadnienia

związane z identyfikacją i modelowaniem procesów wymiany ciepła w parabolicznym koncentratorze.

Przewodnik do pracy liczy 54 strony, a dodatkowo zamieszczone w załącznikach są cztery w pełni opublikowane publikacje monotematyczne. Łączna objętość pracy to 158 stron. W tym świetle przewodnik można potraktować jako wprowadzenie Czytelnika do tematyki pracy, a następnie rozwinięcia tez składających się na cel pracy w przekonujący wywód merytoryczny.

We **wstępnym rozdziale** do pracy czytelnik wprowadzony jest do tematyki ogólnej związanej z obecnością w zastosowaniach technicznych, budową i pracą koncentratorów parabolicznych. Omawia zagadnienia związane z koniecznością wdrażania energii wytworzonej ze źródeł odnawialnych celem osiągnięcia uzgodnień zielonego ładu oraz dekarbonizacji oraz statystyki, które społeczeństwa muszą wypełnić, żeby osiągnąć obniżone wartości emisji ditlenku węgla do atmosfery. Przedstawia schemat i zasadę działania kolektorów parabolicznych oraz przedstawia przykłady ich zastosowania w różnych lokalizacjach na świecie. Omawia przykłady nie tylko dużych instalacji PTC, ale zwraca także uwagę na instalacje o mniejszych mocach, które mogą się pojawić nawet w małych i średnich gospodarstwach domowych. Rozpatruje metody intensyfikacji odbioru ciepła w absorberze poprzez wprowadzanie do nich wkładek turbulizujących. Stara się zwracać uwagę na potencjalne koszty instalacji, żeby były one atrakcyjne dla wszystkich kategorii inwestorów. Analizuje pokrycia absorbera, zwracając szczególną uwagę na pokrycia nieselektywne jako atrakcyjne z ekonomicznego punktu widzenia. Omawia także układy nadążne takich kolektorów. Formułuje przesłanki do podjęcia tematyki pracy oraz nakreśla następujące cele swoich wysiłków:

- kompleksowe zaprojektowanie i wykonanie stanowiska testowego symulatora promieniowania słonecznego, umożliwiającego przeprowadzenie testów na różnych typach absorberów, w stabilnych i powtarzalnych warunkach,
- identyfikacja procesów i opracowanie modelu matematycznego dla wymiany ciepła w parabolicznym kolektorze rynnowym,
- przeprowadzenie serii analiz eksperymentalnych w celu walidacji opracowanych modeli,
- zbadanie wpływu skręconych taśm umieszczonych wewnątrz absorbera liniowego i ich rozmieszczenie w pętli słonecznej w celu maksymalizacji sprawności kolektora parabolicznego,
- zbadanie wpływu różnych rodzajów powłok o wysokiej absorpcji na zewnętrzną powierzchnię absorbera i ich zewnętrznej powierzchni absorbera i ich segmentowego zastosowania wzdłuż długości pętli słonecznej,
- opracowanie numerycznego modelu koncentratora parabolicznego dla tematyki optycznej oraz wykonanie serii analiz w celu określenia wpływu błędu śledzenia na wydajność PTC.

W następnych sekcjach przewodnika następuje skrócony opis kolejnych publikacji.

W rozdziałach od drugiego do piątego Doktorant omawia poszczególne publikacje zgłoszone przez siebie do oceny. Każdy opis składa się z wprowadzenia, przedstawienia pracy oraz wynikających wniosków.

Rozdział szósty to podsumowanie wyników pracy oraz wnioski.

2. Tezy badawcze pracy

Doktorant w swojej pracy nie stawia tez badawczych, jedynie definiuje zakres prac, który w pełni odpowiada wymaganiom prac kwalifikacyjnych, w tym doktorskiej. Problemy naukowe w rozprawie dotyczą trzech wybranych elementów kolektorów parabolicznych analizowanych kompleksowo, tj.:

- intensyfikacja odbioru ciepła wewnątrz absorbera poprzez zastosowanie wkładów w odpowiednim układzie,
- intensyfikacji absorpcji ciepła poprzez zastosowanie wysokochłonnej absorpcyjnej powłoki nieselektywnej oraz
- analizę wpływu kluczowego elementu wpływu kluczowego elementu koncentratora parabolicznego jakim jest aktywny tracker słoneczny, na efektywność procesu koncentracji i absorpcji ciepła.

