

Prof. dr hab. inż. JAROSŁAW MIKIELEWICZ
członek rzeczywisty PAN
INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH PAN
ul. Gen. J. Fiszera 14
z tel. 41 12 71, fax 41 61 44, tlx 0512042 imp pl

Gdańsk, wrzesień 22

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Łukasza Jaworskiego pt „Rozwiązanie problemów hydraulicznych i termicznych w kotłowniach hybrydowych przez połączenie szeregowe”

1. Przedmiot rozprawy.

Opiniowana praca dotyczy ogrzewania obiektów z wieloma obiegami cieplnymi o różnych zmiennych w czasie harmonogramach odbioru ciepła. Powoduje to zmienność zużycia paliwa przez źródło ciepła i zmienność sprawności obiegów. Zwykle takie obiekty posiadają obiegi wykorzystujące konwencjonalne źródła ciepła i odnawialne źródła ciepła. W takich obiektach trudno jest zapewnić komfort cieplny we wszystkich pomieszczeniach. Szczególne trudności stwarzają obiegi zasilane ze źródeł odnawialnych, których moc cieplna jest nieprzewidywalna w czasie.

W ramach rozprawy Doktorant przeprowadził studia literaturowe nad powyższymi zagadnieniami. W szczególności dotyczyły one kotłowni hybrydowych z obiegami grzewczymi o zróżnicowanych i zmiennych parametrach pracy stosujące sprzęgła termo-hydrauliczne. Mają one istotne znaczenie dla zapewnienia właściwego sterowania natężeniami przepływu czynników roboczych obiegów cieplnych oraz ich temperaturami.

Wstępna analiza wykazała, że szeregowe sprzężenie obiegów cieplnych ze stopniowo malejącą temperaturą zasilania jest szczególnie korzystne w przypadku zastosowania szeregowych sprzęgieł termo-hydraulicznych. W porównaniu z równoległymi systemami, obiegi szeregowe umożliwiają zapewnienie właściwej temperatury wody powrotnej ze źródła ciepła przez dłuższy czas podczas gwałtownych i nieprzewidywalnych wahań obciążenia cieplnego. W oparciu o te fakty Doktorant sformułował. tezę pracy: *Skuteczne równoważenie hydrauliczne i termodynamiczne w kotłowniach hybrydowych z obiegami grzewczymi o różnych parametrach pracy może być realizowane za pomocą szeregowego sprzęgła termo-hydraulicznego*

Poznane z literatury rozwiązania konstrukcyjne sprzęgieł termo -hydraulicznych posłużyły Doktorantowi na opracowanie własnego pomysłu sprzęgła termo-hydraulicznego typu szeregowego. Poszukiwanie nowych bardziej skutecznych konstrukcji sprzęgieł termo-hydraulicznych jest ważnym zagadnieniem zarówno z punktu widzenia poznawczego jak też i praktyki inżynierskiej. Zaproponowane nowe rozwiązanie sprzęgła termo-hydraulicznego Doktorant zbadał eksperymentalnie i teoretycznie. Badania eksperymentalne przeprowadził na stanowisku laboratoryjnym i w warunkach rzeczywistych, dla różnych wartości temperatur i natężeń przepływu wody. Końcowym etapem pracy było porównanie wyników obliczeń teoretycznych z wynikami eksperymentów.

Na stanowisku eksperymentalnym był badany przezroczysty model sprzęgła termo-hydraulicznego umożliwiający wizualizację przepływów przy pomocy barwników.

Przebieg mieszania barwionych przepływów zrealizowano przy zmiennych charakterystykach pomp. Podczas prób wizualnych dokonano pomiarów natężenia przepływów płynów na za pomocą rotametrów. Głównym celem badan wizualizacyjnych było określenie

