

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**mgr inż. Damiana Jędrusika**

**pt.: „ANALIZA WPŁYWU WARSTWY NAGARU NA WARTOŚĆ  
LOKALNYCH NAPRĘŻEŃ TERMICZNYCH W ZAWORZE WYLOTOWYM  
W SILNIKU O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM”**

Podstawę opracowania recenzji stanowi Uchwała Rady Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej z dnia 18.10.2018 r. oraz pismo Dziekana Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej z dnia 18 października 2018 r.

### **1. Syntetyczna charakterystyka recenzowanej rozprawy**

Przedmiotowa rozprawa dotyczy problematyki wpływu warstwy nagaru na wartość lokalnych naprężeń termicznych w zaworze wylotowym w silnikach o zapłonie samoczynnym. Rozprawa składa się z:

- 10 zasadniczych i ponumerowanych rozdziałów,
- streszczenia w języku polskim i angielskim,
- 5 załączników, 178 rysunków zawartych w tekście i załącznikach,
- wykazu ważniejszych oznaczeń,
- spisu bibliograficznego zawierającego 86 pozycji literaturowych, z czego 49 pozycji, (57%) stanowią prace anglojęzyczne, a 37 pozycji, (43%) to prace polskojęzyczne w tym 8 prac autorskich i współautorskich doktoranta.

Całość pracy, zawarta jest na 168 ponumerowanych stronach.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr. hab. inż. Piotr Czech, prof. PŚ. Promotorem pomocniczym jest dr. inż. Aleksander Hornik.

### **2. Ocena doboru tematu i zakresu rozprawy**

Rozwój transportu drogowego, determinuje wzrost wykorzystania środków transportu a tym samym większe obciążenie elementów konstrukcyjnych pojazdu w tym silników spalinowych. Przed współczesnymi silnikami spalinowymi wykorzystywanymi w pojazdach samochodowych stawiane są coraz wyższe wymagania, które dotyczą zarówno parametrów



techniczno-eksploatacyjnych pojazdu, opłacalności produkcji i ekonomiki użytkowania jak również ochrony środowiska.

Jednym z podstawowych parametrów techniczno-eksploatacyjnych, decydującym o niezawodności silnika spalinowego jest zachowanie odpowiedniej trwałości jednostki napędowej, o której decyduje m. in. wielkość obciążenia cieplnego części otaczających komorę spalania. Przekroczenie dopuszczalnych wartości obciążeń cieplnych elementów komory spalania w silniku spalinowym pogarsza warunki jego pracy, zmniejsza jego żywotność, a w skrajnym przypadku może doprowadzić do jego unieruchomienia.

Analizy wpływu różnych czynników na trwałość silnika spalinowego, mogą odbywać się zarówno na drodze badań doświadczalnych jak i badań symulacyjnych. W pierwszym przypadku, wymagane jest tworzenie kosztownych prototypów oraz ich weryfikacja z wykorzystaniem aparatury pomiarowo-badawczej, w drugim przypadku wykorzystywane są modele wirtualne, które umożliwiają ograniczenie wielu z tych prac, przyczyniając się do znacznego obniżenia kosztów badań.

Mgr inż. Damian Jędrusik ze swoją rozprawą doktorską dobrze wpisuje się w tę problematykę, wykorzystując do badań modele symulacyjne.

Podejście takie jest słuszne i zasadne, a przeprowadzone przez doktoranta badania przyczynią się do rozwoju tego obszaru badawczego.

Zagadnienie dotyczące wpływu warstwy nagaru na wartość lokalnych naprężeń termicznych w zaworze wylotowym w silnikach o zapłonie samoczynnym, jest ważnym problemem decyzyjnym dla wielu producentów silników.

Zatem dobór tematu rozprawy jest właściwy, a realizacja tematu stanowi przykład dobrze rozumianych badań stosowanych.

Reasumując stwierdzam, że temat recenzowanej rozprawy doktorskiej jest aktualny i odpowiadający na zapotrzebowanie teoretyków oraz praktyków zajmujących się powyższym problemem. Tak więc podjęty przez doktoranta problem badawczy jest jak najbardziej uzasadniony, a sformułowanie tematu właściwe.

