dr hab. inż. Dariusz Szpica, prof. PB
Wydział Mechaniczny
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok
email: d.szpica@pb.edu.pl

Białystok 15.09.2026 r.

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Daszykowskiego
pt. „Wpływ powłoki amorficznego węgla a-C:H:W oraz stopnia zużycia syntetycznych olejów silnikowych na właściwości tribologiczne smarowanych węzłów tarcia"

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję wykonano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, prof. dr. hab. inż. Andrzeja Burghardta, zgodnie z pismem nr RM-530-04-01/2026 z dnia 8 lipca 2026 r.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji była rozprawa doktorska mgr. inż. Macieja Daszykowskiego pt. „Wpływ powłoki amorficznego węgla a-C:H:W oraz stopnia zużycia syntetycznych olejów silnikowych na właściwości tribologiczne smarowanych węzłów tarcia" napisana pod kierunkiem promotora dr. hab. inż. Janusza Lubasa.

3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

3.1. Tytuł i podjęta tematyka

Tytuł sformułowany jako „Wpływ powłoki amorficznego węgla a-C:H:W oraz stopnia zużycia syntetycznych olejów silnikowych na właściwości tribologiczne smarowanych węzłów tarcia" jest adekwatny do zakresu przedstawionych w rozprawie badań i jednoznacznie identyfikuje podstawowe czynniki poddane analizie. Określa obecność powłoki węglowej, stopień zużycia oleju, a także wskazuje aspekty tribologiczne, jako sposób oceny.

Podjęta w rozprawie tematyka wpisuje się w aktualny nurt badań naukowych i prac aplikacyjnych ukierunkowanych na zmianę trwałości eksploatacyjnej smarowanych węzłów tarcia, szczególnie współpracy powierzchni o zmodyfikowanych właściwościach użytkowych. Działania ze wskazanego w tytule obszaru mają również istotne znacznie praktyczne, gdyż docelowo wpływają na niezawodność i efektywność energetyczną układów mechanicznych.

W mojej ocenie tytuł rozprawy jest poprawny i precyzyjny oraz odpowiada jej zakresowi merytorycznemu.

3.2. Układ rozprawy

Rozprawę doktorską zawarto na 179 stronach. Na całość składa się część początkowa w postaci strony tytułowej, podziękowań, spisu treści i wykazu ważniejszych oznaczeń, oraz część zasadnicza zawierająca 7 rozdziałów. Dodatkowo Doktorant zamieścił streszczenie w języku polskim i angielskim, literaturę i wykaz załączników.

Rozdział 1 stanowi ogólne wprowadzenie do tematyki tarcia i procesów tribologicznych, wskazując w końcowej części ukierunkowanie rozprawy doktorskiej. W Rozdziale 2 przedstawiono przegląd literaturowy skupiający się na charakterystyce ogólnej olejów silnikowych, parach ciernych występujących w systemach tribologicznych, oraz metodach kształtowania warstw powierzchniowych elementów składowych węzłów tarcia ze szczególnym uwzględnieniem powłok węglowych. Całość rozdziału zamyka podsumowanie, w którym wskazano lukę badawczą związaną z ograniczoną dostępnością prac obejmujących sobą jednoczesną ocenę wpływu powłoki a-C:H:W w skojarzeniu z olejami silnikowymi o różnym stopniu degradacji w warunkach jednolitego cyklu badawczego, uwzględniającego zarówno styki konforemne, jak i liniowe (niekonforemne), na proces tarcia i jego skutki. Rozdział 3 wskazuje cel, problem badawczy i zakres rozprawy. Cel naukowy ukierunkowano na wyznaczenie wpływu powłoki węglowej a-C:H:W na elemencie węzła tarcia oraz rodzaju i stanu oleju silnikowego na procesy tribologiczne w stuku konforemnym i niekonforemnym. Cel praktyczny powiązano bezpośrednio z celem naukowym, odnosząc go do trwałości tribologicznej wybranych węzłów tarcia silnika spalinowego. Problem badawczy skupia się na ocenie wpływu powłoki węglowej wytworzonej metodą PVD oraz rodzaju oleju silnikowego na parametry procesu tarcia oraz zużycie elementów węzła. Zakres rozprawy obejmuje:

- przegląd literatury związanej z tematyką rozprawy;
- opracowanie metodyki badawczej;
- przygotowanie próbek do badań;
- badania tribologicznych par ciernych o styku konforemnym i niekonforemnym;
- badania właściwości przeciwzatarciowych badanych olejów silnikowych;
- ocenę stanu warstwy powierzchniowej elementów pary ciernej;
- analizę uzyskanych wyników oraz określenie wpływu zastosowania powłok węgla a-C:H:W na procesy tribologiczne;
- podsumowanie wszystkich przedstawionych badań oraz zaprezentowanie najważniejszych wniosków.

