



dr hab. inż. Paweł Woś, profesor uczelni

Rzeszów; 09.10.2023 r.

**POLITECHNIKA RZESZOWSKA**  
im. Ignacego Łukasiewicza  
**WYDZIAŁ BUDOWY MASZYN I LOTNICTWA**  
**Katedra Pojazdów Samochodowych  
i Inżynierii Transportu**

Al. Powstańców Warszawy 12  
35-959 Rzeszów  
tel. 17 865 1355, [pwos@prz.edu.pl](mailto:pwos@prz.edu.pl)

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Dawida Drabika  
pt. „Sterowanie efektywnym stopniem sprężania w silniku o zapłonie  
iskrowym”**

### 1. Formalna podstawa opracowania recenzji

Podstawę do opracowania i wydania niniejszej recenzji stanowi pismo z dnia 06.07.2023 r. Przewodniczącego Rady naukowej dyscypliny inżynieria mechaniczna Politechniki Opolskiej, Pana dr hab. inż. Piotra Niesłonego (znak pisma RNDIM/103/23) w sprawie sporządzenia recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Dawida Drabika pod wymienionym tytułem.

### 2. Przedmiot i ocena istotności problemu naukowego rozprawy

Rozwój motoryzacji na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci, podobnie jak wielu innych dziedzin gospodarki i całości życia społecznego, jest bardzo silnie uwarunkowany względami poszanowania zasobów i ochrony środowiska naturalnego, jak również minimalizacji negatywnego oddziaływania na zdrowie indywidualne i publiczne oraz jakość życia społeczeństw. Wśród najistotniejszych zagrożeń generowanych przez transport drogowy w tym zakresie wymienia się w pierwszej kolejności emisję szkodliwych składników spalin powstających w wyniku eksploatacji pojazdów, napędzanych wciąż za pomocą silników



spalinowych, które jednak podlegają nieustannemu rozwojowi konstrukcyjnemu i technologicznemu.

Spaliny samochodowe zawierają w swym składzie liczne związki i substancje chemiczne m.in. tlenek węgla (CO), węglowodory (HC), tlenki azotu (NO<sub>x</sub>), cząstki stałe (PM) oraz wiele innych, które przyczyniają się do pogorszenia jakości powietrza a w bezpośrednim oddziaływaniu mogą prowadzić do poważnych problemów zdrowotnych u ludzi - schorzeń układu oddechowego, alergii, chorób nowotworowych.

Z kolei emisja dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>), jako wynik spalania paliw kopalnych uznawana jest za główną przyczynę globalnego efektu cieplarnianego. Stąd ograniczenie emisji dwutlenku węgla jest obecnie priorytetowym celem we wszystkich gałęziach przemysłu i gospodarki, gdzie realizowane są procesy wytwarzania i konwersji energii. Skuteczność działań w tym zakresie, polegająca na redukcji zużycia paliwa przez urządzenia techniczne i procesy technologiczne, jest efektem zwiększania ogólnej sprawności maszyn i przemian energetycznych.

W następstwie rozpoznania i ciągłego narastania skali problemu emisji spalin samochodowych prowadzi się od wielu lat intensywne badania nad metodami skutecznego ograniczania tych niekorzystnych zjawisk powodowanych eksploatacją pojazdów samochodowych. Głównym celem prowadzonych badań jest poznanie mechanizmów powstawania szkodliwych składników spalin i ukierunkowany rozwój technologiczny silników spalinowych tj. opracowanie skutecznych technologii celem poprawy sprawności energetycznej silników spalinowych, redukcji poziomu emisji spalin, wprowadzenie odpowiednich regulacji i norm dotyczących dopuszczalnych poziomów emisji spalin oraz metod i procedur pomiarowych w tym zakresie. Wynikiem tych działań są przyjęte w większości państw świata odpowiednie legislacje odnośnie specyfikacji metod pomiarowych i limitów emisji spalin a także implementacja różnych rozwiązań i systemów technicznych, udoskonaleń w konstrukcji i technologii silników spalinowych.

