

**OPINIA O ROZPRAWIE DOKTORSKIEJ**

**mgr inż. Dariusza Stanisławka**

**nt. „Badania i ocena odporności renowacyjnych powłok lakierniczych nadwozi samochodowych na zarysowanie, ścieranie oraz erozję”, wykonana na zlecenie Rektora Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu**

**1. WPROWADZENIE**

Przedmiotem opinii jest rozprawa doktorska mgr inż. Dariusza Stanisławka pt. „Badania i ocena odporności renowacyjnych powłok lakierniczych nadwozi samochodowych na zarysowanie, ścieranie oraz erozję”, wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Danuty Kotnarowskiej.

Dynamiczny rozwój motoryzacji w ostatnich dziesięcioleciach spowodował ogromny wzrost udziału dużej liczby pojazdów samochodowych w zanieczyszczeniu środowiska. Wymagania z zakresu ochrony środowiska stawiane nowo produkowanym pojazdom są więc coraz większe. Dotyczy to nie tylko np. emisji toksycznych składników spalin ale i produkcji pojazdów stanowiącej jak najmniejsze obciążenie środowiska. Ważnym problemem jest też odpowiedni dobór ekologicznych materiałów, do tego jeszcze niedrogich, także obowiązująca strategia wymagająca, aby każdy etap wytwarzania produktu nie oddziaływał ujemnie na zdrowie ludzkie i środowisko naturalne lub chociaż minimalizował to oddziaływanie. Jest to związane z wykorzystaniem procesu technologicznego o mniejszym zużyciu energii, obniżenie energochłonności danego procesu, zredukowanie liczby procesów technologicznych i wyeliminowanie określonej technologii z procesu wytwarzania. Strategii tej podlegają również materiały lakiernicze.

Bezwzględne wymogi dostosowania produkowanych lakierów i sposobów pokrywania nimi nadwozi samochodowych, w trakcie prowadzonych prac blacharsko-lakierniczych, do wprowadzanych stopniowo przepisów, dotyczą głównie ograniczania emisji lotnych związków organicznych, powstających w wyniku stosowania rozpuszczalników w farbach i lakierach samochodowych. Wymusiło to zakaz wprowadzania do obrotu produktów przekraczających dopuszczalną maksymalną zawartość tych substancji. Producenci lakierów

samochodowych na skutek wprowadzonych zakazów, dotyczących produkcji lakieru z niedozwoloną zawartością lotnych związków organicznych, zaczęli wprowadzać produkty, których normy są znacznie mniej rygorystyczne pod tym względem, czyli lakiery określane, jako wykonanie specjalne (jednowarstwowe powłoki nawierzchniowe o specjalnych właściwościach, czyli lakiery metaliczne lub perłowe), dla których dopuszczalna jest dwukrotnie wyższa zawartość lotnych związków organicznych, omijając w ten sposób wprowadzone ograniczenia prawne w tym zakresie.

Innym powodem wprowadzania na rynek nowych rodzajów lakierów i technologii ich nanoszenia na nadwozia pojazdów samochodowych było i jest w dalszym ciągu opracowanie takiej receptury lakierów i technologii ich nanoszenia na nadwozi, która zapewni odpowiednio wysoką odporność na korozję, atrakcyjny wygląd oraz charakteryzować się będzie jak najniższą podatnością na oddziaływanie wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń, a także należyłą trwałością i odpornością na zarysowania w trakcie prowadzenia czynności związanych z utrzymaniem czystości nadwozia, czyli jego mycia i pielęgnacji.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań właściwości fizykochemicznych systemów powłok akrylowych i poliestrowych (stosowanych w renowacyjnym malowaniu nadwozi samochodowych), które poddano starzeniu na stacji klimatycznej w okresie dwóch lat. Przeprowadzono również badania ich przyspieszonego starzenia w komorach klimatycznych, mające na celu skrócenie badań właściwości fizykochemicznych, determinujących trwałość eksploatacyjną powłok.

Celem niniejszej pracy jest badanie i ocena odporności renowacyjnych powłok lakierniczych nadwozi samochodowych na oddziaływanie czynników klimatycznych oraz środowiskowych, w szczególności powodujących ich zarysowanie, ścieranie oraz erozję.

