
Dr hab. inż. Paweł Niegodajew, prof. PCz

Częstochowa, dnia 16.01.2025 r.

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Mechanicznej

e-mail: pawel.niegodajew@pcz.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Adriana Parzybuta zatytułowanej:

**Projekt, badanie oraz rozwój ekologicznego silnika raketowego
zasilanego wysoko stężonym nadtlakiem wodoru
do satelitarnego modułu napędowego POLON**

Informacje ogólne

Niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana w klasycznej formie monograficznej, obejmując 216 stron, 99 rysunków oraz 35 tabel. Praca zawiera spis akronimów, rysunków i tabel, a na jej końcu zamieszczono bibliografię obejmującą 176 pozycji. Pracy została podzielona na osiem rozdziałów, które konsekwentnie prowadzą czytelnika przez kolejne etapy badań i analizy. Przejrzysta i logicznie uporządkowana struktura, z wyraźnym podziałem na rozdziały i podrozdziały, ułatwia czytelnikowi zapoznanie się z treścią. Dzięki temu układ pracy pozwala dość łatwo śledzić tok rozważań oraz wnioski płynące z przeprowadzonych badań.

Pierwszy rozdział zawiera wprowadzenie do tematyki badawczej, obejmujące szczegółowy przegląd literatury oraz omówienie kluczowych wyzwań związanych z wykorzystaniem wysoko stężonego nadtlaku wodoru w napędach raketowych. W rozdziale drugim zaprezentowano cel rozprawy oraz sformułowaną tezę, stanowiącą podstawę przeprowadzonych badań i analiz. Rozdział trzeci skupia się na specyficznych wymaganiach stawianych napędowi w ramach projektu modułu POLON, z uwzględnieniem warunków środowiskowych i technicznych charakterystycznych dla zastosowań kosmicznych. Rozdział czwarty prezentuje szczegółowy proces projektowania silnika raketowego zasilanego wysoko stężonym nadtlakiem wodoru (HTP). Opisano zarówno założenia konstrukcyjne, jak i zastosowane techniki optymalizacji. Kolejny rozdział poświęcono planowaniu testów, w tym przygotowaniu stanowisk badawczych i procedur eksperymentalnych, co stanowiło kluczowy etap walidacji opracowanych rozwiązań. W rozdziale szóstym przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, ich analizę oraz wnioski dotyczące działania silnika w różnych warunkach testowych. Rozdział siódmy opisuje potencjalne możliwości wdrożenia opracowanego silnika w przyszłych misjach kosmicznych oraz podkreśla znaczenie wyników badań w kontekście dalszego rozwoju technologii. Praca kończy się rozdziałem ósmym, w którym podsumowano całość przeprowadzonych działań badawczych, formułując wnioski i rekomendacje na przyszłość.

Cel rozprawy

Celem recenzowanej rozprawy doktorskiej było opracowanie, przeprowadzenie badań doświadczalnych oraz rozwój silnika raketowego zasilanego wysoko stężonym nadtlakiem wodoru (98%) do zastosowań satelitarnych. Rozprawa koncentruje się na spełnieniu specyficznych wymagań modułu napędowego POLON, uwzględniając jednocześnie efektywność, ekonomiczność oraz ekologiczność proponowanego rozwiązania. Opracowany napęd miałby stanowić alternatywę dla obecnie stosowanych silników zasilanych toksycznymi materiałami pędnymi (jak np. hydrazyna), zapewniając porównywalne osiągi przy znacznym zmniejszeniu negatywnego wpływu na środowisko.

Ocena pracy

Tematyka pracy doktorskiej autora jest aktualna i istotna z perspektywy rozwoju technologii napędowych w sektorze kosmicznym. Rozprawa podejmuje ważny problem związany z opracowaniem silnika raketowego zasilanego wysoko stężonym nadtlakiem wodoru, stanowiącego alternatywę dla napędów opartych na toksycznych materiałach pędnych. W pracy w sposób przemyślany połączono elementy projektowe z badaniami eksperymentalnymi, co umożliwia kompleksowe podejście do analizowanego zagadnienia.

Praca została przygotowana dość starannie i zawiera szczegółowy opis przeprowadzonych badań oraz uzyskanych wyników, które zostały poparte analizą techniczną. Zawartość merytoryczna rozprawy jest na ogół poprawna, a jej struktura sprzyja czytelności i zrozumieniu przedstawionych treści.

