

Dr hab. inż. Rafał KOBYŁECKI, prof. PCz
Politechnika Częstochowska
Wydział Infrastruktury i Środowiska
Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych
ul. Brzeźnicka 60A, 42-201 Częstochowa
Tel.: 603.783.933; E-mail: rafal.kobylecki@pcz.pl

Częstochowa, 2021.11.10

Recenzja

Rozprawy Doktorskiej mgr inż. Piotra LISA

WPROWADZENIE

Recenzja niniejsza została napisana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej nr RND-IŚGiE/101/2021 z dnia 2021.09.30 oraz umową o dzieło zawartą na jego podstawie z autorem niniejszej recenzji.

ZAKRES ROZPRAWY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Piotra LISA nosi tytuł " A Study of the Positive Displacement Machine Application in the Supercritical Carbon Dioxide Brayton Cycle". Pracę, napisaną po angielsku, stanowi łącznie 148 stron maszynopisu formatu B5, na których rozmieszczono 100 rysunków i 33 tabele. Manuskrypt oparty jest na 114 pozycjach bibliograficznych – w całości anglojęzycznych. Rozprawa została podzielona na 7 głównych rozdziałów i zawiera dodatkowo wykaz użytych w pracy oznaczeń, spisy rysunków i tabel oraz streszczenia w języku angielskim i polskim.

Recenzowana praca poświęcona jest badaniom i analizie możliwości zastosowania maszyn z czynnikiem roboczym w obiegu Braytona, gdzie medium jest nadkrytyczny ditlenek węgla. Zakres merytoryczny rozprawy jest aktualny, wpisując się w prowadzone na świecie badania odnośnie możliwości zagospodarowania i wykorzystania ditlenku węgla, poprawy efektywności pracy urządzeń oraz zaproponowanie alternatywnych, opłacalnych ekonomicznie technologii dla powszechnie wykorzystywanych w technice maszyn wirnikowych.

W tym ujęciu, realizacja konwersji energii w obiegu Brytona z wykorzystaniem CO₂ w stanie nadkrytycznym jako czynnika roboczego jest niewątpliwie nowatorska i oferująca w perspektywie duże możliwości implementacji przemysłowej – zarówno w układach tzw. energetyki klasycznej, jak i obiegach z OZE (odnawialne źródła energii) oraz innych – np.

wykorzystujących ciepło odpadowe. Obieg tego rodzaju jest relatywnie nieskomplikowany i oferuje wysoką sprawność termiczną przy niewielkich gabarytach urządzeń, co pozwala na ekonomiczną budowę i pracę urządzeń o niewielkiej mocy, a także wydatne ograniczenie kosztów np. materiałowych, czy też logistycznych.

W świetle powyższego, tematyka badawcza podjęta przez mgr inż. Piotra LISA jest ważna i interesująca, a efekty wynikające z realizacji rozprawy cechuje niewątpliwie perspektywa praktycznego wykorzystania w przemyśle (w nowoczesnych wysokosprawnych układach i obiegach termodynamicznych), stanowiąc istotną wartość dodaną pracy – podobnie jak wyczerpujący i zwięzły przegląd dotychczasowych osiągnięć z zakresu obiegów z nadkrytycznym ditlenkiem węgla. Moim zdaniem, zaprezentowane w takim ujęciu wyniki uzyskane w wyniku realizacji recenzowanej rozprawy wnoszą tym samym istotny wkład dla rozwoju nauki oraz gospodarki.

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z 7 głównych rozdziałów. We wstępie (rozdział 1), Autor zwięźle (kilka stron pracy) omawia motywację do podjęcia tematu oraz zakres i strukturę rozprawy. W części tej zawarto ponadto również podstawowe informacje o nadkrytycznych cyklach CO₂ oraz sformułowano główne założenie (tezę) pracy.

W rozdziale 2 zawarto przegląd dotychczasowych badań w zakresie podejmowanej tematyki oraz krótko omówiono zagadnienie nadkrytycznych obiegów z ditlenkiem węgla, a także zawarto podstawowe równania termodynamiczne stosowane w modelowaniu tego typu obiegów.

Rozdział 3 opisuje podstawy teoretyczne maszyn z cieczą waporową, zawarto w nim także informacje odnośnie klasyfikacji i możliwości zastosowania tego rodzaju maszyn i technologii w obiegach z czynnikiem roboczym o parametrach nadkrytycznych.

Rozdział 4 stanowi kontynuację rozdziału 3, a przedstawione w nim informacje dotyczą opisu szczegółów konstrukcji oraz analizy technologii łopatkowych maszyn rotacyjnych (analizie poddano zarówno geometrię tego typu maszyn, jak i ich kinematyki oraz termodynamiki). W rozdziale 4 Autor odniósł się także do kwestii tarcia i spowodowanej nim straty energii oraz szczegółów wybranych modeli matematycznych tego rodzaju maszyn.

