

ŁUKASIK Zbigniew, STANISŁAWEK Dariusz

## WPŁYW CZYNNIKÓW EKSPLOATACYJNYCH NA ZUŻYCIE POWŁOK LAKIERNICZYCH NADWOZI SAMOCHODÓW

### Streszczenie

*W artykule opisano wpływ czynników eksploatacyjnych na zużycie powłok lakierniczych nadwozi samochodowych takich jak: media agresywne, ciepło, promieniowanie ultrafioletowe(UV), czynniki erozyjne. Powłoki lakiernicze podczas eksploatacji narażone są na oddziaływanie czynników: fizycznych, chemicznych, mechanicznych i biologicznych, powodujących generowanie w nich procesów destrukcji prowadzących w efekcie do zużycia powłok. Do zużycia mechanicznego zalicza się: zużycie erozyjne, tribologiczne oraz zużycie w wyniku pękania. Adsorpcja substancji agresywnych na powierzchni powłoki obniża jej energię powierzchniową i związaną z nią wytrzymałość mechaniczną powłok polimerowych. Natomiast absorpcja mediów agresywnych przez powłoki polimerowe przyczynia się do ich degradacji chemicznej, bądź do pęcznienia powłok. Skutkiem pęcznienia powłok może być rozwój mikropęknięć, prowadzących do pękania rozdzielczego. Synergiczny wpływ na rozwój procesów pękania polimerów ma jednoczesne oddziaływanie aktywnego środowiska i obciążeń mechanicznych.*

### WSTĘP

Lakiernictwo pojazdowe jest znacznie starsze niż motoryzacja, gdyż znane było już w trakcji konnej, a potem w kolejnictwie. Od początku też stosowane w nim powłoki malarskie pełniły trzy najważniejsze i obecnie funkcje: dekoracyjną, ochronną i informacyjną. Dwie pierwsze są w pełni zdefiniowane, natomiast trzecia polegała najpierw na znakowaniu pojazdów herbami właścicieli, potem na odróżnianiu powozów użytkowanych prywatnie od przeznaczonych do transportu usługowego. W przypadku wagonów kolejowych, a później autobusów, stosowanie wyróżników barwnych i graficznych nabrało jeszcze większego znaczenia. Wraz z technicznym i ilościowym rozwojem indywidualnej i zbiorowej komunikacji drogowej wymogi stawiane powłokom lakierniczym dodatkowo wzrosły. Po pierwsze, pojawił się problem odporności lakierów na paliwa i smary, a także na erozję powodowaną działaniem pyłu, piasku i wody, zwłaszcza przy większych prędkościach jazdy. Później zaczęły się liczyć i takie, dawniej niezbrane okoliczności, jak zależność oporu aerodynamicznego, towarzyszącego ruchowi nadwozia, od gładkości jego lakierowanych powierzchni. W warunkach coraz bardziej masowej motoryzacji i absolutnej dominacji seryjnych metod produkcji pojazdów ich wytwórcy i dystrybutorzy coraz większą uwagę zaczęli zwracać na innowacje kolorystyczne i na możliwości wprowadzania dodatkowych efektów dekoracyjnych, przypisując im słusznie dużą skuteczność w bezpośrednim promowaniu wprowadzanych na rynek modeli.

Podczas eksploatacji na powłoki lakiernicze nadwozi samochodowych oddziałują różnego typu narażenia klimatyczne oraz środowiskowe, prowadzące do ich zużycia,

a w końcowym etapie do uszkodzenia powłok. Podczas eksploatacji na powłoki polimerowe oddziałują różnego typu narażenia klimatyczne oraz środowiskowe, prowadzące do ich zużywania, a w końcowym etapie do uszkodzenia powłok.

Destrukcję powłok lakierniczych nadwozi samochodów intensyfikuje synergizm narażeń eksploatacyjnych. Powłoki tego typu –szczególnie te nie posiadające powłoki nawierzchniowej, wytworzonej z bezbarwnego i przezroczystego lakieru wykazują niższą trwałość eksploatacyjną, ponieważ stan powierzchni powłok ma wpływ na ich własności ochronne (barierowe), zdeterminowane szczelnością powłok oraz trwałością połączenia adhezyjnego z metalowym podłożem. Najbardziej skuteczną metodą ochrony nadwozi samochodowych jest pokrywanie ich powierzchni powłokami polimerowymi, które stanowią 80% wszelkich powłok ochronnych. Takie zalety stosowania powłok ochronnych, jak: względnie niewielka materiałochłonność, łatwość aplikacji, czy imponujące zróżnicowanie właściwości, umożliwiające ich dobór stosownie do wymagań: ochronnych, technicznych, dekoracyjnych wysuwa powłoki polimerowe na pierwsze miejsce. Ta powszechność stosowania powłok polimerowych nie byłaby możliwa bez intensywnych badań, mających na celu poznanie relacji otoczenie – powłoka - podłoże, jak też mających na celu uwzględnienie konieczności ochrony środowiska, poprzez: rozwój specyficznych, proekologicznych technik przygotowania podłoża, materiałoszczędnych technik nakładania, czy ograniczenie zużywania i emisji związków toksycznych[10,s. 1521].

