

AKADEMIA MORSKA w SZCZECINIE
*Wydział Mechaniczny, Katedra Diagnostyki i Remontów Maszyn
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin
e-mail: a.adamkiewicz@am.szczecin.pl
Tel. (91) 48 09 902*

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Sikory

pt.: Analiza wpływu starzenia oleju silnikowego na parametry eksploatacyjne i przepływowe poprzecznego łożyska ślizgowego

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą wykonania recenzji była decyzja Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni z dnia 16.07.2019 r., przekazana recenzującemu pismem z dnia 29.10.2019 r., sygnowanym przez Pana Prof. dr hab. inż. Adama Charchalisa.

Recenzję opracowano na podstawie rozprawy doktorskiej, wydanej drukiem w 2019 r., pod wyżej podanym tytułem, z afiliacją Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni.

2. Aktualność, geneza i ocena podjętego tematu

Łożyska silników okrętowych: główne wału korbowego, korbowe, korbowodowe i łożyska wirników turbosprężarek są projektowane zgodnie z przyjętymi założeniami w celu spełnienia zdanej funkcji. W rzeczywistości pracują one w warunkach odmiennych od projektowych: inne/różne są ciśnienia hydrodynamiczne w filmie olejowym, temperatury pracy, a także szybkości ścinania. Łożyska są poddawane poza projektowym obciążeniami. Realne obciążenia łożysk, zależne od konstrukcji silnika, jego parametrów pracy, rodzaju paliwa zasilającego, konfiguracji układu turbodoładowania silnika, prędkości obrotowej wału korbowego i momentu obrotowego, jak również stanów eksploatacyjnych statku, składają się na całokształt czynników determinujących tempo zjawisk zachodzących w procesie starzenia oleju smarnego.

Powodując termiczny rozkład węglowodorów oleju bazowego, modyfikatorów lepkości i niektórych dodatków uszlachetniających, wysoka temperatura przyspiesza proces utleniania. Lepkość oleju silnikowego, podlegająca złożonym wpływom warunków pracy, w trakcie eksploatacji jest zmienna. Następuje ewolucyjne pogarszanie się jakości oleju, postępują zmiany właściwości oleju i jego zużycia ilościowego i jakościowego. Po długich okresach pracy oleju w warunkach cieplnych węzłów tribologicznych i oddziaływania tlenu zawartego w powietrzu, traci on własności projekto-

we substancji smarnej węzła. W konsekwencji postępuje proces starzenia eksploatowanego oleju.

Parametry olejów silnikowych podczas eksploatacji silnika nie są jednolite i zmieniają się w zależności od warunków pracy, ilości przepracowanego czasu, stanu technicznego silnika i elementów z nim współpracujących.

Zależności lepkości od temperatury, ciśnienia i szybkości ścinania są dobrze zbadane i przedstawione w literaturze technicznej. Podobnie jak rozpoznane są zmiany właściwości olejów silnikowych zachodzące podczas eksploatacji. Są to jednak wyniki badań eksperymentalnych, opartych na analizie wyników pomiarów wielkości mierzalnych. Dostępna literatura przedmiotu nie dostarcza jednak całościowych wyników analityczno-numerycznych badań modelu reologicznego oleju silnikowego, w pełnym cyklu badawczym, z eksperymentalną weryfikacją wyników i walidacją modelu w procesie starzenia. Taki stan wiedzy Autor słusznie podkreślił już na początku *Wstępu* rozprawy.

Wszelkie zmiany właściwości olejów smarnych wykraczające poza przyjęte dla nich wartości graniczne, niosą zagrożenie uszkodzenia elementów układu tribologicznego, zmniejszenia ich trwałości. Wymienione czynniki wpływu na szybkość zużycia tribologicznego, a w konsekwencji na trwałość i niezawodność łożysk czynią zagadnienie ważnym i aktualnym.

Temat przedłożonej do recenzji rozprawy wywodzi się bezpośrednio z narastającej konieczności dostosowywania technologii okrętownictwa do zmieniających się warunków pracy silników i maszyn, nowych materiałów smarnych i wymagań technicznych, został sformułowany właściwie i obejmuje zagadnienia poznawcze analizowane w pracy.

