

# Ocena wpływu promieniowania UV na ścieralność ochronno-dekoracyjnych powłok nadwozi samochodowych

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2019.149

Data zgłoszenia: 05.04.2019 Data akceptacji: 26.06.2019

*W artykule przedstawiono badania zarówno własności fizykochemicznych, jak i odporności na ścieranie (ścieralności) trójwarstwowych systemów powłok akrylowo-poliestrowych (renowacyjnych), poddanych starzeniu promieniowaniem ultrafioletowym (UV). Fotodestrukcja i fotodegradacja warstw powierzchniowych badanych powłok, wywołana promieniowaniem UV, skutkowałą wykruszaniem ich fragmentów. Miało to wpływ na systematyczne obniżanie grubości oraz twardości powłok, w miarę upływu okresu ich starzenia. Starzenie UV spowodowało również prawie dwukrotny wzrost wartości parametrów Ra oraz Rz chropowatości ich powierzchni. Rosnąca (wraz z wydłużaniem okresu starzenia) chropowatość powierzchni starzonych powłok, jak i malejąca twardość przyczyniły się do zmniejszania się ich odporności na ścieranie, mierzonej ubytkiem masy ścieranego (z zastosowaniem aparatu T-07) materiału powłokowego.*

**Słowa kluczowe:** powłoki akrylowo-poliestrowe, starzenie promieniowaniem UV, ścieranie powłok.

## Wstęp

Powłoki ochronno-dekoracyjne nadwozi samochodów poddawane są podczas eksploatacji oddziaływaniu różnego typu czynników klimatycznych oraz środowiskowych. Czynniki te mogą prowadzić do destrukcji lub/i degradacji powłok, a w końcowym etapie – do ich uszkodzenia, uniemożliwiającego spełnianie przez powłoki funkcji ochronnych, nie mówiąc o dekoracyjnych [2, 3].

Naprawa uszkodzonych powłok sprowadza się do wykonania ich renowacji lub wymiany elementu (nadwozia) z uszkodzoną powłoką na nowy.

Wśród destrukcyjnych czynników klimatycznych oddziałujących na powłoki polimerowe nadwozi samochodowych dominuje promieniowanie ultrafioletowe (UV), którego źródłem jest Słońce. Gwiazda ta emituje promieniowanie ultrafioletowe o długości fali w zakresie 100÷400 nm.

Ze względu na skutki oddziaływania na organizmy żywe wyróżnia się 3 zakresy długości fal promieniowania ultrafioletowego: UV-A (o długości fali 315÷400 nm), UV-B (280÷315 nm) oraz UV-C (100÷280 nm). Należy podkreślić, że warstwa ozonowa (znajdująca się w stratosferze) pochłania promieniowanie UV-C, a także większość promieniowania UV-B. Do powierzchni Ziemi, dociera przede wszystkim promieniowanie UV-A (97%), powodujące fotodegradację polimeru.

Promieniowanie UV wywołuje: fotolizę (pękanie łańcuchów polimerowych), dodatkowe sieciowanie, a także fotoutlenianie powierzchniowych warstw powłok polimerowych. Fotoutlenianie stanowi proces rodnikowy, a obecność defektów strukturalnych (pory, pęknięcia) w strukturze polimeru sprzyja (inicjowanemu promieniowaniem UV) rozpadowi na wolne rodniki łańcuchów polimerowych, co skutkuje rozwojem kolejnych etapów degradacji polimeru. Cząsteczki tworzywa polimerowego ulegają fotolizie (degradacji) w momencie, gdy energia zaabsorbowanego kwantu promieniowania

ultrafioletowego przewyższy energię dysocjacji wiązania chemicznego polimeru powłokotwórczego. Zwiększanie usieciowania polimeru powłokotwórczego, jak również pękanie łańcuchów polimerowych, skutkuje pogorszeniem właściwości mechanicznych powłok takich, jak udatność oraz elastyczność [1, 6, 7, 12].

Utlenione warstwy powłok polimerowych wykazują zwiększoną kruchość, co przyczynia się do uwalniania fragmentów powłok z ich warstw powierzchniowych, skutkującego wzrostem chropowatości powierzchni, opisywanej – między innymi – za pomocą takich parametrów, jak Ra czy Rz [2, 6, 22].

Zagłębieniach mikronierówności na powierzchni powłok stwarzają korzystne warunki do życia różnym mikroorganizmom w postaci: wirusów, bakterii, glonów, grzybów pleśniowych. Ich produkty przemiany materii wywołują rozwój korozji biologicznej powłok. Skutkuje to powstawaniem w powłokach kraterów, jak również wytrawień (niejednokrotnie sięgających do podłoża) [23].

W warstwach powierzchniowych powłok, pod wpływem promieniowania UV (lub w wyniku oddziaływania nieznacznych naprężeń rozciągających), rozwijają się ponadto pęknięcia srebrzyste, stanowiące zbiór porów o rozmiarach od nanometrów do mikrometrów. Obszary te w świetle odbitym mikroskopu optycznego wywołują charakterystyczne srebrzyste refleksy, co jest źródłem ich nazwy "pęknięcia srebrzyste" [5-7, 12, 14].