Niniejsza praca mgr inż. Dawida Drabika zatytułowana „*Sterowanie efektywnym stopniem sprężania w silniku o zapłonie iskrowym*”, realizowana pod opieką naukową promotora prof. dr. hab. inż. Jarosława Mamali oraz przy wsparciu merytorycznym i metodycznym promotora pomocniczego dr. inż. Krzysztofa Prażnowskiego dotyczy sedna powyższych zagadnień. Jej tematyka wpisuje się bowiem w obszary problemowe obejmujące modyfikacje konstrukcyjne silnika celem poprawy sprawności ogólnej i poprawy parametrów operacyjnych silnika. Sformułowany ogólny cel badawczy pracy to „***ocena możliwości zastosowania sterowania efektywnym stopniem sprężania w silniku o zapłonie iskrowym w aspekcie poprawy wskaźników pracy przez zmniejszenie zużycia paliwa***”, który to cel Autor postanowił zrealizować udowodniając nieco zawiłą w swej treści, nie w pełni poprawną stylistycznie tezę, mówiącą że „***istnieje możliwość wpływu na wskaźniki pracy silnika spalinowego przez zmianę procesu sterowania napełnianiem cylindra wpływającym na***

*efektywny stopień sprężania, zdefiniowanego jako stosunek czynnej objętości sprężania do stałej objętości komory spalania w cylindrze, podczas suwu sprężania.”* W szczególności praca ta obejmuje swym zakresem analizę literaturową problematyki naukowej oraz stanu techniki, badania symulacyjne oraz badania eksperymentalne z wykorzystaniem oryginalnej konstrukcji silnika, opracowanej i wytworzonej wg koncepcji własnej Autora pracy.

**Można zatem stwierdzić, że przedstawiona praca doktorska Pana mgr inż. Dawida Drabika wpisuje się swoją tematyką i zrealizowanym zakresem prac w interesujące i aktualne obszary badań poznawczych i aplikacyjnych nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, w szczególności badań nad poprawą wskaźników pracy i sprawności ogólnej silników spalinowych z zapłonem iskrowym oraz obniżeniem zużycia paliwa w transporcie drogowym.**

### **3. Charakterystyka rozprawy i ocena strony metodycznej – uwagi o charakterze redakcyjnym**

#### **3.1. Problematyka rozprawy**

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera w swojej treści część studialną, opartą na analizie dostępnego materiału źródłowego z zakresu problematyki pracy oraz część eksperymentalno-obliczeniową, która obejmowała przeprowadzonych badań symulacyjnych i badań na stanowiskach hamownianych z wykorzystaniem jednocylindrowego silnika o zapłonie iskrowym, wyposażonego w dodatkowy, sterowany zawór upustowy otwierany cyklicznie podczas suwu sprężania. Zadaniem zaworu upustowego było redukowanie wartości ciśnienia w końcu suwu sprężania. W ten sposób imitowano efekt zmiany rzeczywistego stopnia sprężania, tj. stosunku czynnej objętości sprężania  $V_c$  do objętości komory spalania  $V_k$ , a nazwanego w pracy **efektywnym stopniem sprężania**, na zasadzie zbliżonej do znanego w teorii silników tłokowych i stosowanego obecnie w zaawansowanych konstrukcjach obiegu Atkinsona. Obieg Atkinsona cechuje się wyższą sprawnością teoretyczną od obiegu Otto i jest realizowany praktycznie poprzez układ zmiennych faz rozrządu działający w zakresie zamknięcia zaworu dolotowego, czyli poprzez opóźnienie rozpoczęcia kompresji ładunku w suwie sprężania.

W przeprowadzanych badaniach i analizach wpływu wprowadzonych modyfikacji i regulacji Doktorant odnosi się do tak zdefiniowanego jak wyżej **efektywnego stopnia sprężania  $\epsilon_{ev}$** , podlegającemu kontrolowanym zmianom poprzez regulację ciśnienia sprężania. Stąd w dalszej części pracy parametr ten jest praktycznie obliczany jako stosunek zmierzonej wartości ciśnienia w końcu suwu sprężania  $p_{max}$  do wartości ciśnienia w kolektorze dolotowym  $p_d$ , przy upraszczającym, aczkolwiek uzasadnionym założeniu, że przebieg procesu sprężania jest realizowany według przemiany izotermicznej. **Zastanawiające jest jednak to, że taka**

