

Gdańsk, 30.11.2019r.

Prof. dr hab. inż. Jerzy Girtler, prof. zw. PG  
Subisława 23F/6  
80–354 Gdańsk,  
tel.: 58–557–99–32,  
e-mail: [jgirtl@pg.edu.pl](mailto:jgirtl@pg.edu.pl)

## **RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej mgra inż. Emila Wróblewskiego**  
**nt. *Wpływ mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka na sprawność mechaniczną silnika spalinowego***

### **1. UWAGI WSTĘPNE – DANE FORMALNE**

#### **Przedmiot oceny**

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska dotycząca, istotnego zarówno w fazie projektowania, jak też wytwarzania i eksploatacji tłokowych silników spalinowych, wpływu mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka na sprawność mechaniczną silnika spalinowego.

Podstawą dokonania tej oceny była decyzja Rady Wydziału Inżynierii Transportu Politechniki Poznańskiej, podjęta w dniu *29 października 2019 r.* na podstawie art. 20 ust. 5 i 6, Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, wraz ze zmianami z dn. 1.10.2014 r. (Dz. U. z 2014 r.) oraz pismo dziekana Wydziału Inżynierii Transportu Politechniki Poznańskiej z dnia *29 października 2019 r.*

#### **Wprowadzenie**

Zarówno w technice samochodowej, jak i okrętowej, podejmowane są systematyczne działania zmierzające do zwiększania sprawności ogólnej silnika. Wiążą się one z dążeniem do zmniejszania jednostkowego zużycia paliwa. Jedną z możliwych takich działań jest związane z dążeniem do zwiększenia sprawności mechanicznej silnika. Wymaga to zmniejszenia strat tarcia w układach tribologicznych tłokowego silnika spalinowego, głównie takich jak „tłok

z pierścieniami-tuleja cylindrowa”. Wynika to z tego, że właśnie w tych układach powstają największe straty mechaniczne związane z istnieniem tarcia między powierzchniami bocznymi tłoków a gładziami tulei cylindrowych, w których się poruszają. Wobec tego Autor rozprawy przyjął (i słusznie), że najodpowiedniejszym sposobem zmniejszenie jednostkowego zużycia paliwa, przy istniejącym poziomie techniki samochodowej, jest zmniejszenie strat tarcia w układach tribologicznych silnika a zwłaszcza w jego układzie *tłok-pierścienie-tuleja cylindrowa (T-P-C)*, przez polepszenie współpracy powierzchni bocznej tłoka z gładzią tulei cylindrowej. Wprawdzie sprawność mechaniczna silnika jest także funkcją ilorazu maksymalnego ciśnienia ( $p_{\max}$ ) i średniego ciśnienia indykowanego ( $p_i$ ) i to taką, że wraz z wzrostem tego ilorazu sprawność ta maleje, ale ta kwestia ma w tej pracy drugorzędne znaczenie. Zatem trzeba się zgodzić z tym, że poprawa sprawności mechanicznej tłokowych silników spalinowych zarówno o zapłonie samoczynnym jak też iskrowym będzie mogła być zrealizowane w przypadku odpowiedniego ukształtowania powierzchni bocznej tłoka, w tym przypadku w wyniku naniesienia na tej powierzchni szablonu w kształcie litery *H*, a także przez zapewnienie odpowiedniej mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka.

Autor rozprawy wyszedł naprzeciw tym potrzebom i podjął badania w tym względzie skupiając się na ustalaniu zależności istniejących między mikrogeometrią powierzchni bocznej tłoka a sprawnością mechaniczną tłokowego silnika spalinowego. Badania w tym względzie pojęte przez Autora rozprawy mają istotne znaczenie praktycznie, ponieważ można się spodziewać, że zastosowanie geometrii powierzchni nośnej tłoka z warstwą wierzchnią o odpowiedniej mikrogeometrii może spowodować zmniejszenie tarcia między tą powierzchnią a gładzią tuli cylindrowej a zatem – zwiększenie sprawności mechanicznej silnika. Zaś zmniejszenie tarcia w tym układzie tribologicznym może przyczynić się nawet do znacznego zwiększenia trwałości tłoka i tulei cylindrowej. Jednakże, jak zauważył Autor, wymaga to prowadzenie dalszych badań zarówno symulacyjnych, laboratoryjnych jak i eksploatacyjnych.

Rozprawa doktorska, której dotyczy ta recenzja, wychodzi na przeciw temu zapotrzebowaniu i z tego powodu jest ważna zarówno dla praktyki eksploatacyjnej tłokowych silników spalinowych pojazdów samochodowych jak również dla nauki, która powinna przecież między innymi umożliwiać uwiarygodnianie wiedzy użytecznej tworzonej metodami naukowymi, a więc wiedzy pewnej i tym samym prowadzić do zmniejszania obszaru, tzw. wiedzy zdroworozsądkowej, która jest wiedzą niekiedy o dużym stopniu niepewności. Zatem rozprawa ta dobrze wpisuje się w nurt działań zmierzających do zmniejszenia strat tarcia w układach *tłok-pierścienie-tuleja cylindrowa (T-P-C)*, wspomnianych silników spalinowych i tym samym przyczynia się do zwiększania ich sprawności mechanicznej. Wobec tego uważam tematykę tej pracy za aktualną i ważną nie tylko dla nauki, ze względu na jej walory poznawcze, ale także istotną ze względów praktycznych, przydatnych w obszarach działań technicznych, społecznych i ekonomicznych.

## Problematyka rozprawy

W rozprawie został podjęty problem określenia wpływu mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka, której część nośna została pokryta szablonem w kształcie litery *H*. Znajomość tego wpływu jest warunkiem koniecznym, acz niewystarczającym, do takiego ukształtowania mikrogeometrii powierzchni nośnej tłoka, aby można było uzyskać możliwie najmniejsze straty tarcia i wskutek tego największą sprawność mechaniczną silnika spalinowego. Istotne jest tu także zastosowanie odpowiedniego rodzaju powłoki przeciwтарыowej nakładanej na powierzchnię nośną tłoka. Autor uwzględnił to w rozprawie charakteryzując powłoki przeciwтарыowe naniesione na powierzchnie nośne trzech tłoków eksperymentalnych. Autor przedstawił w tej pracy opis oraz wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych i stanowiskowych. Wyniki te potwierdziły, że istnieje istotny wpływ mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka na sprawność mechaniczną silnika spalinowego i, że można zmniejszyć straty tarcia w układach tribologicznych *tłok-pierścienie-tuleja cylindrowa (T-P-C)*, a tym samym zwiększyć sprawność mechaniczną silnika spalinowego, w przypadku zastosowania w nim zaproponowanych w tej pracy tłoków eksperymentalnych.