Zarówno zwiększenie chropowatości powierzchni, a także powstawanie pęknięć srebrzystych skutkuje pogorszeniem właściwości dekoracyjnych powłok polimerowych w wyniku: zmiany barwy, jak również utraty połysku oraz przezroczystości warstwy powierzchniowej powłok [5, 6].

Nadwozia samochodów, przede wszystkim podczas użytkowania w warunkach wiejskich oraz na placach budowlanych, narażone są na uderzanie twardych cząstek, w postaci: grudek ziemi, żwiru, piasku, kamieni. Erozyjne oddziaływanie cząstek skutkuje: ścieraniem, zarysowaniami, odkształceniami plastycznym warstwy powierzchniowej, a także zmęczeniowym wykruszaniem fragmentów powłok, zachodzącym pod wpływem cyklicznie powtarzających się uderzeń twardych cząstek [4, 8, 9, 11, 13, 16].

Pod wpływem cząstek erozyjnych następuje również stopniowe ścieranie powierzchniowych warstw powłok, aż do całkowitego zdercia powłoki do surowej powierzchni nadwozia samochodowego [18, 20].

Destrukcja warstwy powierzchniowej powłok polimerowych w wyniku ich ścierania (zarysowania) oraz miejscowego odpryskiwania, wywołana oddziaływaniem cząstek erozyjnych, sprzyja rozwojowi korozji podpowłokowej [20, 21, 24].

Fotodegradacja polimeru powłokowego pod wpływem promieniowania UV przyczynia się również do obniżenia wytrzymałości na rozciąganie i zginanie powłok polimerowych, powodując także zmniejszenie ich odporności na ścieranie (zarysowanie) oraz na uderzanie cząstek erozyjnych [6].

Odporność powłok na oddziaływanie czynników eksploatacyjnych, w tym promieniowania ultrafioletowego, można zwiększyć poprzez modyfikację ich struktury nanocząstkami [10, 15-19, 21]. Należy podkreślić, że dodatek nanonapełniaczy do warstwy na-

wierzchniowej tylko w nieznaczny sposób zmniejsza ich przezroczystość [15].

Przedmiotem badań przedstawionych w niniejszym artykule jest ocena wpływu fotodestrukcji (w wyniku oddziaływania promieniowania UV-A) powłok akrylowych (stosowanych w lakiernictwie renowacyjnym) na kinetykę ubytku ich masy, w wyniku ścierania pod wpływem swobodnie opadających na powłokę (w aparacie T-07) cząstek elektrokorundu granulowanego.

## 1. Metodyka badawcza

### 1.1. Materiały i przygotowanie próbek do badań

Badano własności fizykochemiczne systemu renowacyjnych powłok akrylowo-poliestrowych, nałożonych (metodą natrysku pneumatycznego) na powierzchnię próbek ze stali konstrukcyjnej (uspokojonej) S 235 JRG 2 (wg PN-EN 10025-1:2007), o wymiarach 30 x 30 x 2 mm. Struktura warstwowa badanego systemu powłok została przedstawiona na rysunku 1.

3.	Warstwa bezbarwnego lakieru akrylowego
2.	Warstwa poliestrowa pośrednia (baza)
1.	Warstwa podkładowa akrylowa
0.	Próbka stalowa

Rys. 1. Struktura warstwowa systemu powłok akrylowo-poliestrowych

Badany system powłokowy składał się z trzech warstw, w którym antykorozyjna warstwa podkładowa została wykonana z farby akrylowej (rozpuszczalnikowej), warstwę pośrednią (tzw. bazę), nadającą kolor powłoce, uzyskano z farby poliestrowej (rozpuszczalnikowej), zaś dekoracyjną powłokę nawierzchniową otrzymano z rozpuszczalnikowego (bezbarwnego) lakieru akrylowego. Po nałożeniu powłok akrylowych na powierzchnię płytek stalowych, poddano je aklimatyzacji w okresie 10 dni, w temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  i przy wilgotności względnej otoczenia  $65 \pm 5\%$  (PN-EN 32370:1993).

### 1.2. Warunki starzenia systemów powłok akrylowo-poliestrowych

Starzenie systemów powłokowych pod wpływem promieniowania ultrafioletowego (UV) przeprowadzono z zastosowaniem dwóch lamp LRF 250 E40 (bez osłon szklanych, każda o mocy 250W). Lampy te emitowały promieniowanie elektromagnetyczne o długości fali zawierającej się w przedziale 300-460 nm, w przeważającej mierze odpowiadające zakresowi promieniowania UV-A (315-400 nm). Próbki powłok akrylowo-poliestrowych umieszczono w odległości 300 mm od źródła promieniowania, zaś maksymalny okres badań starzeniowych wynosił 1008 godzin.

### 1.3. Metodyka badań własności fizykochemicznych systemów powłok akrylowo-poliestrowych

Badano następujące własności fizykochemiczne systemów powłokowych: grubość (wg PN-EN ISO 2808:2008), chropowatość powierzchni (wg PN-87/M-04251:1987), twardość wg Buchholza (wg PN-EN ISO 2815:2004), oraz odporność na ścieranie (ścieralność) (wg PN-EN 13523-16:2006).

5)

Grubość badano za pomocą przyrządu MEGA-CHECK FE firmy List-Magnetik.

