

Dęblin, 24 sierpnia 2026 r.

Dr hab. inż. Aneta Krzyżak, prof. LAW
Wydział Lotnictwa
Lotnicza Akademia Wojskowa

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Marka Michalskiego pod tytułem „Wpływ dodatków modyfikujących na właściwości eksploatacyjne lakierniczych systemów powłokowych stosowanych w technice wojskowej”

1. Podstawa opracowania

Recenzję sporządzono na podstawie powołania Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 18 czerwca 2026 r. i związanego z tym pisma Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna dr hab. inż. Sławomira Błasiaka, prof. PŚk.

Rozprawa doktorska mgr inż. Marka Michalskiego nosi tytuł „Wpływ dodatków modyfikujących na właściwości eksploatacyjne lakierniczych systemów powłokowych stosowanych w technice wojskowej” i została wykonana pod opieką promotora prof. dr hab. inż. Norberta Radka z Politechniki Świętokrzyskiej oraz promotora pomocniczego dr hab. inż. Marcina Szczepaniaka, prof. WITl.

2. Doświadczenie doktoranta

Mgr inż. Marek Michalski tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2005 roku po ukończeniu kierunku studiów Mechatronika i budowa maszyn realizowanego w Politechnice Świętokrzyskiej. Do tej pory nie ubiegał się o stopień naukowy doktora. W roku 2021 podjął studia doktoranckie w dyscyplinie inżynieria mechaniczna w Politechnice Świętokrzyskiej. Mgr inż. Marek Michalski pracuje w firmie F.H. Barwa z siedzibą w Kielcach.

Mgr inż. Marek Michalski, zgodnie z informacjami podanymi w życiorysie załączonym do rozprawy doktorskiej jest autorem 5 publikacji i współautorem kolejnych 9 publikacji, co łącznie stanowi 14 publikacji. W systemie SCOPUS ujawnionych jest 10 publikacji. Liczba cytowań wg SCOPUS wynosi 47, co przy dziesięciu dokumentach zarejestrowanych w systemie daje indeks Hirscha równy 3. Doktorant był uczestnikiem 18 konferencji. Dodatkowo jest współautorem jednego zgłoszenia patentowego. Był uczestnikiem IV edycji programu Doktorat wdrożeniowy. Jest członkiem Polskiego

Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacyjnego oraz Norweskiej Organizacji Certyfikującej Inspektorów Przygotowania Powierzchni i Powłok Malarskich (FROSIO).

3. Ocena układu rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska zawiera stronę tytułową, podziękowania, spis treści, wykaz skrótów, wstęp, dziesięć rozdziałów składających się na autoreferat, literaturę, streszczenia w języku polskim oraz angielskim, 14 publikacji stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej oraz oświadczenia współautorów. Całość obejmuje 275 stron. W części zawierającej autoreferat znajduje się 28 ponumerowanych rysunków oraz 19 ponumerowanych tabel. Literatura obejmuje 76 pozycji i w większości zawiera publikacje z ostatnich piętnastu lat. **Układ rozprawy, jako całości, oceniam jako logiczny i merytorycznie spójny.** Badania eksperymentalne są zgodne ze standardami prac w obszarze inżynierii mechanicznej.

Autoreferat zawiera przegląd literatury dotyczący krótkiego opisu rodzajów powłok i materiałów z których są wykonywane. Część eksperymentalna obejmuje wskazanie problemu badawczego, zestawienie zastosowanych metod badawczych, syntetyczny skrót uzyskanych wyników badań, a także badań poligonowych i modelowania matematycznego, opartego na przyjętym planie eksperymentu, do prognozowania systemu powłokowego z uwzględnieniem oczekiwanych właściwości i parametrów technologii nanoszenia powłok.

