

Gliwice, 27.09.2024 r.

Dr hab. inż. Jacek Kalina, Prof. Pol. Śl.  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Katedra Techniki Ciepłej  
ul. Konarskiego 22, pok. 213, 44-100 Gliwice  
tel. +48 32 237 24 27  
e-mail: jacek.kalina@polsl.pl  
identyfikator ORCID: 0000-0001-5153-0974

**Recenzja rozprawy doktorskiej autorstwa mgr. inż. Sindu Daniarta zatytułowanej:**

***„Analysis of the low-boiling working fluid expansion processes in the volumetric expander operating in the ORC system”***

### **1. Podstawa wykonania recenzji**

Niniejsza recenzja została wykonana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej nr 1/023/44/RDND08/2021-2024 z dnia 10.07.2024 r. oraz zawiadomienia nr 27/06/D08/2024 z dnia 22.07.2024 r.

### **2. Zawartość pracy**

Do recenzji przedstawiono rozprawę doktorską w formie publikacji zwartej o objętości tekstu wynoszącej 119 stron i załączników wynoszącej 23 strony. Treść pracy podzielono na 6 ponumerowanych rozdziałów, załącznik A oraz wykazy literatury. Praca została napisana w języku angielskim opatrzona streszczeniami w językach angielskim, polskim i węgierskim. Na wykaz literatury składają się 143 pozycje autorów krajowych i zagranicznych, w tym publikacji własnych doktoranta. Publikacje, których doktorant jest współautorem przedstawiono także w odrębnym wykazie. Obejmuje on 11 publikacji w czasopiśmie naukowych i 8 w materiałach konferencyjnych.

### **3. Przedmiot rozprawy**

W pracy przeprowadzono analizę przemiany rozprężania organicznego czynnika roboczego dwufazowego o niskiej temperaturze wrzenia. Przeprowadzono również ocenę wpływu tej przemiany na sprawność wybranych typów organicznego obiegu Rankine’a (ORC). W zakresie rozważań znalazły się wybrane obiegi termodynamiczne z rozprężaniem czynnika dwufazowego oraz różne czynniki robocze. Analizy przeprowadzono dla klasycznego obiegu ORC (nazywanego w pracy podstawowym), obiegu z częściowym odparowaniem czynnika oraz obiegu z przegrzaniem czynnika. Przeprowadzono również ocenę efektywności wykorzystania analizowanych obiegów oraz ekspanderów objętościowych w różnych zastosowaniach praktycznych.

Wydział Mechaniczno-Energetyczny

Wpłynęło dnia 18.10.2024.....



#### 4. Zasadność podjęcia tematu

Podjęcie tematu pracy uważam za w pełni zasadne w świetle obecnych dążeń do poprawy efektywności energetycznej procesów przemysłowych, wykorzystania dostępnych zasobów energii odnawialnej i zmniejszenia działalności człowieka na klimat. Zagadnieniem przewodnim w pracy jest rozprężanie organicznych czynników roboczych dwufazowych w obiegach termodynamicznych. Jest to tematyka aktualna zarówno pod względem naukowo-badawczym jak i praktycznym. Obiegi z rozprężaniem czynnika dwufazowego teoretycznie prowadzą do poprawy sprawności w przypadku wykorzystania ciepła napędowego ze źródeł niskotemperaturowych, takich jak np. źródła przemysłowej energii odpadowej. Rozprężanie czynnika dwufazowego pozwala zmniejszyć straty energii przy doprowadzeniu ciepła do obiegu, a także teoretycznie może umożliwić karnotyzację obiegu poprzez realizację w nim przemian izotermicznego doprowadzenia i wyprowadzenia ciepła. W licznych ośrodkach badawczych prowadzone są prace, których celem jest praktyczna realizacja tego typu obiegów przez zastosowanie różnego typu maszyn roboczych. Praca doktoranta wpisuje się w ten nurt. Przegląd literatury, chociaż pobieżny, wskazuje na istotny brak w literaturze prac poświęconych rozprężaniu czynników dwufazowych w łopatkowych ekspanderach objętościowych. Praca jest pewnym stopniu uzupełnieniem w tym zakresie.

