

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 14.12.2023

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Stanisława Siatkowskiego pt. „Predicting the detonation cell size of biogas-oxygen mixtures”

1. Podstawa wykonania recenzji

Podstawą przygotowania recenzji jest pismo nr RND.IŚGiE.0128.2023 Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Pana prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego, z dnia 10.10.2023 informujące o powołaniu mnie na recenzenta pracy doktorskiej Pana mgra inż. Stanisława Siatkowskiego. Wraz z pismem otrzymałem egzemplarz pracy wydanej w postaci monografii.

2. Aktualność tematu rozprawy

W wielu systemach, w których wykorzystywane są technologie spalania wskazane jest, aby proces ten zachodził na drodze deflagracji i przykłada się dużą uwagę, żeby nie przekształcił się w detonację (*Deflagration to Detonation Transition – DDT*). Ponieważ niekontrolowana detonacja może być bardzo niebezpiecznym zjawiskiem, w wielu przypadkach powodującym zniszczenia materialne i śmierć ludzi. Jednakże spalanie detonacyjne może mieć szereg zalet. Silniki wykorzystujące detonację powinny się charakteryzować wyższą sprawnością, a co za tym idzie zużyciem mniejszej ilości paliwa, a więc mniejszą emisją CO₂, a w niektórych przypadkach także zmniejszeniem emisji NO_x. Dlatego też w wielu jednostkach naukowych trwają intensywne badania nad budową silników detonacyjnych np. pulsacyjnego silnika detonacyjnego (*Pulse Detonation Engine – PDE*) ale także silników z wirującą detonacją (*Rotating Detonation Engine – RDE*). Znajomość wielkości komórki detonacyjnej, która jest jednym z podstawowych parametrów opisujących detonację jest istotna zarówno z punktu widzenia badań podstawowych nad procesem detonacji, ale także ze względu na proces projektowania silników detonacyjnych. Biorąc pod uwagę powyższe, uważam wybór tematu pracy doktorskiej za trafny i istotny dla nauki.

3. Charakterystyka treści rozprawy

Treść rozprawy została przedstawiona na 139 stronach z zachowaniem podziału na: streszczenie w języku polskim i angielskim, spis treści, listę rysunków oraz listę tabel, wykaz oznaczeń, 7 rozdziałów oraz 6 załączników. W pracy zamieszczono 46 rysunków, 13 tabel i 141 pozycje literatury.

Struktura samej pracy jest typowa dla prac doktorskich i odzwierciedla proces badawczy zrealizowany przez Autora.

W pierwszym rozdziale zatytułowanym „*Introduction*”, wspierając się źródłami literaturowymi, Autor przedstawia ogólny zarys zagadnień, którymi zajmuje się w swojej rozprawie. Rozdział rozpoczyna się przytoczeniem umów międzynarodowych dotyczących powstrzymania zmian klimatu na świecie. Jednym ze sposobów osiągnięcia tego celu jest zwiększenie wykorzystania źródeł odnawialnych do produkcji energii. Zauważono, że biomasa jest głównym źródłem produkcji ciepła. Szkoda, że nie określono jaki udział w tej produkcji zajmuje biogaz. W dalszej części przedstawiono skład biogazu oraz źródła jego produkcji, wymieniono także jego zalety i wady. Główną wadą jest niska wartość opałowa, która utrudnia jego wykorzystanie jako czynnika termodynamicznego w turbinach gazowych, remedium na to ma być przejście ze spalania deflagacyjnego na detonacyjne. W dalszej części ma miejsce zwięzły opis dwóch podstawowych modeli detonacji: Chapmana-Jougueta oraz Zeldowicza, von Neumanna i Döringa. Następnie Autor wprowadza główny przedmiot swoich badań, czyli jeden z parametrów służących do opisu detonacji – wielkość komórki detonacyjnej. Jako przykład wykorzystania detonacji podane są silniki pulsacyjne i z wirującą detonacją. W ostatniej części skoncentrowano się na głównym narzędziu numerycznym, czyli na uczeniu maszynowym, dzięki któremu można częściowo zredukować czas i koszt prowadzenia badań eksperymentalnych.

W rozdziale drugim zatytułowanym „*Objectives and outline*” Doktorant przedstawił cel i zakres pracy. Zakres pracy został podzielony na trzy etapy. Pierwszy obejmował zaprojektowanie i zbudowanie stanowiska, które pozwoli na badanie komórek detonacyjnych dla mieszanek biogaz-tlen. Należy podkreślić, że zaprojektowanie i zbudowanie takiego stanowiska podparte musiało być dużą wiedzą dotyczącą samego procesu detonacji, metrologii, ale także dużym doświadczeniem inżynierskim. Drugi etap obejmował przeprowadzenie badań dla różnych wartości: ciśnień początkowych mieszanin, wskaźnika stechiometrii oraz składów biogazu. Natomiast ostatni etap obejmował stworzenie a następnie walidację modelu uczenia maszynowego do przewidywania wielkości komórki detonacyjnej.

W tym rozdziale Doktorant przedstawił także tezę pracy:

„It is possible to create a machine learning model to reliably predict the detonation cell size of biogas-oxygen mixtures with satisfying accuracy.”

