



Prof. dr hab. inż. Gabriel Wróbel
Katedra Mechaniki Technicznej i Stosowanej
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice
Politechnika Śląska



Gliwice, 21.08.2023

RECENZJA

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pani mgr inż. Aleksandry Żabińskiej

pt. „Wpływ wodnego roztworu chlorku sodu na
właściwości eksploatacyjne powłok
epoksydowych”.

Rozprawa doktorska napisana pod kierunkiem
Pani Promotor: prof. dr hab. inż. Danuty Kotnarowskiej

sporządzona na zlecenie
J.M. Rektora Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego
Prof. Dr hab. Sławomira Bukowskiego
z dnia 17 czerwca 2023.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Gabriel Wróbel

1. Podstawy formalne recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie Uchwały Nr 000-8/2/2023 Senatu Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu z dnia 29 czerwca 2023 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Żabińskiej i Umowy o Dzieło Nr-PK-042/28/40-2/dr-r/2023 z dnia 17 lipca 2023 roku.

Jako autor niniejszej recenzji oświadczam, że:

- posiadam odpowiednie kwalifikacje, wiedzę i doświadczenie do profesjonalnego wykonania tej recenzji;
- wykonanie przedmiotu Umowy Nr-PK-042/27/40-1/dr-r/2023 leży w granicach moich możliwości i nie istnieją żadne przeszkody natury technicznej oraz prawnej uniemożliwiające w całości wykonanie przedmiotu tej umowy;
- nie jestem współautorem prac naukowych mgr inż. Aleksandry Żabińskiej, (zwanej dalej: *Doktorantką*);
- nie uczestniczyłem, ani nie uczestniczę wspólnie z Doktorantką w zespołach badawczych, realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych;
- nie prowadziłem wspólnie z Doktorantką prac naukowych;
- nie sporządzałem recenzji w innych postępowaniach o awans naukowy Doktorantki oraz nie pełniłem w nich funkcji promotora lub promotora pomocniczego.

Sporządzając niniejszą recenzję kierowałem się postanowieniami ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.) oraz wytycznymi z poradnika *Recenzje w postępowaniach o awans naukowy*, opublikowanego przez Radę Doskonałości Naukowej w 2022 roku. Wykorzystałem również dane z udostępnionego mi Życiorysu Naukowego Doktorantki.

1. Dorobek naukowy Doktorantki

Doktorantka ukończyła studia magisterskie uzyskując tytuł zawodowy magistra w specjalności Chemia i technologia polimerów. Dorobek naukowy Doktorantki datuje się z okresu jej studiów doktoranckich w latach 2017 – 2022. Składa się na niego udział w realizacji 6 prac statutowych, zleconych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, tematyką obejmujących badania powłok polimerowych w warunkach oddziaływania różnorodnych czynników środowiskowych. Jest współautorką 4 publikacji w czasopismach naukowych znajdujących się na listach Ministra Edukacji i Nauki oraz brała udział w dwóch konferencjach o zasięgu krajowym, jako autorka posterów. Tematyka i prezentowane wyniki cząstkowe prowadzonych badań, dwóch spośród publikacji:

1. Kotnarowska D., Żabińska O.: Wpływ solanki na destrukcję powłok epoksydowych. *Ochrona przed Korozją* 2022, Vol. 65, Nr 3, s. 88-93 (ISSN 0473-7733, e-ISSN 2449-9501, DOI: 10.15199/40.2022.3.3).
2. Kotnarowska D., Żabińska O.: Influence of aqueous sodium chloride solutions on operational properties of epoxy coatings. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2022; Vol. 24, Nr 4, p. 629–640, <http://doi.org/10.17531/ein.2022.4.4>.

są bezpośrednio związane z tematyką rozprawy doktorskiej, dokumentują postęp prac Doktorantki w okresie studiów doktoranckich, zmierzających do ostatecznego opracowania rozprawy doktorskiej.

Osiągnięcia te spełniają wymagania art. 186, punkt 1, ustęp 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.).

2. Przedmiot pracy

Problematyka pracy mieści się w obszarze badawczym polimerowych powłok lakierniczych, powszechnie stosowanych w przemyśle samochodowym. Spełniają one normy jakości umożliwiając uzyskanie oczekiwanej trwałości własności użytkowych, odporności na agresywne czynniki środowiska, ochrony elementów metalowych przed korozją, zapewnienia walorów estetyki nadwozi samochodowych. Przedmiotem pracy są badania procesu zużycia powłok epoksydowych, zarówno od strony metodyki jak też szczególnych wyników, dokumentujących wszechstronne skutki procesu zużycia w ich postępie w miarę upływu czasu. A contrario, można stwierdzić, że problemem jest trwałość własności użytkowych, której miarą jest czas eksploatacji, w którym badane powłoki zachowują wymagany poziom jakości. Procesy zużycia podzielone zostały na mające charakter degradacji i destrukcji. Poddana badaniom powłoka złożona jest z dwóch warstw nałożonych metodą elektrostatyczną z postaci proszkowej, z których podkładowa zawiera mikronapełniacz cynkowy, zaś zewnętrzna nanonapełniacz ditlenku tytanu oraz pigment mineralny. Grubość powłoki wynosi ok. 0,1 [mm].