#### 5. Teza i zakres rozprawy

Praca ma charakter analizy teoretycznej z częścią eksperymentalną. W części eksperymentalnej pracy prowadzono rozprężanie czynnika roboczego w wielołopatkowym ekspanderze objętościowym. W pracy zaproponowano również metodę określania sprawności izentropowej przemiany rozprężania czynnika dwufazowego w oparciu o dane eksperymentalne i metody sztucznej inteligencji. Omówiono również możliwości praktycznych zastosowań ekspanderów objętościowych i rozprężania czynnika dwufazowego w systemach ORC. W szczególności skupiono się na wykorzystaniu niskotemperaturowych źródeł ciepła o nieustalonych parametrach pracy.

Rozdział 1 zawiera wprowadzenie i przegląd literatury. Rozdział 2 zawiera analizę teoretyczną procesu rozprężania w wybranych podkrytycznych obiegach ORC. Rozdział 3 zawiera analizę procesu rozprężania w obiegu ORC z przegrzewaczem i w obiegu transkrytycznym. W rozdziale 4 przedstawiono wyniki badań w eksperymentalnym obiegu z rozprężaniem czynnika roboczego dwufazowego. Rozdział 5 zawiera analizy teoretyczne praktycznych zastosowań wybranych obiegów ORC, w których zastosowano ekspandery objętościowe i rozprężanie czynnika dwufazowego. Rozdział 6 zawiera podsumowanie.

W pracy brak jest jawnie sformułowanej tezy, która stanowiłaby przedmiot obrony oraz definiowała spójne ramy pracy i prowadzonego dowodu. W trakcie czytania można odnieść wrażenie, że poszczególne rozdziały stanowią oddzielne zagadnienia. Możliwą tezę pracy jest zdanie na stronie 12 „Given the suitability of volumetric expanders for ORC systems

operating at low to medium temperatures and pressures, this could revolutionize the design of the ORC system for intermittent and fluctuating heat sources”. Jako tezę do udowodnienia można też było przedstawić Tezę 5 zamieszczoną na stronie 69.

Tekst na końcu każdego rozdziału, oznaczony przez autora jako Thesis 1, Thesis 2, itd. nie stanowi też w sensie formalnym jedynie przedstawia wnioski z przeprowadzonych analiz.

W pracy brakuje również wyraźnie określonej motywacji. Rozdział 1, pomimo że jego tytuł wskazuje na jej określenie, takowej nie pokazuje. Doktorant nie pisze, czy przeprowadzone przez niego badania są motywowane czystą ciekawością naukową, czy też może stanowią element prac badawczo-rozwojowych ukierunkowanych na budowę urządzenia, które mogłoby w sposób istotny wpłynąć na poszerzenie rynkowej oferty technologii energetycznych.

## **6. Ocena oryginalności pracy**

Opiniowana rozprawa doktorska mgr. inż. Sindu Daniarta stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego z zakresu obiegów termodynamicznych.

Za oryginalne osiągnięcia naukowe można uznać:

- Usystematyzowanie i przeprowadzenie symulacji sprawności obiegów z rozprężaniem dwufazowego czynnika roboczego. Chociaż bardzo teoretyczne, wskazuje na istotne cechy poszczególnych obiegów termodynamicznych i trendy sprawności.
- Wykazanie, że w ekspanderze objętościowym wielołopatkowym możliwe jest rozprężanie czynnika dwufazowego. Chociaż potwierdzenie możliwości wykorzystania tego typu rozwiązania ma w pracy raczej charakter jakościowy, uzyskane wyniki są obiecujące i uzasadniają konieczność dalszych badań.
- Wykazanie istnienia korelacji pomiędzy stosunkiem ciśnień, stopniem suchości na wlocie do ekspandera a sprawnością izentropową. Przy pomocy sieci neuronowej w pewnym zakresie parametrów uchwycono także zależność ilościową tej korelacji.
- Określenie na podstawie analiz teoretycznych możliwości i efektywności praktycznego wykorzystania obiegów termodynamicznych z rozprężaniem czynnika dwufazowego w różnych układach funkcjonalnych.

