Prof. dr hab. inż. Janusz T. Cieśliński
Politechnika Gdańska

Gdańsk, 2021.01.20

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Marcina Jóźwiaka

pt.: „Analiza wpływu parametrów wody chłodzącej skraplacz na efektywność energetyczną upustowo-kondensacyjnej turbiny parowej"

Promotor pracy: dr hab. inż. Leon Bogusławski, emerytowany prof. PP
Promotor pomocniczy: dr inż. Robert Kłosowiak

Opinię wykonano na zlecenie dr. hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP, dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej (pismo nr DIM.63.277.2020 z dn. 1.12.2020 r.)

1. Zawartość pracy

Przedłożona do opinii praca liczy 105 stron i została podzielona na 6 rozdziałów, posumowanie i wnioski oraz spis literatury. Integralną część pracy stanowią 3 załączniki.

Rozdz. 1, zatytułowany jako Wstęp, rozpoczyna informacja o znaczeniu skraplacza, jako jednego z podstawowych elementów elektrowni z turbiną parową. Podkreślono bezpośredni wpływ podciśnienia panującego w skraplaczu na sprawność całkowitą turbozespołu. Wymieniono czynniki mające wpływ na wartość podciśnienia w skraplaczu, szczególnie podkreślając znaczenie temperatury wody chłodzącej na wejściu do skraplacza. Następnie w sposób bardzo zwięzły przedstawiono przegląd literatury dotyczący wpływu ciśnienia panującego w skraplaczu, temperatury wody chłodzącej skraplacz, a także strumienia masy wody chłodzącej na efektywność pracy turbozespołu. Godne podkreślenia jest dobre rozeznanie Doktoranta w osiągnięciach polskich badaczy w tym zakresie. W dalszej części rozdziału określono precyzyjnie cel i zakres pracy, a także podano tezę rozprawy. Podjęcie tematu pracy uzasadniono wymogiem poprawy efektywności wytwarzania energii, którą zdefiniowano jako przyrost mocy turbozespołu pomniejszony o moc pomp wody chłodzącej, odniesiony do mocy nominalnej.

W **rozdz. 2** podano informacje charakteryzujące pracę skraplaczy, a w tym podstawowe równania bilansu energii i strumieni masy. Szczegółowo omówiono zjawisko przenikania ciepła w skraplaczach płaszczowo-rurowych, w tym proces przejmowania ciepła po stronie skraplającej się pary na poziomym pęku rur, przejmowania ciepła przez wodę płynącą we wnętrzu rur, jak i proces przewodzenia ciepła w ściankach rur. Rozdział zamyka omówienie wpływu ciśnienia w skraplaczu na sprawność obiegu Rankine'a. Informacje podane w rozdz. 2 dobrze świadczą o przygotowaniu teoretycznym Doktoranta w zakresie analizowanej tematyki.

W **rozdz. 3** omówiono szczegółowo algorytm wyznaczania ciśnienia w skraplaczu, w stanach ustalonych, dla zadanych parametrów pracy turbozespołu oraz algorytm obliczania sprawności turbozespołu w funkcji strumienia masy i temperatury wody chłodzącej skraplacz.

W **rozdz. 4** zaprezentowano część eksperymentalną badań, a w tym przedstawiono opis instalacji, na której przeprowadzono pomiary oraz podano podstawowe dane techniczne turbozespołu, skraplacza i pomp wody chłodzącej. Opisano warunki, dla jakich przeprowadzono pomiary, a także metodykę pomiarów. Podano też specyfikację zastosowanej aparatury pomiarowej oraz sposób opracowania wyników pomiarów. Wyniki pomiarów przedstawiono w formie tabelarycznej oraz graficznej w postaci zależności stopnia suchości pary na wylocie z turbiny w funkcji temperatury nasycenia pary w skraplaczu dla uśrednionych strumieni masy pary wpływających do skraplacza. Należy podkreślić, że badania eksperymentalne przeprowadzono na rzeczywistym obiekcie zainstalowanym w Elektrociepłowni Kraków. Rozdział ten świadczy o dobrym przygotowaniu Doktoranta do przeprowadzania pomiarów w złożonych układach cieplno-przepływowych.

