



prof. dr hab. inż. Dariusz Butrymowicz

Katedra Techniki Ciepłej
Wydział Mechaniczny
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45C, 15-950 Białystok,
tel. 571 443 089
505 835 170
e-mail: d.butrymowicz@pb.edu.pl

ADMINISTRACJA
Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki

Wpłynęło dnia..... 17.11.2021

Nr..... 1883 szt.....

Białystok, 27.08.2021

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Grzegorza Waryana

Zwiększenie sprawności trigeneracyjnego agregatu gazowego z zastosowaniem odzysku ciepła z silnika spalinowego

Opinia została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej, Pana Prof. Dr hab. inż. Stanisława M. Rybickiego, pismo ŚO. 52-925/2021 z dnia 22 czerwca 2021.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest Prof. dr hab. inż. Dawid Taler, zaś promotorem pomocniczym jest Dr inż. Jarosław Müller.

I. Zawartość rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska obejmuje 201 stron. Rozprawa składa się z następujących części: zestawienia oznaczeń, wprowadzenia (rozdział 1) oraz opisu celu, zakresu i tezy pracy (rozdział 2), przeglądu literatury wraz z ramową propozycją własnego rozwiązania układu (rozdział 3), rozdziałów 4-10 prezentujących własny materiał badawczy, podsumowania (rozdział 11), zdjęć układu (rozdział 12), zestawienia bibliograficznego, streszczenia w języku polskim oraz angielskim oraz 5 załączników. Zawartość poszczególnych rozdziałów obejmuje:

1. **Wprowadzenie**, w którym Autor dokonał przeglądu stanu ogólnej wiedzy dotyczącej układów poligeneracyjnych złożonych z silnika spalinowego oraz systemu odzysku ciepła na cele grzewcze oraz produkcji chłodu.
2. **Cel, zakres i teza pracy**. W rozdziale w sposób zwięzły sformułowany został cel oraz zakres pracy, a także sformułowana jej teza.
3. **Przegląd literaturowy oraz propozycja własnego rozwiązania prototypowego**. W rozdziale tym Doktorant przedstawił przegląd aktualnego stanu wiedzy w zakresie spalinowych systemów trigeneracyjnych.
4. **Założenia koncepcyjne agregatu trigeneracyjnego**. W rozdziale tym Doktorant zamieścił szczegółowy opis konfiguracji proponowanego systemu trigeneracyjnego.

5. **Budowa agregatu trigeneracyjnego.** W rozdziale zaprezentowane zostały podukłady systemu trigeneracyjnego stanowiącego przedmiot własnych prac Doktoranta wraz z systemem sterowania całością układu.
6. **Opis urządzeń pracujących w trigeneracyjnym agregacie gazowym.** W rozdziale zaprezentowano elementy składowe proponowanego rozwiązania układu trigeneracyjnego.
7. **Wymiary zewnętrzne.** W Rozdziale zaprezentowano układ przestrzenny agregatu wraz z informacjami dotyczącymi gabarytów urządzenia.
8. **Bilans energetyczny.** W Rozdziale tym Doktorant dokonał oceny efektywności energetycznej poszczególnych podukładów systemu trigeneracyjnego oraz całości układu na etapie projektowym.
9. **Wyniki badań eksperymentalnych.** W Rozdziale tym Doktorant zamieścił wyniki pomiarów wykonanych dla układu trigeneracyjnego dla różnych temperatur zewnętrznych.
10. **Pomiary hałasu.** W Rozdziale zamieszczono wyniki pomiarów ciśnienia akustycznego wytwarzanego przez pracujący agregat trigeneracyjny.
11. **Wnioski.** W Rozdziale tym Doktorant dokonał syntetycznego podsumowania uzyskanych wyników i wskazał rekomendacje w zakresie praktycznego ich wykorzystania.
12. **Zdjęcia.** W Rozdziale przedstawiono fotografie prezentujące zbudowany agregat trigeneracyjny.
 - **Bibliografia** zawierająca wykaz 62 pozycji literatury, obejmująca najnowsze publikacje z renomowanych czasopism międzynarodowych oraz publikacje książkowe z dziedziny wymiany ciepła oraz energetyki cieplnej. W spisie literatury znalazło się 31 artykułów naukowych z renomowanych czasopism specjalistycznych z listy JCR oraz międzynarodowych czasopism specjalistycznych, 31 pozycji książkowych i monograficznych.
 - **Załączniki:**
 - Załącznik 1 - Testy stanowiskowe dwóch silników do gazowego agregatu trigeneracyjnego (autorstwa Prof. Marka Brzeżańskiego);
 - Załącznik 2 - Prace optymalizacyjne silników do gazowego agregatu trigeneracyjnego (autorstwa Prof. Marka Brzeżańskiego);
 - Załącznik 3 – Schemat technologiczny zabudowy agregatu trigeneracyjnego w rzeczywistym obiekcie, opracowanie własne Doktoranta;
 - Załącznik 4 - Schemat instalacji zasilająco – sterującej, opracowanie własne Doktoranta;
 - Załącznik 5 - Sekwencje bloków sterujących, opracowanie własne Doktoranta.