Doktorant uzyskał wyniki w znacznej mierze na drodze rozważań i prac własnych oraz obecnie dostępnej wiedzy literaturowej. Większość osiągnięć wykazanych przez doktoranta to osiągnięcia oryginalne, niepublikowane wcześniej w literaturze przedmiotu.

Opracowany w ramach realizacji pracy materiał pozwolił doktorantowi na opublikowanie wraz z innymi autorami 11 artykułów naukowych w uznanych czasopismach naukowych dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, w tym należących do grupy Top10 czasopism naukowych. Prace te są cytowane, powodując wzrost parametrów bibliograficznych autora. Obecna liczba cytowań prac doktoranta w bazie SCOPUS wynosi 124 a wartość indeksu Hirscha wynosi 6.

## **7. Wartości użytkowe pracy**

Praca ma charakter użyteczny. Niesie ona pewien wkład w rozwój technologii energetycznych, a w szczególności silników cieplnych napędzanych ciepłem na niskim poziomie temperatury, w tym odpadowym. Przede wszystkim wykazano w niej możliwość zastosowania wieloetapowego ekspandera objętościowego do rozprężania organicznego czynnika roboczego dwufazowego, co otwiera drogę do dalszych badań nad rozwojem tej technologii. Po wtóre, praca stanowi istotny wkład w bazę wiedzy w zakresie warunków stosowalności systemów ORC z rozprężaniem czynnika dwufazowego w ekspanderach objętościowych.

## 8. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Pomimo ogólnego pozytywnego odbioru pracy, znajdują się w niej elementy, które w mojej ocenie, ogólnie mówiąc nie są idealne oraz takie, które wymagają dyskusji i dalszych wyjaśnień. Poniżej przedstawiam moje szczegółowe uwagi krytyczne i dyskusyjne do treści rozprawy.

- 1) Według autora praca skupia się na analizie przemiany rozprężania organicznych czynników roboczych i wpływu tej przemiany na sprawność różnych typów obiegów ORC. W odczuciu recenzenta praca ma bardziej charakter analizy systemowej i jedynie w nieznacznym zakresie przedstawia analizę termodynamiczną przemiany rozprężania wskazywaną w tytule pracy. Przykładowo, rozdział 2 przedstawia modelowanie teoretyczne obiegów termodynamicznych, a nie jak sugeruje tytuł pracy, analizę procesu rozprężania. To samo dotyczy rozdziału 3. Faktyczna analiza przemiany rozprężania została przedstawiona jedynie w rozdziale 4.
- 2) Rozdział 2 zawiera analizę teoretyczną obiegów konwencjonalnego ORC; TPC, oraz PE-ORC dla różnych czynników roboczych i różnej różnicy ciśnienia pomiędzy parownikiem i ekspanderem. Modelowanie jest oparte o prosty model termodynamiczny obiegu w stanie ustalonym. W modelu wykorzystano założone wartości sprawności izentropowej ekspandera i pompy. Sprawności wewnętrzne maszyn założone jako  $\eta_{iT} = 0,8$  oraz  $\eta_{iP} = 1$ . Czemu akurat takie? Wyboru nie uzasadniono w treści pracy. Ponadto wartość  $\eta_{iT}$  powinna być zbliżona do osiągniętych w ekspanderach objętościowych. Wartość 0,8 jest raczej odpowiednia dla ekspanderów turbinowych. Wobec braku odpowiednich danych eksperymentalnych własnych, przyjęta wartość powinna być również uzasadniona wartościami literaturowymi i cytowaniami. W części pracy opisującej badania eksperymentalne przedstawiono uzyskane wartości sprawności  $\eta_{iT}$  na poziomie 0,5. Podobne wartości przedstawiane są w literaturze przedmiotu. Co ciekawe, wartość  $\eta_{iT} = 0,8$  przyjęto także w rozdziale 5, w analizach związanych z praktycznym zastosowaniem analizowanych obiegów, między innymi w układach akumulacji energii. Zastosowanie rzeczywiście osiągalnych wartości sprawności wpłynęłoby na zmianę wniosków w zakresie efektywności proponowanych rozwiązań.
- 3) Podstawowym pytaniem do rozdziałów 2 i 3 jest to czy przeanalizowane obiegi mogą zostać w ogóle zrealizowane w dostępnych i możliwych do zbudowania ekspanderach. Na stanowisku badawczym prowadzono eksperymenty z zastosowaniem wyłącznie jednego czynnika roboczego, podczas gdy w pracy wiele uwagi poświęca się klasyfikacji czynników roboczych i ich doborze do obiegów ORC. Ponadto stopień suchości pary czynnika roboczego w eksperymencie był stosunkowo wysoki (powyżej 0,9). Czy istnieją jakieś przesłanki do tego by na podstawie uzyskanych wyników stwierdzić możliwość zastosowania objętościowego ekspandera wieloetapowego do rozprężania czynnika

