

Dr hab. inż. Henryk Łukowicz, prof. PŚ
Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych
44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18
tel. 32 237 22 72
tel. kom. 506 895 027
e-mail: henryk.lukowicz@polsl.pl

Gliwice, 15.05.2020

ADMINISTRACJA
Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki
Wpłynęło dnia..... 25. 05. 2020 r.
Nr..... 660 szt.

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Felkowskiego
„Metody oceny stanu cieplno – wytrzymałościowego elementów
kotła energetycznego”

Podstawą niniejszej recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej dr hab. inż. Stanisława M. Rybickiego, prof. PK z dnia 3 marca 2020 r. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Piotr Duda.

1. Wybór tematyki rozprawy doktorskiej

Przez najbliższe 20 – 30 lat bloki energetyczne wykorzystujące paliwa kopalne będą zapewne nadal odgrywać podstawową rolę w krajowej energetyce, mimo różnych programów dekarbonizacji wytwarzania energii elektrycznej. Przez ten okres powinny bowiem pracować zbudowane w ostatnim czasie bloki na parametry nadkrytyczne a także przez najbliższe 10 – 15 lat planuje się przedłużenie eksploatacji części bloków 200 MW, czemu ma służyć realizowany obecnie projekt badawczy Bloki 200+ finansowany przez NCBiR. Zmienia się bowiem charakter pracy tych bloków, wynikający z przewidywanego rozwoju energetyki odnawialnej, a zwłaszcza farm wiatrowych i elektrowni słonecznych a także z coraz bardziej rozwijającej się energetyki prosumenckiej. Te rodzaje produkcji energii elektrycznej cechują się dużą zmiennością, co stawia przed energetyką ciepłą nowe wyzwania dotyczące zapewnienia szybkiego reagowania na zmiany zapotrzebowanej przez sieć mocy, co sprowadza bloki węglowe do funkcji regulacyjnych. Dotyczy to zarówno eksploatowanych już starszych bloków klasy 200 MW i 360 MW jak i oddanych w ostatnim czasie dużych bloków na parametry nadkrytyczne, które będą musiały spełniać wymogi dużej elastyczności cieplnej. Należy sądzić, że w naszej energetyce nie będzie się już budować bloków węglowych dużej mocy.

Brak perspektyw dla budowy kotłów węglowych dla energetyki zawodowej nie powinien być przyczyną zaniechania badań naukowych z zakresu techniki kotłowej, bowiem zmiana

roli eksploatowanych już bloków z pracy podstawowej na regulacyjną, stawia przed maszynami i urządzeniami elektrowni zadania, które często nie były brane pod uwagę w czasie ich projektowania i budowy. Zwiększenie elastyczności bloków wiąże się ze znacznie większymi prędkościami zmiany obciążenia, co powoduje zmianę naprężeń termicznych jak i naprężeń pochodzących od ciśnienia czynnika w elementach kotła. Jednym z ważnych czynników, które powinny spełniać bloki węglowe jest wymaganie długotrwałej pracy na niskich obciążeniach, w blokach starszych realizowane są prace mające na celu obniżenie minimum technicznego bloku.

Uwzględniając powyższe stwierdzam, że tematyka rozprawy dotycząca analizy stanów cieplno-wytrzymałościowych elementów kotłów jest właściwie dobrana i bez wątpienia może stanowić przedmiot rozprawy doktorskiej. Jest ona jak najbardziej aktualna i bardzo ważna dla energetyki oraz interesująca z naukowego punktu widzenia.

2. Zakres pracy

Praca składa się z sześciu rozdziałów. W pierwszym przedstawiono ogólne sformułowanie zagadnień, które są przedmiotem rozważań w niniejszej rozprawie.

W rozdziale drugim sformułowano cel i tezę pracy. Celem jaki sobie postawiono była analiza zjawisk fizycznych w elementach kotłów energetycznych pozwalająca ocenić stan cieplno-wytrzymałościowy, stopień uszkodzenia tych elementów i zaproponować poprawę pracy tych urządzeń, za pomocą nowoczesnych metod obliczeniowych.

