

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jakuba Kielara

pt. „Wpływ procesu wrzenia cieczy kriogenicznych na proces ich regazyfikacji”

1. Podstawa opracowania

Recenzję opracowano w oparciu o uchwałę Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej z dnia 13 grudnia 2023 roku.

2. Informacje ogólne

Oceniana rozprawa doktorska wykonana została na Politechnice Wrocławskiej w Dyscyplinie Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Ziemowita Malechy, prof. uczelni, pełniącego w przewodzie doktorskim obowiązki promotora.

Praca doktorska liczy łącznie 136 stron tekstu zasadniczego i zawiera 4 rozdziały (str. 6-124), które poprzedza streszczenie w języku polskim, streszczenie w języku angielskim, spis treści oraz wykaz symboli, kończy natomiast: spis rysunków (str. 119-124), spis tabel (str. 125), bibliografia zawierająca 80 pozycji reprezentatywnych dla tematu dysertacji (str. 126-132) oraz Dodatek A: Dodatkowe wyniki modelowania dla regazyfikatora wężownicowego (str. 133-136).

3. Ocena tematyki pracy

Rozprawa doktorska dotyczy teoretycznej i eksperymentalnej analizy procesu regazyfikacji cieczy kriogenicznej wraz z minimalizacją ryzyka zamrażania czynnika grzewczego oraz określenia wpływu procesu wrzenia błonowego na proces regazyfikacji. Podjęta tematyka ma istotne znaczenie z uwagi na

duży udział gazu ziemnego (LNG) w energetyce i transporcie. Przed wykorzystaniem LNG jako źródła energii konieczna jest bowiem jego regazyfikacja. Optymalizacja konstrukcji regazyfikatorów jest kluczowa dla efektywnego wykorzystania gazu ziemnego.

W rozprawie Autor podjął próbę opracowania modelu matematycznego wymiennika węzłowniczego wykorzystywanego w regazyfikatorach mobilnych, stosowanych w układach napędowych. Opracowany model uwzględnia wpływ zjawiska wrzenia błonowego i warstwy lodu na pracę wymiennika. Bardzo ważnym aspektem jest przeprowadzona walidacja opracowanego modelu matematycznego, która potwierdziła poprawność przyjętych założeń i przygotowanych algorytmów. Opracowany model wymiennika stanowi narzędzie, które może służyć symulacji pracy regazyfikatorów i być wykorzystane w procesie ich optymalizacji.

Z uwagi na złożoność zagadnienia, wynikającą z konieczności uwzględnienia w opisie matematycznym wpływu skomplikowanych zjawisk wrzenia błonowego po stronie cieczy kriogenicznej i tworzenia się warstwy lodu po stronie wodnej, tematyka jest trudna i wymagająca przemyślanych badań. Biorąc pod uwagę fakt, że dotychczasowe badania związane z modelowaniem pracy regazyfikatorów skupiają się głównie na prostych modelach jednowymiarowych, które nie zostały poddane walidacji, należy stwierdzić, że **tematyka pracy doktorskiej mgr inż. Jakuba Kielara jest ważna i aktualna**. Aktualność podjętej tematyki potwierdza również duża ilość publikacji naukowych z ostatnich lat cytowanych w pracy. Należy zaznaczyć, że praca doktorska powstała w ramach realizacji projektu badawczo-rozwojowego wykonanego na zlecenie Remontowa LNG i współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

4. Cel i zakres pracy

Celem pracy była analiza numeryczno-eksperymentalna procesu regazyfikacji cieczy kriogenicznej w wymienniku ciepła dla systemów napędowych w transporcie morskim i drogowym oraz udowodnienie tezy w brzmieniu: „W procesie regazyfikacji cieczy kriogenicznych, szczególnie w systemach zasilających napędy pracujące w transporcie, wymiana ciepła po stronie czynnika wrzącego w reżimie wrzenia błonowego odgrywa decydującą rolę dla całkowitej wydajności i bezpieczeństwa pracy regazyfikatora”.

