

prof. dr hab. inż. Tadeusz Bohdal
Politechnika Koszalińska
Wydział Mechaniczny
Katedra Energetyki
ul. Raławicka 15-17
75-620 Koszalin

Koszalin, 09.08.2021 r.

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Waryana nt.:

„Zwiększenie sprawności agregatu gazowego z zastosowaniem odzysku ciepła z silnika spalinowego”

Opinia została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej dr hab. inż. Stanisława Rybickiego, prof. PK – Umowa o dzieło, pismo z dnia 22 czerwca 2021 r.

Promotorem recenzowanej pracy jest prof. dr hab. inż. Dawid Taler, a promotorem pomocniczym dr inż. Jarosław Müller.

1. Zawartość rozprawy

Recenzowana rozprawa obejmuje 201 stron oraz 71 stron załączników. Rozprawa została podzielona na dwanaście rozdziałów. Dodatkowo podano: wykaz oznaczeń i symboli, bibliografię, pięć załączników oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. W treści rozprawy zawarto:

1. **Wprowadzenie**, gdzie zwrócono uwagę na znaczenie agregatów pracujących w układzie trigeneracji, ze szczególnym uwzględnieniem agregatów napędzanych spalaniem gazem.
2. **Cel, zakres i tezę pracy**. Podano główne przesłanki związane z pojęciem tematu rozprawy, opisano cel, szczegółowo przedstawiono zakres oraz podano tezę pracy.
3. **Przegląd literatury**, gdzie przedstawiono wyniki analizy literatury w zakresie tematyki rozprawy, zwracając uwagę na dotychczasowe rozwiązania układów tri- kogeneracyjnych oraz stosowane metody racjonalnego wykorzystania zasobów energetycznych.
4. **Założenia koncepcyjne agregatu trigeneracyjnego**, gdzie podano założenia konstrukcyjne dotyczące budowy urządzenia i parametrów pomiarowych wykorzystywanych przez układ akwizycji danych.
5. **Opis budowy agregatu trigeneracyjnego** będącego przedmiotem badań i modernizacji. Przedstawiono sekcję jednostki napędowej wraz z instalacją gazową, sekcję chłodniczą rewersyjnej pompy ciepła, sekcję hydrauliczną instalacji chłodzenia silnika, sekcję hy-

drauliczną instalacji przekazywania ciepła oraz sekcję instalacji elektrycznej zasilająco - sterującej.

6. **Sposoby i zasady sterowania**, w tym sterowania zaworem „niskiego” parametru, zaworami chłodzenia silnika I i II stopnia, wentylatorami wymiennika chłodniczego, chłodzeniem komory silnika, przepustnicą komory silnika, zaworem odprowadzenia ciepła, sprężarką i interfejsem użytkownika.
7. **Opis urządzeń pracujących w trigeneracyjnym agregacie gazowym**, który dotyczy zastosowanego silnika spalinowego, sprężarki, generatora prądu, wentylatora, wymienników lamelowanych i płytowych. Podano również wymiary geometryczne opracowanego urządzenia.
8. **Bilans energetyczny urządzenia trigeneracyjnego** sporządzony dla całego układu oraz bilanse cząstkowe dla poszczególnych elementów składowych, w tym: silnika, sprężarki i prądnicy.
9. **Wyniki własnych badań eksperymentalnych**, które przeprowadzono przy różnych wariantach pracy trigeneratora. Wyznaczono wartości mocy cieplnej grania, chłodzenia, mocy elektrycznej, sprawności itp. Przeprowadzono również pomiary hałasu.
10. **Wnioski**, które opracowano na podstawie uzyskanych wyników prac koncepcyjnych, konstrukcyjnych i badań eksperymentalnych nowego urządzenia.
11. **Materiał dokumentacyjny** w postaci zdjęć nowego rządu pracującego w warunkach eksploatacyjnych budynku hotelowego.
12. **Bibliografia** zawierająca 62 pozycje literatury polskiej i zagranicznej w postaci artykułów naukowych i pozycji książkowych.
13. **Załączniki** (w liczbie 5 sztuk), które zawierają: 1 – Testy stanowiskowe dwóch silników do gazowego agregatu trigeneracyjnego, 2 – Prace optymalizacyjne silników do gazowego agregatu trigeneracyjnego, 3 – Schemat technologiczny zabudowy GAT na rzeczywistym obiekcie, 4 – Schemat instalacji zasilająco - sterującej, 5 – Sekwencje bloków sterujących.