Rozdział trzeci zawiera przegląd literatury przedmiotu prezentując aktualny stan zagadnień będących przedmiotem rozważań w rozprawie.

W rozdziale czwartym przedstawiono matematyczne sformułowanie rozpatrywanych zagadnień. Szczegółowo opisano metody wyznaczania reakcji w prętach wieszakowych kotłów wiszących. Podano również szczegółowy opis matematyczny zjawiska pełzania wykorzystany do analiz numerycznych. Opracowano stałe eksperymentalne dla proponowanego równania pełzania. Porównano zaproponowany model pełzania dla stali Super 304H i P91 z pomiarami odkształcenia wywołanego pełzaniem stwierdzając poprawność modelowania.

Wykorzystując opisane w poprzednich rozdziałach narzędzia do opisu określonych zjawisk, rozdział 5 będący zasadniczą częścią rozprawy, zawiera analizy modelowania wybranych elementów kotłów energetycznych, a mianowicie:

- Analizę stanu prętów wieszakowych i ich wpływu na pracę kotła dla wybranych przypadków.
- Wykorzystanie sztywności zastępczych w analizach globalnych elementów ciśnieniowych kotłów energetycznych.
- Analizę wpływu sztywności ścian komory ciągu konwekcyjnego na siły w prętach wieszakowych.
- Analizę wpływu nierównomiernego naciągu prętów na naprężenia w ścianach szczelnych komory ciągu konwekcyjnego.
- Modelowanie naprężeń w grubościennym elemencie ciśnieniowym.
- Analizę trójkątnika typu Y z uwzględnieniem metody DBA.
- Analizę zjawiska pełzania w przegrzewaczach pary.

- Analizę pracy przegrzewaczy pary przy różnych metodach jego utwierdzenia.
- Analizę wpływu nieprawidłowego montażu i naciągu zawieszonych rurociągu pary na naprężenia w węzownicy przegrzewacza wtórnego.
- Propozycję poprawy pracy węzownicy.

Rozdział szósty stanowi podsumowanie zaprezentowanych w pracy analiz stanu wytrzymałościowego elementów energetycznych kotłów parowych. Przedstawiono wnioski oraz zasygnalizowano sposób wykorzystania opracowanych modeli.

W analizie rozpatrywanych w pracy zagadnień wykorzystywano kody obliczeniowe Ansys, Auto Pipe oraz kody własne.

Pracę zakończono spisem cytowanej literatury zawierającej 130 pozycji. Łącznie praca zawiera 138 stron maszynopisu wraz z rysunkami, tablicami i załącznikiem.

3. Podstawowe osiągnięcia badawcze

Praca stanowi interesujący wkład poznawczy w zakresie budowy i eksploatacji kotłów energetycznych bloków węglowych. Za najważniejsze osiągnięcia Doktoranta uważam:

- Podejście do oceny naprężeń w prętach wieszakowych i ich wpływu na naprężenia w elementach kotłów oraz opracowanie metody wyznaczania sztywności zastępczych ścian membranowych kotła.
- Opracowanie równania pełzania dla stali Super 304H i P91.

4. Uwagi dotyczące redakcji pracy

Układ pracy jest przejrzysty i logiczny, należy podkreślić staranność w redakcji pracy, znajdując jedynie nieliczne literówki. Zwróciłbym Autorowi uwagę na określenie żywotność, którego używa w tekście. Dla elementów technicznych powinniśmy moim zdaniem używać terminu trwałość.

