

Dr hab. inż. Norbert Radek, prof. PŚk  
Politechnika Świętokrzyska  
Centrum Laserowych Technologii Metali  
Katedra Inżynierii Eksploatacji i Przemysłowych  
Systemów Laserowych  
Al. 1000-lecia P. P. 7  
25-314 Kielce

Kielce, 19.03.2020 r.

### **RECENZJA rozprawy doktorskiej**

***mgr inż. Dariusza Stanisławka pt. „Badania i ocena odporności renowacyjnych powłok lakierniczych nadwozi samochodowych na zarysowanie, ścieranie oraz erozję”***

Promotor pracy: **prof. dr hab. inż. Danuta Kotnarowska**

#### **1. Podstawa formalna**

Podstawą formalną wykonania recenzji było pismo Rektora Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu prof. dr hab. inż. Zbigniewa Łukasika, z dnia 11.02.2020 r. o sygnaturze PK-042/2/8-2/dr-r/2020.

#### **2. Tematyka rozprawy**

Obecnie obserwuje się intensywny rozwój szerokiej problematyki inżynierii powierzchni zarówno w zakresie współczesnej powierzchniowej obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej, obróbki mechanicznej, wytwarzania powłok dwu- i wielowarstwowych oraz warstw nanokrystalicznych.

W swojej długiej historii motoryzacji rola lakierowania nadwozi samochodowych uległa znacznej ewolucji, w wyniku której powłoki lakiernicze powinny obecnie spełniać funkcje ochronne, dekoracyjne oraz techniczne. Spełnienie w/w cech powinno zapewnić wysoką trwałość eksploatacyjną obiektów technicznych pokrytych powłokami malarskimi.

W czasie eksploatacji powłoki lakiernicze wystawiane są na oddziaływanie różnego typu narażeń eksploatacyjnych. Przyczyniają się one do utraty właściwości ochronnych oraz

dekoracyjnych powłok. Na powłoki oddziałują: czynniki klimatyczne, tj. promieniowanie ultrafioletowe, ciepło, wilgoć, a także media agresywne i cząstki erozyjne.

Powłoki lakiernicze na bazie polimerów (np. polichlorku winylu, akrylu, żywic epoksydowych) zapewniają wysoką jakość przylegania do materiału podłoża i ochronę powierzchni przed czynnikami chemicznymi i/lub mechanicznymi. Powłoki tego typu są szeroko stosowane w różnych gałęziach przemysłu np. spożywczym, lotniczym, maszynowym, a przede wszystkim motoryzacyjnym.

Szerokie zastosowanie powłok polimerowych jest związane z tym, że technika nanoszenia powłok nie jest zależna od kształtu podłoża, rozmiarów, materiału podłoża, a prace malarskie często prowadzone są w miejscu eksploataowania elementów pokrywanych.

Tematyka pracy doktorskiej mgr inż. Dariusza Stanisławka dotyczy nanoszenia powłok polimerowych (akrylowo-poliestrowych) metodą natrysku pneumatycznego. Autor zaproponował wytwarzanie dwóch rodzajów lakierniczych systemów powłokowych tzw. powłok trzywarstwowych (różniących się warstwą pośrednią) na stali konstrukcyjnej S235 JRG2. W/w systemy powłokowe akrylowo-poliestrowe Doktorant chce zastosować w renowacyjnym malowaniu nadwozi samochodowych, co powinno skutkować zwiększeniem ich odporności na zarysowanie, erozję oraz zużycie ściernie.

Dlatego też, wybór tematyki pracy uważam za celowy i szczególnie cenny zarówno w aspekcie naukowym, technologicznym, a przede wszystkim aplikacyjnym. Recenzowana praca doktorska wpisuje się w aktualne trendy badań eksploatacyjnych powłok lakierniczych na stalach konstrukcyjnych i wnosi wymierne korzyści poznawcze i użytkowe.

### **3. Charakterystyka i ocena rozprawy**

Recenzowana rozprawa mgr inż. Dariusza Stanisławka zawiera 219 stron (łącznie ze streszczeniami w j. polskim i j. angielskim oraz załącznikiem), 223 rysunki oraz 51 tabel. Bibliografia zawiera 109 pozycji, w tym 7 publikacji z udziałem Autora, które zostały poprawnie dobrane do proponowanej tematyki rozprawy. Około 83 % cytowanych pozycji literaturowych jest opublikowana po 2000 roku, co stanowi bardzo dobry wskaźnik udziału publikacji „nowych” do ogólnej liczby pozycji przedstawionej w bibliografii. Znaczna część cytowanej literatury pochodzi z renomowanych czasopism o zasięgu międzynarodowym np. Progress in Organic Coatings, Materials Science, Wear, Corrosion Science, Journal of Adhesion & Adhesives, Surface and Coating Technology. Cytowana specjalistyczna literatura

z zakresu inżynierii powierzchni, inżynierii chemicznej, inżynierii materiałowej, tribologii gwarantuje, że w pracy opisano aktualny stan wiedzy z kraju i zagranicy.