W mojej ocenie niezbyt precyzyjne jest określenie „*satisfying accuracy*” – z satysfakcjonującą dokładnością. Stwierdzenie takie daje dużą swobodę w ocenie późniejszych wyników.

W następnym rozdziale (trzecim) zatytułowanym „*State of the art*” Doktorant przedstawił w dwóch podrozdziałach przegląd literatury. Pierwszy podrozdział dotyczy prac

4. Ocena pracy

Rozwiązanie problemu badawczego przedstawionego w pracy doktorskiej wymagało przeprowadzenia dogłębnej analizy literatury, zaprojektowania i zbudowania stanowiska, wykonania bardzo czasochłonnych badań eksperymentalnych oraz wykorzystania algorytmów uczenia maszynowego do predykcji wymiaru komórki detonacyjnej. Cel ten został w pełni osiągnięty a uzyskane wyniki stanowią wartościowy dorobek, który może być wykorzystany jeszcze w innych analizach. Od strony eksperymentalnej Doktorant wykorzystał standardowe, ale w pełni odpowiednie metody badawcze wykorzystywane podczas badania detonacji. Natomiast, jak pokazał przegląd literatury, wykorzystanie modelu uczenia maszynowego do przewidywania wymiaru komórki detonacyjnej, było bardzo rzadko wykorzystywane wcześniej, zwłaszcza w odniesieniu do mieszanek biogazu z tlenem. Otrzymane wyniki zostały dogłębnie przeanalizowane przez Autora. O ile mogę ocenić rozprawa doktorska jest napisana dobrym językiem angielskim. Pozytywnie oceniam postawienie problemu badawczego oraz sposób jego rozwiązania.

5. Pytania do pracy

1. Projektowanie i budowa stanowiska badawczego są zazwyczaj realizowane przez zespół ludzi, czy Doktorant mógłby sprecyzować swój udział w tym przedsięwzięciu?
2. Autor słusznie napisał, że trudno jest oszacować niepewność określenia rozmiaru komórki detonacyjnej, wymienił także kilka przyczyn tego. Ostatecznie wymiar ten jest określany w dosyć arbitralny sposób w programie AutoCAD. Czy rozważano wykorzystanie jakiś narzędzi do przetwarzania i analizowania obrazu?
3. Podczas pomiarów wykorzystywano 7 czujników ciśnienia, czy nie warto byłoby w takim razie pokazać prędkość detonacji w funkcji położenia lub czasu a nie tylko jej wartość średnią?
4. Na stronie 64 znajduje się informacja, że brak danych eksperymentalnych dla biogazu o składzie 45-55 i 40-60 oraz dla ϕ innego niż jeden może być spowodowany spalaniem deflagracyjnym a nie detonacyjnym. Czy wykorzystywana aparatura nie pozwala na zarejestrowanie spalania deflagracyjnego?
5. Na stronie 77 pada stwierdzenie, że mieszanki biogazu z tlenem mają wysoce nieregularną strukturę, co Autor przez to rozumie?

6. Uwagi edycyjne i inne:

1. Strona 5 wiersz 10 od dołu – jest „przedstawiają” a powinno być „przedstawiając”.
2. Strona 6 wiersz 4 – jest „Wszystkie z były bardzo dobre” a powinno być „Wszystkie były bardzo dobre”.
3. Strona 16 – entalpia jest odniesiona do jednostki masy w takim razie jednostką chyba powinien być J/kg?
4. Strona 22 – w nazwie podrozdziału jest „Chapamn” a powinno być „Chapman”.
5. Strona 23 we wzorze 4 – w mianowniku jest $(y - 1)$ a powinno być $(\gamma - 1)$.
6. Strona 23 ostatni wiersz – jest $(1/\rho_2, p_1)$ czy nie powinno być $(1/\rho_1, p_1)$?

7. Strona 24 wiersz 2 – to samo co powyżej.
8. Strona 38 wiersz 5 – jest odniesienie się do równania 13, którego nie ma.
9. Strona 40 – jest rysunek 10, ale brakuje odniesienia się do niego w tekście.
10. Strona 41 wiersz 12 od dołu – jest „In 200” a powinno być „In 2000”.
11. Strona 66 i 67 – na wykresach brak jednostek.
12. Strona 68 wiersz 8 – jest dwa razy użyte „the smaller”.
13. Strona 100 wiersz 8 od dołu – jest „on can notice” a powinno być „one can notice”.
14. Strona 103 wiersz 3 od dołu – jest „does not interpolate well outside the data range” czy nie powinno być użyte w tym przypadku „extrapolate”?
15. Strona 134 – równanie jest przedstawione w nieodpowiedniej formie.

7. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest ważną i wnoszącą wkład poznawczy a także metodyczny pracą naukową. Doktorant wykazał opanowanie warsztatu naukowego i umiejętność prowadzenia samodzielnych badań zarówno eksperymentalnych, jak i z wykorzystaniem algorytmów uczenia maszynowego, analizy literatury i 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.

Przedstawiona do recenzji rozprawa mgr inż. Stanisława Siatkowskiego pt. „*Predicting the detonation cell size of biogas-oxygen mixtures*” spełnia według mnie wymogi stawiane pracom doktorskim 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 2018, poz. 1668 z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

A. Gutkowski