5. Uwagi ogólne i merytoryczne

W krajowej energetyce, podobnie jak w światowej, będzie w coraz większym stopniu zachodził proces dekarbonizacji. To powoduje, że najnowszy blok 910 MW w elektrowni Jaworzno będzie zapewne ostatnim blokiem węglowym w naszej energetyce. Skutkiem tego będzie brak zamówień na budowę nowych kotłów energetycznych na nadkrytyczne parametry pary opalane węglem. Bloki węglowe nie są bowiem w stanie spełnić wymagań dotyczących emisji CO₂ poniżej 550 kg/MWh. Będą one natomiast wraz ze zwiększaniem energii z OZE spełniać w coraz większym stopniu funkcje regulacyjne w systemie elektroenergetycznym. To spowoduje, że punkt ciężkości przesunie się na zagadnienia związane ze skutkami częstej zmiany obciążenia (skokami mocy), z długotrwałą pracą na niskich obciążeniach oraz z częstymi odstawieniami i uruchomieniami bloków z różnych stanów termicznych. Jak w związku z tym, Autor widzi możliwość wykorzystania stosowanych w rozprawie technik obliczeniowych naprężeń do nieustalonych warunków pracy kotłów i ewentualnie czy i jak należałoby je rozszerzyć.

Rozdział 5.1:

Autor w opisie przebiegu regulacji sił w prętach posługuje się stwierdzeniem, że podczas podnoszenia tłoków siłownika następuje nacisk na specjalny uchwyt powodując tym samym

spadek siły w pręcie. Wydaje się, że siła w pręcie powinna jednak rosnąć a dodatkowo może być on unoszony co spowoduje luzowanie nakrętki opisanej numerem 5.

Czy opracowane modele numeryczne można zastosować podczas regulacji naciągów prętów wieszakowych?

Rozdział 5.2:

Wyniki przedstawione w Tab. 5-2 sugerują, że siła F nie jest przyczepiona punktowo do krawędzi ściany jak przedstawiono to na rys. 5.11. Brak bardziej szczegółowego opisu utrudnia interpretację wyników.

Nie wyjaśniono również czym jest przemieszczenie u_2 .

Rozdział 5.3:

Rys. 5.14 wymaga większej dokładności w opisie definicji podziałki. Zdefiniowanie jej w tekście jako odległość między osiami rur rozwiązałoby ten problem.

Rozdział 5.6:

Autor przedstawia analizę pracy trójnika opisując pojawiające się obszary jego plastycznienia. Z uwagi na zmienne obciążenia kotła Autor mógłby wykonać też analizę niskocyklicznej pracy trójnika. Jakie dodatkowe wnioski można byłoby z tej analizy uzyskać?

Jak były zadawane warunki wymiany ciepła na powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej trójnika. Dla stanów ustalonych przyjęcie współczynników wnikania ciepła odbiegających od rzeczywistych może nie powodować zbyt dużych różnic w rozkładzie temperatury i w związku z tym ocena stanu naprężenia będzie poprawna, natomiast przy zmianie warunków pracy bloku wynikających z szybkiej zmiany obciążenia, warunki brzegowe wymiany ciepła mają już duże znaczenie dla przebiegu stanu naprężenia.

6. Wniosek końcowy

Recenzowana praca doktorska dotyczy ważnej dla energetyki tematyki związanej z bezpieczną pracą kotłów energetycznych. Stanowi ona niewątpliwie istotny wkład dotyczący numerycznego modelowania tych zjawisk, zarówno z poznawczego jak również z praktycznego punktu widzenia. Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością konstrukcji kotłów oraz umiejętnością analizy złożonych zjawisk modelowania naprężeń wykorzystując w tym celu kody komercyjne oraz kody własne. Przedstawione w recenzji uwagi nie umniejszają mojej pozytywnej oceny pracy.

Uważam, że przedstawiona praca doktorska **mgr inż. Łukasza Felkowskiego** pt. **„Metody oceny stanu cieplno – wytrzymałościowego elementów kotła energetycznego”** odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim określonym w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Wnioskuję również o wyróżnienie pracy, biorąc pod uwagę interesujące wyniki uzyskane w trakcie jej realizacji, czego potwierdzeniem jest opublikowanie wyników w szeregu artykułach, w których mgr inż. Łukasz Felkowski jest współautorem. Na podkreślenie zasługuje współautorstwo trzech artykułów w czasopiśmie za 70 punktów i dwóch artykułów za 100 punktów według punktacji MNiSW.

