

Poznań, 14.04.2026

prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski
Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych
Instytut Technologii Mechanicznej
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 3
60-965 Poznań
tel.: +48 61 6653570
e-mail: michal.wieczorowski@put.poznan.pl

Ocena rozprawy doktorskiej

Badanie i analiza wpływu wybranych dodatków roślinnych na parametry eksploatacyjne oleju smarnego stosowanego w silnikach okrętowych

mgr. inż. Małgorzata Malinowska

Podstawa recenzji

Pismo prof. dr hab. inż. Andrzeja Bochata, wyznaczonego przez JM Rektora Politechniki Bydgoskiej do prowadzenia prac Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna w postępowaniu o nadanie stopnia doktora mgr inż. Małgorzacie Malinowskiej, numer NB.520.3.3.2026 z dnia 02.04.2026.

1. Wprowadzenie

Zaprezentowana do oceny rozprawa doktorska Pani mgr inż. Małgorzaty Malinowskiej dotyczy analizy wpływu wybranych dodatków roślinnych na właściwości użytkowe oleju smarnego stosowanego w silnikach okrętowych. Praca koncentruje się na ocenie parametrów fizykochemicznych i eksploatacyjnych olejów, zarówno w stanie nieużywanym, jak i po procesach starzenia termicznego, a także na opracowaniu modeli opisujących wpływ składu mieszanin olejowych na ich właściwości. Podjęta tematyka jest bardzo istotna, ponieważ - szczególnie w ostatnich latach - obserwuje się dynamiczny rozwój badań nad zastosowaniem surowców

odnawialnych w technice, w tym w obszarze środków smarnych. Praca wpisuje się w nurt badań nad tzw. biosmarami, które stanowią cenną alternatywę dla konwencjonalnych produktów ropopochodnych, przyczyniając się wydatnie do ograniczenia ich negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne. Zagadnienie wykorzystania olejów roślinnych jako komponentów środków smarnych, zwłaszcza w zastosowaniach okrętowych, pozostaje nadal niewystarczająco rozpoznane, szczególnie w kontekście długotrwałej eksploatacji, stabilności oksydacyjnej oraz oddziaływań z materiałami konstrukcyjnymi.

Bardzo ważne jest również to, że rynek środków smarnych stosowanych w silnikach okrętowych stanowi istotny segment globalnego rynku olejów przemysłowych, charakteryzujący się wysokimi wymaganiami eksploatacyjnymi oraz rosnącą presją regulacyjną. W szczególności dotyczy to konieczności zapewnienia odpowiednich właściwości smarnych w warunkach dużych obciążeń i długotrwałej pracy, przy jednoczesnym ograniczaniu wpływu na środowisko naturalne. Również tutaj, w ostatnich latach obserwuje się wyraźny trend w kierunku opracowywania bardziej ekologicznych substancji smarnych, w tym produktów o zwiększonej biodegradowalności i obniżonej toksyczności, co stwarza przestrzeń dla zastosowania komponentów pochodzenia roślinnego.

Tematyka ta jest również zgodna z globalnymi trendami dekarbonizacji oraz rozwoju gospodarki o obiegu zamkniętym, w ramach których poszukuje się rozwiązań pozwalających na redukcję emisji, zwiększenie biodegradowalności produktów oraz efektywniejsze wykorzystanie zasobów odnawialnych. Szczególne znaczenie ma to w przypadku transportu morskiego, gdzie stosowanie biodegradowalnych i niskotoksycznych środków smarnych wpisuje się w zastrzeżone regulacje środowiskowe oraz wymagania organizacji międzynarodowych. Ten formalny punkt widzenia znajduje swój wyraz na przykład w kontekście regulacji Międzynarodowej Organizacji Morskiej (IMO), takich jak konwencja MARPOL (Międzynarodowa konwencja o zapobieganiu zanieczyszczeniu morza przez statki), nakładających obowiązek ograniczania zanieczyszczeń generowanych przez transport morski.

