

Dr hab. inż. Dariusz Pietras, prof. UBB
Uniwersytet Bielsko-Bialski
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki
Katedra Silników Spalinowych i Pojazdów

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Zbigniewa Kurzyny

*Wpływ zróżnicowanej struktury geometrycznej powierzchni tulei cylindrowej
silnika o zapłonie samoczynnym na przebieg i efekty procesu roboczego*

Formalna podstawa opracowania recenzji: pismo RM-530-19-02/19/2023 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Rzeszowskiej z dnia 30 października 2023 roku do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

Prawna podstawa opracowania recenzji: 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 2017 roku poz. 1789) oraz Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 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 2018 roku poz. 261).

1. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Zbigniewa Kurzyny pt. „*Wpływ zróżnicowanej struktury geometrycznej powierzchni tulei cylindrowej silnika o zapłonie samoczynnym na przebieg i efekty procesu roboczego*” została wydana w formie maszynopisu na Politechnice Rzeszowskiej, Wydziale Mechanicznym w 2023 roku. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Paweł Woś, prof. PRz, promotorem pomocniczym dr inż. Krzysztof Balawender.

Praca jest obszerna, liczy 175 strony wydruku komputerowego obejmującego 10 rozdziałów, wykaz oznaczeń i skrótów, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis literatury, spis tabel i ilustracji oraz załącznik. Spis literatury zawiera 83 pozycje naukowe, 10 materiałów o charakterze popularnonaukowym, informacyjnym i technicznym w tym źródła internetowe oraz 3 akty prawne. Publikacje mają ścisły związek z tematem rozprawy i w większości mają zasięg międzynarodowy.

2. Ocena wyboru tematyki rozprawy

Obecne tendencje w ustawodawstwie europejskim ukierunkowane są na ograniczenie zastosowania tłokowych silników spalinowych jako źródeł napędów w pojazdach kosztem napędów tzw. zeroemisyjnych, a w zasadzie elektrycznych. Takie rozwiązanie w najbliższym czasie jest niemożliwe do zastosowania w sektorze ciężkiego transportu lądowego i morskiego oraz napędu różnego typu maszyn roboczych. W tych zastosowaniach podstawowe źródło napędu stanowią obecnie i będą nadal stanowić silniki o zapłonie samoczynnym. Należy jednak mieć na uwadze, że limity emisji poszczególnych składników spalin, których spełnienie obecnie jest bardzo trudne, będą stale zmniejszane. Dotyczy to między innymi limitów emisji tlenków azotu i węglowodorów, zaliczanych do najbardziej toksycznych i szkodliwych składników spalin.

W związku z powyższym, podejmowane wszelkiego typu działania, mające na celu zmniejszenie emisji toksycznych składników spalin ze źródeł napędów bazujących na silnikach o zapłonie samoczynnym, są niezwykle ważne i uzasadnione. W celu rozwiązania tego problemu powszechnie stosowane są złożone i trudne w eksploatacji systemy ingerujące zarówno w sam proces spalania np. recyrkulacja spalin (EGR) jak również systemy montowane w układach wylotowych zmniejszające emisję spalin jak, katalizatory, filtry cząstek stałych czy selektywna redukcja katalityczna (SCR). Systemy te, ze względu na ograniczenia technologiczne, działają wydawnie zwykle w ograniczonym polu pracy silnika, a ich działanie często bywa podporządkowane procedurze badań homologacyjnych pojazdów. Równie ważnym kierunkiem jest rozwój technologii wykonania gładzi tulei cylindrowych, co w istotnym stopniu wpływa na spalanie oleju smarującego, które jest główną przyczyną powstawania najbardziej toksycznych, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych.

Doktorant podjął się tego typu zadania realizując przyjęty cel badawczy polegający na określeniu wpływu teksturowania powierzchni gładzi cylindrowej i wielkości obszaru teksturowanego na parametry użytkowe i ekologiczne silnika z zapłonem samoczynnym w procesie spalania w silniku o zapłonie samoczynnym.

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

3. Analiza treści rozprawy

Rozdział pierwszy „Wprowadzenie” nawiązuje do istotnego z punktu widzenia emisji węglowodorów problemu spalania oleju silnikowego. Doktorant przedstawia w sposób ogólny wpływ zużycia oleju silnikowego na wzrost emisji węglowodorów. Jednym ze źródeł tego zużycia jak zauważył doktorant jest odparowanie oleju smarującego z gładzi cylindra. Aby ograniczyć ten niekorzystny efekt stosuje się technologie zmniejszające chropowatość powierzchni co może prowadzić jednakże do ograniczenia trwałości silników. Doktorant

podkreślił, że jedną z metod ograniczenia odparowania oleju z gładzi tulei cylindrowych o małej chropowatości jest wykonanie na powierzchni gładzi zasobników olejowych.