2. Cel, zakres i teza pracy

Doktorant podał, że głównym celem pracy jest wykonanie rzeczywistego modelu agregatu trigeneracyjnego oraz jego testy i instalacja pilotażowa na rzeczywistym obiekcie, na bazie sporządzonej wcześniej koncepcji poszczególnych instalacji zabudowanych w urządzeniu testowym. W ocenianej rozprawie doktorskiej zawarto również analizę pracy agregatu trigeneracyjnego z odzyskiem ciepła skraplania pary wodnej zawartej w spalinach wypływających z agregatu oraz analizę pracy z odzyskiem ciepła rozpraszanego przez korpus silnika i generatora. Porównano pracę trigeneracyjnego układu gazowego pracującego bez odzysku ciepła skraplania i wykorzystującego parę wodną jako dodatkowe źródło ciepła w zmiennych zewnętrznych warunkach atmosferycznych. Dodatkowym celem rozprawy doktorskiej było opracowanie algorytmu sterowania poszczególnych elementów wykonawczych instalacji oraz agregatu gazowego jako całości.

W pracy podano również zakres pracy doktorskiej, który obejmuje dokonanie charakterystyki gazowych agregatów trigeneracyjnych, opracowanie koncepcji agregatu gazowego, w tym wykonanie obliczeń układu chłodniczego wraz z doбором elementów składowych układu, wykonanie obliczeń hydraulicznego (wraz z doбором elementów składowych) układu, wykonanie rysunków wykonawczych instalacji grzewczych, chłodniczych i gazowych

oraz elementów konstrukcyjnych urządzenia, opracowanie opisu technicznego budowy prototypu, wykonanie prototypu, jego montaż na wybranym obiekcie pilotażowym (hotel), podłączenie prototypu do istniejącej instalacji grzewczej, chłodniczej i gazowej obiektu, wykonanie pomiarów i akwizycji danych, analizę pozyskanych danych pomiarowych, opracowanie wyników badań i opracowanie wniosków.

Autor podał także tezę swojej pracy w postaci: *” Poprzez wykorzystanie ciepła skraplania pary wodnej ze spalin oraz poprzez odzysk ciepła rozpraszanego przez korpus silnika spalinowego podniesiona zostanie sprawność całego układu trigeneracyjnego. Poprzez zastosowanie autorskiego algorytmu sterowania umożliwiającego jednoczesną pracę generatora oraz pompy ciepła, przy wykorzystaniu trzech dolnych źródeł ciepła w całym zakresie pracy urządzenia podniesiony zostanie stopień wykorzystania energii pierwotnej paliwa gazowego oraz podniesiona zostanie sprawność całego układu trigeneracyjnego”*.

Mając na uwadze konieczność udowodnienia powyższej tezy Doktorant przeprowadził analizę literatury dotyczącej modelowania zjawisk zachodzących w maszynach i urządzeniach stosowanych w energetyce skojarzonej, konstrukcji układów stosowanych w kogeneracji i trigeneracji, rozwiązań zwiększających efektywność energetyczną układów do równoczesnego wytwarzania energii elektrycznej, cieplnej i chłodniczej itp. Opracował koncepcję agregatu gazowego, w tym wykonał obliczenia cieplne i przepływowe, opracował opis techniczny budowy prototypu, doprowadził do wykonania prototypu i montażu na wybranym obiekcie pilotażowym. Przeprowadził badania eksperymentalne w warunkach eksploatacyjnych, wykonał analizę pozyskanych danych pomiarowych, opracował wyniki przeprowadzonych badań i przedstawił wnioski. W ramach tego zakresu działań i uzyskanych rezultatów Doktorant w pełni uzasadnił postawioną tezę swojej pracy.

3. Rozwinięcie tezy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska dotyczy poszukiwania nowych rozwiązań w zakresie lepszego wykorzystania energii pierwotnej poprzez zastosowanie rozwiązań trigeneracyjnych w gospodarce skojarzonej. Malejące rezerwy paliw konwencjonalnych zmuszają do podwyższania sprawności i efektywności energetycznej maszyn i urządzeń, które je wykorzystują. Stosowanie urządzeń pozwalających jednocześnie „produkować” energię elektryczną, cieplną lub wytwarzać efekt chłodniczy pozwala znacznie zwiększyć ilość wykorzystanej energii zgromadzonej w paliwie. Ponadto występuje też bardzo ważny aspekt środowiskowy, gdyż powyższe efekty energetyczne uzyskuje się miejscowo z pominięciem dużych strat przesyłowych.