Uwzględniając powyższe, uważam, że podjęta tematyka pracy jest aktualna i wychodzi naprzeciw wyzwaniom współczesności. Fakt ten jest dobrą podstawą i uzasadnieniem rozważenia badawczego w recenzowanej pracy.

W rozprawie Autor podjął się zadania sformułowania, a następnie innego niż tylko eksperymentalne, rozwiązania (analizy teoretycznej, badań eksperymentalnych oraz numerycznego obliczenia parametrów przepływowych i eksploatacyjnych poprzecznych łożysk) złożonego, ciągle aktualnego i ważnego problemu badawczego.

Tym samym, trafność wyboru tematu rozprawy wychodzi naprzeciw potrzebom współczesnych technologii okrętownictwa, a sposób rozwiązania problemu badawczego świadczy o jego oryginalności technicznej oraz wartości wyników.

3. Charakterystyka ogólna, źródła literaturowe, cel i zakres pracy

Recenzowaną pracę zredagowano i wydrukowano łącznie na 155. stronach, z afiliacją Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni. Rozprawa składa się z *Wykazu zastosowanych oznaczeń i symboli*, *Wstępu*, pięciu ponumerowanych rozdziałów merytorycznych obejmujących 101 stron oraz szóstego rozdziału zatytułowanego *Spostrzeżenia i wnioski końcowe, oznaczonego jako rozdział 7.* oraz ze *Spisu rysunków, Spisu tabel, Bibliografii, Streszczenia i Abstract'u.* Układ pracy jest skonfigurowany stosownie do jej specyfiki merytorycznej oraz zakresu i sposobu rozwią-

zania problemu badawczego, z poprawnym następstwem rozdziałów. *Wstęp* rozprawy, rozbudowany strukturalnie i merytorycznie poprawny, jest nietypowo metodycznie obszerny. *Wstęp*, jako rzetelna analiza stanu wiedzy problemu badawczego, jest fundamentem pracy, świadczy o doskonałej znajomości podjętego tematu przez jej Autora. Podana na początku *Wstępu* wszechstronna, szeroka geneza tematu, (nawet odwołująca się do błędów w projektowaniu lub eksploatacji, cytując: „z błędnego zaprojektowania węzła tarcia ślizgowego lub złym doborem oleju” str. 8), jest podstawą wnikliwych badań literaturowych przedstawionych w podrozdziale „1.1 Analiza literatury”. W analizie literatury obok wielu innych prac, szczególnie zauważono prace K. Wierzchołskiego, E. Walickiego, A. Walickiej, J. Kicińskiego, A. Miszczaka, związane ze smarowaniem olejami łożysk ślizgowych o różnych powierzchniach. Kontynuując Doktorant przedstawił rys historyczny oraz ewolucję rozwoju nauki o smarowaniu. Wskazał rozwiązania teoretyczne wpływu różnych czynników w hydrodynamicznej teorii smarowania, między innymi efekt EHD, aspekty teorii smarowania wyprowadzonej przez O. Reynoldsa dla różnych rodzajów przepływów.

Analiza ta stanowi cenniejszą część rozprawy, zawiera studium materiałów konferencyjnych, artykułów i monografii naukowych, krajowych i zagranicznych dotyczących teoretycznych i praktycznych problemów łożysk ślizgowych. Przedstawione w następstwie analizy podsumowanie dokonanego przeglądu literatury jest uporządkowanym odniesieniem się Doktoranta do stanu wiedzy elementarnych zagadnień przedmiotu badań, przedstawionych w ośmiu punktach 1.1.1-1.1.8 i we *Wnioskach dotyczących przeglądu literatury* zsyntezowanych w podrozdziale 1.1.9.