- dwufazowego również w przypadku innych czynników? Czy istnieją przesłanki, do tego by stwierdzić czy badany ekspander może znaleźć zastosowanie do realizacji analizowanych w pracy obiegów termodynamicznych? Na przykład obiegu TFC lub obiegu PE-ORC o stopniu suchości pary na wlocie do ekspandera  $x = 0,5$ .
- 4) Na jakiej podstawie w rozdziale 2 ograniczono się jedynie do czynników propan, butan, izopentan oraz Novec 649, a w rozdziale 3 brano pod uwagę tylko propan i dwutlenek węgla? W pracy znaczną uwagę poświęcono klasyfikacji czynników roboczych a w załączniku A przedstawiono długą ich listę. Czy zatem nie byłoby zasadne przeprowadzenie optymalizacji doboru czynnika roboczego do danego obiegu?
  - 5) Dlaczego nie brano pod uwagę obiegu z wymiennikiem regeneracyjnym, który może być zastosowany przypadku obiegu z klasycznego i obiegu z przegrzaniem czynnika i niektórych z analizowanych czynników roboczych?
  - 6) Str. 8 Jaki jest prawdziwy powód potencjalnego spadku sprawności w obiegu ORC z przegrzewem czynnika roboczego? Zastosowany ekspander nie wyjaśnia wystarczająco tego zjawiska.
  - 7) Dlaczego rysunki 1.3 i 1.4 są przedstawione wyłącznie dla mokrego czynnika roboczego?
  - 8) Obieg nazwany „basic ORC” w praktycznie nie istnieje. Stanowi on przedmiot badań w zakresie rozprężania czynnika dwufazowego. Stąd budzi wątpliwości nazwanie go podstawowym. Raczej należałoby użyć określenia Base case lub reference case.
  - 9) Eżektor przedstawiony na rys. 1.5 nie jest maszyną roboczą. Nie wytwarza on pracy mechanicznej. Należałoby wobec niego stosować określenia „device” (urządzenie).
  - 10) W badaniach eksperymentalnych wykorzystano maszynę (air motor), która była zaprojektowana dla innego czynnika roboczego i innych parametrów termodynamicznych zarówno na wejściu jak i na wyjściu. W pracy nie podjęto próby oceny wpływu takiego podejścia na uzyskane wyniki.
  - 11) Nie określono wkładu autora w budowę stanowiska pomiarowego i realizację pomiarów.
  - 12) Nie zostało w pełni wyjaśnione jak wygląda doprowadzenie czynnika do ekspandera. Czy całość czynnika z parownika płynie przez wymiennik ciepła i pomiar stopnia suchości czy też tylko część i czynnik jest mieszany ze strumieniem o parametrach nasycenia przed ekspanderem. Przepływ czynnika w czasie pomiaru nie jest czytelnie przedstawiony na rys. 4.1.
  - 13) Według autora, celem badań eksperymentalnych była analiza pracy (examination) ekspandera objętościowego wielołopatkowego. Czy były dokonywane pomiary drgań? W tekście pracy zagadnienie drgań nie zostało przedstawione.
  - 14) Czemu w pracy nie wyznaczano mocy ekspandera skoro był mierzony moment obrotowy i prędkość obrotowa?
  - 15) Autor podaje, że stopień suchości na wlocie ekspandera był utrzymywany w przedziale 0,93 do 0,98. Czy ten stopień suchości również podlegał fluktuacjom? Co stało na przeszkodzie przeprowadzenia badań dla mniejszego stopnia suchości na wlocie do ekspandera? Takiego, który bardziej odpowiadałby analizowanym w pracy obiegom termodynamicznym.
  - 16) Istotnym zjawiskiem w czasie rozprężania czynnika dwufazowego jest odparowanie (flashing) na skutek spadku ciśnienia. W pracy doktorant nie bierze tego zjawiska pod uwagę. Podkreślić należy również, że w czasie pomiarów nie był mierzony przepływ czynnika, co znacznie ogranicza możliwość analizy procesu rozprężania. Przykładowo, autor nie poruszył w pracy zagadnień takich jak stopień napełnienia (filling factor), sprawność objętościowa napełniania, strata wylotowa czy, ekspansja wtórna.
  - 17) Strona 61. Pokazano, że w czasie realizowanych pomiarów występowały okresowe fluktuacje temperatury w zakresie około 11K w stosunkowo krótkim przedziale czasu.

