

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

RECENZJA
Rozprawy doktorskiej
mgra inż. DARIUSZA KOZAKA pt.

**„NUMERICAL STUDY ON EXHAUST PULSE SEPARATION
PROBLEM FOR MULTICYLINDER ENGINE”**

Promotor: Prof. dr hab. inż. Andrzej Teodorczyk
Promotor pomocniczy: dr inż. Paweł Mazuro

Podstawa opracowania recenzji:

Pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny „Inżynieria Środowiska Górnictwo i Energetyka” Prof. dra hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego o uchwale nr 42/II/2024 z dnia 14 maja 2024 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów w postępowaniu o nadanie stopnia doktora Panu mgr. inż. Dariuszowi Kozakowi, do którego dołączono egzemplarz monografii. Podstawą prawną sporządzonej recenzji jest Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”.

WYBÓR TEMATYKI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

W dobie intensywnych poszukiwań nowego typu źródeł napędu pojazdów i maszyn, prace dotyczące rozwoju tłokowych silników spalinowych prowadzone są obecnie z mniejszą intensywnością. Ponieważ jednak perspektywa szerokiego wprowadzenia nowych, sprawniejszych i bardziej ekologicznych systemów napędu jest wciąż dość odległa, należy się liczyć, że produkcja silników spalinowych dość długo będzie jeszcze utrzymywana. W związku z tym wszelkiego typu działania polegające na rozwoju konstrukcji silników spalinowych są ze wszech miar aktualne i potrzebne, zwłaszcza w obliczu regulacji ustawowych, dotyczących dopuszczenia ich do eksploatacji. W tego typu działania wpisuje się tematyka rozprawy doktorskiej mgr. inż. Dariusza Kozaka, który podjął się prac dotyczących rozwoju systemów doładowania tłokowych silników spalinowych. Zajął się on zagadnieniem wzajemnego oddziaływania impulsów ciśnienia gazów wylotowych z poszczególnych cylindrów na parametry strumienia gazów napędzających turbinę turbosprężarki. Są to ważne zagadnienia, pozwalające na poprawę parametrów roboczych silnika i lepsze wykorzystanie strumienia energii traconej w układzie wylotowym. W konsekwencji prowadzi to do zwiększenia sprawności przetwarzania energii w silniku cieplnym i mniejszego obciążenia środowiska. Zakres prowadzonych prac obejmuje głównie etap podstawowych badań teoretycznych i modelowych, lecz z naukowego punktu widzenia stanowią one stale aktualny problem badawczy, który pozwala na znaczące skrócenie opracowania konstrukcji nowego urządzenia oraz zmniejszenie kosztów badań rozwojowych. Zastosowana przez Doktoranta metoda rozwiązania postawionego problemu badawczego należy wprowadzić do standardowych procedur naukowych, stosowanych podczas opracowywania wstępnych koncepcji i konstrukcji nowych maszyn cieplnych, lecz tego typu prace prowadzone są zwykle przez duże zespoły badawcze, które często stosują zaawansowane technicznie systemy i przeznaczają na tego typu cele znaczne środki

finansowe. Z tego względu należy uznać, że tematyka podjęta przez Autora pracy jest aktualna i w pełni uzasadniona pod względem poznawczym, a na płynące z niej wnioski istnieje obecnie zapotrzebowanie również w obszarze praktyki technicznej. Można zatem uznać, że wybór tematu rozprawy doktorskiej spełnia wymagania art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

UKŁAD TREŚCI ROZPRAWY ORAZ SPOSÓB REALIZACJI PRACY

Rozprawa została wydana w formie monografii, napisanej w języku angielskim. Tytuł rozprawy: „Numerical study on Exhaust Pulse Separation Problem for Multicylinder Engine” w dużej części oddaje jej treść i jest zrozumiały dla specjalistów z dziedziny silników spalinowych. Cała rozprawa doktorska została przedstawiona łącznie na 175 stronach, łącznie z rysunkami, fotografiami, wzorami, tabelami oraz załącznikami.

Rozprawa powstała na podstawie siedmiu współautorskich artykułów, których treść nawiązuje do tytułu pracy oraz tematyki, będącej przedmiotem badań naukowych. Wykaz tych artykułów z podaniem autorów i wydawnictwa został zamieszczony na str. 13 monografii. Układ treści monografii nie jest standardowy w stosunku do klasycznej formy rozpraw doktorskich, w których zwykle kolejno: definiowany jest naukowy cel badawczy, podana metodyka i sposób prowadzonych badań i wynikające z nich, jasno określone wnioski. W związku z tym analiza wiedzy zawartej w rozprawie mgr-a inż. Dariusza Kozaka wymaga dużej uwagi, głównie ze względu na brak odpowiedniej narracji podczas opisu kolejnych osiągnięć, co wymaga częstego odnoszenia się do różnych fragmentów opracowania.