Rozdział drugi przedstawia zagadnienie warunków pracy układu tłok-pierścień-cylinder (TPC) w procesie roboczym silnika spalinowego. Dużo uwagi autor dysertacji poświęcił na omówienie procesu smarowania w tym mechanizmów transportu oleju w układzie TPC oraz wskazał źródła zużycia oleju silnikowego. Na końcu rozdziału doktorant w sposób zwięzły przedstawił wpływ zużycia oleju silnikowego na emisję toksycznych składników spalin.

W rozdziale trzecim doktorant omówił metody kształtowania powierzchni gładzi cylindrów tłokowych silników spalinowych. W formie tabelarycznej z obrazami mikrostruktur i podstawowymi parametrami chropowatości przedstawione zostały najważniejsze sposoby podstawowej obróbki wykańczającej powierzchni tulei jaką jest honowanie. W dalszej części rozdziału autor wspomniał o elektrotechnicznej obróbce tulei ze stopów aluminium, technologii natryskiwania cieplnego metali. Rozdział został zakończony przedstawieniem metody tworzenia dodatkowych zasobników oleju na powierzchni tulei cylindrowej.

Rozdziały czwarty zawiera przedstawienie tezy, celu i zakresu rozprawy. Na podstawie przeprowadzonej analizy problemów dotyczących warunków współpracy i zużycia elementów układu TPC, nowych technologii kształtowania powierzchni elementów współpracujących i ich wpływu na pracę tłokowych silników spalinowych doktorant postawił dwie tezy. Pierwszą dotyczącą wpływu wielkości obszaru tulei o zwiększonej pojemności olejowej na przebieg i efekty procesu roboczego silnika oraz drugą, że zastosowanie gładkiego honowania tulei cylindrowej wraz z mechanicznym wygniataniem zasobników olejowych jest korzystne z punktu widzenia efektów procesu roboczego w silnikach o średnicy cylindra powyżej 120 mm.

Celem pracy było zbadanie możliwości poprawy parametrów użytkowych silnika i zmniejszenia emisji szkodliwych składników spalin, w szczególności węglowodorów i cząstek stałych, poprzez planową zmianę cech funkcjonalnych powierzchni gładzi cylindra.

Weryfikację tezy pracy wspomaga zrealizowane i omówione w dalszej części dysertacji zadanie badawcze.

W rozdziale został przedstawiony również zakres realizacji pracy.

Rozdział piąty został poświęcony analizie literatury.

Na początku rozdziału 5 doktorant przedstawił współpracę i zużycie elementów układu tłok-pierścień-cylinder przedstawiając uzyskane wyniki badań z ponad dwudziestu prac naukowo-badawczych.

Dalszą część rozdziału z równie dużą starannością autor poświęcił metodom kształtowania zasobników olejowych na powierzchni gładzi cylindrowej, współpracy elementów teksturowanych w badaniach testowych na symulatorach tarcia oraz w badaniach silnikowych.

Doktorant zwrócił uwagę, że eksperymenty przeprowadzone na silnikach spalinowych w rzeczywistych warunkach pracy wyjaśniają dokładnie mechanizmy transportu oleju w układzie TPC, podkreślając jednocześnie, że wyodrębnienie sił tarcia elementów układu TPC w rzeczywistych warunkach pracy silnika może być jedynie szacunkowe. W podsumowaniu rozdziału autor słusznie wykazuje brak prac, które wielkość obszaru tekstuowanego opierałyby na analizie warunków tarcia dla poszczególnych pierścieni tłokowych i wskazywały o ile poprawa efektów procesu roboczego silnika zależy od obszaru tekstuowanego, a o ile jest wynikiem gładziej obróbki tulei cylindrowej. To właśnie spostrzeżenie stanowi jedną z tez przyjętych przez doktoranta w dysertacji.

W rozdziale szóstym doktorant przedstawia analizę warunków tarcia w węźle pierścienie – tuleja cylindrowa silnika spalinowego o ZS typu SW 680, którego układ spalania i mechanizm korbowo-tłokowy jest taki sam jak w badawczym silniku typu SB 3.1. Rozdział ten zatem można uznać za pierwszy w doświadczalnej części pracy.

Rozdział siódmy przedstawia metodykę wyboru dwóch wariantów wykonania gładzi tulei cylindrowych oraz opis wykonania tulei wg przyjętych założeń. Podstawą przyjęcia założeń do dwóch wariantów wykonania tulei powierzchni tulei była przeprowadzona w rozdziale 6 analiza warunków tarcia w układzie TPC. Przedstawione zostały również, niestety bez szerszej analizy i interpretacji wyniki pomiaru chropowatości powierzchni tekstuowanej wraz z trójwymiarowym obrazem i wykresem krzywej udziału materiałowego.