Przedstawiona rozprawa składa się z dwunastu rozdziałów zasadniczych (poprzedzonych wprowadzeniem), wykazu literatury, załącznika, spisu tabel, spisu rysunków, następnie wykazu ważniejszych oznaczeń oraz zawartego na końcu streszczenia w języku polskim i angielskim. Praca napisana jest w układzie klasycznym, z podziałem na część analizy literaturowej zagadnienia oraz część badań eksperymentalnych. Część związana z analizą literaturową stanowi około 16 % tekstu, pozostała część tekstu to przedstawione wyniki badań własnych Doktoranta.

Tytuł rozprawy „Badania i ocena odporności renowacyjnych powłok lakierniczych nadwozi samochodowych na zarysowanie, ścieranie oraz erozję” nie do końca odzwierciedla badania, które Doktorant wykonał i zawarł w pracy. W mojej opinii tytuł rozprawy mógłby brzmieć następująco np. „Badania i ocena wybranych właściwości eksploatacyjnych renowacyjnych powłok lakierniczych nadwozi samochodowych”.

We *Wprowadzeniu* Autor w sposób syntetyczny charakteryzuje właściwości powłok polimerowych, którymi są pokrywane nadwozia samochodowe. Ponadto Doktorant wskazuje, że 80 % stosowanych na świecie powłok polimerowych spełnia funkcje ochronne powierzchni materiału przed niszczącym oddziaływaniem czynników środowiska eksploatacji.

W rozdziale 1 pt. *Cel i program pracy* mgr inż. Dariusz Stanisławek przedstawia cel nadrzędny pracy w brzmieniu:

*Nadrzędnym celem* niniejszej dysertacji było, zgodnie z jej tytułem, zbadanie i ocena odporności renowacyjnych powłok lakierniczych nadwozi samochodowych na oddziaływanie czynników klimatycznych oraz środowiskowych, w szczególności powodujących ich: zarysowanie, ścieranie oraz erozję.

W celu osiągnięcia celu nadrzędnego pracy Doktorant zrealizował 13 celów cząstkowych, które w sposób syntetyczny opisuje. Ponadto Autor, aby zrealizować cel nadrzędny pracy zaplanował plan badań, który przedstawił w postaci schematu blokowego programu dysertacji.

W rozdziale 2 pt. *Analiza procesów destrukcji powłok lakierniczych nadwozi samochodowych* Autor dokonuje ogólnej charakterystyki czynników eksploatacyjnych (klimatycznych i środowiskowych), które przyczyniają się do niszczenia powłok lakierniczych nadwozi samochodowych. Doktorant podkreśla, że na trwałość eksploatacyjną powłoki ochronnej, która stanowi system (środowisko eksploatacji – powłoka polimerowa – metalowe

podoże) w głównej mierze wpływają: stan powłoki i materiału podłoża, a także rodzaj i intensywność oddziaływania czynników eksploatacyjnych. Według Autora dodatkowo przyczynami uszkodzeń powłok polimerowych są wady technologiczne (np. porowatość, zacieki), które powstają podczas procesu ich wytwarzania. Ponadto w tym rozdziale Doktorant bardzo szczegółowo analizuje trzy rodzaje destrukcji powłok lakierniczych nadwozi samochodowych tj. destrukcję hydrolityczną pod wpływem mediów agresywnych (kwaśne deszcze, kwasy), fotodestrukcję pod wpływem promieniowania ultrafioletowego (UV) oraz destrukcję mechaniczną (cząstki erozyjne).

W rozdziale 3 pt. *Materiały i metodyka badań powłok akrylowo-poliestrowych* Autor prezentuje materiał wybrany do wykonania próbek, sposób przygotowania materiału podłoża, wybór materiałów powłokowych oraz metodę nanoszenia polimerowych powłok trzywarstwowych (różniących się warstwą pośrednią).

