

Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechniki Śląskiej

**RECENZJA
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

mgr inż. Marka MAJDAKA

**„CIEPLNO-PRZEPLYWOWA I WYTRZYMAŁOŚCIOWA
ANALIZA PRACY EKRAŃÓW
KOMÓR PALENISKOWYCH”**

1. Uwagi ogólne

Recenzję opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej z dnia 22.06.2021 r. Recenzowana praca należy do obszaru dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Zasadniczym celem przedłożonej dysertacji było stworzenie modelu matematycznego, który pozwoliłby na wyznaczenie rozkładu temperatury oraz naprężeń cieplnych w połączonych pletwami gładkich rurach ekranowych tworzących ściany paleniska w kotle o nadkrytycznych parametrach pary. Postawiona została przy tym teza, że zróżnicowanie strumienia ciepła padającego na powierzchnię sąsiednich rur ekranowych wpływa na wzrost naprężeń cieplnych występujących w rurach ekranowych i łączących je pletwach. Praca liczy 115 stron a spis literatury zawiera 107 pozycji.

Rozdział pierwszy stanowi krótki wstęp prezentujący techniczną stronę zjawisk występujących w komorze paleniskowej kotła nadkrytycznego.

W rozdziale drugi autor przedstawił cel i zakres pracy, który obejmuje badania numeryczne oraz eksperymenty fizyczne, na samodzielnie zaprojektowanym i wykonanym stanowisku badawczym.

Rozdział trzeci został poświęcony analizie literaturowej dotychczasowego stanu wiedzy w przedmiotowym obszarze. Składa się z dwóch części, z których pierwsza poświęcona jest opisowi warunków pracy kotłów energetycznych. Druga część dotyczy badań nad parametrami pracy rur ekranowych i opisem związanych z tym zjawisk.

Dalej autor opisuje wykorzystany w pracy model matematyczny. Rozdział czwarty, poświęcony analizie zjawisk cieplno-przepływowych w rurach gładkich, zawiera równania

bilansowe masy, pędu i energii, a także równania opisujące rozkład temperatury w połowie przekroju rury ekranowej połączonej z pletwą, wykorzystane do stworzenia autorskiego algorytmu numerycznego. Omówiono także równania pozwalające na wyznaczenie liczby tarcia oraz liczby Nusselta i współczynnika wnikania ciepła dla rur gładkich.

W rozdziale piątym przedstawiono określanie przebiegu procesu wymiany ciepła w kilku połączonych rurach ekranowych połączonych pletwami z płaskownika, stanowiącymi element spiralnego ekranu kotła nadkrytycznego.

Szósty rozdział rozprawy zawiera opis autorskiego algorytmu numerycznego, który pozwala na określenie rozkładu temperatury w kilku rurach ekranowych połączonych płaskownikami. Wynikiem obliczeń za jego pomocą są rozkłady temperatury oraz naprężeń dla kilku wybranych przekrojów poprzecznych układu trzech rur podczas ogrzewania równomiernego i nierównomiernego. Wyniki te zostały porównane z uzyskanymi z modelu CFD stworzonego w programie ANSYS Fluent. Różnice względne między wynikami nie przekraczają 1%. Zaprezentowane przykładowe wyniki pokazują wagę analizowanego problemu, ponieważ lokalne różnice temperatury przekraczające 50 K są źródłem znacznych naprężeń termicznych. Uwzględnienie (występującej w rzeczywistych kotłach) nierównomierności ogrzewania powoduje przy tym większe różnice temperatur i naprężeń.

Rozdział siódmy został poświęcony opisowi stanowiska badawczego umożliwiającego określenie rozkładu temperatury na powierzchni czołowej trzech pionowo usytuowanych rur gładkich połączonych płaskownikami, które mogły być ogrzewane w sposób równomierny lub nierównomierny za pomocą odpowiednich promienników.

Ósmy rozdział dysertacji poświęcono rezultatom wykorzystania wyników eksperymentów na stanowisku do weryfikacji opracowanego modelu obliczeniowego. Mimo, że postać geometryczna badanego układu znacznie odbiega od przyjętej na etapie tworzenia modelu, rozkłady temperatur uzyskane z modelowania numerycznego w programie MATLAB i pomiarów na modelu fizycznym są zbieżne, a różnice w poszczególnych punktach są od 0 do 6,8%. Prawie wszystkie wyniki z pomiarów są niższe od obliczonych, co sugeruje, aby zastanowić się nad korektą wyników pomiarów, ponieważ obecnie być może nie uwzględniają one jakiegoś zjawiska (odpromieniowanie ciepła?). Stwierdzone rozbieżności są jednak po „bezpiecznej stronie” jeżeli używać do projektowania autorskiego modelu numerycznego, ponieważ wykazuje on nieco trudniejsze warunki pracy materiału ekranów.

Część merytoryczną pracy kończy rozdział dziewiąty zawierający podsumowanie i wnioski z badań.

2. Szczegółowe uwagi krytyczne

Uwagę merytoryczną miałbym tylko jedną: dobrze byłoby do tabel 8.1 i 8.2 dodać rezultaty rachunku błędów pomiaru. Pozwoliłoby to ocenić, czy wartości podane w kolumnie „Błąd względny, %” wyliczane jako względna różnica między pomiarem a obliczeniem nie są czasem w granicach błędu pomiaru na stanowisku. Szczegółowa analiza możliwych źródeł błędu dałaby ponadto szansę na wyeliminowanie pewnych niedokładności (uwaga w opisie Rozdziału 8).

Praca jest napisana bardzo starannie, a liczba nawet drobnych błędów jest niewielka. Np. niegramatyczne jest sformułowanie „oparte o założenie” - powinno być „oparte na założeniu”. Także w oficjalnych publikacjach nie powinno się używać sformułowań typu „tą rozbieżność...” lecz „tę rozbieżność...”. Błędy te nie mają oczywiście znaczenia merytorycznego, podobnie jak różne style zapisu pozycji literatury, czego też należałoby unikać.

Na str. 102 pojawia się ponadto słowo „pędy” zamiast „pędu”.

3. Ocena pracy

Recenzowaną pracę oceniam pod względem merytorycznym wysoko. Problem bezpieczeństwa pracy ekranów kotłów nadkrytycznych jest niezwykle ważny, czego dowodzą znane awarie tych elementów. Zaletą pracy jest połączenie badań na dobrze zaprojektowanym modelu fizycznym z numerycznymi, co przy konieczności wprowadzenia radiacyjnego ogrzewania badanych rur a także lokalnego zróżnicowania tego ogrzewania nie było zadaniem łatwym. Znaczącym osiągnięciem autora jest również stworzenie własnych algorytmów obliczeniowych.

Recenzowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant wykazał się właściwą wiedzą i umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Uzyskane rezultaty stanowią postęp w stosunku do istniejącego stanu wiedzy i mają dużą przydatność praktyczną. W tym kontekście praca spełnia wymogi stawiane przez art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14.03.2003 r.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia wnoszę o dopuszczenie pana mgr inż. Marka Majdaka do obrony pracy, sugerując jednocześnie, w przypadku spełnienia odpowiednich wymogów formalnych, jej wyróżnienie.