Chropowatość powierzchni analizowano z zastosowaniem mikroskopu interferometrycznego Talysurf CCI firmy Taylor Hobson, umożliwiającego dokonywanie pomiarów chropowatości powierzchni metodą optyczną. Stan powierzchni systemów powłokowych oceniono zgodnie z wytycznymi norm PN-M-04251:1987 i PN-EN ISO 8501-1:2008.

Twardość powłok akrylowo-poliestrowych badano za pomocą twardościomierza Buchholza (wg PN-EN ISO 2815:2004). W urządzeniu tym element wciskany w powłokę ma kształt podwójnego stożka ściętego (złączonego podstawami), wykonanego z utwardzonej stali narzędziowej.

Ścieralność oceniano przy użyciu aparatu T-07 za pomocą cząstek erozyjnych (elektrokorundu) dostarczanych do strefy tarcia.

Destrukcyjną fizyczną powierzchnię starzonych powłok akrylowo-poliestrowych badano przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego, z emisją polową SU-70 firmy Hitachi. Mikroskop wyposażony został w mikroanalizator rentgenowski EDS firmy Thermo Scientific, umożliwiający jakościową ocenę składu chemicznego nawierzchniowych powłok akrylowych (do głębokości  $1\mu\text{m}$ ).

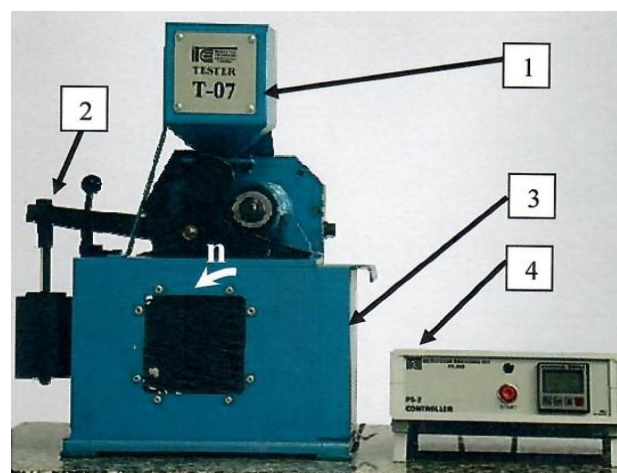
### 1.4. Metodyka badań odporności na ścieranie systemów powłok akrylowo-poliestrowych

Badanie ścieralności systemów powłokowych wykonano za pomocą aparatu T-07 (rys. 2).

Środek ścierający stanowił elektrokorund granulowany (o rozmiarach ziarna 0,6 - 0,7 mm), który sukcesywnie uzupełniano. Podczas jednego cyklu badawczego zużywano średnio 2 kg elektrokorundu.

Próbki stosowane w badaniach (omówione w punkcie 1.1) mocowano w uchwycie 9 urządzenia T-07 (rys. 2).

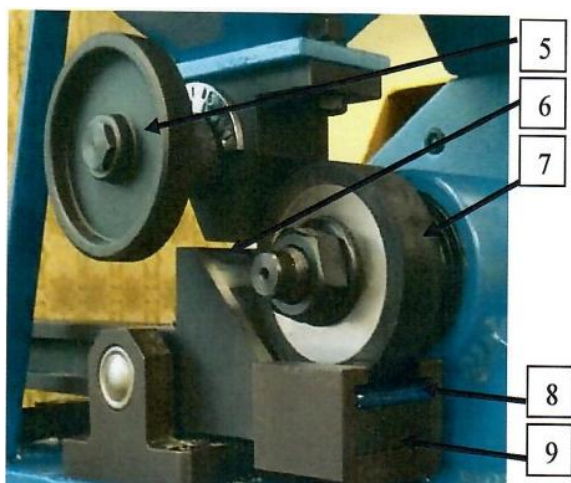
Cząstki elektrokorundu dostarczano grawitacyjnie do początku strefy styku, skąd były wciągane przez obracającą się rolkę 7 do obszaru kontaktu z próbką powłoki, nałożonej na płytkę 8, powodując jej ścieranie.



Rys. 2. Aparat T-07 do badania ścieralności powłok.

Oznaczenia:

- 1) pojemnik na ścierniwo,
- 2) dźwignia dociskająca z obciążeniem,
- 3) pojemnik na spadające ścierniwo,
- 4) sterownik urządzenia.



Rys. 2. Aparat T-07 do badania ścieralności powłok.

Oznaczenia:

- 1) regulacja przesypu ścierniwa,
- 2) miejsce podawania ścierniwa,
- 3) rolka z gumowym pierścieniem,
- 4) płytka stalowa z próbką powłoki,
- 5) uchwyt do mocowania płytki

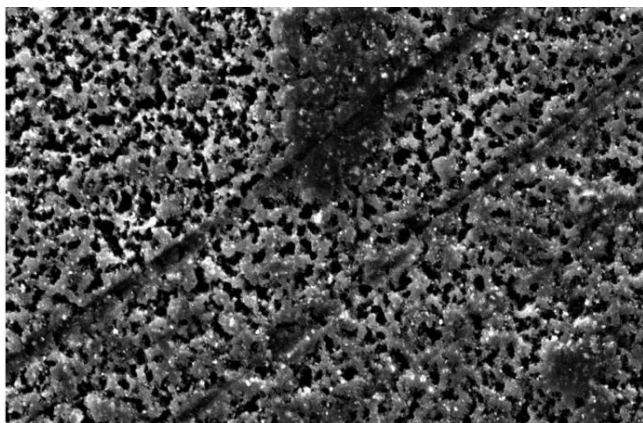
Rolka 7 była podczas badania dociskana do płytki 8 (z badaną powłoką polimerową) z siłą, wywieraną za pomocą dźwigni 2 (z obciążnikami) zapewniającą, że podczas wykonywanych 30 obrotów cyklu badawczego zużycie powłoki (nawet najmniej odpornej na ścieranie) nie spowoduje odsłonięcia jej podłoża.