Wykaz przywołanych źródeł literaturowych zawiera 256 pozycji podanych w kolejności alfabetycznej, w tym, spośród zamieszczonych w pracy, po roku 2000 opublikowano 149 pozycji literatury, a więc ponad połowa źródeł liczy mniej niż 19. lat, spośród których 63 źródła zwarte wydano w latach 2011-2019. Oznacza to, że dokonaną analizę istniejącego stanu wiedzy oparto na współczesnej, aktualnej merytorycznie literaturze, w zakresie tematu badań, opartą na źródłach obejmujących informacje dotyczące:

- fizyki smarowania łożysk ślizgowych (15 pozycji);
- właściwości reologicznych olejów smarowych (37 pozycji);
- równań konstytutywnych (43 pozycje);
- wpływu szybkości ścinania na lepkość dynamiczną (10 pozycji);
- wpływu temperatury na lepkość dynamiczną (6 pozycji);
- wpływu ciśnienia na lepkość dynamiczną (2 pozycje);
- wpływu starzenia na lepkość dynamiczną oleju (8 pozycji);
- kompleksowych badań reologicznych (1 pozycja).

Wykaz zamieszczonych źródeł bibliograficznych dowodzi wnikliwej znajomości przywołanej literatury przedmiotu przez Kandydata, szczególnie w zakresie istoty problemu badawczego związanego ze smarowaniem łożysk ślizgowych. Ich analiza wykazała brak opracowań w zakresie planowanego eksperymentu. W dostępnej literaturze nie napotkano zależności opisujących zmiany lepkości dynamicznej od temperatury, ciśnienia, szybkości ścinania oraz starzenia oleju, w sumie od parametrów eksploatacyjnych i przepływowych przedmiotu badań.

Kandydat stwierdził, iż nie napotkał literaturze wyników badań eksperymentalnych lepkości dynamicznej olejów silnikowych w procesie eksploatacji, wykonanych w warunkach odniesienia (pkt. 1,1,9 str. 25), rozpatrujących osobno każdy z czynników wpływu: temperatury, ciśnienia, szybkości ścinania oraz starzenia, podobnie jak obliczeń numerycznych opartych na równaniu konstytutywnym z lepkością pozorną. Równocześnie wskazano zasadność zastosowania, w badaniach własnych, takiego równania.

Autor rzetelnie odniósł się do dorobku własnego środowiska naukowego, przywołując w bibliografii prace, realizowane na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, w tym trzynaście prac współautorskich [145-149], [177-184] oraz dwie samodzielne Kandydata [175, 176] .

Na podstawie badań literaturowych, Doktorant wykazał potrzebę podjęcia kompleksowych badań wyczerpujących problem, obejmujących dobór postaci równania konstytutywnego i wyprowadzenie równań hydrodynamicznej teorii smarowania, budowę (*rzeczywistych?*) modeli reologicznych dla olejów silnikowych, z obliczeniami numerycznymi parametrów przepływowych i eksploatacyjnych poprzecznych łożysk ślizgowych.

Odnosząc się krytycznie do efektów postępowania personelu w doświadczeniach eksploatacji silników spalinowych w transporcie morskim, lotniczym i lądowym, (w dyskusji pominięto rolę i wymagania towarzystw klasyfikacyjnych, konwencji międzynarodowych, przepisów resortowych oraz producentów silników, str. 25 pkt. 1.2) co do przyjętej strategii eksploatacji, uzasadnienie podjęcia tematu połączono z różną jakością procedur obsługowych. Znaczenie tego argumentu uznaję za merytorycznie właściwe, natomiast w systemie eksploatacji obiektów badań, nie powinno mieć miejsca.

Synteza wiedzy na temat problemów hydrodynamicznej teorii smarowania poprzecznych łożysk ślizgowych, doprowadziła do sformułowania problemu badawczego w podrozdziale 1.2 rozprawy, wyrażonego „*tezą i celami i rozprawy*”. Sformułowano tezę w brzmieniu wniosków wynikających z przeprowadzonej analizy literatury (str. 26): cytuję „*W powyżej opisanym kontekście zasadne wydaje się być postawienie tezy:*

Zmiany lepkości dynamicznej oleju, związane z jego starzeniem oraz wpływem szybkości ścinania, ciśnienia i temperatury mają znaczący wpływ na parametry eksploatacyjne i przepływowe poprzecznych łożysk ślizgowych, z której wyprowadzono cztery podstawowe cele pracy.