Rozdział 5 w sposób bardzo szczegółowy prezentuje wyniki badań wynikające z przyjętego zakresu. Przedstawiono w nim analizy procesów tribologicznych w parach ciernych ze stykiem konforemnym i niekonforemnym, w których oceniano proces tarcia, zużycie par ciernych oraz stan powierzchni. Ocenie poddano również stan używanych w badaniach olejów silnikowych w teście jednokroplowym i poprzez porównanie właściwości przeciwzatarciowych. W Rozdziale 6 w sposób syntetyczny przeprowadzono interpretację wyników badań oraz dokonano ich podsumowania. Wskazano najważniejsze osiągnięcia pracy, oceniono wpływ czynników wejściowych na wartości istotnych parametrów tribologicznych. Uzyskane wartości charakterystyczne odniesiono do wyników innych badaczy, wskazując wpływ badań własnych na poszerzenie wiedzy w analizowanym obszarze badawczym. Rozdział 7 prezentuje wnioski sformułowane na podstawie przeprowadzonych badań i analiz zgodnych z zakresem rozprawy. Podzielono je na wnioski poznawcze, utylitarne i rozwojowe. Stanowią one odpowiedź na zdefiniowany cel naukowy i praktyczny, w efekcie problem badawczy. W końcowej części rozprawy znajdują się streszczenia w języku polskim i angielskim, wykaz literatury oraz załączniki, w których zamieszczono wykaz rysunków i tabel.

Na podstawie analizy poszczególnych części składowych rozprawy doktorskiej stwierdzam, że stanowią one merytorycznie zamkniętą, poprawnie skonstruowaną i napisaną całość.

3.3. Zastosowane piśmiennictwo

W wykazie piśmiennictwa zamieszczono 124 pozycje obejmujące przede wszystkim artykuły naukowe, a także materiały techniczne, unormowania prawne oraz źródła internetowe. Dobór

piśmiennictwa uznaję za adekwatny do prezentowanej w rozprawie tematyki obejmującej zagadnienia związane z właściwościami tribologicznymi smarowanych węzłów tarcia, powłokami technologicznymi oraz zużyciem eksploatacyjnym środków smarnych.

Odniesienia literaturowe w treści rozprawy zostały umieszczone właściwie, w sposób merytorycznie poprawny. Pozwalały na jednoznaczne wskazanie źródła informacji zarówno w części opisowej, metodyce badawczej jak i analizach wyników badań własnych, co pozwoliło na właściwe osadzenie całości w aktualnym stanie wiedzy.

Analiza zastosowanego piśmiennictwa oraz sposobu jego wykorzystania w rozprawie wskazuje na właściwe rozeznanie Doktoranta w problematyce badawczej oraz umiejętności właściwego doboru i użycia źródeł. Stanowiło to wystarczającą i merytorycznie uzasadnioną bazę do realizacji przyjętego zakresu rozprawy.

3.4. Cel pracy i problem badawczy

Jako cel naukowy rozprawy Doktorant wskazał wyznaczenie wpływu technologicznie ukształtowanej powłoki na bazie amorficznego węgla a-C:H:W (wytworzonej metodą PVD) na elemencie węzła tarcia oraz rodzaju i stanu oleju silnikowego, jako środka smarującego na procesy tribologiczne w styku konforemnym i niekonforemnym, w warunkach ograniczonego smarowania syntetycznymi olejami silnikowymi.

Oprócz celu naukowego Doktorant wskazał również cel praktyczny, którym było zwiększenie trwałości tribologicznej węzłów tarcia poprzez zastosowanie powłoki węglowej na jednym z ich elementów konstrukcyjnych, w warunkach ograniczonego smarowania z wykorzystaniem nowych oraz przepracowanych olejów silnikowych, w tym pochodzących z rzeczywistego układu tribologicznego.

Sformułowany przez Doktoranta problem badawczy obejmuje ocenę wpływu powłoki węglowej wytworzonej metodą PVD oraz rodzaju oleju silnikowego na parametry procesu tarcia oraz zużycie elementów węzła tarcia.

Uważam, że z punktu widzenia naukowego, cel pracy jest zasadny i poprawnie skonstruowany. Jego realizacja przyczyniła się do poszerzenia wiedzy w obszarze analiz procesu tarcia i zużycia zachodzących w zróżnicowanych węzłach tribologicznych, obejmujących różne pary materiałowe i konfiguracje kontaktu współpracujące w obecności zróżnicowanych olejów z uwzględnieniem ich stanu eksploatacyjnego.

