

Gliwice, 22.11.2022r.

ADMINISTRACJA
Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki
Wpłynęło dnia... 28 LIS. 2022
Nr... 2010 ... szt.

Recenzja rozprawy doktorskiej

Mgr inż. Tomasza Stelmacha

pt. "Badania eksperymentalne i symulacje numeryczne zjawisk przepływowo-ciepłych
w wymiennikach ciepła z rurami eliptycznymi"

wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Pawła Ocfonia

na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej.

1. Podstawa opracowania

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Pana Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej dr hab. inż. Stanisława M. Rybickiego, prof. PK (pismo ŚO.520-1734/2022/SMR z dnia 10.10.2022r.).

Politechnika Śląska

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Katedra Techniki Ciepłej

ul. Konarskiego 22, pok. C59, 44-100 Gliwice
+48 32 237 29 83
Sebastian.werle@polsl.pl / RIE6@polsl.pl

NIP 631 020 07 36
ING Bank Śląski S.A. o/Gliwice 60 1050 1230 1000 0002 0211 3056



2. Wprowadzenie

Oszczędne i efektywne korzystanie z energii jest promowane na całym świecie jako wzorzec świadomej dbałości o środowisko, w jakim żyjemy. We współczesnym świecie, w dobie kryzysu energetycznego, działania te nabierają szczególnego znaczenia.

Wzrost efektywności energetycznej coraz częściej uznaje się nie tylko za środek ograniczający emisję gazów cieplarnianych i ograniczających wydatki na energię, lecz także za istotny czynnik konkurencyjności wśród przedsiębiorstw. Podkreśla się, że wzrost efektywności jest jednym z głównych czynników przyczyniających się do osiągnięcia tzw. porozumienia paryskiego. Dzięki optymalizacji zużycia energii na świecie i możliwości produkowania więcej przy mniejszych nakładach możemy zaspokoić nasze zwiększone zapotrzebowanie na energię i jednocześnie ograniczyć emisję CO₂. W rzeczywistości, według Międzynarodowej Agencji Energii IEA, wzrost efektywności energetycznej może przyczynić się do ponad 40% redukcji emisji w ciągu najbliższych 20 lat.

Aż 50% dzisiejszego potencjału oszczędności w zakresie wydajności energetycznej pochodzi z sektora przemysłowego, a 30% można osiągnąć w budynkach. Duża część potencjału oszczędnościowego tkwi w wymiennikach ciepła. Konstruktorzy i inżynierowie proponują nowe, bardziej efektywne rozwiązania w tym względzie. Jednym z nich jest stosowanie rurek eliptycznych, mających bardziej aerodynamiczny kształt, który pozwala uzyskiwać intensywniejszy proces wymiany ciepła. Niestety wymienniki z tego typami rurek, szczególnie w zakresie przepływów przejściowych, nie są dostatecznie rozpoznane i wymagają prowadzenia prac badawczych i rozwojowych.

Autor rozprawy, postawił sobie za cel przeprowadzenie badań eksperymentalnych oraz numerycznych obejmujących między innymi wyznaczenie współczynnika wnikania ciepła do przestrzeni wewnętrznej rury eliptycznej, określenie wpływu kształtu kolektorów wlotowych i wylotowych wymiennika ciepła na nierównomierność rozprzysku czynnika do przestrzeni rurowej oraz porównanie wyników prac eksperymentalnych z wynikami symulacji CFD.

Mając powyższe na względzie, uważam rozprawę doktorską mgr inż. Tomasza Stelmacha pt. „Badania eksperymentalne i symulacje numeryczne zjawisk przepływowo-ciepłnych w wymiennikach ciepła z rurami eliptycznymi” za ważną zarówno z poznawczego jak i użytkowego punktu widzenia, a tematykę pracy za aktualną.