II. Cel i zakres rozprawy

Doktorant sformułował cel oraz zasadniczy zakres rozprawy w Rozdziale 2 wskazując na potrzebę opracowania rozwiązania układu trigeneracyjnego z odzyskiem ciepła utajonego ze spalin. W zakresie przedmiotowej rozprawy wskazano na opracowanie koncepcji agregatu trigeneracyjnego, budowę prototypowego rozwiązania, wykonanie eksperymentalnych badań walidacyjnych jego pracy potwierdzających uzyskanie założonych poziomów efektywności energetycznej.

Doktorant sformułował tezę w postaci jawnej w Rozdziale 2 w następującej 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”. Tak postawiona teza nie dotyczy kwestii o dobrze ugruntowanym charakterze i jej udowodnienie stanowi rzeczywiste wyzwanie o charakterze poznawczym, metodycznym oraz technicznym. Szczególnie istotny jest także walor aplikacyjny tkwiący w tak postawionej tezie, co stanowi szczególnie cenną okoliczność w dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych.

Cel, zakres rzeczowy oraz teza rozprawy zostały sformułowane na podstawie analizy dotychczasowego stanu wiedzy przedstawionej w Rozdziale 3 rozprawy doktorskiej w zakresie zagadnień dotyczących układów trigeneracyjnych opartych na silniku spalinowym oraz pompie ciepła. Niewątpliwie sformułowany cel oraz wskazany szczegółowy zakres rozprawy ze sobą w pełni korespondują, program prac o charakterze analitycznym oraz projektowym zaproponowany przez Doktoranta ze sformulowanym celem oraz postawioną tezą w pełni korespondują. W układzie pracy, przy tak postawionym celu oraz zakresie - znajdują się wątki o charakterze prac w zakresie projektowania układów trigeneracyjnych, systemów sterowania pracą agregatu trigeneracyjnego oraz badań eksperymentalnych. Należy wziąć pod uwagę, że rozprawa podejmuje zagadnienia coraz intensywniej rozważane w literaturze naukowej i technicznej, wobec czego uzyskanie znaczących poznawczo oraz metodycznie rezultatów stanowi rzeczywiste wyzwanie. W tym kontekście wskazany cel oraz tezę postawioną w rozprawie uznaję za adekwatne.

Biorąc pod uwagę zawarte w rozprawie rezultaty badań eksperymentalnych proponowanych rozwiązań agregatu trigeneracyjnego, uzyskane wyniki modelowania analitycznego w zakresie efektywności energetycznej oraz zaproponowanego własnego systemu sterowania pracą takiego agregatu – stwierdzam, że odpowiadają one sformułowanemu celowi rozprawy. Zakres rzeczowy rozprawy oraz zaproponowany jej zakres korespondują ze sformulowaną tezą rozprawy i pozwalają na uzyskanie rezultatów pozwalających na jej udowodnienie.