Przed rozpoczęciem cyklu badawczego każda powłoka była docierana w trakcie 10 obrotów, celem zapewnienia wszystkim próbkom jednakowych warunków początkowych.

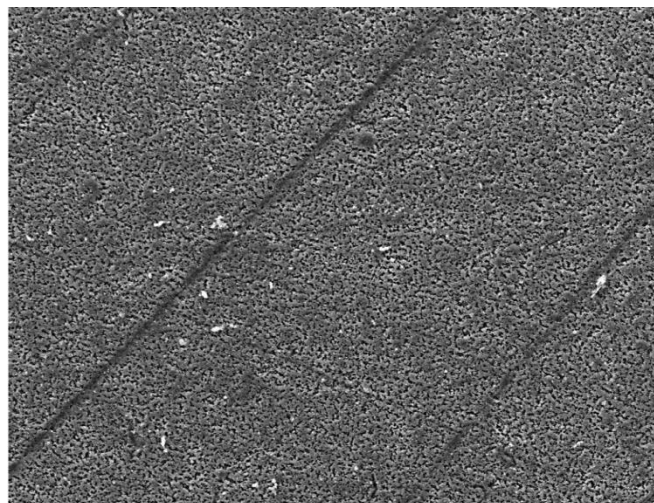
## 2. Wyniki badań

### 2.1. Wyniki badań destrukcji systemów powłok akrylopoliestrowych

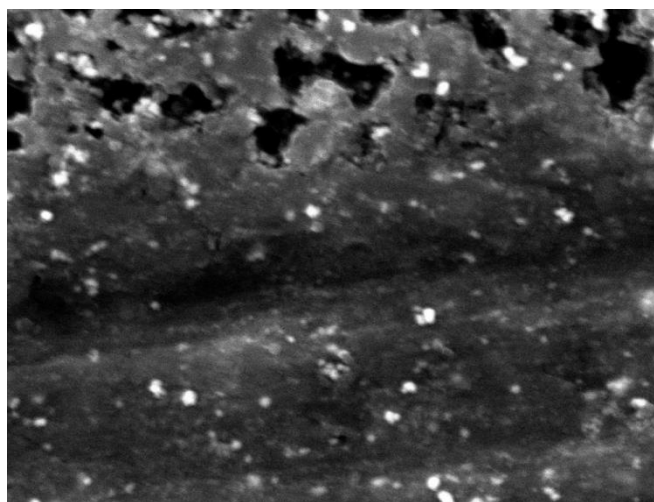
Badania stanu powierzchni systemów powłok akrylopoliestrowych, przeprowadzone z zastosowaniem SEM, dokumentują fakt, że wraz z wydłużaniem okresu starzenia promieniowaniem UV wzrasta ich stopień destrukcji. Stwierdzono utratę spójności akrylowej warstwy nawierzchniowej (rys. 3-7). Obserwowano również wykruszanie fragmentów powłok z ich powierzchni (rys. 3, 5 i 6). Ponadto zauważono powstawanie mikropęknięć powierzchniowych, które miały kształt równoległych pasm (rys. 3 i 4). Prawdopodobnie stanowiły one obszary pęknięć srebrzystych (rys. 7), generowanych pod wpływem oddziaływania promieniowania UV.



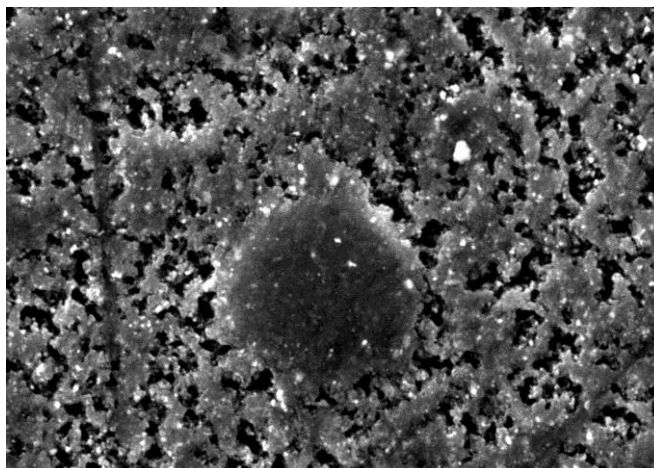
Rys. 3. Pęknięcia powłoki akrylopoliestrowej starzonej promieniowaniem UV w okresie 360 h (powiększono 1000x) (SEM)