Biorąc pod uwagę powyższe, podjęty temat należy uznać za istotny i wpisujący się w aktualne kierunki badań w zakresie inżynierii mechanicznej i materiałowej (w tym zwłaszcza w tribologii), a także odpowiadający na realne potrzeby przemysłu.

2. Omówienie rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca składa się z 11 rozdziałów numerowanych i zawiera 207 stron (175 stron pracy właściwej i 32 strony załączników). Oprócz tych rozdziałów w pracy

znajdują się jeszcze części nienumerowane, a mianowicie Spis treści, Streszczenie oraz Abstract, czyli streszczenie w języku angielskim oraz wspomniane już Załączniki (w liczbie 7). Praca ma klasyczną strukturę pracy naukowej, obejmującą część teoretyczną, metodologiczną oraz eksperymentalną. Układ pracy jest logiczny i przejrzysty, a poszczególne rozdziały tworzą spójną całość prowadzącą od analizy literatury do badań własnych oraz ich interpretacji, zwieńczonych planami na przyszłość. Struktura pracy odpowiada przyjętym standardom dla rozpraw doktorskich w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Zawartość merytoryczna pracy jest wzbogacona kolorowymi rysunkami, które wykonane zostały z należytą starannością i są czytelne.

W rozdziale pierwszym przedstawiono wprowadzenie oraz genezę pracy. Omówiono w nim rolę oleju smarowego w silnikach spalinowych, ze szczególnym uwzględnieniem silników okrętowych, a także wskazano potencjał oraz ograniczenia stosowania olejów roślinnych jako alternatywy dla olejów mineralnych. Przedstawiono również przesłanki podjęcia tematyki badawczej.

Rozdział drugi zawiera obszerny przegląd literatury oraz analizę aktualnego stanu wiedzy. W rozdziale tym scharakteryzowano właściwości fizykochemiczne olejów roślinnych, ich budowę chemiczną oraz wpływ struktury na właściwości użytkowe. Omówiono również kierunki badań nad biosmarami, w tym modyfikacje chemiczne, dodatki uszlachetniające oraz zastosowanie mieszanin olejowych, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań w silnikach spalinowych i okrętowych.

W rozdziale trzecim sformułowano założenia rozprawy, w tym cel główny, cele szczegółowe, hipotezę badawczą oraz zakres pracy. Wskazano również luki badawcze wynikające z analizy literatury, które stanowią uzasadnienie podjętych badań.

Rozdział czwarty poświęcono programowi badań, w którym przedstawiono schemat postępowania badawczego, obejmujący selekcję olejów roślinnych, badania laboratoryjne oraz opracowanie modeli matematycznych opisujących właściwości mieszanin olejowych.

W rozdziale piątym zaprezentowano wielokryterialną ocenę jakości użytkowej olejów roślinnych. Wykorzystano w tym celu metody AHP oraz OPTIMUM, które umożliwiły uszeregowanie analizowanych olejów pod względem ich przydatności eksploatacyjnej oraz wybór materiałów do dalszych badań eksperymentalnych. Przedstawiono wyniki uzyskane obydwojema metodami dotyczące oceny użytkowej olejów roślinnych oraz klasyfikację olejów roślinnych, będącą iloczynem znormalizowanych wartości oraz wag parametrów fizykochemicznych.

Rozdział szósty zawiera szczegółowy opis metodyki badań. Po krótkiej identyfikacji obiektu badawczego (układ smarowania średnioobrotowego silnika okrętowego MAN L32/40,

stosowanego jako napędy główne na małych i średnich jednostkach pływających oraz jako silniki zespołów prądotwórczych na jednostkach dużych) przedstawiono w nim charakterystykę materiałów badawczych, kryteria oceny materiałów badawczych, aparaturę oraz procedury pomiarowe. Badaniu poddano olej lniany, rycynowy i rzepakowy jako oleje roślinne oraz olej mineralny. Omówiono sposób analizy wpływu temperatury oraz szybkości ścinania na lepkość dynamiczną olejów, badanie właściwości smarnych i starzenia termicznego olejów, a także oddziaływania olejów z materiałami metalicznymi w tym procesie. Opisano również metody analizy danych, w tym w szczególności identyfikację wartości odstających, weryfikacja zaproponowanych modeli i ich liniowości, analizę wariancji ANOVA i test Kruskala-Wallisa, współczynnik względnej zmiany i metodę funkcji użyteczności.