III. Treść rozprawy

We Wprowadzeniu do rozprawy Doktorant zamieścił omówienie ogólnych aspektów związanych z budową układów poligeneracyjnych oraz ich miejscem w aktualnych uwarunkowaniach rozwoju układów energetyki rozproszonej, w tym uwzględniających efekty ochrony środowiska oraz racjonalnego wykorzystania zasobów dostępnej energii pierwotnej.

W Rozdziale 2 zamieszczono sformułowanie celu, zakresu oraz tezy rozprawy – do czego odniosłem się w punkcie II niniejszej recenzji.

W Rozdziale 3 Doktorant zamieścił przegląd literatury dotyczący aktualnie podejmowanych prac w zakresie spalinowych układów poligeneracyjnych o różnorodnej strukturze. W zaprezentowanym przeglądzie literatury podjęto zagadnienia oceny poziomu osiągalnej efektywności energetycznej w warunkach współpracy pompy ciepła z silnikiem gazowym z zastosowaniem odzysku ciepła, magazynowania energii oraz systemu sterowania pracą całości układu zapewniającego najbardziej racjonalne procesy konwersji energii dla generacji mocy elektrycznej, ciepła i chłodu. W konkluzji Doktorant stwierdził, że w analizowanych w literaturze rozwiązaniach układów trigeneracyjnych nie podejmowano rozwiązań zaproponowanych w ocenianej rozprawie doktorskiej, co stanowi przesłankę do realizacji własnych prac w zakresie konstrukcji, budowy oraz walidacji eksperymentalnej agregatu

trigeneracyjnego. W przeglądzie literatury podkreślono kluczową rolę systemu sterowania pracą agregatu, co warunkuje uzyskanie pożądanego poziomu efektywności energetycznej.

Konfiguracja układu trigeneracyjnego stanowiącego przedmiot ocenianej rozprawy doktorskiej została zaprezentowana w Rozdziale 4. Doktorant przedstawił zasadnicze założenia funkcjonalne oraz konstrukcyjne dla elementów składowych agregatu trigeneracyjnego. W następnym rozdziale została zaprezentowana budowa poszczególnych elementów składowych agregatu wyodrębnionych funkcjonalnie jako sekcje: jednostka napędowa (silnik gazowy); sprężarkowa pompa ciepła; układ chłodzenia silnika; układ transportu ciepła wraz z odzyskiem ciepła; instalacja elektryczna; system sterowania. W rozdziale tym zostały w sposób szczegółowy przedstawione rozwiązania odzysku ciepła z wydechu w warunkach odzysku ciepła utajonego ze spalin oraz odzysku ciepła z chłodzenia silnika i z chłodzenia komory wewnętrznej agregatu. Przedstawiono również w sposób szczegółowy rozwiązanie instalacji elektrycznej zasilająco-sterującej oraz systemu sterowania elementami składowymi agregatu (pompą ciepła; układem chłodzenia silnika, wentylatorami wymienników pompy ciepła; układem chłodzenia komory silnika; zaworem trójdrogowym oraz przepustnicą do przełączania trybu pracy agregatu) oraz całością agregatu wraz z komunikacją ze sterownikiem silnika gazowego. Przedstawiony został także interfejs użytkownika agregatu trigeneracyjnego. W Rozdziale 6 zamieszczony został szczegółowy opis urządzeń zastosowanych do budowy agregatu trigeneracyjnego: zmodyfikowanego gazowego silnika spalinowego; sprężarkowej pompy ciepła z zastosowanym czynnikiem roboczym R407C; generatora elektrycznego, wentylatora; lamelowanych oraz płytowych wymienników ciepła. Doktorant zamieścił opis zmodyfikowanej konstrukcji wymiennika lamelowanego poprzez zastosowanie dodatkowego kolektora z trzecim króćcem. Modyfikacja ta zrealizowana przez Doktoranta umożliwia efektywną pracę lamelowanego wymiennika ciepła w trybie pracy grzewczej (wymiennik ten pracuje w tych warunkach jako skraplacz). Dzięki zastosowaniu trzeciego kolektora omijany jest kolektor z wbudowanymi kapilarami rozdziału czynnika na poszczególne sekcje wymiennika. W Rozdziale 7 zamieszczone zostały rysunki przestrzennej konfiguracji wymiennika zapewniającej uzyskanie wysokiej zwartości konstrukcyjnej agregatu, przedstawione zostały gabaryty agregatu trigeneracyjnego.