minimalnej przestrzeni wolnej urządzenia między strefą mieszania a strefą łączenia się i dzielenia strumieni przepływających przez sprzęgło, aby umożliwić skuteczny proces ich wymieszania i uzyskanie wymaganej temperatury. Doktorant ustalił optymalne parametry konstrukcyjne sprzęgła zapewniające dokładne wymieszanie się łączących się strumieni. Przy określonych proporcjach natężeń przepływów uzyskał oczekiwane zabarwienie mieszaniny strumieni. Jak ustalił eksperymentalnie zabarwienie strumieni z dużym prawdopodobieństwem odzwierciedla temperatury mieszaniny wpływającej do kolejnego segmentu sprzęgła, czyli do kolejnego obiegu zasilającego. Na tej podstawie opracował uproszczony model matematyczny zagadnienia oparty o bilansy masy i energii. Pominięcie równań bilansu pędu w modelu matematycznym nie pozwala na obliczanie różnic i rozkładów ciśnień w strumieniach mieszających się. Doktorant przyjął, że są one do pominięcia. Jednakże samo mieszanie zachodzi izobarycznie ale dopływające i wypływające strumienie mają różne ciśnienia. Opracowany model matematyczny pozwala na określenie parametrów konstrukcyjnych sprzęgieł dla konkretnych warunków projektowych. Nową propozycję sprzęgła termo-hydraulicznego Doktorant zastosował w badaniach w warunkach rzeczywistych. Badania dla warunków rzeczywistych Doktorant przeprowadził w funkcjonującym hotelu posiadającym wiele obiegów cieplnych. Badania polegały na monitorowaniu zmian i rejestrowaniu wybranych parametrów czynnika grzewczego w sezonie grzewczym. W tym celu układ cieplny został wyposażony w zestaw mierników połączonych z komputerem. Z ciepłomierzy odczytywane były różne parametry przepływów chwilowych temperatury zasilania i powrotu, chwilowej mocy cieplnej. System pomiarowy cechował się prostotą i dużą dokładnością. Zebrane dane poddano analizie zależności parametrów, tj. temperatury i natężeń przepływów od jakości procesów mieszania strumieni zachodzących w sprzęgłe. Porównano temperatury uzyskane w warunkach rzeczywistych i uzyskane z obliczeń modelowych dla danego układu cieplnego oraz temperaturę czynnika grzewczego na wyjściu ze sprzęgła termo-hydraulicznego. Uzyskano zadawalającą zgodność wyników

Wyniki badań i ich błędy opracowano statystycznie przy pomocy programu Statistica 13.3 (TIBCO Software Inc. 2017). Analizowano różnice średnich oraz ocenę modernizacji. Dla pomiaru różnic między przepływem wody oraz temperatur dla obiegów grzewczych danych modelowanych i rzeczywistych wykorzystano analizy średnich i wariancji.

Doktorant poddał analizie błędy zarówno systematyczne jak i losowe. Błędy losowe, w porównaniu do błędów systematycznych, zmieniają się w sposób nieprzewidywalny. Oszacował ich prawdopodobieństwo przy pomocy metod statystycznych. Można zauważyć, że wyniki badań Doktoranta dla przepływu wody modelowane i rzeczywiste mają taki sam charakter i rozkład. Wartości błędów i odchyłeń standardowych odpowiada tym samym wartościom przepływu wody między obiegami przyjętym w modelu obliczeniowym jak i zmierzone w badaniach. Uzyskana zbieżność wyników pozwala na uznanie ich za wiarygodne i zadawalające.

W wyniku badań Doktorant opracował nowatorskie sprzęgło termo-hydrauliczne o szeregowym połączeniu obiegów grzewczych i zasilających pozwalające na skuteczne równoważenie hydrauliczne i termodynamiczne obiegów o zróżnicowanym zmiennym w czasie zapotrzebowaniu na ciepło. Wyniki badań laboratoryjnych i w warunkach rzeczywistych wykazały skuteczność przyjętych założeń upraszczających w opracowanym modelu obliczeniowym.

Doktorant wykazał dużą umiejętność w prowadzeniu badań, posługiwaniu się aparaturą pomiarową, zbieraniu danych i ich opracowaniu przy pomocy komputera. Przeprowadzenie badań oraz analizę wyników badań doświadczałnych oceniam wysoce zadawalające.. Nowatorski charakter opracowanego sprzęgła termo-hydraulicznego podkreśla fakt, że zostało ono zgłoszone w charakterze wynalazku w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej, w 2021r.

