

dr hab. inż. Artur Gutkowski, prof. uczelni
Politechnika Łódzka
Wydział Mechaniczny
Instytut Maszyn Przepływowych
ul. Wólczańska 219/223, 90-924 Łódź
email: artur.gutkowski@p.lodz.pl

Łódź, dnia 25.03.2024

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Przemysława Paszkiewicza

pt. „Experimental characterization of a Sub-Newton Electrothermal Thruster Using 98% Hydrogen Peroxide”

1. Podstawa wykonania recenzji

Podstawą przygotowania recenzji jest pismo nr RNDIM/521.1/2024 Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, Pana prof. dr hab. inż. Roberta Sitnika, z dnia 08.01.2024 informujące o powołaniu mnie na recenzenta pracy doktorskiej Pana mgra inż. Przemysława Paszkiewicza. Wraz z pismem otrzymałem egzemplarz pracy wydanej w postaci monografii.

2. Aktualność tematu rozprawy

Tematem rozprawy doktorskiej jest analiza pracy elektrotermicznego silnika wykorzystującego 98% nadtlenu wodoru jako paliwo. Ze względu na generowany ciąg poniżej 1 N, urządzenia tego typu mogą znaleźć zastosowanie jako elementy wykonawcze systemów kontroli położenia satków kosmicznych a w przypadku małych satelitów mogą być alternatywną metodą napędu. Niewątpliwe zalety tych konstrukcji, czyli prosta budowa i mała masa powodują, że są to obiecujące technologie napędu wykorzystywanego w satkach kosmicznych. Nadtlenu wodoru może być ciekawą alternatywą dla tradycyjnych paliw raketowych, głównie ze względu na fakt, że jest stosunkowo tani i łatwo dostępny, ale także dlatego, że produktami jego rozkładu są woda i tlen. Zastąpienie tradycyjnego paliwa raketowego nadtlenu wodoru pozwala także wyeliminować wytwarzanie emisji szkodliwych związków takich jak NO_x czy CO_2 . Biorąc pod uwagę powyższe, uważam wybór tematu pracy doktorskiej za trafny i istotny dla nauki i przemysłu kosmicznego.

3. Charakterystyka treści rozprawy

Treść rozprawy została przedstawiona na 156 stronach z zachowaniem podziału na: streszczenie w języku polskim i angielskim, spis treści, listę rysunków oraz listę tabel, wykaz oznaczeń oraz 5 rozdziałów. W pracy zamieszczono 79 rysunków i 9 tabel. Bibliografia zawiera 115 pozycji, w tym cztery, których Doktorant był współautorem.

Praca zaczyna się od bardzo obszernego przeglądu literatury (Rozdział 1), w którym znalazły się między innymi opisy właściwości nadtlenu wodoru, szczegółowy opis jego rozkładu a także podstawy napędu statków kosmicznych. Przegląd ten jest interesujący i starannie przygotowany.

W Rozdziale 2 zawarto cele i zakres pracy. Celem prezentowanej pracy było zaprojektowanie i zbudowanie silnika, w którym zachodziłby rozkład egzotermiczny 98% nadtlenu wodoru wspomagany ciepłem doprowadzanym z rezystancyjnego elementu grzejnego, a także przeprowadzenie pomiarów w różnych warunkach w celu potwierdzenia tezy pracy, którą Doktorant sformułował następująco:

It is possible to obtain a self-sustaining stable decomposition of 98% hydrogen peroxide in a sub-Newton, electrothermal, monopropellant thruster not equipped with a dedicated catalyst bed.

Kolejny rozdział (Rozdział 3) zawiera opis najważniejszych elementów stanowiska badawczego i aparatury wykorzystywanej do pomiaru temperatury, ciśnienia i strumienia masy, a także systemu akwizycji danych.

Rozdział 4 zawiera zasadniczą część badawczą rozprawy, w której Doktorant przedstawił badania eksperymentalne podzielone na kilka etapów, w których zmieniano takie parametry jak moc grzałki i czas trwania próby. W rozdziale tym przedstawiono także analizę poszczególnych wyników jak i porównanie wszystkich badanych przypadków.

W rozdziale 5 podsumowano przedstawione prace i wyciągnięto wnioski końcowe.

Uważam, że układ pracy jest poprawny a sama praca została starannie napisana i zredagowana. Widać, że Autor włożył dużo wysiłku, aby jakość zamieszczonych rysunków była wysoka (rysunki z niektórych publikacji zostały graficznie obrobione w celu poprawy ich czytelności).

4. Ocena pracy

Postawiony przez Doktoranta cel rozprawy wymagał po pierwsze przeprowadzenia szerokiej analizy literaturowej, następnie wyboru sposobu realizacji eksperymentu, zaprojektowania i zbudowania stanowiska badawczego, dobrania i opanowania odpowiednich metod pomiarowych a w końcu przeprowadzenia obszernych badań eksperymentalnych. Wyniki tych badań następnie zostały starannie opracowane i przeanalizowane. Uważam, że cel ten został w pełni osiągnięty.