W rozprawie Pana mgr. inż. Dariusza Kozaka zasadnicza część pracy, przedstawiająca wprowadzenie do tematu, opisująca stan wiedzy i problem badawczy wraz z metodą jego rozwiązania oraz wyniki analiz, zawarte są w pierwszych pięciu rozdziałach. W rozdz. 1 Autor, w formie wprowadzenia, przedstawił ogólną wiedzę dotyczącą stosowanych współcześnie źródeł napędu oraz kierunku ich rozwoju i istniejące ograniczenia. Naukowy cel badawczy, przedstawienie obiektu badań oraz sformułowanie tezy zostały przedstawione w rozdz. 2 i 3.

W rozdz. 4 zawarto stan wiedzy, dotyczący istniejących systemów turbodoładowania, ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań systemów doładowania, wymagających uwzględnienia charakteru przepływu gazów spalinowych. Szczegółową wiedzę dotyczącą zmian ciśnienia w kanałach dolotowych oraz metody modelowania zjawisk gazodynamicznych przedstawiono w rozdz. 5.

Dokonania naukowo-badawcze Doktoranta związane z tematem pracy przedstawiono natomiast w rozdz. 6 oraz obszernym rozdziale nr 7, w którym zawarto wybrane treści poszczególnych artykułów wraz z wnioskami, stanowiącymi wynik badań naukowych. Ponadto w osobnych rozdziałach przedstawiono podsumowanie wraz z końcowymi wnioskami oraz propozycje dalszych badań.

Pozostałe strony monografii zawierają streszczenia w języku angielskim i polskim, spis treści, wykaz rysunków i tabel. Spis literatury, obejmujący 106 pozycji, zawiera głównie materiały pochodzące z ostatniej dekady. Ponadto w części drugiej pracy dodatkowo przedstawiono abstrakty przywołanych artykułów. Styl rozprawy jest poprawny, stosowana terminologia nie budzi zastrzeżeń, a treść pracy jest dobrze zilustrowana rysunkami.

OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Naukowy problem badawczy, postawiony przez Autora rozprawy, sprowadza się do identyfikacji i analizy impulsów ciśnienia gazów wylotowych w wielocylindrowym silniku spalinowym. Analiza ta, poprzez właściwe rozdzielenie impulsów ciśnienia, może być

przydatna do eliminacji zakłóceń zjawisk falowych, które występują w kolektorze wylotowym silnika. W tym celu Autor podjął próbę opracowania nowoczesnego narzędzia inżynierskiego w postaci odpowiednich programów symulacyjnych, pozwalających na właściwy dobór turbosprężarki do danego typu silnika.

Rozwiązanie naukowego problemu badawczego Autor przedstawił w cyklu siedmiu współautorskich publikacji, w których zawarte zostały kolejne etapy pozyskanej wiedzy dotyczącej badania przepływu czynnika w układzie wylotowym silnika spalinowego.

Jako obiekt badań został wybrany 2-suwowy silnik o przeciwbieżnych tłokach, co nie stanowi oczywistego wyboru ze względu na obecnie stosowane silniki, lecz można to uznać na prawidłowy wybór z punktu widzenia celu realizowanej pracy. W silniku dwusuwowym, który w prowadzonych badaniach pełni rolę generatora impulsów ciśnienia gazów, występuje dwukrotnie większa częstotliwość wypływu spalin, co powoduje skrócenie odstępów pomiędzy poszczególnymi impulsami ciśnienia gazów w układzie wylotowym i pozwala na dokładniejszą analizę wzajemnego oddziaływania tych impulsów w badaniach modelowych.

