

Prof. dr hab. inż. Marek BRZEŻAŃSKI
Wydział Mechaniczny
Politechniki Krakowskiej
31- 864 KRAKÓW
Al. Jana Pawła II 37

RECENZJA
Rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Rafała Rogóza

pt.

„The influence of flash-boiling effect on droplet size distributions of low-pressure sprays under various ambient pressures and fluid temperatures”

Promotor: Prof. dr hab. inż. Andrzej Teodorczyk
Promotor pomocniczy: Dr inż. Łukasz Kapusta

Podstawa opracowania recenzji:

Pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny „Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka” Politechniki Warszawskiej prof. dr. hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego o decyzji Rady z dnia 22.11.2022 r. w sprawie powołania recenzentów, do którego dołączono komplet wymaganych dokumentów oraz egzemplarz rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Rafała Rogóza

WYBÓR TEMATYKI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pan mgr inż. Rafał Rogóz w swej rozprawie doktorskiej poruszył ważny obszar badawczy, jakim jest mechanizm procesu tworzenia mieszanki cieczy z czynnikiem gazowym. Prace naukowe przedstawione w rozprawie mają charakter podstawowych badań teoretycznych i doświadczalnych, opartych na prawach fizyki i wykorzystaniu aparatu matematycznego. Tego typu działania są obecnie rzadkością, wobec ogromu naukowych prac aplikacyjnych, a powodzenie tak ukierunkowanych badań naukowych ma ogromne znaczenie z punktu widzenia rozpoznania zjawisk teoretycznych i problemów technicznych, dotyczących tworzenia mieszanki. Tym niemniej wyniki z zaprezentowanych badań mają także szeroki potencjał aplikacyjny.

Oczywistym przykładem zjawisk fizycznych analizowanych w monografii jest np. tworzenie mieszanki palnej, dostarczanej do cylindra tłokowego silnika spalinowego, czy też tworzenie mieszanki podczas wtrysku AdBlue do strumienia spalin w systemach selektywnej redukcji katalitycznej (SCR). Jednakże, przedstawiony w pracy obszar badawczy, jak i skala zastosowania wiedzy związanej z tworzeniem mieszanki, znacząco wykraczają poza wspomniany zakres. Mogą to być np. zagadnienia tworzenia mieszanki palnej w różnego typu urządzeniach energetycznych lub zagadnienia dotyczące rozpylania różnego typu substancji w celu uzyskania określonego środowiska. Do pierwszej grupy z całą pewnością można zaliczyć rozpylanie paliwa w dyszach palników stosowanych w różnego typu systemach grzewczych lub np. dyszach paliwowych silników przepływowych. Druga grupa zastosowania wiedzy zawartej w pracy może dotyczyć zagadnień dotyczących np. rozpylania nawozów sztucznych w rolnictwie lub tworzenia atmosfery gaśniczej poprzez odpowiednie zraszanie zagrożonych obszarów.

Również z naukowego punktu widzenia jest to aktualny i ważny problem badawczy, którego rozwiązanie może mieć istotny wpływ na rozwój techniki rozpylenia cieczy i tworzenia mieszanki. Należy zaznaczyć, że przeprowadzenie tego typu badań naukowych i analiz wymagało od Doktoranta gruntownego, interdyscyplinarnego przygotowania teoretycznego, doświadczenia badawczego oraz umiejętności do planowania i prowadzenia eksperymentu. Mając to na uwadze należy uznać, że tematyka podjęta przez Autora pracy jest w pełni uzasadniona pod względem poznawczym i wnosi nowe wartości naukowe, na które istnieje duże zapotrzebowanie praktyczne.

TYTUŁ I UKŁAD TREŚCI ROZPRAWY

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska autorstwa Pana mgr. inż. Rafała Rogóza napisana została w języku angielskim i nosi tytuł „The influence of flash-boiling effect on droplet size distributions of low-pressure sprays under various ambient pressures and fluid temperatures”. Zapisany w języku angielskim tytuł rozprawy oddaje jej treść i jest zrozumiały nie tylko dla specjalistów z branży motoryzacyjnej. Drobną uwagę dotyczy tylko użycia w tytule liczby mnogiej w stosunku do takich wielkości fizycznych jak ciśnienie i temperatura. Obie wielkości mogą oczywiście przyjmować różną wartość, lecz istnieją wyłącznie jako pojedyncze wielkości fizyczne.