Udowodnienie tak postawionej tezy Autor uzyskał poprzez realizację założonego planu pracy, obejmującego:

- zdefiniowanie problemu i opis zastosowanych algorytmów do jego rozwiązania
- budowę modelu matematycznego regazyfikatora
- projekt i budowę stanowiska laboratoryjnego
- testy wymienników ciepła

- walidację zastosowanych modeli matematycznych.

5. Szczegółowa charakterystyka pracy

Rozdział pierwszy, obejmuje trzy podrozdziały, w których Doktorant dokonał charakterystyki podjętej tematyki.

Podrozdział 1.1 dotyczy roli gazu ziemnego w transformacji energetycznej. Autor omówił krótko zbiór inicjatyw Komisji Europejskiej – Europejski Zielony Ład, dotyczących osiągnięcia neutralności klimatycznej do roku 2050 i rozdzielenie wzrostu gospodarczego Europy od wykorzystania zasobów naturalnych. Zgodnie z przyjętą polityką gaz ziemny stanowi paliwo przejściowe, a szybkość wprowadzanych zmian w krajowej energetyce zależy od stopnia wykorzystania paliw kopalnych w danym kraju członkowskim. Podrozdział zawiera również opis aktualnej sytuacji energetycznej Polski. Podrozdział 1.2 dotyczy wykorzystania LNG w transporcie. Skupiono się głównie na wykorzystaniu gazu ziemnego w transporcie morskim.

Podrozdział 1.3 dotyczy spotykanych metod regazyfikacji LNG. Autor dokonał charakterystyki czterech rodzajów regazyfikatorów: a) ORV (wykorzystujące wodę morską), b) SCV (wykorzystujące gaz ziemny do generacji ciepła), c) AAV (wykorzystujące powietrze atmosferyczne jako źródło ciepła), d) IFV (z medium pośrednim służącym do przenoszenia ciepła między wodą morską a regazyfikowanym LNG). Na koniec podrozdziału omówione zostały ryzyka związane z prowadzeniem procesu regazyfikacji.

Rozdział drugi obejmuje cel, tezę i zakres pracy dyplomowej. Jako cel pracy Doktorant wskazał analizę procesu regazyfikacji w wymiennikach ciepła dla systemów napędowych w transporcie morskim i drogowym oraz opracowanie i walidację modeli matematycznych.

Teza pracy została sformułowana w następujący sposób: „W procesie regazyfikacji cieczy kriogenicznych, szczególnie w systemach zasilających napędy pracujące w transporcie, wymiana ciepła po stronie czynnika wrzącego w reżimie wrzenia błonowego odgrywa decydującą rolę dla całkowitej wydajności i bezpieczeństwa pracy regazyfikatora”

Na końcu rozdziału Autor przedstawił plan, którego realizacja prowadziła do osiągnięcia założonego celu i udowodnienia postawionej tezy.

Rozdział trzeci obejmuje analizę numeryczno-eksperymentalną procesu regazyfikacji i składa się z trzech podrozdziałów.

Podrozdział 3.1 zawiera ogólny opis założeń projektu badawczo-rozwojowego, w ramach którego powstała recenzowana praca doktorska. Projekt pt. „Optymalizacja systemów zasilających napędy pracujące w transporcie morskim, drogowym i kolejowym, które wykorzystują gaz naturalny w postaci skroplonej” o numerze POIR.01.01..01-00-0842/16-00 realizowany był w latach 2016 – 2022 i skupiał się na redukcji wpływu procesów transportowych na środowisko naturalne poprzez wykorzystanie LNG. Opracowane w ramach projektu główne elementy zasilania na bazie LNG uwzględniały odzysk

ciepła z par gazu naturalnego. Wymienniki pracujące w układzie jako regazyfikatory musiały mieć prostą konstrukcję i być odporne na zamarzanie w przypadku wystąpienia awarii cyrkulacji.

