

Dr hab. inż. Rafał KOBYLECKI, prof. PCz
Politechnika Częstochowska
Wydział Infrastruktury i Środowiska
Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych
ul. Dąbrowskiego 73, 42-201 Częstochowa
E-mail: rafal.kobylecki@pcz.pl

Częstochowa, 2023.07.08

Recenzja
Rozprawy Doktorskiej mgr inż. Bartosza STANKA

PODSTAWA FORMALNA

Recenzja niniejsza została napisana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej RIE-BD.512.34.2023 z dnia 2023.06.28 oraz zawartą na jego podstawie z autorem niniejszej recenzji umową o dzieło UMC/2078/2023 na wykonanie recenzji (stopień doktora) do wniosku nr 2006/UMC/RIE0-1/2023.

ZAKRES ROZPRAWY

Będąc przedmiotem niniejszej oceny rozprawa doktorska mgr inż. Bartosza STANKA nosi tytuł „Multi-variant experimental and numerical analysis of selected design and energetic aspects of parabolic trough collectors” (tytuł polski: „Wielowariantowa analiza eksperymentalno-obliczeniowa wybranych zagadnień konstrukcyjnych i energetycznych dla technologii parabolicznych koncentratorów promieniowania słonecznego”). Praca napisana została po angielsku i zrealizowano ją w ramach *European Social Fund Programme „Power for Student, Staff, Science”* (Interdisciplinary doctoral studies no. POWR.03.05.00-00-Z305) oraz przy wsparciu NCN (Narodowe Centrum Nauki) – grant nr 2018/29/B/ST8/02406 w ramach konkursu OPUS15 (PTC Solar Project).

Przedłożoną do recenzji rozprawę stanowi łącznie 160 stron maszynopisu, w którym 80 stron stanowi część ogólna (opisowa) z 17 rysunkami, zaś pozostałe 80 stron to załącznik w którym zestawiono 4 główne monotematyczne artykuły, stanowiące podstawę merytoryczną pracy. Te 4 główne publikacje wsparte są 7 dodatkowymi publikacjami naukowymi, a uzupełnia je lista 17 prezentacji konferencyjnych – ze współudziałem autora recenzowanej dysertacji. W części ogólnej manuskrypt oparty jest na 100 anglojęzycznych pozycjach bibliograficznych i podzielono go na 6 rozdziałów, dodatkowo zawarto wykaz użytych skrótów i oznaczeń oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Zakres merytoryczny rozprawy jest niewątpliwie aktualny i wpisuje się w promowane oraz rozwijane na świecie badania z zakresu energetyki (w tym wypadku – słonecznej), ukierunkowane na zastąpienie technologii konwersji energii opartych o paliwa kopalne technologiami „czystymi”, wykorzystującymi źródła odnawialne (w tym wypadku Słońce) i coraz szerzej stosowane zwłaszcza w ramach tzw. generacji rozproszonej. Prace tego rodzaju wynikają zarówno z troski o klimat (zmieniający się wskutek wzrostu koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze w efekcie spalania paliw kopalnych oraz degradacji środowiska), jak i z aktualnej sytuacji politycznej (dążenie do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego) oraz planów działań na rzecz długofalowej troski o środowisko i zdrowie człowieka. W takim ujęciu badania opisane w rozprawie poświęcone są problematyce generacji nisko oraz wysokotemperaturowego ciepła poprzez absorpcję i konwersję energii promieniowania słonecznego z wykorzystaniem kolektorów słonecznych. Ze względu na stosunkowo małą gęstość promieniowania słonecznego (stała słoneczna to około 1,3 kW/m²) propozycja rozwiązań utylitarnych obejmuje także zastosowanie odpowiednich koncentratorów słonecznych, pozwalających na wzrost wartości jednostkowego natężenia promieniowania

słonecznego z 1 m² powierzchni kolektora. Dzięki zastosowaniu rynnowych koncentratorów parabolicznych (PTC) możliwe jest zarówno wytwarzanie energii elektrycznej z energii odnawialnej (m.in. poprzez pośrednie pozyskiwanie ciepła przy temperaturze około 400°C), jak i zaspokajanie (częściowe lub w całości) zapotrzebowania na ciepło – w tym przypadku jednak zwykle czynnik cechuje niższa temperatura (zwykle <250°C). W obu przypadkach dąży się jednak do opracowania takich rozwiązań technologicznych, aby zapewnić zarówno zintensyfikowanie absorpcji ciepła przez czynnik termalny, jak i redukcję kosztów jednostkowych poszczególnych elementów instalacji solarnej.

