

dr hab. inż. Agnieszka Ubowska, prof. ZUT  
Wydział Techniki Morskiej i Transportu  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Al. Piastów 41, 71-065 Szczecin  
aubowska@zut.edu.pl

Szczecin, 05.09.2023 r.

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Pauliny Urban pt.:

*„Badania i ocena oddziaływania promieniowania ultrafioletowego na destrukcję  
i zużycie mechaniczne powłok akrylowo-epoksydowych”*

### Podstawa opracowania

Recenzję rozprawy doktorskiej wykonano na podstawie pisma Rektora Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu prof. dr hab. Sławomira Bukowskiego z dnia 17 lipca 2023 r., do którego dołączono egzemplarz przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

Przedstawiona do recenzji praca, której promotorem była Pani prof. dr hab. inż. Danuta Kotnarowska, zrealizowana została na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. K. Pułaskiego w Radomiu.

### 1. Aktualność rozprawy

Systemy powłokowe stosowane w lakiernictwie samochodowym odgrywają niezwykle istotną funkcję ochronną nadwozia, a ich wysoka jakość przekłada się na zmniejszenie kosztów eksploatacji pojazdów związanych z korozją. Wraz z rozwojem technicznym rosną oczekiwania użytkowników pojazdów względem powłok lakierniczych, od których oczekują oni nie tylko pełnienia cech dekoracyjnych jak: barwa, połysk, gładkość powierzchni czy dodatkowych efektów wizualnych, ale przede wszystkim odporności mechanicznej, w szczególności odporności na zarysowanie i przyczepności powłoki do podłoża, odporności chemicznej na paliwa i smary, działanie wody czy też promieniowania słonecznego. Oczekiwaniom tym starają się sprostać producenci farb i lakierów modyfikując ich skład (w szczególności poprzez dodatek nanonapełniaczy) oraz dobierając odpowiedni rodzaj i grubość kompozycji błonotwórczych, tworzących dany system. Mnogość dostępnych na rynku produktów oraz dynamika ich rozwoju stawia przed branżą lakierniczą pytanie: Jak, w sposób



kompleksowy, ocenić właściwości systemu powłokowego w warunkach eksploatacji, w tym odporność na oddziaływanie promieniowania UV?

W swojej pracy Doktorantka postawiła sobie za cel zbadanie i ocenę oddziaływania promieniowania ultrafioletowego na destrukcję i zużycie mechaniczne powłok akrylowo-epoksydowych. Zastosowane przez Doktorantkę procedury badawcze umożliwiają kompleksową ocenę skuteczności ochronnej systemów powłok polimerowych.

## **2. Charakterystyka rozprawy**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska Pani mgr inż. Pauliny Urban pt. „*Badania i ocena oddziaływania promieniowania ultrafioletowego na destrukcję i zużycie mechaniczne powłok akrylowo-epoksydowych*” liczy 142 strony. W skład rozprawy wchodzi: wprowadzenie, 7 rozdziałów merytorycznych, podsumowanie i wnioski, bibliografia, spis tabel i rysunków, wykaz ważniejszych oznaczeń, załączniki, streszczenia w języku polskim oraz angielskim.

Wykaz cytowanej w rozprawie literatury zawiera 108 pozycji, w tym 9 krajowych i 3 zagraniczne monografie naukowe. Przywołano również 3 strony internetowe oraz 16 norm. W wykazie czasopism doktorantka zamieściła 2 pozycje, których jest współautorką. Przywołana przez doktorantkę literatura wskazuje, że prześledziła Ona zwłaszcza zagraniczne publikacje z zakresu materiałów powłokowych sięgając po najbardziej znaczące w tej tematyce czasopisma, jak „*Progress in Organic Coatings*”. Bardzo dobrze orientuje się również w pracach realizowanych w macierzystej Uczelni.

Uwagi krytyczne dotyczące recenzowanej rozprawy doktorskiej, w której przedstawiono 26 tabel, 68 rysunków i 10 załączników przedstawiono w dalszej części recenzji.

### **2.1. Wybór tematu i zakres pracy**

Doktorantka w swojej pracy wskazała, iż celowe jest prowadzenie przyspieszonych badań właściwości fizykochemicznych powłok polimerowych. Z uwagi na zauważalny wpływ promieniowania UV na właściwości fizykochemiczne powłok należy prowadzić badania wielokryterialne, aby w sposób obiektywny móc oceniać dostępne na rynku kompozycje powłokowe. Zaproponowana przez autorkę metodyka badań pozwala na efektywną ocenę stopnia destrukcji, jak również umożliwia ocenę odporności na zużycie mechaniczne badanych powłokowych systemów akrylowo-

epoksydowych. Przedstawiona metodyka ma charakter użytkowy, co jest istotną zaletą pracy.