W szczególności zawartość tej pracy dotyczy następującej problematyki:

- ogólnej identyfikacji wiedzy w zakresie możliwości zmniejszania strat tarcia powodowanych przez powierzchnię boczną tłoka silnika spalinowego,
- rozwoju konstrukcji silników spalinowych z uwzględnieniem ogólnej konstrukcji zespołu tłok-cylinder, podziału i konstrukcji pierścieni tłokowych, kształtu powierzchni nośnej tłoka oraz współpracy układu tribologicznego tłok-cylinder,
- podstawowych problemów związanych z pracą układu tłok-cylinder z uwzględnieniem sposobów minimalizacji zużycia elementów układu tłokowo-cylindrowego i sposobów minimalizacji zużycia elementów układu tego układu,
- rozwoju technologii konstrukcji tłoków w aspektach redukcji strat tarcia oraz zużycia paliwa z uwzględnieniem technologii produkcji tłoka aluminiowego, zastosowania tłoków stalowych w silnikach pojazdów lekkich oraz zastosowania powłok o korzystnych właściwościach tribologicznych,
- symulacyjnych badań wpływu kształtu powierzchni bocznej tłoka na straty tarcia z uwzględnieniem określonego celu symulacji i zakresu badań, danych wejściowych do badań symulacyjnych, programu badań symulacyjnych oraz kryteriów oceny wyników symulacji, opracowania eksperymentalnej mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka oraz wyników badanych symulacyjnych,
- kształtowania i oceny mikrogeometrii tłoków o eksperymentalnym profilu ich powierzchni nośnej z uwzględnieniem stosowanych powłok uszlachetniających na powierzchni nośnej tłoka, opracowania konstrukcji

tłoków eksperymentalnych i technologii ich wykonania, opracowania metody badania uzyskanej mikrogeometrii eksperymentalnych tłoków, pomiarów kształtu mikrogeometrii powierzchni nośnej tłoka oraz badań odchyłek kształtu cylindra,

- własności stanowiska do badań zjawisk tarcia w układzie tłok-cylinder i możliwości jego wykorzystania w tych badaniach z uwzględnieniem opisu stanowiska badawczego, opisu budowy silnika FIAT 170A.046 i układu uzupełniania ładunku w cylindrach silnika, techniki pomiaru momentu obrotowego i rejestracji parametrów pracy na zbudowanym stanowisku badawczym oraz opisu układu regulacji temperatury silnika spalinowego,
- przeprowadzenia badań modelowych strat tarcia tłoków eksperymentalnych z uwzględnieniem opisu stanowiska modelowego do badań strat tarcia, metody pomiarów i programu badań oraz prezentacji wyników przeprowadzonych badań.

Wyniki pracy zostały podsumowane w rozdziale 11., pt. *Podsumowanie*, w którym zawarte są uwagi i wnioski a propozycje kierunków przyszłych badań naukowych są przedstawione w rozdziale 12.

## 2. OCENA METODYCZNA

### Układ rozprawy

Rozprawa doktorska obejmuje 121 stron komputeropisu. Zawiera 104 rysunki 11 tabel. Na początku pracy został zamieszczony spis treści. Kończącą część pracy stanowi literatura, w której jest 56 pozycji literaturowych (w tym 39 anglojęzycznych i 17 w języku polskim) oraz jedna internetowa.

Praca została podzielona na 12 rozdziałów, przy czym wstęp jest pierwszym rozdziałem.

**W rozdziale pierwszym** (p.t. *Wstęp*), który obejmuje 1,5 strony, została przedstawiona, w ujęciu ogólnym, wiedza znana i częściowo nie związana z tematem pracy. Można tu przykładowo podać takie stwierdzenia jak: „*Konstrukcja silnika spalinowego związana jest z dokonaniem w 1863r. wynalazkiem Etienne Lenoira.*”, albo „*W całej historii rozwoju silników spalinowych dostrzegano głównie jego trakcyjne zastosowania.*” i inne. Ale Autor nie wskazał jak ta wiedza wpłynęła na Jego przekonanie, że trzeba określić wpływ mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka na sprawność mechaniczną silnika spalinowego, co jest przecież tematem rozprawy doktorskiej. To, co przedstawił Autor we wstępie jest prawdą, ale nie ma w nim studium analityczno-krytycznego, z którego wynikałoby logiczne, że na obecnym etapie rozwoju nauki i techniki samochodowej zachodzi konieczność określenia wpływu mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka na sprawność mechaniczną silnika spalinowego, gdyż znajomość tego wpływu jest warunkiem koniecznym zaprojektowania tłoków o takim kształcie jego powierzchni nośnej, która umożliwiłaby znaczące

zmniejszenie tarcia między nią a gładzią tulei cylindrowej. Z przedstawionych we wstępie rozważań nie wynika też, że następny rozdział (drugi) powinien mieć tytuł „*Rozwój konstrukcji silników spalinowych*”. Uważam też, że we wstępie brak jest wystarczająco przejrzystego uzasadnienia potrzeby podjęcia takiego zakresu tematycznego, jaki zawiera rozprawa. Ale temat pracy jest niewątpliwie istotny ze względów zarówno poznawczych jak też utylitarnych.

**Rozdział drugi** (p.t. *Rozwój konstrukcji silników spalinowych*) obejmuje 10 stron i nie odpowiada w pełni zawartej w nim treści. Rozdział ten zawiera tylko ogólny opis konstrukcji układu tribologicznego *tłok-pierścienie-tuleja cylindrowa (T-P-C)*, z uwzględnieniem podziału i konstrukcji pierścieni tłokowych, kształtu powierzchni nośnej tłoka, współpracy elementów układu *T-P-C* i bardzo krótkie scharakteryzowanie problemów związanych z pracą tego układu. Brakuje w nim nawiązania do treści rozdziału 1., które wskazywałyoby na potrzebę jego opracowania. W moim przekonaniu rozważania zawarte w tym rozdziale są przedstawione komunikatywnie i mają znaczenie zarówno poznawcze jak też utylitarne. Nie został w nim jednak uwypuklony związek opisanego rozwoju układu *T-P-C* z dążeniem nie tylko producentów silników spalinowych tłokowych ale też ośrodków naukowych do zwiększania sprawności mechanicznej tych silników w drodze kształtowania mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka, a przecież wiadomo, że takie dążenie było. Ale inne starania, np. zmniejszenie liczby pierścieni tłokowych, czy zmniejszenie powierzchni styku pierścieni z cylindrem, prowadzące do zwiększenia sprawności mechanicznej silnika, zostały zasygnalizowane. Także dobrze, w ujęciu syntetycznym, została przedstawiona współpraca elementów układu *T-P-C* i podstawowe problemy związane z pracą tego układu. Jednak zawarte w tym rozdziale rozważania nie nawiązują konstruktywnie do dotychczasowego dorobku w zakresie kształtowania warstw wierzchnich powierzchni bocznych tłoków silników spalinowych, z którego wynikałaby konieczność podjęcia w rozprawie zagadnienia kształtowania mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoków tego rodzaju silników. Brakuje też syntetycznego poglądu Autora na wyniki własnych rozważań. Uważam, że byłoby dobrze, gdyby w tym rozdziale był jeszcze podrozdział 2.6., np. o tytule *Uwagi i wnioski* (bądź innym), w którym Autor mógłby wyjaśnić, jaki był sens napisania tego rozdziału a także wskazać, jaki mają zawarte w tym rozdziale rozważania związek z mikrogeometrią powierzchni bocznej tłoka, której wpływ na sprawność mechaniczną silnika spalinowego musi być zbadany i dlatego jest przedmiotem rozważań w doktoracie. Ponadto można byłoby tu wykazać, że rozdział ten jest konsekwencją wiedzy zawartej we wstępie rozprawy i że z tego rozdziału wynika potrzeba opracowania rozdziału następnego – trzeciego, właśnie o takim tytule, jaki istnieje w tej pracy.

