

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Marka Cichockiego

Analiza zastosowania turbin gazowych w przemyśle przetwórczym

1. Informacje formalne

Niniejszą recenzję wykonałem na podstawie pisma z dnia 12 stycznia 2022 roku, otrzymanego z Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka podpisanego przez Przewodniczącego Prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego. Wraz z pismem otrzymałem egzemplarz pracy wydanej w postaci monografii. Praca zrealizowana została w ramach pierwszej edycji doktoratów wdrożeniowych.

Zgodnie z Ustawą „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” rozprawa doktorska powinna spełniać następujące warunki:

- „prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej”.
- temat powinien stanowić *”oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne”*.

Oceny rozprawy dokonywałem pod kątem spełniania tych dwóch warunków.

2. Wybór tematu i ogólna charakterystyka pracy

Praca dotyczy integracji turbin gazowych z procesami przemysłowymi takimi jak przetwórstwo paliw, bezpośrednie suszenie oraz generacja ciepła za pomocą urządzeń absorpcyjnych. W mojej ocenie temat bardzo dobrze wpisuje się w potrzeby gospodarcze i trendy energetyczne. Po pierwsze obniżenie emisji CO₂ wymaga upowszechniania stosowania gazu ziemnego jako paliwa pomostowego, a po drugie integracja procesów wytwarzania energii elektrycznej z procesami przemysłowymi pozwala na zwiększenie efektywności wykorzystania gazu co przynosi korzyści zarówno ekonomiczne jak i środowiskowe (klimatyczne). Z tego względu wybór tematu pracy uważam za wyjątkowo trafny.

Na początku rozdziału pierwszego znalazło się określenie celu pracy jako *„zbadać rozwiązania, które obniżają energochłonność (...) poprzez układy bazujące na bezpośredniej integracji gazów wylotowych z turbin gazowych.....”*. Jest to w moim odczuciu cel określony bardzo ogólnie, a jednocześnie bardzo szeroko, co utrudnia ocenę pod kątem spełniania warunku oryginalności rozwiązania problemu naukowego. Nie przedstawione zostały bowiem wskaźniki pod kątem których układy będą badane.

Rozdziały od 2 do 6, zajmujące nieco mniej niż połowę objętości pracy, stanowią połączenie przeglądu stanu techniki w zakresie integracji turbin gazowych z procesami przemysłowymi oraz analizy możliwości zastosowania takich rozwiązań w polskim przemyśle. Autor przedstawia także rozważania na temat kryteriów doboru turbin oraz możliwości zastosowania alternatywnych paliw gazowych. W rozdziałach tych znalazło się bardzo dużo niedociągnięć językowych, a niektóre zdania charakteryzują się składnią charakterystyczną dla języka angielskiego. Przykłady tych niedociągnięć zawarłem w dalszej części recenzji.

Rozdział siódmy zawiera wyniki modelowania obiegu termodynamicznego turbiny gazowej wraz z analizą wpływu niektórych parametrów ruchowych na sprawność oraz wielkości

charakteryzujące przydatność strumienia gazów wylotowych dla procesów przemysłowych z którymi integrowana jest turbina.

Rozdział ósmy także poświęcony jest analizie obiegu termodynamicznego turbiny, jednak tym razem pod kątem charakterystyki działania różnych układów regulacji.

Rozdział dziewiąty zawiera rozważania na temat wpływu zmienności parametrów gazów wylotowych z turbiny na procesy przemysłowe, z którymi turbina jest integrowana. Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania Aspen.

W kolejnej części pracy analizowane są zalety i wady różnych metod regulacji turbiny. Autor nazwał te rozważania „filozofią kontroli” co moim zdaniem jest określeniem na wyrost.

Ostatni rozdział to podsumowanie i rekomendacje, które mają istotne znaczenie gospodarcze dla podmiotów mających w planach integrację turbin gazowych z prowadzonymi procesami technologicznymi.

Powyżej przedstawione uwagi składają się na obraz pracy istotnej gospodarczo, zawierającej szereg istotnych wskazań mających bezpośrednie znaczenie gospodarcze, a z drugiej strony pracy która ma słabo uwypuklony problem naukowy, którego rozwiązanie zgodnie z ustawą powinno stanowić treść rozprawy doktorskiej.