Przekrojowo, w analizowanym obszarze problemów można dokonać klasyfikacji procesów zużycia ze względu na przyczynowe czynniki, przykładowo agresywne media, ciepło, promieniowanie ultrafioletowe (UV), czynniki erozyjne. W zakresie tym Doktorantka skupia uwagę na wpływie środowiska roztworu chlorku sodu o stężeniu 25%, nazwanego skrótowo solanką. W zasadniczej części pracy, podążając za sformułowanym celem pracy, podejmuje wszechstronne badania. Każde z badań zmierza do wyznaczenia określonej charakterystyki powłoki. To z kolei związane jest z metodą oraz wymaganą aparaturą. W tym zakresie Doktorantka dokonuje podziału opisanych i przeprowadzonych badań na normowe oraz niekonwencjonalne. Wyniki badań normowych przedstawiane są w jednostkach metrycznych lub pozaukładowych. Wynikiem badania niekonwencjonalnych są charakterystyki: czasowe, przestrzenne, widmowe i opisowe. Praca zawiera dane dotyczące aparatury badawczej, zasad wykonywanych eksperymentów i prowadzenia pomiarów oraz wyniki pomiarów. Każdemu z badań Doktorantka poddała powłokę w umownych stadiach starzenia określonych okresami: 672h, 1008h, 1344h i 1680h. Uzyskane wyniki badań normowych przedstawione są w postaci wykresów: punktowych, liniowych, słupkowych oraz w postaci funkcyjnej. Wyniki badań niekonwencjonalnych mają odmienne postacie właściwe dla każdej z metod.

Należy stwierdzić, że wybrany przedmiot i zakres badań jest interesujący naukowo i wartościowy praktycznie, ze względu na duże znaczenie badanych procesów degradacji powłok epoksydowych przez wzgląd na ich ścisły związek z ekonomią produkcji i eksploatacji oraz bezpieczeństwem i satysfakcją użytkowników pojazdów.

3. Analiza treści rozprawy

Recenzowana praca pt. *Wpływ wodnego roztworu chlorku sodu na właściwości eksploatacyjne powłok epoksydowych* składa się z 11 ponumerowanych rozdziałów poprzedzonych spisem treści oraz nienumerowanym Wprowadzeniem, zawierającym wsparty przeglądem literaturowym opis problematyki związanej ze stosowaniem powłok polimerowych.

Autorska koncepcja pracy polega na przeprowadzeniu wszechstronnych badań zmian właściwości eksploatacyjnych powłok epoksydowych spowodowanych oddziaływaniem wodnego roztworu chlorku – określonego ogólnym pojęciem *solanka*. Jest to spójne ze sformułowaniem celu pracy. Dla jasnego przedstawienia metody, programu oraz uzyskanych wyników i wniosków, ogólny cel został podzielony na cele cząstkowe.

Doktorantka nie formułuje tezy pracy. Należy to uznać za uzasadnione wobec szerokiego obszaru badań oraz braku jednoznacznego charakteru poszukiwawczego badań. Główną uwagę Autorka zwraca ku metodyce badań i ich opracowaniu, co znajduje wyraz w ich bogatym przeglądzie, przy jednoczesnym skupieniu uwagi na jednym, wybranym typie powłoki, której wybór można uzasadnić bliskością obecnie stosowanych rozwiązań. Wyniki badań mają charakter poznawczy i rozszerzają wiedzę z określonego obszaru, o której użyteczności świadczy, jak stwierdza Autorka, dotychczasowy szybki rozwój zastosowań badanych powłok i związane z nim rozszerzające się pole rosnących wymagań użytkowych.

Badaniom poddano wybrany spośród stosowanych systemów: dwuwarstwowy, złożony z powłok epoksydowych powłok o nazwach handlowych:

P512G000R-YD EP PRIMER ZINC - podkładowa powłoka epoksydowa;
Dostawca: PPG Cieszyn SA
EPOSSIDICO LUCIDO RAL~5010 TRIBO - nawierzchniowa powłoka epoksydowa
Dostawca: ST POWDER COATINGS S.A.

Doktorantka nie podjęła w pracy samodzielnej, oryginalnej procedury jego optymalizacji. We wstępie pracy, jak też w kończących pracę wnioskach użytkowych, Autorka podkreśla korzyść z podjęcia zadań i uzyskanych wyników i rozwiązań jaką jest ich uniwersalność w zakresie metodyki badań, co rekomenduje jej stosowanie w badaniach przyszłych, nowych rozwiązań systemów powłok. Uzyskane i opracowane wyniki są, według Doktorantki, dowodem efektywności w procesie poszukiwania nowych rozwiązań materiałowych.

W sformułowaniu głównego celu pracy Autorka wskazuje na wykonanie badań powłok eksploatacyjnych. Cel ten został uszczegółowiony zestawieniem tzw. celów cząstkowych.

Osiągnięcie celu cząstkowego 1, opracowanie studium literaturowego, jest niezbędne i wymagane w każdej pracy naukowej. Rozdział 2 poświęcony jest jego osiągnięciu, zawierając szczegółowy przegląd literatury związanych z tytułowym zadaniem. Określone celem cząstkowym 3 zadanie podjęte jest w rozdziale 3, w którym zamieszczone są dane badanej powłoki oraz opis zastosowanych metod badań wraz z wykorzystywanymi przyrządami i aparaturą badawczą. Kolejnym, wskazanym jako cząstkowe, celom 4 - 8 odpowiadają rozdziały 4 - 8 pracy, choć sformułowania celów i tytuły rozdziałów różnią się, głównie poprzez zastąpienie frazy - *wykonania badań, analizą i oceną ich wyników*. Różnica ta nie jest

rozumiała. Rozdział 9, Zakończenie, podsumowuje pracę zestawiając przeprowadzone badania, uzasadniając ich wybór oraz opisując ich wyniki, co odpowiada celowi części 9. Ma ono charakter rozszerzonego streszczenia części badawczej. Rozdział 10. Wnioski, zawiera, według określenia Doktorantki, wnioski poznawcze oraz wnioski użytkowe. Wnioski poznawcze, jak to stwierdziłem w punkcie 2, są zestawieniem konkluzji z przeprowadzonych badań eksperymentalnych. Pierwsze dwa mają charakter ogólny, podkreślając uzasadnienie podjętego tematu oraz listę stwierdzonych efektów oddziaływania solanki na badane powłoki. Pozostałe 6 wniosków poznawczych odnosi się do wyników poszczególnych, przeprowadzonych badań. Wnioski z grupy użytkowych dotyczą całości programu badawczego, jego uniwersalności i użyteczności w inżynierii różnorodnych powłok. Rozdział 11 to zestawienie 129 pozycji bibliograficznych w alfabetycznym porządku oraz wykaz 12 przywołanych i zastosowanych w przeprowadzonych badaniach norm.