Opracowanie metodyki badań oraz ocena wpływu promieniowania UV na powłoki polimerowe wymagało od Autorki w szczególności:

- opracowania technologii otrzymywania systemów powłokowych akrylo-epoksydowych,
- wyboru metod badawczych,
- oceny destrukcji powłok akrylowych starzonych promieniowaniem ultrafioletowym, w tym zmian starzeniowych w strukturze chemicznej powłok, morfologii i stanu energetycznego ich powierzchni,
- oceny właściwości fizykochemicznych powłok starzonych UV w tym: połysku, grubości systemu, chropowatości i twardości powłok,
- oceny wpływu starzenia powłok promieniowaniem UV na zmianę odporności na obciążenia mechaniczne,
- oceny odporności cieplnej powłok poddanych starzeniu promieniowaniem UV.

Temat i zakres pracy są spójne. Treści merytoryczne prezentowane w dysertacji przedstawione są z dużym stopniem szczegółowości i są adekwatne do rozważanych problemów. Zakres przeprowadzonych i opisanych w rozprawie doktorskiej prac wymagał od Autorki dokładnej analizy stanu wiedzy zagadnienia, dobrej znajomości metod badawczych oraz umiejętności interpretacji uzyskanych wyników.

Stwierdzam, że temat pracy i jej zakres zostały zrealizowane i opisane, zgodnie z zasadami dociekań naukowych.

## 2.2. Cel pracy

Celem recenzowanej rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Pauliny Urban były „*Badania i ocena oddziaływania promieniowania ultrafioletowego na destrukcję i zużycie mechaniczne powłok akrylo-epoksydowych*”. W celu osiągnięcia głównego celu Doktorantka sprecyzowała osiem celów cząstkowych (str. 14 rozprawy). Przyjęty program pracy ujęła w przejrzystej formie graficznej (rys. 1.1). Przyjęty cel pracy został przez Doktorantkę zrealizowany, a uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę opracowywania przez projektantów nowych systemów powłok dekoracyjno-ochronnych o zwiększonej odporności na oddziaływanie UV.

### 2.3. Ogólna charakterystyka pracy

Wprowadzenie dysertacji stanowi jasne i przejrzyste ujęcie problemu badawczego, którego rozwiązania podjęła się Doktorantka. Wskazuje rolę systemów powłokowych w zabezpieczaniu nadwozi przed korozją oraz opisuje skutki oddziaływania promieniowania ultrafioletowego na stan i odporność powłok polimerowych.

W rozdziale pierwszym pt. „*Cel i program pracy*” Autorka przedstawiła główny cel pracy jakim było badanie i ocena oddziaływania promieniowania ultrafioletowego na destrukcję i zużycie mechaniczne powłok akrylowo-epoksydowych.

W kolejnym rozdziale drugim zatytułowanym „*Destrukcja i zużycie mechaniczne powłok polimerowych pod wpływem czynników klimatycznych i środowiskowych*” Doktorantka w sposób szczegółowy omówiła procesy destrukcji i związane z nimi zmiany cech powłok polimerowych zachodzących pod wpływem czynników środowiskowych.

Rozdział trzeci pt. „*Materiały i metodyka badań systemów powłok akrylowo-epoksydowych oraz aparatura badawcza*” stanowi charakterystykę systemu powłokowego wybranego do badań oraz zastosowanych metod badawczych. Autorka opisała sposób przygotowania podłoża, nanoszenia poszczególnych warstw oraz ich suszenia i utwardzania. Następnie scharakteryzowała metody badawcze i wykorzystaną aparaturę. Przedstawiła również metodę przyspieszonego starzenia powłok, którą realizowała w komorze UV dla czterech okresów starzenia, tj.: 672, 1008, 1344 i 1680 h.

W rozdziale czwartym zatytułowanym „*Ocena destrukcji powłok akrylowych starzonych promieniowaniem ultrafioletowym (UV)*” Autorka przedstawiła i przeanalizowała wyniki dotyczące wpływu starzenia promieniowaniem UV na zmiany w strukturze chemicznej powłok, ich topografię, morfologię oraz stan energetyczny powierzchni.

W rozdziale piątym pt. „*Ocena właściwości fizykochemicznych powłok akrylowo-epoksydowych starzonych promieniowaniem UV na podstawie badań normowych*” Doktorantka dokonała charakterystyki zmniejszenia grubości powłok akrylowo-epoksydowych, chropowatości i połysku powierzchni powłok akrylowych oraz twardości badanych systemów.