Rozprawa została wydana w formie monografii liczącej łącznie 93 strony. Zasadnicza treść rozprawy, licząca 64 strony, jest zawarta w czterech rozdziałach. Kolejność poszczególnych rozdziałów należy uznać za prawidłową, a układ ich treści oraz prowadzona narracja wskazuje na znajomość oraz stosowanie przez Autora wiedzy z zakresu planowania badań naukowych. Na jedenastu stronach podano spis literatury wykorzystywanej w pracy, który obejmuje 105 pozycji. Na pozostałych stronach umieszczono: podziękowania, wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń, a także streszczenie w języku polskim i angielskim oraz spis tabel i rysunków.

Styl rozprawy jest poprawny, treść pracy jest dobrze zilustrowana rysunkami, a stosowana terminologia jest prawidłowa i nie budzi zastrzeżeń. Praca nawiązuje do aktualnych pozycji literatury, głównie krajowej i europejskiej pochodzącej z ostatnich kilku lat. Na podkreślenie zasługuje bardzo duża staranność w wykonaniu rysunków umieszczonych w pracy, zarówno w zakresie użytych metod graficznych, jak i opisów.

W pierwszym rozdziale Doktorant dokonał wprowadzenia w obszar wiedzy będący głównym celem prowadzonych badań naukowych. Dotyczy to analizy stanu istniejącej wiedzy na temat zjawisk występujących podczas procesu gwałtownego wrzenia cieczy, kiedy ciecz osiąga stan przegrzania. Występują wówczas efekty poszerzenia kąta wtrysku, zapadania się chmury kropeł, a także zmiany wymiarów kropeł rozpylonego czynnika. Analizując wymienione zjawiska Autor wykazał braki w pewnych obszarach analizowanej wiedzy. Dotyczy to m.in. wpływu stopnia przegrzania na rozkład rozmiarów kropeł oraz oceny wpływu temperatury i ciśnienia otoczenia na zmianę średnicy kropeł wtryskiwanego czynnika. Te zagadnienia stały się obszarem badań naukowych Doktoranta i pozwoliły na postawienie tezy recenzowanej pracy.

W rozdziale drugim zaprezentowano warsztat badawczo- pomiarowy oraz przedstawiono metodykę prowadzonych pomiarów. Uzasadniono wybór aparatury pomiarowej, dostosowanej do przyjętej metodyki oraz przedstawiono sposób przeprowadzenia badań w oparciu o pomiar temperatury cieczy i ciśnienia otoczenia. Ponadto omówiono układ pomiarowy korzystający z laserowo-optycznych metod wizualizacji wtrysku.

Rozdział trzeci jest poświęcony analizie i omówieniu wyników pomiarów. Jest to obszerny rozdział, w którym dokonano porównania wpływu ciśnienia otoczenia i temperatury wtrysku cieczy w standardowych warunkach tworzenia mieszanki, w stosunku do metody, w której

dochodzi do gwałtownego wrzenia, kiedy ciecz osiąga stan przegrzania. W obu przypadkach analizie poddano wpływ przegrzania na charakterystykę wielkości rozpylanych kropeł. W tym rozdziale przedstawiono także możliwości modelowania rozkładu prawdopodobieństwa wielkości kropli, w funkcji różnych parametrów przegrzania wtryskiwanej cieczy.

W rozdziale czwartym przedstawiono podsumowanie prowadzonych analiz naukowych i pomiarów oraz zaprezentowano końcową konkluzję.

CEL NAUKOWY, TEZA, ZAKRES ORAZ SPOSÓB REALIZACJI PRACY

Naukowy cel badawczy recenzowanej pracy został przedstawiony w rozdziale pierwszym, podobnie jak sformułowana teza pracy. Po, krótkiej, syntetycznej analizie dotychczasowej wiedzy, dotyczącej tworzenia kropli podczas tworzenia mieszanki metodą wtrysku cieczy do czynnika gazowego, Autor postawił następującą tezę sprowadzającą się do stwierdzenia, że podczas wtrysku cieczy, rozkład tworzonych kropli, zarówno w zakresie średniego ich wymiaru jak i kształtu, zależy od intensywności wrzenia tworzonych kropli i może być modelowany jako funkcja przegrzania wtryskiwanej cieczy.

Zakres pracy sprowadzał się z kolei do analiz teoretycznych pozwalających na opracowanie metody badań wpływu temperatury wtryskiwanej cieczy do ośrodka o określonym ciśnieniu. Na tej podstawie zbudowano odpowiednie stanowisko badawcze, przeprowadzono pomiary według opracowanej metodyki z wykorzystaniem laserowo-optycznych metod wizualizacji wtrysku oraz metody pośredniego pomiaru temperatury cieczy. Stworzono następnie odpowiedni aparat matematyczny, służący do analizy otrzymanych wyników pomiarów. Przyjęty sposób postępowania należy uznać za właściwy do rozwiązywania postawionych w pracy naukowych celów badawczych.

OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Badania naukowe Pana mgr. inż. Rafała Rogóza dotyczą bardzo wąskiego obszaru nauki związanego z wypływem cieczy z dyszy wtryskiwacza i tworzeniem mieszanki. Jak już wspomniano pracę tę można zaliczyć do grupy naukowych badań podstawowych, mających znaczący potencjał aplikacyjny w różnych obszarach techniki. Analizowane zjawiska fizyczne dotyczą złożonych zagadnień z zakresu mechaniki płynów i termodynamiki, wymagające od Doktoranta dużej, interdyscyplinarnej wiedzy teoretycznej, a także umiejętności zaplanowania i praktycznego zrealizowania założonych pomiarów. Ponadto uzyskane wyniki wymagały odpowiedniego opracowania matematycznego, wymagającego umiejętności posługiwania się nowoczesnymi, komputerowymi narzędziami inżynierskimi, szczególnie w obszarze analiz statystycznych.

Rozwiązanie, postawionego przez Doktoranta naukowego problemu badawczego, wymagało opracowania odpowiedniej metodyki badań doświadczalnych. Prowadzone badania miały na celu pomiar wymiarów i kształtu wtryskiwanych kropełek w różnych warunkach przegrzania wtryskiwanej cieczy. W tym celu wykorzystano tzw. metodę obrazów cieniowych (shadowgraph) oraz eksperymentalny układ pomiarowy przeznaczony do kontroli temperatury cieczy oraz ciśnienia ośrodka, do którego następował wtrysk. Wtryskiwacz został wyposażony w system chłodzenia, pozwalający na kontrolę temperatury wtryskiwanej cieczy. Zostało to zrealizowane poprzez umieszczenie wtryskiwacza wraz z fragmentem przewodu doprowadzającego wtryskiwaną ciecz w specjalnym, olejowym płaszczu chłodzącym, wyposażonym w system zmiany temperatury. Dla potrzeb eksperymentu wykonano niezbędną kalibrację systemu, pozwalającą na określenie temperatury cieczy wypływającej z wtryskiwacza. W badaniach stosowano standardowy, 3-otwinkowy wtryskiwacz służący do wtrysku AdBlue w motoryzacyjnych systemach selektywnej redukcji katalitycznej (SCR).

W prowadzonych pomiarach wprowadzono modyfikację wtryskiwacza, polegającą na zaślepieniu dwóch otworków, co było podyktowane warunkami prowadzonych badań optycznych rozkładu strugi wtryskiwanej cieczy. Pomiary wielkości i kształtu kropeł przeprowadzono przy wykorzystaniu metody optycznej tzw. obrazów cieniowych, która pozwala na wykonanie zdjęć podczas każdej z serii pomiarów.

Przygotowanie stanowiska badawczego, jego kalibracja oraz zachowanie powtarzalności mierzonych parametrów wymagało stosowania niestandardowych technik doświadczalnych. Także analiza otrzymanych wyników wymagała opanowania odpowiedniego warsztatu matematycznego, szczególnie w zakresie statystycznej obróbki wyników pomiarów, które mają postać dużych zbiorów danych. Podstawowym celem tej analizy było stworzenie modelu opisującego tworzenie się kropli o określonych wymiarach i określonym kształcie w mieszance, będących efektem gwałtownego wrzenia, w zależności od współczynnika przegrzania dla określonej wartości ciśnienia i temperatury. Model ten umożliwił badanie rozkładu wielkości kropeł w tworzonej mieszance.

Największą wartość recenzowanej rozprawy stanowi:

- Przeprowadzenie analizy naukowej dużego materiału teoretycznego i badawczego dotyczącego zagadnień związanych z tworzeniem mieszanki cieczy z czynnikiem gazowym i znalezienie obszarów wiedzy wymagających uzupełnienia,
- Podjęcie próby rozwiązania złożonego zadania badawczego dotyczącego oceny jakości mieszanki, tworzonej w warunkach gwałtownego wrzenia wtryskiwanej cieczy,
- Opracowanie metodyki badań eksperymentalnych, pozwalających na badanie mieszanki w aspekcie wielkości, kształtu oraz rozkładu kropeł,
- Budowa stanowiska badawczego, umożliwiającego przeprowadzenie zaplanowanych badań oraz dobór metody pomiarów i aparatury badawczej, spełniającej wymagania opracowanej metodyki. Ta część badań wymagała od Doktoranta interdyscyplinarnej wiedzy oraz doświadczenia badawczego,
- Opracowanie wyników pomiarów i ich weryfikacja,
- Stworzenie modelu umożliwiającego określenie rozkładu wielkości kropeł w mieszance będącej efektem gwałtownego wrzenia w zależności od współczynnika przegrzania dla określonej wartości ciśnienia i temperatury. Model ten pozwala także na ocenę tworzących się kropli w zakresie wymiarów i kształtu.