Podjęcie zatem przez Doktoranta tej tematyki uważam zatem za celowe, tym bardziej, że – oprócz oczywistych aspektów praktycznych tematu, rozwiązanie postawionych zadań wymaga przeprowadzenia badań o charakterze poznawczym i opracowania metod badawczych zawierających elementy naukowe.

## **2. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY**

Opiniowana praca ma objętość 219 stron. Składa się z dwunastu rozdziałów oraz spisu cytowanej literatury. Na początku pracy zamieszczono wprowadzenie, na jej końcu załącznik, spis tabel i rysunków, wykaz ważniejszych oznaczeń oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

We wprowadzeniu autor uzasadnia wybór tematyki pracy oraz omawia jej zawartość. W rozdziale 1 przedstawia cel i program pracy. Nadrzędnym jej celem jest, zgodnie z tytułem, badanie i ocena odporności renowacyjnych powłok lakierniczych nadwozi samochodowych, na oddziaływanie czynników klimatycznych oraz środowiskowych, w szczególności powodujących ich: zarysowanie, ścieranie oraz erozję. Dalej Autor omawia etapy realizacji pracy, jej cele cząstkowe.

Rozdział drugi zawiera analizę procesów destrukcji powłok lakierniczych nadwozi samochodów. Dokonano w nim przeglądu rodzajów czynników eksploatacyjnych (czynników klimatycznych i środowiskowych) niszczących powłoki lakiernicze. Przeprowadzono również analizę procesów destrukcji powłok lakierniczych nadwozi samochodowych pod wpływem dominujących czynników środowiskowych, jakimi są agresywne media oraz cząstki erozyjne.

W rozdziale 3 przedstawiono wybrane do badań powłoki akrylowo-poliestrowe, które są obecnie powszechnie stosowane w renowacyjnym lakiernictwie samochodowym. W dalszej części omówiono metodykę wielokryterialnych badań właściwości fizykochemicznych powłok akrylowo-poliestrowych, wraz z wytypowaną do tego celu aparaturą badawczą.

Rozdział 4 zawiera omówienie badań starzeniowych powłok umieszczonych na stacji klimatycznej, jak również badania przyspieszonego starzenia powłok w komorach klimatycznych (UV, QUV i Discovery My-600). Dokonano analizy destrukcji powierzchniowych warstw powłok pod wpływem czynników klimatycznych i środowiskowych. Przeanalizowano właściwości powłok starzonych w naturalnych warunkach środowiskowych na stacji klimatycznej oraz powłoki poddane starzeniu przyspieszonemu w komorach klimatycznych (pod wpływem UV, wilgoci i szoków cieplnych).

W rozdziale 5 przedstawiono właściwości powłok zarówno przed starzeniem klimatycznym, jak i po każdym sześciomiesięcznym cyklu ich starzenia. Badania starzeniowe powłok na stacji klimatycznej kontynuowano w okresie dwóch lat. Wyznaczono przebieg charakterystyk, opisujących właściwości powłok w zależności od długości okresu ich starzenia. Każdą z uzyskanych charakterystyk właściwości powłok opisano funkcją wielomianową.

Rozdział 6 zawiera ocenę stanu powłok akrylowo-poliestrowych starzonych promieniowaniem UV na podstawie wyników badań: morfologii z zastosowaniem skaningowego mikroskopu elektronowego, chropowatości i topografii (za pomocą mikroskopu interferometrycznego), połysku ich powierzchni oraz twardości i grubości, a

także struktury chemicznej za pomocą mikroanalizatora rentgenowskiego typu EDS, który był wyposażony w mikroskop skaningowy.

W rozdziale 7 omówiono badania dotyczące odporności powłok niestarzonych i starzonych na zarysowanie (rylcem z półokrągłą końcówką wykonaną z węgliku wolframu), a także badania tzw. twardości ołówkowej polegające na zarysowaniu powłoki ołówkiem o znanej twardości (od 6B do 9H). Przedstawiono wyniki badania odporności na erozyjne oddziaływanie swobodnie spadających cząstek elektrokorundu na pochylone powłoki, niestarzone a także starzone na stacji klimatycznej.