Należy jednak zauważyć, że praca zawiera pewne uchybienia, które w mojej ocenie wpływają na jej ogólną jakość. W szczególności dotyczą one zarówno organizacji treści, sposobu przedstawiania wyników, jak i zbyt zdawkowych opisów niektórych kluczowych zagadnień. W kilku miejscach brakuje bardziej szczegółowej analizy uzyskanych wyników, jak również szerszego kontekstu ich interpretacji, co mogłoby znacząco wzbogacić wartość naukową pracy. Te aspekty zostaną szczegółowo omówione w dalszej części recenzji wraz z propozycjami korekt i wskazaniem obszarów wymagających dopracowania, co może przyczynić się do podniesienia jakości tej interesującej i wartościowej rozprawy.

Uwagi ogólne

W rozdziale 4.1.1 Doktorant określa parametry wejściowe do obliczeń, takie jak ciśnienie w komorze (12 bar) i stosunek A_e/A_t (29), oraz wskazuje, że zastosowano model równowagi chemicznej produktów. Niemniej jednak brakuje uzasadnienia dla wyboru tych konkretnych parametrów wejściowych, co utrudnia ocenę zasadności przyjętych założeń. Niejasne pozostaje również, czy w obliczeniach uwzględniono współczynniki korekcyjne, które są kluczowe dla przełożenia wyników teoretycznych na wartości rzeczywiste. Ponadto, w tabeli 6 pojawiają się założone wartości sprawności, jednak nie są one poparte odniesieniami do literatury ani szczegółowym omówieniem. Wyjaśnienie tych kwestii oraz odniesienie się do źródeł literaturowych pozwoliłoby zwiększyć transparentność i wiarygodność przedstawionych założeń i wyników.

Znajdujący się na stronie 85 fragment dotyczący wyznaczania spadku ciśnienia w linii wspólnej budzi kilka wątpliwości. Nie wyjaśniono, w jaki sposób określono współczynnik przepływu K_V , który jest kluczowy dla obliczeń spadku ciśnienia. Brakuje również szczegółowych informacji o założeniach przyjętych podczas obliczeń oraz uzasadnienia dla przyjętego zakresu spadków ciśnienia (0,5–1,5 bar). Choć wspomniano o programie opracowanym w Łukasiewicz – ILOT, opis jego działania i założeń został jedynie zarysowany, co utrudnia dokładniejszą ocenę wiarygodności wyników. Uzupełnienie tych braków pozwoliłoby na lepsze zrozumienie i ocenę przedstawionych analiz.

Rozdział 4.2 opisujący analizę numeryczną jest bardzo zdawkowy. Należy podkreślić, że przepływ turbulentny jest z natury trójwymiarowy (3D), a jego modelowanie w dwuwymiarowej (2D) domenie obliczeniowej stanowi znaczące uproszczenie. Brakuje jasności, co dokładnie przedstawia Rys. 19 – czy ukazuje całą domenę obliczeniową, czy jedynie jej fragment? Dodatkowo, kształt ścianki dyszy wylotowej na Rys. 19 różni się od tego przedstawionego na Rys. 17, co rodzi pytania o spójność modeli geometrycznych. Warunki brzegowe na krańcach domeny nie zostały jasno określone – informacje o ciśnieniu w komorze (12,4 bar) i ciśnieniu otoczenia (10 Pa) są niewystarczające. Brakuje również wzmianki o teście niezależności rozwiązania od siatki. Wyjaśnienie tych kwestii jest kluczowe dla pełnego zrozumienia przeprowadzonej analizy.

Wyniki analizy numerycznej zostały przedstawione w sposób zbyt ogólnikowy. Warto byłoby zaprezentować co najmniej mapy konturowe prędkości i temperatury w domenach obliczeniowych 2D (Rys. 19) oraz 3D (Rys. 21). Jedyne wyniki ilościowe – rozkład temperatury ścianki wzdłuż osi X – wymaga bardziej szczegółowej analizy. Szczególnie interesujące byłoby wyjaśnienie nagłego wzrostu temperatury w punkcie $X = 0.0175X$ oraz jej gwałtownego spadku przy $X = 0.0275X$.