**definicja efektywnego stopnia sprężania jest rozciągnięta na szerszy obszar cyklu roboczego silnika, uwzględniającego również fazę spalania** (np. dane w tabeli 5.6, na rys. 5.10 i 5.11), **gdzie prawo Boyle'a-Mariotte'a z oczywistych powodów nie może być zachowane**. Wydaje się, że takie podejście należy potraktować jako błąd metodyczny, a dla celów wykorzystania i interpretacji ilorazu maksymalnego ciśnienia spalania i ciśnienia w kolektorze dolotowym należało zdefiniować odrębny wskaźnik lub parametr, który tak określony byłby znacząco różny od pojęcia stopnia sprężania w rozumieniu '*ex definitione*'.

Badania eksperymentalne na silnikowym stanowisku hamownianym realizowano w dwóch trybach: a) z napędem obcym silnika badawczego, tj. bez zasilania paliwem i bez aktywacji procesu spalania oraz b) w ograniczonym zakresie - z uwagi na określone trudności techniczne - w trybie normalnej pracy silnikowej. Przeprowadzono również dodatkowe badania identyfikacyjne wpływu modyfikacji układu dolotowego polegającej na zastąpieniu klasycznej przepustnicy stożkowymi kryzami na parametry robocze silnika oraz jego osiągi, jak również osiągi pojazdu napędzanego takim silnikiem. Każdorazowo obliczano wartość efektywnego stopnia sprężania jako parametr oddziaływania określony w tytule pracy.

Na podstawie uzyskanych wyników sformułowane zostały szczegółowe wnioski poznawcze, generalnie potwierdzające spodziewane efekty badawcze realizowanych eksperymentów, a także wnioski użytkarne i określające kierunki i zakres dalszych prac naukowych.

### **3.2. Struktura rozprawy**

Całość opracowania zawiera 121 stron tekstu skonfigurowanego w formacie A4, łącznie ze spisem treści, streszczeniem w języku polskim i angielskim, wykazem ważniejszych skrótów i oznaczeń, bibliografią, na którą składa się łącznie 124 pozycji, w tym 114 cytowanych prac naukowych i 10 internetowych źródeł informacji technicznej. Autorskie lub współautorskie cytowania dzieł Doktoranta obejmują 5 pozycji bibliograficznych. W pracy zamieszczono 98 rysunków i 19 tablic – materiał ilustracyjny w większości czytelny i dobrej jakości graficznej. Rozprawa jest podzielona na 8 rozdziałów, w tym rozdział zawierający wprowadzenie do tematu pracy, jej podsumowanie oraz wykaz literatury. Pozostałe rozdziały, stanowiące trzon merytoryczny pracy, są rozbudowane o kilka podrozdziałów.

Pracę rozpoczynają kilkustronicowe streszczenia w językach polskim i angielskim, gdzie stosunkowo obszernie opisano problematykę badawczą pracy, jej cel i zakres. Następnie zamieszczono usystematyzowany wykaz użytych w pracy skrótów i oznaczeń, który jednak po analizie całości tekstu **okazuje się być nie w pełni kompletnym**.

Rozdział 1 stanowi zwięzłe wprowadzenie do tematyki pracy. Zasygnalizowano w nim potrzebę i kierunki rozwoju konstrukcyjnego i technologicznego silników spalinowych na rzecz poprawy ich sprawności i wydajności. W nawiązaniu do zakresu pracy wskazano możliwość

zmiany stopnia sprężania jako efektywnej metody oddziaływania na procesy robocze i regulacji parametrów silnika.

Rozdział 2 zatytułowany „Efektywny stopień sprężania silnika spalinowego” stanowi dalsze rozwinięcie dyskusji uzasadniającej wybór podjętej problematyki badawczej. Scharakteryzowano pojęcie stopnia sprężania jako parametru konstrukcyjnego silników spalinowych wraz z zestawieniem i opisaniem niektórych rozwiązań modelowych i rzeczywistych, pozwalających na jego zmianę w trakcie pracy silnika. Zwrócono także uwagę na proces napełniania cylindra ładunkiem i sprawność tego procesu uwarunkowaną konstrukcją układów dolotowych, które odpowiadają za tzw. starty pompowania i w rezultacie sprawność ogólną silnika.