Treść rozprawy została przedstawiona w dziesięciu zasadniczych i ponumerowanych rozdziałach poprzedzonych spisem treści i wykazem ważniejszych oznaczeń.

**W rozdziale pierwszym** zawartym na 5 stronach (s. 6-10), Autor rozprawy przedstawił wymagania stawiane nowoczesnym silnikom wysokoprężnym, które dotyczą parametrów techniczno-eksploatacyjnych, opłacalności produkcji i ekonomii użytkowania oraz ochrony środowiska. Ponadto w rozdziale Autor podkreśla, że jednym z istotnych parametrów techniczno-eksploatacyjnych nowoczesnych silników wysokoprężnych jest zachowanie odpowiedniej trwałości jednostki napędowej, o której decyduje m.in. wielkość obciążenia cieplnego części otaczających komorę spalania. Przekroczenie wartości tychże obciążeń nie tylko pogarsza warunki pracy silnika, ale w konsekwencji może doprowadzić do jego unieruchomienia. Autor przedstawia również, który z elementów komory spalania podlega największym obciążeniom termicznym i podaje przykłady uszkodzeń silników na skutek jego awarii. W dalszej części rozdziału przedstawiony został proces tworzenia się nagaru oraz jego negatywny wpływ na pracę zaworów. W uzasadnieniu wyboru tematu Autor rozprawy podaje, że wprowadzenie dodatkowych modeli warstwy nagaru na powierzchniach zaworu



pozwole na dokładniejszą analizę dystrybucji ciepła a tym samym przebiegu zmiany naprężeń, co może stanowić istotną informację w fazie projektowania silników spalinowych.

**Rozdział drugi** zawarty jest na 43 stronach (s. 11-53). W rozdziale Autor przedstawia krótką charakterystykę rodzajów uszkodzeń zaworów. W dalszej części rozdziału dokonuje klasyfikacji przyczyn uszkodzeń zaworów, do której zalicza przeciążenia cieplne lub mechaniczne, zakłócenia w pracy układu napędu zaworów, niewłaściwe zamykanie się zaworu, nieprawidłowy montaż zaworu, wady konstrukcyjne, wady wykonawcze oraz wady materiałowe zaworów.

**Rozdział trzeci** zawarty jest na 6 stronach (s. 54-59) i obejmuje charakterystykę zjawiska występowania nagaru na elementach komory spalania oraz przedstawione są własności fizyczne nagaru. W dalszej części rozdziału przedstawiono charakterystykę obciążenia cieplnego zaworów, gdzie opisano również bilans cieplny dla zaworu wylotowego silnika oraz podano przykłady rozkładu temperatury w zaworze.

**W rozdziale czwartym** zawartym na 13 stronach (s. 60-72), Autor przybliży teorię metody elementów skończonych, wykorzystywaną do analizy przepływu ciepła w elementach komory spalania dla nieustalonych procesów cieplnych. W tej części pracy doktorskiej, Autor rozprawy przedstawił również charakterystykę wykorzystanego do obliczeń numerycznych systemu wraz z algorytmem oraz opis elementów skończonych wykorzystywanych w analizach termicznych.

**W rozdziale piątym** zawartym na 2 stronach (s. 73-74), Autor rozprawy przedstawił cel i zakres pracy oraz tezę pracy. Cel pracy obejmował takie przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych, aby było możliwe określenie wpływu warstwy nagaru na wartość i rozkład temperatury, a w szczególności wzrost lokalnych naprężeń w zaworze wylotowym w stanie nieustalonego przepływu ciepła, co zdaniem Autora rozprawy pozwoli określić niekorzystne oddziaływanie nagaru na zachowanie się tych elementów silnika podczas jego eksploatacji.

**Rozdział szósty** zawarty na 11 stronach (s. 75-85) poświęcony jest analizie uszkodzonych zaworów, z jakimi zetknął się Autor rozprawy podczas swego doświadczenia zawodowego. Badaniom poddane zostały 52 zawory z szybkoobrotowych silników wysokoprężnych oraz przeprowadzona została selekcja ze względu na zaistniałe uszkodzenia tych elementów. W dalszej części, Autor rozprawy zaproponował dwa wyróżniające się przypadki występowania warstwy nagaru na powierzchniach zaworu oraz uwzględnił dwie grubości tej warstwy w obliczeniach numerycznych. Ponadto w rozdziale przedstawił konkretne parametry techniczne silnika, fazy rozrządu oraz parametry samego zaworu wylotowego, jaki posłużył do opracowania modeli matematycznych.

