

# Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Pilsa zatytułowanej „Modelowanie matematyczne obiegu gazowo-parowego na potrzeby diagnostyki cieplnej eksploatacji”.

## 1 Podstawa opracowania recenzji. Informacje ogólne o rozprawie

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Prodziekana ds. Nauki i Organizacji Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej Pani dr hab. inż. Joanny Kalki z dnia 6.06.2017 r. zlecające wykonanie wyżej wymienionej recenzji Zbigniewowi Gnutkowi z Politechniki Wrocławskiej.

Powyższa rozprawa została wykonana w Instytucie Techniki Ciepłej Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Henryka Rusinowskiego a wydana przez ITC WIŚiE PŚL w Gliwicach w 2017 r. w postaci monografii. Napisana została na 165 stronach i zawiera 54 rysunki, 26 tabel i 120 pozycji literaturowych. Pracę zredagowano w 6 rozdziałach, wydzielając część materiału w postaci 13 załączników.

## 2 Omówienie treści rozprawy

Pracę doktorską Pana mgr inż. Marcina Pilsa rozpoczyna spis treści (3 str.) oraz spis rysunków, tablic i wykaz ważniejszych oznaczeń.

Właściwy rozdział pierwszy (5 str.) to „Wprowadzenie”, w którym Autor podejmuje wstępną analizę niezbędnych narzędzi do prowadzenia diagnostyki cieplnej eksploatacji systemów energetycznych, zwłaszcza diagnostyki cieplnej i kontroli eksploatacji elektrociepłowni gazowo-parowej EC Zielona Góra. W skład układu wchodzi: zespół turbiny gazowej PG917E, dwuciśnieniowy kocioł odzyskowy OU-192 oraz obieg turbiny parowej 7CK65.

Drugim rozdziałem jest „Cel i Zakres Pracy” (3 str.). Doktorant stwierdza, że praca poświęcona jest modelowaniu matematycznemu bloku gazowo-parowego EC Zielona Góra dla potrzeb diagnostyki cieplnej i kontroli eksploatacji. Opracowany model matematyczny to zbiór modeli podsystemów wyżej wymienionych, które tworzą zielonogórską EC. Zbiór tych modeli weryfikowano serią obliczeń symulacyjnych, w oparciu o pomiary eksploatacyjne.

Rozdział trzeci (58 str.) poświęcony jest modelowaniu matematycznemu zespołu turbiny gazowej PG9171E. Na proces tego modelowania składają się następujące zadania cząstkowe:

- opis modelowanego zespołu turbiny gazowej PG9171E (w tym sprężarki, komory spalania DLN I, układu chłodzenia, części ekspansyjnej i algorytmu sterowania),
- studia literaturowe w zakresie modelowania zespołu turbin gazowych,
- model symulacyjny zespołu turbiny gazowej PG9171E.

Autor, po wstępnym zasygnalizowaniu zadania, przystąpił w podpunkcie 3.3 do szczegółowego omówienia modeli matematycznych:

- sprężarki osiowej,
- części ekspansyjnej,
- komory spalania,
- obliczenia strumienia powietrza do chłodzenia łopatek ekspandera,
- algorytmu obliczeń iteracyjnych zespołu turbiny gazowej.

W podpunkcie 3.4 Doktorant przeprowadził kalibrację modelu zespołu turbiny gazowej a w podpunkcie 3.5 przedstawił obliczenia symulacyjne zespołu turbiny gazowej. Rozdział kończy weryfikacja i walidacja modelu symulacyjnego PG9171E w oparciu o wyniki pomiarów eksploatacyjnych. Przedstawione na wykresach 3.23-3.26 wyniki potwierdzają wysoką zgodność danych pomiarowych i modelu.