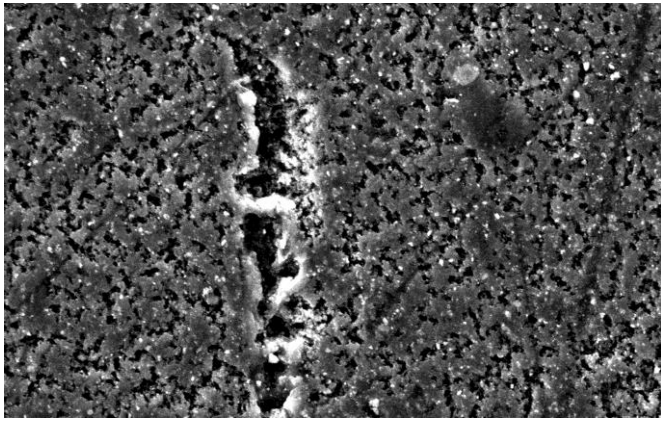
Rys. 4. Pęknięcia powłoki akrylopoliestrowej starzonej promieniowaniem UV w okresie 744 h (powiększono 250x) (SEM)



Rys. 5. Pęknięcia powłoki akrylopoliestrowej starzonej promieniowaniem UV w okresie 744 h (powiększono 5000x) (SEM)

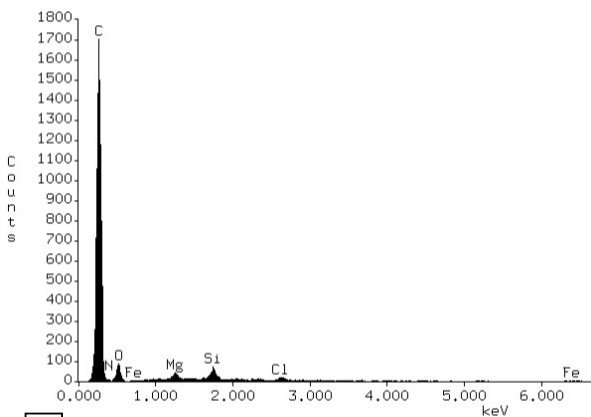


Rys. 6. Utrata spójności warstwy nawierzchniowej powłoki akrylopoliestrowej starzonej promieniowaniem UV w okresie 1008 h (powiększono 2000x) (SEM)

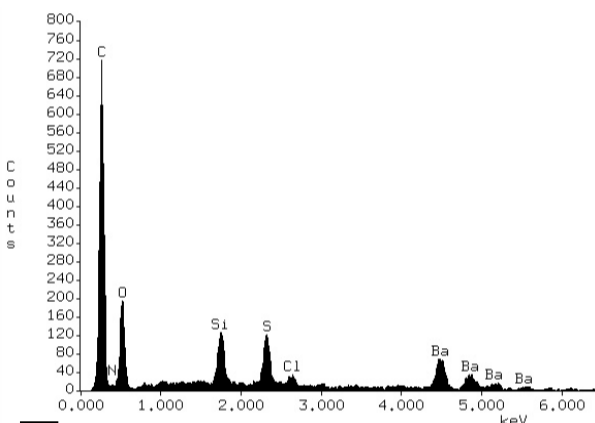


Rys. 7. Pęknięcie srebrzyste w warstwie nawierzchniowej powłoki akryloво-poliestrowej starzonej promieniowaniem UV w okresie 1008 h (powiększono 1000x) (SEM)

Badania metodą rentgenowskiej spektroskopii energo-dyspersyjnej (wykonane za pomocą mikroanalizatora rentgenowskiego EDS, w który wyposażony był SEM Hitachi SU-70) nawierzchniowej powłoki akrylowej udokumentowały zwiększenie w niej zawartości tlenu, co dowodzi utlenienia tworzywa akrylowego pod wpływem promieniowania UV (rys. 8).



a



b

Rys. 8. Widma rentgenowskie akrylowej warstwy nawierzchniowej niestarzonej (a) oraz starzonej UV w okresie 1008 h (b) (EDS-SEM Hitachi SU-70)

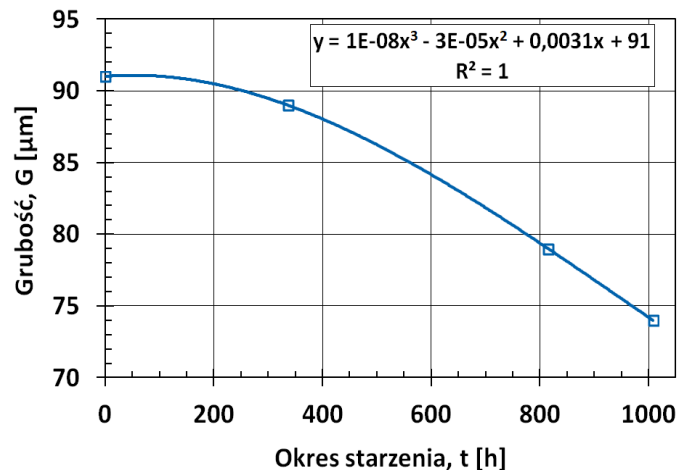
## 2.2. Wyniki badań własności fizykochemicznych systemów powłok akryloво-poliestrowych

Przeprowadzono badania następujących własności fizykochemicznych systemów powłokowych:

- 1) grubości (wg PN-EN ISO 2808:2007) (rys. 9),
- 2) twardości wg Buchholza (wg PN-EN ISO 2815:2004) (rys. 10),
- 3) parametrów chropowatości powierzchni Ra i Rz (wg PN-EN ISO 4287:1999) (rys. 11 i 12).