Kończące pracę części to streszczenia w języku polskim oraz angielskim, spisy tabel i rysunków oraz wykaz ważniejszych, występujących w pracy oznaczeń. Praca rozszerzona jest o 6 załączników, w tym karty charakterystyk badanych powłok epoksydowych - nawierzchniowej i podkładowej oraz dane techniczne wykorzystanej w badaniach aparatury.

Autorskie, badawcze części pracy zawarte są w kolejnych, poniższych częściach dzieła.

W podrozdziale 3.2. Doktorantka wylicza przewidziane programem pracy badania wraz z normami zawierającymi opis metod ich prowadzenia. W tej grupie znajdują się badania prowadzone zgodnie ze wskazanymi, na wstępie tej części pracy w Tabeli 3.3. normami:

Oznaczanie grubości powłoki PN-EN ISO 2808:2020-01;

Metoda badania struktury geometrycznej powierzchni powłok PN-M-04251:1987;
PN-EN ISO 8501-1:2008;

Metoda badania połysku powłok polimerowych PN-EN ISO 2813:2014-11;

Metoda badania twardości wg Buchholtza PN-EN ISO 2815:2004;

Oznaczanie twardości powłoki metodą ołówkową PN-EN ISO 15184:2020-07;

Metoda badania adhezji powłok metodą siatki nacięć PN-EN ISO 2409:2021-03;

Metoda badania adhezji powłok metodą odrywową PN-EN ISO 4624:2016-05;

Metoda badania odporności na zarysowanie PN-EN ISO 1518-1:2019-07;

Metoda badania odporności na uderzenie PN-EN ISO 6272-1:2011.

Badania te przeprowadzone zostały z wykorzystaniem dostępnych w laboratoriach technologicznych Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu stanowisk badawczych i przyrządów pomiarowych zestawionych w tejże tabeli. Dalsza część podrozdziału zawiera szczegółowy opis każdego ze stanowisk oraz odpowiedniej metody badań.

W podrozdziale 3.3. Doktorantka przedstawia metodykę dodatkowych, wykraczających poza wcześniejszą grupę standardowych i znormalizowanych badań, o które przewiduje rozszerzyć program pracy. Są to badania:

strukturalne powierzchni, przy użyciu mikroskopu interferometrycznego;

spektrofotometryczne widm FTIR;

charakterystyk DSC, z wykorzystaniem analizatora termicznego.

Należy stwierdzić, że z punktu widzenia sformułowanego celu pracy, wybór badań oraz zastosowanych metod jest prawidłowy i literalnie zgodny, wyczerpuje w znacznym stopniu zalecane i możliwe do przeprowadzenia badania własności powłok lakierniczych.

Rozdział 4. pracy zawiera wyniki przeprowadzonych badań, w kolejności odpowiadającej ich zestawieniu w rozdziale 3. I tak podrozdział 4.1. poświęcony jest badaniom przyrostu grubości powłok epoksydowych w procesie starzenia w 25% roztworze

NaCl, zgodnie z przyjętą metodą przyspieszonych badań starzeniowych. Temperatura kąpieli nie została podana – należy domniemywać, że badanie prowadzono w temperaturze otoczenia. Pomiary były wykonywane okresowo po upływie: 672, 1008, 1344 i 1680 godzin starzenia. Wyniki pomiarów obrazuje wykres. Wyznaczony został model matematyczny w postaci funkcji wielomianowej 3. rzędu. Brak informacji o metodzie jej wyznaczenia, choć można sądzić, że jest nią metoda najmniejszych kwadratów. W takim przypadku zachodzi możliwość uwzględnienia zerowej wartości wyrazu wolnego, co wynika z fizycznych warunków eksperymentu.

Podrozdział 4.2 dotyczy charakterystyk chropowatości powierzchni próbek. Przebiegi zmian wynikowych wartości, wyznaczonych na podstawie pomiarów parametrów Ra, Rz i Rmax, przedstawiono w postaci wykresów i funkcyjnych linii trendu.

Podrozdział 4.3 zawiera opis prowadzenia i wyniki pomiarów połysku badanych powłok. Podobnie jak w przypadku badań chropowatości, wyniki przedstawiono w postaci wykresów i funkcyjnych linii trendu. Pomiary zostały wykonane dla kątów padania światła 20°, 60° i 85°.

W podrozdziale 4.4 zestawione zostały wyniki pomiarów twardości starzonych powłok. Wykorzystano do pomiarów metodę Buchholza, w wyniku której uzyskane dane przedstawiono w postaci wykresu i funkcyjnej linii trendu. Druga z wykorzystanych metod to metoda ołówkowa. Wyniki zestawiono w tabeli.

W podrozdziale 4.5 zawarto wyniki pomiarów przyrostu masy badanych powłok w miarę upływu czasu starzenia. Stwierdzony przebieg wzrostu masy przedstawiono w postaci wykresu i funkcyjnej linii trendu.

Rozdział 5. poświęcony jest wymienionym w rozdziale 3. badaniom określonym przez Autorkę jako niekonwencjonalne. Kolejne podrozdziały od 5.1 do 5.4 dotyczą wpływu starzenia w założonych warunkach na, kolejno, morfologię, topografię i strukturę chemiczną, przy czym do badań struktury chemicznej wykorzystane zostały metody FTIR, DSC oraz metoda rentgenograficzna.

W podrozdziale 5.1, w tabeli 5.1 zamieszczone są obrazy powłok, wraz z opisem, dokumentujące stan i zmiany postaci i budowy powierzchni powłok. Doktorantka upatruje przyczyn tych zmian w procesach chemicznych zachodzących podczas starzenia. Zwięzłe opisy udokumentowanych zmian odniesione są indywidualnie do każdej z fotografii starzonych powłok. Tabela zestawienie grupuje obrazy według okresów starzenia.