Można przypuszczać, iż podany w podrozdziale „1.3. Plan badawczy” wynikający z wyznaczonych celów podstawowych nakreśla równocześnie zakres pracy w planie badań.

Na początku każdego rozdziału, począwszy od „Wstępu”, jako pierwszego, do rozdziału szóstego „*Obliczanie numeryczne parametrów przepływowych i eksploatacyjnych poprzecznego łożyska ślizgowego*”, Autor umieścił wprowadzenie do treści zawartych w każdym rozdziale.

4. Analiza i ocena merytoryczna rozprawy

W rozdziale 2. zatytułowanym „*Charakterystyka obiektu badań*” dokonano wyboru obiektu badań, spośród stosowanych w silnikach spalinowych – poprzecznych łożysk ślizgowych.

Na potrzeby pracy przyjęto model łożyska cylindrycznego, z gładką nieporowatą panewką, o pełnym kącie opasania, obciążonego stacjonarnie, nieizotermicznego, smarowanego olejem o właściwościach nienewtonowskich, najczęściej stosowanego w technice, dla którego przyjęto model czynnika smarującego, model cieplny łożyska oraz zdefiniowano jego wymiary geometryczne.

Szeroko opisany w literaturze model matematyczny hydrodynamicznego smarowania łożysk ślizgowych przedstawiono w rozdziale 3., zatytułowanym „*Równania podstawowe hydrodynamicznej teorii smarowania*”. Wpływ zmiany temperatury, ciśnienia oraz szybkości ścinania w cienkiej warstwie filmu olejowego na zmiany lepkości oleju w okresie eksploatacji opisano za pomocą modelu konstytutywnego z lepkością pozorną. W podrozdziale 3.1 „*Plan wykonania badań analitycznych*” przedstawiono rozwiązanie równań podstawowych hydrodynamicznej teorii smarowania, w którym każdy człon równania zachowania pędu, energii oraz ciągłości strumienia zapisano we współrzędnych walcowych. Po ubezwymiarowaniu członów równań, ustaleniu warunków brzegowych, oszacowaniu rzędu wielkości poszczególnych członów i po scałkowaniu równań z uwzględnieniem warunków brzegowych, wyprowadzono zależności do określenia parametrów przepływowych i eksploatacyjnych łożyska. Opisany sposób rozwiązania układu równań (3.90-3.101) oceniam jako merytorycznie poprawną procedurę, do zastosowania w obliczeniach numerycznych parametrów przepływowych i eksploatacyjnych łożysk ślizgowych.

Rozdział czwarty rozprawy poświęcono „*Badaniom właściwości reologicznych olejów smarowych*” pod kątem starzenia. Rozdział wykracza poza zakres dotychczasowych publikacji przedmiotu badań. Przywołane w rozprawie pozycje literatury przedstawiają wyniki badań wycinkowo, dotyczą różnych planów eksperymentów i nie spełniają wymagań porównywalności wyników, do sporządzenia na ich podstawie charakterystyk starzenia oleju.

Plan przedmiotu badań przewidywał wyjątkowo szeroki, zupełny merytorycznie, zakres eksperymentu: od poboru próbek oleju z silników o znanym sposobie eksploatacji, poprzez badania wpływu temperatury, ciśnienia i szybkości ścinania, na lepkość dynamiczną oleju nowego, badania wpływu starzenia na lepkość dynamiczną oleju zużytego, opracowanie charakterystyk $\eta(T)$, $\eta(p)$, $\eta(\theta)$, $\eta(\tau)$ w oparciu o uzyskane powyższe wyniki dla badanych olejów, poprzez dobór modeli dla poszczególnych wpływów i otrzymanych charakterystyk aż po aproksymację wyników funkcjami opisującymi, zgodnie z założonymi/przyjętymi modelami.

W podrozdz. 4.2 „*Informacje o badanych olejach*” Autor precyzyjnie zademonstrował warsztat eksperymentalny, nie uciekając od ustosunkowania się do pokonywanych trudności w zapewnieniu porównywalności wyników, a tym samym zapewnienia wiarygodności i wartości wyników końcowych przedmiotu badań. W tabeli 4.1 zestawiono informacje o badanych próbkach oleju.