Oddziałujące na powłoki promieniowanie UV przyczyniło się do intensywnego utleniania warstw powierzchniowych (warstwy nawierzchniowej, a także częściowo warstwy pośredniej w wyniku przenikania promieniowania UV przez uszkodzenia warstwy nawierzchniowej) systemów powłokowych, skutkującego wzrostem kruchości materiału powłokowego (tworzywa akrylowego i poliesterowego). Ponadto tworzywa te ulegały fotolizie, polegającej na pękaniu łańcuchów polimerowych.

Fotodestrukcja i fotodegradacja starzonych promieniowaniem UV warstw powierzchniowych skutkowałą wykruszaniem ich fragmentów. Miało to wpływ na systematyczne obniżanie grubości systemów powłokowych, w miarę upływu okresu ich starzenia promieniowaniem UV (rys. 7).



Rys. 9. Grubość powłok akryloво-poliestrowych starzonych promieniowaniem UV

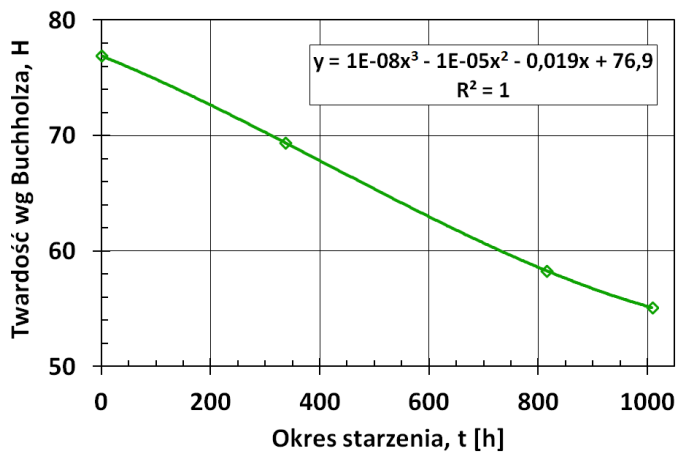
Ponadto wraz z upływem okresu starzenia promieniowaniem UV zwiększała się kruchość i malała elastyczność utlenionych warstw powierzchniowych systemów powłokowych. Powodowało to zwiększenie długości odcisku (ślada) na powłoce, wykonywanego stożkiem podwójnym, wciskany w powłokę podczas badań twardości metodą Buchholza. Tym samym malała twardość powłok (rys. 10), obliczana z wzoru (1):

$$H=100/d, \quad (1)$$

gdzie:

H - twardość Buchholza powłok polimerowych (wg PN-EN ISO 2815:2004);

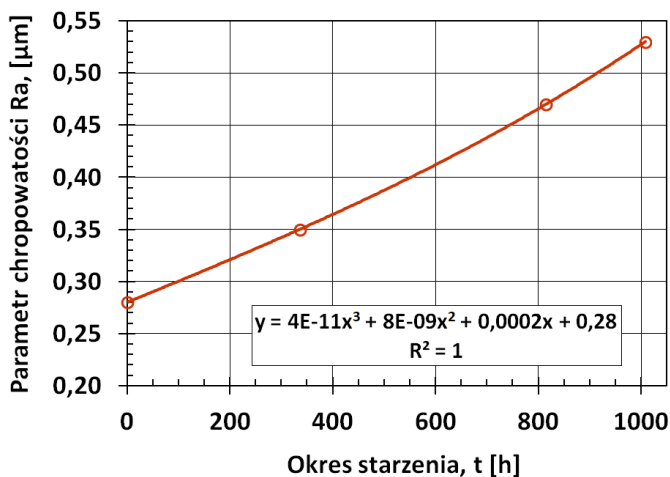
d - długość śladu pozostawionego na powłoce po wciśnięciu w jej warstwy powierzchniowe podwójnego stożka ściętego.



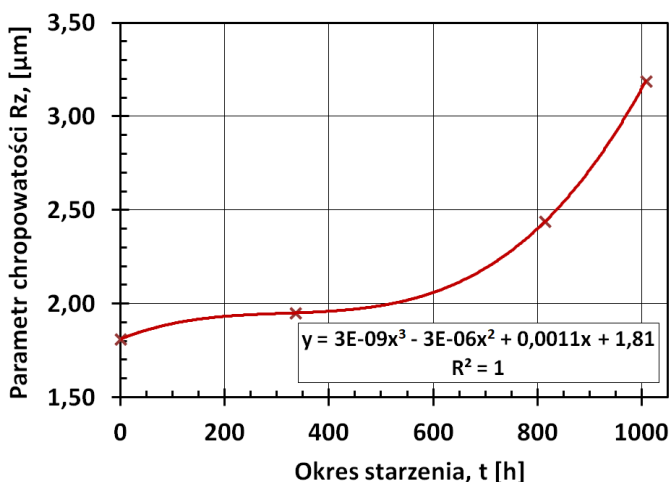
Rys. 10. Twardość wg Buchholza powłok akrylowo-poliestrowych starzonych promieniowaniem UV

Zarówno fotodestrukcja jak i fotodegradacja starzonych promieniowaniem UV warstw powierzchniowych systemów powłokowych, przyczyniając się do wykruszania ich fragmentów, spowodowały wzrost parametrów chropowatości powierzchni.