Mając powyższe na uwadze Doktorant podjął próbę wykonania rzeczywistego modelu agregatu trigeneracyjnego gazowego „produkującego” energię cieplną, chłodniczą i elektryczną w sposób skojarzony. Zaprojektowany i wykonany agregat składał się z głównych elementów: jednostka napędowa wraz z instalacją gazową, instalacja chłodnicza pompy ciepła, instalacja hydrauliczna chłodzenia silnika, instalacja hydrauliczna przekazywania ciepła i efektu chłodzenia do odbiorników oraz instalacja zasilająca – sterująca. Zastosowano dwa źródła energii, pierwsze z nich to metan dostarczany z sieci gazowej, drugie to ciepło zawarte w powietrzu atmosferycznym. Jednostką napędową był gazowy silnik spalinowy, który wykorzystywano do napędu generatora prądu elektrycznego (prądnicy) i pompy ciepła, która współpracowała z dolnym powietrznym źródłem ciepła. Aby zwiększyć efektywność energetyczną urządzenia Doktorant postanowił wykorzystać dodatkowo ciepło w postaci odzysku ciepła skraplania pary wodnej zawartej w spalinach wydalanych z agregatu oraz odzysku ciepła rozpraszanego przez korpus silnika i generatora. Takie działania pozwoliły zwiększyć

końcową sprawność urządzenia o kilkanaście procent. Dodatkowo opracowano algorytm sterowania poszczególnych elementów wykonawczych instalacji oraz agregatu gazowego jako całości. Miało to na celu optymalne wykorzystanie użytych do budowy urządzenia komponentów oraz zwiększenie efektywności pracy, trwałości i funkcjonalności urządzenia. Pozwoliło to na zwiększenie stopnia wykorzystania paliwa pierwotnego o około 16 %, co w przypadku gazu, jako paliwa kopalnego ma duże znaczenie. Ponadto, nastąpiło zwiększenie wydajności cieplnej urządzenia o około 7 kW, wydłużenie żywotności silnika i zmniejszenie oscylacji wartości parametrów regulowanych w urządzeniu. Ponadto dzięki współpracy ze sterownikiem nadrzędnym, inwerter w sposób płynny dostosowuje chwilową moc generatora do aktualnych możliwości napędowych silnika. Dla mocy silnika spalinowego w danych warunkach algorytm oblicza jaką rezerwę w danym momencie dysponuje silnik spalinowy i tak dobiera zapotrzebowanie na energię elektryczną poprzez inwerter, aby silnik pracował z nominalną mocą. Doktorant opracował również bilanse energetyczne dla całego układu trigeneracyjnego oraz bilanse cząstkowe dla poszczególnych elementów składowych, w tym: silnika, sprężarki, i prądnicy. Wykonane wykresy Sankeya pozwalają ocenić przepływy energii, wielkości ich strumieni i określić występujące straty energetyczne.

Po zaprojektowaniu i wybudowaniu nowego urządzenia oraz posadowienia go w miejscu eksploatacji Doktorant przeprowadził badania eksperymentalne w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. Przeprowadzone pomiary dotyczyły pracy układu trigeneracyjnego w różnych warunkach, to jest w trybie „produkcji” energii elektrycznej, energii cieplnej i efektu chłodzenia. Badania prowadzono w warunkach odzysku ciepła skraplania pary wodnej zawartej w spalinach wydalanych z agregatu, odzysku ciepła rozpraszanego przez korpus silnika i generatora lub bez odzysku ciepła. Uzyskane wyniki pomiarów pozwoliły na opracowanie charakterystyk cieplnych trigenerатора pracującego w różnych trybach grzania, chłodzenia i produkcji energii elektrycznej. Dotyczą one zależności mocy elektrycznej, mocy cieplnej i chłodniczej od poziomu temperatury powietrza zewnętrznego. Prowadzono również badania eksperymentalne nowego urządzenia pracującego w trybie kogeneracji, gdzie następuje „produkcja” energii elektrycznej i cieplnej. Na podstawie uzyskanych wyników badań eksperymentalnych zostały opracowane wnioski, które potwierdzają postawioną tezę rozprawy oraz słuszność zastosowanych nowych rozwiązań konstrukcyjnych związanych z odzyskiem energii odpadowej w układzie.