W kolejnej części rozprawy Doktorant podjął zagadnienia oceny efektywności konwersji energii w przedmiotowym agregacie trigeneracyjnym. W Rozdziale 8 Doktorant przedstawił przyjętą metodykę bilansu energetycznego silnika spalinowego; sprężarkowej pompy ciepła; generatora elektrycznego; całego układu trigeneracyjnego. Zamieszczone zostały wykresy Sankeya dla nominalnych parametrów pracy. W Rozdziale 9 zamieszczone zostały wyniki własnych badań eksperymentalnych agregatu trigeneracyjnego dla różnych temperatur powietrza zewnętrznego, w tym: pozyskiwane moce cieplne; generowana oraz konsumowana moc elektryczna; efektywność energetyczna dla warunków grzania oraz chłodzenia; całkowita sprawność agregatu trigeneracyjnego. Wykazano, że w przedziale temperatur od $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ uzyskiwana jest sprawność całkowita agregatu w trybie kogeneracji wynoszącą $0.70 \div 0.71$, zaś w trybie chłodzenia COP od 1.32 do 1.64. W Rozdziale 10 zamieszczono wyniki pomiarów emitowanego ciśnienia akustycznego przez pracujący agregat (w odległości 5 m agregat emituje hałas nie przekraczający 68.5 dB(A)).

Uzyskane w rozprawie rezultaty zostały podsumowane w Rozdziale 11. Doktorant wskazał na uzyskane korzyści z tytułu odzysku ciepła z korpusu silnika, z odzysku ciepła utajonego ze spalin oraz z tytułu zastosowanego systemu sterowania pracą agregatu. Wskazał on na uzyskiwane poziomy efektywności energetycznej agregatu, które dowodzą postawionej w

rozprawie tezy. W szczególności Doktorant wskazał na zwiększenie całkowitej sprawności agregatu trigeneracyjnego o 9%, poprzez odzysk ciepła z korpusu silnika spalinowego i generatora elektrycznego; zwiększenie całkowitej sprawności agregatu trigeneracyjnego o 7% poprzez odzysk ciepła utajonego ze spalin; zwiększenie stopnia wykorzystania paliwa pierwotnego o około 16% w odniesieniu do warunków pracy bez takiego odzysku. Potwierdzono, że uzasadniona energetycznie jest praca agregatu trigeneracyjnego także w warunkach występowania oszronienia wymienników dolnego źródła. Opracowane rozwiązanie zostało zaimplementowane w obiekcie hotelowym, zamieszczone zostały w Rozdziale 12 zdjęcia tego agregatu trigeneracyjnego.