Na stronie 128 wspomniano o konieczności przeprowadzenia testów uzupełniających związanych z usypywaniem oraz montażem złoża katalitycznego. Chociaż analizowano wpływ metod montażu (np. za pomocą sprężyny i kontrolowanego docisku), brak informacji na temat samego procesu usypywania złoża. Jest to istotne, gdyż na stronie 151 pojawia się stwierdzenie, że niestabilności ciśnienia nie wynikały z niepoprawnego usypywania katalizatora, lecz z braku optymalizacji termicznej silnika. Na jakiej podstawie wyciągnięto te wnioski, skoro różne metody usypywania nie zostały przeanalizowane?

W rozdziale 5.4 wskazano, że w badaniach wytrzymałości na drgania silnika przyjęto największe wartości obciążeń dla każdego kierunku, jednak brak szczegółowych informacji na ten temat. Jakże konkretnie wartości obciążeń zostały zastosowane i jak mają się one do wytrzymałości innych silników o podobnych parametrach dostępnych na rynku? Niejasne pozostaje również, dlaczego przyjęto zakres częstotliwości drgań od 5 Hz do 2000 Hz. Czy wybór tych wartości opierał się na normach lub standardach? Jeżeli tak, należy to wyraźnie zaznaczyć. Dodatkowo, czy sekwencja testów przedstawiona w Tab. 29 została opracowana zgodnie z jakimiś wytycznymi normatywnymi?

Rozdział 6.2.2 opisuje wpływ siły dociskowej na wytrzymałość złoża katalitycznego, jednak wraz z eksploatacją silnika materiał katalityczny ulega degradacji, co powoduje zmniejszenie

siły dociskowej. Gdy siła ta spadnie do zera, materiał sypki staje się bardziej podatny na drgania, co może prowadzić do dalszej degradacji na skutek tarcia. Czy w badaniach analizowano wpływ drgań na wytrzymałość materiału katalitycznego w takich warunkach? Czy można spodziewać się podobnego poziomu degradacji w przypadku katalizatorów typu 1 i 2 poddanych takim testom?

W podsumowaniu pracy Doktorant wskazuje, że opracowany przez niego projekt silnika charakteryzuje się efektywnością i wydajnością porównywalną do silników opartych na toksycznych materiałach pędnych, takich jak hydrazyna. Niestety, w pracy nie przedstawiono bezpośredniego porównania parametrów zaproponowanego rozwiązania z innymi silnikami o podobnej konstrukcji i mocy – chociażby z tymi ujętymi w Tab. 2. Tego typu porównanie mogłoby w sposób bardziej jednoznaczny uzasadnić podniesione wnioski i znacząco wzbogacić wartość rozprawy.

Kolejna uwaga dotyczy drugiego akapitu podsumowania, w którym Doktorant podkreśla przewagę ekonomiczną zaproponowanego rozwiązania w stosunku do konwencjonalnych silników opartych na toksycznych materiałach pędnych. Niestety, w pracy brak jest szczegółowej analizy ekonomicznej, która mogłaby zweryfikować tezę o konkurencyjności kosztowej. W związku z tym wniosek ten pozostaje nieudokumentowany i ma charakter spekulatywny. Czy Doktorant jest w stanie przedstawić szczegółowe wyliczenia lub analizę kosztów, które potwierdziłyby ekonomiczną przewagę zaproponowanego rozwiązania?

Uwagi szczegółowe

Na str. 39 można znaleźć następujący fragment: „Ciśnienie projektowe w komorze dekompozycyjnej takiego silnika często znajduje się w zakresie 15 bar – 10 bar i właśnie dla jednej wartości ciśnienia będzie uzyskana zakładana, nominalna wartość ciągu. Dlatego też, mają podawany przez producenta zakres ciągu a nie pojedynczą wartość.” Ten fragment jest niejasny i wymaga doprecyzowania.

Na stronie 49 podczas dyskusji na temat przechowywania N_2O pojawia się zwrot „możliwość samo ciśnieniowania”, który nie jest wystarczająco jasny. Nie wiadomo, czy odnosi się on do naturalnych właściwości substancji, czy też do określonego procesu technologicznego. Z tego względu sugeruję rozwinięcie tej kwestii i bardziej precyzyjne zdefiniowanie terminu.