Wyniki przeprowadzonych badań oraz sformułowane na ich podstawie wnioski i wytyczne aplikacyjne odnoszą się również do praktycznego celu rozprawy. Nadaje to uzyskanym wynikom istotny walor utylitarny oraz wskazuje na ich potencjalne znaczenie w projektowaniu i eksploatacji układów mechanicznych.

W mojej ocenie zakres przeprowadzonych badań oraz uzyskane wyniki pozwoliły na realizację przyjętych celów naukowego i praktycznego, a tym samym na sformułowanie odpowiedzi na problem badawczy.

3.5. Zastosowane metody badawcze

Do realizacji sformułowanych w rozprawie celów naukowego i praktycznego Doktorant zaproponował obszerny zakres badań eksperymentalnych. Obiektami badań były zróżnicowane pary cierne współpracujące w styku konforemnym (rozłożonym) i niekonforemny (liniowym) odwzorowujące rzeczywiste węzły silnika spalinowego. Każdorazowo próbkę z powłoką a-C:H:W odnoszono do próbki bez powłoki. W badaniach styku konforemnego przeciwpróbkę wykonano ze stopu łożyskowego, odwzorowując w ten sposób węzeł tarcia w układzie korbowym silnika. W styku niekonforemnym parę cierną stanowiła próbka pierścieniowa i komercyjna płytka zaworowa z powłoką węglową i bez niej, odwzorowując węzeł tarcia napędu zaworu silnika. Poza zróżnicowanymi parami ciernymi pracującymi w różnym kontakcie, Dok-

torant zaproponował trzy oleje silnikowe o różnej charakterystyce i stopniu zużycia eksploatacyjnego. Badania tribologiczne węzłów przeprowadzono na testerze T-05. Masę przeciwpróbek oceniano wagą Radwag WAA 40/160/X/1; ślady zużycia – lupą Dioptra Turnov, mikroskopem Meiji Techno M17000 oraz profilometrem Taylor Hobson Suftronic 3+; analizę stereometrii i parametrów chropowatości powierzchni – mikroskopem cyfrowym Keynce VHX-7000. W ujęciu ogólnym metodyka badawcza obejmowała:

- badania tribologiczne par ciernych w styku konforemnym i niekonforemnym;
- badania właściwości przeciwzatarciowych olejów;
- badania mikroskopowe;
- ocenę stopnia zanieczyszczenia oleju;
- pomiary chropowatości powierzchni.

W mojej ocenie zaproponowane przez mgr. inż. Macieja Daszykowskiego metody badawcze były wystarczające do osiągnięcia celu naukowego i praktycznego rozprawy.

3.6. Omówienie wyników badań

Przedstawione w rozprawie wyniki badań były konsekwencją przyjętej metodyki. W opisach i analizach wyników oraz wnioskowaniu widoczna jest dbałość o zachowanie formalnej ciągłości. Początkowo zaprezentowane zostały wyniki zarejestrowane na stanowiskach wraz z ich analizą, dalej wartości reprezentatywne w formie tabelarycznej i wykresy słupkowe stanowiące interpretację graficzną. Zamieszczone w rozprawie obrazy zanieczyszczeń i śladów zużycia oraz topografii powierzchni są wystarczajace w ocenie procesów. Wszystko poparto adekwatnym opisem ze wskazaniem wartości i różnic oraz korelacji z wynikami innych badaczy.

Na podstawie wyników badań Doktorant stwierdził, że właściwości tribologiczne powłoki a-C:H:W są determinowane przez geometrię styku, obciążenie węzła tarcia, temperaturę i stan oraz rodzaj środka smarnego. Analizowana powłoka węglowa umożliwia poprawę własciwości tribologicznych w odwzorowanych w badaniach rzeczywistych węzłach silnika spaliowego.

Omówienie wyników badań znajdujące się w rozprawie jest poprawne, stanowi logiczny i spójny ciąg wnioskowania, poparty wartościami liczbowymi oraz wskazaniem obserwowanych i możliwych trendów zmian. Na podkreślenie zasługuje fakt, że w analizie badań własnych mgr inż. Maciej Daszykowski odniósł się do rezultatów innych badaczy, dokonując ich konfrontacji z wynikami własnymi. Świadczy to o umiejętności właściwej interpretacji uzyskanych wyników oraz ich osadzenia w aktualnym stanie wiedzy w obszarze badań tribologicznych.

