

Dr hab. inż. Dariusz Pietras, prof. ATH
Akademia Techniczno-Humanistyczna
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki
Katedra Silników Spalinowych i Pojazdów

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała Gęcy
*Wpływ doładowania na wskaźniki pracy silnika benzynowego
o kontrolowanym samozapłonie*

Podstawa opracowania: pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Lubelskiej WM/41/2021 z dnia 2 marca 2021 roku oraz ustawa z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z dnia 2018 roku, poz.1669). Ustawa z 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz. U. z 2016 roku poz. 882 ze zmianą: Dz. U. z 2016 roku poz. 1311) oraz Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2016 roku poz. 1586).

1. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Michała Gęcy pt. „*Wpływ doładowania na wskaźniki pracy silnika benzynowego o kontrolowanym samozapłonie*” została wydana w formie maszynopisu na Politechnice Lubelskiej, Wydziale Mechanicznym w 2021 roku. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Jacek Hunicz, profesor uczelni.

Praca jest obszerna, liczy 117 stron maszynopisu obejmującego 6 rozdziałów, wykaz oznaczeń i skrótów, streszczenie oraz spis literatury zawierający 136 pozycji naukowych oraz dwóch materiałów o charakterze informacyjnym i technicznym z których jedno to odwołanie do strony internetowej. Publikacje mają ścisły związek z tematem rozprawy i w zdecydowanej większości mają zasięg międzynarodowy.

2. Ocena wyboru tematyki rozprawy

Koncepcja spalania objętościowego powstała w latach 30 XX wieku, której twórcami byli rosyjscy naukowcy, ale dopiero dzięki pracom badawczym, których wyniki przedstawił Onishi na przełomie lat 70 i 80 zagadnienie spalania mieszanek benzynowo-powietrznych bez inicjowania zapłonu wyładowaniem iskrowym zostało podjęte przez wiele ośrodków naukowych na świecie. Od kilkunastu zaś lat kontrolowany samozapłon mieszanki paliwowo-powietrznej (CAI) nazywany częściej w literaturze jako kontrolowany samozapłon homogenicznej mieszanki paliwowo-powietrznej (HCCI) stał się jednym z dominujących kierunków rozwoju silników benzynowych. Główną cechą tego systemu spalania jest niska emisja tlenków azotu oraz większa sprawność cieplna obiegu w porównaniu do klasycznych silników o ZI. Naukowcy i producenci dostrzegają potencjał i możliwości zastosowania silników pracujących wg powyższej koncepcji w pojazdach w najbliższej przyszłości. Pewnym mankamentem silnika CAI jest trudność zachowania korzystnych efektów wynikających z tego systemu spalania w szerszym zakresie obciążenia silnika. Doktorant podjął się zadania rozszerzenia zakresu pracy silnika przez doładowanie i zaawansowane sterowanie bezpośrednim wtryskiem paliwa.

Biorąc pod uwagę powyższe przyjęty przez doktoranta temat jest bardzo aktualny. Tytuł rozprawy jest sformułowany poprawnie i w pełni oddaje zrealizowany przez doktoranta zakres prac przedstawionych w dysertacji.

3. Ocena treści rozprawy

Rozdział pierwszy pt.: „Wprowadzenie” przedstawia zasadę działania silników wg koncepcji HCCI podkreślając zalety wynikające z tego typu realizowanego procesu spalania w stosunku do silników o ZS i ZI. Autor omawia genezę systemów HCCI oraz podkreśla różnice w idei przygotowania ładunku pomiędzy stosowanymi naprzemiennie w literaturze nazwami HCCI oraz CAI. Tym samym uzasadnia adekwatność używania nazwy CAI w swojej rozprawie z uwagi na założenia realizacji badań doświadczalnych. W końcowej części rozdziału przedstawiona została koncepcja SPCCI zastosowana w silniku koncernu Mazda w której kontrolowany samozapłon wspomagany jest wyładowaniem iskrowym.