W rozdziale siódmym zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych. Obejmują one analizę właściwości olejów w stanie świeżym oraz po procesie starzenia termicznego, a także ocenę wpływu kontaktu z materiałami konstrukcyjnymi na zmiany ich właściwości fizykochemicznych. Dla olejów przed procesem starzenia termicznego przedstawiono wyniki badań zależności lepkości dynamicznej od temperatury i od szybkości ścinania oraz właściwości smarowości olejów na maszynie czterokulowej. Termiczne starzenie olejów rozpoczyna ocena masy i wyglądu próbek, po której prace badawcze dotyczą lepkości kinematycznej, temperatury zapłonu, zależności lepkości dynamicznej od szybkości ścinania i zawartości pierwiastków śladowych. Analizując wpływ olejów na wybrane metale prześledzono starzenie termiczne olejów w obecności wielu wybranych metali i stopów (w każdej kolbie aluminium, miedź, brąz, nikiel, stal niskowęglowa, stal ocynkowana, stal nierdzewna, cynk, chrom, ołów) oraz w obecności żeliwa, miedzi i stali ocynkowanej, oddzielnie dla każdego z tych materiałów. Podsumowanie tych wyników pozwoliło wyeliminować olej lniany i na podstawie pozostałych przygotować mieszaniny mineralno-roślinne. Dokonano wyboru parametrów do ich oceny oraz przeprowadzono badania laboratoryjne uzyskanych mieszanin. Opracowano modele matematyczne opisujące zależności pomiędzy składem mieszanin mineralno-roślinnych, a ich właściwościami fizykochemicznymi, oceniono ich zdolności prognostyczne oraz - za pomocą funkcji użyteczności - dokonano doboru składu mieszanin olejowych. Badania, których charakterystykę przedstawiam stanowią solidną część pracy, a ich interpretacja pozwoliła na potwierdzenie hipotezy badawczej.

Rozdział ósmy zawiera analizę i interpretację uzyskanych wyników badań zależności pomiędzy składem mieszanin olejowych, a ich właściwościami oraz ocenę ich przydatności eksploatacyjnej. Przedstawiono tu interpretację uzyskanych wyników pomiarów i analiz dla

olejów przed i po procesie starzenia termicznego, dla zagadnienia oddziaływań olejów z metalami w warunkach starzenia termicznego i funkcjonalności mieszanin mineralno-roślinnych.

W rozdziale dziewiątym wskazano kierunki dalszych badań, natomiast w dziesiątym przedstawiono wnioski końcowe wynikające z przeprowadzonych analiz i badań. Rozdziały numerowane kończy Literatura (rozdział 11), zawierająca 256 pozycji, w tym autorskie i współautorskie Doktorantki. W załącznikach zawarto tabele z danymi uwiarygodniającymi wyniki pomiarów zawartej we właściwej treści pracy.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Przedstawioną rozprawę oceniam pod kątem jej zawartości merytorycznej i umiejętności edytorskich. Zaczynając od tego pierwszego zagadnienia należy niewątpliwie docenić wkład pracy Autorki w badania, ich interpretację i przygotowanie materiału badawczego. Ta część pracy wymagała na pewno sporo przemyśleń, analiz i uwagi, co przełożyło się na bardzo dobry i profesjonalny efekt. Oceniając bardziej szczegółowo, jako cel pracy Autorka przyjęła ocenę możliwości zastosowania wybranych olejów roślinnych jako dodatków do oleju smarowego stosowanego w silnikach okrętowych, ze szczególnym uwzględnieniem ich wpływu na właściwości fizykochemiczne i eksploatacyjne mieszanin olejowych. Sformułowana hipoteza badawcza zakłada, że odpowiednio dobrane dodatki roślinne mogą korzystnie modyfikować właściwości oleju bazowego. Tak sformułowany cel pracy został określony w sposób jasny i jednoznaczny, a jego zakres jest spójny z przedstawioną analizą literatury oraz zidentyfikowanymi lukami badawczymi. Hipoteza badawcza, choć trochę ogólna, ma charakter realistyczny i weryfikowalny, co należy uznać za kolejną istotną zaletę pracy. Ponadto, na podstawie przedstawionych w dalszej części rozprawy wyników badań można stwierdzić, że przyjęty cel został osiągnięty, a hipoteza badawcza została zweryfikowana. Autorka przeprowadziła kompleksowe badania eksperymentalne oraz analizy pozwalające na ocenę wpływu dodatków roślinnych na właściwości użytkowe oleju smarowego.