Podrozdział 5.2. dotyczy wpływu starzenia na topografię powierzchni i według tytułu, badanego z zastosowaniem mikroskopu interferometrycznego. Tabela 5.2 zamieszczona w podrozdziale 5.2, opisana jako *Topografia powierzchni (...)* zawiera, jak to wynika z opisu, widoki topografii powierzchni powłoki. Zestawione w tabeli przykładowe obrazy odpowiadają kwadratowym wycinkom powłok o boku 1,6 [mm].

Podrozdział 5.3. zawiera wyniki badań spektroskopowych metodą FTIR w postaci wykresów widm odpowiadającym wybranym okresom starzenia, w różnych kombinacjach. Na ich podstawie doktorantka formułuje wnioski dotyczące przemianom chemicznym towarzyszącym starzeniu powłok. Podobny cel, we właściwym dla specyfiki metody termicznej analizy różnicowej (DSC), mają przeprowadzone badania, których wyniki ujawniły charakter procesów zachodzących wraz ze wzrostem temperatury próbek badanych powłok odpowiadających referencyjnym okresom starzenia.

W podrozdziale 5.4. zamieszczone są wyniki badań rentgenograficznych powłok na wybranych etapach starzenia. Autorka podejmuje zadanie analizy charakterystyk pod kątem możliwej interpretacji w odniesieniu do zmian strukturalnych na poziomie procesów chemicznych.

Rozdział 6. obejmuje opis metody wybranej przez doktorantkę do wyznaczania zwilżalności powierzchni oraz nasiąkliwości powłok epoksydowych, wraz z wynikami oraz

sposobem ich opracowania. Opisana jest w nim wykorzystana aparatura oraz materiały zastosowane w badaniach. W wyniku badań doktorantka zaobserwowała zmiany wartości kąta zwilżania wraz z upływem czasu starzenia dla obu cieczy pomiarowych - wody i dijdometanu, Stwierdziła, że przebiegają one w przeciwnych kierunkach – wzrostowym dla dijdometanu i spadkowym dla wody destylowanej. Sformułowała wnioski dotyczące hydrofilowości i nasiąkliwości powłok. Na podstawie pomierzonych kątów zwilżania, wykorzystując metodę Owensa-Wendta, określiła wpływ starzenia na wzrost swobodnej energii powierzchniowej powłok. Pominięte zostały związane z zastosowaną metodą wyliczenia, na rzecz tabelarycznego zestawienia wyników. Efekty te powiązała ze zmianami struktury chemicznej warstwy powierzchniowej, nie wskazując jednak szczegółów możliwych zmian.

Rozdział 7. zawiera opis i wyniki badań adhezji powłok. Badania zostały przeprowadzone dwiema metodami – odrywową oraz siatki nacięć. Podrozdział 7.1 poświęcony jest pierwszej z metod. Uzyskane wyniki zostały przedstawione w postaci wykresu zależności wytrzymałości połączenia powłok z podłożem, wyrażonej w [MPa] oraz w postaci zależności analitycznej linii trendu. Według opisu, we wszystkich próbach odrywowych, przeprowadzonych z wykorzystaniem tego samego kleju – epoksydowego zaobserwowano podobne jakościowo wyniki - zerwanie połączenia adhezyjnego kleju na całej powierzchni kontaktu z powłoką.

W rozdziale 8. zamieszczony jest opis stanowisk, przebiegu badań oraz ich wyniki prób odporności powłok na zarysowanie (podrozdział 8.1) oraz uderzenie (podrozdział 8.2). W tabeli 8.1. zestawione są obrazy rys na powierzchni powłoki uzyskanych dla wzrastających okresów starzenia.

W komentarzu Doktorantka stwierdza udokumentowanymi wynikami badań istotną zależność odporności na zarysowanie od długości okresu starzenia. Podobną tendencję zaobserwowała oceniając graniczne warunki zniszczenia powłoki epoksydowej metodą Du Ponta, odniesione do badanych stalowych próbek o grubości 2 [mm]. W opisie obrazu zniszczeń zwraca uwagę na występujące delaminacje nawierzchniowej powłoki, choć określenie „zwłaszcza” jest niejednoznaczne.

Rozdział 9., zatytułowany Zakończenie, nawiązuje do treści Wprowadzenia, poprzez zawarte w nim uzasadnienie podjętej problematyki, programu badań oraz ich warunki. Autorka pracy zwraca uwagę na różnorodne okoliczności stwarzające potrzebę badań powłok, jak typ powłoki, skład, rodzaj narażenia czy okres użytkowania. Wskazuje miejsce, w którym mieści się program przeprowadzonych badań oraz ocenę spodziewanej wartości uzyskanych wyników. W rozdziale zawarte jest omówienie programu i układu pracy, a także ogólne streszczenie uzyskanych wyników. Podkreśla główną linię badań, zdeterminowaną procesem starzenia badanego dwuwarstwowego systemu powłok oraz związek zakresu badań z ich wartością dla przemysłu samochodowego.