Tematyka oraz zakres prac zrealizowanych i omówionych w recenzowanej rozprawie wpisuje się w pełni w powyższe dążenia. Na podkreślenie zasługuje, że w ramach realizacji rozprawy Autor zrealizował szerokie spektrum prac, dokonując m.in. identyfikacji procesów wymiany ciepła zachodzących w kolektorze słonecznym z koncentratorem parabolicznym, określenia sposobu intensyfikacji odbioru ciepła oraz redukcji części ewentualnych nakładów inwestycyjnych (w przypadku implementacji technologii) oraz wykazania potencjału dla utylitarnego aplikowania tych metod dla poszczególnych instalacji. Szczegółowe główne działania mgr inż. Bartosza STANKA to m.in.:

- zaprojektowanie i zbudowanie instalacji eksperymentalnej dla realizacji badań różnych absorberów w układzie PTC z określeniem optymalnego rodzaju źródła światła oraz metod intensyfikacji odbioru ciepła,
- opracowanie sposobu poprawy wydajności instalacji poprzez zastosowanie sekwencyjnych wkładek turbulizujących przepływ,
- wykonanie badań możliwości zastosowania nieselektywnych powłok absorpcyjnych na zewnętrznej powierzchni absorbera – w tym zakresie Autor dysertacji zaproponował nowatorskie rozwiązanie polegające na aplikacji powłok jedynie w wybranych początkowych segmentach instalacji, tzn. tam, gdzie temperatura czynnika solariego odbierającego ciepło od wewnętrznej powierzchni absorbera jest na tyle niska, że wyższe straty promieniowania (wynikające ze zwiększonej emisyjności) są z nadadkiem rekompensowane wyższą (względem przypadku referencyjnego) absorpcyjnością powierzchni,
- dokonanie walidacji opracowanych modeli matematycznych opisujących przepływ ciepła w absorberze – *novum* Autora stanowiło m.in. odrębnie rozpatrywanie strumieni ciepła doprowadzanych do powierzchni absorbera w formie promieniowania skoncentrowanego i nieskoncentrowanego (ze względu na znacznie wyższy udział promieniowania nieskoncentrowanego w przypadku instalacji PTC o niskim stopniu koncentracji),
- wykonanie analizy i oceny zagadnień związanych z pracą systemu nadążnego kolektora PTC, w tym oceny wpływu odchylenia ustawienia koncentratora na sprawność instalacji (rozpatrzono przypadki zarówno z, jak i bez osłony próżniowej wokół absorbera liniowego).

Recenzowaną rozprawę tworzy sześć głównych rozdziałów. W pierwszym z nich przedstawiono wstępne informacje oraz sprecyzowano cel i zakres pracy (zbadanie różnych sposobów intensyfikacji przekazywania ciepła po wewnętrznej i zewnętrznej stronie absorberów w kolektorach PTC oraz zbadanie ich wpływu na instalację solarną). W rozdziale drugim przedstawiono opis modelowania stanowiska eksperymentalnego dla kolektorów parabolicznych rynnowych – ze względu na zmienność warunków atmosferycznych autor zaprojektował i wykonał stanowisko symulujące promieniowanie słoneczne zbliżone do naturalnego, co pozwoliło na realizację badań w kontrolowanych warunkach. Rozdział trzeci rozprawy poświęcony jest badaniom możliwości intensyfikacji odbioru ciepła wewnątrz absorbera liniowego za pomocą wkładów spiralnych, segmentowo rozmieszczonych w różnych odcinkach pętli solarnej. Badania wsparto modelowaniem CFD, a wyniki obliczeń zweryfikowano w badaniach eksperymentalnych. W rozdziale czwartym skupiono się na badaniach powłok nakładanych na zewnętrzne powierzchnie absorberów w celu poprawy absorpcji promieniowania i tym samym sprawności instalacji. Głównym celem było określenie możliwości zastąpienia drogich powłok selektywnych (stosowanych dotychczas typowo w