Rozdz. 5 zawiera wyniki obliczeń numerycznych według algorytmów przedstawionych w rozdz. 3. Wyniki obliczeń ciśnienia w skraplaczu przedstawiono dla 5 wybranych strumieni masy pary dopływającej do skraplacza w funkcji strumienia masy wody chłodzącej i 4 temperatur wody chłodzącej na wlocie do skraplacza. Trzy wykresy odnoszą się do pracy kondensacyjnej turbozespołu, a 2 do pracy ciepłowniczo-kondensacyjnej. Niestety w pracy brak jest jakiegokolwiek komentarza do zamieszczonych rysunków. Na kolejnych 5 rysunkach zaprezentowano wyniki obliczeń

względnego efektu energetycznego w funkcji względnego strumienia objętościowego wody chłodzącej i 4 temperatur wody chłodzącej na wlocie do skraplacza. Obliczenia względnego efektu energetycznego przeprowadzono dla tych samych 5 wybranych strumieni masy pary dopływającej do skraplacza, dla których wyznaczono przebiegi ciśnienia w skraplaczu. Niestety i w tym przypadku brakuje dyskusji wyników obliczeń przedstawionych na rysunkach (rys. 5.10 do rys. 5.14). Zamiast tego Doktorant przechodzi do wniosków ogólnych, które nie są udokumentowane stosownymi wykresami.

W **rozdz. 6** Doktorant podjął próbę oszacowania pierwotnego efektu energetycznego w postaci potencjalnie zmniejszonej ilości spalanego węgla kamiennego oraz ilości emitowanego dwutlenku węgla. Obliczenia te przeprowadzono dla referencyjnej sprawności przemiany energetycznej netto wytwarzania energii elektrycznej przez polskie elektrownie zawodowe (37.9%) oraz referencyjnej wartości opałowej węgla kamiennego (20.99 MJ/kg). W pracy nie podano dlaczego do obliczeń nie przyjęto odpowiednich danych dla Elektrociepłowni Kraków, gdzie wykonano pomiary. Nie podano też – co ważniejsze, dla którego wariantu pracy turbozespołu przeprowadzono obliczenia.

Rozdz. 7 to wnioski końcowe i podkreślenie najważniejszych, z punktu widzenia Autora rozprawy, wyników obliczeń.

Załącznik A zawiera krzywe korekcyjne mocy elektrycznej i jednostkowego zużycia ciepła w funkcji ciśnienia w skraplaczu
W załączniku B zamieszczono szczegółowe tablice wielkości zmierzonych badanego turbozespołu.

2. Teza pracy

Doktorant podał tezę swojej pracy w sposób jawny. Stwierdza w niej, że: *„istnieje możliwość poprawy wskaźników techniczno-ekonomicznych turbozespołu ciepłowniczo-kondensacyjnego poprzez regulację przepływu wody chłodzącej przez skraplacz turbiny parowej"*.

W podsumowaniu Doktorant jednoznacznie ustosunkował się do przyjętej tezy, stwierdzając, że w pełni została potwierdzona jej prawdziwość.

3. Oryginalność pracy

Oryginalne osiągnięcie pracy to propozycja półempirycznego modelu przedstawiającego wpływ strumienia masy wody chłodzącej skraplacz i jej temperatury dolotowej na efektywność pracy wydzielonego turbozespołu.

4. Wartości użytkowe pracy

Mając na uwadze coraz bardziej rygorystyczne wymagania środowiskowe dotyczące emisji gazów cieplarnianych każde działanie, które może się przyczynić do ograniczenia emisji CO_2 jest celowe. Z tego punktu widzenia wyniki badań przedstawione przez Doktoranta są niewątpliwie użyteczne i stanowią dobrą podstawę do dalszych prac eksperymentalno-teoretycznych.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