Na podstawie uzyskanych wyników sformułowane zostały wnioski poznawcze, z których 3. do 9. odnoszą się do poszczególnych badań. Pierwszy z wniosków potwierdza celowość każdego z badań, wynikającą z możliwości ujawnienia zmian starzeniowych, stanowi autorskie potwierdzenie osiągnięcia wytyczonego celu pracy. Drugi – ocenę stwierdzonych zmian własności powłoki. Autorka wymienia charakterystyki materiałów powłok, których zmiany zaobserwowała. Wnioski określone jako utylitarne, mają charakter ogólny, dotyczące opisanej metodyki i celowości prowadzenia opisanych w pracy badań

Zaliczone do pierwszej grupy wnioski korespondują z tytułem pracy. Pierwszy z tej grupy nie ma charakteru wniosku. We wniosku 2. Autorka wymienia charakterystyki materiałów powłok, których zmiany zaobserwowała. W dalszych znajdują się informacje dotyczące zaobserwowanych wpływów starzenia na kolejne cechy i właściwości badanych powłok. I tak, Wniosek 3 wskazuje na chemiczną naturę zmian strukturalnych, czego, według

Autorki, dowiodły wyniki badań spektroskopowych w podczerwieni FTIR, różnicowej kalorymetrii skaningowej DSC oraz badania rentgenograficzne. Wniosek 4. zawiera Wyliczenie zaobserwowanych wyników prób mechanicznych powłok poddanych starzeniu w środowisku solanki. Wnioski 5. i 6. dotyczą badań zmierzających do oceny wpływu starzenia na zwilżalność powłok. Wniosek 7. zawiera komentarz do wyników badań mechanicznych powłok oraz ich odporności cieplnej. Wniosek 8. zawiera odniesienie do cynkowego napelnacza powłok podkładowych i jego wpływu na jakość połączenia adhezyjnego powłok z podłożem, choć w rozdziale 7., poświęconym badaniom adhezji, brak danych z tym związanych. Wniosek 9. odnosi się do badań morfologii starzonych powłok, szczególnie omówionych w rozdziale 5. Podsumowując, ta grupa wniosków zawiera zwięzłe, opisowe zestawienie wyników przeprowadzonych badań.

W opinii Doktorantki, ale też obiektywnie należy stwierdzić, że uzyskane wyniki badań mają znaczenie praktyczne. Potwierdzają one nie tylko oczekiwane istnienia wpływu roztworu chlorku sodu na właściwości eksploatacyjne powłok epoksydowych ale ukazują przebieg procesu zmian wielu cech, charakterystyk i właściwości. Dostarcza to podstaw oceny wagi różnorodnych skutków oddziaływania zastosowanej kąpieli solankowej, co z dużym prawdopodobieństwem, przy zachowaniu proporcji, przekłada się na warunki odmiennych stężeń czy postaci agresywnego medium, np. formy rozproszonej, dyspersji. Zasadniczy wpływ na uzyskane wyniki będzie miał rodzaj powłoki, podłoża, temperatura i inne czynniki, jednak wybrany rodzaj badanego materiału oraz warunków badań można uznać za reprezentatywny dla znacznego obszaru wyznaczonego warunków eksploatacyjnych, głównie w odniesieniu do pojazdów samochodowych. Zachowanie znormalizowanych warunków badań nadaje im wartość porównywalności uzyskanych wyników, co jest podstawą poszukiwania i optymalizacji w obszarze nowych produktów, materiałów czy technologii. Można zauważyć, czego Autorka wprost nie zapisała, że w praktyce przedstawione badania starzeniowe można przeprowadzać wybiórczo, stosownie do szczególnych wymagań i kryteriów jakości powłok w ich warunkach eksploatacji. Nie wykazana formalnie korelacja wyników badań, odpowiadających procesowi starzenia, pozwala oczekiwać, że zaniechane badania nie wpłynęłyby na ocenę jakości materiału.

3. Ocena poprawności naukowej pracy

Prowadząc samodzielne, wielostronne badania procesów zachodzących w wybranej i własnymi siłami wykonanej powłoce epoksydowej Doktorantka osiągnęła oryginalne wyniki, które poddała opracowaniu i ocenie. Na powłokę wybrała system dwuwarstwowy, złożony z powłok epoksydowych o nazwach handlowych:

P512G000R-YD EP PRIMER ZINC - podkładowa powłoka epoksydowa;

Dostawca: PPG Cieszyn SA

EPOSSIDICO LUCIDO RAL~5010 TRIBO - nawierzchniowa powłoka epoksydowa

Dostawca: ST POWDER COATINGS S.A.

Wielostronny zestaw badań, zarówno konwencjonalnych jak i określonych jako niekonwencjonalne, umożliwił uzyskanie bogatego zbioru wyników, które wykorzystwała do sformułowania oryginalnych wniosków dotyczących badanego układu. Ponadto zrealizowany program pracy, zakończony osiągniętym celem, umożliwił sformułowanie wniosków dotyczących możliwości uogólnienia procedury na podobne zadania, mogące być pomocne w metodycznym poszukiwaniu korzystnych rozwiązań w odniesieniu do systemów

powłok i umownych warunków destrukcji czy degradacji. Daje to podstawę do uznania, że praca zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, zarówno w zakresie opracowanej metodyki badań i możliwych jej zastosowań, jak i osiągniętych wyników własnych badań naukowych i programu badawczego.

Doktorantka samodzielnie opracowała plan badań, dobierając ich rodzaj i organizując przebieg, pomiary, rejestrację wyników i ich opracowanie przy wykorzystaniu różnorodnych sposobów prezentacji. Wykazała się znajomością i biegłością obsługi stanowisk badawczych i układów pomiarowych. Wyniki wykorzystała do sformułowania wniosków.

Dostrzeżenie i sformułowanie problemu, wybór i redakcja celu pracy oraz celów cząstkowych dowodzi zdolności samodzielnego podjęcia i organizacji pracy naukowej. Poprawny dobór i wykorzystanie laboratoryjnych metod badawczych, dowodzi opanowania wymaganej wiedzy, a także doświadczenia z obszaru zarówno inżynierii mechanicznej jak materiałowej. Sformułowane ze zrozumieniem, na podstawie uzyskanych wyników badań wnioski o charakterze poznawczym, porządkujące szczegółową wiedzę naukową pozyskaną w poszczególnych badaniach, jak też wnioski ogólne, których redakcja dowodzi umiejętności oceny wkładu uzyskanych wyników do wiedzy stosowanej, związanej z procesami degradacji i destrukcji powłok epoksydowych. Świadczy to o dojrzałości do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, zarówno w zakresie teoretycznym, jak i prowadzenia eksperymentów.