**Rozdziały siódmy, ósmy i dziewiąty** to oryginalne osiągnięcie Autora rozprawy. **W rozdziale siódmym** zawartym na 8 stronach (s. 86-93), Autor przedstawił zmienne w czasie warunki brzegowe, jakie zostały wykorzystane do obliczeń numerycznych dla pełnego cyklu pracy silnika oraz jakie powierzchnie wymiany ciepła uwzględniono dla każdego z rozpatrywanych przypadków występowania nagaru. W rozdziale przedstawiono również materiał zaworu, jaki uwzględniono w obliczeniach komputerowych oraz podano jego własności fizyczne, co również dotyczy warstwy nagaru.

**Rozdział ósmy** zawarty jest na 20 stronach (s. 94-113). W rozdziale Autor rozprawy przedstawił algorytm budowy modelu geometrycznego zaworu wylotowego oraz modeli nagaru na poszczególnych powierzchniach tego elementu. Autor przedstawił również sposób



wymiany ciepła pomiędzy poszczególnymi modelami oraz sposób przypisania warunków wymiany ciepła do określonych części modelu.

**Rozdział dziewiąty** zawarty na 21 stronach (s. 114-133), stanowi zbiór wyników obliczeń numerycznych w postaci rozkładów pól temperatury oraz naprężeń cieplnych dla zaworu wylotowego z warstwą oraz bez warstwy nagaru. Na ich podstawie zostały sporządzone wykresy przebiegu temperatury oraz wartości naprężenia w funkcji czasu, wartości naprężeń dla określonych węzłów oraz wartości naprężeń w funkcji temperatury. W dalszej części rozdziału Autor rozprawy porównał otrzymane wyniki obliczeń z danymi literaturowymi, a w przypadku uzyskanych naprężeń do wykresu wytrzymałościowego dla stali przyjętej do analizy komputerowej.

**Rozdział dziesiąty** zawarty na 1 stronie (s. 134), stanowi wnioski końcowe, w których Autor rozprawy na podstawie analizy kompletu obliczeń wskazał, jaki przypadek pokrycia warstwą nagaru zaworu jest najbardziej niekorzystny dla jego eksploatacji. Przypadek ten potwierdziła również weryfikacja zaworów podczas przeprowadzonych napraw silników.

Pracę kończy spis literatury zawierający 86 pozycji. Istotną informację stanowią również załączniki, w których przedstawione są rozkłady temperatury oraz naprężeń termicznych dla poszczególnych faz nagrzewania się silnika.

Podsumowując powyższy układ recenzowanej rozprawy doktorskiej należy stwierdzić, że doktorant w sposób wnikliwy przeanalizował dane konieczne do opracowania modelu dyskretnego zaworu wylotowego i przeprowadzenia analiz w zakresie wpływu warstwy nagaru na wartość lokalnych naprężeń termicznych w zaworze wylotowym w silniku o zapłonie samoczynnym.

### 3. Ocena merytoryczna rozprawy i jej celu

Wnikliwa analiza rozprawy pozwala na stwierdzenie, że zakres pracy przedstawiony w dysertacji jest obszerny i prezentuje obszar badawczy Doktoranta.