Podrozdział 3.2 zawiera opis prac przeprowadzonych dla regazyfikatora w postaci jednoprzepływowego wymiennika płaszczowo-rurowego przeznaczonego do aplikacji morskiej. Podrozdział składa się z czterech sekcji.

Sekcja 3.2.1 zawiera opis opracowanego modelu matematycznego wymiennika morskiego. Omówione zostały modele: wymiany ciepła po stronie wody, przewodzenia ciepła przez ściankę rury procesowej, wymiany ciepła po stronie wrzącego azotu, wymiany ciepła po stronie przegrzewanego azotu.

Sekcja 3.2.2 zawiera opis stanowiska badawczego i sposobu prowadzenia eksperymentu. Doktorant omówił metodykę wyznaczania nieznanych parametrów wejściowych do analizy procesu regazyfikacji oraz sposób obliczania niepewności pomiarowych wielkości zmierzonych.

Sekcja 3.2.3 zawiera opis wyników przeprowadzonego eksperymentu dla trzech kampanii pomiarowych: a) wymiennik pracujący jako przegrzewacz par, b) stały przepływ azotu i zmienny przepływ wody, c) stały przepływ wody i zmienny przepływ azotu, a także opis wyników z badań pracy wymiennika w przypadku awarii cyrkulacji wody grzewczej. Wyniki badań eksperymentalnych porównane zostały z wynikami uzyskanymi metodami numerycznymi.

W przypadku pierwszej kampanii pomiarowej uzyskano bardzo dobrą zgodność pomiędzy strumieniem ciepła przejmowanym po stronie wodnej i azotowej, co pozwala na wyznaczenie stopnia suchości par azotu na wlocie do wymiennika ciepła. Badania pokazały również, że dla większych przepływów azotu, jego temperatura wlotowa stabilizowała się, co oznacza, że wystąpiły zjawiska przegrzania par azotu i odparowania szczątkowej frakcji ciekłej znajdującej się na wlocie do wymiennika. Zbieżność wyników modelowania matematycznego z wynikami pomiarów dla jednofazowego przepływu azotu wskazuje na prawidłowość w dobranych modelach opisujących procesy wymiany ciepła.

W przypadku drugiej kampanii pomiarowej wykazano marginalny wpływ strumienia czynnika grzewczego (wody) na wydajność wymiennika. Podobne wyniki uzyskano również z modelowania numerycznego.

Wyniki trzeciej kampanii pomiarowej pozwalają na weryfikację zastosowanych modeli wrzenia do obliczeń zjawisk przepływowo-ciepłych w regazyfikatorze kriogenicznym. Porównanie wyników pomiarów z wartościami teoretycznymi uzyskanymi z modelowania matematycznego wskazuje na dobrą korelację między tymi wynikami dla zakresu przepływu azotu 150 – 300 lN/min. Brak zgodności wielkości modelowych z eksperymentalnymi dla wyższych strumieni azotu może być spowodowany wystąpieniem nierównomierności przepływu po stronie rurek procesowych.

W ramach trzeciej kampanii pomiarowej przeprowadzono również analizę wpływu zastosowanego modelu przegrzewu par na wyniki obliczonej mocy cieplnej wymiennika oraz temperatur wylotowych azotu podczas procesu regazyfikacji. Uzyskano zadowalające zgodności pomiędzy modelowaniem a eksperymentem.

Podrozdział 3.3 zawiera opis prac przeprowadzonych dla samochodowego wymiennika węzownicowego wykorzystywanego do regazyfikacji LNG. W pierwszej części podrozdziału Autor zawarł opis analizowanego wymiennika z uwzględnieniem parametrów pracy i danych geometrycznych. Podrozdział składa się z czterech sekcji.

Sekcja 3.3.1 zawiera opis modelu matematycznego wymiennika samochodowego, w którym wykorzystano następujące modele matematyczne: wymiany ciepła po stronie wody, przewodzenia ciepła przez ściankę rury procesowej (model analogiczny jak dla wymiennika morskiego), wymiany ciepła po stronie wrzącego azotu i wymiany ciepła po stronie przegrzewanego azotu.