**W rozdziale trzecim** (pt. *Procesy zużycia elementów grupy tłokowo-cylindrowej*), który obejmuje 9 stron, zostały scharakteryzowane procesy zużycia układu tribologicznego *T-P-C* na bazie wiedzy ogólnie znanej specjalistom zajmującym się projektowaniem i eksploatacją tłokowych silników spalinowych. Zatem wiedza w nim zawarta mogłaby być ograniczona bez uszczerbku dla pracy,

zwłaszcza ta, która jest w podrozdziale 3.2. Niestety brakuje, jak już wspomniałem w odniesieniu do poprzedniego rozdziału, logicznego uzasadnienia, że ten rozdział powinien następować po rozdziale 2. W rozdziale tym, podobnie jak w rozdziale 2, również nie ma odniesienia Autora, które logicznie i jednoznacznie ujawniłoby związek przedstawionych w nim przyczyn zużywania elementów układu tribologicznego  $T-P-C$  i sposobów minimalizacji jego zużycia z mikrogeometrią powierzchni bocznej tłoka. W tym rozdziale, podobnie jak w rozdziale 2, przydałby się dodatkowy podrozdział, np. o tytule „*Uwagi i wnioski*” (bądź innym), w którym Autor wyjaśniłby, jakie znaczenie ma ten rozdział w procesie kształtowania mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka, niezbędnej do istotnego zmniejszenia strat tarcia w układzie tribologicznym  $T-P-C$  i spowodowania znaczącego wzrostu sprawności mechanicznej silnika spalinowego. W rozdziale tym została przedstawiona funkcyjna zależność mocy tarcia ( $N_T$ [W]) tłoków (jeden był wykonany ze stali a drugi – z aluminium) od temperatury ( $t_o$ [°C]) oleju smarowego (rys. 3.8, str. 23) obrazującego wyniki badań symulacyjnych i dobrze, ale po co, skoro nie wynika on logicznie z treści zawartej w tym rozdziale a pod nim (w, 9 od dołu) Autor stwierdza, że tłoki żeliwne charakteryzują się dobrymi własnościami ślizgowymi, ale mają dużą gęstość. Ale stalowe tłoki także mają dużą gęstość, nawet (w zależności od ilości składników stopowych) większą. Ze względu na temat pracy bardziej przydatna byłaby zależność funkcyjna mocy tarcia od temperatury oleju smarowego dla różnych znanych już mikrogeometriach powierzchni bocznej tłoka, niezbędnych do istotnego zmniejszenia strat tarcia w układzie tribologicznym  $T-P-C$ . Z komentarza dotyczącego rys. 3,8 i zamieszczonego tuż pod rysunkiem wynika, że obrazuje on zależność  $N_T = f(t_o)$  a podpis rysunku jest taki: „*Rys. 3.8. Porównania wysokości tłoka stalowego i aluminiowego*”, co oznacza, że ten podpis jest błędny. Błędny podpis wynika także z oznaczenia osi odciętej (°C – stopień Celsjusza) i rzędnej (W – wat). W rozdziale tym jest przedstawiona ogólna wiedza dotycząca technologii pokrywania gładzi tulei cylindrowych powłokami o dobrych właściwościach ślizgowych i odpornych na ścieranie, ale nie ma takiej wzmianki o powłokach nakładanych na pierzchnie boczne tłoków, a to jest związane bezpośrednio z celem pracy, która dotyczy badania wpływu mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka na sprawność mechaniczną silnika spalinowego, w celu opracowania powierzchni nośnej tłoków eksperymentalnych niezbędnej do istotnego zmniejszenia strat tarcia w układzie tribologicznym  $T-P-C$ . Z tego rozdziału także nie wynika, że konieczny jest rozdział 4 o tytule takim, jaki jest w tej rozprawie. W tym rozdziale, podobnie jak w poprzednim także jest potrzebny podrozdział, w który Autor mógłby uwypuklić jego znaczenie dla tej rozprawy i wyeksponować te jego elementy, które są najistotniejsze dla dalszych rozważań dotyczących opracowania procesu kształtowania mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka, niezbędnej do istotnego zmniejszenia strat tarcia w układzie tribologicznym  $T-P-C$  i spowodowania znaczącego wzrostu sprawności mechanicznej silnika spalinowego. Ale wiadomo, że najpierw należy wykazać, jaki jest wpływ mikrogeometrii powierzchni bocznej

tłoka na sprawność mechaniczną silnika spalinowego, ponieważ to jest tematem rozprawy.

**Rozdział czwarty** (pt. *Technologie konstrukcji tłoków w aspektach redukcji strat tarcia oraz zużycia paliwa*) obejmuje 5 stron i zawiera komunikatywne przedstawienie technologii produkcji tłoków aluminiowych i potrzeby zastosowania tłoków stalowych w silnikach pojazdów lekkich oraz powłok o korzystnych właściwościach tribologicznych, z uwzględnieniem aktualnej wiedzy. Autor słusznie też stwierdził, że przeanalizowane w tym rozdziale innowacyjne technologie konstrukcyjne tłoków prowadzą do wniosku, że umożliwiają one redukcję strat tarcia. To oczywiste, ponieważ po to te technologie zostały opracowane. Ale Autor w tym rozdziale nie wspomniał, podobnie jak we wcześniejszych rozdziałach, że konieczne jest także kształtowanie mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka, niezbędnej do istotnego zmniejszenia strat tarcia w układzie tribologicznym *T-P-C*, ze względu na jej istotny wpływ na sprawność mechaniczną silnika spalinowego. W tym rozdziale także brak jest takiego podrozdziału, w którym byłoby wyeksponowane to, co jest najistotniejsze dla realizacji celu pracy sformułowanego w rozdziale 5. W ogóle z tego rozdziału nie wynika konieczność opracowania 5-tego rozdziału.