Badania przyczepności powłok akrylowo-poliestrowych do stalowego podłoża opisano w rozdziale ósmym. Wykonano je metodą odrywową, oceniając też wpływ starzenia na adhezję powłok akrylowo-poliestrowych. Badania te rozszerzono o badania metodą siatki nacięć, również z oceną wpływu starzenia na adhezję.

W rozdziale 9 omówiono badania wpływu starzenia na kąt zwilżania powierzchni powłok cieczami pomiarowymi oraz określono stan energetyczny powierzchni starzonych powłok akrylowo-poliestrowych, wyznaczając swobodną energię powierzchniową oraz jej składowe: dyspersyjną i polarną. Przedstawiono metodykę badania zwilżalności powierzchni powłok akrylowo-poliestrowych oraz jej energii powierzchniowej z oceną zmiany barwy powłok pod wpływem starzenia.

Rozdział 10 zawiera wyniki badań oddziaływania czynników eksploatacyjnych na stan powierzchni ochronno-dekoracyjnych powłok nadwozi samochodowych. Przedstawiono ocenę stanu powłok lakierniczych wybranych elementów nadwozi samochodowych, użytkowanych w naturalnych warunkach eksploatacji.

W rozdziale 11 podsumowano uzyskane wyniki badań właściwości powłok akrylowo-poliestrowych, starzonych na stacji klimatycznej, a także podczas badań przyspieszonych, przeprowadzonych w specjalistycznych komorach klimatycznych oraz sformułowano wnioski.

Wnioski zamieszczono w rozdziale 12 stwierdzają, między innymi, że realizacja pracy umożliwiła osiągnięcie jej głównego celu, którym było dokonanie oceny odporności na zarysowanie, erozję oraz ścieranie systemów powłok akrylowo-poliestrowych, stosowanych w lakiernictwie renowacyjnym nadwozi samochodowych.

Cel ten zrealizowano po wykonaniu zarówno wielokryterialnych badań właściwości systemów powłok akrylowo-poliestrowych, starzonych na stacji klimatycznej w okresie dwu lat, jak i badań przyspieszonych w różnego typu komorach klimatycznych. W badaniach przyspieszonych głównym czynnikiem starzeniowym było promieniowanie ultrafioletowe

(symulujące promieniowanie pochodzące od promieniowania słonecznego), dominujące w procesie niszczenia powłok polimerowych.

Należy jednak dodać, że opracowane wnioski są za bardzo rozbudowane, przez co są trudno zrozumiałe. Ponadto brakuje w nich krytycznego odniesienia się Autora do zaprezentowanych technik badania powłok i jednocześnie opracowania np. propozycji zalecanej metodyki do szerszego stosowania.

### **3. MERYTORYCZNA OCENA PRACY**

Pod względem merytorycznym i metodycznym pracę oceniam pozytywnie, gdyż ogólnie odpowiada postawionemu celowi, sformułowanym tezom i jest dostosowana do obowiązujących w tym zakresie wymogów. Układ logiczny treści rozprawy jest przejrzysty a prezentowane treści są ze sobą dobrze powiązane, z konsekwentnie przestrzeganym układem rozpatrywanych zagadnień.

Autor dokonał wyjątkowo szerokiej prezentacji wyników swych rozważań, dokładnie i kompetentnie opisał przeprowadzane badania oraz umiejętnie nadał ich wynikom charakter danych przydatnych dla praktyki rozwoju technologii lakierowania nadwozi samochodowych.

Wnioski z przeprowadzonych analiz i badań na obiektach rzeczywistych są sformułowane trafnie i adekwatnie do ich zakresu i charakteru. Całość pracy cechuje staranna jej redakcja. W zakresie omawianych zagadnień występują silne akcenty praktyczne wywodzące się z dobrej orientacji Autora w zakresie rozpatrywanej problematyki.

#### **Najważniejsze osiągnięcia pracy:**

Na szczególne wyróżnienie, upoważniające mnie do takiej oceny rozprawy, zasługują następujące elementy pracy o charakterze ogólnym.