Rozdział szósty zatytułowany „*Ocena wpływu starzenia promieniowaniem UV na odporność systemu powłok akrylowo-epoksydowych na obciążenia mechaniczne*” autorka poświęciła przedstawieniu i omówieniu wyników badań wpływu starzenia

promieniowaniem UV na odporność powłok akrylowo-epoksydowych na wybrane rodzaje obciążeń mechanicznych.

W rozdziale siódmym pt. „Ocena odporności cieplnej powłok akrylowych starzonych promieniowaniem ultrafioletowym” Doktorantka, na podstawie wyników uzyskanych metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej, dokonała oceny zmian odporności cieplnej powłok na skutek ich starzenia promieniowaniem ultrafioletowym.

W ostatnim rozdziale pracy doktorskiej zatytułowanym „Podsumowanie i wnioski” Autorka podsumowała przeprowadzone rozważania teoretyczne oraz wyniki badań. Wyodrębniła wnioski poznawcze i utylitarne wskazując m.in. na możliwość zastosowania opracowanej metodyki badań wielokryterialnych.

### **3. Ocena językowa i redakcyjna**

Ocena językowa i redakcyjna obejmuje: poprawność językową, strukturę pracy, stosowanie odpowiednich skrótów, odnośników i cytowań, przedstawienie danych w postaci graficznej, tabel i wzorów wraz z ich opisem, wyjaśnieniami i przywołaniem w tekście, cytowanie i opracowanie spisu literatury oraz aktów normatywnych. Analiza, przedstawionej do recenzji rozprawy, pod kątem redakcyjnym nie budzi zastrzeżeń i wątpliwości. Rozprawa napisana jest poprawnym językiem, z niezwykłą dbałością i starannością, niemniej jednak Autorka nie ustrzegła się drobnych niedoskonałości i błędów. Do najważniejszych należą:

- we wstępie pracy Autorka użyła określenia „systemy powłokowe”. W kolejnych rozdziałach zamiennie używa sformułowań „systemy powłokowe” i „systemy powłok”. Warto byłoby ujednolicić stosowane w tym zakresie słownictwo;
- na str. 23 i 24 brak konsekwencji: Autorka wskazała wykorzystane w badaniach aparaty jedynie dla wybranych metod badawczych;
- w treści rozprawy brak odniesienia do rysunków 1.1, 3.1, 4.2 oraz tabel 5.1 – 5.8;
- w tabeli 4.4 (w kolumnie pierwszej) pominięto dla niektórych wierszy informację dotyczącą okresu starzenia powłok, co utrudnia ocenę wyników;
- stanowiące załączniki karty charakterystyki kolejnych wyrobów należałoby umieszczać na oddzielnych stronach, celem poprawy przejrzystości;
- na str. 100 doktorantka wspomniała o pasmach charakterystycznych tworzywa akrylowego; stosowniejsze byłoby użycie sformułowania polimer;

- w wykazie oznaczeń (str. 121) kolumny opisano jako *Symbol właściwości/Nazwa właściwości*. Należałoby użyć jedynie określenia *Symbol/Nazwa*, z uwagi na to, iż w tabeli zamieszczono m.in. oznaczenia metod badawczych (FTIR – spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera, czy DSC – różnicowa kalorymetria skaningowa).

#### 4. Uwagi

Oceniając pozytywnie całokształt recenzowanej pracy, chciałabym przedstawić kilka uwag polemicznych i krytycznych:

- 1) wśród celów cząstkowych wyznaczonych do realizacji (str. 15 dysertacji) Autorka wymieniła „*Opracowanie technologii nanoszenia powłok akrylowo-epoksydowych*”; proszę o sprecyzowanie co Doktorantka rozumie pod pojęciem technologia nanoszenia. W odniesieniu do nakładania powłok mówimy o technice nanoszenia kompozycji;
- 2) w pracy zastosowano cztery okresy starzenia, tj.: 672, 1008, 1344 i 1680 h – na jakiej podstawie wytypowano właśnie te wartości? często stosuje się krotność doby;
- 3) w rozdziale 3.1. przedstawiono technologię otrzymywania systemów powłokowych; wskazano jedynie grubość całego systemu, bez podania grubości poszczególnych warstw. Ponadto wartość grubości podano z dokładnością do 1  $\mu\text{m}$  nie wskazując, na ilu próbach dokonano pomiaru;
- 4) w karcie charakterystyki powłoki pośredniej/międzypowłoki wymieniony jest pigment, natomiast nie znalazłam informacji na temat ditlenku tytanu, o którym wspomina Autorka (str. 27). Czy produkt handlowy był modyfikowany? Jeżeli tak, to jaka była średnica ziaren i w jaki sposób dyspergowano je w żywicy? Powyższa uwaga dotyczy również obecności cynku w epoksydowej powłoce podkładowej;
- 5) w tabeli 3.1. „*Metody normowych badań (...)*” na str. 29 Autorka wskazuje konkretne modele aparatów jedynie dla wybranych metod badawczych;
- 6) na str. 41, tab. 4.2 przedstawiono topografie powierzchni powłok akrylowych; dlaczego nie zamieszczono analogicznego widoku próbki poddanej starzeniu po 1008 h?