4. Ocena zastosowanego piśmiennictwa

Liczba cytowanych pozycji literaturowych w części autoreferatu jest wystarczająca (76 pozycji), żeby móc stwierdzić, że została ona umiejętnie przedstawiona w opisie stanu wiedzy. Do tego należy doliczyć znaczną liczbę innych prac badawczych przywołanych w publikacjach stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej. Część z nich oczywiście pokrywa się ze spisem zawartym w autoreferacie. **Zakres tematyczny literatury świadczy o rozeznaniu doktoranta w tematyce pracy i jest wystarczający w zakresie przygotowania do przeprowadzonych badań naukowych.**

W pierwszych dwóch rozdziałach omówiono informacje z zakresu światowej literatury. Dość szczegółowo, wieloaspektowo, doktorant opisał klasyfikację powłok ochronnych. Dalej wskazano kolejne etapy rozwoju powłok ochronnych ze wskazaniem ich zastosowania w technice wojskowej. Na koniec drugiego rozdziału autoreferatu znajdują się wnioski z tak skonstruowanej analizy literatury i dotyczą głównie rozwoju powłok ochronnych.

Z kolei analiza literatury zawarta we wprowadzeniach do artykułów, choć mocno powtarzalna (publikacje 6, 7, 8, 10) zawiera dodatkowe niewielkie aspekty merytoryczne takie, jak: metody maskowania (publikacje 1, 2), teorie kamuflażu (publikacja 3), techniki

wykrywania oparte na falach (publikacja 4), degradacje powłok (publikacja 9), odporności na zużycie ścierne i trwałości powłok (publikacja 11), wpływ promieniowania UV (publikacja 12), ocena odporności korozyjnej (publikacja 13) czy metody przyspieszonego starzenia (publikacja 14). Przy czym, na podstawie tych wszystkich części analizy literatury, nie da się stwierdzić, ani dlaczego nastąpił taki dobór rodzajów modyfikatorów (opiera się to na spostrzeżeniu, że po prostu takie się już stosuje), ani też dlaczego taki udział masowy tych modyfikatorów w osnowie polimerowej. W kilku publikacjach wprowadzenia mają charakter niemal szablonowy i różnią się głównie ostatnim akapitem dotyczącym celu badań.

W analizie literatury nie odnotowałam również odniesień do konkretnych wartości wyników innych badań, poza swoimi. Takie odniesienie do innych światowych wyników badań udowodniłoby, w niepodważalny sposób, aspekty nowości przedstawionych badań i unikatowość zastosowanych systemów ochronnych. W mojej opinii literatura jest wykorzystywana głównie do ogólnego przedstawienia problemu badawczego, ponieważ brakuje tutaj pogłębionej analizy w kierunku krytycznego porównania wyników innych autorów w kontekście sprawdzenia swoich wyników badań czy też wskazania luki badawczej możliwej do sprawdzenia i rozwinięcia. Stąd wynika pierwsza uwaga o niedostatecznym uzasadnieniu doboru materiałów i ich udziałów w całym systemie powłoki ochronnej. Czy wybór wynikał z analizy piśmiennictwa, zaleceń producenta, innych badań, ograniczeń technologicznych czy innych uwarunkowań? Czy wybór odpowiednich stężeń, tudzież udziałów procentowych masowych, był poprzedzony wcześniejszymi badaniami?

5. Ocena celu rozprawy

W pracy wskazano główny cel jako „zbadanie właściwości eksploatacyjnych wybranych lakierniczych systemów powłokowych maskujących oraz określenie ich zachowania w warunkach rzeczywistych, z przeznaczeniem do stosowania na uzbrojeniu i sprzęcie wojskowym”. Zaś celem naukowym było „wyznaczenie czynników najsilniej wpływających na wydłużenie trwałości eksploatacyjnej i opisanie tego wpływu w formie empirycznego modelu matematycznego”. Określono również cel aplikacyjny jako: „opracowanie procesu technologicznego wytwarzania lakierniczych systemów powłokowych dla uzbrojenia i sprzętu wojskowego, zapewniającego wysoką skuteczność maskowania przy jednoczesnym wydłużeniu trwałości eksploatacyjnej”.

Wszystkie cele rozprawy są aktualne, szczególnie w kontekście istniejącej sytuacji geopolitycznej. Są istotne poznawczo i uzasadnione. **Cele zostały sformułowane poprawnie i zostały osiągnięte.**

W rozprawie nie sformułowano typowych hipotez badawczych, nie jest to jednak warunkiem koniecznym w rozprawach doktorskich.