1. Uzasadnienie podjęcia tematu, wynikające nie tylko z wnikliwie przeprowadzonej analizy stanu wiedzy, ale – przede wszystkim – wynikające z własnych doświadczeń Doktoranta. Temat pracy obejmuje tematykę wymagającą wiedzy z teorii lakierniczych powłok renowacyjnych oraz umiejętności stosowania wysokospecjalizowanej aparatury badawczej połączonej z wiedzą związaną z modelowaniem zjawisk fizycznych.

2. Opracowanie nowatorskiej wielokryterialnej metodyki badania i oceny odporności renowacyjnych powłok lakierniczych nadwozi samochodowych.

3. Wykonanie dogłębnych analiz procesów destrukcji powłok lakierniczych nadwozi samochodowych pod wpływem dominujących czynników środowiskowych, jakimi są agresywne media oraz cząstki erozyjne.

4. Realizacja badań właściwości powłok akrylowo-poliestrowych, starzonych na stacji klimatycznej, a także podczas badań przyspieszonych, przeprowadzonych w tych komorach.

5. Dobry poziom merytoryczny pracy oraz erudycja Autora w zakresie rozważanej tematyki. Z uznaniem oceniam umiejętności Doktoranta w zakresie posługiwania się współczesnymi metodami badania maszyn i urządzeń ze szczególnym uwzględnieniem planowania eksperymentu badawczego oraz umiejętności doboru wysoko specjalizowanej aparatury badawczej w aspekcie założonego celu badań.

Praca ma jednak pewne wady i niedociągnięcia, które nie obniżają mojej ogólnej, pozytywnej oceny wszystkich aspektów pracy (wyboru tematu, uzasadnienia, analiz, przeprowadzonych badań, wnioskowania, itp.).

1. Postęp w technologiach lakierniczych jest w ostatnich latach niezwykle dynamiczny. Dzisiejsze, najwyższej klasy lakiery samochodowe to znaczące osiągnięcia sztuki i technologii również kolorystycznej. Nigdy wcześniej nie osiągnięto tylu efektów świetlnych i wariantów kolorystycznych jak obecnie. Dobór lakieru to, po wybraniu parametrów też takich jak giętkość, zachowanie na różnych krzywiznach, właściwości odbijania światła, testy przy zmiennym oświetleniu, to proces technologiczny doboru i mieszania pigmentów. Współcześnie, po osiągnięciu dobrej jakości lakierów samochodowych, dla większości klientów wybór lakieru zaczyna się od efektów kolorystycznych. Ponieważ co kilka lat pojawiają się nowości pigmentowe, które znacząco zmieniają rynek kolorów efektowych, wcześniej była mika, która po rozdrobnieniu i pokryciu tlenkami metali daje efekt przestrzennego, metalicznego i jedwabistego połysku, czy dzisiaj Xiraliki – jedne z najdroższych pigmentów stosowanych do produkcji lakierów efektowych.

Inne nowe technologie to stosowanie warstw ochronnych, np. gumowe powłoki membranowe - elastyczne, a jednocześnie zapewniające doskonałą ochronę przed rysami, chemikaliami oraz działaniem twardej wody czy powłoki ceramiczne - zabezpieczenie lakieru samochodowego, połysk, głębia koloru a także łatwość mycia i usuwania zabrudzeń. Prawidłowo nałożona trwała, ochronna powłoka ceramiczna na

lakier samochodowy skutecznie odpycha brud i wodę, zabezpiecza przed zarysowaniami.

W pracy nie wspomniano o tych przykładowych, ważnych dzisiaj dla obranej tematyki pracy, nowoczesnych technikach lakierniczych w pojazdach