3.7. Praktyczne zastosowanie uzyskanych wyników badań

Uzyskane w toku prowadzonych badań wyniki wykazały, że zastosowanie powłok a-C:H:W na elementach konstrukcyjnych węzłów tarcia odwzorowujących te występujące w silnikach spalinowych umożliwia poprawę ich właściwości tribologicznych w zakresie zwiększenia odporności na zacieranie, jak i redukcji zużycia w warunkach ograniczonego smarowania. Na analizowane procesy istotny wpływ miał też rodzaj i stan eksploatacyjny oleju, co również zostało wykazane w toku prowadzonych badań. Właściwe powiązanie ze sobą elementów składowych układu powłoka węglowa – element współpracujący – olej silnikowy – rodzaj kontaktu stanowi istotną podstawę projetowania i eksploatacji rzeczywistych węzłów tarcia silnika spalinowego.

Wykazany przez mgr. inż. Macieja Daszykowskiego potencjał praktycznego zastosowania wyników uzyskanych w rozprawie oceniam pozytywnie. Doktorant wskazał ich możliwą aplikacyjność, uwzględniając jednocześnie ograniczenia wynikające z zakresu badań.

3.8. Uwagi i pytania sformułowane w toku oceny rozprawy

Pytania uogólnione:

1. Jak wyniki badań odnoszą się do rzeczywistych węzłów tarcia w silniku, w których panuje zmienne ciśnienie oleju?
2. Czy zdatność eksploatacyjną węzła tarcia można kształtować chropowatością elementu?
3. W jaki sposób uzyskane wyniki badań można wykorzystać w modelowaniu procesów tribologicznych?

Uwagi i pytania szczegółowe:

1. Dlaczego najpierw zdefiniowano cele naukowy i praktyczny, a dopiero później problem badawczy?
2. Dlaczego nie zastosowano kodowania próbek z węzłów tarcia i olejów?
3. W opisie wyposażenia badawczego pominięto dokładność i niepewność pomiarów.
4. W jaki sposób wykorzystano dynamiczny randomizowany program badawczy?
5. Co dokładnie obejmowała sobą analiza statystyczna?
6. Rys. 5.1 – co może być przyczyną oscylacji momentu przy prędkości 0,5–0,6 m/s?
7. Rys. 5.7 – czy nagły wzrost momentu powyżej prędkości 0,6 m/s może w dłuższej perspektywie eksploatacyjnej prowadzić do uszkodzeń?
8. Co oznaczają wąsy na wykresach słupkowych?

Nieprawidłowości edycyjne:

1. Stona 42. jest pusta.
2. W toku porównań grupy wyników na wykresach należy stosować taki sam zakres osi.
3. W niektórych fragmentach „nacisk” określa się mianem „siły nacisku”.
4. Używa się stwierdzenia „określono” do działań, których celem było „wyznaczenie”.
5. Tab. 5.20 i 5.21 mają taki sam tytuł.
6. Wykazy rysunków i tabel nie powinny się znaleźć w Wykazie załączników.

Przedstawione uwagi/pytania i nieprawidłowości mają w przeważającej części charakter informacyjny i doprecyzowujący, nie rzutują one zasadniczo na całokształt przedstawionych w rozprawie doktorskiej działań.

3.9. Oryginalność rozwiązania problemu naukowego

Problemem badawczym, jaki wskazał Doktorant w rozprawie, było określenie wpływu powłoki a-C:H:W wytworzonej metodą PVD oraz oleju silnikowego na parametry procesu tarcia oraz zużycie próbek i oleju. Powiązano z tym cel naukowy, doprecyzowując jednocześnie zakres do styku konforemnego i niekonforemnego. Osiągnięcie tego celu, a przez to oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wymagało przeprowadzenia szeregu badań i analiz oceniających zróżnicowane próbki pracujące przy różnych kontaktach, w obecności olejów o różnych właściwościach i w różnym stanie zużycia eksploatacyjnego. Działania te miały również znaczenie dla aplikacyjności wyników i przyczyniły się do osiągniecia celu praktycznego, którym było zwiększenie trwałości tribologicznej węzłów tarcia poprzez zastosowanie powłoki węglowej oraz odpowiedni dobór rodzaju i stanu oleju silnikowego. Przedstawione w rozprawie metody badawcze oraz wnioskowanie przyczyniły się do poszerzenia wiedzy w obszarze badań tribologicznych zróżnicowanych węzłów tarcia o różnym charakterze kontaktu, pracujących przy tym w obecności różnych olejów. Oryginalność rozwiązania problemu naukowego polegała na ocenie wpływu tych zmiennych na parametry procesu tarcia oraz jego skutki, co umożliwiło kompleksową ocenę odwzorowanych w badaniach węzłów tarcia silnika spalinowego. Przedstawione w rozprawie działania podkreślają zaangażowanie i biegłość Doktoranta w podejmowaniu złożonych wyzwań związanych z poprawą trwałości eksploatacyjnej układów mechanicznych.