Podsumowując:

- Doktorantka wykazała znajomość i biegłość w prowadzeniu wszystkich istotnych badań materiałowych z obszaru powłok lakierniczych;
- wyniki badań potwierdziły ich skuteczność w ocenie starzeniowej odporności powłok epoksydowych w kąpeli solankowej;
- wnioski z przeprowadzonych badań są poprawne, zarówno w zakresie szczegółowym, odnoszącym się do wyników badań własnych, o wartości poznawczej, jak ogólnym, utylitarnym, dotyczącym metodologii badań;
- bardzo dobra strona edytorska pracy, jej strona graficzna i fotograficzna dowodzą możliwości samodzielnej redakcji publikacji naukowych.

4. Uwagi krytyczne

Uwagi krytyczne do pracy dotyczą głównie braku precyzji wskazanych pojęć, fragmentów tekstu, rysunków.

1. W głównym celu pracy, sformułowanym podobnie jak sam tytuł dysertacji, Autorka wskazuje na „(...) wykonanie badań oraz ocena wpływu wodnego roztworu chlorku (solanki) na właściwości eksploatacyjne powłok epoksydowych.”. Badaniom poddana została powłoka dwuwarstwowa, aczkolwiek tylko jednego rodzaju i traktowana całościowo – zarówno same badania jak i ich wyniki są odniesione do założonego systemu dwóch warstw łącznie. Podobna uwaga dotyczy również sformułowanych wniosków. Pierwszy z grupy wniosków poznawczych zawiera odniesienie do systemu powłok epoksydowych – w liczbie mnogiej, co wymagałoby komentarza. Również pozostałe wnioski odnoszą się do wyników badań prowadzonych w istocie na wybranym, szczególnym systemie dwupowłokowym. Uprawnia to zatem do przypuszczenia, że Doktorantka miała raczej na uwadze wskazanie i wykazanie poprawności i skuteczności metodyki systematyzującej badania starzeniowe w kąpeli solankowej niż określenie charakterystyk arbitralnie wybranego materiału. Pośrednim potwierdzeniem tego

jest również uzasadnienie podjętego zadania - str.19 pracy: „Z uwagi na niewystarczający zbiór informacji, dotyczących rozwoju procesów destrukcji powłok polimerowych w wyniku oddziaływania czynników klimatycznych i/lub czynników środowiskowych, dotychczas nie opracowano metody prognozowania ich trwałości eksploatacyjnej.”, wskazujące na potrzebę opracowania metodyki, a nie zbadanie przykładowej powłoki czy uogólnienie płynących stąd wniosków na inne systemy. Wskazana metodyka może zostać w oczywisty sposób uogólniona na inne rodzaje powłok lakierniczych, również na inne czynniki mające wpływ na trwałość charakterystyk eksploatacyjnych. Tytuł i związany z nim cel pracy mógłby zatem mieć postać: „Metodyka badań oraz oceny wpływu wodnego roztworu chlorku na właściwości eksploatacyjne powłok epoksydowych”. Stosownej korekty wymagałyby również sformułowania celów cząstkowych. Stwierdzenie możliwości i jego uzasadnienie powinny znaleźć się w grupie wniosków końcowych.

2. Redakcyjną niekonsekwencją jest wyłączenie z numeracji Wprowadzenia – należało nadać numer również Wprowadzeniu, którego objętość jest porównywalna z pozostałymi wypunktowanymi rozdziałami. Wykaz oznaczeń powinien znaleźć się po spisie treści.
3. Nieczytelny jest podział treści pomiędzy Wprowadzeniem a rozdziałem 2, z którego wiele fragmentów obejmuje wiedzę ogólną wynikającą z przywołanych pozycji literaturowych. W rozdziale 2 korzystniej byłoby zawrzeć omówienie dorobku i pracy własnej.
4. W podrozdziałach 4.2 charakterystyk chropowatości powierzchni próbek zmiany wartości wyznaczonych na podstawie pomiarów parametrów R_a , R_z i R_{max} przedstawiono w postaci wykresów i funkcyjnych linii trendu. Te same wyniki zestawione są na wykresach słupkowych, dla każdego z okresów starzenia. Niosą one cząstkowe dane w stosunku do wykresów liniowych i zależności analitycznych, zatem są zbędne. Analogicznie uwaga dotyczy podrozdziałów 4.3, 4.4.
5. W rozdziale 4.3, poświęconym badaniu połysku, Doktorantka przyjęła plan badań obejmujący pomiary połysku powierzchni badanej powłoki po kolejnych okresach starzenia, dla trzech wartości kąta pomiaru: 20° , 60° i 85° . Metodyka pomiarów zaleca dobór kąta pomiaru do przedziału wynikowej wartości połysku. Oznacza to, że, przykładowo, czujnik połysku 60° , który jest standardem w większości zastosowań przyjmowany jest, jeśli mają być określone stopnie od $>10GU$ do $<70GU$. Wynik spoza tego przedziału oznacza, że dla uzyskania poprawnego wyniku pomiaru należy wybrać inny kąt. Jeśli wynik jest $>70GU$ pomiaru należy dokonać czujnikiem 20° , a jeśli jest $<10GU$, stosuje się czujnik połysku 85° . Uwzględnienie tych zasad spowodowałoby redukcję wariantów pomiaru dla poszczególnych okresów starzenia, do tych, które spełniają tę zasadę. Przykładowo wyniki pokazane na Rys. 4.27, odpowiadające kątowi 85° , nie są miarodajne, gdyż uzyskana wartość połysku znacznie wykracza ponad zalecany dla tego kąta przedział $<10GU$.
6. W podrozdziale 5.1, w tabeli 5.1 dla zamieszczonych obrazów powłok brak skali. Tabela zestawienie grupuje obrazy według okresów starzenia. Liczby fotografii odpowiadających poszczególnym okresom są różne – 6, 11, 10, 10. Dowodzi to, że udokumentowane stany nie odnoszą się do tych samych fragmentów powłok. Brak informacji o próbkach, położeniu ukazanych fragmentów, skali fotografii nie pozwala na porównanie obrazów, a tym samym na ocenę poprawności komentarzy, jakie zamieszczone są pod każdą z fotografii.