Podrozdział 4.3 jest precyzyjnym opisem budowy i możliwości pomiarowych, aparatury badawczej, zastosowanej do badania zmian lepkości spowodowanych przez różne przyczyny/czynniki. Badania przeprowadzono za pomocą reometru Haake Mars III firmy Thermo Scientific współpracującym z Komputerem klasy PC. Rozdział czwarty uzupełniają i wzbogacają podrozdziały: 4.4. Przebieg badań, 4.5. Wstępna analiza lepkości dynamicznej oleju, w którym rozróżniono w 4.5.1. Analizę próbki 1 – Castrol Edge, 4.5.2. Analizę próbki 2 – Shell Helix, 4.5.3. Analizę próbki 3 – Castrol Magnatec, 4.5.4. Analizę próbki 4 – Fuchs Titan – holownik Centaur, 4.5.5. Analizę próbki 5 – Fuchs Titan – holownik Heros silnik A, 4.5.6. Analizę próbki 6 – Fuchs Titan – holownik Heros silnik B, oraz o 4.5.7. *Wnioski dotyczące starzenia oleju.*

Struktura rozdziału „5. Modelowanie charakterystyk” jest konsekwencją przyjętego w rozdz. 4 programu badań. Polegał on na doborze funkcji opisującej do zamodelowania zależności lepkości dynamicznej wszystkich badanych olejów, na podstawie uzyskanych w rozdz. 4 wyników pomiarów.

W wyniku modelowania charakterystyk zmian lepkości dynamicznej od okresu eksploatacji oleju dla silników morskich stwierdzono, że są one bardzo podobne dla trzech silników tego samego producenta, smarowanych tym samym olejem, pomimo iż były zainstalowane na różnych jednostkach, wyprodukowane w różnym czasie oraz obsługiwane przez różnych operatorów. Przedstawione wyniki badań dla silników morskich dowodzą, że dla danego silnika, oleju i podobnego zastosowania można z dużą dokładnością określić maksymalny okres eksploatacji oleju.

Efektom badań przedstawionych w rozdziale 5. są wartości współczynników funkcji opisujących zależności lepkości od poszczególnych wpływów.

Na podstawie dorobku eksperymentalnego rozdziałów 4 i 5, w tabeli 5.1 umieszczono współczynniki wpływu, które w rozdziale 6 wykorzystano do obliczeń numerycznych i symulacji na parametry przepływowe i eksploatacyjne poprzecznego łożyska ślizgowego.

Obliczenia wykonano dla wpływów: temperatury, ciśnienia, szybkości ścinania i starzenia, indywidualnie lub łącznie, rozszerzając je o symulacje numeryczne dla różnych bezwymiarowych długości łożysk. Kompleksowe badania poszczególnych wpływów przeprowadzono dla oleju nr 4 – Fuchs Titan, stosowanego w silnikach okrętowych. Precyzyjny plan przeprowadzenia badań numerycznych zamieszczono w podrozdz. 6.1. Badane parametry eksploatacyjne przedstawiono w funkcji mimośrodowości względnej λ . Obliczenia numeryczne równania typu Reynoldsa wykonano metodą różnic skończonych przy wykorzystaniu programu Mathcad i własnych procedur obliczeniowych, również metodą iteracyjną. W kolejnych podrozdziałach rozdziału 6 opisano przeprowadzone obliczenia symulacyjne: w 6.2. „Wyznaczenie parametrów bez uwzględnienia poszczególnych wpływów” – Symulacja 40; w 6.3. „Obliczenia numeryczne wpływu szybkości ścinania na parametry przepływowe i eksploatacyjne poprzecznych łożysk ślizgowych” – Symulacja 41, według analogicznych procedur itd. Rozdział zamykają „Wnioski dotyczące badań numerycznych.”