4. Oryginalność i wartości poznawcze pracy

Zaproponowany przez Doktoranta temat rozprawy doktorskiej wynika z potrzeby prowadzenia prac badawczych w zakresie podnoszenia sprawności maszyn i urządzeń energetycznych oraz lepszego wykorzystania energii pierwotnej paliw konwencjonalnych. Pomimo licznych publikacji w tym zakresie problematyka ta nie została jeszcze w pełni zbadana i opisana. Istnieje dalsza potrzeba prowadzenia prac badawczych. Wynika to z konieczności poprawy konstrukcji i lepszego wykorzystania urządzeń pracujących według prawo- i lewobieżnych obiegów termodynamicznych oraz wzajemnego ich kojarzenia. Pozwoli to na osiągnięcie efektu synergii i wzrostu współczynników sprawności i efektywności działania. Doktorant zaproponował tezę swojej rozprawy, co pozwoliło uzyskać wymierne osiągnięcia, do których należy zaliczyć:

- a) zaproponowanie nowej wersji trigeneratora opartego na wykorzystaniu gazowego silnika spalinowego w skojarzeniu z powietrzną pompą ciepła,
- b) określenie typów i wielkości niezbędnych komponentów trigeneratora w postaci silnika napędowego, pompy ciepła ze sprężarką i wymiennikami ciepła i innych elementów po-

trzebnych do budowy urządzenia, na bazie modeli matematycznych zawartych w oprogramowaniu doborowym poszczególnych komponentów,

- c) rozwiązanie problemu równomiernego obciążenia silnika spalinowego przekazującego moment napędowy do dwóch odbiorników w postaci sprężarki i generatora przy zmiennych warunkach zewnętrznych oraz zmiennym zapotrzebowaniu wpływających na pracę układu pompy ciepła oraz zmiennym obciążeniu generatora wymuszonym przez falownik,
- d) opracowanie koncepcji i projektu układu sterowania pozwalające zwiększyć sprawność całego urządzenia poprzez sterowanie odzyskiem ciepła z silnika spalinowego oraz optymalnym sterowaniem układu pompy ciepła i generatora, które w każdych warunkach pracy trigeneratora mogą pracować równolegle ze zmiennym obciążeniem,
- e) rozwiązanie problemu odzysku ciepła skraplania pary wodnej ze spalin odpływających z silnika spalinowego oraz ciepła, które jest rozpraszane przez korpus silnika na drodze promieniowania i konwekcji do otoczenia. W istniejących rozwiązaniach oba strumienie są tracone do otoczenia, obniżając końcową sprawność całego urządzenia.

Reasumując należy stwierdzić, że Doktorant opracował oryginalne i wartościowe rozwiązania koncepcyjne pozwalające na wzrost sprawności efektywności energetycznej urządzeń realizujących obiegi termodynamiczne we wzajemnym skojarzeniu. Uzyskane wyniki przeprowadzonych prac koncepcyjnych, badań eksperymentalnych, analiz i przedstawione wnioski przyczyniają się znacznie do wzrostu stanu wiedzy w zakresie realizowanego tematu.