absorberach liniowych) powłokami nieselektywnymi – w założeniu działanie takie powinno skutkować poprawą sprawności przy zachowaniu zakładanego poziomu efektywności i kosztochłonności pracy instalacji. Wykazano, że korzystne jest stosowanie chłonnych powłok nieselektywnych jedynie we wstępnych odcinkach pętli absorbera. Rozdział piąty obejmuje analizę problematyki ciągłego śledzenia i lokalizacji pozycji Słońca (tzw. online tracking), istotnego z punktu widzenia maksymalizacji wykorzystania promieniowania bezpośredniego. Autor dokonał szeregu analiz optycznych i termodynamicznych określając maksymalne odchylenie dopuszczalne dla zachowania efektywności i niskiej awaryjności pracy instalacji. Uzyskane wyniki są istotne zwłaszcza dla projektantów i instalatorów tego typu urządzeń. Podsumowanie i przedstawienie wniosków uzyskanych w efekcie realizacji recenzowanej rozprawy doktorskiej zawiera rozdział szósty – ostatni w części opisowej (ogólnej) pracy. Po nim w manuskrypcie umieszczono spis literatury i rysunków, a także załącznik, obejmujący 4 monotematyczne artykuły naukowe, tworzące rdzeń części merytorycznej rozprawy.

OCENA ROZPRAWY

Zdaniem recenzenta tematyka podjęta w pracy jest niewątpliwie aktualna i perspektywiczna oraz posiada duży potencjał – zarówno naukowy, jak i użytkowy do wykorzystania przez przemysł. Na podkreślenie zasługuje, że dla osiągnięcia celów niniejszej pracy Autor rozprawy sformułował i wykonał szereg prac badawczo-eksperymentalnych, w tym zaprojektował i wykonał stanowisko badawcze symulatora promieniowania słonecznego, umożliwiające badania różnych rodzajów absorberów promieniowania w stabilnych i kontrolowalnych oraz przewidywalnych warunkach, opracował model matematyczny wymiany ciepła w parabolicznym kolektorze rynnowym (PTC) oraz zrealizował serię badań eksperymentalnych dla walidacji modelu, a także wykonał badania i dokonał oceny wpływu rodzaju spiralnych turbulizatorów przepływu oraz ich ułożenia wewnątrz absorbera liniowego w pętli solarnej na poprawę sprawności kolektora PTC. W ramach pracy doktorskiej Autor dokonał również zbadania wpływu różnego rodzaju powłok pokrywających zewnętrzną powierzchnię absorbera na efektywność pracy instalacji oraz opracował model numeryczny optycznego koncentratora parabolicznego, a także wykonał szereg analiz w celu określenia wpływu błędu śledzenia na efektywność pracy kolektora.

Zdaniem recenzenta, zakres wszystkich powyższych prac jest bardzo szeroki i wykonany został w relatywnie krótkim czasie studiów doktoranckich. Zakres tych działań, jak również liczba zestawionych publikacji, wskazują niewątpliwie na dużą wiedzę oraz możliwości i zdolności Kandydata do realizacji zarówno pracy naukowej, jak i do rozwiązywania różnorodnych problemów natury inżynierskiej. Wyniki zaprezentowane w rozprawie doktorskiej mgr inż. Bartosza STANKA niewątpliwie stanowią jego oryginalny wkład do rozwoju nauki i obecnego stanu wiedzy w obszarze szeroko rozumianej energetyki. Podkreślić należy, że praca napisana jest bardzo dobrze, układ rozprawy nie budzi uwag, a język oraz użyte sformułowania są w przeważającej części jasne i logiczne.