**W rozdziale piątym** (pt. *Cele i teza pracy*), obejmującym 1,7 strony, zostały przedstawione cel główny i cele cząstkowe w sposób czytelny i jednoznaczny. Nie ma jednak w nim tezy pracy, jak sugeruje jego tytuł (str. 33, w. 1-3 od dołu). Zdanie, które Autor uznał za tezę jest zdaniem, które w metodologii nauk empirycznych należy do zbioru zdań nazywanych obserwacyjnymi (sposstrzeżeniowymi, bazowymi), co szerzej zostało wyjaśnione w uwadze ogólnej nr 2. Uważam jednak, że uznanie przez Autora rozprawy zdania obserwacyjnego (sposstrzeżeniowego) za tezę nie jest istotnym jej mankamentem, ponieważ nie jest wymagane ustawowo, aby rozprawa doktorska wносиła istotny wkład do nauki, lecz aby zawierała oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i była świadectwem, że jej Autor ma ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie naukowej, której dotyczy ta rozprawa. Z reguły młodzi pracownicy nauki uważają zdania obserwacyjne za tezy bądź hipotezy i są tak przekonani o swojej racji w tym względzie, że nie ma potrzeby, aby promotor im zakazywał tak uważać. W tym przypadku należy to zostawić recenzentowi. Ponadto byłoby dobrze, gdyby Autor napisał, że wykazanie prawdziwości sformułowanego w tym rozdziale zdania sposstrzeżeniowego (obserwacyjnego) wymagało opracowania odpowiedniego sposobu rozwiązania tego problemu badawczego, który został przedstawiony w rozdziale 6.

**Rozdział szósty** (pt. *Sposób rozwiązania problemu badawczego*) obejmuje 1,8 strony i zawiera wiedzę znaną w tribologii i miernictwie, a dotyczące zjawisk towarzyszących hydrodynamicznemu tarcia w układzie tribologicznym *T-P-C* oraz konieczności dokonywania pomiarów w obszarze filmu olejowego istniejącego między parami trącymi. I ten fragment rozdziału nic nowego nie wnosi do rozprawy. Ale w tym rozdziale istotne jest umiejętne sformułowanie przez Autora rozprawy procedury przeprowadzenia badań umożliwiających wykazanie

prawdziwości zdania spostrzeżeniowego sformułowanego w rozdziale 5, które polega na (str. 35):

- opracowaniu eksperymentalnej mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka,
- przeprowadzeniu badań symulacyjnych z zastosowaniem programu komputerowego „Kolben”,
- wykonaniu powierzchni nośnej tłoków eksperymentalnych i pomiarów mikrogeometrii szablonu w kształcie litery *H*, naniesionego na wspomnianą powierzchnię nośną,
- przeprowadzeniu pomiarów tłoków eksperymentalnych na stanowisku modelowym.

Uważam, że ta procedura, zaproponowana przez Autora, jest wystarczająca do wykazania w drodze badań symulacyjnych i laboratoryjnych prawdziwości wspomnianego zdania spostrzeżeniowego.

**W rozdziale siódmym** (pt. *Symulacyjne badanie wpływu kształtu powierzchni bocznej tłoka na straty tarcia*), który obejmuje 32 strony, przedstawiono cel symulacji, sprecyzowano dane wejściowe do badań symulacyjnych, podano zakres i program badań symulacyjnych, przedstawiono opracowanie eksperymentalnej mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka i wyniki badań symulacyjnych. Z treści rozdziału wynika, że Autor monografii dobrze opanował umiejętności stosowania pakietu programów „Kolben”, który jest w pełni przydatny do numerycznego wyznaczania parametrów określających współpracę tłoka z zespołem pierścieni i gładzią tulei cylindrowej. Umożliwiło to Autorowi określenie cech profilu powierzchni nośnej tłoka w warunkach tarcia płynnego istniejącego między tłokiem a tuleją. Istotnymi wynikami tych badań dla fazy projektowania, wytwarzania i eksploatacji silników spalinowych tłokowych są spostrzeżenia 1-5 przedstawione na str. 58 i 59. Słuszne jest więc stwierdzenie Autora, że można przyjąć, iż redukcja tarcia istniejącego między powierzchnią nośną tłoka i gładzią cylindra jest możliwa a opracowane kształty powierzchni istotnie przyczyniły się do obniżenia strat tarcia między tłokiem a cylindrem, przy czym straty tarcia ulegają zmniejszeniu wraz z wzrostem prędkości obrotowej wału korbowego. Niestety i w tym rozdziale nie ma odniesienia się Autora do znaczenia uzyskanych wyników pod kątem ich przydatności w dalszych badaniach a zwłaszcza dla potrzeb kształtowania i oceny mikrogeometrii tłoków o eksperymentalnym profilu powierzchni nośnej, które są przedmiotem rozważań zawartych w rozdziale 8.

**Rozdział ósmy** (pt. *Kształtowanie i ocena mikrogeometrii tłoków o eksperymentalnym profilu powierzchni nośnej*) obejmuje 19 strony i zawiera interesujący opis powłok naniesionych na powierzchnię boczną tłoka – rodzaju i metody ich przemysłowego nanoszenia. Oryginalną częścią tego rozdziału jest fragment dotyczący opracowania eksperymentalnych tłoków z naniesionymi na ich powierzchni nośnej szablonów w kształcie litery *H* oraz metody badania uzyskanej mikrogeometrii tychże tłoków. Prawidłowo zostały wykonane pomiary chropowatości powierzchni bocznej tłoków eksperymentalnych oraz kształtu mikrogeometrii tych tłoków, które umożliwiły sformułowanie wniosków mających walory zarówno poznawcze jak też użyteczne. Brakuje jednak wyeksponowania



tych rezultatów zawartych w rozdziale, których logiczny komentarz Autora wskazywałyby jednoznacznie na potrzebę takiego ujęcia rozdziału następnego (dziewiątego), jaki został przedstawiony w tej monografii. Wskutek tego nie ma czytelnego powiązania logicznego tego rozdziału z rozdziałem dziewiątym.

**W rozdziale dziewiątym** (pt. *Laboratoryjne stanowisko do badań zjawisk tarcia w układzie tłok-cylinder*), obejmującym 13 stron, zostały przedstawione cechy konstrukcyjne oraz możliwości badawcze stanowiska laboratoryjnego z silnikiem FIAT 170A046 ze szczególnym uwzględnieniem budowy tegoż silnika, układu uzupełnienia ładunku w cylindrach, pomiaru momentu obrotowego i rejestracji parametrów pracy oraz układu regulacji temperatury oleju smarowego. Jednak podobnie jak w przypadku poprzednich rozdziałów, nie ma ustosunkowania się Autora do kwestii, w jakim stopniu stanowisko to jest przysposobione do weryfikacji wyników badań symulacyjnych opisanych w rozdziale siódmym i na ile wiarygodnie może być na nim sprawdzone ukształtowanie i dokonana ocena mikrogeometrii tłoków o eksperymentalnym profilu powierzchni nośnej, tym bardziej, że wspomniane ukształtowanie i ocena były przedmiotem rozważań w rozdziale ósmym.

**Rozdział dziesiąty** (pt. *Badania modelowe strat tarcia tłoków eksperymentalnych*) obejmuje 13,5 strony i zawiera interesujące wyniki badań modelowych. Badania te umożliwiły określenie wpływu zmiany mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka eksperymentalnego o określonym szablonie i pokrytej powłoką grafitową, co było głównym celem badań Autora tej rozprawy. Badania te zostały przeprowadzone według opracowanego programu, w którym uwzględnione zostały różne, ale ściśle ustalone wartości prędkości obrotowej wału korbowego oraz ciśnienia przed zaworami uzupełnienia ładunku. Z badań tych wynika, że główny cel badawczy przyjęty w pracy doktorskiej i cele cząstkowe zostały osiągnięte. Wyniki badań potwierdziły spodziewany fakt wyraźnego zmniejszenia strat tarcia w przypadku wszystkich eksperymentalnych tłoków, zwłaszcza przy wyższych wartościach prędkości obrotowej wału korbowego silnika spalinowego.