5. Wartości użytkowe pracy

Prezentowana rozprawa doktorska ma przede wszystkim duże znaczenie aplikacyjne. Dotyczy ona bardzo istotnego problemu lepszego wykorzystania maszyn i urządzeń energetycznych. Ciągły wzrost cen surowców energetycznych malejące zasoby konwencjonalnych źródeł ciepła wymuszają konieczność poszukiwania nowych rozwiązań o wyższej sprawności i efektywności pracy. Istotnym jest budowa urządzeń pozwalających na znaczne zwiększenie ilości dostarczanej energii poprzez pobór jej z otoczenia lub energii odpadowej. Zaproponowane przez Doktoranta trigeneracyjne urządzenie pozwala na produkcję energii elektrycznej, cieplnej i efektu chłodzenia. Takie skojarzenie prawo- i lewobieżnego obiegu termodynamicznego pozwala dostarczać więcej energii do odbiorcy niż wynika to z ilości energii napędowej spalnego gazu. Efekt ten wzrasta jeszcze o kilkanaście procent poprzez wykorzystanie ciepła skraplania pary wodnej ze spalin oraz odzysk ciepła rozpraszanego przez korpus silnika spalinowego. Dodatkowo opracowany algorytm sterowania poszczególnych elementów wykonawczych instalacji oraz agregatu gazowego jako całości wpływa dodatkowo na zwiększenie stopnia wykorzystania paliwa pierwotnego o dalsze kilkanaście procent. Opracowane przez Doktoranta innowacyjne rozwiązanie układu trigeneracyjnego zostało wykonane i zainstalowane na obiekcie rzeczywistym. Pracuje w dużym hotelu w pobliżu Wieliczki. Należy wskazać, że jego budowa została sfinansowana przez firmę, która po zakończeniu rozprawy doktorskiej oraz przeprowadzeniu testów na obiekcie referencyjnym planuje wdrożenie go do produkcji. Świadczy to o bardzo dużym potencjale praktycznym ocenianej pracy.

Prezentowana rozprawa jest istotnym wkładem Autora w zakresie poszukiwania nowych rozwiązań i ich wdrożenia do projektowania i eksploatacji urządzeń realizujących obiegi termodynamiczne w skojarzeniu. Jest to szeroko pojęte działanie zmierzającego do racjonalnego gospodarowania energią pierwotną, racjonalnym gospodarowaniem i zwiększeniem jej oszczędności.

6. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Uwagi o charakterze merytorycznym

1. W rozdziale ósmym Autor przedstawia bilans energetyczny trigeneratora dla różnych wersji jego pracy w postaci wykresów Sankeya. Z tekstu pracy wynika, że są to wyniki obliczeń teoretycznych dla przyjętych warunków temperaturowych. Szkoda, że nie sporządzono takich wykresów na podstawie badań eksperymentalnych dla pracy trigeneratora w warunkach rzeczywistych.
2. W rozdziale ósmym są błędne zapisy. We wzorze (5) opisującym strumień energii kinetycznej spalin brakuje kwadratu przy prędkości spalin w_s . Rysunki 38 i 39 mają podpisy „Bilans cieplny sprężarki”. W rzeczywistości są to bilanse cieplne pompy ciepła.
3. Opiniowana rozprawa doktorska zyskałaby znacząco na wartości naukowej, gdyby Autor zamieścił wyniki analizy egzergetycznej układu. Dopiero taka analiza i wykazany wzrost sprawności egzergetycznej pozwala na wskazanie wpływu poszczególnych elementów układu na efektywność egzergetyczną.
4. W rozdziale 9 opisując moc cieplną pompy ciepła słusznie podano, że wraz ze spadkiem temperatury źródła dolnego (powietrze atmosferyczne) spada jej wydajność cieplna. Jako przyczynę wskazano spadek temperatury czynnika roboczego, obniżenie jego gęstości i w wyniku tego spadek strumienia masy. Należy jednak wskazać, że drugą ważniejszą przyczyną jest wzrost różnicy ciśnień po stronie ssawnej i tłocznej sprężarki, co powoduje spadek stopnia dostarczania. Oba te efekty nakładają się na siebie i są przyczyną spadku wydajności cieplnej sprężarkowej pompy ciepła.
5. Praca ma duży potencjał praktyczny. Autor wykonał wiele pracy o charakterze inżynierskim, co było niezbędne aby zaprojektować i wykonać urządzenie trigeneracyjne. Wymagało to sporządzenie licznych schematów wykonawczych i instalacyjnych. Jednak zbędnym wydaje się prezentowanie ich wszystkich w ocenianej rozprawie. Były one niezbędne dla wykonania przedmiotowego urządzenia, ale wnoszą tylko wiedzę w zakresie techniki.
6. W pracy bardzo często używa się zwrotów żargonowych typu „niski parametr”, „wysoki parametr”, „produkcja wysokiego parametru”, „produkcja niskiego parametru”, „przekierowanie części lub całości ciepła z wysokiego na niski parametr”, „przekazanie wysokiego parametru do wymienionych wyżej odbiorników”, „temperatura wysokiego parametru”, „chłód” itp. W pracy naukowej należy wykorzystywać słownictwo naukowo-techniczne, aby precyzyjnie przekazywać informacje dla czytelnika.
7. Niepoprawnym jest używanie zwrotu „instalacja freonowa”. Pojęcie „freon” dotyczy czynników chlorowcopochodnych, w tym czynników R12 i R22, które wycofano z użycia już kilka lat temu. Słowo „Freon” jest zarejestrowanym znakiem handlowym należącym do koncernu DuPont. W stosunku do obecnie stosowanych czynników chłodniczych często używa się określenia „proekologiczne zamienniki freonów”.