IV. Oryginalność i wartości poznawcze rozprawy

Recenzowana rozprawa dotyczy z jednej strony rozpoznania zasadniczych kwestii związanych z osiągalnym poziomem efektywności energetycznej układów poligeneracyjnych opartych na silnikach gazowych oraz sprężarkowych pompach ciepła, zaś z drugiej strony – podejmuje zagadnienia metodyczne stanowiące istotny postęp w zakresie rozwiązań technicznych tychże układów. Propozycja rozwiązań technicznych układów trigeneracyjnych stanowi znaczące oraz w pełni oryginalne osiągnięcie techniczne oraz metodyczne. W rozprawie podjęto w sposób oryginalny oraz innowacyjny zagadnienia budowy układów trigeneracyjnych opartych na odpowiednio zmodyfikowanym silniku gazowym oraz sprężarkowej pompie ciepła wraz z układem dostosowanych odpowiednio wymienników ciepła oraz systemowi i algorytmowi sterowania, stawiając jako wyzwanie – osiągnięcie adekwatnego poziomu efektywności energetycznej konwersji energii chemicznej paliwa na moc elektryczną, cieplną i wydajność chłodniczą. Powyższe sprawia, że recenzowana rozprawa wnosi wkład metodyczny w oparciu o rezultaty potwierdzone w trakcie własnych badań eksperymentalnych walidacyjnych. Niewątpliwie kwestie osiągania jak najwyższych efektywności energetycznych w układach trigeneracyjnych z zastosowaniem efektywnych ekonomicznie i racjonalnych technicznie rozwiązań - należy do ważnych i otwartych problemów naukowych oraz technicznych. Zostały one podjęte przez Doktoranta w sposób oryginalny, twórczy oraz z zastosowaniem właściwych narzędzi metodycznych.

W przedmiotowej rozprawie doktorskiej zasadniczą uwagę skupiono na zagadnieniach techniczno-konstrukcyjnych oraz uwarunkowaniach wdrożeniowych opracowanego rozwiązania technicznego, natomiast zagadnienia o charakterze analitycznym oraz zagadnienia metodyczne w zakresie badań eksperymentalnych zostały w niej ujęte w znacznie mniejszym stopniu, co nie umniejsza wartości naukowej ocenianej pracy. Zasadniczym osiągnięciem ocenianej pracy są bowiem innowacyjne rozwiązania techniczne układu poligeneracyjnego uzyskane w drodze budowy bardzo złożonego układu oraz jego badań walidacyjnych w warunkach operacyjnych, potwierdzających oczekiwane poziomy efektywności energetycznej. Jest to zatem w moim przekonaniu bardzo duże osiągnięcie techniczne oraz badawcze. W zakresie oceny przedmiotowej pracy doktorskiej należy także uwzględnić uwarunkowania wskazane w Art. 13 punkt 3 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789). W świetle tych wymagań, rozprawę doktorską może stanowić praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa, o ile stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne oraz wykazuje ona ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w danej dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Niewątpliwie warunki te oceniana rozprawa spełnia. Co więcej, Doktorant wskazał w przeglądzie literatury, że podejmowane w rozprawie

zagadnienie należy do aktualnych problemów badawczych podejmowanych w analogiczny metodycznie sposób w cytowanych w rozprawie pracach [1-28] opublikowanych w okresie kilku ostatnich lat w najbardziej prestiżowych czasopismach naukowych z dziedziny energetyki cieplnej. Wskazane zostały w sposób czytelny nowe aspekty świadczące o innowacyjności proponowanego rozwiązania w odniesieniu do rzetelnie przedstawionego w rozprawie aktualnego stanu wiedzy w zakresie układów trigeneracyjnych opartych na silnikach spalinowych oraz sprężarkowych pompach ciepła. Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że w recenzowanej rozprawie doktorskiej zaprezentowano dojrzały warsztat pracy badawczej w obszarze nauk technicznych, w tym zwłaszcza w obszarze energetyki cieplnej.

Za szczególne osiągnięcia Doktoranta uważam:

- opracowanie racjonalnego rozwiązania układu trigeneracyjnego z zastosowaniem rozbudowanego systemu odzysku ciepła oraz złożonego systemu sterowania umożliwiającego uzyskanie poprawy efektywności energetycznej konwersji energii chemicznej paliwa na moc elektryczną, ciepłą i wydajność chłodniczą;
- zbudowanie złożonego układu trigeneracyjnego oraz przeprowadzenie badań eksperymentalnych walidacyjnych, a także praktyczną aplikację opracowanego rozwiązania.

Prezentowane w rozprawie rezultaty prac mają niewątpliwie oryginalny charakter. Uzyskany materiał badawczy pozwala na stwierdzenie, że cel oraz zakres recenzowanej rozprawy zostały w całości zrealizowane.