**W rozdziale jedenastym** (pt. *Podsumowanie*), obejmującym 1,2 strony, zostało przedstawione ustosunkowanie się Autora pracy do uzyskanych wyników badań, w formie wniosków i uwag (sposrządzeń).

**Rozdział dwunasty** (pt. *Kierunki dalszych badań*) obejmuje 0,5 strony. W tym rozdziale Autor monografii przedstawił 6 propozycji dotyczących przyszłych badań.

Proporcje między rozdziałami w zasadzie można uznać za właściwe. Treść rozprawy jest zgodna z tytułem. Także treści poszczególnych rozdziałów (poza rozdziałem 2) odpowiadają ich nagłówkom, które jednoznacznie wskazują czytelnikowi, jaka wiedza może być w nich zawarta.

Kolejne rozdziały nie zostały powiązane logicznie w całość rozprawy. Brak takiego powiązania sprawia, że nie można w niej dostrzec pragmatyzmu naukowego, czyli tego, że treść danego rozdziału jest powiązana z treścią rozdziału bezpośrednio go poprzedzającego i z niej jednoznacznie wynika rozdział następny.

Mimo jednak braku tej przejrzystości można uznać, że struktura tej pracy doktorskiej jest prawidłowa.

### **Sposób opracowania i przedstawienia rozprawy**

Podjęte w rozprawie zagadnienie dotyczące określenia wpływu mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka na sprawność mechaniczną silnika spalinowego zostało przedstawione w sposób przejrzysty i wystarczająco komunikatywny. Założenia i metody przyjęte w rozprawie są poprawne. Wynikają one ze słusznego poglądu Autora tej rozprawy, że *przez odpowiednie ukształtowanie mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka istnieje możliwość znacznego zmniejszenia tarcia istniejącego między powierzchnią nośną tłoka a gładzią tulei cylindrowej a przez to możliwe jest istotne zwiększenie sprawności mechanicznej silnika spalinowego.*

W rozprawie tej został podany jeden cel poznawczy o ważnym znaczeniu dla nauki i pięć celów istotnych ze względów utylitarnych, nazwanych przez Autora cząstkowymi, których osiągnięcie było warunkiem koniecznym osiągnięcia celu poznawczego. Cele te zostały ściśle i jednoznacznie sprecyzowane. Celem poznawczym i zarazem utylitarnym, istotnym tak dla nauki, jak i praktyki eksploatacyjnej silników spalinowych tłokowych, było (str. 33) *określenie wpływu kształtu mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka w warunkach przeciętnych obciążeń mechanicznych i cieplnych na: warunki tworzenia filmu olejowego, parametry geometryczne tłoka, wielkość strat tarcia, sprawność mechaniczną i zużycie powierzchni współpracujących elementów tłok-cylinder.*

Uzasadnienia naukowe przedstawione w rozprawie są poprawne zaś interpretacja wyników badań uwzględnia dotychczasowy stan wiedzy w tym zakresie, którego rozprawa dotyczy, i dla tego nie budzą zastrzeżeń. Istotnym walorem rozprawy jest to, że jej Autor ostrożnie sprecyzował wnioski wynikające z badań. Wobec tego trzeba stwierdzić, że rozprawa jest interesującą pracą promocyjną o walorach zarówno poznawczych jak i utylitarnych, istotnych dla praktyki. Wpłynęła na to:

- 1) dobra znajomość Autora tej rozprawy praktycznych możliwości konstrukcyjnych i technologicznych kształtowania powierzchni bocznych tłoków silników spalinowych,
- 2) bardzo dobre rozeznanie w obszarze wiedzy teoretycznej, mieszczącej się w dyscyplinie naukowej *budowa i eksploatacja maszyn* (obecnie *inżynieria mechaniczna*), a w szczególności dotyczącej projektowania, wytwarzania i eksploatacji tłokowych silników spalinowych, zwłaszcza w zakresie możliwości zmniejszenia strat mechanicznych układu tribologicznego *tłok-pierścienie uszczelniające-tuleja cylindrowa* a tym samym zwiększenia sprawności mechanicznej tłokowego silnika spalinowego, ale także zmniejszania zużycia oleju smarowego oraz zużycia powierzchni współpracujących par kinematycznych.

Rozprawa została przygotowana bardzo starannie, z uwzględnieniem zarówno aktualnej wiedzy z dyscypliny naukowej *budowa i eksploatacja maszyn* (obecnie

*inżynieria mechaniczna*), której ta rozprawa dotyczy, jak również wiedzy praktycznej związanej z dążeniem producentów silników spalinowych tłokowych do zwiększenia ich sprawności, nie tylko mechanicznej, ale także trwałości, niezawodności i zmniejszenia szkodliwości ekologicznej tego rodzaju silników. Nie mam więc wiele istotnych uwag zarówno ogólnych jak i szczegółowych, które wymagałyby wyjaśnienia. Można jednak sformułować kilka takich uwag, które mogłyby być uwzględnione w dalszej pracy naukowej Autora tej rozprawy.

Uważam, że wyjaśnienia wymagają następujące spostrzeżenia, jako uwagi ogólne, które należy uznać za dyskusyjne, związane ściśle z tą rozprawą:

1. Rozdziały zawierają częściowo wiedzę znaną i mogłoby tak być, gdyby Autor jednoznacznie napisał, co z tej wiedzy wynika dla dalszych rozważań przedstawionych w tych rozdziałach. Przykładowo, w rozdziale 1. pt. *Wstęp* jest napisane (str. 5, w. 2 ÷ 9 od góry): „*Konstrukcja silnika spalinowego związana jest z dokonaniem w 1863 r. wynalazkiem Entienne Lenoira. I dalej: „W grupie obiektów technicznych będących źródłem energii trudno jest znaleźć inny, który przez ponad sto pięćdziesiąt lat miałby współcześnie tak powszechne zastosowanie jak tłokowy silnik spalinowy.”*”

.....  
*W całej historii rozwoju silników dostrzegano głównie jego trakcyjne zastosowania. ...*”, itd. Nie wiadomo, po co te informacje zostały tu zamieszczone, jaki jest ich związek z tematem pracy i dalszymi rozważaniami zamieszczonymi w tym rozdziale bądź w innych rozdziałach. Podobnie jest w rozdziale 2 i innych, gdzie także nie wiadomo, po co zamieszczone zostały niektóre zdania, np. zdania (str. 7, w. 2 do 5 od góry): „*Zasada działania tłokowego silnika pozostaje niezmiennie od chwili jego powstania. Doprowadzona do silnika energia chemiczna przejawia się w formie wiązań międzycząsteczkowych ciekłym lub gazowym paliwie węglowodorowym.*” Te stwierdzenia mogłyby być, gdyby był wykazany ich związek z mikrogeometrią powierzchni bocznych tłoków silnika spalinowego.