Zakres prac przewidzianych w rozprawie w dużej części dotyczy teoretycznych analiz procesów termodynamicznych, zachodzących w procesie wylotu spalin, które zostały zweryfikowane w badaniach doświadczalnych. Badania wstępne, w których Doktorant przeprowadził pomiary strumienia gazów wylotowych z 2-cylindrowej wersji silnika, pozwoliły na oszacowanie wartości zmian ciśnienia w układzie wylotowym podczas pracy silnika w zakresie małego i dużego obciążenia. Należy tu podkreślić, że badane procesy zachodzą w bardzo krótkim czasie, rzędu kilku do kilkudziesięciu milisekund, w związku z tym badania eksperymentalne mają istotne ograniczenia wynikające z zastosowanej aparatury pomiarowej i metod badawczych. Dlatego też zasadniczą część pracy stanowią badania modelowe, których celem było uzasadnienie podjęcia badań zaproponowanej koncepcji i wyznaczenie granicy jej stosowania. Dużą, merytoryczną wartością pracy składającą się na dorobek Autora rozprawy jest przeprowadzenie naukowej analizy przepływu gazów w układzie wylotowym silnika, przeprowadzonej według różnych koncepcji, której efektem było zaprojektowanie systemu doładowania z zastosowaniem nowoczesnych metod modelowania 3D. Otrzymane wyniki badań doświadczalnych dały podstawę do opracowania modelu unikatowego systemu doładowania z indywidualnym rozdziałem impulsów ciśnienia gazów. Badania modelowe umożliwiły rozszerzenie analizy eksperymentalnej głównie o informacje dotyczące przebiegu zmian ciśnienia w układzie wylotowym, rozpatrując przy tym kilka wariantów konstrukcyjnych. Prowadzone symulacje w tym zakresie wykazały konieczność opracowania systemu dwustopniowego doładowania, pozwalającego na zwiększenie sprawności, w stosunku do dotychczas stosowanych rozwiązań. Poznanie wyników prac modelowych pozwoliło w tym przypadku na uzupełnienie wiedzy eksperymentalnej nie tylko o wartości ilościowe, ale także jakościowe.

Stanowi to istotne osiągnięcie naukowe Doktoranta, a rozprawę należy uznać za merytorycznie wartościową.

Według mojej opinii, że największa wartość naukowa prac badawczych przedstawionych w recenzowanej rozprawie, mających cechy nowości i stanowiących oryginalny dorobek Doktoranta, dotyczy:

- Wykazania przez Doktoranta zdolności do samodzielnego przeprowadzenia badań naukowych i posługiwania się nowoczesnym warsztatem badawczym i pomiarowym zarówno w badaniach teoretycznych, modelowych i doświadczalnych;
- Przeprowadzenia teoretycznej analizy zjawisk gazodynamicznych występujących podczas wypływu gazów wylotowych z głowicy wielocylindrowego silnika, wymagającej dobrego przygotowania z zakresu wielu dyscyplin naukowych;

- Wykazania się zdolnością do prowadzenia eksperymentów, czego potwierdzeniem jest budowa odpowiedniego stanowiska badawczego, opracowanie metodyki pomiarów i przeprowadzenie badań doświadczalnych, dotyczących identyfikacji wpływu gazów wylotowych;
- Biegłego posługiwania się nowoczesnymi narzędziami inżynierskimi w postaci dedykowanych programów komputerowych, tworząc za ich pomocą modele trójwymiarowe, pozwalające na analizę przepływu gazów spalinowych z poszczególnych cylindrów silnika;
- Podjęcia próby opracowania systemu wykorzystania impulsów ciśnienia gazów wylotowych z poszczególnych cylindrów silnika do zwiększenia sprawności systemu turbodoładowania;
- Stworzenia nowego, autorskiego systemu dwustopniowego doładowania, uzyskując efekt zwiększenia sprawności.

W rozprawie poruszono wiele zagadnień dotyczących wiedzy z zakresu teorii i konstrukcji silników spalinowych, a szczególnie systemów turbodoładowania, co wymagało od Autora gruntownej znajomości zagadnień z szerokiego obszaru nauk podstawowych. Do realizacji programu badań użyto nowoczesnego aparatu badawczego i pomiarowego, który wymagał od Doktoranta dobrego przygotowania naukowego z zakresu wielu dyscyplin, jak również przygotowania inżynierskiego, niezbędnego do realizacji założonego programu badawczego. Spodziewanymi efektami prac Doktoranta może być zwiększenie sprawności przetwarzania energii w silniku cieplnym oraz zmniejszenie obciążenia środowiska.

Wszystkie wymienione powyżej elementy rozprawy doktorskiej mgr. inż. Dariusza Kozaka stanowią o wystarczającej wartości merytorycznej, wymaganej podczas realizacji prac doktorskich i z tych względów przedstawioną rozprawę należy uznać za oryginalny dorobek naukowy Doktoranta, stanowiący wkład w dyscyplinę „Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka”.