Sekcja 3.3.2 zawiera opis stanowiska badawczego uwzględniający schemat ideowy oraz zdjęcia stanowiska.

Sekcja 3.3.3 zawiera opis prac badawczych mających na celu walidację opracowanych modeli matematycznych. Eksperyment został przeprowadzony dla trzech kampanii pomiarowych: a) wymiennik pracujący jako przegrzewacz par zasilany zimnym gazowy azotem, b) wymiennik pracujący jako regazyfikator zasilany stałym przepływem skroplonego azotu i zmiennym przepływem wody grzewczej, c) wymiennik pracujący jako regazyfikator zasilany stałym przepływem wody i zmiennym przepływem azotu. Przeprowadzono również analizę zamarzania wody na powierzchni węzownicy przy awarii cyrkulacji wody grzewczej, podczas której zauważono, że wraz ze zmniejszaniem przepływu wody następuje narastanie warstwy lodu, przy czym nie następuje całkowite zablokowanie jej przepływu.

Wyniki eksperymentu dla pierwszej kampanii pomiarowej wykazały niewielkie rozbieżności pomiędzy mocami wyznaczonymi dla obiegu azotowego i wodnego. Rozbieżności te wynikają z osiągnięcia przez azot stanu nasyconego na wlocie do wymiennika. Podobnie jak w przypadku wymiennika morskiego, moc cieplna obliczona po stronie wodnej może zostać wykorzystana do obliczenia stopnia suchości azotu na wlocie do wymiennika.

W przypadku wyników przedstawionych dla drugiej kampanii pomiarowej można zaobserwować zależność między przepływem wody a mocą cieplną wymiennika. Przedstawione wyniki wskazują również, że stopień suchości azotu na wylocie z wymiennika nie jest wielkością zależną od przepływu wody.

Wyniki przedstawione dla trzeciej kampanii pomiarowej pokazują, że zmiana strumienia ciepła azotu powoduje zmianę mocy cieplnej regazyfikatora. Zauważono, że dla małych przepływów wody i wysokich przepływów azotu pojawia się cienka warstwa lodu w przestrzeniach między zwojami węzownicy.

Podrozdział 3.3.4 zawiera opis opracowanego iteracyjnego modelu matematycznego wymiennika węzownicowego, który zapisany został w języku Python w oparciu poszczególne modele procesów wymiany ciepła. Opracowany model uwzględnia powstawanie warstwy lodu na ściankach węzownicy. Dzięki zastosowanemu modelowi matematycznemu możliwe jest uzyskanie profilu temperatury wzdłuż węzownicy, zarówno po stronie wodnej, na ścianie wewnętrznej, na ścianie zewnętrznej, jak i po stronie

azotowej. Dodatkowo możliwe jest wskazanie miejsca akumulacji lodu na powierzchni zewnętrznej węzownicy w przypadku spadku temperatury ścianki po stronie wodnej poniżej temperatury zamarzania. W podrozdziale 3.3.4 Doktorant zawarł opis procesu walidacji opracowanego modelu matematycznego, który uwzględniał trzy kampanie pomiarowe: a) stały przepływ wody grzewczej (16 l/min.) i zmienny przepływ azotu (150 – 300 lN/min.), b) zmienny przepływ wody (5 – 20 l/min.) i stały przepływ skroplonego azotu (400 lN/min.), c) zmienny przepływ azotu (200 – 550 lN/min.) i stały przepływ wody (16 l/min.).