Rozdział 5 rozprawy poświęcony jest przedstawieniu wyników obliczeń oraz analizie termodynamicznej obiegu z CO₂ w układzie z odzyskiem ciepła odpadowego. Głównym zamierzeniem Autora była optymalizacja parametrów cyklu oraz określenie sprawności.

Kolejny rozdział (szósty) zawiera opis modelu (geometria, kinematyka ruchu oraz termodynamika urządzenia) dla badanej sprężarki łopatkowej i ekspandera. W rozdziale tym zawarto także wyniki obliczeń symulacyjnych wraz z analizą wrażliwości i wpływu zmian wybranych najważniejszych parametrów na pracę urządzenia. Przedstawione w rozdziale 6

wyniki są cenne – zwłaszcza z punktu widzenia projektowania i doboru parametrów pracy dla tego typu urządzeń.

Ostatni rozdział (siódmy – o objętości 3 stron) zawiera zestawienie głównych wniosków z realizacji pracy, jak również omówienie zaleceń odnośnie perspektyw i możliwości dalszych badań z uwzględnieniem wyników uzyskanych w efekcie realizacji przez mgr inż. Piotra LISA rozprawy doktorskiej.

OCENA ROZPRAWY

Zdaniem recenzenta tematyka pracy jest niewątpliwie nowatorska i oferuje – w przypadku zrealizowanych z sukcesem implementacji przemysłowych – perspektywiczne (zarówno w układach tzw. energetyki klasycznej, jak i obiegach z OZE oraz w układach z odzyskiem ciepła odpadowego.) możliwości realizacji wysokosprawnej konwersji energii przy niewielkich gabarytach urządzeń, co wpływa na koszty inwestycyjne oraz ekonomikę pracy i eksploatacji małych siłowni – zwłaszcza pracujących w tzw. rozproszeniu. Elementy nowości pracy, będące oryginalnym dorobkiem doktoranta, stanowi moim zdaniem analiza możliwości zastosowania ditlenku węgla o parametrach nadkrytycznych jako medium roboczego w obiegu Braytona w maszynie wirnikowej o wybranej konfiguracji geometrycznej oraz wykonanie obliczeń symulacyjnych i analiza termodynamiczna dla określenia optymalnych (z punktu widzenia sprawności oraz wartości współczynnika odzysku ciepła) parametrów i punktu pracy maszyny wirnikowej.

Wdrożenie przemysłowe przedstawionych w pracy wyników będzie niewątpliwie cechowała użyteczność i powinny się one przyczynić do szerszego rozwoju energetyki rozproszonej oraz do zwiększenia możliwości dla gospodarczego wykorzystania CO₂. Te potencjalne możliwości sprawiają, że podjęta i przedstawiona w rozprawie tematyka jest bardzo aktualna, a uzyskane wyniki cechuje wysoki potencjał praktycznego wykorzystania – zwłaszcza wobec zmian, jakie w ostatnich latach dokonują się w szeroko rozumianym sektorze energetycznym. Moim zdaniem, wyniki rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra LISA stanowią tym samym istotny wkład do rozwoju nauki w obszarach szeroko rozumianej inżynierii środowiska i energetyki.

UWAGI KRYTYCZNE

Moja ogólna ocena pracy jest generalnie pozytywna, niemniej jednak w trakcie lektury nasuwa się kilka uwag krytycznych odnośnie treści merytorycznej rozprawy. Najistotniejsze z tych uwag to:

1. Nie podano jednostek dla wielkości zestawionych na str. 13 rozprawy.
2. Na str. 26 w tekście opisu zamiast podania rys. 2.13 powinno się chyba przywołać rys. 2.6?

