Dr hab. inż. Dariusz M. Perkowski, prof. PB

Politechnika Białostocka

Wydział Mechaniczny

Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej

Ul. Wiejska 45C, Białystok 15-351

Email: d.perkowski@pb.edu.pl, tel. +48 571 443 034

Białystok, 5 września 2019 r.

**Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Piotra Tutak**

***„Naprężenia termiczne w chłodnicach powietrza doładowanego powstające w procesie ich walidacji"***

**1. Podstawa opracowania recenzji:**

Pismo Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej dr hab. inż. Olafa Ciszaka o numerze DM.63.341.2019 z dnia 10.07.2019r.

**2. Opis zawartości pracy:**

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy analizy naprężeń termicznych w chłodnicach powietrza doładowanego powstających w procesie ich walidacji. Doktorant podjął się tematyki trudnej, a jednocześnie bardzo aktualnej, o dużych możliwościach aplikacyjnych w zastosowaniach inżynierskich. Wykazując się dobrą znajomością literatury związanej z badaną problematyką sformułował i rozwiązał szereg przypadków dotyczących testu cyklicznego obciążenia chłodnicy powietrza doładowanego odzwierciedlających warunki pracy podczas testów walidacyjnych. Przedstawiona w pracy konstrukcja chłodnicy powietrza doładowanego została określona dla podstawowej koncepcji konstruowania tego typu wymienników ciepła dla ściśle określonych przez producenta warunków pracy oraz przestrzeni w zabudowie auta. Problem jaki napotykano podczas przeprowadzania testów walidacyjnych były nowe bardziej rygorystyczne warunki testów podczas obciążania konstrukcji wymiennika ciepła cyklicznymi zmianami temperatury w znacznie krótszym czasie. Skonstruowana chłodnica nie była wstanie spełnić wymogów testu i po przeprowadzeniu 50% wymaganej liczby cykli pękaniu ulegały jej

skrajne rurki. Przeciek, który powstawał był w niektórych przypadkach była znacząco większy od ustalonego w specyfikacji limitu 20 $cm^3$/min. W przedstawionej do recenzji pracy doktorskiej Doktorant podjął się rozwiązania tego problemu. Określony cel pracy oraz jej zakres w ocenie recenzenta jest jak najbardziej prawidłowy i zasadny.

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi opracowanie zawierające 168 stron. Praca składa się z 10 rozdziałów i spisu literatury. Doktorant rozpoczął od omówienia aktualności badanych zagadnień, ich możliwości aplikacyjnych. Rozdział pierwszy „Wstęp" zawiera wprowadzenie do problematyki związanej z realiami przemysłu motoryzacyjnego wymagającego jak najmniejszych kosztów poniesionych przy rozwoju produktów przy optymalnych właściwościach użytkowych. W niniejszym rozdziale Doktorant skupia się na przedstawieniu rozwoju środowisk programistycznych pozwalających ułatwić pracę inżyniera podczas projektowania oraz analizy wytrzymałościowej projektowanej konstrukcji. Następnie przedstawia budowę oraz zasadę działania chłodnicy powietrza doładowanego.

Rozdział 2 zatytułowany „WPROWADZENIE" zawiera zasadniczy przegląd literatury dotyczący modelowania i walidacji konstrukcji chłodnic stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym. Na podstawie przeglądu literatury Doktorant sformułował cel oraz tezę pracy.

Kolejny rozdział zatytułowany „Konstrukcje inżynierskie w procesach walidacyjnych chłodnic" zawiera omówienie problemu związanego z pękaniem rurek ze strony wlotowej podczas testu walidacji. Powstały przeciek po 1000 cykli przekraczał dopuszczalny limit, co w rezultacie powodowało, że zaproponowany prototyp nie przeszedł testu walidacji. Dodatkowo w rozdziale zawarte jest omówienie wszystkich wykonanych badań dla analizowanej konstrukcji chłodnicy.