3. Zakres rozprawy

Praca doktorska mgr inż. Tomasza Stelmacha została napisana w języku polskim. Zawiera łącznie 141 stron, na które składa się 9 ponumerowanych kolejno rozdziałów merytorycznych, spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń, spis literatury oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Praca zawiera liczne rysunki i tabele oraz 90 odnośników literaturowych.

W rozdziale 1 (str. 7-13), zatytułowanym „Wstęp”, Autor zaprezentował przegląd stanu wiedzy w zakresie prac badawczych i optymalizacyjnych dotyczących wymienników ciepła. Poruszył w tym kontekście 4 grupy zagadnień: stosowanie nowych żeber, stosowanie modyfikacji materiałowych, wpływ zanieczyszczeń na pracę wymienników oraz optymalizacja pracy wymienników. Rozdział zawiera bardzo dobry przegląd prac badawczych w tym zakresie, nie mniej jednak zabrakło w nim generalnego stwierdzenia dlaczego wymienniki ciepła są istotne w wielu gałęziach przemysłu i dlaczego poświęca się im tyle uwagi w pracach badawczych. Ponadto Autor stosuje „multycytowania”, np. [43-49], [17-30]. Wnioski płynące z rozdziału 1 w sposób bezpośredni motywują cel i zakres oraz tezy pracy doktorskiej przedstawione w rozdziale 2 (str. 14-16).

Rozdział 3 (str. 17-29) został zatytułowany „Modelowanie przepływów z wykorzystaniem symulacji CFD”. Autor w tym rozdziale zaprezentował równania bilansu masy, energii i pędu, zaprezentował modele turbulencji, w tym turbulencji przejściowej. Opisane równania i modele Autor zastosował w zaproponowanym modelu CFD.

Rozdział 4 (str. 30-51) został zatytułowany „Wyznaczanie współczynnika wnikania ciepła od rury o przekroju eliptycznym”. Autor w rozdziale tym opisał między innymi stanowisko do wyznaczania współczynnika wnikania ciepła. Opisane zostały zakresy pomiarowe stosowanych przyrządów pomiarowych. Zaprezentowano sposób

zabudowania termopar. Podpis pod rysunkiem 4.5 zawiera symbole (W) i (Z) – nie ma jednak tych symboli na rysunku; należy się domyślić, że W to lewy rysunek a Z – prawy. W opisie brakuje informacji na temat tego jak często dokonywano odczytu temperatury. Nie ma też informacji jak regulowano natężenie prądu spawarki użytej podczas eksperymentów. Przedstawiając wyniki w tabeli 4.3 Autor powinien zwrócić na miejsca znaczące i zadbać o taką samą ich liczbę – zatem powinno być 0,15; 0,20 itd.

W rozdziale tym Autor umieścił też wyniki badań eksperymentalnych w zakresie wyznaczania współczynnika wnikania ciepła wraz z porównaniem tych wyników z wynikami uzyskanymi dzięki zastosowanym korelacjom Dittusa Boeltera i Gnielińskiego a także z wynikami CFD. Pewnym mankamentem zastosowanych badań numerycznych jest porównanie wyników tylko dla jednego punktu pomiarowego.

Rozdział 5 (str. 52-57) zatytułowany został „Nierównomierności rozptyłów w krzyżowo-prądowym wymienniku ciepła z rurami eliptycznymi”. Większa część tego rozdziału poświęcona została na opis stanowiska pomiarowego do badań rozptywu czynnika w wymienniku ciepła z rurami eliptycznymi o przepływie krzyżowym.

W najobszerniejszym rozdziale 6 (str. 58-116) Autor umieścił wyniki swoich badań, choć rozdział został zatytułowany „Pomiary nierównomierności rozptyłów do rur krzyżowo-prądowego wymiennika ciepła”. Autor przedstawił wyniki badań dla różnych konstrukcji kolektora wlotowego (od nr 1 do nr 7) podkreślając w kilku miejscach pracy, że wyniki mają znaczenie „dla niniejszej pracy”. Pojawia się zatem pytanie czy uzyskane wyniki można uogólnić na inne urządzenia, w tym wielkoskalowe? Czy zaproponowane rozwiązania kolektorów wlotowych mają swe odzwierciedlenie w praktyce przemysłowej?