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy potwierdzających oryginalność rozwiązania problemu naukowego zaliczam:

- odwzorowanie rzeczywistych węzłów tarcia silników spalinowych w warunkach stanowisk modelowych;
- badania eksperymentalne z użyciem zróżnicowanych metod;
- ocenę tribologiczną powłoki a-C:H:W naniesionej na jeden z elementów pary ciernej pracującej w różnych kontaktach, w obecności olejów silnikowych o zróżnicowanych właściwościach i stanie eksploatacyjnym;
- ocenę eksploatacyjną stosowanych w badaniach olejów.

Na tej podstawie stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Macieja Daszykowskiego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

3.10. Ogólna wiedza teoretyczna prezentowana w rozprawie

Zaprezentowane w rozprawie, zarówno w części przeglądowej, jak i w analizie wyników i wnioskowaniu treści przedstawiają aktualny stan wiedzy, wskazując przy tym obszar stanowiący lukę badawczą. Widoczna jest swoboda, z jaką Doktorant identyfikował w doniesieniach literaturowych informacje istotne dla problematyki rozprawy. Trafnie opisano poruszaną tematykę i przedstawiano stan wiedzy teoretycznej, zidentyfikowano lukę badawczą oraz określono cele naukowy i praktyczny zmierzające do rozwiązania problemu badawczego. Wykorzystanie szeregu stanowisk badawczych oraz dobór aparatury pomiarowo-kontrolnej wymagały szczegółowej analizy teoretycznej. Warto podkreślić biegłość Doktoranta w wyjaśnianiu zjawisk i procesów związanych z problematyką rozprawy oraz w konfrontowaniu ich z wynikami przedstawionymi w literaturze naukowej.

Na tej podstawie stwierdzam, że zakres przeprowadzonych badań i analiz przedstawionych w recenzowanej rozprawie świadczą o posiadanej przez mgr. inż. Macieja Daszykowskiego wiedzy teoretycznej, mieszczącej się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

3.11. Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

W początkowej części rozprawy Doktorant w sposób wyczerpujący przedstawił stan wiedzy i wskazał obszar stanowiący lukę badawczą, co stanowiło podstawę do określenia celów i problemu badawczego. Widoczna była dbałość o opis stanowisk i metod badawczych oraz sposobu prowadzenia analiz. Tok badawczy i wnioskowanie były każdorazowo uzupełniane komentarzem wyjaśniającym. Wyniki przeprowadzonych badań i analiz zawierały porównania z wynikami innych badaczy, uzupełniając tym samym aktualny stan wiedzy. Wszystko to potwierdza dojrzałe podejście Doktoranta do planowania i prowadzenia badań oraz późniejszych analiz. Zauważalny jest fakt, że dużą część rozprawy stanowiło omówienie wyników badań. Rozprawę doktorską, poza walorami naukowymi, charakteryzuje również potencjał aplikacyjny.

Na tej podstawie stwierdzam, że przeprowadzone badania, analizy oraz wnioskowanie przedstawione przez mgr. inż. Macieja Daszykowskiego w recenzowanej rozprawie świadczą o umiejętności samodzielnego prowadzenia prac naukowych.

4. Konkluzja

Pomimo uwag zawartych w recenzji rozprawy uważam, że przedstawione w niej badania i analizy pozwoliły na sformułowanie odpowiedzi na przedstawiony problem badawczy. Istotnym osiągnięciem było wykazanie, że właściwe powiązanie ze sobą elementów układu, jakimi były powłoka węglowa – element współpracujący – olej silnikowy – rodzaj kontaktu, wpływa na

odporność na zacieranie, jak i zużycie w warunkach ograniczonego smarowania, stanowiąc tym samym podstawę projektowania i eksploatacji rzeczywistych węzłów tarcia.

Przedstawione w rozprawie doktorskiej mgr. inż. Macieja Daszykowskiego pt. „Wpływ powłoki amorficznego węgla a-C:H:W oraz stopnia zużycia syntetycznych olejów silnikowych na właściwości tribologiczne smarowanych węzłów tarcia" osiągnięcia prezentują ogólną wiedzę teoretyczną, wykazując przy tym umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta, oraz stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego związanego z analizą procesu tarcia i zużycia.

Reasumując:

- stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r., poz. 742) i wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony;
- uważam, że zakres zagadnień poruszanych w rozprawie mieści się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

dr hab. inż. Dariusz Szpica, prof. PB