Zaprezentowane w rozprawie rezultaty wnoszą wkład poznawczy w dziedzinie techniki cieplnej – zwłaszcza w zakresie zagadnień energetyki cieplnej – mieszczących się w obszarze dotyczącym dyscypliny: Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

V. Wartości użytkowe rozprawy

Recenzowana rozprawa ma niewątpliwie bardzo duży walor aplikacyjny, wynikający wprost z jej tematyki, charakteru oraz zakresu rzeczowego. W rozprawie doktorskiej podjęto zagadnienia konstrukcji układów trigeneracyjnych opartych na silnikach gazowych oraz sprężarkowych pompach ciepła z zastosowaniem złożonych algorytmów oraz układów sterowania. W rozprawie podjęto szereg zagadnień szczegółowych o wprost aplikacyjnym charakterze, w tym przykładowo dotyczących modyfikacji lamelowanych wymienników ciepła, struktury oraz algorytmów sterowania, konfiguracji układu poligeneracyjnego zawierającego złożony system odzysku ciepła współpracujący z dolnym i górnym źródłem pompy ciepła. W pracy sformułowano szereg wartościowych rekomendacji aplikacyjnych bazujących na przeprowadzonych pracach badawczych. Niewątpliwie przeprowadzone w ramach rozprawy doktorskiej prace badawcze otwierają nowe możliwości aplikacyjne w obszarze związanym z nowoczesną energetyką cieplną.

VI. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

VI.1. Uwagi o charakterze merytorycznym

W rozprawie zaprezentowano oryginalne ujęcie podejmowanego zagadnienia. Zaprezentowany w rozprawie materiał wymagał znacznego nakładu pracy oraz inwencji i

stanowi niewątpliwie oryginalne i twórcze osiągnięcia naukowe Doktoranta. Poniższe uwagi, mające w dużej mierze charakter komentarzy bądź sugestii - nie umniejszają mojej jednoznacznie pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej i w znacznej mierze mają raczej charakter porządkowy, formalny bądź dyskusyjny.

1. W pompie ciepła stanowiącej element opracowanego systemu trigeneracyjnego zastosowany został czynnik roboczy R407C. W rozprawie nie wskazano uzasadnienia dla doboru tego płynu roboczego, zwłaszcza, że w aktualnych regulacjach prawnych jest on traktowany jako substancja o wysokim potencjale tworzenia efektu cieplarnianego (GWP).
2. W pompie ciepła stanowiącej element opracowanego systemu trigeneracyjnego zastosowana została sprężarka dławnicowa, co potencjalnie może rodzić problemy eksploatacyjne związane z wyciekami czynnika. W rozprawie nie wskazano uzasadnienia doboru tego typu sprężarki.
3. W rozprawie na str. 91 w opisie sterowania zaworem umożliwiającym zrzucenie ciepła odpadowego silnika wskazano warunek „wystąpienie zapotrzebowania na ciepło po stronie niskiego parametru”. Należałoby w tym miejscu oczekiwać wskazania parametru technicznego warunkującego wystąpienie zapotrzebowania na ciepło.
4. W rozprawie na str. 135 wskazano na zaproponowane własne rozwiązanie dodatkowego kolektora i króćca umożliwiającego efektywną pracę wymiennika lamelowanego w trybie skraplacza. W rozprawie nie zamieszczono jednakże informacji dotyczącej przyjętych kryteriów do opracowania geometrii i wymiarów dodatkowego kolektora.
5. Przy omówieniu procedury doboru wymiennika „mokrego” (Rozdział 6.6.4) należałoby wskazać oprócz zamieszczonych kryteriów doboru cieplnego – także kryteria materiałowe bądź konstrukcyjne umożliwiające jego pracę w warunkach wykraplania pary wodnej ze spalin.
6. W analizie bilansu energetycznego sprężarkowej pompy ciepła nie w Rozdziale 8.2 należałoby także uwzględnić straty mechaniczne i cieplne zachodzące w sprężarce.
7. W Rozdziale 9 należałoby wskazać sposób pomiaru wydajności chłodniczej, wydajności grzewczej oraz zużywaną przez sprężarkę moc napędową wraz z szacunkową oceną błędów pomiarowych dla tych wielkości.