W podrozdziałach 6.2 – 6.5 określono rozdzielnie wpływ szybkości ścinania, temperatury i ciśnienia oraz starzenia na zmianę parametrów przepływowych i eksploatacyjnych w porównaniu z olejem o cechach newtonowskich. Wyniki badań, uwzględniające jednoczesny wpływ szybkości ścinania, temperatury oraz ciśnienia, przedstawione w rozdziale 6.5, przyjęto jako parametry referencyjne do oceny wpływu starzenia oleju silnikowego.

Wpływ starzenia na parametry przepływowe i eksploatacyjne szczegółowo zbadano dla oleju nr 4 (co 0,2 całkowitego okresu eksploatacji) oraz dla nowego i „zużytego”/przepracowanego oleju nr 1. Lepkość oleju nr 4 malała w okresie eksploatacji, natomiast w przypadku oleju nr 1 zaobserwowano wzrost lepkości. W obydwu przypadkach wpływ starzenia oleju był o 2÷3% większy niż wynikałoby to ze wzrostu lub zmniejszenia lepkości w konsekwencji starzenia.

W „*Spostrzeżeniach i wnioskach końcowych*” zamykających rozprawę jako rozdział siódmy, Autor stwierdził, że pracę wykonano zgodnie z planem badawczym oraz szczegółowymi planami rozdziałów. Z każdego rozdziału wyprowadzono wnioski szczegółowe. W syntezie podsumowania końcowego Kandydat uznał, iż sformułowana w rozdziale 1.2 teza została udowodniona, gdyż wyniki obliczeń numerycznych wykazują silny wpływ ciśnienia, temperatury, szybkości ścinania i starzenia (rozpatrywane oddzielne i jednocześnie) na wartości parametrów przepływowych jak i eksploatacyjnych w porównaniu z wynikami obliczeń numerycznych. Podsumowując stwierdzono, że wszystkie wyznaczone cele rozprawy zrealizowano.

W zakończeniu pracy Autor wskazał możliwości utylitarnego zastosowania uzyskanych wyników badań oraz zbudowanych modeli reologicznych, przewidując ich wykorzystanie do:

- rozwoju nowoczesnych olejów silnikowych,
- inteligentnego określania okresów między obsługami,
- rozwoju metod aktywnej analizy stanu oleju silnikowego.

Wyznaczone kierunki dalszych badań należy uznać za sformułowane poprawnie, chociaż specyfika problemu badawczego wyznacza granice tych możliwości.

5. Krytyczna analiza rozprawy

W podrozdziale „1.2. *Cele i teza pracy*” nie podano celu głównego rozprawy, jak również nie wyartykułowano w realizacji celów istoty ich nowatorskiego charakteru, co nowego będzie wносиła realizacja wskazanych celów. Fakty te są w rozprawie rozproszone, a formuła pracy zasługuje na ich zaakcentowanie. Podniosłoby to walory jej odbioru jako pracy badawczej. Autorskie, oryginalne osiągnięcia metodyczne warsztatu naukowego, poznawcze i utylitarne oraz wnioski z pracy, Kandydat w różny sposób ujawnił w kolejnych rozdziałach rozprawy.

W pracy znalazły miejsce:

- skróty myślowe typu np.:

- w ppkt. 1.1.9. str. 25: „...wyznaczenie rzeczywistych modeli reologicznych...” co jest sprzecznością definicyjną, model jest uproszczonym opisem rzeczywistego obiektu,
- nieprecyzyjności terminologiczne, np.:
- niektóre z nazw etapów postępowania w pracy odbiegają od przyjętej terminologii technicznej, np. w podrozdz. „1.3. Plan badawczy”, pkt. „2) Weryfikacja wyników pierwszych badań eksperymentalnych” Autor prawdopodobnie ma na myśli: *Weryfikację wyników pomiarów pilotażowych* (str. 27),
 - występujące w zależności (3.3) na str. 34 oraz w *Wykazie zastosowanych oznaczeń i symboli* Ω – ciepło na jednostkę objętości doprowadzone do oleju z innych źródeł [$W \cdot m^{-3}$], wymaga sprostowania w korelacji z podanymi jednostkami,
 - czynnik w wykładniku potęgowym w zależności (5.8), str. 86 opisany w *Wykazie oznaczeń i symboli*, na str. 6 jako τ – okres eksploatacji oleju [km] lub [h] lub [mth], występujący w rozdziale 5. na rysunkach 5.15-5.20 w opisie osi zmiennej niezależnej, prawdopodobnie jest reprezentantem czasu eksploatacji, wyrażonym w innych jednostkach niż czas (co wymaga wyjaśnienia),
 - nie wyjaśnioną jest jednostka [mth].