Na stronie 50 pojawia się informacja, że podczas misji Syncom II trwającej od 1963 do 1969 r., roczny wzrost ciśnienia wynosił około 2,5%. Nie jest jednak jasne, czy chodzi o wzrost ciśnienia w zbiorniku z paliwem, a jeśli tak, to czy był on spowodowany degradacją paliwa, zjawiskami fizykochemicznymi, czy innymi czynnikami. Wyjaśnienie tej kwestii pomogłoby lepiej zrozumieć opisywane zjawisko oraz jego wpływ na projektowanie systemów napędowych.

Na początku Rozdziału 1.4.2 Doktorant wskazuje czym powinien charakteryzować się katalizator podając m.in., że powinien zapewnić „operowanie na dużej całkowitej ilości materiału pędnego”. Ta cecha nie jest wystarczająco jasna. Czy odnosi się ona do trwałości katalizatora przy przetwarzaniu dużych ilości materiału, czy do innych właściwości, takich

jak efektywność procesu? Warto byłoby to sprecyzować, aby uniknąć ewentualnych niejasności.

Na stronie 91 znajdujemy następujący fragment: „*W przypadku małych silników obciążenie katalizatora jest zazwyczaj niewielkie, natomiast wraz ze wzrostem rozmiaru silnika wartość ta rośnie. Zjawisko to wynika z istotnego wzrostu masy silników o większych wymiarach, co wymusza minimalizację rozmiaru katalizatora w celu zachowania racjonalnych proporcji całego układu.*” – Nie jest jednak jasne, dlaczego rozmiar katalizatora nie skaluje się proporcjonalnie do rozmiaru silnika. Czy istnieją inne czynniki ograniczające rozmiar katalizatora, takie jak właściwości materiałów, efektywność procesów katalitycznych lub kwestie konstrukcyjne? Rozwinięcie tej kwestii pomogłoby w lepszym zrozumieniu tej zależności.

W zależnościach (14) i (15) nie wyjaśniono czym są parametry odpowiednio A i V . Oczywiście choć intuicyjnie można je utożsamiać z powierzchnią i objętością, nie zostały precyzyjnie zdefiniowane w pracy. Nie jest jasne, czy A oznacza pole przekroju komory katalitycznej, powierzchnię rozwijalną złoża katalitycznego, czy inną wielkość. Podobnie, V może oznaczać objętość złoża katalitycznego, komory spalania, czy innego elementu układu. Brak spisu symboli utrudnia czytelnikowi interpretację wzorów i analizę wyników. Dodatkowo, czy w pracy przyjęto jakieś typowe wartości tych parametrów, np. dla przykładowego projektu, co mogłoby pomóc w weryfikacji wyników?

W pracy naprzemiennie stosowane są jednostki temperatury [K] oraz [°C], co może wprowadzać wątpliwości u czytelnika. Na przykład, na stronie 97 przy określaniu warunków brzegowych temperatura gazów w komorze wyrażona jest w [K], natomiast na stronie 99 temperatura początkowa ścianek podana jest w [°C]. Podobna niespójność występuje na wykresach, gdzie na Rys. 20 temperatura na osi pionowej wyrażona jest w [K], a na Rys. 24 w [°C]. Ujednolicenie jednostek w całej pracy lub przynajmniej wyraźne uzasadnienie ich stosowania w różnych kontekstach byłoby wskazane.

Rysunek 24 przedstawiający rozkład temperatury wzdłuż osi silnika został zamieszczony bez żadnego komentarza w tekście ani odniesienia do niego. Czy rozkład ten w jakiś sposób koreluje z przedstawionym na Rys. 20?

Tabela 11 prezentuje wartości gęstości strumienia ciepła oraz współczynnika przenikania ciepła w różnych lokalizacjach. Nie wyjaśniono jednak, dlaczego na dystansie od rurki doprowadzającej paliwo do otworów wtryskowych oba parametry maleją, a następnie rosną w kolektorze wylotowym. Ponadto, brakuje informacji, w jaki sposób współczynnik przenikania ciepła był wyliczany w oparciu o przeprowadzone symulacje. Rozwinięcie tej analizy mogłoby wzbogacić treść pracy.

Na stronie 140 wskazano, że między testami kwalifikacyjnymi sprawdzano stan silnika i katalizatora za pomocą tomografii komputerowej, jednak wyniki tych testów nie zostały zamieszczone w pracy. Jedynymi wynikami, które są częściowo zbliżone, są pomiary wykonane skanerem 3D, przedstawione na Rys. 71. Czy brak wyników tomografii wynika z

ograniczeń technicznych, czy też z innych powodów? Wyjaśnienie tej kwestii byłoby wskazane.