Rozdział czwarty zatytułowany jest „Naprężenie cieplne w ciele stałym" zawiera podstawy teoretyczne dotyczące rozwiązywania zagadnień teorii naprężeń cieplnych oraz przepływu ciepła. Zdaniem recenzenta bardziej odpowiednim sposobem przedstawienia algorytmu obliczeniowego jest omówienie w pierwszej kolejności problemów związanych z wyznaczaniem rozkładów temperatury a następnie naprężeń cieplnych, które mogą być wyznaczone dopiero przy znanym rozkładzie temperatury.

Piąty rozdział „Przegląd modeli numerycznych wykorzystywanych w procesach walidacyjnych" jest poświęcony przeglądowi modeli literaturowych tj.: Kędziora (2005), który

uwzględnia użycie kamery termowizyjnej do uzyskania rozkładu temperatury w radiatorze i następnie obliczenie naprężeń oraz modelu Maoa (2010) opartego na symulacji połączonej z analizą przepływu CFD z analizą strukturalną przy użyciu metody elementów skończonych i obliczeniu naprężeń w radiatorze silnika samochodowego ciężarowego.

Szósty rozdział Pan mgr inż. Piotr Tutak rozpoczyna od przedstawienia algorytmu obliczeniowego pozwalającego wyznaczyć rozkład temperatury. Ponadto przybliża w tym rozdziale podstawy metody elementów skończonych w zagadnieniach przepływu ciepła oraz wyznaczania naprężeń oraz odkształceń. W podrozdziale 6.7 Doktorant przedstawia koncepcję uproszczonego sposobu wyznaczania rozkładu temperatury w rurkach na podstawie funkcji liniowej pomiędzy stroną wylotową a wylotową, przy zadanych temperaturach.

Rozdział siódmy „Symulacje testowe i walidacja modelu" przedstawia szczegółowo opracowany model numeryczny chłodnicy powietrza. Omówiono w nim model przestrzenny chłodnicy wraz z pokazaniem siatki elementów skończonych, warunków brzegowych oraz właściwości materiałów użytych do budowy konstrukcji. Niniejszy rozdział zawiera również walidację opracowanego modelu numerycznego w kontekście badań doświadczalnych. Wykazano tu zbieżność uzyskiwanych wyników obliczeniowych w porównaniu do badań doświadczalnych (lokalizacja pęknięć). Pozwoliło to stwierdzić, iż najsłabszą częścią konstrukcji są skrajne rurki po stronie silnika. Doktorant wskazuje również, że w przypadku rurek po stronie powietrza chłodzącego tej korelacji wyników z symulacji i badań walidacyjnych nie uzyskano. Mgr inż. Piotr Tutak stwierdza, że warunki brzegowe modelu chłodnicy powietrza doładowanego należy zaktualizować o wyniki pomiarów uzyskanych z badań doświadczalnych.

Ostatni rozdział dziewiąty „Zmiany konstrukcyjne i eksploatacyjne w chłodnicach powietrza doładowanego" zawiera omówienie zamian wprowadzonych w modelu komputerowym o wyniki doświadczalne oraz w samej konstrukcji chłodnicy powietrza doładowanego. Ponadto przedstawiono w nim szereg wyników symulacji pozwalających potwierdzić celowość zaproponowanych zmian. Na podstawie uzyskanych wyników badań Pan mgr inż. Piotr Tutak zaproponował nowy 30-sekundowy czas zmiany, który posłużył do przeprowadzenia ostatecznych testów walidacyjnych.

We wnioskach Pan mgr inż. Piotr Tutak omówił najważniejsze rezultaty rozprawy doktorskiej. Praca zawiera streszczenie w języku polskim oraz angielskim oraz spis literatury liczący 111 pozycji prac i monografii, które zostały prze Doktoranta wcześniej zacytowane.

**3. Oryginalność pracy**

W mojej ocenie oryginalne osiągnięcia pracy to:

1. Specjalnie w tym celu stworzone i przetestowane modele numeryczne pozwalające wyznaczać rozkłady temperatur, odkształceń oraz naprężeń w chłodnicy powietrza doładowanego.
2. Walidacja uzyskanych wyników symulacyjnych w oparciu o wyniki doświadczalne.
3. Zaproponowanie poprawionej konstrukcji chłodnicy powietrza doładowanego.
4. Opracowanie nowych wytycznych do przeprowadzania badań walidacyjnych chłodnic powietrza doładowanego.