Występujące nieliczne nieścisłości terminologiczne, stylistyczne i redakcyjne oraz skróty myślowe, można uznać za konsekwencje redakcji tekstu i formatowania rozprawy, o znikomym znaczeniu dla jej całości.

6. Uwagi ogólne

Innowacyjność badań przedstawionych w rozdziale 4. rozprawy, posiada wyjątkową wartość naukową, polegającą na poddaniu badaniom całości zjawisk towarzyszących starzeniu oleju, według jednego, spójnego planu badań eksperymentalnych (w odróżnieniu od informacji w publikacjach przywołanych w literaturze tematu).

Dla zachowania wysokiej jakości wyników badań, w sposób umożliwiający powtórzenie/sprawdzenie wyników badań, w zakresie poboru próbek oleju Autor wzorcowo raportował w rozprawie procedurę pozyskiwania próbek oleju do pomiarów. W celu zapewnienia jakości charakterystyk starzeniowych, próbki oleju pobierano w przedziale dwóch lat, w ciągu których metody poboru systematycznie doskonalono pod kątem stanu termicznego silnika w chwili pobierania próbki, częstotliwości i miejsca poboru próbek, właściwości pojemników i ich pojemności oraz stanu energetycznego silnika (po dłuższym okresie pracy, po wyłączeniu silnika z ruchu). Sposób poboru próbek oleju i ich modyfikację uważam za modelowe.

Przeprowadzone badania na próbkach oleju, miały typowy dla okrętowych przedmiotów badań charakter eksperymentalno-teoretyczny. Dzięki modułowej budowie aparatury, umożliwiającej dostosowanie do badania konkretnych zależności oraz dodatkowemu oprzyrządowaniu, zastosowany w eksperymencie reometr, służąc do badania zmian lepkości dynamicznej w zależności od różnych parametrów – temperatury, ciśnienia i szybkości ścinania, przyrząd spełniał oczekiwania funkcyjne

planu badawczego. Sposób, samodzielne dostosowanie stanowiska badawczego do planu eksperymentu i jego realizacja jest indywidualnym osiągnięciem doktoranta.

Po analizie otrzymanych charakterystyk starzenia olejów samochodowych i okrętowych Autor stwierdził że:

- a) Lepkość dynamiczna nowego oleju, mierzona w warunkach odniesienia, różni się znacznie (16,6%) dla badanych olejów spełniających wymagania klasy lepkości 5W30 (1-Castrol Edge, 3-Castrol Magnatec).
- b) W sposobie starzenia olejów samochodowych trudno dopatrzeć się relacji z czasem pracy i warunkami eksploatacji silników. Pozostałe wnioski dotyczące starzenia się oleju silników samochodowych, na tym etapie badań w rozprawie, uważam za przedwczesne.
- c) Olej silnikowy Fuchs Titan stosowany w silnikach okrętowych, eksploatowanych zgodnie z zalecaniami producenta, ulega starzeniu w sposób przewidywalny i powtarzalny.

Dla większości modeli uzyskano dobrą jakość dopasowania funkcji do wyników pomiarów, a w przypadku słabszych związków dopasowania np. $R^2 = (0,39 - 0,47 - 0,75)$ podjęto dyskusję na temat przyczyn słabszego dopasowania, poszukując przyczyn takich wyników.

Do modelowania zależności lepkości dynamicznej od temperatury i szybkości ścinania zastosowano modele znane z literatury, zweryfikowano przy tym zależność lepkości dynamicznej od ciśnienia – model Barusa i zaproponowano własny, silniejszy związek, lepiej opisujący badaną relację (podrozdz. 5.2. str. 77). Opracowany w rozprawie model zmian lepkości zależnych od okresu eksploatacji należy uznać za element dysertabilności recenzowanej rozprawy.