Zakres prac spełnia oczekiwania stawiane pracom kwalifikacyjnym, czyli w pełny sposób wprowadza czytelnika w zagadnienia układów koncentratorów parabolicznych, przedstawia ich dogłębną analizę za pomocą badań eksperymentalnych oraz analiz numerycznych, formułując zalecenia do optymalnej ich konfiguracji.

W ramach przeprowadzonych prac i analiz za pomocą zbudowanego przez siebie stanowiska oraz symulacji numerycznych w specjalnie opracowanych procedurach w kodzie Aspen Fluent oraz porównaniach z posiadanymi danymi eksperymentalnymi Doktorant w pełni wykazuje wypełnienie nakreślonego zakresu prac i w pełni dokumentuje je wynikami zamieszczonymi w publikacjach.

3. Oryginalność pracy

W mojej ocenie oryginalne osiągnięcia pracy to:

1. zaprojektowanie i wykonanie stanowiska testowego symulatora promieniowania słonecznego, umożliwiającego przeprowadzenie testów na różnych typach absorberów, w stabilnych i powtarzalnych warunkach,
2. opracowanie algorytmu do analizy wyników badań eksperymentalnych PTC,
3. analiza wprowadzenia do absorbera wkładek turbulizujących oraz analiza ich wpływu na poprawę efektywności koncentratora,
4. analiza intensyfikacji absorpcji ciepła poprzez zastosowanie wysokochłonnej absorpcyjnej powłoki nieselektywnej,
5. wpływu aktywnego trackera słonecznego na efektywność procesu koncentracji i absorpcji ciepła.

4. Wartości użytkowe pracy

Przedstawiona do oceny praca doktorska charakteryzuje się dużymi wartościami utylitarnymi, gdyż zagadnienia poruszane w pracy dotyczą rzeczywistych elementów stosowanych w praktyce. Obecnie promowane są wszelkie technologie wykorzystujące odnawialne źródła energii, a efektywne wykorzystanie energii słonecznej doskonale wpisuje się w ten scenariusz. Zaproponowane narzędzia badawcze umożliwiają dogłębną analizę takich układów. Przeprowadzone analizy dotyczące wpływu wkładek turbulizujących, korzystania z oryginalnych powłok wzmacniających absorpcję czy badania trackera słonecznego wzmacniają jakość przedstawionych analiz. Niemniej każde kolejne zastosowanie wymaga opracowania kolejnych dedykowanych algorytmów obliczeniowych. Nie jest więc możliwe stworzenie narzędzia ogólnego. Do każdego nowego przypadku potrzebna jest praca zamodelowania całej instalacji. Pomaga w tym lektura całości pracy, która może być potraktowana jako podręcznik przy modelowaniu układów koncentratorów słonecznych. Projektowanie tego typu elementów instalacji bez wiedzy, która została przedstawiona przez Doktoranta wymaga dużego doświadczenia, które nabywa się latami analizując podobne przypadki. Dodatkowo brak takiego doświadczenia prowadzi do ułomności w modelowaniu oraz przewymiarowania

lub niewłaściwej pracy modelowanych urządzeń, a co za tym idzie błędnego oszacowania ekonomicznego.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne do pracy