Doktorant w swojej dysertacji postawił następującą tezę:

*„Znajomość przebiegów i rozkładów temperatury, a w szczególności lokalnych naprężeń termicznych występujących w zaworach wylotowych silnika wysokoprężnego pokrytych warstwą nagaru, pozwala na poszerzenie wiedzy na temat wpływu tych wielkości na powstanie uszkodzeń zaworów, a opracowany model umożliwi prowadzenie analiz dotyczących wpływu tego typu niekorzystnych zjawisk na degradację zaworów”.*

Postawiona teza implikuje następujący cel główny rozprawy, jakim jest *„określenie wpływu warstwy nagaru na zmiany rozkładów pól temperatury oraz wartości naprężeń w zaworach wylotowych pokrytych warstwą nagaru wysokoobrotowego doładowanego silnika z zapłonem samoczynnym”*. Realizacja celu głównego wymagała:

- przeanalizowania uszkodzeń zaworów wylotowych naprawianych silników w autoryzowanym serwisie pojazdów samochodowych pod kątem występowania warstwy nagaru oraz ewentualnych uszkodzeń,
- zastosowania przy modelowaniu obciążeń cieplnych dodatkowej warstwy w postaci nagaru na różnych powierzchniach zaworu,



- zamodelowania czasowo-przestrzennych rozkładów temperatury oraz naprężeń termicznych zaworu z wykorzystaniem warunków brzegowych trzeciego rodzaju przy zastosowaniu metody elementów skończonych,
- analizy i porównania otrzymanych wyników w odniesieniu do zaworu wylotowego bez warstw nagaru z uwzględnieniem własności materiału zaworu i warstwy nagaru.

Autor rozprawy doktorskiej podjął się trudnego wyzwania określenia wpływu warstwy nagaru w zaworze wydechowym na wartość i rozkład temperatury oraz występujących w nim naprężeń podczas pracy silnika wysokoprężnego.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i symulacji można stwierdzić, że zadanie to zostało przez doktoranta skutecznie rozwiązane. Istotną zaletą pracy jest fakt, że udoskonalanie dotychczas stosowanych metod obliczeniowych przy projektowaniu silników, jak i ich poszczególnych elementów z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych, przyczynia się do tworzenia lepszych konstrukcji w świetle coraz to wyższych wymagań, jakie muszą spełnić.

Wszystkie znaczące wyniki badań weryfikuje praktyczna ich realizacja z wykorzystaniem programów symulacyjnych. Wysoko oceniam dokonania Autora rozprawy w tym zakresie.

Reasumując problem badawczy podjęty w rozprawie przez mgr. inż. Damiana Jędrusika, jest sformułowany w sposób prawidłowy, a zarówno teoretyczny jak i praktyczny cel rozprawy, polegający na *określeniu wpływu warstwy nagaru na zmiany rozkładów pól temperatury oraz wartości naprężeń w zaworach wylotowych pokrytych warstwą nagaru wysokoobrotowego doładowanego silnika z zapłonem samoczynnym*, został osiągnięty.

#### 4. Uwagi do rozprawy

Wysoka ocena, przedstawionej do recenzji dysertacji mgr. inż. Damiana Jędrusika nie zwalnia mnie od sformułowania uwag, czy wskazania usterek i dyskusyjnych elementów pracy.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska napisana jest poprawnym językiem, na dobrym poziomie edytorskim. Niemniej jednak w kilku miejscach wystąpiły drobne błędy językowe, stylistyczne i redakcyjne. Poniżej umieściłem wybrane uwagi szczegółowe;

- na rysunku 86 przedstawiono bilans cieplny zaworu wylotowego, na rysunku 87 rozkład izoterm w grzybku zaworu wylotowego silnika a na rysunku 88 rozkład temperatury na obrysie zaworu silnika ZS, co było przedstawiane już w publikacji Matzke W.: *Konstrukcja rozrządu silników szybkoobrotowych*, WKiŁ, Warszawa 1989. W moim przekonaniu doktorant powinien również odnieść się do innych autorów zajmujących się tą problematyką i przedstawić nowsze poglądy w tym zakresie,
- w rozdziale szóstym doktorant przedstawia analizę uszkodzonych zaworów, z jakimi zetknął się podczas swojego doświadczenia zawodowego. Jednak nie precyzuje, z jakich dokładnie silników zawory pochodziły. Na podstawie opisu można się tylko domyślać, że są to silniki samochodów osobowych o niewielkiej pojemności skokowej,
- do obliczeń numerycznych, przedstawionych w rozdziale siódmym, wykorzystano zmienne wartości warunków brzegowych trzeciego rodzaju. Autor nie podaje jednak



wyjaśnienia, dlaczego zastosowano ten rodzaj warunków wymiany ciepła nie analizując innych przypadków,