W rozdziale ósmym autor przedstawił stanowisko badawcze i obiekt badań wraz z dokładnym opisem zastosowanej aparatury badawczej. Przedstawiona została również metodyka programu badań i procedury docierania silnika z tulejami badawczymi.

Rozdział dziewiąty dotyczy analizy otrzymanych wyników badań zrealizowanych wg przyjętej metodyki oraz wniosków z nich wynikających i jest najważniejszą częścią pracy.

Analizie poddano zarówno wyniki uzyskane bezpośrednio z pomiarów jak również obliczeń przeprowadzonych na podstawie Dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej zgodnie z procedurą stosowaną w badaniach na zgodność z normami emisji spalin EURO III/IV dla silników o zapłonie samoczynnym stosowanych w pojazdach o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 3,5 tony lub w zastosowaniach pozadrogowych – badania wg testu stacjonarnego ESC.

W pierwszej części tego rozdziału autor przeprowadził analizę wyników wpływu sposobu wykonania powierzchni tulei cylindrowej na jednostkową emisję węglowodorów. We wszystkich badanych punktach pracy silnika doktorant uzyskał korzystniejsze wartości emisji spalin dla zaproponowanych wariantów wykonania tulei cylindrowej względem tulei fabrycznej. Zwłaszcza wariant II spowodował o kilkadziesiąt procent niższe wartości emisji węglowodorów. Potwierdza to w pełni przyjęte przez doktoranta założenia z początku pracy, że odparowanie oleju smarującego na zasadniczy wpływ na emisję węglowodorów. Kolejna część rozdziału

poświęcona została analizie wyników wpływu wykonania powierzchni tulei cylindrowej na jednostkową emisję sadzy. Wg doktoranta przeprowadzona analiza wyników emisji sadzy nie dała możliwości jednoznacznego określenia wpływu wykonania powierzchni tulei cylindrowej na jednostkową emisję sadzy. Kolejnym analizowanym parametrem było jednostkowe zużycie paliwa. We wszystkich analizowanych punktach pracy silnika wykonanie tulei wg II wariantu powodowało obniżenie jednostkowego zużycia paliwa, co potwierdziło oczekiwania doktoranta odnośnie wpływu gładkiego honowania powierzchni tulei cylindrowej z obszarem o zwiększonej pojemności olejowej na zmniejszenie tarcia a w efekcie na zmniejszenie obniżenie jednostkowego zużycia paliwa. Rozdział zakończony został przedstawieniem wyników pomiarów chropowatości powierzchni tulei cylindrowych po próbach, niestety bez przeprowadzenia szerszej analizy uzyskanych wyników.

Rozdział dziesiąty zawiera wnioski końcowe z przeprowadzonych analiz uzyskanych wyników badań, podsumowanie oraz perspektywy dalszych prac.

Pracę kończy wykaz literatury oraz załącznik.

4. Ocena pracy, uwagi ogólne i szczegółowe

Jednym z głównych osiągnięć pracy było autorskie opracowanie i wykonanie dwóch wariantów powierzchni gładzi tulei cylindrowej. Zwłaszcza drugi z przyjętych wariantów potwierdził w pełni przyjęty cel pracy i postawione tezy.

Na uwagę zasługują również pokaźny materiał badawczy i obliczeniowy, bardzo dobrze dobrane, liczne, czytelne ilustracje oraz dane tabelaryczne zawarte w załączniku ułatwiające w znacznym stopniu zrozumienie opisywanego materiału.

Pod względem merytorycznym i metodycznym pracę oceniam wysoko, ponieważ odpowiada postawionemu celowi, przyjętemu zadaniu badawczemu i jest dostosowana do obowiązujących w tym zakresie wymogów, co świadczy o wysokiej wiedzy teoretycznej doktoranta.

Układ logiczny treści rozprawy jest poprawny, a zawarte w kolejnych rozdziałach treści są ze sobą powiązane i tworzą logiczną całość. Praca została napisana poprawnym stylem z wykorzystaniem właściwego nazewnictwa inżynierskiego oraz bardzo starannie zredagowana.

Uwagi ogólne

Pomimo wysokiej wartości merytorycznej czytając pracę nasuwają się następujące uwagi.

Pierwsza uwaga jaka nasuwa się po otwarciu dysertacji jest podział jej treści na poszczególne rozdziały i ich kolejność. Treści przedstawione w rozdziałach 2 i 3 mają głównie charakter akademicki (inżynierski) i mogły być pominięte lub być zamieszczone w rozdziale 5

Analiza literatury przedmiotu. Umieszczenie wspomnianego rozdziału 5 po rozdziale Cel i zakres pracy też budzi pewne wątpliwości. Przyjęte tezy pracy, zwłaszcza druga, wynikają właśnie z przeprowadzonej analizy o czym sam doktorant napisał w podsumowaniu rozdziału 5.