Uwagi edytorskie

- ogólne

1. Należy podkreślić wysoki poziom przygotowania rozprawy doktorskiej pod względem edytorskim. Zwraca uwagę wysoka jakość opracowania całego maszynopisu.

2. W pracach naukowych, opracowaniach książkowych, zwyczajowo nie stawia się kropek po tytule pracy, nazwach rozdziałów, podrozdziałów, w podpisach rysunków i tablic. W opiniowanej rozprawie znaki kropek w/w miejscach są zbędne.
3. Prezentowana rozprawa jest bardzo obszerna pod względem objętościowym. Aby ograniczyć jej wielkość można było część treści przenieść do załączników, np. w pracy przedstawić tylko część wykresów i schematów, zaś resztę zamieścić w załącznikach, charakterystykę podzespołów trigeneratora (np. karty katalogowe wymienników) również można było podać w załączniku. W większości zamieszczenie wszystkich informacji katalogowych jest zbędne i nic nowego nie wnosi.

- szczegółowe

1. Na str. 11, 17 wiersz od dołu jest zapis „*szybkość zużycia gazu osiąga minimalna wartość ...*”, powinno być „*szybkość zużycia gazu osiąga minimalną wartość*”.
2. Na str. 29, 7 wiersz od dołu zapisano „*... przedstawiono wile technicznych rozwiązań...*”, powinno być „*... przedstawiono wiele technicznych rozwiązań...*”.
3. W rozdziale 5 na stronie 46, 9 wiersz od góry zapisano „*W klasycznych rozwiązaniach tego typu z pojemności 2,2 dm³ uzyskuje się 120 kW, w tym przypadku otrzymujemy 18 kW*”. Prawdopodobnie powinno być 12 kW, a nie 120 kW?
4. W rozdziale 5.5 brak jest podpisów pod rysunkami. Podano tylko numery schematów.
5. Na str. 109, 13 wiersz od dołu zapisano „*...w postaci barku ciepła na wyjściu...*”, powinno być „*...w postaci braku ciepła na wyjściu...*”.
6. Na str. 150, 8 wiersz od dołu jest zapis „*Wymiennik transferu ciepłą z ...*”, powinno być „*Wymiennik transferu ciepła z ...*”.
7. Str. 156, 3 wiersz od dołu jest „*demi-empirycznej*”, powinno być „*semi-empirycznej*”.

7. Uwagi końcowe

Prezentowana rozprawa doktorska napisana jest rzeczowo i w sposób zrozumiały. W pracy brak jest praktycznie błędów językowych i edytorskich. Podane uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i powinny być inspiracją dla Doktoranta do dalszych analiz teoretycznych i badań eksperymentalnych dotyczących nowych rozwiązań w zakresie urządzeń gospodarki skojarzonej. Uwagi te nie pomniejszają wartości opiniowanej pracy, którą oceniam bardzo pozytywnie.

8. Wniosek do Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej

Prezentowana do oceny rozprawa doktorska jest wartościową pracą naukową. Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemów badawczych i rozwiązywania ich przy użyciu właściwych metod naukowych. Wykazał także umiejętności wykorzystania istniejącej wiedzy z zakresu energetyki w prowadzeniu analiz teoretycznych, obliczeń teoretycznych, badań eksperymentalnych i opracowaniu uzyskanych wyników. Obok odpowiedniego poziomu naukowego rozprawy, należy podkreślić duży stopień jej aplikacyjności. Wnioskuje o przyjęcie pracy mgr inż. Grzegorza Waryana, jako rozprawy doktorskiej odpowiadającej

warunkom określonym w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki i o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Praca ta stanowi znaczące osiągnięcie Autora i jest istotnym wkładem do poszukiwania nowatorskich rozwiązań w zakresie maszyn i urządzeń energetycznych. Wyniki przeprowadzonych analiz i przedstawione wnioski przyczyniają się znacznie do wzrostu stanu wiedzy w zakresie realizowanego tematu