Tabela 28 przedstawia sekwencję testów, uwzględniając czasy trwania impulsów (T_{ON} , T_{OFF}) dla pracy ciągłej i pulsacyjnej. Nie wyjaśniono jednak, na jakiej podstawie dobrano te czasy oraz przyjętą kolejność testów. Czy jest to standard stosowany w takich badaniach? Jeśli tak, należałoby odwołać się do odpowiednich źródeł literaturowych. Bez tego niejasnym jest, dlaczego zastosowano takie podejście.

Na stronie 154 podano, że „... spadek ciśnienia zmniejsza się wraz ze wzrostem ciśnienia w komorze oraz nagrzewaniem się komory ...” co odnosi się do Rys. 56. Taka zależność nie jest jednak widoczna na wykresie.

W rozdziale 6.2.2 opisano, że jednym z celów testu wytrzymałości katalizatorów był dobór odpowiedniej siatki ograniczającej utratę materiału katalitycznego. Siatka taka została przedstawiona na Rys. 62, ale w pracy brakuje informacji, jakie siatki były testowane, oraz która z nich została ostatecznie wybrana i dlaczego.

Nie jest jasne, jak interpretować wyniki przedstawione na Rys. 64–69, w odniesieniu do słupków przypisanych do rozmiaru oczek siatki równego zeru. Czy słupki te wskazują procentową zawartość masy pelletu, która pozostała po przesianiu materiału katalitycznego przez wszystkie sita? Dodatkowe wyjaśnienia są konieczne, aby uniknąć wątpliwości interpretacyjnych.

Na Rys. 75 przedstawiono porównanie przyrostu temperatury w czasie za złożem katalitycznym dla pierwszej i drugiej wersji laboratoryjnej silnika. Widoczna jest znacząca, wręcz zaskakująca poprawa w postaci bardzo szybkiego wzrostu temperatury do wartości niemalże ustalonej. Niestety, w pracy brakuje dyskusji ani próby wyjaśnienia, z czego może wynikać tak istotna zmiana dynamiki tego parametru w czasie. W rozdziale 4.3.6 można zauważyć, że obie wersje silnika znacząco różniły się masą, jednak wydaje się, że sama zmiana masy nie jest wystarczającym wyjaśnieniem dla zaobserwowanej poprawy. Proszę o komentarz Doktoranta – co, według niego, mogło być przyczyną tak szybkiego wzrostu temperatury w tej lokalizacji?

Biorąc pod uwagę ograniczoną ilość materiału pędnego, praca silnika w trybie pulsacyjnym ma kluczowe znaczenie. Szczególnie istotne są pierwsze pulsy podczas rozruchu silnika, mimo że generują niższe ciśnienie – ich powtarzalność ma wpływ na precyzyjne manewrowanie pojazdem kosmicznym. Na Rys. 79 wykazano, że pierwsze 8 pulsów charakteryzowało się znaczącym odchyleniem od wartości średniej ciśnienia, a kolejne 10 pulsów również wykazywało istotne odstępstwa, choć były one mniejsze. Czy Doktorant przeprowadził badania powtarzalności wyników przedstawionych na Rys. 79? Jeżeli tak to czy podobne odchylenia od średniej ciśnienia były obserwowane dla wszystkich 50 pulsów podczas kolejnych testów?

Rys. 97 pokazuje gwałtowny spadek ciśnienia podczas pracy silnika w trybie pulsacyjnym, co jest opisane jako efekt zapychania zaworów. Czy Doktorant powtórzył eksperyment dla tych samych ustawień, najlepiej kilkakrotnie, aby upewnić się, że efekt ten nie jest powtarzalny?

Czy może pojawiać się spontanicznie i z jaką częstością? Jeśli tak, jakie były wyniki powtórzonych eksperymentów?