1. Str. 22^{13} – zamiast „strumień ciepła w parze dolotowej" powinno być „strumień entalpii pary dolotowej",
2. str. 22^{15} – zamiast „strumień ciepła w skroplinach" powinno być „strumień entalpii skroplin",
3. str. 22^{17} – zamiast „strumień ciepła w kondensacie" powinno być „strumień entalpii kondensatu",
4. str. 27^{8} – co oznacza $K \geq 1$,
5. str. 28^{6} – nie wiadomo do czego odnosi się „wykładnik Granta",
6. str. 36_1 – mając na uwadze końcowe wyniki względnego efektu energetycznego rzędu 1%, pominięcie strat ciepła do otoczenia w bilansach energii wymaga komentarza,
7. str. $39^{15\text{-}16}$ – co to jest „średnia logarytmiczna temperatura wody"? Brakuje też wzoru na T_{wln},
8. str. 43_3 – we wzorze (3.10) jest $\delta T_{w2\text{-}itn}$, a powinno być $T_{w2\text{-}itn}$,
9. str. 43_1 – w jaki sposób obliczano w programie p_{nkr}?,
10. str. 46_2 - w pracy nie podano kroku dla obliczeń T_{w1},
11. str. 50_{10} - wzór 3.19 jest wykorzystywany w obliczeniach efektu energetycznego (rozdz. 5.2.2). W jaki sposób określono stałe a, b i c w tym wzorze?,

12. str. 75_9 – mając na uwadze złożony i niepewny sposób oszacowania oporu cieplnego osadów sformułowanie o „poprawnej(?) czystości powierzchni wymiany ciepła" jest zbyt optymistyczne,
13. str. 79 (rozdz. 5.2.1) – w celu pełniejszej interpretacji wyników obliczeń niezbędne byłyby wykresy ciśnienia w skraplaczu w funkcji strumienia masy wody chłodzącej dla wybranych temperatur wody na dolocie i strumieni masy pary, jako parametru,
14. str. 84_1 – dla którego wariantu (zestawu parametrów) osiągnięto względny efekt energetyczny +1.9%?,
15. str. 85^3 – przedstawione wnioski powinny być poparte ilustracjami na rysunkach, w tym w postaci wykresów względnego efektu energetycznego w funkcji względnego strumienia objętościowego wody chłodzącej dla wybranych temperatur wody na dolocie i strumieni masy pary, jako parametru,
16. str. 95^9 – dla którego wariantu (zestawu parametrów) określono zysk wytworzonej energii elektrycznej (1703 kWh)?

6. Uwagi redakcyjne, terminologia, jednostki

Terminologia stosowana w rozprawie jest poprawna, chociaż Doktorant nie ustrzegł się niewłaściwych terminów, niezręcznych sformułowań czy niepoprawnych jednostek. Przykładowo:

- tytuł rozprawy: zamiast „wody chłodzącej skraplacza", powinno być „wody chłodzącej skraplacz",
- str. 9 i dalej - w tekście rozprawy wielokrotnie użyto terminu „kondensator", zamiast – tak, jak w tytule rozprawy „skraplacz",
- str. 9 i dalej – zamiast Rankina powinno być Rankine'a,
- str. 10 i dalej - „poziom" ciśnienia czy „poziom" temperatury to określenia żargonowe i nie powinny być używane w rozprawach o charakterze naukowym,
- str. 31^7 – sformułowanie „równoległe występowanie zarówno laminarnego i turbulentnego spływu" jest niefortunne,
- str. 33^7 – zamiast „przewodność cieplna" powinno być „współczynnik przewodzenia ciepła",
- str. 34^4 i rys. 2.6 – powinno być „h-s", a nie „i-s",
- str. 50_3 – sformułowanie „ilości pomp na ruchu" jest niepoprawne pod każdym względem,

- str. 64^3 – termin „częstotliwość" został użyty w złym kontekście,
- str.71_1 – zamiast 20÷12 powinno być 20÷22.

Praca jest napisana na dobrym poziomie edytorskim. Zachowana jest właściwa numeracja wzorów oraz kolejność przywoływania cytowanej literatury. Należy jednak dodać, że chociaż poszczególne rozdziały napisane są w sposób przejrzysty, to prezentacja modelu obliczeniowego jest przedstawiona w sposób zagmatwany.

Drobniejsze uchybienia redakcyjne i stylistyczne zaznaczyłem w dostarczonym egzemplarzu pracy.

Przedstawione powyżej uwagi mają przede wszystkim charakter dyskusyjny i redakcyjny i w niczym nie umniejszają wartości merytorycznej pracy.

7. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedłożona praca zawiera oryginalne ujęcie problemu naukowego i świadczy o opanowaniu przez jej Autora naukowych metod numeryczno-eksperymentalnych stosowanych w technice cieplnej, a tym samym wyczerpuje warunki określone przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dn. 14.03.2003 roku i uzasadnia dopuszczenie jej do publicznej obrony.