W oparciu o wyniki pierwszej kampanii pomiarowej wyznaczone zostały strumienie ciepła przyjmowane po stronie wodnej i azotowej. Wyznaczone doświadczalnie moce cieplne porównane zostały z wynikami uzyskanymi z modelowania numerycznego. Uzyskano bardzo dobrą zgodność (większość wyników mieści się w zakresie $\pm 10\%$). Również porównanie obliczonej i zmierzonej temperatury wylotowej azotu wykazało bardzo dobrą zgodność pomiędzy modelem a eksperymentem. Wyniki drugiej kampanii pomiarowej również posłużyły do wyznaczenia mocy cieplnej wymiennika, która następnie została porównana z wynikami modelowania. Przedstawione wyniki wskazują, że tylko jeden z zastosowanych modeli (zmodyfikowany model Miropolskiego) dawał wyniki zbliżone do eksperymentu. Podobnie było z wartością temperatury wylotowej azotu. W ramach przeprowadzonych prac wyznaczono również sumaryczną akumulację lodu na powierzchni węzownicy. Pokazano, że niezależnie od przepływu wody grzewczej wystąpi niewielkie oblodzenie wymiennika, a obniżenie przepływu poniżej wartości 12 l/min. spowoduje gwałtowny wzrost ilości lodu.

W przypadku trzeciej kampanii pomiarowej wszystkie modele wrzenia prowadzą do otrzymania podobnych wyników mocy cieplnej wymiennika, zbliżonych do wyników pomiarów. Niewielka długość wymiennika powoduje, że przy niskich strumieniach azotu pracuje on jako parowacz. Należy jednak zaznaczyć, że również w tym przypadku zmodyfikowany model Miropolskiego daje wyniki najbardziej zbliżone do eksperymentu. W ramach trzeciej kampanii pomiarowej przeprowadzono także analizę narostu lodu na powierzchni węzownicy, która pokazała, że wraz ze wzrostem strumienia regazyfikowanego azotu zwiększa się również sumaryczna masa lodu.

W celu przeanalizowania zjawisk zachodzących w wymienniku wykorzystano opracowany model matematyczny do przedstawienia profili temperatur oraz oporów wewnątrz wymiennika. Przedstawione wyniki pokazują wpływ grubości ścianki węzownicy i stopnia suchości mieszaniny parowo-cieczowej na spadek temperatury i wskazują, że maksymalna grubość warstwy lodu będzie tworzyć się w miejscu ukończenia procesu regazyfikacji. Z kolei analiza profilu temperatury azotu pozwala w łatwy sposób rozdzielić obszar pracy wymiennika na część parowacza i przegrzewacza.

Rozdział czwarty obejmuje podsumowanie, wnioski i uwagi końcowe.

W podrozdziale 4.1 Doktorant dokonuje krótkiego podsumowania przeprowadzonych prac zwracając uwagę na ich zakres i znaczenie.



W podrozdziale 4.2 zawarty jest wniosek końcowy potwierdzający osiągnięcie założonego celu pracy, który poparty został przez Autora odpowiednimi argumentami, wynikającymi z realizacji poszczególnych etapów pracy doktorskiej.

Podrozdział 4.3 zawiera uwagi końcowe odnoszące się do opracowanego i zwalidowanego w ramach pracy doktorskiej modelu matematycznego wymiennika ciepła pracującego jako regazyfikator, podkreślające jego możliwości praktycznego zastosowania. Ponadto podrozdział ten zawiera informacje o kontynuacji w szerszym zakresie badań opisanych w rozprawie doktorskiej i dotyczących wpływu nierównomierności rozkładu przepływu wody grzewczej w wymienniku na proces regazyfikacji i bezpieczeństwo jego pracy.

6. Ocena pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi interesującą pracę o bardzo dobrym poziomie merytorycznym i dużym znaczeniu w kontekście poszerzenia wiedzy na temat zjawisk zachodzących w wymienniku ciepła pracującym jako regazyfikator oraz możliwości optymalizacji pracy i konstrukcji tych wymienników przy wykorzystaniu modelowania matematycznego. Przeprowadzone badania eksperymentalne potwierdzające poprawność opracowanych modeli matematycznych w znaczący sposób podnoszą jakość pracy doktorskiej.