Po starzeniu w okresie 1008 h parametry Ra oraz Rz wzrosły prawie dwukrotnie (rys. 11 i 12).



Rys. 11. Parametr chropowatości Ra powłok akrylowo-poliestrowych starzonych promieniowaniem UV



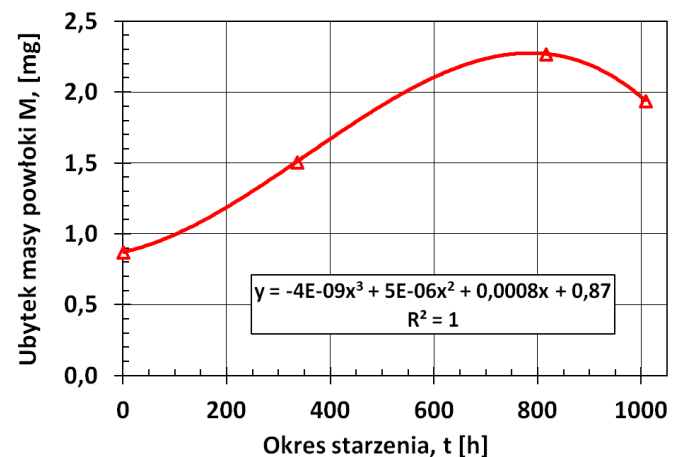
Rys. 12. Parametr chropowatości Rz powłok akrylowo-poliestrowych starzonych promieniowaniem UV

### 2.3. Wyniki badań ścieralności systemów powłok akrylowo-poliestrowych

Podczas badań ścieralności systemów powłokowych za pomocą aparatu T-07 obserwowano ubytek ich masy.

Stwierdzono, że na wartość tego ubytku miało wpływ starzenie pod wpływem promieniowania UV, i im dłuższy był okres starzenia, tym ubytek masy był większy. Na przykład, po starzeniu w okresie 336 h ubytek masy wzrósł o 25%, zaś po starzeniu w okresie 1008 h o 89%.

Na kinetykę ubytku masy systemów powłokowych podczas badań ścieralności miał wpływ stan ich powierzchni. Rosnąca chropowatość powierzchni, a także zmniejszająca się twardość powłok (wraz z upływem okresu starzenia promieniowaniem UV) przyczyniły się do wzrostu masy ścieranego materiału powłokowego (rys. 13).



Rys. 13. Ubytek masy podczas badań ścieralności powłok akrylowo-poliestrowych (starzonych promieniowaniem UV)

#### Podsumowanie:

Promieniowanie UV przyczyniło się do intensywnego utleniania warstw powierzchniowych akrylowo-poliestrowych systemów powłokowych, przez co wzrastała kruchość tworzywa powłokowego. Ponadto uległa ono fotolizie, polegającej na pękaniu łańcuchów polimerowych.

Fotodestrukcja i fotodegradacja starzonych promieniowaniem UV warstw powierzchniowych systemów powłokowych skutkowałą wykruszaniem fragmentów materiału powłokowego z ich powierzchni. Powodowało to systematyczne obniżanie grubości systemów powłokowych, w miarę upływu okresu ich starzenia promieniowaniem UV.

Ponadto utlenione warstwy powierzchniowe starzonych systemów powłokowych stawały się coraz bardziej kruche i mniej elastyczne. Dowodziły tego zwiększające się wymiary odcisku (ślada) stożka podwójnego, wciskanego w powłokę podczas badań twardości metodą Buchholza, świadczące o malejącej w miarę upływu okresu starzenia UV twardości akrylowo-poliestrowych systemów powłokowych.

W wyniku malejącej spójności materiału powłokowego, znajdującego się w warstwie nawierzchniowej oraz pośredniej zachodziło wykruszanie jego fragmentów. Przyczyniło się to do prawie dwukrotnego wzrostu wartości parametrów Ra oraz Rz chropowatości powierzchni akrylowej warstwy nawierzchniowej.

Fotodestrukcja i fotodegradacja polimeru powłokotwórczego przyczyniły się do obniżenia odporności na ścieranie systemów powłokowych. Udokumentowały to badania ścieralności, wykonane za pomocą aparatu T-07, podczas których obserwowano ubytek masy powłok, tym większy im dłuższy był okres starzenia.

Kinetyka ubytku masy powłok akrylowo-poliestrowych podczas badań ich ścieralności zależała także od właściwości fizycznych warstw powierzchniowych.

Rosnąca w miarę upływu okresu starzenia promieniowaniem UV chropowatość powierzchni powłok, jak i zmniejszająca się ich twardość przyczyniały się, bowiem do wzrostu ubytku masy powłok, podczas badań ich ścieralności.