Pomimo postępu w dziedzinie technologii powłok polimerowych, wciąż istnieją problemy z długoterminową ochroną urządzeń przed wpływami narażeń środowiska. Głównym powodem braku teoretycznych podstaw poznania systemu i przewidywania trwałości powłok polimerowych jest fakt, że system środowisko – powłoka - podłoże jest układem złożonym. Ponadto na trwałość eksploatacyjną powłoki polimerowej zasadniczy wpływ mają liczne: chemiczne, fizyczne, biologiczne i mechaniczne czynniki środowiska

Nowoczesna myśl technologiczna zorientowana jest na wytwarzanie urządzeń technicznych o wysokiej niezawodności, co wymaga stosowania powłok ochronnych o optymalnej trwałości eksploatacyjnej. Należy podkreślić, że dotychczas nie została opracowana uniwersalna metoda prognozowania trwałości powłok ochronnych. Przyczyną tego jest brak informacji o kinetyce zużywania powłok w różnych warunkach eksploatacji, jak również konieczność opracowania matematycznych zasad prognozowania trwałości powłok na podstawie modelowych badań przyspieszonych. Konieczność prowadzenia badań kinetyki destrukcji powłok polimerowych pod wpływem czynników otoczenia wynika z faktu, że w sposób niewystarczający są one dotychczas poznane. Przyczyną tego jest złożoność procesów destrukcji powłok [14, s. 147]. W rzeczywistości, bowiem, na powłoki oddziałują różnego typu czynniki jednocześnie, na przykład: erozyjno-korozyjne, wilgoć oraz promieniowanie słoneczne (klimat tropikalny), których synergiczny wpływ na procesy starzeniowe powłok nie jest również w pełni zbadany [2, s. 281]. Należy podkreślić, że identyfikacja procesów oraz kinetyki destrukcji powłok polimerowych determinuje prognozowanie ich trwałości eksploatacyjnej. Ustalenie kinetyki procesów starzeniowych powłok wymaga prowadzenia niekonwencjonalnych badań, pozwalających na ocenę zmian chemicznych i fizycznych w strukturze warstw powierzchniowych powłok, zachodzących pod wpływem czynników eksploatacyjnych [11, s. 33].

Liczby obrazujące ekonomiczne skutki korozji są ogromne. Według danych światowych straty korozyjne liczone rocznie na jednego mieszkańca wahają się pomiędzy 1000 \$ i 1500 \$. Czyli w Polsce stanowią około ¼ zadłużenia zagranicznego liczonego na jednego mieszkańca. Przyjmując, że bezpośrednie i pośrednie koszty korozji stanowią około 8% PKB, to dla Polski wynosi to 100 mld zł (dla porównania budżet na naukę wynosi 4 mld zł [18, s. 1]).Stosowanie powłok ochronnych ma na celu znaczne obniżenie tych kosztów. Powłoki te stanowią