Wskazuje to, że w rzeczywistości badany system był prowadzony w stanie nieustalonym. Co było przyczyną tych fluktuacji? Czy w ocenie autora fluktuacje miały istotnych wpływ na uzyskane wyniki?

- 18) Według autora zastosowanie metod sztucznej inteligencji do przewidywania sprawności izentropowej ekspanderów ma na celu przededefiniowanie wartości benchmarkowych sprawności obiegów ORC. Co doktorant rozumie pod pojęciem wartości benchmarkowych i jak zastosowanie metod sztucznej inteligencji miałyby pomóc w ich przedefiniowaniu?
- 19) Autor utrzymuje, że zastosowanie sieci neuronowych typu DNN może pomóc wykrywać potencjalne problemy i ograniczenia w badanym systemie, w tym przypadku stanowisku laboratoryjnym. Jakże konkretnie problemy i ograniczenia może pomóc wykryć proponowana przez autora metoda?
- 20) Dane wykorzystane do implementacji sieci neuronowej nie są wystarczająco wyjaśnione. Na przykład nie podano, w jaki sposób wybrano punkty danych, w jaki sposób zidentyfikowano i odfiltrowano dane błędne, itp. Ponadto użyto standardowego wbudowanego narzędzia Matlab do tworzenia sieci neuronowych. Wkład autora w rozwój jakiegokolwiek konkretnej metodologii nie jest wystarczająco określony.
- 21) Na stronie 62 autor pisze: „The results illustrated in Fig. 4.4 indicate that analyzing the density ratio provides a clearer understanding of the variations in wet isentropic efficiency (along with the vapor quality) compared to using the pressure ratio.” Sformułowanie to nie jest przez autora odpowiednio uzasadnione. Po pierwsze nie podano w jakim zakresie taka wizualizacja wyników ułatwia zrozumienie procesu. Po wtóre, gęstość wylotowa jest parametrem zależnym (wynikowym), jako że nie stanowi ona nastawy w eksperymencie nie może być przedstawiana jako parametr mający wpływ na sprawność. Inaczej mówiąc, regulowane ciśnienie wlotowe i wylotowe (regulowane układem chłodzenia) mają wpływ zarówno na sprawność jak i na gęstość wylotową.
- 22) W modelu typu czarna skrzynka pod uwagę wzięto następujące zmienne niezależne (determinanty) sprawności izentropowej: stosunek ciśnień, stosunek gęstości, stopień suchości i temperatura na wlocie do ekspandera oraz prędkość obrotowa. Jako, że w eksperymencie rozprężaniu podlegała para mokra czynnika roboczego, przyjęcie temperatury jako zmiennej niezależnej jest w ocenie recenzenta zbyt techniczne. W pracy nie przedstawiono jak regulowana była prędkość obrotowa rozprężarki.
- 23) W pracy odczuwalny jest wyraźny brak interpretacji fizycznej zjawisk zachodzących w procesie rozprężania czynnika dwuazowego w badanym typie ekspandera. Opracowanie korelacji pomiędzy parametrami przemiany rozprężania miałyby bardziej poznawczy charakter.
- 24) W rozdziale 5 nie przedstawiono, które z proponowanych systemów stanowią oryginalne propozycje autora, a które są rozwiązaniami wcześniej proponowanymi w literaturze.