2. Niestety przestawione w rozprawie zdanie, jako teza (str. 33, w. 1-3 od dołu) nie jest tezą jak sugeruje tytuł rozdziału 5. Zdanie, które Autor uznał za tezę jest zdaniem, które w metodologii nauk empirycznych należy do zbioru zdań nazywanych obserwacyjnymi (spostrzeżeniowymi, bazowymi). Oczywiście jest, że zdanie to nie może być uznane za prawdziwe, ale jego prawdziwość wykazana powinna być w drodze badań empirycznych i logicznego uzasadnienia jego prawdziwości. To jest oczywiste, gdyż Autor w oparciu o badania własne jak i innych badaczy dostrzegł, że odpowiednie ukształtowanie mikrogeometrii powierzchni nośnej tłoka może przyczynić się do zmniejszenia strat tarcia i to powinien potwierdzić wykonując odpowiedni eksperyment. I Autor to potwierdził bez żadnych wątpliwości w rozdziale 10, ale nie udowodnił, gdyż żadnego dowodu nie przeprowadził z zastosowaniem, którejkolwiek ze znanych, reguły inferencyjnej. Teza jest pojęciem nauk empirycznych zaczerpniętym z języka matematyki, gdzie jest

częścią twierdzenia. Zatem wynika z matematycznej interpretacji twierdzenia. Każde twierdzenie matematyczne (*TM*) formułowane jest w formie implikacji syntaktycznej lub syntaktycznej równoważności. Ze względu jednak na to, że równoważność tę da się zastąpić iloczynem implikacji syntaktycznych, zatem ogólny (formalny) zapis twierdzenia takiego (*TM*) może być wyrażony w formie syntaktycznej implikacji o postaci:  $TM : Z \Rightarrow T$ , w której zdanie *Z* jest założeniem, a zdanie *T* – tezą tego twierdzenia, którą należy udowodnić. Teza jest zdaniem, którego prawdziwość trzeba udowodnić stosując odpowiednie reguły inferencji (dowodzenia, wnioskowania dedukcyjnego), np. najczęściej stosowaną: *metodę modus ponens* lub *modus tollens*. Pojęcie tezy nie może być inaczej rozumiana w nauce. Formułując tezę (*T*) trzeba mieć na uwadze założenie (*Z*), bez którego tezy nie można udowodnić, a w rozprawie założenia – nie ma.

3. W żadnym rozdziale, poza 11 (pt. *Podsumowani*) nie ma wniosków. Oczywiście, że nie są potrzebne wnioski w rozdziale 12 pt. *Kierunki dalszych badań*, chociaż byłoby pożądanym, aby autor rozprawy wyjaśnił i uzasadnił potrzebę wyszczególnionych w nim działań oraz kolejność przeprowadzania badań. To pozwoliłoby na bardziej precyzyjną ocenę przygotowania Autora do samodzielnej pracy naukowej. Byłoby dobrze, aby każdy z rozdziałów zakończył się podsumowaniami, np. w formie wniosków i uwag, które uwypuklałyby najważniejsze elementy tych rozdziałów. W takim podsumowaniu można byłoby zwrócić uwagę czytelnika na to, jakie było zadanie Autora, jaka sytuacja zmusiła Autora do napisania danego rozdziału, jakie miał Autor możliwości, co Autor wybrał i dlaczego (czy mógł postąpić inaczej), jak zrealizował pierwotne zamierzenie, co to dało dla nauki bądź praktyki, czego Autor nie uwzględnił i dlaczego, na co w przyszłości należy zwrócić uwagę. Wreszcie w podsumowaniu każdego rozdziału Autor mógłby uzasadnić potrzebę napisania kolejnego rozdziału o określonym, takim a nie innym nagłówku. Ten pragmatyzm naukowy ułatwiłby śledzenie rozumowania Autora, a to niewątpliwie wpłynęłoby na powstanie przekonania u czytelnika, że cel rozprawy został całkowicie osiągnięty.

Uważam, że byłoby dobrze, aby Autor monografii uwzględnił w przyszłych pracach naukowych także następujące moje spostrzeżenia, jako uwagi szczegółowe, aby w tych nowych pracach nie było takich stwierdzeń jak:

1. Str. 5, w. 12 od dołu, jest napisane: „W najnowszych konstrukcjach sprawność ogólna nieznacznie przekracza 42 %.” Należałoby tu dodać, że dotyczy to silników samochodowych, ponieważ w okrętownictwie eksploatowane są silniki wolnoobrotowe o sprawności ogólnej 55 %. Byłoby to niepotrzebne, gdyby Autor wcześniej nie wspomniał o transporcie morskim (str. 1, w. 8 od góry) a zaznaczył, że interesują Go silniki stosowane jedynie w transporcie lądowym.
2. Str. 5, w. 22: uwaga podobna do uwagi 1. Należałoby też dodać, że sprawność mechaniczna sięga 70-80 % dotyczy silników samochodowych,

ponieważ wspomniane silniki okrętowe mają sprawność mechaniczną nawet 93 %.

3. Str. 6, w. 3 i 4 od góry, jest napisane: „... co skutkuje okresami naprawczymi na jakie dzieli się czas eksploatacji.” Jest to nieścisłe sformułowanie. Czas eksploatacji, nie tylko silnika spalinowego, lecz każdego urządzenia naprawialnego jest czasem użytkowania bądź też obsługiwanego. Silnik jest użytkowany wtedy, gdy znajduje się w stanie zdatności a obsługiwany, gdy jest w stanie niezdatności (oczywiście w przypadku klasyfikacji alternatywnej stanów). W czasie wykonywania obsługi silnik może być naprawiany, stąd zapewne Autor wspomniał o „okresie naprawczym”.
4. Str. 6, w. 9 i 10 od góry jest napisane: „... zaworu wydechowego ...”. Termin ten jest stosowany w technice samochodowej, ale w pracach naukowych należałoby go unikać, ponieważ silnik spalinowy nie oddycha, więc nie ma wdechu i wydechu. Wobec tego lepiej użyć terminu „zawór wylotowy” i również – terminu „zawór dolotowy” zamiast „zawór ssący”, ponieważ ten zawór nie zasysa powietrze, lecz umożliwia jego dojazd do cylindra.
5. Str. 6, w. 12 od góry jest napisane: „... niezbędny do przetwarzania energii zawartej w paliwie na energię mechaniczną, ...”. W pracy naukowej trzeba wyrażać precyzyjnie myśli, w przeciwnym razie może pojawić się wątpliwość, czy Autor wie, że w przestrzeni roboczej silnika spalinowego następuje podwójna transformacja energii: najpierw energia chemiczna zawarta w paliwie przekształcana jest (w formie ciepła, inaczej na sposób ciepła) na energię wewnętrzną spalin powstających podczas spalania (ta energia jest głównie energią termiczną, inaczej – cieplną, energią wzajemnego oddziaływania cząstek spalin). Następnie energia cieplna zamieniona jest (w formie pracy, inaczej na sposób pracy) na energię mechaniczną, głównie kinematyczną ruchu układu korbowo-tłokowego.
6. Str. 6, w. 12 od góry jest napisane: „...bardziej racjonalne wykorzystanie paliwa, to nie tylko działania ekonomiczne ...”. Uwaga podobna do uwagi 5. Nieprecyzyjne sformułowanie myśli Autora stwarza kłopot w ustaleniu, o co tu chodzi: czy o zapewnienie racjonalnego spalania (może optymalnego?), czy bardziej racjonalnego doboru paliwa spośród paliw dostępnych, czy o jedno i drugie, a może o coś innego. Pojawia się też pytanie, jakie Autor widzi powiązanie tego z mikrogeometrią powierzchni bocznej tłoka i sprawnością mechaniczną?
7. Str. 7 w. 5 i 6 od góry jest napisane: „Energia chemiczna jest zamieniana na energię cieplną w wyniku utleniania paliwa ...”. To zdanie jest też nieprecyzyjne gdyż wskazuje że Autor nie traktuje spalania jako gwałtownego utleniania, któremu towarzyszy zjawisko świetlne i nie wie, że istnieje utlenianie paliwa, którego produkty utleniania mogą uszkadzać pompy wtryskowe silników o zapłonie samoczynnym, zatykać wkłady filtracyjne, osadzać się na końcówkach wtryskiwaczy i zaburzać wtrysk