Doktorant w tej części rozprawy doktorskiej podaje informacje na temat technik badawczych i metod zastosowanych do oceny struktury powierzchniowej i wybranych właściwości fizykochemicznych akrylowo-poliestrowych powłok trzywarstwowych. Właściwości wytworzonych lakierniczych systemów powłokowych poddaje szczegółowej analizie, z użyciem: mikroskopii optycznej, skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), badaniom starzeniowym w komorach klimatycznych, odporności na zarysowanie, połysku, barwy oraz pomiarom struktury geometrycznej powierzchni (SGP), grubości, twardości, przyczepności, kąta zwilżania.

W Rozdziale 4 pt. *Wpływ rodzaju starzenia na destrukcję powłok akrylowo-poliestrowych* Doktorant przeprowadza szczegółową analizę destrukcji powierzchni powłok polimerowych wywołaną wpływem: starzenia klimatycznego (w naturalnych warunkach klimatycznych), starzenia promieniowaniem ultrafioletowym (w komorze UV) oraz przyspieszonym starzeniem (w komorach klimatycznych). Ocenę destrukcji powierzchni powłok akrylowo-poliestrowych Autor dokonuje za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego oraz pomiarów ich struktury geometrycznej. Należy podkreślić, że Doktorant właściwie wykorzystuje zastosowane techniki badawcze, które posłużyły do oceny zniszczenia wytworzonych warstw powierzchniowych.

Rozdział 5 pt. *Ocena właściwości powłok akrylowo-poliestrowych starzonych klimatycznie* zawiera badania porównawcze wybranych właściwości eksploatacyjnych lakierniczych systemów powłokowych (z powłoką pośrednią czerwoną i niebieską), które były uprzednio poddane starzeniu w naturalnych warunkach klimatycznych na stacji klimatycznej w

okresie 6, 12, 18, 24 miesięcznym. Rozdział ten jest bardzo obszerny i stanowi ok. 26 % całości pracy. Wyniki badań eksperymentalnych Doktorant przedstawia w ośmiu podrozdziałach podzielonych na dwa bloki tematyczne (dla każdego systemu oddzielnie). Ocenę właściwości eksploatacyjnych powłok akrylowo-poliestrowych wykonano na podstawie pomiarów: grubości, parametrów chropowatości, połysku oraz twardości. Ponadto na uwagę zasługuje przeprowadzona przez Autora „skromna” statystyczna analiza wyników prezentowana w postaci modeli matematycznych (funkcji regresji) i współczynników determinacji. W mojej opinii rozdział 5 zawiera zbyt wiele wykresów, wystarczyło przedstawić wykresy zawarte w rozdz. 5.3.

W rozdziale 6 pt. *Ocena wpływu promieniowania ultrafioletowego na właściwości ochronno-dekoracyjne powłok akrylowo-poliestrowych* Autor prezentuje wyniki badań doświadczalnych powłok polimerowych (czerwonych) starzonych promieniowaniem UV wraz z analizą uzyskanych rezultatów. Autor w sposób syntetyczny opisuje metodykę wykonania pomiarów: połysku, topografii i chropowatości powierzchni w/w powłok oraz twardości i grubości. Dodatkowo w rozdziale 6 Doktorant przedstawia wyniki badań ścieralności powłok polimerowych przeprowadzone za pomocą testera T-07. Interpretuje uzyskane wyniki ubytku masy systemów powłokowych oraz wyciąga konstruktywne wnioski.

Rozdział 7 pt. *Ocena odporności na zarysowanie i erozję powłok akrylowo-poliestrowych starzonych klimatycznie* przedstawia wyniki realizowanych badań mechanicznych powłok lakierniczych. Doktorant przeprowadza analizę porównawczą wyników testów odporności na zarysowanie lakierniczych systemów powłokowych (z powłoką pośrednią czerwoną i niebieską), które były starzone na stacji klimatycznej przez okres 24 miesięcy. Ponadto rozdział 7 wzbogacony jest bardzo interesującymi wynikami badań eksperymentalnych odporności powłok polimerowych na erozyjne oddziaływanie cząstek elektrokorundu, które posłużyły Autorowi do wyznaczenia charakterystyk intensywności zużywania badanych powłok.