UWAGI KRYTYCZNE

Uwag krytycznych i niejasności jest niewiele i w znakomitej większości mają one jedynie charakter porządkowy. Moje uwagi to:

1. Na stronie XV w linii 3 podano wartość strumienia masy płynu termalnego 0,15 kg/s – wygodniej byłoby chyba podać wartość natężenia strumienia masy [$\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$] lub prędkość płynu (w tym ostatnim wypadku podając także temperaturę i ciśnienie).
2. Na stronie XV podano koszt powłoki Pyromark (1,34 \$/mb) – wygodniej byłoby chyba podać dodatkowe koszty w [%] względem ceny absorbera bez powłoki.
3. Rys. 1.1: Dlaczego wybrano liczbę lamp 22 i 4? Brak wyjaśnienia powodów takiej właśnie decyzji w tekście pracy.
4. Rozdział 3.1.1: Brak wyjaśnienia dlaczego zdecydowano się użyć innych źródeł światła niż w poprzednim rozdziale (paper I).

5. Rozdział 3.1.2: Brak szczegółów opisu jakiego rodzaju wstępne obliczenia (preliminary calculation) przeprowadzono oraz ile (str. 26) wynosił „measurable temperature increment”.
6. Fig. 3.3: Brak jasnej informacji względem czego zmierzono „relative heat flux”?
7. Str. 22: Brak wyjaśnienia szczegółów (1-2 zdania) wykonanej analizy optycznej.
8. Str. 33, rozdz. 4.3: Dlaczego wybrano i zrobiono badania dla natężenia 800 W/m^2 ? Brak stosownego wyjaśnienia w tekście.
9. Str. 40, ostatnie 2 linijki: użyty termin 'High agreement' jest nieprecyzyjny (wskazane podanie wartości liczbowej).
10. Str. 41: autor pisze „...For the analyzed results, optimization showed that the most optimal is to use an insert with twisted ratio 1 up to 190°C of thermal fluid, and twisted ratio 2 for higher temperatures...”. Szkoda, że nie skomentowano szerzej w tym miejscu tych niewątpliwie interesujących wyników (dlaczego właśnie $T_r=1$ oraz dlaczego taka, a nie inna wartość temperatury).
11. Rys. 2.1-2.2, Graph Abstract oraz rys. 3.1: Brak podania danych o wymiarach geometrycznych stanowiska. Ponadto na rys. 5.3 brak jest opisu dla osi X.
12. Rozdz. 3.4 w części pod równ. (3.2): brak krótkiej informacji dlaczego wybrano wartość 32.7%.

Inne drobne uwagi dotyczą zagadnień techniczno-edycyjnych (brak cytowania po ostatnim zdaniu na str. 4 oraz w liniach 6-9 na str. 8 i w ostatnim akapicie na str. 11, niezbyt precyzyjne określenie na str. 25 linia 1) oraz stylistycznych, m.in.: pierwszy akapit na str. 11, ostatni akapit na str. 12, środkowy akapit na str. 13 oraz str. 29 i 38.

WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Bartosza STANKA pt. „Multi-variant experimental and numerical analysis of selected design and energetic aspects of parabolic trough collectors” („Wielowariantowa analiza eksperymentalno-obliczeniowa wybranych zagadnień konstrukcyjnych i energetycznych dla technologii parabolicznych koncentratorów promieniowania słonecznego”) zawiera moim zdaniem elementy oryginalne, które stanowią istotny wkład do rozwoju nauki w obszarze szeroko rozumianej energetyki. Dodatkowo uważam, że treści merytoryczne zawarte w rozprawie cechuje perspektywa ich użytecznego zastosowania i wykorzystania, co w konsekwencji skutkować powinno korzyściami naukowymi, gospodarczymi i środowiskowymi. W opinii końcowej chcę także podkreślić szerokie spektrum zagadnień i problemów techniczno-logistyczno-badawczych, przed rozwiązaniem których stanął Doktorant, a których efekty wskazują na niewątpliwie ponadprzeciętne umiejętności Autora.

Kompozycja oraz zakres merytoryczny recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartosza STANKA spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w odpowiednich przepisach i tym samym **wnioskuje o jej dopuszczenie do publicznej obrony**. Jednocześnie, biorąc pod uwagę zakres merytoryczny i formalny rozprawy oraz przedstawione osiągnięcia publikacyjne autora, jak również zaprezentowany w pracy sposób rozwiązania różnych problemów naukowo-badawczych, **stawiam wniosek o jej wyróżnienie**.

Częstochowa, 2023.07.08

Podpisał Rafał Kobylecki