3. Zalety pracy

Podstawową zaletą pracy jest niezwykle ważna tematyka zwiększania roli urządzeń wykorzystujących paliwo gazowe i jednocześnie zintegrowanych z systemem energetycznym przedsiębiorstwa dla osiągnięcia możliwie wysokich korzyści energetycznych, środowiskowych i ekonomicznych. Ta zaleta jest szczególnie ważna w kontekście wdrożeniowego charakteru realizowanego doktoratu.

Drugą z zalet w mojej ocenie jest kompleksowość podejścia do problemu zastosowania turbin gazowych jako źródła gorących gazów technologicznych. Autor przeanalizował wnikliwie uwarunkowania wpływające na wybór turbiny oraz przeprowadził obliczenia wpływu rozmaitych parametrów na wskaźniki charakteryzujące pracę turbiny. Wśród tych czynników znalazł się także, co uważam za bardzo istotne, stopień zużycia eksploatacyjnego urządzeń. Dodatkowo Autor dokonał analizy samych procesów technologicznych, z którymi integrowane są proponowane przez niego turbiny.

Kolejną zaletą jest oparcie rozważań o modele dostępnych rynkowo turbin, co sprawia że praca może znaleźć odbiorców w przemyśle, a nie tylko świecie nauki.

Pewną wadą systemu nauki w Polsce i wielu innych krajów jest oderwanie jej od rzeczywistości gospodarczej. Niniejsza praca na szczęście nie posiada tej wady i łączy ze sobą pewne walory naukowe z wysoką aplikacyjnością uzyskanych wyników.

4. Ogólne uwagi krytyczne

Celem pracy, chociaż nie wyrażonym wprost, jest ocena efektów integracji turbiny gazowej z procesami przemysłowymi poprzez wykorzystanie technologiczne gorących gazów po rozprężeniu w turbinie. Tymczasem w pracy Autor nie zdefiniował jednoznacznie kryteriów tej oceny. Z punktu widzenia przedsiębiorstwa podstawowym kryterium powinny być wskaźniki ekonomiczne – czas zwrotu inwestycji lub wskaźnik NPV. Z punktu widzenia całości gospodarki powinna to być oszczędność energii pierwotnej lub całkowita emisja CO₂. W takiej analizie konieczne jest przy tym uwzględnienie emisji unikniętej w elektrowniach systemowych dzięki generacji energii elektrycznej przez układ turbiny gazowej. W pracy znalazły się jedynie śladowe informacje ekonomiczne i to głównie przytaczane za literaturą. Są one przy tym przydatne jedynie orientacyjnie, wobec różnych uwarunkowań kosztowych

(np. stosunku kosztu gazu do kosztu energii elektrycznej) dla których zostały określone w tekstach źródłowych. Brak jasnego i uzasadnionego kryterium oceny uważam za podstawową wadę pracy.

Drugą z wad jest niestaranna redakcja, w efekcie której w pracy znajduje się wiele niezręcznych lub błędnych gramatycznie sformułowań, a także niedopowiedzeń w efekcie czego czytelnik musi się miejscami domyślać co Autor miał na myśli.

5. Szczegółowe uwagi krytyczne

Jak wspomniałem wcześniej praca ma liczne niedociągnięcia językowe, szczególnie w pierwszej swojej części. Nie będę wymieniał ich wszystkich, a jedynie przytoczę kilka dla zobrazowania problemu.

Strona 13. „*Na podstawie danych firmy GE gazy wylotowe zostały bezpośrednio zintegrowane po raz pierwszy...*” – raczej „jak wynika z [...] pierwsze integracje zostały zrealizowane”.

Strona 15. „*Selekcja TG uwzględniająca (...) zawiera rozdział 6*” – raczej „sposób doboru TG przedstawiony został w”

Strona 17. Słowo jednowałowa powinno być pisane razem a nie „jedno wałowa”

Rozdział 18. „*Dzięki obniżonemu nadmiarowi tlenu*”.

Strona 21. „*możliwość pracy procesu produkcyjnego niezależnie od dostępności TG*” – proces nie pracuje, powinno być „możliwość realizacji procesu w przypadku wyłączenia TG”

Strona 23. „*... więc zmienne obciążenie cieplne i zapotrzebowanie na tlen, musi być rozważone, żeby zweryfikować dobór TG*” – szyk zdania języka angielskiego.

Strona 26. „*obydwa zakłady składają się z jednej turbiny...*” – raczej „w każdym z tych zakładów zainstalowana jest turbina....”