W rozdziale 8 pt. *Badania wraz z analizą rodzaju zerwania połączenia powłok akrylowo-poliestrowych ze stalowym podłożem* Doktorant przeprowadza badania przyczepności powłok polimerowych (niestarzonych i starzonych klimatycznie przez okres 2 lat) metodą odrywową i siatki nacięć. Uzyskane wyniki metoda odrywową posłużyły Mu do określenia charakteru zerwania powłok z podłożem oraz wyznaczenia wartości wytrzymałości połączeń adhezyjnych. W przypadku badań metodą siatki nacięć Doktorant ocenia adhezję

(zgodnie z normą PN-EN ISO 2409: 2013-06) powłok akrylowo-poliestrowych do stalowego podłoża według parametrów siatki nacięć w skali od 0 do 5.

W rozdziale 9 pt. *Ocena wpływu starzenia na zwilżalność i stan energetyczny oraz barwę powłok akrylowo-poliestrowych* Autor określa wartości kątów zwilżania i swobodnej energii powierzchniowej (SEP) powierzchni powłok polimerowych (bez starzenia oraz starzonych klimatycznie i promieniowaniem UV), stosując ciecze pomiarowe w postaci wody destylowanej i diiodometanu. Doktorant dokonuje wnikliwej analizy uzyskanych wyników z których wynika, że powłoki niebieskie posiadają mniejszy kąt zwilżania niż powłoki czerwone. Natomiast (SEP) powłok akrylowo-poliestrowych (czerwonych) osiąga mniejsze wartości w odniesieniu do powłok akrylowo-poliestrowych (niebieskich). W rozdziale 9 Doktorant odnosi się również do uzyskanych za pomocą fotospektrometru zmian barwy powłok akrylowo-poliestrowych, starzonych na stacji klimatycznej oraz pod wpływem promieniowania UV. Do oceny zmian barwy stosuje parametr  $\Delta E$ .

Rozdział 10 pt. *Ocena oddziaływania czynników eksploatacyjnych na stan powierzchni ochronno-dekoracyjnych powłok nadwozi samochodowych* przedstawia ocenę stanu powłok lakierniczych wybranych elementów nadwozi samochodowych (analizowano 18 marek samochodów), użytkowanych w naturalnych warunkach eksploatacji. Ponadto Doktorant prezentuje wyniki pomiarów twardości ołówkowej ich powłok lakierniczych.

Rozdział 11 pt. *Zakończenie* jest syntetycznym streszczeniem rozdziałów 3÷9, w których Doktorant prezentuje efekty badań eksperymentalnych wraz z ich rzetelną analizą. Należy podkreślić, że zrealizowane przez Doktoranta badania stanowią cenne uzupełnienie aktualnego stanu wiedzy i są ważnym osiągnięciem naukowym zawartym w niniejszej rozprawie.

W rozdziale 12 pt. *Wnioski* sformuowano 6 wniosków podsumowujących uzyskane wyniki badań. Natomiast Doktorant nie zaproponował kierunków dalszych badań.

Za oryginalny wkład Autora w rozwój dyscypliny *inżynieria mechaniczna* zaliczam:

- wybór materiałów powłokowych,
- szeroki zakres badań eksperymentalnych powłok akrylowo-poliestrowych,
- wnikliwą analizę uzyskanych wyników badań,
- możliwość zastosowania wytworzonych powłok lakierniczych w przemyśle motoryzacyjnym.

Do pewnych mankamentów występujących w pracy zaliczam:

- brak wyeksponowania wniosków z analizy literatury w pracy,
- brak analiz mikrostruktur otrzymanych powłok akrylowo-poliestrowych w przekroju poprzecznym próbki,
- brak badań odporności korozyjnej naniesionych powłok lakierniczych,
- zbyt skromna analiza statystyczna wyników.

Rozprawa doktorska mgr inż. Dariusza Stanisławka ma charakter doświadczalno-aplikacyjny. Uzyskane wyniki badań mogą zostać wdrożone do przemysłu motoryzacyjnego. Opracowanie redakcyjne rozprawy jest na bardzo dobrym poziomie edycyjnym.

Rozprawę doktorską mgr inż. Dariusza Stanisławka oceniam dobrze i stwierdzam, że przedstawione wyniki badań poszerzają wiedzę w zakresie wytwarzania powłok lakierniczych w aspekcie zastosowania w renowacyjnym malowaniu nadwozi samochodowych. Ponadto chciałbym podkreślić, że niniejsza rozprawa doktorska stanowi oryginalny wkład w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*, a szczególnie w rozwój wiedzy w zakresie inżynierii powierzchni, inżynierii materiałowej, inżynierii chemicznej oraz tribologii.