2. We wprowadzeniu i wyjaśnieniu celu pracy pojawia się stwierdzenie "*zbadanie odporności powłok na...*" - zastanawia mnie w kontekście pracy stwierdzenie odporność, które nie zostało szerzej opisane, a może być w tym kontekście różnie rozumiane.
3. Cele cząstkowe - jest ich stosunkowo dużo, czy nie powinny zostać podzielone na cel główny (nazwany tutaj nadrzędnym) oraz na cele szczegółowe, niemniej nie w formie harmonogramu pracy, a jej celu, ponieważ harmonogram został przedstawiony na schemacie na stronie 15.
4. Rys. 2.3 - strona 23 - drugie zdjęcie wygląda na ujęcie zwilżonej, a nie uszkodzonej powłoki (szczególnie jest to widoczne to po odbiciu w kropkach). Należałoby dobrać zdjęcie bardziej właściwe dla opisu.
5. Brak szerszego uzasadnienia koloru wybranych powłok (niebieski i czerwony). Dlaczego są one charakterystyczne? Jakie są ich cechy? Dlaczego akurat tylko te dwa kolory dla sporządzonych próbek ?
6. Rozdział 3.2 s. 40 - brak informacji o dokładności przyrządów pomiarowych, takich jak czujnik grubości powłoki lakierowanej.
7. Rozdział 8 - dlaczego do badania adhezji powłok wybrane zostały akurat próbki poddane procesowi starzenia klimatycznego? Dlaczego wybór nie został uzasadniony?
8. Rozdział 10 - nie do końca zrozumiała jest dla mnie jego obecność i celowość. Podane wyniki badań twardości stanowią jakąś bezwzględną wartość nie mającą odniesienia do powłoki nowej. Nie można więc w żaden sposób określić stopnia uszkodzenia powłoki lub też zmian, a jednak pojawia się wniosek o zwiększeniu twardości ołówkowej - na jakiej podstawie został on zdefiniowany ?
9. Odnosi się wrażenie, że rozdziały 11 i 12 przenikają się i w obu zawarte jest wnioskowanie, które w rozdziale 12 zostało bardziej sformalizowane. Wnioski należałoby podzielić na poznawcze i użyteczne.
10. We wnioskach pojawia się cel zdefiniowany jako opracowanie metodyki pomiarów powłok. Zasadniczo opisana została metodyka wykorzystywana, a w pracy niejako

zebrano różne metody jako wyznaczniki zużycia, natomiast sama metodyka pomiarów była już znana.

#### **4. OCENA EDYCJI ROZPRAWY**

Objętość pracy jest uzasadniona z punktu widzenia potrzeb opisu przeprowadzonych analiz teoretycznych i eksperymentalnych. Zakres pracy i zamieszczone informacje przedstawiają jednoznacznie i wyczerpująco jej tematykę oraz dają możliwość dokładnego powtórzenia badań w innych (odpowiednio wyposażonych) laboratoriach. Zwiększa to wiarygodność zamieszczonych w rozprawie wyników.

Układ pracy jest logiczny, język rozprawy zrozumiały, ilustracje wykonane są bardzo starannie i przejrzyste.

Krytycznie należy ocenić, że na stronach 50 -131 zamieszczone są liczne fotografie dokumentujące efekty realizowanych prac, zestawienia wyników pomiarów, bardzo dużo rysunków, prostych wykresów zajmujących pół strony, które tworzą objętość pracy, natomiast mało w niej tekstu. Wiele wykresów można byłoby uniknąć - przykładem może być grubość powłoki w poszczególnych okresach - słupki dla różnych okresów można ująć na jednym wykresie, co znacznie redukuje ich liczbę oraz poprawia reprezentację danych, przez bezpośrednie ich porównanie. Brakuje również omówienia prezentowanych danych. Wnioski powinny stanowić niejako podsumowanie całej pracy, natomiast prezentowane dane są suchą statystyką.

#### **5. PODSUMOWANIE OCENY ROZPRAWY**

W podsumowaniu oceny rozprawy uważam, że opiniowana praca w pełni odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim ze względu na jej poziom merytoryczny oraz aplikacyjne osiągnięcia w zakresie rozpatrywanych problemów. Praca zawiera elementy interdyscyplinarne i stanowi dobry przykład zastosowania nowoczesnych metod naukowych do rozwiązywania zadań budowy i eksploatacji maszyn.

A zatem w związku z taką, pozytywną, oceną rozprawy doktorskiej mgr inż. Dariusza Stanisławka nt. „Badania i ocena odporności renowacyjnych powłok lakierniczych nadwozi samochodowych na zarysowanie, ścieranie oraz erozję”, uważam, że opiniowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie naukowej budowa i eksploatacja maszyn, także dowodzi



umiejętności samodzielnego prowadzenia przez niego pracy naukowej, wobec czego opiniowana rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. Upoważnia mnie to do postawienia wniosku o dopuszczenie mgra inż. Dariusza Stanisławka do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'W. W. W.', is written on the page.