Rozdział drugi przedstawia analizę stanu wiedzy. Rozdział zajmuje 39 stron, co stanowi jedną trzecią objętości pracy i składa się z czterech podrozdziałów. W pierwszym z nich doktorant przedstawił wyniki prac badawczych w których autorzy przedstawiali charakterystyki eksploatacyjne silników obejmujące zakres ich pracy w trybie spalania ZI oraz CAI. Zakres pracy silników w systemie spalania CAI jest mocno zawężony, co wynika z wielu czynników ograniczających takich jak napełnienie cylindra, szybkość przyrostu ciśnienia, zmienność cykliczna procesu roboczego. Dokładnej analizie tych czynników poświęcony został drugi

podrozdział. Autor jednocześnie podkreślił możliwości rozszerzenia zakresu pracy silnika w trybie spalania CAI poprzez zastosowanie zaawansowanych metod sterowania procesem napełnienia cylindra i wtrysku paliwa. Z kolei trzeci podrozdział poświęcony został analizie literatury pod kątem czynników wpływających na przebieg procesu roboczego w silniku o kontrolowanym samozapłonie. Autor bardzo dokładnie omówił zagadnienia wpływu faz rozrządu, składu mieszaniny palnej, uwarstwienia ładunku, rodzaju i właściwości paliwa oraz procesu reformowania. Rozdział drugi został podsumowany w czwartym podrozdziale w którym autor przedstawił wnioski wynikające ze stanu wiedzy, mające wpływ na przyjęte w dalszej części pracy cel i tezę badawczą.

Rozdział trzeci to przedstawienie celu, tezy i zakresu rozprawy. Głównym celem pracy było doświadczalne rozpoznanie czynników wpływających na przebieg niskotemperaturowego spalania w tłokowym silniku o kontrolowanym samozapłonie. Osiągnięcie tego celu jest odzwierciedlone w kolejnych rozdziałach pracy. Na podstawie przyjętego celu pracy postawiono tezę badawczą, że *zastosowanie doładowania silnika o kontrolowanym samozapłonie mieszanki benzynowo-powietrznej umożliwia uzyskiwanie większych obciążeń niż przy zasilaniu silnika powietrzem pod ciśnieniem atmosferycznym, a odpowiedni sposób tworzenia mieszanki w cylindrze pozwala na właściwe ukształtowanie procesu wywiązywania się ciepła oraz minimalizację emisji toksycznych składników spalin.*

Weryfikację tezy pracy wspomagają trzy zadania badawcze, których zakres został skrótowo omówiony.

W rozdziale czwartym autor przedstawił obiekt badań i stanowisko badawcze wraz z opisem zastosowanych zmian umożliwiających realizację przyjętego celu oraz omówił w sposób szczegółowy metodykę badań. Badania na stanowisku podzielono na dwa etapy. W pierwszym etapie przeprowadzono badania dla pięciu strategii wtrysku paliwa przy trzech różnych dawkach paliwa oraz zmiennym ciśnieniu w układzie dolotowym. W drugim etapie badań przeanalizowano wpływ zmiennego udziału ilości paliwa w dwóch wtryskach realizowanych w trakcie ujemnego współlotwarcia zaworów. Badania przeprowadzono dla dwóch wielkości dawki paliwa oraz trzech wartości ciśnienia w układzie dolotowym. W opisie obydwu etapów prac badawczych autor zawarł tabele z warunkami pracy silnika oraz przedstawił na rysunkach strategie sterowania wtryskiem, które w znaczący sposób ułatwiają zrozumienie przyjętej metodyki. Końcowa część rozdziału zawiera opis podstawowych zależności charakteryzujących wybrane parametry pracy silnika analizowane w kolejnym rozdziale.