W świetle przeprowadzonej dyskusji problemowej sformułowano w rozdziale 3 cel, zadania badawcze, zakres realizacji oraz tezę pracy. Podano, że głównym celem rozprawy jest **„ocena możliwości zastosowania sterowania efektywnym stopniem sprężania w silniku o zapłonie iskrowym w aspekcie poprawy wskaźników pracy przez zmniejszenie zużycia paliwa”**. Jednocześnie Doktorant wskazuje metodę sterowania tym parametrem, polegającą na „aktywnym oddziaływaniu na proces napełnienia cylindra w suwie ssania i sprężania przez zmianę czynnej objętości sprężania mającej wpływ na przyrost ciśnienia sprężania w cylindrze”. Tezę, którą Doktorant zamierza udowodnić sformułowano następująco: **„istnieje możliwość wpływu na wskaźniki pracy silnika spalinowego przez zmianę procesu sterowania napełnianiem cylindra wpływającym na efektywny stopień sprężania, zdefiniowanego jako stosunek czynnej objętości sprężania do stałej objętości komory spalania w cylindrze, podczas suwu sprężania”**. W zakresie zadaniowym pracy Autor podaje następujące obszary wykonanych badań i analiz:

- ocena bieżącego stanu techniki przez analizę literatury technicznej i baz patentowych,
- identyfikacja zjawisk zachodzących w bazowym silniku spalinowym,
- zdefiniowanie pojęcia efektywnego stopnia sprężania i zaproponowanie zmian w konstrukcji silnika spalinowego umożliwiających realizację efektywnego stopnia sprężania w cylindrze,
- badania numeryczne procesu spalania w cylindrze z użyciem układu do sterowania efektywnym stopniem sprężania,
- badania eksperymentalne z użyciem hamowni silnikowej i podwoziowej na tym samym jednocylindrowym silniku spalinowym,
- ocena wskaźników pracy oraz analiza sposobów technicznych realizacji procesu sterowania efektywnym stopniem sprężania w cylindrze silnika spalinowego.

**Należy w tym miejscu podkreślić rozległy zakres oraz spójny z celem naukowym i użytkowym i komplementarny charakter zaplanowanych do realizacji i wykonanych prac teoretycznych i eksperymentalnych, zarówno o charakterze obliczeniowym jak i konstrukcyjnym.**

Kolejne rozdziały to część eksperymentalna pracy. I tak w rozdziale 4 opisany został główny obiekt badań wraz z uzasadnieniem wyboru takiej a nie innej jednostki napędowej, zastosowana metodyka badawcza oraz metody i stanowiska badawcze, w tym wprowadzone modyfikacje konstrukcyjne w silniku, które umożliwiły zainstalowanie w głowicy specjalnego czujnika i pomiar przebiegu ciśnienia w cylindrze. Opisane w tym miejscu problemy techniczne unaoczniają skalę trudności, z jakimi musiał się zmierzyć Doktorant na etapie przygotowawczym i w trakcie realizacji eksperymentów badawczych.

Rozdział 5 zawiera opis badań identyfikacyjnych i w dalszej części symulacyjnych silnika. Stanowiskowe badania identyfikacyjne miały na celu określenie parametrów wejściowych do modelu numerycznego silnika, w tym ciśnienia sprężania i ciśnienia spalania w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego oraz stopnia uchylenia przepustnicy. Wskazano również obszary pracy silnika, gdzie sprawność napełniania wpływająca na efektywny stopień sprężania jest wyraźnie niższa i istnieje potencjał do poprawy tych wartości. W badaniach symulacyjnych, gdzie posłużono się własnymi modelami matematycznymi silnika zaimplementowanymi w programie Matlab wraz z biblioteką Simulink, skupiono się na odwzorowaniu głównych wskaźników i charakterystyk pracy silnika na zgodność modelu z eksperymentem oraz określeniu wpływu zastosowania zaworu upustowego w głowicy na pracę silnika. Działanie tego zaworu zostało wprowadzone do modelu symulacyjnego silnika jako człon regulujący kąt opóźnienia zamknięcia zaworu dolotowego. Jako parametr oceny zgodności modelu matematycznego z danymi eksperymentalnymi wskazano wartość ciśnienia maksymalnego w cylindrze silnika. W tym zakresie, co warto podkreślić, uzyskano bardzo zbliżone wartości, co świadczy o poprawności przyjętych założeń, danych wejściowych i struktury modelu.