3. Nie podano definicji wskaźnika 'compressibility factor' (rys. 2.10 rozprawy).
4. Brak jest szerszego omówienia poszczególnych modeli wymienionych jako 1-8 (str. 32 pracy). Można by np. uzupełnić tekst rozprawy o zestawienie głównych różnic w modelach, podanie wyrażeń jak określić gęstość, pojemność cieplną, itp.
5. Brak jest wyjaśnienia, co oznaczają wielkości ' A_i ' oraz ' F_i ' (równanie 2.2 b).
6. Na rys. 2.12 (a nie tylko w tekście pracy) powinien się także znaleźć opis co oznaczają poszczególne pola A-E – niewątpliwie ułatwiłoby to lekturę.
7. Brak powołania się i odniesienia w tekście rozprawy do rys. 2.14e oraz rys. 2.14f (str. 42). Podobnie, brak jest odniesienia się do przypadków pokazanych na rys. 2.15-2.16.
8. W pracy nie zawarto opisu oznaczeń pokazanych na rys. 2.17.
9. Brak jest szerszego komentarza dla informacji pokazanych na rys. 2.18 oraz brak jest opisu co oznaczają poszczególne wartości w równaniach 2.9-2.13. Podobna uwaga dotyczy rys. 2.22 – braku jest w pracy wyjaśnienia co oznaczają poszczególne numery na tym rysunku.
10. Proszę o wyjaśnienie, jak rozumiany jest termin 'parasitic load bank' (rys. 2.29)?
11. Proszę o wyjaśnienie, co oznaczają poszczególne parametry w równaniach 3.1-3.3, a także w równaniach 4.2, 4.13-4.27 oraz 5.1-5.3.
12. W równaniach 3.5-3.6 należałoby chyba zamiast 'const' użyć 'idem'.
13. Tekst na str. 87 – drugi akapit: brak jest pokazania poszczególnych zmiennych na odpowiednim rysunku.
14. Opis tekstu do rys. 4.10 jest dość ubogi. Podobna uwaga dotyczy wyników przedstawionych na rys. 5.2-5.3, 5.6-5.9 oraz w Tabeli 6.14.
15. Proszę o informację w jakim programie wykonano obliczenia zestawione na rys. 5.2?
16. Moim zdaniem nie ma potrzeby formułowania odrębnych sekcji 'Conclusions' na str. 104 i str. 109 – Rozdział o takim tytule powinien być umieszczony jedynie na końcu pracy i stanowić jej podsumowanie merytoryczne.
17. Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób zdefiniowano i jak obliczono (t.j. w oparciu o jakie dane) wartości optymalnych parametrów cyklu (tabela 5.7).
18. W trakcie lektury rozprawy (np. rozdział 6.3 linie 1-2) nie znalazłem w tekście zwięzłego opisu modelu kinematycznego oraz treści rozdziału 'Chapter 0' – proszę o wyjaśnienie (nota bene, powołanie się na 'Chapter 0' znajduje się także na str. 116, 131 i 132 rozprawy).
19. Rys. 6.5-6.6: brak jest legendy oraz podania w tekście pracy informacji o analizowanym układzie, jego parametrach, mocy, typie, itp.
20. Proszę o wyjaśnienie, co oznaczają skróty 'LSL' i 'USL' widoczne w Tabelach 6.4 i 6.13.



21. W treści rozprawy brak jest cytowania rys. 6.10; ponadto na rysunku tym należałoby chyba zamieścić jedynie poszczególne punkty, a nie linię ciągłą ('vane No.' to chyba są liczby naturalne?).
22. Str. 135 pierwsza linijka głównego tekstu: wzmiankowany tam ze zakres '30-34' nie jest tożsamy z zakresem podanym w Tabeli 6.15.
23. Niezbyt fortunate jest chyba rozbięcie rozdziału 7 na poszczególne podrozdziały, gdyż utrudnia to dokonanie analizy i ocenę wniosków z realizacji pracy. Część tekstu tworzącego treść rozdziału 7 (np. pierwsza linijka) powinna znaleźć się moim zdaniem we wstępie pracy, a w rozdziale 7 powinny być przedstawione główne wnioski wraz z opisem i analizą osiągnięć – sformułowania ogólne bądź oczywiste (np. wniosek 2 na str. 138) należy pominąć.

WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Piotra LISA „A Study of the Positive Displacement Machine Application in the Supercritical Carbon Dioxide Brayton Cycle” zawiera – moim zdaniem – oryginalne informacje – zarówno teoretyczne, jak i praktyczne, które mogą być wykorzystane w szeroko rozumianej technice – zwłaszcza w dziedzinie energetyki.

Zaproponowana przez Autora koncepcja i analiza możliwości zastosowania ditlenku węgla o parametrach nadkrytycznych jako medium roboczego w obiegu Braytona w maszynie wirnikowej o wybranej konfiguracji geometrycznej oraz analiza termodynamiczna i obliczenia symulacyjne systemu odzysku ciepła odpadowego stanowią moim zdaniem istotny element nowości pracy, a potencjalne wdrożenie przemysłowe uzyskanych w ramach realizacji pracy wyników będzie niewątpliwie cechowała użyteczność.

W opinii końcowej należy, moim zdaniem, podkreślić novum problematyki i związane z tym ograniczenia dostępnych źródeł literaturowych, a także złożoność techniczną badanych zagadnień, zwłaszcza w zakresie modelowania. Uzyskane wyniki pracy świadczą o ponadprzeciętnej wiedzy merytorycznej oraz umiejętnościach Doktoranta, a napisanie rozprawy w języku angielskim to dodatkowa wartość dodana, z potencjałem dotarcia do szerokiego grona potencjalnych czytelników – nie tylko w Polsce, lecz także na świecie. Moim zdaniem kompozycja oraz zakres merytoryczny rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra LISA spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w odpowiednich przepisach i **wobec powyższego wnioskuje o jej dopuszczenie do publicznej obrony.**

Częstochowa, 2021.11.10