6. Ocena zastosowanych metod badawczych

W rozprawie doktorskiej zastosowano szeroki zakres badań eksperymentalnych. Autor przeprowadził ocenę właściwości powłok obejmującą pomiary grubości, połysku, parametrów barwy, charakterystyk spektralnych, struktury geometrycznej powierzchni, twardości, przyczepności, odporności na ścieranie, korozję i starzenie, a także badania poligonowe skuteczności maskowania. Taki zakres prac pozwolił na wieloaspektową ocenę wpływu zastosowanych modyfikatorów w powłokach. Uwagę zwraca połączenie badań laboratoryjnych z badaniami eksploatacyjnymi i poligonowymi. Badania zostały pokrótce scharakteryzowane w autoreferacie, zaś szczegółowo omówione w publikacjach.

W autoreferacie nie odniesiono się jednak do wszystkich publikacji zawartych w dalszej części rozprawy. Ponieważ załączono wszystkie publikacje doktoranta, rozumiem, że wszystkie składają się na cykl publikacji. Zatem stosowne byłoby przywołanie ich wszystkich w autoreferacie, który jest skrótem i uporządkowaniem kolejności i zasadności prowadzonych działań badawczych. Nie zauważyłam, żeby odniesiono się do publikacji oznaczonych numerami 3, 4, 5, 6, 8 oraz 12. Czy zatem nie wchodzi w skład cyklu publikacji?

Podsumowując, w kontekście celów rozprawy uważam, że zestaw technik badawczych został dobrany adekwatnie do oceny właściwości powłok ochronnych. **Metodykę przyjętą w rozprawie oceniam pozytywnie.**

7. Ogólna ocena przedstawionych wyników badań

Badania, patrząc całościowo, przeprowadzono uwzględniając czynniki badawcze stałe: rodzaj materiału stosowanego na powłokę gruntującą (BP450-100/N), powłokę nawierzchniową (BW400-6031), rodzaj podłoża (stal niskowęglowa DC01), na który nanoszono powłokę. Jak dokładnie rodzaje materiałów stanowiły obie powłoki można się dowiedzieć dopiero z publikacji nr 13, gdzie dopisano, że powłoka gruntująca jest dwuskładnikową żywicą epoksydową, natomiast powłoka nawierzchniowa maskująca jest dwuskładnikową żywicą poliuretanową.

Głównym czynnikiem badawczym zmiennym był rodzaj modyfikatora. Były to nanorurki węglowe CNT w udziale masowym 0,02% (w publikacji 13 wspomniano, że było to 0,05%, czy to omyłka?) oraz mikrosfery szklane w udziale masowym 2,4%. Inne czynniki badawcze zmienne wynikały z zastosowanych technik badawczych i były to np. czas ekspozycji na działanie promieniowania UV, temperatura ekspozycji przy badaniach na zarysowanie, jak również parametry technologiczne np. średnica dyszy natryskowej. Z kolei najważniejszymi czynnikami badawczymi wynikowymi były przykładowo parametr chropowatości Ra, twardość, ubytek masy, czy połysk. Dane wyjściowe uzupełniono

obserwacjami strukturalnymi. Taki zestaw parametrów pozwalał ocenić wpływ wybranych modyfikatorów na skuteczność ochronną badanych lakierniczych systemów powłokowych

Zasadniczo wyniki badań laboratoryjnych wykazały, że dodatek nanorurek węglowych poprawia odporność korozyjną systemów powłokowych (str. 49), natomiast zastosowanie mikrosfer szklanych przyczynia się do zwiększenia stabilności właściwości optycznych podczas procesów starzeniowych (str. 53), co stanowi podstawę do wniosku o zwiększeniu stabilności eksploatacyjnej tego systemu (str. 84). Jednocześnie doktorant wykazał, że niektóre modyfikacje mogą powodować pogorszenie wybranych właściwości mechanicznych.

Wnioski końcowe, jakie doktorant sformułował, wskazują, że nanorurki węglowe poprawiają przede wszystkim odporność korozyjną oraz niektóre właściwości maskujące, zaś mikrosfery szklane poprawiają stabilność parametrów optycznych podczas starzenia oraz zwiększają skuteczność maskowania. Z kolei oba dodatki wpływają na poprawę odporności na ściernie, w tym połączenia adhezyjnego z podłożem, z równoczesnym utrzymaniem podstawowych właściwości maskujących wymaganych przez normę NO-80-A200. W ogólnym ujęciu oznacza to, że cele rozprawy zostały osiągnięte.