Przegląd literatury przedstawiony w rozprawie jest obszerny (właściwie zaczyna się już pod koniec rozdziału pierwszego) i jest wielowątkowy - obejmuje szeroki zakres zagadnień związanych z właściwościami olejów roślinnych oraz ich zastosowaniem jako komponentów środków smarnych. Autorka odwołuje się do aktualnych źródeł literaturowych, co świadczy o dobrej orientacji w analizowanej problematyce, choć w niektórych fragmentach przegląd ma charakter trochę bardziej opisowy niż krytyczny. Niemniej jednak, biorąc pod uwagę szeroki zakres wykorzystanych źródeł i umiejętność oceny zawartych w nich treści można stwierdzić, że ta część pracy również jest na bardzo wysokim poziomie.

Na podkreślenie zasługuje także uporządkowany sposób prezentacji zagadnień oraz logiczne powiązanie części teoretycznej z dalszymi etapami pracy badawczej. Poszczególne etapy pracy zostały logicznie powiązane, tworząc spójny ciąg badawczy prowadzący do weryfikacji przyjętej hipotezy.

Metodyka badań przedstawiona w rozprawie została opracowana w sposób przemyślany i spójny. Autorka zaproponowała kompleksowy program badawczy obejmujący zarówno etap selekcji olejów roślinnych, jak i szczegółowe badania eksperymentalne oraz analizę uzyskanych wyników. O świadomym i metodycznym zaplanowaniu eksperymentu świadczy zastosowanie metod wielokryterialnych do oceny jakości użytkowej analizowanych olejów. W efekcie umożliwiło to bardzo racjonalny dobór materiałów do dalszych badań. W tej części bardzo spodobał mi się profesjonalnie zrobiony plan badawczy (rysunek 6).

Przechodząc do części badawczej, zakres przeprowadzonych prac należy uznać za szeroki i adekwatny do postawionego celu pracy. Obejmuje on zarówno analizę właściwości fizykochemicznych olejów, jak i badania ich zachowania w warunkach starzenia termicznego oraz oddziaływania z materiałami metalicznymi. Dzięki temu możliwa była wieloaspektowa ocena ich przydatności eksploatacyjnej. Właściwy jest też dobór metod badawczych, a zastosowane procedury pomiarowe odpowiadają standardom stosowanym w tego typu badaniach.

Wyniki badań przedstawione w rozprawie stanowią kolejny istotny i niezwykle wartościowy element pracy. Autorka zaprezentowała szeroki zakres danych eksperymentalnych, obejmujących zarówno właściwości olejów w stanie świeżym, jak i po procesach starzenia termicznego, a także ich oddziaływanie z materiałami metalicznymi. Uzyskane dane zostały przedstawione w sposób czytelny i uporządkowany, co znakomicie ułatwia ich analizę oraz porównanie. Na podkreślenie zasługuje kompleksowe podejście do oceny właściwości użytkowych olejów, uwzględniające różne aspekty ich zachowania w warunkach eksploatacyjnych. Interpretacja wyników została przeprowadzona w sposób logiczny i spójny, a formułowane wnioski są odzwierciedleniem uzyskanych danych eksperymentalnych i ich interpretacji. Autorka podjęła również próbę powiązania obserwowanych zmian właściwości olejów z ich składem oraz warunkami badań, co świadczy o dobrej znajomości analizowanej problematyki.