- 7) na str. 56 przedstawiono wartości kąta zwilżania powierzchni powłok akrylowych; czy podane wyniki stanowią wartość średnią? Jeśli tak, to jaka jest wartość odchylenia standardowego?
- 8) uzasadnienia wymaga wybór metod badań, służących ocenie odporności na zarysowanie powłok akrylowo-epoksydowych, przedstawionych w rozdziale 6. Autorka dokonała daleko idącego uproszczenia. Metoda siatki nacięć (zgodnie z PN-EN ISO 2409:2021-03) służy do oceny odporności na odspajanie się powłoki od podłoża (również odwarstwianie od siebie pojedynczych warstw powłoki). Pomimo, iż w wyniku nacięcia powłoki powstaje siatka nacięć (przechodząca przez powłokę do podłoża), metoda ta nie służy do oceny odporności powłoki na zarysowanie (tabela 6.1). Autorka w sposób prawidłowy oceniła otrzymane tą metodą wyniki. Ponadto w punkcie tym Doktorantka wskazała, iż w badaniu wykorzystano nóż krążkowy typu B, dla którego ostrza rozmieszczone są w odległości 1 mm (str. 82). W rzeczywistości nóż o takich odstępach to nóż A (w nożu typu B stosuje się 2 mm odstęp pomiędzy ostrzami). Dobór noża uwarunkowany jest grubością badanej powłoki;
- 9) w podrozdziale 6.1.3. Autorka opisuje badanie twardości powłok metodą ołówkową (wg PN-EN ISO 15184:2020-07). Autorka prawidłowo interpretuje wyniki, jednakże podpunkt 6.1.3. oraz podpis tabeli 6.4. „Ocena odporności na zarysowanie (...)” lepiej zatytułować „Ocena twardości (...)” (mimo, iż badanie polega na wykonaniu rysy na powłoce);
- 10) na str. 85 Autorka napisała, że wykonano 5 prób zarysowania; czy miała na myśli badanie dla 5 próbek?
- 11) w przypadku podpunktu 6.2. „Ocena odporności na zginanie (...)” Autorka powinna wyraźnie wskazać, iż podczas zginania badana jest odporność powłoki na pękanie i/lub odstawanie od metalowego podłoża podczas zginania (zgodnie z normą PN-EN ISO 6860:2006, do której się odnosi);
- 12) w tabeli 7.1 na str. 97 Autorka podała wyniki uzyskane za pomocą DSC. Dla ilu próbek wykonano badania i jakie są wartości odchylenia standardowego?

## 5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę całość ocenianej pracy należy stwierdzić, że zaprezentowane wyniki mają charakter poznawczy i naukowy. Autorka zrealizowała założony cel pracy pozyskując obszerny zbiór wyników badań. Doktorantka wykazała się znajomością podjętej tematyki, umiejętnością planowania i realizacji badań oraz interpretacji wyników. Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Pauliny Urban ma znaczenie aplikacyjne, a uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w praktyce.

Zaprezentowana przez Panią mgr inż. Paulinę Urban rozprawa pt. „*Badania i ocena oddziaływania promieniowania ultrafioletowego na destrukcję i zużycie mechaniczne powłok akrylowo-epoksydowych*” to oryginalne i wartościowe pod względem naukowym, a także praktycznym, osiągnięcie oraz rozwiązanie problemu określonego w: tytule, celu i zakresie pracy. Biorąc pod uwagę wartość poznawczą i użyteczną pracy oraz wkład własny Autorki uważam, że Doktorantka rozwiązała ważny problem badawczy z zakresu dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

Rozprawa spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Ustawa z dnia 14 marca 2003 r., Dz. U. z 2016 r. poz.882 i 1311 z późniejszymi zmianami) oraz Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 742) i wnioskuję o jej przyjęcie oraz dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy.



dr hab. inż. Agnieszka Ubowska, prof. ZUT