#### 4. Uwagi krytyczne i błędy edytorskie

Rozprawa doktorska mgr inż. Dariusza Stanisławka zawiera pewne nieścisłości oraz błędy redakcyjne. Poniżej szczegółowa lista uwag.

1. str. 7 - Autor użył zwrotu: ... powłokami polimerowym ... Powinno być: ... powłokami polimerowymi ...
2. str. 7 - Autor użył zwrotu: Materiałem powszechnie stosowanym na nadwozia samochodowe jest blacha stalowa ... Proszę wyjaśnić, czy wszystkie blachy stalowe można stosować na nadwozia samochodowe ?
3. str. 38 - Pytanie: proszę podać kryterium wyboru materiału podłoża (stali konstrukcyjnej S235 JRG2) oraz jakie były rozmiary nanocząstek tritlenku żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Ponadto duże wątpliwości budzi niewielkie odchylenie standardowe grubości polimerowych systemów powłokowych (czerwonych i niebieskich)  $\pm 1 \mu\text{m}$ .
4. str. 52 - Autor nie podaje, ile wynosiła liczba prób pomiarowych mierzonych parametrów struktury geometrycznej powierzchni.
5. str. 62 - brak wnikliwej analizy składu chemicznego EDS akrylowych warstw nawierzchniowych.

6. str. 70 - Autor użył zwrotu: ... na rysunkach 5.1÷5. Powinno być: ... na rysunkach 5.1÷5.5. Identyczna sytuacja ma miejsce na stronach: 88, 91, 97, 100, 103, 106, 109, 112, 115.
7. str. 123 - Autor użył zwrotu: Powłoka niebieska na koniec badań miał ... Powinno być: Powłoka niebieska na koniec badań miała ...
8. str. 125 - Autor użył zwrotu: Ujemna temperatura (poniżej 15 °C) ... Powinno być: Ujemna temperatura (poniżej -15 °C) ...
9. str. 131 - w opisie rys. 6.5 występują błędy stylistyczne.
10. str. 144 - wytrzymałość adhezyjnego połączenia powłoki z podłożem podana jest w jednostce [Pa], a powinna być w [MPa].
11. str. 147- Autor użył zwrotu: ... warstwy pokładowej ... Powinno być: ... warstwy podkładowej ...
12. str. 155 - Autor użył zwrotu: ... na rysunkach 9.5÷9.20. Powinno być: ... na rysunkach 9.5÷9.12.
13. str. 159 - błędne odwołanie do tabeli zastosowano w tekście, jest tab. 9.2, powinno być tab. 9.3.
14. str. 171 i 172 dublują się.
15. str. 191 - Autor użył zwrotu: ... w okresie od 16.09.19 do 19.12.17. Powinno być: ... w okresie od 19.12.17 do 16.09.19.
16. Brak odwołania do rys. 1.1 w tekście.
17. Rysunki 2.3, 2.4, 2.12÷2.16, 2.18÷2.22, 3.1, 7.1, 7.2, 8.5÷8.7, 9.3 oraz tabele 10.3÷10.20 (fotografie powłok lakierniczych z rysami) - brak markerów podziałki.
18. Rysunki Z-7÷Z-24 - brak opisu osi rzędnych.

Uwagi krytyczne zawarte w tym punkcie recenzji nie obniżają wartości merytorycznej i ogólnej pozytywnej oceny rozprawy. Mają one charakter dyskusyjny i porządkowy, co powinno pomóc Autorowi podczas przygotowywania artykułów do czasopism naukowych.

## **5. Wniosek końcowy**

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska jest pracą interesującą oraz napisaną w sposób zwięzły i przejrzysty. Ponadto ma charakter oryginalnej pracy naukowej łączącej w sobie zarówno elementy poznawcze, jak i użyteczne. Została przedstawiona zgodnie z metodologią prowadzenia i prezentowania prac naukowych. Podjęta tematyka jest ważna i aktualna, a wyniki badań eksperymentalnych są dobrze dokumentowane i poprawnie



analizowane. Na podkreślenie zasługuje aplikacyjny charakter pracy, a uzyskane wyniki badań mogą zostać wdrożone nie tylko w przemyśle motoryzacyjnym, ale również w innych gałęziach przemysłu. Tematyka podjęta w pracy sytuuje ją w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*.

Dlatego stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż. Dariusza Stanisławka pt.: „Badania i ocena odporności renowacyjnych powłok lakierniczych nadwozi samochodowych na zarysowanie, ścieranie oraz erozję” spełnia warunki określone w art. 13 ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2016, poz. 882) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned in the right-center of the page.