7. W tabeli 5.2 zamieszczonej w podrozdziale 5.2 - *Topografia powierzchni* zawiera, jak to wynika z opisu, widoki topografii powierzchni powłoki. Zestawione w tabeli przykładowe obrazy odpowiadają kwadratowym wycinkom powłoki o boku 1,6 [mm]. Nie dają zatem obrazu całej powierzchni. Brak informacji czy dotyczą tego samego fragmentu ani o ich reprezentatywności.
8. W rozdziale 7, według opisu, we wszystkich próbach odrywowych, przeprowadzonych z wykorzystaniem tego samego kleju zaobserwowano zerwanie połączenia adhezyjnego na całej powierzchni kontaktu z powłoką. Zmianie ulegała jedynie wartość siły. Wobec tytułu rozdziału, wskazującego na badanie i ocenę adhezji powłok epoksydowych do stalowego podłoża, należy stwierdzić, że uzyskane wyniki nie dostarczają oczekiwanych danych. Określone wartości sił odrywania, jak się okazało, warstwy kleju od zewnętrznej powierzchni powłoki ulegają zmianie wraz z okresem starzenia powłok, jednak pomierzone wartości pozwalają jedynie na wniosek, że siły adhezji badanych powłok do stalowego podłoża w procesie starzenia niezmiennie są większe od sił adhezji na powierzchni kontaktu powłoki z klejem. Wyniki badań zamieszczone i opisane w podrozdziale 7.2, przeprowadzonych metodą siatki nacięć, podobnie jak w przypadku prób odrywowych, nie dostarczyły informacji o zmianach adhezji powłok, a także o jej charakterystykach dominujących.
9. W rozdziale 8, w tabeli 8.1. zestawione są obrazy rys na powierzchni powłoki utrwalonych dla wzrastających okresów starzenia (w opisie tabeli jest mowa jedynie o okresie 1680 h, co jest drobnym błędem). W kolumnie „Widok powierzchni (...)” zamieszczone obrazy ukazują różne liczby rys i nie dostarczają istotnych informacji, można by je zatem pominąć.
10. Rozdział 9., zatytułowany *Zakończenie*, nawiązuje do treści rozdziałów wprowadzających 1-3. W akapicie str. 105¹³, Doktorantka przedstawia motywację podjęcia tytułowego zadania pracy: „(...) *właściwości eksploatacyjne aktualnie użytkowanych powłok polimerowych, poddanych oddziaływaniu solanki, są niewystarczająco poznane. Zasadniczą przyczyną tego są ustawiczne zmiany ich składu, spowodowane rozwojem nanotechnologii w obszarze nanonapełniaczy i nanopigmentów, stosowanych do modyfikacji powłok, jak również rosnącymi proekologicznymi wymaganiami w obszarze wytwarzania farb i lakierów*„. W mojej opinii, właściwe zapewne widzenie tej kwestii przez Autorkę, powinno być sformułowane *à rebours*. To właściwości nowych, modyfikowanych powłok, testowanych w procesie poszukiwania takich, które spełniają rosnące, różnorodne oczekiwania rynku, wymagają prowadzenia badań składających się na procedury poszukiwań. W odniesieniu do „*aktualnie użytkowanych*” takie badania mogą mieć uzasadnienie w działaniach kontrolnych.
11. Wobec wstępnej klasyfikacji badań na normowe i niekonwencjonalne, można postawić pytanie, dlaczego ten podział nie został zachowany w kolejności opisywanych metod. Badania opisane w punktach 6 i 7 znalazłyby się wówczas w rozszerzeniu punktu 4 grupującego badania normowe.
12. W zestawionej w części 11 Bibliografii Doktorantka pominęła dwie współpublikacje z promotorką - prof. Danutą Kotnarowską. Wydaje się to brakiem istotnym.

Jak stwierdziłem już w punkcie 4. niniejszej recenzji, rozprawa napisana jest bardzo starannie edytorsko. Z tego względu znaczenie uwag formalnych jest niewielkie, a większość z nich dotyczy błędów literowych lub nieścisłości językowych. Zauważone przeze mnie błędy są następujące:

- 7¹, , jest: *narażona*, powinno być: *narażone*.
- 7₉, wiersz 9. od dołu: pozostawiono skreślony wyraz *ich*.
- 7₈, jest: *plywa*, powinno być: *wplywa*.
- 12³ jest: *chlorku (solanki)*, powinno być: *chlorku sodu (solanki)*
- 13 w grafie - CZEŚĆ EKSPERYMENTALNA, jest: *badań normalnych*, powinno być: *badań normowych*.
- 16¹² jest *dziesięcio-krotnie* powinno być *dziesięciokrotnie*
- 17_{7,10} jest *bio-żywica*, powinno być: *biożywica*
- 17₄, jest *bio-epoksydowy*, powinno być: *bioepoksydowy*
- 18⁶ jest: *zabezpieczające*, powinno być: *zabezpieczających*
- 21, 36, 100 – listę tytułów podrozdziałów bezpośrednio po tytule rozdziałów należy raczej zastąpić wprowadzeniem do dalszego podziału na podrozdziały
- 22 Tabele 3.1. oraz 3.2. są zamieszczone w Załącznikach – wystarczy odesłanie do pełnej charakterystyki
- 24³ jest: *ilość* , powinno być: *liczba*
- 46³ podpis pod Rys.4.17 – 4.31 jest: *ilość $\alpha=20^\circ$* , powinno $\alpha=20^\circ$
- 79 - 81 podpis pod Rys.5.47 – 5.50 jest: *ewolucja*, powinno być: *zmiana*
- 88^{14,15}. jest: *Owens-Wendt*, powinno być: *Owensa – Wendta*
- 88₇ jest: *energii*, powinno być: *energia*
- 88₄, jest: *nalży*, powinno być: *należy*
- 90³ jest: *powierzchnia*, powinno być: *powierzchnią*
- 100₁ jest: *w okresie 1680 h*, powinno być np.: *po okresie starzenia 672 do 1680 h*
- 102 rys. 8.2 jest powtórzeniem rys.3.14 – można pominąć, poprawiając przywołanie w tekście
- 105₁₁ jest: *solanki*, - przecinek zbędny