Rozdział piąty poświęcony został omówieniu uzyskanych wyników prac badawczych i jest najważniejszą częścią pracy. W dwóch podrozdziałach przedstawiono wyniki oraz ich analizę dla założonych dwóch etapów badań. Dla pierwszego etapu badań doktorant przeprowadził analizę dotyczące składu mieszanki, parametrów roboczych obiegu takich jak: przebiegi ciśnienia,

temperatury czynnika roboczego i szybkości wywiązywania się ciepła, średnie ciśnienie indykowane, kąta spalania 5% dawki, temperatury czynnika w chwili zamknięcia zaworu dolotowego, kąta spalania, szybkości przyrostu ciśnienia, wskaźnika twardości pracy oraz emisji tlenków węgla i tlenków azotu. W ramach analizy wyników drugiego etapu badań omówiony został wpływ zmiennej masy paliwa dla wtrysku nr 1 na średnie ciśnienie indykowane, kąt spalania 5% całkowitej dawki paliwa, kąt spalania, szybkość przyrostu ciśnienia, wskaźnik twardości pracy silnika oraz emisję tlenków azotu. Każdy z omówionych etapów badań został krótko podsumowany.

Rozdział szósty zawiera wnioski końcowe z przeprowadzonych analiz uzyskanych wyników badań oraz perspektywy dalszych prac.

Po rozdziale 6 zamieszczono streszczenie w języku polskim oraz angielskim. Pracę kończy wykaz literatury.

4. Uwagi ogólne i szczegółowe

Pod względem merytorycznym i metodycznym pracę oceniam bardzo wysoko, ponieważ odpowiada postawionemu celowi, przyjętym zadaniom badawczym i jest dostosowana do obowiązujących w tym zakresie wymogów. Układ logiczny treści rozprawy jest czytelny, a zawarte w kolejnych rozdziałach treści są ze sobą dobrze powiązane i tworzą logiczną całość. Praca została napisana poprawnym stylem z wykorzystaniem właściwego nazewnictwa inżynierskiego oraz bardzo starannie zredagowana.

Pewnym mankamentem pracy jest przyjęcie w badaniach tylko jednej prędkości obrotowej silnika wynoszącej 1500 obr/min, która wg autora jest typową prędkością eksploatacyjną samochodów osobowych w warunkach jazdy miejskiej, co też budzi pewne wątpliwości. Oczywiście należy wziąć pod uwagę i tak bardzo obszerny materiał badawczy. Niemniej część badań podstawowych można było zrealizować dla kilku prędkości obrotowych.

Opisując elementy aparatury badawczej autor ograniczył się do przedstawienia dokładności pomiarowej urządzeń nie przeprowadzając analizy błędów pomiarowych.

W analizie szybkości wywiązywania się ciepła autor sugerował, że wzrost szybkości wydzielania ciepła jest następstwem skracania okresu spalania (str. 79). W rzeczywistości mamy pewien wpływ poprzez czynniki regulacyjne na szybkość wywiązywania się ciepła co skutkuje zmianą kąta spalania, a nie odwrotnie. Tok rozumowania autora w tej kwestii powoduje błędy w wielu miejscach w pracy.

Poniżej przedstawiono wybrane uwagi szczegółowe:

- Str. 7, co oznacza „temperatura w dolocie”, chodzi o temperaturę powietrza lub ładunku?