paliwa, wskutek czego pogarsza się organizacja spalania w przestrzeni roboczej tych silników.

8. Str, 15, w. 1 i 2 od góry jest napisane: „...*Do najważniejszych oddziaływań między podstawowymi elementami układu tłokowo-cylindrowego zalicza się [16]; tłok, pakiet pierścieni , ..., gazy spalinowe.*” Uważam, że wymienione tu są elementy, których wzajemne oddziaływanie powinno być badane. Tłok, pakiet pierścieni, czy też gładź cylindrowa nie są oddziaływaniami a elementami silnika.
9. Str, 23, podpis pod rys. 3.8.jest napisane: „*Porównanie wysokości tłoka stalowego i aluminiowego*”, ale oś rzędnych oznaczona jest, jako W (wat), co sugeruje, że prawdziwe jest to, co Autor napisał na tej stronie (w. 11 i 12 od dołu): „*Na rys. 3.8. przedstawione zostały wyniki symulacji mocy tarcia dla tłoków aluminiowych i stalowych w funkcji temperatury oleju ...*”, czyli, że rysunek obrazuje wyniki badań symulacyjnych mocy tarcia jako funkcji temperatury i nie ma nic wspólnego z wysokością tłoków.
- 10.Str, 23, w. 11 i 12 pod rys. 3.8.jest napisane: „*Na rys. 3.8. przedstawione zostały wyniki symulacji mocy tarcia dla tłoków aluminiowych i stalowych w funkcji temperatury oleju.* Poprawnie byłoby, gdyby zostało napisane, że „*Na rys. 3.8. przedstawione zostały wyniki symulacji mocy tarcia dla tłoków aluminiowych i stalowych w zależności od temperatury oleju*”. Autor przedstawił tu moc tarcia, jako funkcję temperatury oleju. Temperatura jest tu zmienną niezależną a moc zmienną zależną od temperatury. Zatem moc jest funkcją temperatury i Autor zapewne pragnął przedstawić na tym rysunku moc tarcia w zależności od temperatury oleju. Stwierdzenie, że moc została przedstawiona w funkcji temperatury oleju oznacza, że temperatura ta jest funkcją czegoś (czego?), zaś moc tarcia jest funkcjonalem tej temperatury, a tak nie jest.
- 11.Str, 28, w. 3 od dołu jest napisane: „... *trybologicznych*”. Poprawnie byłoby napisać „*tribologicznych*”. Ten termin został przyjęty na jednym z kongresów tribologicznych. Ta uwaga dotyczy też innych podobnych sformułowań w tej pracy, np. (str. 29) należało napisać „*właściwościami tribologicznymi*” a nie – *trybologicznymi*.
- 12.Str, 32, w. 8 i 9 od dołu jest napisane: „... *jest baryłkowy lub inny kształt mikrogeometrii powierzchni ...*”. Baryłkowość a prawidłowo odchyłka od walcowości powierzchni nośnej tłoka bądź gładzi tulei cylindrowej jest cechą makroskopową. Oczywiście odchyłki od walcowości to także stożkowość kielichowość (siodłowość). Autor nie wyjaśnił, więc nie wiem, dlaczego pominął tu odchyłki od kołowości, takie jak kowalność i graniastość. Warto byłoby tu uzasadnić, że istotna jest tylko baryłkowość.
- 13.Str, 36, w. 4 od dołu: uwaga taka jak uwaga 9 i 10; nie można napisać „*Parametry filmu olejowego ... są wyznaczane w funkcji kąta obrotu wału korbowego, ...*”. Wyznacza się parametry filmu olejowego w zależności od kąta obrotu wału korbowego. Wynika to z tego, że parametry filmu olejowego są funkcją tej prędkości.

14.Str, 37, w. 1 i 2 od góry jest napisane: „*Program symulacji numerycznych ułożono tak, aby można było zweryfikować prawidłowość tezy postawionej w rozdziale 5 ...*”. Żaden program symulacji numerycznej nie może zweryfikować prawdziwości tezy. Weryfikuje się prawdziwość hipotezy w drodze wnioskowania indukcyjnego, gdyż z hipotezy nie da się udowodnić. Tezę trzeba udowodnić w drodze wnioskowania dedukcyjnego. W obu przypadkach (weryfikacja hipotezy, dowodzenie tezy) muszą być zastosowane odpowiednie metody wspomnianych wnioskowań. Kwestia dowodzenia tezy jest szerzej wyjaśniona w uwadze głównej nr 2.

Przedstawione spostrzeżenia, jako uwagi ogólne i szczegółowe nie mają znaczącego wpływu tak na wartość metodyczną jak i merytoryczną rozważań, i dlatego można je uznać, za mało istotne dla tej rozprawy. W związku z tym w moim przekonaniu nie obniżają istotnie walorów metodycznych pracy, jednak byłoby dobrze je uwzględnić w przyszłej pracy naukowej.

Literatura została dobrana właściwie do tematu rozprawy, zawiera najnowsze publikacje dotąd wydane, odzwierciedla wiedzę z zakresu ograniczania tarcia, zużycia i kształtowania powierzchni bocznych tłoków silników spalinowych, w tym wiedzę dotyczącą konstytuowania mikrogeometrii powierzchni nośnej wspomnianych tłoków, aby w rezultacie uzyskać znaczne zmniejszenie strat mechanicznych układu tribologicznego „*tłok-pierścienie uszczelniające-tuleja cylindrowa*” a tym samym zwiększenie sprawności mechanicznej tłokowego silnika spalinowego i zmniejszenia jednostkowego zużycia oleju smarowego oraz zużycia powierzchni współpracujących par kinematycznych tegoż układu. Wiedza ta mieści się w dyscyplinie naukowej *budowa i eksploatacja maszyn* (obecnie *inżynieria mechaniczna*). Informacje zawarte w pracy zostały zgromadzone poprawnie pod względem metodycznym, a badania wykonane przez Autora tej rozprawy, niezbędne do uzyskania wspomnianych informacji, zostały wykonane zgodnie z zasadami obowiązującymi w nauce.