Rozdział czwarty (39 str.) poświęcono modelowaniu matematycznemu kotła odzyskowego OU-192. Doktorant przedstawił:

- teoretyczno-empiryczny model przepływu ciepła (podgrzewacz wody i parownik oraz przegrzewacz pary),
- algorytm obliczeń spadku ciśnienia wody/pary w wymiennikach ciepła oraz
- opis modelowego kotła odzyskowego OU-192.

W podpunkcie 4.5 Autor omówił z dużą dokładnością model symulacyjny kotła OU-192, przedstawiając dla kolejnych wymienników: równanie bilansu energii, równanie na strumień przekazywanego ciepła, przy logarytmicznej różnicy temperatur i spadku ciśnienia wody lub pary w podgrzewaczu lub przegrzewaczu.

Model symulacyjny kotła Autor wzbogacił o punkt pt. „Modelowanie własności czynników roboczych” oraz estymację współczynników teoretyczno-empirycznego modelu kotła odzyskowego. Pokazana w punkcie 4.8 weryfikacja i walidacja modelu symulacyjnego potwierdzają zgodność pomierzonych i obliczonych parametrów opisujących kocioł OU-192.

Rozdział piąty przedstawiono na 24 stronach. Poświęcony on jest modelowaniu matematycznemu obiegu turbiny parowej 7CK65. Doktorant po analizie literatury poświęconej obiegom turbin parowych przedstawił identyfikację obiegu parowo-wodnego wyżej wymienionej maszyny. Dotyczyła ona: turbiny 7CK65, skraplacza i układu ciepłowniczego. W punkcie 5.3 Autor przedstawił model symulacyjny obiegu parowo-wodnego a w 5.4 omówiono wyniki obliczeń symulacyjnych obiegu parowo-wodnego.

Rozdział szósty (5 str.) zawiera podsumowanie rozprawy. Literatura zawiera natomiast 120 pozycji, w tym autorstwa Doktoranta ( 8 współautorskich i 1 jednoautorska). Wykaz przedstawiony został zgodnie z kolejnością cytowania, co utrudnia analizę bibliografii.

## 3 Ocena rozprawy

### 3.1 Wybór tematu rozprawy

Problemy z monokulturą węgla w systemach energetycznych w Polsce, zwłaszcza w ciepłowniach i elektrociepłowniach sprawiły, że układów parowo-gazowych nie ma w kraju zbyt wiele. Jedną z konsekwencji tego stanu rzeczy jest deficyt doświadczenia związanego z projektowaniem, budową i eksploatacją elektrociepłowni gazowych lub gazowo-parowych. Osobnym problemem jest też możliwość zebrania doświadczenia w dłuższym okresie czasu, który obejmowałby zjawisko pojawiania się nowych rozwiązań (w tym nowych materiałów i technologii) w obszarze energetyki parowo-gazowej.

Mając to na uwadze należy przyjąć z dużą satysfakcją fakt podjęcia się przez Pana Marcina Pilsa tematu „Modelowanie matematyczne obiegu parowo-gazowego na potrzeby diagnostyki cieplnej eksploatacji”. Pracę tę wykonał pod kierownictwem prof. Henryka Rusinowskiego a jako zrealizowany i dostatecznie długo eksploatowany obiekt posłużyła EC Zielona Góra.

Podsumowując można stwierdzić, że wybrany temat jest trudny, ale dający możliwość Doktorantowi zademonstrowanie warsztatu badawczego. Wybór tematyki rozprawy oceniam jako ambitny i potrzebny.

### 3.2 Ocena wyników badań

Doktorant przedstawił w pracy założenia, algorytmy oraz wyniki modelowania matematycznego obiegu gazowo-parowego EC Zielona Góra. Możliwe to było ponieważ, EC posiada budowę modułową i realna była dekompozycja zadania oraz dobranie najodpowiedniejszego sposobu modelowania dla zespołu: turbiny gazowej, kotła odzyskowego i turbiny parowej. W modelowaniu można było uwzględnić ograniczenia eksploatacyjne podukładów (np. ustawienie łopatek w modelu sprężarki i zainstalowane systemy sterowania), dobór zależności empirycznych opisujących: rozkład ciśnienia w ekspanderze, proces przepływu ciepła i spadku ciśnienia w kotle odzyskowym, dobór zależności empirycznych opisujących linię rozprężania pary w turbinie i inne.