Podsumowanie i wnioski z badań

W literaturze przedmiotu niewiele jest opracowań dotyczących metod badawczych sprzęgieł termo-hydraulicznych. Lukę tę stara się wypełnić praca Kandydata. Celem przedstawionej dysertacji było badanie i udowodnienie możliwości skutecznego równoważenia hydraulicznego i termodynamicznego w kotłowniach hybrydowych z obiegami grzewczymi o zróżnicowanych i zmiennych parametrach pracy za pomocą nowatorskiego szeregowego sprzęgła termo-hydraulicznego. W dysertacji Doktoranta przedstawiony został aktualny stan wiedzy. Doktorant opracował własną metodę badawczą. Opracowana metoda jest nowa i ciekawa, daje dobre rezultaty. Przeprowadził w oparciu o nią badania eksperymentalne. Analizował uzyskane rezultaty. Sformułował interesujące wnioski z badań.

Zagadnienie jest trudne i złożone. Konkludując można stwierdzić, że:

- opracowane zagadnienie jest ważne z punktu widzenia poznawczego i praktyki inżynierskiej,
- Doktorant zaproponował nowe rozwiązanie konstrukcyjne sprzęgła termo-hydraulicznego dla wieloobiegowych układów ciepłowniczych
- opracował stanowiska badawcze i przeprowadził badania eksperymentalne jakościowe i ilościowe opracowanego zagadnienia dla warunków laboratoryjnych i rzeczywistych.
- Opracował model obliczeniowy nowego sprzęgła termo-hydraulicznego własnego pomysłu

Opracowana rozprawa liczy 164 str. Literatura liczy 63 pozycji, w tym trzy współautorskie pozycje Doktoranta. Autor wniósł własny poważny wkład w rozwiązanie postawionego zagadnienia. Uzyskał wyniki na drodze analiz i badań eksperymentalnych oraz teoretycznych.

Rozprawa doktorska prezentuje wysoki poziom ogólnej wiedzy teoretycznej mgr. inż. Łukasza Jaworskiego w dyscyplinie „Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka” oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Wynikiem rozprawy doktorskiej jest opracowanie oryginalnego rozwiązania technicznego szeregowego sprzęgła termo-hydraulicznego

2. Uwagi krytyczne.

Przy lekturze pracy nasuwają się następujące uwagi krytyczne:

1. Praca napisana jest zbyt rozwlekle, jest wiele powtórzeń, w części pracy poświęconej studiom literaturowym zamieszczone są często informacje ogólnie znane z podręczników i literatury.
2. Wiele rysunków i tabel powtarza się nie wnosząc zbyt dużo nowych informacji np. rys. 29 -49, rys.56-64, rys. 65-73, zbyt długie są tabele 8,9,27. W pracy można było zamieścić tylko kilka przykładowych wierszy tych tabel i przykładowe rysunki, a w suplemencie do pracy zamieścić pełną dokumentację z badań Ułatwiłoby to percepcję pracy
3. W spisie symboli umieszczone są symbole matematyczne razem ze skrótami takimi jak np. cwu, OZE, H, co itd. Utrudnia to percepcję pracy. Powinno być oddzielnie spis symboli i spis oznaczeń. Nie wszystkie symbole posiadają miana.
4. Literatura liczy 63 pozycje głównie polskie. Wydaje się jakby tą tematyką zajmowała się tylko nauka polska.

Wymienione uwagi krytyczne nie wpływają istotnie na wartość merytoryczną pracy, którą oceniam wysoko. Uważam że, praca wnosi poważny wkład do metod badań techniki ciepłowniczej a jej wyniki są ważne dla praktyki inżynierskiej.

3. Wniosek końcowy

Doktorant wykazała się szeroką wiedzą w zakresie techniki ciepłowniczej oraz dobrą znajomością zagadnienia i stosowanych do jego rozwiązania adekwatnych metod badawczych.

Wykazał dużo inwencji twórczej, jak też dużą samodzielność w rozwiązaniu postawionego zagadnienia. Cenne są jego wnioski i interpretacje wyników badań.

Stwierdzam, że w moim przekonaniu, praca spełnia warunki stawiane pracom doktorskim przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”, Art. 187 (Dz. U. 2022, poz. 574 ze zm.) i może być podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora nauk inżynieryjno-technicznych w tej dyscyplinie „Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka”

Biorąc powyższe pod uwagę, stawiam wniosek o dopuszczenie do obrony i nadanie stopnia doktora nauk technicznych mgr inż. Łukaszowi Jaworskiemu

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Ł. Jaworski', written in a cursive style.