Wybór metody opracowania wyników badań empirycznych można uznać za uzasadniony ze względu na przyjęty w pracy cel i jakość uzyskanych wyników.

Terminologia przyjęta w rozprawie przez doktoranta jest w zasadzie zgodna z aktualnie obowiązującym słownictwem.

Przedstawione w rozprawie wywody w poszczególnych rozdziałach są zrozumiałe i stanowią logicznie powiązaną całość.

Materiał ilustracyjny rozprawy, zarówno w formie rysunków jak i w tabel, jest starannie dobrany.

Interpretacja zależności przedstawionych w formie wykresów oraz wyników zamieszczonych w tabelach jest prawidłowa.

**W podsumowaniu stwierdzam, że przedstawione spostrzeżenia w formie uwag ogólnych i szczegółowych nie umniejszają istotnie wartości naukowej tej pracy i dlatego ocenę metodyczną należy uznać za pozytywną.**

### 3. OCENA MERYTORYCZNA

Uważam, że rozważania naukowe podjęte w tej rozprawie, dotyczące zagadnienia wpływu mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka na sprawność mechaniczną silnika spalinowego zostały jasno i przejrzysto przedstawione, a cele jednoznacznie i wystarczająco zrozumiale sprecyzowane. W rozprawie tej zostały uwzględnione najnowsze osiągnięcia współczesnej nauki z zakresu prowadzenia badań empirycznych na stanowisku badawczym i badań symulacyjnych dotyczących wpływu mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka na sprawność mechaniczną silnika spalinowego. Dokonane zostały niezbędne analizy i oceny dokonań głównie w zakresie zmniejszania strat tarcia, zwłaszcza w układzie tribologicznym *T-P-C* i zwiększania tym samym sprawności mechanicznej silników spalinowych tłokowych. Autor wykazał także bardzo dobre rozeznanie w zakresie możliwości zastosowania pakietu programów „Kolben”, który jest (jak Autor wykazał) w pełni przydatny do numerycznego wyznaczania parametrów określających współpracę tłoka z zespołem pierścieni i gładzią tulei cylindrowej. Umożliwiło to Autorowi jednoznaczne określenie cech profilu powierzchni nośnej tłoka w warunkach tarcia płynnego istniejącego między tłokiem a tuleją. Autor tej rozprawy zgromadził wiedzę, która umożliwiła Mu samodzielne prowadzenie badań naukowych w celu rozwijania wiedzy w zakresie dyscypliny naukowej *budowa i eksploatacja maszyn (inżynieria mechaniczna)*.

Do najważniejszych elementów rozprawy, będących istotnymi osiągnięciami merytorycznymi jej Autora można zaliczyć wykazanie, że:

- zastosowanie schodkowego profilu mikrogeometrii powierzchni nośnej tłoka umożliwia uzyskanie zmniejszenia tarcia w układzie tribologicznym *T-P-C*, a tym samym zwiększenia sprawności mechanicznej silnika,
- największy spadek strat tarcia zachodzi w przypadku zastosowania tłoka z półką w kształcie litery *H*, przesuniętą do dołu względem położenia symetrycznego,
- wzrost grubości odnawialnej warstwy oleju smarowego jedynie w ograniczonym zakresie wpływa na zwiększenie grubości filmu olejowego dla tych kątów OWK, przy których obserwowano tendencję do przerywania filmu olejowego,
- zmiana głębokości przewężenia na powierzchni nośnej tłoka schodkowego jest skutecznym środkiem powodującym zmianę jakości pokrycia powierzchni nośnej tłoka filmem olejowym,
- zastosowanie powierzchni schodkowej mikrogeometrii powierzchni nośnej względem powierzchni z odchyłką walcowości (baryłkowej) powoduje istotne zmniejszenie zużycia paliwa.

Do istotnych walorów naukowych tej monografii można także zaliczyć oryginalne sformułowanie problemu badań empirycznych i symulacyjnych wykonanych przez jej Autora.

Aspekty użyteczne tej pracy polegają na wykazaniu wpływu *mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka na zmniejszenie strat tarcia układu tribologicznego tłok-*



*pierścienie uszczelniające-tuleja cylindrowa a tym samym na zwiększenie sprawności mechanicznej tłokowego silnika spalinowego, a także zmniejszenie zużycia paliwa.*

Wymienione elementy rozprawy mogą być uznane, według mego przekonania, za opracowania oryginalne ważne dla nauki i zarazem istotne dla praktyki projektowania, wytwarzania i eksploatacji tłokowych silników spalinowych.

Całość rozprawy oceniam, jako pełne, samodzielne, przedstawione przejrzyste z logicznym tokiem rozumowania, w poszczególnych rozdziałach, opracowanie naukowe dotyczące *określenia wpływu mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka na zmniejszenie strat tarcia układu tribologicznego tłok-pierścienie uszczelniające-tuleja cylindrowa a tym samym zwiększenie sprawności mechanicznej tłokowego silnika spalinowego.*

**W podsumowaniu stwierdzam, że ocenę merytoryczną należy uznać za pozytywną.**

#### **4. OGÓLNA OCENA ROZPRAWY**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgra inż. Emila Wróblewskiego stanowi samodzielne i oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, dotyczącego określenia *wpływu mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka na zmniejszenie strat tarcia układu tribologicznego tłok-pierścienie uszczelniające-tuleja cylindrowa a tym samym zwiększenie sprawności mechanicznej tłokowego silnika spalinowego.*

Uważam tę pracę za w pełni aktualną, trafną, zawierającą wiedzę zarówno o walorach poznawczych, jak też użytkowych. Z pracy tej wynika, że jej Autor wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej *budowa i eksploatacja maszyn* (obecnie *inżynieria mechaniczna*) oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W podsumowaniu stwierdzam, że opracowana przez mgra inż. Emila Wróblewskiego praca doktorska pt. *Wpływ mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka na sprawność mechaniczną silnika spalinowego*, przygotowywana pod opieką promotora, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego zależności sprawności mechanicznej tłokowego silnika spalinowego od mikrogeometrii powierzchni bocznej tłoka oraz jest świadectwem, że jej Autor ma ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie naukowej *budowa i eksploatacja maszyn (inżynieria mechaniczna)* oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. **Zatem spełnia wymagania zawarte w art. 13 ust. 1. wspomnianej ustawy.**

Wobec tego z pełnym przekonaniem wnioskuję o dopuszczenia Autora tej rozprawy do publicznej obrony.