Strona 27 „*... musi być ograniczona aby zapobiec ryzyka pożaru*”

Strona 28 „*... mieszanie z wymuszonym przepływem powietrza z otoczenia (Rys.3) lub gazami wylotowymi z suszarni powinno być rozważone*” - szyk zdania języka angielskiego.

Więcej niezręczności językowych nie przytaczam, bo korekta językowa nie jest zasadniczym celem recenzji pracy.

Pozostałe uwagi, z wyłączeniem spraw językowych to:

Strona 11 – „*Forsowanie parametrów*” to sformułowanie nieściśle. Można się jedynie domyślać co Autor miał na myśli.

Strona 17 – „*palniki zostały zmodyfikowane tak by osiągnąć jednolite rozdzielenie gazów wylotowych z TG*” – również przykład nieściśłego formułowania myśli. Co zmodyfikowano w palnikach, w jaki sposób następuje rozdzielenie gazów przed i po modyfikacji.

Strona 19 – „*... została zintegrowana z dwoma piecami ropy naftowej...*” – także bardzo nieściśły opis. Co to jest „piec ropy naftowej” ?

Strona 21 – co to znaczy „*znacząca ilość tlenu*” 5%, 10%, a może 20% ?

Strona 21 – Rysunek 2 – nie zostało określone w jaki sposób obliczono oszczędności paliwa. Oszczędność można liczyć według energii pierwotnej, energii chemicznej paliw zużywanych w zakładzie, a także według kosztów.

Strona 23 – „*wymiana ciepła może zachodzić pośrednio za pomocą pary*” – sformułowanie nieściśle – powinno to brzmieć „czynnikiem pośredniczącym w wymianie ciepła....”

Strona 24 – dlaczego na rysunku 4 powietrze suszarnicze prowadzone jest współprądowo?

Strona 25 – „*... która wynosi 82,3 % została oszacowana na podstawie pomiarów godzinowych*” – pomiarów czego, w jakim okresie czasu?

Strona 26 – „...znaczną integracją..” – do jakiej wartości i czego wartości integracja jest znacząca ?

Strona 27 – „jednocyfrowe emisje NOx” - jeżeli wyrazić emisje w kg/m³ to w każdym przypadku będą jednocyfrowe. Powinno być „emisja NOx wynosiła poniżej 10 mg/m³”.

Strona 28 – „duży stosunek ciepła do mocy” – im większy ten stosunek tym niższa sprawność elektryczna turbiny, a przecież energia elektryczna stanowi najbardziej pożądany produkt. Doprowadzając rzecz do absurdu można by powiedzieć, że najlepszy stosunek, bo równy nieskończoności, ma komora spalania bez turbiny.

Strona 29 – podano zakres stosunku cen energii 1,8-3,4 – z czego wynika taki szeroki przedział, skoro mowa wyłącznie o warunkach polskich.

Strona 30 – szczególnie niejednoznaczne jest pisanie o sprawności w urządzeniach poligeneracyjnych, tymczasem na stronie 30 opisana jest ziębiarka zintegrowana z TG i podana informacja, że zmierzona sprawność wyniosła 88,8% - jak określona jest ta sprawność?

Strona 31 – co znaczy, że „ciepło może być dodane do mocy elektrycznej”

Strona 34 – „... jedynie układ CCHP bazujący na (...) może być ekonomicznie uzasadniony..” – skąd to wynika?

Strona 35 – co to jest „płomień stabilizujący” i dlaczego jest on stawiany w jednym rzędzie z filozofią kontroli TG.

Strona 40 – co dokładnie znajduje się w ostatniej kolumnie tablicy 10

Strona 42 – w jaki sposób policzone zostały emisje NO przy zastosowaniu różnych paliw gazowych. Określenie „na podstawie mechanizmu Zeldovicha” niewiele wyjaśnia.

Strona 53 – błędne użycie pojęcia „warunki brzegowe”

Strona 53 – równanie (2) jest niezgodne pod względem jednostek

Strona 53 – gdzie zdefiniowane są funkcje występujące w równaniach 4 i 7

Strona 54 – równanie 18 jest niepoprawne – wstawienie ciśnienia wylotowego równego wylotowemu nie daje zerowej mocy

Strona 54 – część równań (jak na przykład równanie 19) jest niezrozumiała bez podania schematu technologicznego z oznaczeniem miejsca występowania poszczególnych wielkości.