Na stronie 193 pojawia się stwierdzenie: „*Moduł napędowy ma być zasilany przez wysoko stężony nadtlenek wodoru, a konstrukcja silnika ma bazować na konstrukcji silnika ILT-1. To podejście, pokazuje potencjał silnika na uzyskanie wyższych poziomów gotowości technologicznej, aniżeli w projekcie POLON.*” Zamiast terminu „potencjał” należało tutaj użyć sformułowania podkreślającego konieczność działań – np. „*Tego typu działania, takie jak testowanie silnika w warunkach rzeczywistych, są niezbędne do osiągnięcia wyższych poziomów gotowości technologicznej w porównaniu do projektu POLON.*”

Uwagi dotyczące języka, stylu i edycji pracy

Praca została napisana poprawnym językiem polskim, jednakże Doktorant nie ustrzegł się drobnych błędów edytorskich, interpunkcyjnych, stylistycznych oraz innych. Poniżej przedstawiono wybrane przykłady takich niedociągnięć:

Str. 30: „*Prędkość charakterystyczna jest cennym parametrem. ...*”

Str. 33: „*...nawet jeżeli nie zdajemy się z tego sprawy.*”

Str. 33: Tutaj po raz pierwszy pojawia się skrót GEO a jego wyjaśnienie znaleźć można dopiero na kolejnej stronie.

Str. 45: „*... utleniaczami są kriogeniczne materiały pędne. echują się one wysoką ...*”

Str. 46: „*...powinien być taki sam lub wyższy od tego do uzyskania w silnikach*”

Str. 50: „*... co pozwoliło na pomyślne zrealizowanie misję trwającej od ...*”

Str. 52: „*... a uzyskanie 100% stężenia jest teoretyczne.*”

Str. 59: „*Kolejne badania Romeo et al. [98] katalizatorów ...*”

Str. 85: „*... w zależności od ilości uruchomionych silników*”

Str. 92: „*W celu zobrazowania najważniejszych wymiarów na Rys. 17 zaprezentowano schemat.*”

Str. 104: „*Na Rys. 27 zostały przedstawiono przebieg temperatur*”

Str. 128: „*dystans jest unieruchomiony poprzez przykręcenie śrubami z odpowiednim momentem śrubami do modułu ...*”

Str. 133: „*Cisnienie z komory jest wypompowywane za pomocą dwóch pomp ...*”

Str. 140: „*Ze względu na ograniczenia, długości testu w komorze próżniowej*”

Str. 145: „*Spadek amplitudy dla pierwszej mody nie większy niż 30% ...*”

Str. 155: „*Na podstawie wyników z testów, można zaobserwować, że silnik charakteryzuje się najwyższymi parametrami, w przypadku krótszej komory.*” Chodzi tu oczywiście o najkrótszą komorę.

Str. 166: „Jak wykazały późniejsze analizy (przeprowadzone poza zakresem niniejszej rozprawy), to właśnie w termicznym silnika pojawiają się ...”

Str. 189: „Opisane zjawisko zatkania otworów wtryskowych jest niepożądane, ponieważ uwieczony nadtlenek wodoru może spowodować znaczny przyrost ciśnienia w linii zasilania, wtryskiwacza nawet może skutkować uszkodzeniem silnika.”

Str. 191: „W związku z tym konieczne jest przeprowadzenie dodatkowych badań z wyłączonymi. Dopiero wtedy można ...”

Wnioski końcowe

Pomimo dość licznych uwag, które przedstawiono w niniejszej recenzji, należy podkreślić, że rozprawa doktorska mgr. inż. Adriana Parzybuta stanowi samodzielne i oryginalne dzieło naukowe. Praca ta potwierdza zarówno zaawansowaną wiedzę teoretyczną, jak i umiejętności praktyczne Doktoranta, a także jego zdolność do prowadzenia samodzielnych badań naukowych na wysokim poziomie. Doktorant musiał zmierzyć się z koniecznością rozwiązania wielu złożonych problemów praktycznych, co wymagało zdobycia interdyscyplinarnej wiedzy w zakresie różnych procesów technologicznych. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że w trakcie realizacji projektu Doktorant nie tylko przeprowadził liczne badania eksperymentalne, ale także zaprojektował i skonstruował stanowisko do zasilania silników raketowych, co świadczy o jego zaangażowaniu oraz wszechstronności w podejściu do zagadnień badawczych.

Pod względem formalnym rozprawa spełnia wszystkie wymagania zarówno zwyczajowe, jak i ustawowe, określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 poz. 742). Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzam, że praca w pełni zasługuje na dopuszczenie do publicznej obrony.

Uwzględniając ogromny praktyczny wkład Doktoranta, liczbę zadań, w które był zaangażowany, oraz wysoki stopień skomplikowania poruszanych zagadnień, wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Adriana Parzybuta.

Paweł Niepodęga