#### Bibliografia:

1. Bauer F., Flyunt R., Czihal K., Langguth H., Mehnert R., Schubert R., Buchmeister M.R., UV curing and matting of acrylate coatings reinforced by nano-silica and micro-corundum particles. *Progress in Organic Coatings* 2007; 60: 121÷126.
2. Kotnarowska D., Sirak M.: Influence of climatic ageing on acrylic coatings. *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 2018 nr 6, (plyta CD)
3. Kotnarowska D., Stanisławek D.: Niszczenie ochronno-dekoracyjnych powłok nadwozi samochodowych pod wpływem promieniowania słonecznego. *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 2018 nr 12, s. 474-479 (plyta CD).
4. Kotnarowska D., Examination of dynamic of polymeric coatings erosive wear process. *Materials Science* 2006; 12 (2): 138÷143.
5. Kotnarowska D., Impact of operating environment on the protective and decorative properties of epoxy coatings. *Ochrona przed Korozją* 2013; 9: 372÷383.
6. Kotnarowska D., Influence of ultraviolet radiation and aggressive media on epoxy coating degradation. *Progress in Organic Coatings* 1999; 37: 149÷159.
7. Kotnarowska D., Influence of Ultraviolet Radiation on Erosive Resistance of Modified Epoxy Coatings". *Solid State Phenomena* 2006; 113: 585÷588.
8. Kotnarowska D., Kinetics of wear of epoxide coating modified with glass microspheres and exposed to the impact of alundum particles. *Progress in Organic Coatings* 1997; 31: 325÷330.
9. Lancaster J.K., Abrasive wear of polymers. *Wear* 1969; 14: 223÷239.
10. Leder G., Ladwig T., Valter V., Frahn S., Meyer J., New effects of fumed silica in modern coatings. *Progress in Organic Coatings* 2002; 45: 139÷144.
11. Levy A.V., Erosion and erosion-corrosion of metals. *Corrosion* 1995; 51(11): 872÷883.
12. Lü N., Lü X., Jin X., Lü C., Preparation and characterization of UV-curable ZnO/polymer nanocomposite films. *Polymer International* 2006; 56: 138÷143.
13. Mizak W., Mazurkiewicz A., Smolik J., Zbrowski A., Problems with abrasive dosing in erosive wear process modeling. *EKSPLOATACJA I NIEZAWODNOSC – MAINTENANCE AND RELIABILITY* 2014; 16 (4): 559÷564.
14. Narisava I., 1987. Resistance of Polymer Materials. Moscow: Ed. Chemistry
15. Pilotek S., Tabellion F., Nanoparticles in coatings. Tailoring properties to applications. *European Coatings Journal* 2005; 4:170÷177.
16. Ratner S.B., Styller E.E., Characteristics of impact friction and wear of polymeric materials. *Wear* 1981; 73: 213÷234.
17. Salgado C., Arrieta M. P., Peponi L., López D., Fernández-García M, Photo-crosslinkable polyurethanes reinforced with coumarin modified silica nanoparticles for photo-responsive coatings. *Progress in Organic Coatings* 2018; 123: 63÷74.
18. Xiong M., Wu L., Zhou S., You B., Preparation and characterization of acrylic latex/nano-SiO<sub>2</sub> composites. *Polymer International* 2002; 51: 693÷698.
19. Yusoh Y., Jin J., Song M., Subsurface mechanical properties of polyurethane-organoclay nanocomposite thin films studied by nanoindentation, *Progress in Organic Coatings* 2010; 67: 220÷224.
20. Zahavi J., Schmitt G.F., Solid particle erosion of reinforced composite materials. *Wear* 1981; 71: 179÷190.
21. Zhang W., Li L., Yao S., Zheng G., Corrosion protection properties of lacquer coatings on steel modified by carbon black nanoparticles in NaCl solution. *Corrosion Science* 2007; 49: 654÷661.
22. Zubielewicz M., Królikowska A., The influence of ageing of epoxy coatings on adhesion of polyurethane topcoats and protective properties of coating systems. *Progress in Organic Coatings* 2009; 66: p. 129÷136.
23. Zyska B., Żakowska Z. *Mikrobiologia materiałów*. Łódź: Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2005.
24. Żenkiewicz M. *Adhezja i modyfikowanie warstwy wierzchniej tworzyw wielkocząsteczkowych*. Warszawa: WNT, 2000.

---

#### Evaluation of UV radiation influence on abrasivity of protective-decorative coatings for car bodies

The paper presents investigations concerning physico-chemical properties as well as a resistance to abrasion (abrasivity) of three-layer acrylic-polyester (renovation) coating systems after ageing with ultraviolet (UV) radiation. Generated by UV radiation photo-destruction and photodegradation of examined coatings surface layers caused their chipping. This had an impact on progressive decline of the coatings thickness and hardness with the ageing time flow. UV ageing caused also almost twofold increase in surface roughness parameters Ra and Rz values. Surface roughness of the aged coatings increasing with the ageing time flow as well as their decreasing hardness contributed to their resistance to abrasion decrease, measured with the mass loss of abraded (using T-07 apparatus) coating material.

**Keywords:** acrylic-polyester coatings, UV radiation ageing, coating abrasion.

#### Autorzy:

prof. dr hab. inż. **Danuta Kotnarowska** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, profesor zwyczajny UTH  
e-mail: d.kotnarowska@uthrad.pl

mgr inż. **Dariusz Stanisławek** – doktorant UTH