Rozprawa doktorska powstała w ramach realizowanego w latach 2016 – 2022 projektu badawczo-rozwojowego pt.: „Optymalizacja systemów zasilających napędy pracujące w transporcie morskim, drogowym i kolejowym, które wykorzystują gaz naturalny w postaci skroplonej”.

6.1 Główne osiągnięcia Autora

Z ważniejszych osiągnięć Autora warto wskazać:

- Opracowanie unikatowego rozwiązania w postaci modelu matematycznego wymiennika ciepła pracującego jako regazyfikator, uwzględniającego procesy wymiany ciepła po stronie wodnej i azotowej oraz przewodzenie ciepła przez ściankę węzownicy. Opracowane (i zwalidowane) narzędzie może służyć do symulacji pracy regazyfikatora i optymalizacji jego konstrukcji.
- Uwzględnienie w opracowanym modelu matematycznym regazyfikatora wymiany ciepła po stronie wrzącego i przegrzanego azotu oraz wpływu powstawania warstwy lodu na węzownicy po stronie wodnej na proces wymiany ciepła. Są to procesy trudne do matematycznego opisu. Doktorant wykazał, że opracowany model symuluje te procesy.
- Opracowanie, przygotowanie i przeprowadzenie różnych wariantów badań eksperymentalnych pozwalających na walidację zapisanych modeli matematycznych.



6.2 Uwagi krytyczne

Praca przygotowana została prawidłowo, cel i teza pracy są jasne, tok prac zmierzających do ich udowodnienia są czytelne i prawidłowe, jednakże w trakcie szczegółowej lektury rozprawy doktorskiej można znaleźć elementy mogące wymagać dodatkowego wyjaśnienia lub dyskusji. Poniższe uwagi krytyczne nie umniejszają mojej dobrej ocenie merytorycznej rozprawy.

- Praca doktorska dotyczy wpływu procesu wrzenia cieczy kriogenicznych na proces regazyfikacji. Rozdział pierwszy, stanowiący wstęp do pracy doktorskiej, powinien zawierać także krótki opis istoty procesu regazyfikacji.
- Czy czujniki temperatury wody i azotu zostały skalibrowane przed pomiarem?
- Fragment tekstu na str. 38 jest nie precyzyjny: „Wstępne pomiary wykazały znacznie niższą temperaturę azotu na wylocie z wymiennika. Przepływomierz azotowy nie był urządzeniem certyfikowanym do pracy w tak niskich temperaturach”. Od jakiej temperatury pomiary wykazały znacznie niższą temperaturę? Jaka była temperatura odniesienia? Czy był to dolny zakres temperatur dla przepływomierza?
- Fragment tekstu na stronie 41: „Wyniki pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że moc cieplna wymiennika wyznaczona ze strony wodnej zgadza się z mocą cieplną wyznaczoną ze strony azotowej”. Powyższe stwierdzenie zapisane zostało w oparciu o wyniki przedstawione na rysunku 3.5, które nie zostały w pracy w żaden sposób skomentowane. Należy potwierdzić zapisane stwierdzenie szerzej omawiając wartości pokazane na wykresach 3.5. Bilans musi się zamykać dla przepływu jednofazowego. Na wykresach widać pewne rozbieżności pomiędzy strumieniami ciepła wyznaczonymi po stronie wodnej i azotowej. Sugeruje się wskazać błąd względny pomiędzy uzyskanymi wartościami dla wybranych punktów pomiarowych.
- Rysunki 3.13 – 3.16 pozostawione są w pracy bez żadnego komentarza.
- Na str. 50 zapisano w oparciu o wyniki przedstawione na rys. 3.18, że „zbieżność wyników, ..., wskazuje na prawidłowość w doborze modeli matematycznych ...”. Wyniki przedstawione na rys. 3.18 powinny zostać szerzej omówione.
- Rysunek 3.19 przedstawia wartości temperatury wylotowej azotu wyznaczonej na drodze pomiaru i z modelowania matematycznego. Widać, że wartości temperatury uzyskane przy wykorzystaniu modeli „Gnieliński” i „Volker” wyraźnie odbiegają od wartości temperatury uzyskanych z pomiarów. Zatem, czy zasadne jest wykorzystywanie tych modeli?
- Na rysunkach 3.22 i 3.23 parametry wyznaczone za pomocą modelu Groenevelda znacznie odbiegają od wartości uzyskanych z pomiarów i pozostałych wykorzystanych modeli. Czy zasadne jest wykorzystanie tego modelu?