Osiągnięte wyniki cechują się dużą dokładnością, co potwierdziła walidacja oparta na pomiarach. Jednocześnie otrzymane modele można wykorzystać w optymalizacji bloku pod kątem maksymalizacji mocy elektrycznej turbozespołu parowego.

### 3.3 Ocena warsztatu badawczego Doktoranta

Na podkreślenie zasługuje wielowątkowa umiejętność modelowania matematycznego procesów zachodzących w dużych, złożonych systemach energetycznych. Doktorant korzystał z równań termodynamiki, wymiany ciepła i mechaniki płynów do zestawiania bilansów energetycznych a jednocześnie korzystał z komercyjnych kodów obliczeniowych dokonując przy ich pomocy rozszerzeń na obszary nie posiadające odpowiednich aplikacji. Wykazał się też dużą wiedzą o mechanizmach podukładów, zwłaszcza w turbinach gazowych i zrozumieniem ograniczeń jakie należy spełnić by pracowały one bezawaryjnie.

Z otrzymanych w pracy wyników można wnioskować, że Autor posiada też umiejętność prowadzenia badań eksperymentalnych. Doktorant potrafi też interpretować osiągnięte rezultaty i formułować plany badawcze.

### 3.4 Uwagi krytyczne

- a) Jeżeli praca napisana jest po polsku to również rysunki powinny posiadać polski opis. Tak jednak nie jest (str. 32, 33, 34, 38 i in.).
- b) Te same fragmenty tekstu znajdują się w pracy dwukrotnie (np. str 30 w. 2-5 od góry i str. 37 w. 3-6 od dołu).
- c) Komentarz do równania 3.21 zdaniem recenzenta powinien być bardziej rozbudowany.
- d) Tablica 3.1 str. 28 – brak przypisania miejsca pomiaru temperatury spalin.

### 3.5 Uwagi redakcyjne

Praca napisana jest poprawnym językiem polskim z użyciem słownictwa charakterystycznego dla języka naukowego z zakresu energetyki, techniki cieplnej, maszyn cieplnych i in. Doktorant nie ustrzegł się jednak błędów w maszynopisie, np.:

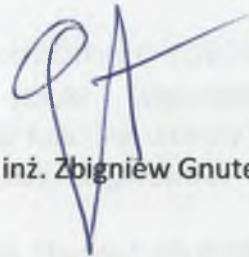
- podpis pod rys. 3.6 – jest „wielkoszczelinowe” a powinno być „wieloszczelinowe”,
- str. 64 w. 14 od dołu „oraz z równania na sprawność”,
- str. 76 w. 10 d – niezręczność,
- str. 110 w.11 d- niezręczność

Ponadto w tekście są błędy opuszczenia bądź dodania pojedynczych liter. Te błędy wskażę Autorowi osobiście.

## 4 Podsumowanie

Biorąc pod uwagę przedstawioną pracę doktorską, jej temat i sposób prowadzenia badań tj. dekompozycję zadania na problemy cząstkowe, sposób doboru narzędzi badawczych i synteza osiągniętych wyników można wysnuć wniosek, że mgr inż. Marcin Plis wykazał się wiedzą i umiejętnościami badawczymi niezbędnymi do prowadzenia badań w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie energetyka i spełnia warunki ubiegania się o stopień naukowy doktora nauk technicznych.

Wnoszę więc zgodnie z Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie Sztuki z 14 marca 2003 r. (z późniejszymi zmianami) o dopuszczenie go do obrony pracy doktorskiej i nadania mu stopnia doktora nauk technicznych.



Prof. dr hab. inż. Zbigniew Gnutek