- Str. 7, V_{cyl} to objętość komory spalania? Nie występuje dalej w tekście, a na stronie 8 jest zapisana jako V_{GMP} .
- Str. 8, EGR w tekście skrót dotyczył stopnia recyrkulacji spalin
- Str. 19, w drugim akapicie od góry mowa o kolorach na wykresie z rysunku 2.3. Rysunek jest czarno-biały.
- Str. 22, co to jest „hałas rzeczywisty”?
- Str. 25, rysunek 2.8 Opis osi jest nieadekwatny. Wykres jest przestrzenny, w trzech wymiarach.
- Str. 39, „drastyczny przyrost emisji”? duży, znaczący ale nie drastyczny.
- Str. 40, „bardziej hałaśliwa i szkodliwa...”, co to znaczy, tzw. styl gazetowy.
- Str. 41, drugi wiersz od góry pojawia się EGR jako stopień recyrkulacji, uwaga 3 szczegółowa.
- Str. 55, pierwsze 11 wierszy niepotrzebne. Było to kilka razy podkreślane w rozdziale 1 i 2.
- Str. 65, co to jest „temperatura sprężania”, czy chodzi o temperaturę ładunku w procesie sprężania?
- Str. 65, „dawkę paliwa podawano” czy wtryskiwano?
- Str. 66, „Za pomocą stworzonego ...”, lepiej byłoby opracowanego, wykonanego, zbudowanego.
- Str. 69, wzór 4.7. Mało precyzyjny sposób wyznaczenia masy spalin w recyrkulacji wewnętrznej, temperatura spalin mierzona za zaworem wydechowym jest mniejsza od temperatury spalin w cylindrze. Nie lepiej byłoby mierzyć strumień masy wypływających spalin (przepływomierz masowy) i masę spalin pozostałych w cylindrze wyznaczać z bilansu masy. Znana jest wartość masy paliwa i masy powietrza.
- Str. 72, rys. 5.1. Czy były jakieś ograniczenia wykonania badań wpływu ciśnienia w układzie dolotowym dla strategii 1 i 2 dla dawki 23 mg? Jeśli tak to jakie?
- Str. 82, opis osi wykresów na rysunku 5.11. Temperatura zamknięcia zaworu? Czy chodzi o temperaturę zaworu czy raczej temperaturę ładunku w chwili zamknięcia zaworu dolotowego?
- Str. 85, akapit pod rysunkiem. Podobnie jak było w uwagach ogólnych. Kąt spalania jest następstwem prowadzonego procesu spalania, tj. szybkości wywiązywania się ciepła, które wpływa na szybkość przyrostu ciśnienia i dalej na kąt spalania.

- Str. 91, w analizie wyników badań w rozdziale 5.2 pojawia się pojęcie dawki pilotującej, o którym nie było mowy w zakresie badań w rozdziale 4.3. Zapewne autor miał na myśli „wtrysk 1”.
- Str. 100, wniosek 4. Twardość spalania nie zależy od kąta spalania tylko od szybkości przyrostu ciśnienia.
- Str. 100, wniosek 5. Powinno być: „Wzrost ciśnienia w układzie dolotowym, niezależnie od zastosowanej strategii wtrysku paliwa, powoduje wyprzedzenie samozapłonu co skutkuje wzrostem szybkości narastania ciśnienia. W efekcie następuje skrócenie okresu spalania.”
- Str. 100, wniosek 9. Ponownie pojawia się dawka pilotująca zamiast wtrysk 1.

Przedstawione powyżej uwagi dotyczą w głównej mierze kwestii edytorskich i w żaden sposób nie obniżają poziomu merytorycznego ocenianej dysertacji.

5. Ocena końcowa

W podsumowaniu stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, zaś podjęty przez doktoranta temat rozprawy jest niewystarczająco opisany w literaturze. Autor wykazał się samodzielnością w formułowaniu oryginalnych problemów naukowych i ich rozwiązywaniu. Zrealizowany proces badawczy należał do trudnych, ponieważ jego realizacja wymagała zastosowania technik pomiarowych i wykonania skomplikowanych badań, co potwierdza umiejętność prowadzenia unikalnych eksperymentów badawczych przez doktoranta. W związku z powyższym rozprawa mgr. inż. Michała Gęcy pt. „Wpływ doładowania na wskaźniki pracy silnika benzynowego o kontrolowanym samozapłonie” spełnia warunki określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U.2017 r. poz. 1789) w zw. z art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2018 r. poz. 1669 z późn. zm.). Rozprawa stanowi podstawę do dopuszczenia do publicznej obrony mgr. inż. Michała Gęcy oraz nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Jednocześnie z uwagi na walory merytoryczne pracy, aktualność tematu, pokaźny materiał badawczy oraz wysoką jakość opracowania redakcyjnego pracy wnioskuję o jej wyróżnienie.

16.05.2021