Analizując treść rozprawy nasuwają się pewne uwagi i pytania, które jednak nie umniejszają jej pozytywnej wartości merytorycznej. Przykładami mogą być:

- Rozprawa doktorska Pana mgra inż. Dariusza Kozaka jest fragmentem większego projektu, realizowanego przez zespół naukowców, natomiast w tekście rozprawy niezbyt czytelnie wyodrębniono zadania, samodzielnie opracowane przez Doktoranta;
- Monografia powstała na podstawie siedmiu współautorskich artykułów, których treść nawiązuje do tytułu pracy oraz tematyki, będącej przedmiotem badań naukowych. W opracowaniu tym brakuje jednak odpowiedniej narracji, ułatwiającej zrozumienie poszczególnych etapów badań naukowych prowadzonych przez Doktoranta. Wymaga to częstego odnoszenia się do różnych fragmentów artykułów, których skróty zamieszczono w rozdz. 7 monografii;
- W pracy nie przedstawiono spójnej metodyki, według której prowadzono badania naukowe. W przypadku recenzowanej pracy, która powstała na podstawie cyklu artykułów naukowych, tego typu zbiorcza metodyka znakomicie ułatwiłaby zrozumienie sposobu rozwiązania postawionego problemu badawczego. Ponadto umożliwiłoby to dokonanie oceny udziału Doktoranta w tych badaniach, zwłaszcza, że wszelkie prace były wykonywane w zespole wielu wykonawców;
- Praca dotyczy zagadnień związanych z wykorzystaniem energii spalin do napędu systemu doładowania silnika spalinowego, natomiast wybranym obiektem badań jest niestandardowy, dwusuwowy silnik o przeciwbieżnych tłokach. W związku z tym treść rozprawy będzie w pełni zrozumiała tylko dla ograniczonego grona czytelników, znających zasadę działania tego typu maszyn cieplnych;

- Opracowana koncepcja dwustopniowego systemu doładowania, która jest bardzo interesująca pod względem teoretycznym, ma zapewne potencjał aplikacyjny, który powinien zostać zbadany doświadczalnie w zastosowaniu do konwencjonalnego silnika tłokowego. W tym zakresie Autor, we wstępnych rozdziałach monografii, jedynie wskazał niedostatki występujące z stosowanych systemach turbodoładowania konwencjonalnych silników;
- W każdym z siedmiu artykułów, stanowiących podstawę opracowania monografii, zostały sformułowane wnioski końcowe, których treść nie w pełni przekłada się na treść podsumowania i wniosków końcowych, zawartych w rozdz. 8;
- Pewnym niedostatkiem opracowania wyników jest brak omówienia wyników prac modelowych i doświadczalnych opracowanej koncepcji systemu dwustopniowego doładowania w aspekcie aplikacyjnym, zwłaszcza w odniesieniu do stosowanych obecnie systemów;
- Bogata bibliografia, licząca 106 pozycji, obejmuje wyłącznie literaturę zagraniczną oraz pozycje związane z działalnością ośrodka, w którym Doktorant realizował swą pracę. Brakuje natomiast znaczących pozycji polskich autorów (np. Wajand, Mysłowski, Wisłocki, Środulski, Zabłocki, Kordziński i in.), którzy wnieśli istotny wkład w wiedzę dotyczącą zjawisk związanych z procesem wylotu spalin oraz z systemami turbodoładowania.

W pracy zauważono ponadto nieliczne usterki o charakterze redakcyjnym lub drobne usterki o charakterze pomyłek literowych, które wynikały prawdopodobnie z przeoczenia Autora i które nie mają wpływu na pozytywną ocenę merytoryczną rozprawy.

WNIOSKI KOŃCOWE

Praca doktorska autorstwa **mgr. inż. Dariusza Kozaka**, która została opracowana w formie monografii na podstawie siedmiu wybranych artykułów, dotyczy aktualnego problemu badawczego związanego z zagadnieniami zwiększania sprawności przetwarzania energii i oddziaływania na środowisko. Opracowana koncepcja, nowego systemu doładowania może znaleźć zastosowanie w praktyce, a przedstawiona w rozprawie naukowa analiza poświęcona impulsom ciśnienia gazów wylotowych w wielocylindrowym silniku spalinowym nosi cechy nowości naukowej i ma wymiar uniwersalny. W związku z tym uważam, że praca zawiera istotne wartości naukowe, a uzyskane wyniki rozważań i badań mają dużą wartość także dla praktyki technicznej. Doktorant udowodnił, że jest dojrzałym naukowcem, a przedstawiona praca stanowi Jego oryginalny dorobek naukowy.

Uważam, że recenzowana praca doktorska pt.:

„Numerical study on Exhaust Pulse Separation Problem for Multicylinder Engine”, której autorem jest Pan **mgr inż. Dariusz Kozak** spełnia warunki stawiane dysertacjom doktorskim w dyscyplinie „Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka”, zgodnie z wymaganiami obowiązującej w tym zakresie „**Ustawy o stopniach i tytule naukowym**” (Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”).

Rozprawa ta może być dopuszczona do publicznej obrony i stanowić podstawę do nadania **mgr. inż. Dariuszowi Kozakowi** stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

Kraków, dnia 12. 09. 2024 r.

Marek Bizoń