**4. Wartości użytkowe pracy**

Przedstawiona do oceny praca doktorska charakteryzuje się podstawowym charakterem badań, niemniej jednak uzyskane wyniki symulacji numerycznych przy użyciu metody elementów skończonych zostały zweryfikowane licznymi badaniami doświadczalnymi, co pozwoliło opracować poprawioną konstrukcje chłodnicy powietrza doładowanego.

Projektowanie tego typu urządzeń bez wiedzy, która została przedstawiona przez Doktoranta prowadzi do przewymiarowania lub niewłaściwej pracy takich urządzeń, a co za tym idzie niepotrzebnego zwiększenia kosztów.

**5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne do pracy**

Przedstawiona do recenzji praca jest oryginalna i wartościowa, napisana zwarcie i przejrzyście, zilustrowana licznymi wykresami i rysunkami. Zaproponowane i zastosowane metody analiz zagadnień projektowania i walidacji elementów konstrukcyjnych jakimi są chłodnice powietrza doładowanego. Ogólna ocena pracy przez recenzenta jest pozytywna. Rozprawa doktorska porusza ważny problem i przedstawia oryginalne i wartościowe rezultaty. Opracowane modele numeryczne podparte dobrą zgodnością z wynikami doświadczalnymi pozwalają twierdzić, iż zaproponowane podejście może znaleźć szerokie uznanie.

Kwestie, które chciałbym wyjaśnić z Doktorantem są następujące:

1. Dlaczego w pracy poruszono jedynie problemy stacjonarne, czy istnieją plany rozszerzenia opracowanego modelu komputerowego na zagadnienia niestacjonarne uwzględniające analizę CFD?

Pakosz

2. Dlaczego w pracy nie podjęto próby uogólnienia wyników symulacji numerycznych w oparciu o parametry wejściowe modelu? Jak wpływa zamiana temperatury powietrza na wlocie na uzyskiwane wyniki obliczeń?
3. Co oznaczają jednostki użyte w kontekście odkształcenia np. strona 120.

W pracy można znaleźć nieliczne tzw. literówki, które pokrótce wymieniam poniżej:

1. Str. 10 – jest „zapewniającą"; powinno być „zapewniająca".
2. Tabela 3.2.2 opisy na rysunkach są mało czytelne. Brak wyjaśnienia co oznacza linia czarna na wykresie w tabeli.
3. Tabela 3.2.5 opisy na rysunkach są mało czytelne.
4. Str. 35 – jest „związkiem konstytutywnym"; powinno być „związkami konstytuowanymi".
5. Wzór (6.1.1) mało czytelny – słaba jakość.
6. Wzór (6.5.20) – jest $\lambda_y$; powinno być $k_y$.
7. Rysunki 6.7.15-27 – brakuje skali.
8. Co oznacza „środek domeny powietrza" na str. 84?
9. Na Rys. 6.7.34, 6.7.36 oraz 6.7.38 brakuje obliczeń $R^2$.
10. Rys. 7.3.25 brakuje oznaczenia na osi pionowej.
11. Rys. 9.2.5-7 są nieczytelne.
12. Str. 141 – jest „objemy"; powinno być „obejmy".
13. Str. 150 – jest „krótki"; powinno być „krótkim".

**6. Wniosek końcowy**

Podsumowując stwierdzam, że w moim przekonaniu, praca spełnia warunki stawiane pracom doktorskim przez ustawę „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce". Biorąc pod uwagę podstawowy charakter przedstawionych badań kwalifikowałbym ją do dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna* (art. 177 ust. 3 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz.U. z 2018 r., poz. 1669 oraz komunikat Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów z dn. 30.04.2019 r.), której zakres obejmuje wnioskowaną przez mgr inż. Piotra Tutaka dyscyplinę *mechanika* (Rozporządzenie MNiSW z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin i dyscyplin naukowych i artystycznych, Dz. U. z dnia 25 września 2018 r. poz. 1818). Biorąc powyższe pod uwagę, stawiam wniosek o dopuszczenie pracy mgr inż. Piotra Tutaka do publicznej obrony.

Pałowski Dariusz