VI. 2. Uwagi porządkowe

Należy podkreślić staranne przygotowanie rozprawy doktorskiej pod względem edytorskim. Zwraca uwagę przejrzystość tekstu, a także wysoka jakość rysunków. Poniżej zawarte uwagi nie wpływają na moją jednoznacznie bardzo wysoką ocenę rozprawy i mają w dużej mierze charakter sugestii, które pozwalam sobie wypunktować mając na uwadze potencjalne wykorzystanie materiału zawartego w rozprawie w dalszych publikacjach Doktoranta.

- W rozprawie operuje się symbolami trybu pracy agregatu trigeneracyjnego (np. L, P, F, O), dla celów porządkowych należałoby zamieścić ich objaśnienia. Należałoby także w spisie oznaczeń zamieścić definicje wszystkich stosowanych w pracy akronimów ułatwiając lekturę pracy osobom nie będącym specjalistami w przedmiotowym zakresie.
- Należałoby unikać w rozprawie stosowania pojęcia „freonowy”, które może błędnie sugerować zastosowanie starego typu czynników roboczych klasyfikowanych jako czynniki z grupy CFC bądź HCFC (określanych potocznie jako „freony”).
- Przy ocenie pracy układu poligeneracyjnego opartego na zastosowaniu sprężarkowej pompy ciepła - należałoby unikać stosowania pojęcia „sprawność” (zwłaszcza w

odniesieniu do warunków uzyskiwania wartości przekraczających 100%) na rzecz „efektywność energetyczna” bądź często stosowanego akronimu „COP” (Coefficient Of Performance).

- Należałoby uzupełnić szczegółowe dane bibliograficzne dla pozycji 1, 12 oraz 22.

VII. Uwagi końcowe

Praca jest starannie zredagowana, stosowana jest poprawna nomenklatura naukowa oraz techniczna. W pracy zamieszczono w niej wiele informacji pozwalających na szczegółowe przeanalizowanie materiału badawczego. Podane uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny bądź porządkowy i powinny być traktowane raczej jako pomoc w zakresie wykorzystania uzyskanego materiału w dalszej pracy nad bardzo złożonymi zagadnieniami ciepłno-przepływowymi zachodzącymi w układzie poligeneracyjnym. Uwagi te nie pomniejszają wartości merytorycznej opiniowanej rozprawy.

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

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest poważną, wnoszącą wkład poznawczy oraz metodyczny pracą naukową. Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemów badawczych i rozwiązywania ich przy użyciu metod właściwych dla energetyki cieplnej. W moim przekonaniu przedstawiona do recenzji rozprawa jednoznacznie spełnia zwyczajowe ramy stawiane pracom doktorskim, zarówno pod względem zakresu rzeczowego, jak poziomowi oryginalności osiągnięć technicznych, konstrukcyjnych oraz metodycznych. Co więcej – istotnym walorem pracy są aspekty aplikacyjne, gdyż opracowane rozwiązanie zostało praktycznie wdrożone i jest aktualnie komercyjnie oferowane przez krajową renomowaną firmę działającą w branży poligeneracji. Takie osiągnięcie jest nadzwyczaj rzadko spotykaną okolicznością w krajowych ośrodkach naukowych. W moim przekonaniu Doktorant opanował warsztat pracy badawczej w dziedzinie nauk technicznych. Zaprezentowana w rozprawie analiza stanowi rozwiązanie zadania naukowego i spełnia w moim przekonaniu wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Biorąc powyższe pod uwagę, stwierdzam, że:

1. Rozprawa doktorska mgr inż. Grzegorza Waryana spełnia wymagania Art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.
2. Zakres rozważań rozprawy kwalifikuje ją do dyscypliny naukowej: Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Dariusz Batoryński