W rozdziale 7 „Weryfikacja nierównomierności rozptyłów dla rur wymiennika ciepła” (str. 117-119) Autor przedstawił wyniki obliczeń nierównomierności rozptywu w poszczególnych rurkach (wyrażoną w %) dla założonych konfiguracji kolektorów. Najważniejszy wniosek, który płynie z tej analizy, wskazuje, że w zakresie przejściowym najkorzystniejsza jest konfiguracja oznaczona numerem 6 (króciec wlotowy przesunięty o 72,5 mm w lewą stronę od jego środka). Różnica pomiędzy najniższą i najwyższą wartością objętościowego natężenia przepływu w rurkach wymiennika nie przekracza 14% (tabela 7.5). Konstrukcja ta została użyta w dalszej

części badań wraz z kolektorem wylotowym o zmodyfikowanej konstrukcji. Konstrukcja pozwoliła na zmniejszenie nierównomierności rozptywów do rurek wymiennika do poziomu 8%. Wyniki badań zostały zwalidowane symulacjami CFD (rozdział 8 – str. 120-125).

Rozdział 9 (str. 126-129) został zatytułowany „Podsumowanie i wnioski”.

Podsumowując stwierdzam, że tytuł rozprawy obejmuje jej zakres. Geneza tematu i uzasadnienie celowości jego podjęcia jako problemu badawczego, wynikają z przeglądu stanu wiedzy. W rozprawie postawiono cel, tezę i określono zakres badań.

Pomimo przedstawionych uwag, strukturę merytoryczną i układ recenzowanej pracy uznaję za właściwe.

4. Ocena rozprawy

Zdaniem recenzenta tematyka pracy jest oryginalna, aktualna i interesująca. Na uwagę zasługuje kompleksowy charakter prowadzonych badań. Autor przeprowadził szeroki zakres badań eksperymentalnych, które częściowo wykorzystał do walidacji opracowanych przez siebie modeli numerycznych CFD.

Za główne osiągnięcia Autora pracy uważam:

1. Przeprowadzenie wielowariantowych badań eksperymentalnych z wykorzystaniem dwóch stanowisk badawczych w celu wyznaczenia współczynnika wnikania ciepła oraz nierównomierności rozptywów w krzyżowo-prądowym wymienniku ciepła z rurami eliptycznymi.
2. Walidację wyników badań eksperymentalnych z wykorzystaniem modelu numerycznego CFD.
3. Dobór optymalnego, z punktu widzenia nierównomierności rozptywu w rurkach wymiennika, rozwiązania kolektora wlotowego, dla którego uzyskuje się najniższe wartości nierównomierności przy przepływie przejściowym.
4. Udowodnienie, że model turbulencji SST-TR, który uwzględnia tzw. turbulencję przejściową, jest najdokładniejszy w modelowaniu sprzężonych analiz przepływowo-cieplnych dla rur eliptycznych.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Poniżej przedstawiam uwagi krytyczne i dyskusyjne jakie nasunęły się podczas lektury pracy. Moim zdaniem są one istotne dla dalszej dyskusji podczas publicznej obrony:

1. Błędy względne pomiędzy uzyskanymi wynikami pomiędzy badaniami eksperymentalnymi, a wynikami uzyskanymi po zastosowaniu korelacji oraz symulacji CFD wynoszą od 11 do 77% (w zależności od zakresu Re); czy literatura przedmiotu zna inne, lepsze metody korelacji, aby te błędy były niższe?
2. Podczas pomiarów nierównomierności rozpliwów Autor autorytarnie stwierdza, że po 10 minutach uzyskuje się stan ustalony oraz wyklucza (?) błędy pomiarowe. Na jakiej podstawie można tak stwierdzić? Jaki parametr pomiarowy pozwala stwierdzić, że mamy do czynienia ze stanem ustalonym? Skąd wiadomo, że taki pomiar będzie realizowany „bezbłędnie”?
3. W przypadku badań nierównomierności rozpliwów, dla niektórych geometrii kolektora wlotowego przeprowadzono walidację wyników pomiarów z symulacjami CFD, a dla innych nie. Dlaczego?
4. Co oznacza sformułowanie „Parametr K ma najkorzystniejszą wartość, kiedy jest bliski 0%”?

Podkreślić należy, że powyższe uwagi **mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają wartości naukowej pracy.**

Inne uwagi, w tym edycyjne i językowe:

- Wydaje się, że Autor zamiennie stosuje terminy intensywność wymiany ciepła=wydajność wymiany ciepła=sprawność wymiany ciepła.
- Autor w wielu miejscach nie wyjaśnia użytych skrótów (np. CDWVG na str. 9 i wiele innych).
- Autor używa nieprawidłowych form zapisów równań, np. $1/R=itd.$; winno być $\frac{1}{R} = itd.$
- W kilku miejscach Autor stosuje tych samych symboli do oznaczenia różnych wielkości, np. strona 36 – U to różnica potencjałów, ale także U -napięcie.

- Zwyczajowo zamiast pomiar „przepływu” winno się mówić „objętościowe natężenie przepływu”, a symbol V zamienić na \dot{V} .
- Zależność Gnielińskiego na str. 47 powinna mieć źródło.
- Autor zamiennie stosuje termin błąd i niepewność – czy prawidłowo?
- Na części z wykresów Autor pozostawił angielskie podpisy (np. rys. 6.25 itd., a także 6.41 i inne).
- sformułowanie „rezultat otrzymanych wyników” jest niepoprawne.
- Str. 24 (tabela 3.3.1)– miejsca „dziesiętne” w języku polskim oznacza się przecinkiem, nie kropką.
- Niekonsekwentna numeracja tabel – np. 3.3.1., a w innym miejscu 6.2.
- str. 31 podpis pod rysunkiem jest błędny: „7- zawór odcinający odcinek pomiarowy”.
- Str. 45 – jest „na wykresach przedstawiających pomiar”; winno być „na wykresach przedstawiających wyniki pomiarów”.
- Str. 53 – jest „wymiany energii” – sformułowanie nieprawidłowe.
- Na końcu linii w całej pracy pozostawione pojedyncze spójniki i przyimki.

6. Wnioski końcowe

W podsumowaniu stwierdzam, że odnoszące się do rozprawy uwagi krytyczne nie mają wpływu na jej ocenę, która jest w pełni pozytywna i wysoka. Oceniana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant w pełni zrealizował postawione cele. Uważam, że należy podkreślić kompleksowy charakter przeprowadzonych analiz. Autor rozprawy, mgr inż. Tomasz Stelmach wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, niezbędną do przygotowania rozprawy. Wynika to jednoznacznie z treści pracy.

Na podstawie przedstawionej do recenzji pracy stwierdzam, że Doktorant wykazał opanowanie podstaw teoretycznych badanego problemu, umiejętność formułowania zadania naukowego, znajomość stanu osiągnięć w obszarze wiedzy związanej z pracą oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań. Będąca przedmiotem oceny rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Stelmacha pt. „Badania eksperymentalne



i symulacje numeryczne zjawisk przepływowo-cieplnych w wymiennikach ciepła z rurami eliptycznymi” spełnia w całości warunki określone w art. 13 Ustawą z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

W oparciu o powyższe stawiam wniosek do Rady Dyscypliny IŚGiE Politechniki Krakowskiej o dopuszczenie doktoranta do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

22 XI 2022 r

[Handwritten signature]