Przedstawiona do oceny praca w formie przewodnika, a prace opublikowane w uznanych czasopismach naukowych zostały gruntownie przeanalizowane przez recenzentów wydawniczych. Publikacje te wskazują, że Doktorant posiada wiedzę i potrafi ją przedstawić w kręgach naukowych o zasięgu międzynarodowym. Jest to niezwykle istotne dla ośrodków szkolnictwa wyższego i spełnia aktualne wymagania i oczekiwania przeprowadzonej reformy szkolnictwa wyższego. Praca jest ciekawa i wpisuje się w aktualne trendy naukowe. W mojej opinii praca jest wartościowa, niemniej jej oryginalność jest ograniczona do zagadnień turbulizacji przepływu w absorberze oraz stosowania oryginalnych powłok do intensyfikacji absorpcji. Wykazuje bardziej aspekty aplikacyjne tego typu układów, szczególnie dla mniejszych instalacji oraz o mniejszej intensywności nasłonecznienia. W przedmiotowej pracy wykorzystane zostały klasyczne narzędzia do modelowania matematycznego układów solarnych w obszarze intensyfikacji wymiany ciepła, zarówno w badaniach eksperymentalnych jak i modelowania numerycznego. Niemniej praca bardzo dobrze zapoznaje czytelnika z informacjami koniecznymi do pełnego rozpoznania zagadnienia zastosowań układów PTC. Ma tak naprawdę charakter podręcznika dla podobnych zagadnień. Przedstawiona analiza stanowi istotny wkład do problematyki projektowej i eksploatacyjnej związanej z rozwojem i wdrażaniem układów parabolicznych koncentratorów słonecznych w zastosowaniach technicznych. Ogólna ocena pracy przez recenzenta jest więc pozytywna. Praca porusza ważny problem i przedstawia wartościowe rezultaty. Potwierdzone jest to także przez szereg opublikowanych prac, w których Doktorant jest współautorem, a które nie były przedmiotem oceny w niniejszej rozprawie.

Praktycznie trudno znaleźć mankamenty merytoryczne pracy. Praca napisana jest poprawnym językiem, z wykorzystaniem właściwej terminologii, a jej lektura nie nastęrcza większych trudności. Na uwagę zasługuje praktycznie idealna strona edytorska pracy, nieliczne są uchybienia językowe, a szata graficzna jest nienaganna.

Kwestie, które chciałbym wyjaśnić z Doktorantem dotyczą przede wszystkim możliwości uogólnienia opracowanego modelu dla innych przypadków:

1. Efekt intensyfikacji wymiany ciepła w absorberze poprzez wprowadzenie wkładek turbulizujących jest znaczący natomiast wzrost sprawności koncentratora niewielki. Proszę o podane wyjaśnienia tej obserwacji.
2. Jaki jest wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych na efektywność wymiany ciepła w absorberze oraz koncentratorze słonecznym?
3. Czy Kandydat może wskazać przyszłościowe trendy w podwyższaniu sprawności PCT?

W przewodniku do prac znajdują się nieliczne błędy edytorskie, których nie wymieniam. Jak powiedziałem wcześniej, praca jest bardzo przystępna w lekturze.

6. Wniosek końcowy

Biorąc powyższe uwagi pod rozwagę stwierdzam, że w moim przekonaniu praca może stanowić rozprawę doktorską. Traktuję ją jako rzeczywisty wkład do teorii modelowania parabolicznych koncentratorów słonecznych. Dotyczy ona systematycznych badań zarówno numerycznych jak i eksperymentalnych. Interpretacja wyników jest przekonująca, o wysokim poziomie kompetencji Doktoranta. Uzyskane wyniki obserwacji oraz

przeprowadzona analiza wyników jest interesująca, ważna zarówno z punktu widzenia poznawczego jak też i praktyki inżynierskiej. Autor przeprowadził rzetelny przegląd literaturowy, analizę posiadanych danych doświadczalnych i obliczenia za pomocą własnego narzędzia numerycznego. Wykazał się umiejętnością analizy wyników badań eksperymentalnych i numerycznych oraz głęboką wiedzą dotyczącą zagadnienia. Ponadto wykazał się dużą samodzielnością w rozwiązaniu postawionego zagadnienia. Uzyskane wyniki budzą zaufanie.

Podsumowując stwierdzam, że w moim przekonaniu, praca spełnia warunki stawiane pracom doktorskim przez odpowiednie ustawy. Biorąc pod uwagę podstawowy charakter przedstawionych badań kwalifikowałbym ją do dyscypliny naukowej *inżynieria środowiska, górnictwo, energetyka*. Chciałbym także zaproponować wyróżnienie pracy za oryginalność metod intensyfikacji ciepła w absorberze oraz analizę powłok nieselektywnych do pokrycia absorbera w świetle ich wpływu na poprawę efektywności koncentratorów i niskie koszty inwestycyjne. Biorąc powyższe pod uwagę, **stawiam wniosek o dopuszczenie pracy mgr inż. Bartosza Stanka do publicznej obrony.**