## 9. Uwagi redakcyjne

Przedstawiona do oceny praca została napisana w języku angielskim. Ogólnie język i układ pracy są poprawne a treść zrozumiała. Niemniej w treści występują zauważalne potknięcia i niedociągnięcia w zakresie redakcji tekstu. Przedstawiają się one następująco:

- Tłumaczenie streszczenia na język polski nie odpowiada w pełni treści angielskiej. Przykładowo, w wersji angielskiej autor pisze o badaniu wpływu procesu rozprężania na sprawność obiegu ORC, a w wersji polskiej o wpływie na wydajność obiegu.

- Podpisy pod rysunkami są nietypowe i nadmiernie rozbudowane. W niektórych przypadkach zawierają kilka zdań.
- Tytuły rozdziałów są nadmiernie rozbudowane.
- Praca zawiera drobne potknięcia językowe, głównie polegające na usterkach gramatycznych i dziwnych sformułowaniach jak np. „artificial intelligent-based analysis”.
- Na stronie drugiej wprowadzono w tekście błędny wzór. Podstawiony do równania 1.1 nie prowadzi do uzyskania równania 1.2. Podobnie błędny jest wzór na pracę techniczną w tekście na stronie 10. Jako że wzory te są wprowadzone w tekście głównie w celu ilustracji zagadnienia, nie ma to wpływu na wyniki modelowania. Jednakże, dla poprawności wywodu, usterek tego typu należy unikać.
- Na rysunku 1.1 i innych brak osi współrzędnych.
- Wiele równań jest wplecionych w tekst bez odpowiedniej numeracji.
- Organizacja tekstu jest nietypowa dla rozpraw doktorskich i utrudnia jego odbiór i zrozumienie wkładu doktoranta. Przykładowo, przegląd literatury jest prowadzony w kilku miejscach pracy. Punkty 2.1 oraz 2.2 powinny zostać przedstawione w przeglądzie literatury, gdyż nie stanowią wyników prac doktoranta. Rozdział 5 ponownie zawiera w znacznej części przegląd literatury. Podobnie od studiów literaturowych zaczyna się rozdział 4. W każdym zamkniętym rozdziale przedstawiono oddzielne wnioski i podsumowanie. Podsumowując, układ pracy jest bardziej typowy dla przewodnika po publikacjach niż dla zwartej rozprawy doktorskiej.
- Rozdział 5 pracy został napisany w sposób utrudniający jego pełne zrozumienie. Między innymi wykazano w nim sprawność magazynowania energii w cyklu power-to-power (P2P) osiągającą wartości większe od 1. Nie przedstawiono przy tym w sposób systematyczny i zrozumiały założeń przeprowadzonych analiz. Pewne informacje są rozrzucone i ukryte w tekście pracy. Po inne informacje należy jednak sięgnąć do publikacji doktoranta, które nie stanowią przedmiotu recenzji.