Strona 55 – wykres uporządkowany nie zawiera w sobie informacji o równoczesności występowania określonych parametrów. Najwyższa temperatura niekoniecznie występuje w okresie najwyższego ciśnienia.

Strona 57 – czym jest ‘metoda buforowania danych’

Strona 58 – w jakich jednostkach jest rzędna wykresu 11

Strona 61, 67 i 74 – wnioski, które przedstawiono są jak rozumiem słuszne jedynie dla modeli turbin, których charakterystyki uwzględniono w obliczeniach, zatem tylko dla konkretnych modeli turbin.

Strona 75 – cały rozdział 8 napisany został z pominięciem zbyt dużej liczby istotnych szczegółów. Powinny znajdować się schematy urządzeń z naniesionymi torami wielkości mierzonych i wielkości sterowanych. Bez tego nie da się zrozumieć co Autor przeliczył, a można się jedynie domyślać.

Strona 91 – Jak określić ilość ciepła generowanego ze spalania gazu w TG a jak w piecu? Czy Autor ma na myśli energię chemiczną paliwa?

Strona 91 – skąd wynikają wartości liczbowe przyjętych założeń. Czy analizie poddawana jest konkretna instalacja. Jeżeli tak, to czemu nie została opisana.

Strona 93 – Autor podaje wyniki obliczeń bez podania szczegółów. Na przykład co wpływa na osiągnięcie konkretnej wartości sprawności z przedziału 78-89% i jak ta sprawność została

określona. Autor podaje, że energochłonność zmniejszy się od 1 do 25% i nasuwają się te same pytania. Emisja CO₂ koniecznie powinna być liczona w skali całej gospodarki, bo inaczej dochodzi się do wniosków absurdalnych, że najlepszym rozwiązaniem jest zasilanie zakładu wyłącznie energią elektryczną z zerową emisją CO₂ loco zakład.

Strona 94 i 95 – pytania podobne co w przypadku strony 93.

Strona 97 – „moc chłodnicza absorbera dobrana na podstawie strumienia TG przy maksymalnym obciążeniu dla warunków ISO z 10% marginesem” – czego dotyczy 10% margines?

Strona 98 – jaki sens ma uruchamianie ziębiarki absorbcyjnej gdy temperatura otoczenia wynosi -20 stopni i dowolną ilość chłodu można pozyskać z otoczenia?

Strona 100 – ponownie rozdział 10 jest napisany z podaniem zbyt małej liczby szczegółów i ma charakter bardziej zbioru pomysłów i spostrzeżeń niż jednoznacznego zapisu technicznego.

Strona 103 – kolejne kroki obliczeń powinny być poparte użytymi wzorami

Strona 105 – Autor wskazuje, że funkcja określona równaniem 26 jest tajna. Wszystkie zatem wyniki obliczeń z wykorzystaniem tej funkcji są obarczone tą tajemnicą.

Strona 108 – jedną z metod poprawy jakości pomiarów, w przypadku występowania ich nadmiaru jest metoda uzgadniania, której Autor zdaje się nie dostrzegać.

Strona 109 – wnioski dotyczące opłacalności integracji TG z urządzeniami chłodniczymi absorbcyjnymi są zbyt kategoryczne w stosunku do wcześniej przeprowadzonych rozważań.

Strona 111 – Rekomendowanie określonego typu turbin gazowych powinno być poparte analiza porównawczą różnych rozwiązań w stosunku do konkretnej technologii. Ponownie wniosku uważam za zbyt kategoryczne w stosunku do wcześniej przeprowadzonej analizy.

5. Wniosek końcowy

Praca zrealizowana przez mgr inż. Marka Cichockiego posiada niewątpliwe zalety i wyraźne niedociągnięcia. Biorąc pod uwagę przytoczone na wstępie warunki jakim powinna odpowiadać praca doktorska uważam, że praca doktorska dokumentuje ogólną wiedzę Kandydata w zakresie dyscypliny i może być uznana za rozwiązanie problemu naukowego o cechach oryginalności. Za szczególnie oryginalne uważam wyniki uzyskane w rozdziałach 7, 8 oraz 9.

Na powyższej podstawie uważam, że praca spełnia przedstawione na wstępie warunki ustawowe. Bez wątplenia jednak przereklamowanie i uzupełnienie rozprawy o istotne informacje szczegółowe znacznie podniosłyby jej wartość, ale nie wnoszę o konieczność takiej poprawy. Wnioskuje do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie pracy do publicznej obrony.