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

Cytowana w dysertacji literatura naukowa, chociaż jej liczba jest pokaźna (83 pozycje) pochodzi głównie z lat 2000-2012, 6 pozycji jest nie starsza niż 10 lat.

W realizowanych badaniach doktorant mierzył stężenie sadzy, a w rozdziale 9,2 poświęconym analizie uzyskanych wyników używa pojęcia emisji PM, co należy rozumieć jako emisję cząstek stałych.

Nasuwa się również pytanie w odniesieniu do parametrów przedstawionych w rozdziale 6 na podstawie analizy których, doktorant przyjął założenia co do wykonania dwóch autorskich wariantów gładzi tulei cylindrowej. Czy dodatkowa operacja gładzenia nie spowodowała zmiany warunków współpracy układu TPC. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii podczas publicznej obrony.

Doktorant na początku rozdziału 9 zaznaczył, że obliczenia wybranych parametrów pracy silnika na podstawie wyników badań nastąpiło w oparciu o procedurę stosowaną w badaniach wg norm EURO III/IV. Dlaczego wg tych norm, a nie nowszych EURO V/VI. Czy chociaż procedura obliczeń jest taka sama, ponieważ realizacja samych badań jest inna.

Zawężona analiza i interpretacja wyników pomiaru profilu chropowatości w rozdziale 9.4.

Poniżej przedstawiono wybrane uwagi szczegółowe:

Praca zawiera również drobne usterki redakcyjne przedstawione poniżej:

- Str. 6, pierwszy akapit streszczenia, Praca doktorska dotyczy wpływu, brakuje wyrazu np. oceny, analizy,
- str. 13 drugi akapit od dołu i dalej w całej pracy, zapisywanie zakresu liczbowego w oparciu o wielokropek i to często ze spacjami, prawidłowo zakresy liczbowe zapisuje się w oparciu o dywiz lub półpauzę i bez spacji,
- str. 24, drugi wiersz od dołu, zamiast wyrazu pokazuje, lepiej użyć przedstawia,
- str. 35, pierwszy wiersz od dołu, brakuje jednostki,
- str. 38, 39 i dalej, wg zasad pisowni nazw i symboli jednostek Głównego Urzędu Miar symbol jednostki należy oddzielać spacją od wartości liczbowej, która go poprzedza. Spację pomiędzy wartością liczbową wielkości a symbolem jednostki pomija się jedynie w przypadku kąta płaskiego, jeśli jego wartość wyrażana jest w jednostkach: °, ' lub ". Zatem od pewnego już czasu zapis jednostek zarówno wartości procentowych jak i temperatury w °C zapisujemy wstawiając spację pomiędzy wartością liczbową a jednostką,
- str. 46, tabela 2, brak konsekwencji w zapisie wartości liczbowych w zakresie liczby miejsc po przecinku,

- str. 52, tabela 3, zapis wartości liczbowych z kropką jako separatorem dziesiętnym.
- str. 80, 81 i 82, rysunki 9.16–9.18, brak symbolu „e” w indeksie dolnym przy zapisie jednostkowego zużycia paliwa,
- str. 82, pierwszy akapit od dołu i dalej podpisy pod rysunkami 9.19–9.21, powinno być „charakterystyki ogólne jednostkowego zużycia paliwa silnika”. Samo wyrażenie charakterystyka ogólna czy uniwersalna silnika nie oznacza, że chodzi o jednostkowe zużycia paliwa.

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 i prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną autora w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Doktorant wykazał się samodzielnością w formułowaniu oryginalnych problemów naukowych i ich rozwiązywaniu. Zrealizowany proces badawczy należał do trudnych, ponieważ jego przygotowanie i realizacja wymagała zastosowania specjalistycznych technologii wykonania powierzchni tulei cylindrowych, wykonania badań doświadczalnych, a następnie obliczeń, co potwierdza umiejętność prowadzenia unikalnych eksperymentów badawczych przez doktoranta. W związku z powyższym rozprawa mgr inż. Zbigniewa Kurzyny pt. „Wpływ zróżnicowanej struktury geometrycznej powierzchni tulei cylindrowej silnika o zapłonie samoczynnym na przebieg i efekty procesu roboczego” 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). Rozprawa stanowi podstawę do dopuszczenia do publicznej obrony mgr inż. Zbigniewa Kurzyny oraz nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i taki wniosek stawiam do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Rzeszowskiej.


Dariusz Pietras