Jednakże do badań poligonowych, które przyczyniły się do powyższych wniosków, doktorant wybrał jedynie system z mikrosferami szklanymi podając jako uzasadnienie „wybór systemu SP3 był podyktowany korzystnymi wynikami badań laboratoryjnych”. *Nie doprecyzowano jakie dokładnie badania były kluczowe do tego stwierdzenia. Jest to dość ważne ponieważ np. w badaniach na zarysowanie system SP3 był lepszy niż pozostałe (str. 48), ale w odporności na ścieranie już nie (str. 46). Stąd kolejna uwaga o uzasadnienie tego wyboru.*

Ponownie, w tym miejscu, zastanawia dobór materiałów, szczególnie w dwóch aspektach. Doktorant w autoreferacie wskazał zastosowanie jako powłokę gruntującą i powłokę nawierzchniową, jako jeden rodzaj materiału do wszystkich zbadanych systemów. Jest to system dystrybuowany przez firmę Barwa, w której doktorant pracuje. *Rozumiem dostępność i potrzebę pracodawcy, ale czy nie byłoby bardziej korzystne zarówno pod względem naukowym, jak i poznawczym w kontekście konkurencji, gdyby badano równolegle systemy innych producentów?* Drugi aspekt to taki, że w publikacji 6 są stosowane jeszcze inne systemy, które zawierają żelazo sferyczne w maksymalnej i minimalnej zawartości (aczkolwiek nie sprecyzowano jakiej dokładnie) z dodaniem do tej samej osnowy, co w pozostałych kompozycjach materiałowych. *Dlaczego zaniechano dalszych badań z tym modyfikatorem, pomimo tego, że wyniki badań przedstawione w tej publikacji świadczyły na korzyść tego modyfikatora tj. żelaza sferycznego, w stosunku do pozostałych, także do SP3?*

Wartościowym elementem pracy jest wykorzystanie metodyki Design of Experiments (DoE) do opracowania modeli prognostycznych procesu nanoszenia powłok. Pozwoliło to na identyfikację najważniejszych parametrów technologicznych wpływających na właściwości użytkowe systemu powłokowego oraz opracowanie praktycznych zaleceń technologicznych. Dokonano tego tylko dla systemu SP3. Nasuwa się pytanie, czy sprawdzono np. tylko analitycznie, czy otrzymane modele matematyczne mają jakieś odniesienie również do innych systemów?

Autor poprawnie interpretuje wyniki, wskazując nie tylko korzyści wynikające z zastosowania modyfikatorów, ale również ich ograniczenia, np. pogorszenie odporności na ścieranie w przypadku układu zawierającego mikrosfery szklane. Takie podejście świadczy o krytycznej analizie danych i obiektywizmie naukowym.

Uzyskane wyniki nie są ostateczne, co podkreśla doktorant wskazując siedem kierunków dalszych badań, z których badania nad innymi modyfikatorami fizycznymi w powłokach, trwałością długookresową wraz z walidacją przemysłową wydają się najbardziej obszerne i wymagające od doktoranta dużego zaangażowania. Doktorant jest dobrze przygotowany do prowadzenia dalszych badań naukowych. Podsumowując, uzyskane wyniki badań i ich analiza pozwalają uznać, że **cele rozprawy zostały zrealizowane.**

8. Praktyczne zastosowanie wyników badań

Praca posiada bardzo wysoki potencjał aplikacyjny. Opracowane systemy powłokowe mogą znaleźć zastosowanie w produkcji i modernizacji sprzętu wojskowego wymagającego skutecznego maskowania oraz wysokiej odporności eksploatacyjnej.

Na szczególne podkreślenie zasługuje możliwość wykorzystania opracowanych systemów na pojazdach wojskowych, ze względu na poprawę odporności korozyjnej i trwałości eksploatacyjnej oraz zwiększenia skuteczności maskowania w zakresie VIS (światła widzialnego) i NIR (podczerwieni). Dodatkowym utylitarnym atutem rozprawy jest opracowanie parametrów technologicznych możliwych do wdrożenia przemysłowego. Badania zostały wykonane w ramach doktoratu wdrożeniowego, co dodatkowo potwierdza ich praktyczny charakter i możliwość zastosowania wyników w przemyśle obronnym.