Podsumowując tę część oceny, do najważniejszych osiągnięć rozprawy zaliczam:

- kompleksową ocenę możliwości zastosowania olejów roślinnych jako dodatków do oleju smarowego stosowanego w silnikach okrętowych,
- opracowanie metodyki doboru olejów roślinnych z wykorzystaniem metod wielokryterialnych (jako uporządkowane podejście do selekcji materiałów badawczych),

- połączenie badań eksperymentalnych z analizą zależności pomiędzy składem mieszanin a ich właściwościami użytkowymi.

Wkład naukowy pracy ma przede wszystkim charakter aplikacyjny i dotyczy obszaru zastosowań olejów roślinnych w technice, w szczególności w odniesieniu do silników okrętowych. Uzyskane wyniki stanowią cenne uzupełnienie wiedzy w tym zakresie i mogą stanowić podstawę do dalszych badań oraz potencjalnych wdrożeń praktycznych. Sama praca w sposób przekonujący łączy aspekty poznawcze i praktyczne, co należy uznać za jej kolejną bardzo istotną zaletę.

Zapoznając się z treścią manuskryptu nasunęły mi się również uwagi w stosunku do treści, zawartości i organizacji pracy, które można potraktować jako punkt wyjścia do dyskusji naukowej. Wśród takich uwag są następujące:

- 1) Kryteria doboru analizowanych olejów roślinnych. Z czego wynikało zastosowanie właśnie tych, a nie innych surowców? Czy w trakcie badań rozważano możliwość zastosowania innych dodatków roślinnych lub ich kombinacji, a jeśli tak, to jakie były przesłanki ich odrzucenia? Czy była analizowana dostępność surowca (inna dla różnych części świata)?
- 2) Metody wielokryterialne. Czy zastanawiano się nad porównaniem zastosowanych metod i w jakim zakresie zastosowane metody wpływają na ostateczny wybór olejów? Czy inne metody mogłyby prowadzić do odmiennych wyników?
- 3) W jakim stopniu uzyskane wyniki mogą być uogólnione na inne typy olejów bazowych lub inne warunki eksploatacyjne?
- 4) Czy analizowano wpływ obecności zanieczyszczeń, takich jak woda lub produkty spalania, na właściwości badanych olejów?
- 5) Czy w kontekście analizy literaturowej, uzyskane wyniki są zgodne z oczekiwaniami?
- 6) Czy rozważano aspekt ekonomiczny zastosowania olejów roślinnych jako dodatków do olejów smarowych w praktyce przemysłowej?
- 7) W jakim stopniu uzyskane wyniki mogą mieć znaczenie dla rzeczywistych warunków pracy silników okrętowych? Czy możliwe jest wskazanie optymalnego składu mieszaniny olejowej z punktu widzenia kompromisu pomiędzy właściwościami użytkowymi a stabilnością eksploatacyjną?
- 8) Czy analizowano wpływ obecności wody lub innych zanieczyszczeń na właściwości badanych olejów, co mogłoby mieć istotne znaczenie w warunkach eksploatacyjnych?
- 9) Szkoda, że w pracy nie ma danych technicznych silnika MAN, zwłaszcza że są jego różne modele i odmiany.

- 10) Pewnym uzupełnieniem mogłoby być rozszerzenie badań o dodatkowe warunki eksploatacyjne, uwzględniające m.in. zmienne obciążenia, długotrwałe procesy starzeniowe oraz oddziaływanie czynników środowiskowych, takich jak wilgoć czy zanieczyszczenia typowe dla środowiska morskiego. Nie jest to oczywiście uwaga o charakterze negatywnym, a raczej pokazująca dalsze możliwości pogłębiania działań analitycznych.
- 10) Warto też pamiętać, że materiały metaliczne to zarówno metale (np. aluminium i miedź) jak i stopy (stal), to w kontekście tytułu podrozdziału 7.3.1.