Rozdział 6 to część eksperymentalna pracy, obejmująca badania stanowiskowe zmodyfikowanego silnika na stanowiskach hamownianych – silnikowym i podwoziowym dla silnika zamontowanego w pojeździe typu ATV. Modyfikacje konstrukcyjne silnika wprowadzono celem umożliwienia sterowania efektywnym stopniem sprężania – poprzez zastosowanie zaworu upustowego w głowicy i oddziaływanie na szczytowe wartości ciśnienia w cylindrze w końcu suwu sprężania oraz poprzez zastąpienie oryginalnej przepustnicy zwężkami i oddziaływanie w ten sposób na ciśnienie w kolektorze dolotowym i ograniczenie strat pompowania. Badania na hamowni silnikowej realizowano w dwóch trybach: a) przy napędzie obcym silnika bez realizacji procesu spalania (nazwanym w pracy silnikiem niepracującym) oraz w trybie z generowaniem mocy i spalaniem ładunku (nazwanym w pracy silnikiem pracującym). Przedstawiono szczegółowy harmonogram badań i tryb postępowania oraz zarejestrowane wyniki badań wraz z ich porównaniem w aspekcie uzyskanych możliwości zmiany efektywnego stopnia sprężania i wpływu na osiągi silnika i badanego pojazdu.

Podsumowanie pracy zawarto w rozdziale 7, gdzie wskazano najistotniejsze osiągnięcia naukowe i poznawcze w odniesieniu do założonego celu i tezy pracy a także wnioski użytkarne

i kierunki dalszych prac rozwojowych, głównie w odniesieniu do stwierdzonych trudności technicznych przy realizacji eksperymentów badawczych.

Przedstawiony układ pracy jest zatem logicznie poprawny i spójny tematycznie. Autor konsekwentnie rozwija podjętą, stosunkowo unikatową tematykę, poczynając od analizy aktualnego stanu wiedzy i techniki, wskazania obszarów badawczych i celu pracy, sposobu opisu i rozwiązania problemu badawczego, następnie poprzez realizację eksperymentów, rejestrację i analizę wyników aż po sformułowanie właściwych merytorycznie wniosków. Materiał ilustracyjny zamieszczony w pracy i dotyczący danych będących przedmiotem analiz oraz opracowanych wyników (tabele, wykresy) jest w większości czytelny, co pozwala na prawidłową interpretację wartości oraz tendencji zmian analizowanych parametrów. Pod względem metodycznym – poza wcześniej wymienioną uwagą odnośnie stosowania pojęcia efektywnego stopnia sprężania do wskaźników procesu spalania – praca stanowi dzieło naukowe odpowiadające wymaganiom prac badawczych, w tym rozprawom doktorskim o profilu technicznym.

Jednak jak w każdej pracy można dostrzec pewne błędy i niedociągnięcia redakcyjne, w większości o charakterze omyłek stylistycznych, świadczące może o nie najwyższej dbałości o język przekazu, a przejawiające się poprzez stosowanie skrótów myślowych, pojęć potocznych i nie całkiem jasnych sformułowań technicznych. Nie stanowią one o wartości merytorycznej pracy, którą w dalszym toku opinii ocenia się wysoko, jednak ich wskazanie pozwoli uniknąć powielenia błędów w przypadku przygotowywania przyszłych publikacji o charakterze naukowym, w szczególności bazujących na treściach przedstawionych w niniejszej pracy. Są to między innymi wybrane niżej przykłady:

- na stronie 4 sformułowanie „*przeanalizowano zawór upustowy powietrza w cylindrze*” – raczej przeanalizowano „wpływ” takiego zaworu lub możliwości sterowania „za pomocą zaworu”,
- na stronie 12, w tytule rysunku 1.1. brakuje nazwy obiektu, tj. „*silnika*” do którego odnosi się wykres,
- na stronie 15, cyt. „*Współczesny silnik spalinowy czterosurowy pracuje w czterech suwach tłoka*” – po pierwsze zapisując tę myśl poprawnym językiem technicznym powinno być np. „cykl roboczy silnika czterosurowego obejmuje cztery suwy tłoka”, a ponadto, czy tylko współczesny silnik czterosurowy w ten sposób działa?
- na stronie 15, nieco dalej, mocno dyskusyjny zapis: „*Aby nie doprowadzić do nadmiernego napełnienia cylindra, zawór ssący otwierany jest jeszcze przed GMP*” – po pierwsze skąd niebezpieczeństwo „nadmiernego napełnienia cylindra” gdy zwykle dąży się do osiągnięcia jak największego współczynnika napełniania, a po drugie takie a nie inne działanie zaworu

dolotowego wyniku jednak z zupełnie innych przesłanek i uwarunkowań konstrukcyjnych układu rozrządu,

- w treści podrozdziału 2.1. Autor do opisu ogólnej zasady działania silnika czterosuwowego podaje konkretne, a do tego z dokładnością do miejsc po przecinku, wartości kątowe faz rozrządu; poza tym co to oznacza, że spalanie mieszanki „trwa krótko” a dalej, że ciśnienie „raptownie spada”,
- w opisie rysunku 2.1, p-pkt b) powinno być raczej „suwy robocze” lub „fazy pracy”, ponieważ „suw pracy” w cyklu czterosuwowym jest tylko jeden,
- na stronie 18 bardziej właściwy kontekstowi powinien być zapis, że „możliwe jest także regulowanie **stopnia sprężania**”, a w dalszej treści wydaje się, że dostosowanie stopnia sprężania wynika z aktualnych warunków pracy silnika a nie z „zaprogramowanych sterowników komputerowych”, które tylko realizują wybraną strategię sterowania,
- na stronie 19, pomimo tego, że ogólnie wiadomo jaką myśl Autor chciał przekazać, to jednak brzmienie zdania „Maksymalne ciśnienie sprężania jest osiągnięte tylko dla pełnego cyklu napełniania cylindra świeżym ładunkiem wynikającym z otwarcia przepustnicy” należałoby gruntownie zmienić,
- tytuł rysunku 2.3 – bardziej precyzyjnie powinno być „zgodnie z prawem” lub „zgodnie z zasadą”,
- tytuł rysunku 2.4 – bardziej precyzyjnie powinno być „przebieg ciśnienia w cylindrze”,
- na stronie 22 dwa skróty myślowe we frazie cyt. „w zakresie **dolnych obrotów** sprężanie rozpoczyna się **przy niskim ciśnieniu**” – odnośnie „dolnych obrotów” można się domyślać intencji przekazu, natomiast w kwestii „niskiego ciśnienia” to już trudniej,
- na stronie 28 bardzo niezrozumiała fraza, że „czas reakcji doładowania można skrócić bez oczyszczania”; generalnie cały ten fragment nosi wydźwięk niespójnej i niefachowej informacji zaczerpniętej bez odpowiedniej korekty ze źródła, łącznie z rysunkiem 2.10 zatytułowanym lakonicznie „Mapa pracy silnika”, gdzie pomijając błędy i nieprecyzyjność w opisie osi wykresu jego tytuł powinien raczej brzmieć „Charakterystyka ogólna jednostkowego zużycia paliwa silnika VCRI”,
- strona 29 – zamiast słowa „przejechano” lepiej byłoby użyć np. zwrotu „pokonano dystans”,
- na stronie 30, zdanie „Konstrukcja ta posiada także dodatkową zaletę, jaką jest płynny ruch tłoka z GMP do DMP w osi pionowej” powinno wskazywać nie na potoczne pojęcie płynności ruchu tłoka (czy w ogóle ruch tłoka jest płynny???) a raczej na wartość amplitudy składowych harmonicznych prędkości tłoka,
- strona 36, fraza „zarówno spalin oraz dwutlenku węgla”, jeśli już tak miałyby być skonstruowana to powinna brzmieć „zarówno toksycznych składników spalin oraz dwutlenku węgla”,
- strona 36 (na dole) – skąd stwierdzenie, że silnik Wankla jest „zapomniany”,