- Czy dla wyższych przepływów azotu można poprawnie wyznaczyć jego temperaturę na wylocie z wymiennika ciepła w oparciu o modelowanie matematyczne? Przedstawione wyniki pokazują rozbieżności pomiędzy eksperymentem a obliczeniami.
- Rysunki 3.48 i 3.49 nie zostały odpowiednio skomentowane. Na ich podstawie zapisano na str. 83: „Na podstawie pomiarów stwierdzono zbieżność wyników zmierzonej mocy cieplnej wymiennika węzownicowego ze strony wodnej i azotowej”. Czy dla strumieni objętościowych azotu powyżej 400 lN/min. można stwierdzić zbieżność wyników?
- W pracy doktorskiej znajdują się rysunki przedstawiające wyniki przeprowadzonych badań, które pozostawione są bez komentarza.

6.3 Uwagi edytorskie

Rozprawa doktorska została dobrze skomponowana i napisana w sposób zrozumiały. Zastosowane słownictwo zostało poprawnie dobrane. Poniższe uwagi natury edytorsko-redakcyjnej nie mają żadnego negatywnego wpływu na wartość merytoryczną ocenianej pracy doktorskiej. Wskazanie tych uwag ma za zadanie pomóc w doskonaleniu warsztatu i może być przydatne w dalszej pracy naukowej Doktoranta przy pisaniu i redagowaniu publikacji.

- Część rysunków wykonana została w języku angielskim. Wszystkie rysunki powinny zostać wykonane w języku polskim, ponieważ całość pracy napisana jest w języku polskim.
- Część oznaczeń użytych we wzorach nie została opisana i nie znajduje się w wykazie oznaczeń.
- W spisie oznaczeń dwukrotnie zamieszczono q_c .
- Pracę doktorską należy sprawdzić pod kątem interpunkcji
- Używanie tego samego oznaczenia literowego dla różnych wielkości (np. h) wprowadza zamieszanie
- Na str. 38 zapisano, że zaplanowano dwie kampanie pomiarowe dla regazyfikatora morskiego. Z dalszego opisu wynika, że zaplanowano 3 kampanie pomiarowe.

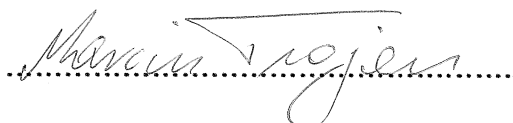
7. Wniosek końcowy

Oceniana rozprawa doktorska, mimo zauważonych usterek, może być bez wątplenia uznana za oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje odpowiednią wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i eksperymentalnej. Uważam, że podjęta przez Doktoranta tematyka badawcza jest trudna, ale ważna i istotna, przede wszystkim ze względu na wykorzystanie gazu ziemnego jako paliwa przejściowego w związku z prowadzoną przez Unię Europejską polityką.



Uzyskane przez Doktoranta wyniki badań eksperymentalnych i numerycznych mają w moim przekonaniu dużą wartość zarówno merytoryczną, jak i praktyczną.

Reasumując, uważam, że **praca doktorska mgr inż. Jakuba Kielara w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim** określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku *Prawo o szkolnictwie Wyższym i Nauce* i **stawiam wniosek o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.**

A handwritten signature in cursive script, reading "Marcin Rogien", is written over a horizontal dotted line.