- w pracy nie zastał wyjaśniony wybór siatki elementów skończonych, dobór ich gęstości oraz wykorzystany rodzaj elementu skończonego,
- ponadto praca zawiera kilka formalnych błędów i niedokładnych określeń. Przykładowo Autor tą samą część zaworu określa mianem grzybka, a innym razem opisuje, jako talerzyk. Oczywiście to jest ten sam fragment zaworu, ale w pracy naukowej dobrze jest stosować określenia precyzyjnie,
- układ treści opiniowanej rozprawy jest logiczny, natomiast mam pewne zastrzeżenia do struktury poszczególnych rozdziałów. Niektóre rozdziały są bardzo obszerne inne zbyt ubogie, np. rozdział drugi – 43 strony, w innym przypadku rozdział piąty – 2 strony. Ponadto rozdział czwarty i piąty mają po jednym podrozdziale, co w moim przekonaniu nie jest najlepszym rozwiązaniem.

Problemy, do których prosiłbym o ustosunkowanie się Pana mgr inż. Damiana Jędrusika podczas publicznej obrony są następujące:

1. Czy obliczenia modelowe zaprezentowane w niniejszej dysertacji mogą znaleźć zastosowanie do innych rodzajów silników np. z zapłonem iskrowym?
2. Czy i w jakim zakresie wyniki niniejszej dysertacji mogą być wykorzystane przez projektantów silników spalinowych?

Reasumując stwierdzam, że doktorant sprawnie posługuje się językiem naukowym, a praca jest napisana w sposób przejrzysty oraz czytelny. Natomiast drobne potknięcia językowe, stylistyczne oraz formalne nie obniżają wartości dysertacji.

Przedstawione uwagi mają charakter dyskusyjny i nie obniżają wartości merytorycznej recenzowanej rozprawy doktorskiej.

## **5. Końcowa ocena rozprawy doktorskiej**

Praca doktorska pt. „*Analiza wpływu warstwy nagaru na wartość lokalnych naprężeń termicznych w zaworze wylotowym w silniku o zapłonie samoczynnym*” jest ciekawa pod względem naukowym jak i praktycznym. Na podstawie przeprowadzonej recenzji uważam, że doktorant dokonał trafnego wyboru tematyki swoich badań, a praca stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego. Tak przedstawiona dysertacja nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, wnosząc do niej nowe treści. Przyjęty w rozprawie cel pracy został osiągnięty, a teza badawcza udowodniona.

Wykazane wcześniej uwagi krytyczne w żadnym stopniu nie osłabiają pozytywnego odbioru pracy i jej wartości merytorycznej. Na tej podstawie stwierdzam, że doktorant posiada odpowiedni poziom wiedzy teoretycznej, dobrą znajomość przedmiotu badań, zdolność do analitycznego spojrzenia na rozpatrywany problem badawczy oraz posiada kompetencje w zakresie samodzielnego prowadzenia badań w reprezentowanej dyscyplinie naukowej.

Uważam, że mgr inż. Damian Jędrusik opanował na wysokim poziomie współczesne metody i narzędzia badawcze, niezbędne do prowadzenia prac naukowych i rozwiązywania złożonych problemów badawczych.

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera oryginalne cechy nowości i znaczące walory użyteczne. Wnosi ona znaczący wkład teoretyczny i praktyczny w rozwój nauk technicznych i mieści się w dyscyplinie naukowej Budowa i eksploatacja maszyn.

Biorąc pod uwagę, sformułowane powyżej opinie wyrażam jednoznaczne stanowisko, że rozprawa Pana **mgr. inż. Damiana Jędrusika** pt.: „*Analiza wpływu warstwy nagaru na wartość lokalnych naprężeń termicznych w zaworze wylotowym w silniku o zapłonie samoczynnym*” **spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.** (Dz. U. 2003, Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami). Wnioskuje, zatem przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji, jako rozprawy doktorskiej mgr. inż. Damiana Jędrusika, kandydata na stopień doktora nauk technicznych w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie naukowej Budowa i eksploatacja maszyn i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

  
dr hab. inż. Dariusz Pyza, prof. PW