- strona 40 - nieprecyzyjnie i mało technicznie brzmiące frazy: „Zakres badań obejmował pomiary ciśnienia, stosując pewną nieszczelność” i dalej „Silnik [...] zbadano pod kątem spadku ciśnienia w zależności od nie szczelności”,
- tytuł tabeli 4.2 nieadekwatny do treści tabeli,
- strona 47 - zamiast „wartości ścieśniania” powinno być raczej „wartości ciśnienia”,
- strona 48 - zamiast „wzmocnienie ustawiacze” powinno być „wzmocnienie ustawiane”,
- strona 50 - co oznacza pojęcie „pierwsze zdarzenie zapłonowe” lub w ogólności dalej wymienione „zdarzenie zapłonowe” - czy to jest to samo co kąt wyprzedzenia zapłonu (również wymieniony w kolejności) czy też oznacza inną wielkość sterującą,
- bardzo słaba czytelność tabeli 4.3 i drobny błąd literowy w tytule opisu tej tabeli,
- brak wskazania jednostek miary dla wartości podanych w tabelach 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 i 5.7 oraz na rysunku 5.12, można się ich jedynie domyślać po analizie danego kontekstu pracy,
- strona 74: dwukrotne błędne użycie wyrazu „kąt” do opisu wielkości geometrycznej „kąta”,
- brak opisu i wartości skali osi rzędnych na rysunkach: 5.20, 5.22, 5.24, 5.26, 5.28, 5.32-5.35, 6.6-6.11
- błędny opis osi odciętych na rysunkach 6.6-6.11,
- opis tabeli 6.1 wskazuje na zmianę wartości stopnia sprężania podczas gdy podane w niej wartości dotyczą oczywiście zmiany efektywnego stopnia sprężania.

#### 4. Ocena merytoryczna rozprawy i uwagi dyskusyjne

Pomimo wyżej sformułowanych krytycznych uwag, pracę pod względem merytorycznym należy ocenić pozytywnie. Przede wszystkim na podkreślenie zasługuje wybór wysoce aktualnej dla rozwoju silników spalinowych i unikatowej tematyki badawczej. Również uzyskane w pracy efekty poznawcze są istotne, zarówno z praktycznego punktu widzenia jak i pod względem ich wkładu w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna w zakresie konstrukcji nowoczesnych i ekologicznych źródeł napędu pojazdów samochodowych oraz procedur badawczych stosowanych we współczesnej motoryzacji.

W szczególności na pozytywną ocenę składają się m.in.:

- dogłębna analiza problematyki w zakresie rozwijającej się technologii zmiennego stopnia sprężania w silnikach tłokowych,
- złożony charakter i komplementarny zakres wykonanych badań eksperymentalnych, obejmujący tworzenie modelu numerycznego silnika i badania symulacyjne, których wyniki okazały się być wysoce zbieżne z danymi rzeczywistymi, a następnie badania na stanowiskach hamownianych pojazdu kompletnego oraz samego silnika,
- samodzielne dokonanie zmian konstrukcyjnych w silniku badawczym wg własnej, oryginalnej koncepcji, pozwalających na osiągnięcie założonego zakresu prac badawczych,

- szczegółowa prezentacja prowadzonych prac, ale także problemów technicznych, z którymi mierzył się w swej pracy Doktorant,
- realizacja badań z wykorzystaniem zaawansowanej aparatury i złożonych systemów pomiarowych,
- przejrzysta analiza i prezentacja wyników pomiarowych,
- trafnie sformułowane wnioski poznawcze, utylitarne oraz uzasadnione wskazanie celowości dalszych prac w zakresie danej problematyki.