## 10. Ostateczna ocena pracy

Ostatecznie rozprawę doktorską mgr inż. Sindu Daniarta oceniam pozytywnie. Doktorant postawił sobie bardzo ambitny cel jakim są badania rozprężania czynnika dwufazowego. Rozwiązanie postawionego zadania wymagało ogromnego nakładu pracy i znacznej wiedzy zarówno teoretycznej jak inżynierskiej. Z treści pracy można wywnioskować, że zadanie nieco przerosło możliwości doktoranta, jednak osiągnięcia i uzyskane wyniki można uznać za wystarczające. Uważam, że cel pracy został osiągnięty w stopniu wystarczającym, pozostawiając jednak znaczne pole do rozszerzenia zakresu dalszych badań teoretycznych, i eksperymentalnych. Niemniej uważam, że przeprowadzone przez doktoranta analizy i prace są interesujące oraz ważne z punktu widzenia poznawczego, oraz stanowią ważny punkt wyjścia do dalszych prac badawczo-rozwojowych.

Po uwzględnieniu wkładu pracy doktoranta, oryginalności założeń oraz sposobu rozwiązania postawionego problemu a także silnych i słabych stron przedstawionego opracowania oceniam pracę pozytywnie. W moim przekonaniu praca może zostać przyjęta jako ukończona rozprawa doktorska. Przedstawione uwagi krytyczne nie podważają ogólnej wartości rozprawy, a ich celem jest przeprowadzenie dyskusji z Autorem. Umiejętność prowadzenia

dyskusji naukowej oraz zajmowania stanowiska wobec uwag krytycznych jest ważna w kontekście prowadzenia samodzielnej pracy naukowej. Wyrażam nadzieję, że mgr inż. Sindu Daniarta wykaże takową umiejętność i pomyślnie przejdzie publiczną obronę rozprawy.

### **11. Wniosek końcowy**

W mojej ocenie rozprawa doktorska mgr inż. Sindu Daniarta spełnia wymagania określone w Art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, z późniejszymi zmianami. W szczególności rozprawa doktorska:

- w stopniu wystarczającym prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej,
- w stopniu wystarczającym stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego,

Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

Dr hab. inż. Jacek Kalina, Prof. Pol. Śl.





Gliwice, 27.09.2024 r.

Dr hab. inż. Jacek Kalina, Prof. Pol. Śl.  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Katedra Techniki Ciepłej  
ul. Konarskiego 22, pok. 213, 44-100 Gliwice  
tel. +48 32 237 24 27  
e-mail: jacek.kalina@polsl.pl  
identyfikator ORCID: 0000-0001-5153-0974

**Appendix to the review of the doctoral dissertation by Sindu Daniart, M.Sc. entitled:**

*„Analysis of the low-boiling working fluid expansion processes in the volumetric expander operating in the ORC system”*

I accept Thesis 1 formulated in the dissertation as a novel scientific result.

I accept Thesis 2 formulated in the dissertation as a novel scientific result.

I accept Thesis 3 formulated in the dissertation as a novel scientific result.

I accept Thesis 4 formulated in the dissertation as a novel scientific result.

I accept Thesis 5 formulated in the dissertation as a novel scientific result.

I do not accept Thesis 6 formulated in the dissertation as a novel scientific result. This is because the thesis is generic and not always true. Since DNN models require measurement data, they can only provide values for the systems they have been calibrated to. For example, it is impossible to predict efficiency after a change of expander or working fluid type.

I accept Thesis 7 formulated in the dissertation as a novel scientific result.

  
signature