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Liczba odnalezionych uchybień jest znikoma w stosunku do zawartości całej pracy. Nie dotyczą one podstaw eksperymentalnych i teoretycznych rozprawy. Jej treść jest obszerna, rzeczowa i w części opisowej dobrze oddaje program, narzędzia i wyniki badań. Cechuje pracę staranność, brak znaczących usterek edytorskich. Wprowadzenie zawiera uzasadnienie podjętego tematu oraz podstawy teoretyczne, z których wyprowadzony jest cel, program i metodyka badań. Poprawnie i zrozumiale zostały przedstawione wyniki w formie tabel, wykresów i materiału zdjęciowego. Wskazane podstawy literaturowe pracy dowodzą

znajomości szerokiego zakresu dziedziny, w której osadzony jest temat pracy. Sformułowane wnioski, nabrałyby nieco zmienionej formy w przypadku uwzględnienia uwagi 1, głównie przez zastąpienie *powłoki* w liczbie mnogiej przez szczególny, jednostkowy *system powłok* poddany badaniu. Współgrałoby to z treścią wniosków utylitarnych. W ich zapisanej w pracy postaci oddają konsekwentnie relację do sformułowanego celu i programu badań. Zamieszczone uwagi krytyczne nie mają znaczącego wpływu na ocenę wartości naukowej recenzowanej pracy. Wysoka wartość pracy wynika z wagi problemu wpływu wodnego roztworu chlorku sodu, powszechnego w naszym klimacie czynnika niszczącego stalowe elementy konstrukcji pojazdów samochodowych, którego rozwiązaniu służy stosowanie skutecznych powłok ochronnych. W tej grupie zastosowanie wielowarstwowych powłok epoksydowych, nanoszonych metodą proszkową, jest współcześnie uznawane za rozwiązanie najkorzystniejsze. Stąd też wynika trafność wyboru tematu oraz ukierunkowanie badań wyznaczonych sformulowanym celem. Zaprezentowany zestaw badań daje podstawę opracowania ogólnych metod badawczych. Różnorodność opisanych badań pozwala na dobór zestawu odpowiedniego do szczególnych zadań konstrukcyjnych i technologicznych, w których ważna jest odporność powłoki na oddziaływanie solanki, ale również inne czynniki starzenia. Oryginalne wyniki niosą informację dającą podstawę do oceny odporności badanego dwuwarstwowego systemu powłok, mierzonej czasowymi charakterystykami zmian podstawowych własności eksploatacyjnych oraz materiałowych. Sposób prowadzenia badań oraz opracowania, analizy i prezentacji wyników czyni pracę użytecznym przewodnikiem badacza. Przegląd przeprowadzonych badań wpływu starzenia w kąpeli solankowej na właściwości eksploatacyjne powłok epoksydowych, jest dowodem posiadania przez doktorantkę mgr inż. Aleksandrę Żabińską ogólnej wiedzy teoretycznej, a rozprawa doktorska wykazuje Jej umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej. Praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jakim jest poznanie wpływu środowiska solanki na trwałość powłok epoksydowych. Miarami tego wpływu są jakościowe i ilościowe zmiany charakterystyk fizycznych i geometrycznych, co potwierdziły wyniki przeprowadzonych badań. Doktorantka wykazała w pracy, że opracowana metodyka jest skuteczna w określaniu stopnia degradacji powłok. Może stać się wartościowym narzędziem zarówno w poszukiwaniu nowych, lepszych rozwiązań materiałowych i technologicznych dla wybranych kryteriów jakościowych, jak i w diagnostyce czy badaniach przyczyn zniszczeń. Wybór środowiska solanki dostarcza szczególnych wyników dla takich przypadków, jak to Autorka zapisała w pracy, ale pozwala również na rozszerzenie opracowanej metodologii na inne warunki eksploatacyjne.

Biorąc pod uwagę dotychczasowe osiągnięcia naukowe Pani mgr inż. Aleksandry Żabińskiej, a w szczególności:

- bardzo dobrą ocenę osiągnięcia naukowego, jakim jest opracowana dysertacja pt. „Wpływ wodnego roztworu chlorku sodu na właściwości eksploatacyjne powłok epoksydowych”;
- poziom naukowy sformułowanego celu pracy;
- celowość aplikacyjną podjętych zadań;
- znajomość stanu wiedzy z dziedziny pracy, udokumentowaną 129 aktualnymi pozycjami bibliograficznymi oraz wykazem 12 zastosowanych w pracy norm;
- poprawność metodologiczną planu i realizacji prowadzonych badań;
- świadomość poziomu osiągniętych wyników i dalszych perspektyw pracy w podjętym temacie;
- biegłość w posługiwaniu się aparaturą badawczą;
- poprawność językową i edytorską pracy,

stwierdzam, że Pani mgr inż. Aleksandra Żabińska spełnia w stopniu bardzo dobrym wymagania stawiane kandydatom do uzyskania stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w Dyscyplinie Naukowej Inżynieria Mechaniczna, zgodnie z art. 190 ust. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2022, poz. 574 z póź. zm.)

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr inż. Aleksandry Żabińskiej do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.



dr hab. inż. Gabriel Wróbel