Nowością naukową rozprawy jest określenie charakterystyk pracy silnika wykorzystującego 98% nadtlenu wodoru jako paliwo oraz określenie temperatury umożliwiającej inicjację spontanicznego rozkładu.

Wyniki, które dostarczyła rozprawa są interesujące i przydatne w kontekście rozwijania technologii małych silników raketowych wykorzystujących rozkład egzotermiczny wysoko stężonego nadtlenu wodoru. Szkoda tylko, że Autor nie pokusił się o uogólnienie wyników czy to na inne wymiary silników czy na inne warunki pracy (np. inne ciśnienie czynnika). Pomimo tego bardzo pozytywnie oceniam postawienie problemu badawczego oraz sposób jego rozwiązania.

5. Uwagi do pracy

Podczas czytania przedstawionej rozprawy doktorskiej nasunęły mi się drobne uwagi, pytania i wątpliwości, wymagające wyjaśnienia lub szerszej dyskusji.

W pracy nie wyjaśniono jednoznacznie na jakiej podstawie wybrano wymiary silnika wykorzystywanego do badań.

W pracy badano właściwie nową konstrukcję silnika, jednocześnie testowano wykorzystanie nadtlenu wodoru oraz rezystancyjnego systemu doprowadzenia ciepła w celu inicjacji rozkładu paliwa, czy były jakiegokolwiek dane referencyjne, do których można by odnieść otrzymane wyniki?

Czy uzyskane wyniki można przenieść na silniki charakteryzujące się inną geometrią? Na ile otrzymane wyniki można uogólnić?

Czy był zauważalny jakiś wpływ ciśnienia panującego w reaktorze na temperaturę wrzenia czynnika? Jeżeli tak to czy był on brany pod uwagę w analizach?

Jeżeli kluczowym aspektem podczas inicjacji spontanicznego rozkładu jest temperatura wrzenia czynnika to czy była brana pod uwagę zmiana ciśnienia czynnika w celu obniżenia lub zwiększenia tej temperatury?

Jaki wpływ na działanie badanego silnika miałyby warunki panujące w przestrzeni kosmicznej?

6. Uwagi edycyjne i inne:

1. Zauważono, że w pracy jako separator dziesiętny stosuje się kropki i przecinki (częściej) najczęściej w pracach pisanych w języku angielskim stosuje się kropki.
2. Autor stosuje niedozwoloną jednostkę temperatury °C, zamiast jednostki SI, czyli K.
3. Strona 33 – czy sprawność zdefiniowana zależnością (1.10) jest stosunkiem prędkości (1.8) i (1.9)? Jeżeli tak to wielkość wyrażona wzorem (1.8) może powinna być oznaczona jako c_{exp}^* a (1.9) jako c_{theo}^* ?
4. Strona 105, drugi wiersz od dołu – jest „*Figure 4.14. shows the relations between the rise time and ...*” a chyba powinno być “*Figure 4.14. shows the relations between the pressure rise time and ...*”.

5. Strona 115 – na rysunku 4.21 użyto skali koloru, która nie pozwala odróżnić wartości minimalnych i maksymalnych na rysunku.
6. Strona 119 – na rysunku 4.25 nie umieszczono oznaczeń pozwalających rozróżnić, które symbole odpowiadają danym termoparom.

7. Wniosek końcowy

Podsumowując, rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Paszkiewicza zatytułowana „*Experimental characterization of a Sub-Newton Electrothermal Thruster Using 98% Hydrogen Peroxide*” odpowiada na zapotrzebowanie naukowe związane z konstrukcją małych napędów raketowych. Możliwość wykorzystania bardziej ekologicznego i łatwiej dostępnego paliwa w silnikach raketowych daje szansę na szybszy rozwój technologii kosmicznych w naszym kraju.

Praca mieści się w dyscyplinie *Inżynieria Mechaniczna*.

W ramach rozprawy doktorskiej pan mgr inż. Przemysław Paszkiewicz, wykazał się dobrym opanowaniem warsztatu naukowego oraz umiejętnościami samodzielnego prowadzenia badań eksperymentalnych, krytyczną analizą literatury i otrzymanych wyników a także wnioskowania. Autor posiadał umiejętność pisania rozprawy doktorskiej z klarownie sformułowanym tytułem, celem, zakresem pracy a także przejrzystym i dokładnym opisem metodologii badań i wyników.

Reasumując przeprowadzoną recenzję rozprawy doktorskiej, stwierdzam, że przedłożony dokument w pełni spełnia kryteria określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2022, poz. 574 z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską oraz dorobkiem naukowym Doktoranta stawiam również wniosek o jej wyróżnienie.

A. Gatkowski