Analizując treść rozprawy nasuwają się pewne uwagi, które jednak nie umniejszają jej pozytywnej wartości merytorycznej.

Przykład stanowić może brak uporządkowania i rozgraniczenia materiału, stanowiącego istniejący stan wiedzy związanej z tematem rozprawy, a własnej pracy analitycznej i badawczej. Inna uwaga dotyczy włączenia części pracy, opisującej zamierzenia badawcze oraz naukowy cel badawczy wraz z postawioną tezą, do rozdziału zatytułowanego „Wprowadzenie” (Introduction). Umieszczenie tych zagadnień w odrębnym rozdziale, z uzupełnieniem o szczegółowy plan realizacji pracy, zwiększyłoby czytelność dokonań Doktoranta.

W rozdziale 4 (Summary and conclusions), Autor w zasadzie umieścił tylko streszczenie swoich dokonań, bez prezentacji końcowej analizy wniosków, które zostały sformułowane po każdym etapie prac badawczych.

Powtarzanym w pracy błędem redakcyjnym jest nieprzyporządkowany, tzw. „wiszący tekst”, umieszczony po tytułach poszczególnych rozdziałów. W tym wypadku wystarczyło w każdym z przypadków nadać mu tytuł np. „2.1. Introduction”.

W podsumowaniu oceny należy stwierdzić, że praca doktorska Pana mgr. inż. Rafała Rogóza pt.: „The influence of flash-boiling effect on droplet size distributions of low-pressure sprays under various ambient pressures and fluid temperatures” jest oryginalnym i aktualnym opracowaniem zawierającym elementy nowatorskie, a ponadto jest interesującym przedstawionym, uzasadnionym i wartościowym dziełem naukowym. Praca stanowi twórczy wkład w dyscyplinę naukową Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Rozprawa wnosi nowe treści poznawcze, wskazuje nowe kierunki działania w podjętej tematyce i w konsekwencji cechuje się potencjalnie dużym stopniem przydatności dla praktycznego wykorzystania.

Pan mgr inż. Rafał Rogóż wykazał się ponadto umiejętnością samodzielnego, poprawnego formułowania i rozwiązywania problemów naukowych oraz dobrym opanowaniem i sprawnym posługiwaniem się warsztatem badawczym na poziomie wymaganym w pracach doktorskich. Na podkreślenie zasługuje dobre przygotowanie merytoryczne Doktoranta do pracy naukowej, jego duża wiedza interdyscyplinarna oraz inwencja połączona z innowacyjnością w zakresie rozwiązywania problemów badawczych. Praca jest napisana poprawnym językiem, a użyta terminologia jest zgodna z obszarem naukowym, którego dotyczy i z zasadami redagowania prac naukowych. Występujące w pracy niedoskonałości o charakterze formalnym lub redakcyjnym nie mają wpływu na jej dużą wartość merytoryczną i użyteczną.

WNIOSKI KOŃCOWE

Recenzowana praca doktorska autorstwa Pana mgr. inż. Rafała Rogóza pt.: „The influence of flash-boiling effect on droplet size distributions of low-pressure sprays under various ambient pressures and fluid temperatures” dotyczy aktualnego problemu badawczego związanego z zagadnieniem warunków tworzenia mieszanki w procesie wtrysku cieczy do czynnika gazowego. Analizowany problem badawczy nosi w sobie cechy nowości i może znaleźć praktyczne zastosowanie. Praca zawiera także istotne wartości naukowe, a uzyskane wyniki analiz i badań są wartościowe dla praktyki technicznej.

Uważam, że recenzowana praca doktorska pt.: „The influence of flash-boiling effect on droplet size distributions of low-pressure sprays under various ambient pressures and fluid temperatures”, której autorem jest Pan mgr inż. Rafał Rogóż spełnia warunki stawiane dysertacjom doktorskim zgodnie z wymaganiami obowiązującej w tym zakresie „Ustawy o stopniach i tytule naukowym” (Ustawa z dnia 14 marca 2003 r.) ze zmianami z dnia 18.03.2011 r.

Rozprawa ta może być dopuszczona do publicznej obrony i stanowić podstawę do nadania Panu mgr. inż. Rafałowi Rogóżowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Kraków, dnia 17. 02. 2023 r.

Marcel Brzezianiski