Oceniając stronę edytorską stwierdzam, że praca napisana została bardzo poprawnym językiem polskim i mistrzowsko dopracowana pod kątem organizacyjno-edycyjnym. Jediną drobną uwagą, nad którą warto się pochylić to występujące w pracy tzw. teksty wiszące, czyli teksty znajdujące się np. pomiędzy tytułem rozdziału głównego, a tytułem podrozdziału. Zasady edytorskie często stanowią, że przy numeracji cyfrowej wielorzędowej np. po tytule rozdziału (na przykład rozdziału 2) powinien od razu następować tytuł podrozdziału (w tym przypadku 2.1), a tuż np. po tytule podrozdziału powinien być tytuł podrozdziału kolejnego rzędu itd. Między nimi nie powinno być żadnych tekstów (zwanymi wiszącymi). Teksty te to z reguły ogólne wprowadzenia do rozdziałów, omówienia czy streszczenia. Jeżeli tekst wiszący jest cennym i niezbędnym wprowadzeniem do tematu – powinien mieć numer i tytuł, natomiast jeśli zawiera ogólniki lub omówienie dalszej części rozdziału – warto zastanowić się albo nad jego usunięciem, albo nad przeniesieniem do podrozdziału.

Mam nadzieję, że przedstawione powyżej uwagi pomogą Doktorantce w dalszej działalności naukowej i publikacyjnej. Przedstawione powyżej uwagi, czy raczej zagadnienia i pytania, nie wpływają naturalnie na ogólną bardzo dobrą ocenę całości pracy, są bardziej punktem wyjścia do dyskusji.

4. Wnioski

Podsumowując, należy stwierdzić, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Małgorzaty Malinowskiej stanowi wartościowe opracowanie naukowe, wnoszące istotny wkład w rozwój wiedzy w zakresie zastosowania olejów roślinnych jako komponentów środków smarnych stosowanych w silnikach okrętowych. Autorka wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych, właściwego doboru metod badawczych oraz poprawnej interpretacji uzyskanych wyników. Rozprawa jest spójna, logicznie uporządkowana i odpowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, a nawet w wielu miejscach zdecydowanie je przewyższa. Tematyka pracy jest aktualna, została wybrana

w sposób trafny, a sama dysertacja wnosi treści nowe, świadczące o kompetencjach Doktorantki w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na Jej wiedzę ogólną oraz umiejętności praktyczne. W związku z tym stwierdzam, że przedłożona rozprawa spełnia wymagania określone w obowiązujących przepisach i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Małgorzaty Malinowskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie, należy zwrócić uwagę na kilka aspektów, w tym wysoki poziom merytoryczny rozprawy, kompleksowy i przemyślany charakter przeprowadzonych badań, obejmujących zarówno etap selekcji materiałów, jak i szeroki zakres badań eksperymentalnych oraz analizę uzyskanych wyników, spójność koncepcji badawczej oraz konsekwentną realizację przyjętego programu badań. Docenić należy również bardzo wnikliwą i szeroką analizę literatury przedmiotu, świadczącą o dobrej orientacji Autorki w aktualnym stanie wiedzy. Właściwy dobór metod badawczych oraz umiejętne połączenie podejścia eksperymentalnego z analizą zależności pomiędzy składem mieszanin a ich właściwościami użytkowymi sprawiają przy tym, że uzyskane wyniki mają nie tylko wartość poznawczą, ale również wyraźny walor aplikacyjny, co zwiększa znaczenie pracy w kontekście praktycznych zastosowań inżynierskich. Uwzględniając powyższe fakty, a także ogólny wysoki poziom opracowania rozprawy, wnoszę o jej wyróżnienie.

5. Podsumowanie

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr. inż. Małgorzaty Malinowskiej pt. *Badanie i analiza wpływu wybranych dodatków roślinnych na parametry eksploatacyjne oleju smarowego stosowanego w silnikach okrętowych*, spełnia wymagania stosownej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym, a zatem może być dopuszczona do publicznej obrony. Wnoszę też o jej wyróżnienie.

prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski

Politechnika Poznańska

Michał

Wieczorowski

Elektronicznie podpisany
przez Michał Wieczorowski
Data: 2026.04.21 11:42:03
+02'00'