Tym samym, uzyskane wyniki badań eksperymentalnych i teoretycznych uważam za oryginalne osiągnięcie badawcze Doktoranta.

Wnikliwe wykorzystanie w rozdziale 6 pozyskanego w pracy materiału badawczego, w opinii recenzującego, zdecydowanie wzbogaciło rozprawę i zwiększyło jej wartość poznawczą. Rozprawa w tym zakresie nie została przez Doktoranta wyeksploatowana informacyjnie.

Tytuł pracy predysponuje ją jako eksperymentalno-teoretyczną, wynikającą z istnienia trzech rozdziałów pracy: czwartego dotyczącego eksperymentu i modelu matematycznego w rozdziale piątym i szóstym.

Nie bacząc na powyższe, należy stwierdzić, iż przedłożone opracowanie, zredagowane komunikatywnym językiem technicznym, wystarczająco precyzyjnie prezentuje zawarte w nim treści merytoryczne. W rozprawie można zauważyć następujące elementy decydujące o jej dysertabilności:

1. Aktualność problemu badawczego oraz pionierski charakter rozpoznanego, ale nie w pełni zbadanego w całości dotychczas przedmiotu badań.
2. Nowatorski model zmian lepkości zależnej od czasu eksploatacji, gdyż w literaturze nie znaleziono podobnych zależności matematycznych związanych z czasem pracy olejów lub jego reprezentantami.
3. Osiągnięcie naukowe w rozpatrywanym zakresie wiedzy, rozwojowe dla możliwości poznawczych przyszłych badań.

Recenzowana rozprawa doktorska zawiera nie tylko wartość poznawczą, ale przede wszystkim użyteczną. Dlatego jako recenzent dostrzegłem w rozprawie elementy, które inspirowały do zadania jej Autorowi następujących pytań:

1. Dysponując wynikami niniejszej rozprawy, jak należałoby zmodyfikować plan eksperymentu w przyszłych badaniach, dla olejów przewidywanych do użytkowania w układach tribologicznych silników okrętowych, a jak dla olejów pracujących w układach silników samochodowych?

7. Podsumowanie i konkluzja

Współczesny poziom rozwiązania problemu badawczego w rozprawie wsparto obszerną, najnowszą wiedzą, opublikowaną w precyzyjnie dobranych naukowych publikacjach krajowych i zagranicznych, periodykach i materiałach konferencyjnych, w tym również wykorzystującą osiągnięcia polskiego środowiska tribologicznego. Na tym tle w podsumowaniu recenzji pracy doktorskiej przedstawiam następującą opinię:

1. Rozpatrywane w rozprawie zadania, sformułowane w postawionych celach, rozwiązano i opracowano z uwzględnieniem aspektów aplikacyjnych wynikających z aktualności przedmiotu badań.
2. Nieliczne uwagi krytyczne podnoszone w recenzji, nie podważają pozytywnej oceny rozprawy
3. Zaprezentowane w rozprawie informacje są w przeważającej części oryginalnym, autorskim dorobkiem naukowym Doktoranta.

Przewaga wartości merytorycznych o charakterze użytecznym nad niedociągnięciami edytorskimi sprawia, iż recenzowaną pracę oceniam pozytywnie. Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Grzegorza Sikory pt.: „Analiza wpływu starzenia oleju silnikowego na parametry eksploatacyjne i przepływowe poprzecznego łożyska ślizgowego” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zawarte w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku (Dz.U. nr 65 poz.595) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i w art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. poz. 1669).

W związku z powyższym przedkładam opiniowaną pracę Radzie Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni i proponuję dopuszczenie mgr inż. Grzegorza Sikorę do publicznej obrony.

Biorąc powyższe pod uwagę oraz nowatorski charakter warsztatu naukowego, rzetelność i precyzyjność przedstawienia zrealizowanych procedur badawczych oraz uzyskanych wniosków poznawczych, które wygenerowały w procesie realizacji pracy nowe elementy i osiągnięcia, niniejszym wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej rozprawy.

Andrzej Adamkiewicz