Szczegółowa analiza treści rozprawy, biorąc pod uwagę zarówno aspekty metodyczne i merytoryczne, w niektórych fragmentach, sformułowaniach, przedstawionych wynikach, nasuwa jednak pewne wątpliwości o charakterze dyskusyjnym, wobec których oczekuje się stosownego odniesienia Doktoranta podczas publicznej obrony pracy doktorskiej, a mianowicie:

- zgodnie z wcześniejszą uwagą prosi się o krótką dyskusję, czy określanie efektywnego stopnia sprężania poprzez pomiar ciśnienia spalania i ciśnienia w kolektorze dolotowym i iloraz tych wartości jest poprawne metodologicznie, gdy u podstaw definicji tego parametru, jak zapisano na str. 37, jest wartość stosunku czynnej objętości sprężania do stałej objętości komory spalania,
- czy przyjęte w pracy określenia „silnik pracujący” i „silnik niepracujący” nie są dla odbiorcy zbyt mylące i czy nie należałoby po prostu użyć już istniejącej terminologii dla tak opisywanych stanów pracy silnika (np. praca z napędem obcym versus praca silnikowa),
- w badaniach symulacyjnych podano, że działanie zaworu upustowego zamodelowano w taki sposób, że „podnosił i zamykał” zawór dolotowy, a w dalszej treści doprecyzowano, że to działanie polegało na opóźnieniu konstrukcyjnie ustalonej dla badanego silnika fazy zamknięcia zaworu dolotowego (która jak wcześniej podano w pracy wynosi  $60^\circ$  po DMP – str. 42). Wartości dodatkowego opóźnienia zamknięcia zaworu dolotowego w badaniach symulacyjnych ustalono na kolejne  $60^\circ$  i  $120^\circ$  obrotu wału korbowego, co w tym drugim przypadku już całkowicie eliminuje efektywny suw sprężania, chyba że opóźnienie zamknięcia zaworu dolotowego jest jednak w symulacjach liczone od położenia wału korbowego odpowiadającemu DMP tłoka. Ponadto na wykresach indyktorowych przedstawiających wyniki tych symulacji (rys. 5.32-5.35) efekt zmiany kąta opóźnienia zamknięcia zaworu dolotowego i rozpoczęcia rzeczywistego procesu sprężania jest fazowo niezauważalny - nagły wzrost ciśnienia w cylindrze sugerujący moment rozpoczęcia procesu sprężania występuje bowiem zawsze w tej samej chwili cyklu roboczego silnika, o ile wartości skali na osi X na tych wykresach są jednakowe. Jak zatem wyjaśnić te rozbieżności?

Należy mieć jednak na uwadze, że wymienione kwestie mają charakter dyskusyjny – mogą wynikać z subiektywnej oceny recenzenta lub wręcz niezrozumienia danego problemu w

świetle niepełnego opisu lub specyfiki jego przedstawienia przez Autora pracy i w żaden sposób nie wpływają na pozytywny odbiór i ogólnie wysoką ocenę całości rozprawy.

## 5. Podsumowanie oceny rozprawy doktorskiej i wnioski końcowe

Zrealizowana praca doktorska mgr inż. Dawida Drabika pt. „*Sterowanie efektywnym stopniem sprężania w silniku o zapłonie iskrowym*” wpisuje się w prorozwojowe tendencje dotyczące doskonalenia konstrukcji i technologii silników spalinowych stosowanych do napędu środków transportu drogowego i maszyn roboczych. Stanowi oryginalne opracowanie naukowe i jednocześnie prezentuje interesujące rozwiązanie metodyczne dla osiągnięcia celu i realizacji zakresu rozprawy.

Doktorant wykazał się znajomością podjętej problematyki, umiejętnością prowadzenia eksperymentów badawczych w zakresie sterowania efektywnym stopniem sprężania w silniku tłokowym, umiejętnością realizacji badań symulacyjnych, pomiarów i analizy wyników oraz poprawnym formułowaniem wniosków. Świadczy to o posiadaniu ugruntowanej wiedzy teoretycznej i kompetencjach Autora rozprawy do samodzielnego prowadzenia prac badawczych w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

Podsumowując stwierdzam zatem, że **rozprawa doktorska mgr inż. Dawida Drabika pt. „*Sterowanie efektywnym stopniem sprężania w silniku o zapłonie iskrowym*” spełnia warunki zapisane w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. z 2018r., poz. 1668 z późn. zm.) i na tej podstawie wnioskuję o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą naukową dyscypliny inżynieria mechaniczna Politechniki Opolskiej.**

Rzeszów, 9 października 2023 r.