9. Zauważone nieprawidłowości

W rozprawie stwierdzam występowanie nieprawidłowości o różnym charakterze. Nie przedstawiam tych o charakterze omyłki pisarskiej oraz związanych z formatowaniem tekstu. Uwagi o charakterze merytorycznym, które należałoby w przyszłości doprecyzować znajdują się w recenzji powyżej i są wyróżnione podkreśleniem. Żadna z tych uwag nie wpływa na ogólną, pozytywną ocenę merytoryczną rozprawy doktorskiej.

10. Opinia o oryginalności rozwiązania problemu naukowego

Oryginalnym osiągnięciem rozprawy jest opracowanie, kompleksowe przebadanie i wdrożeniowe działania zmierzające do wszechstronnego zoptymalizowania konkretnego maskującego systemu epoksydowo-poliuretanowego, modyfikowanego nanorurkami węglowymi lub mikrosferami szklanymi, przeznaczonego do techniki wojskowej. Rozprawa zawiera elementy oryginalne, a mianowicie opracowanie modelu procesu nanoszenia SP3 z wykorzystaniem metodyki DoE. Doktorant przeanalizował wpływ średnicy dyszy, ciśnienia materiału i czasu odparowania na grubość, połysk, chropowatość i twardość gotowego systemu ochronnego. Rozprawa ma wyraźny charakter aplikacyjny, natomiast ocena nowatorstwa w zakresie naukowym jest bardziej powściągliwa, ponieważ dotyczy przede wszystkim konkretnej konfiguracji materiałowej, aczkolwiek przy zastosowaniu szerokiego programu badań oraz opracowania technologii przemysłowej. Na taką ocenę wpływa fakt, że nie można przekonująco uznać, że sama idea modyfikowania powłok poliuretanowych nanorurkami węglowymi albo mikrosferami szklanymi jest nowa w skali światowej, tym bardziej, że zastosowano je tylko w jednym udziale procentowym.

Rozprawa doktorska opiera się na czternastu publikacjach stanowiących merytoryczną całość. Doktorant jest autorem pięciu z nich (wkład własny 100%) i współautorem pozostałych dziewięciu. Zgodnie z oświadczeniami współautorów, tylko w dwóch z nich udział doktoranta jest mniejszy niż 50%. Można zatem uznać, że całościowo doktorant jest głównym wykonawcą prac związanych przedstawionymi badaniami.

Elementy nowości zawarte w rozprawie doktorskiej uprawniają mnie do pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej.

11. Konkluzja

Rozprawa doktorska mgr. inż. Marka Michalskiego składająca się z autoreferatu i 14 publikacji stanowi obszerne opracowanie w zakresie oceny właściwości lakierniczych maskujących powłok ochronnych stosowanych w technice wojskowej.

Doktorant wykazał się znajomością problematyki w zakresie powłok ochronnych oraz umiejętnością zaplanowania i przeprowadzenia szerokiego programu badań eksperymentalnych z użyciem metod planowania doświadczeń. Opisane badania laboratoryjne, modelowanie matematyczne technologii nanoszenia powłok, badania eksploatacyjne i poligonowe, ich analiza i zastosowanie praktyczne wskazują, że rozprawa mieści się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska reprezentuje ogólną wiedzę teoretyczną doktoranta w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Doktorant wykazał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W mojej ocenie, przedstawiona do recenzji rozprawa mgr inż. Marka Michalskiego pod tytułem „Wpływ dodatków modyfikujących na właściwości eksploatacyjne lakierniczych systemów powłokowych stosowanych w technice wojskowej” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

Rozprawa doktorska spełnia wymagania przewidziane w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2024 r poz. 1571 z późn. zm.).

Wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Marka Michalskiego do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.

Podpisany podpisem osobistym:

ANETA WIKTORIA KRZYŻAK

2026-08-25 20:59:28+0200

Podpisany z użyciem eDO App.