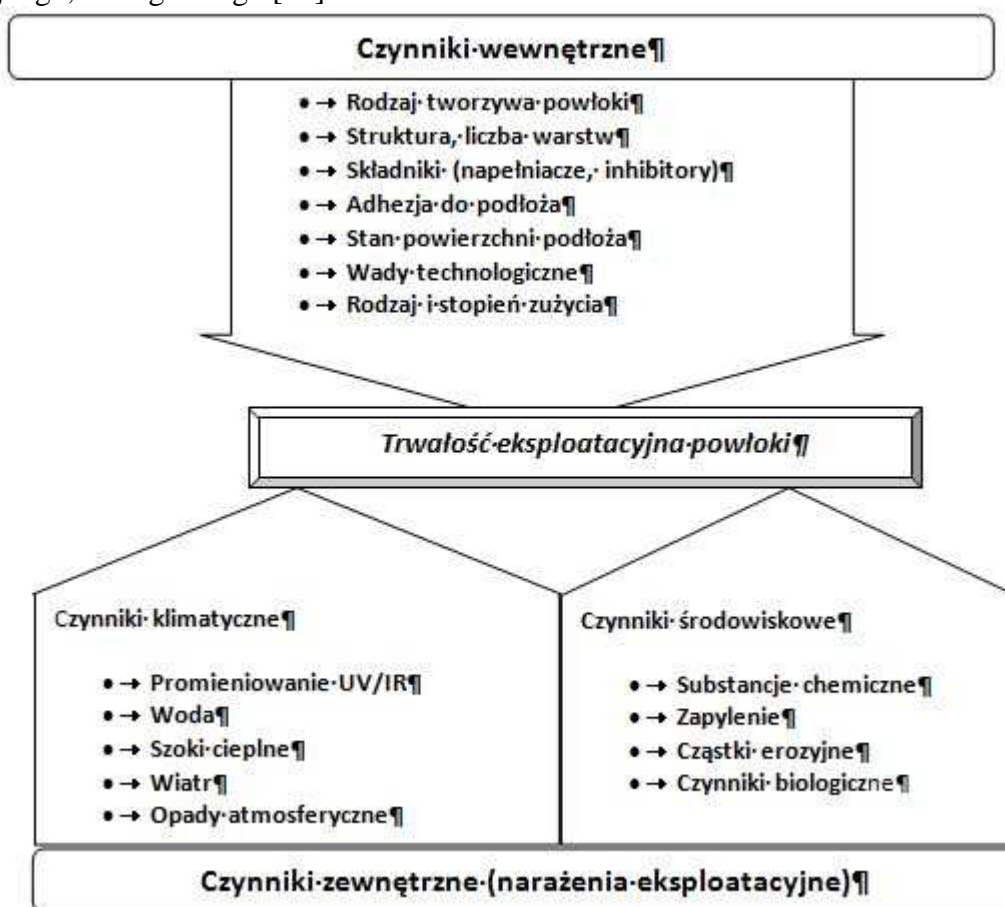
długoterminowo funkcjonujące bariery, chroniące powierzchnie urządzeń, przed niszczącym oddziaływaniem chemicznych i fizycznych narażeń środowiska eksploatacji [7, s. 133].

## 1. CHARAKTERYSTYKA CZYNNIKÓW EKSPLOATACYJNYCH POWODUJĄCYCH NISZCZENIE POWŁOK LAKIERNICZYCH NADWOZI SAMOCHODÓW.

Zagadnienia trwałości materiałów w środowiskach naturalnych i sztucznych są niezwykle istotne w projektowaniu i stosowaniu konstrukcji i urządzeń. Niszczenie korozyjne jest jednym z głównych źródeł strat materiałowych. Jest również przyczyną zanieczyszczenia środowiska i stwarza zagrożenie zdrowia ludzkiego. Powłoki polimerowe uzyskuje się przez aplikację materiałów lakierniczych lub tworzyw sztucznych. Materiały lakiernicze są złożonymi mieszaninami. Ich składniki można sklasyfikować w czterech głównych grupach. Są to: substancje powłokotwórcze (spoiwa), składniki lotne, pigmenty, dodatki [13, s.320].

Oddziaływanie czynników otoczenia ma istotny wpływ na trwałość powłoki organicznej. Procesy zużywania tych powłok pod wpływem czynników otoczenia są złożone. Na powłoki oddziałują bowiem jednocześnie: substancje chemiczne, promieniowanie ultrafioletowe, ciepło, wilgoć, cząsteczki erozyjne, a także mikroorganizmy [16, s. 270-283].

Polimerowa powłoka ochronna podczas eksploatacji w naturalnych warunkach narażona jest na oddziaływanie czynników klimatycznych i środowiskowych, prowadzących do zużycia typu: starzeniowego, mechanicznego, ablacyjnego, chemicznego, termicznego, korozyjnego, biologicznego [12].



**Rys. 1.** Czynniki wewnętrzne i zewnętrzne (narażenia eksploatacyjne) wpływające na trwałość eksploatacyjną powłoki

Źródło: [12]

Pod wpływem narażeń środowiska eksploatacji w powłokach polimerowych zachodzą złożone procesy ich zużywania, prowadzące do utraty własności ochronnych powłok. Na przykład, promieniowanie ultrafioletowe lub oddziaływanie niewielkich naprężeń rozciągających przyczynia się do występowania charakterystycznego pęknięcia powłok polimerowych, zwanego srebrzystym. Obszary powłok, objęte pęknięciami srebrzystymi, w świetle odbitym mikroskopu optycznego wywołują charakterystyczne „srebrzyste” (pasmowe) refleksy świetlne, stąd nazwa tych pęknięć [13, s.320]. Kształt pęknięć powłok polimerowych, generowanych pod wpływem narażeń eksploatacyjnych, a także ich rozmiary, zależą od rodzaju oddziałujących na powłoki narażeń. Wprowadzenie do struktury powłok napełniaczy (nanocząstek) poprawia ich odporność na zużycie, pod wpływem czynników eksploatacyjnych [11, s. 33, 15, s. 285]. Podstawowym kryterium spełniania przez powłokę polimerową funkcji ochronnej względem podłoża jest jej szczelność, określana stopniem porowatości. Pory w powłokach powstają podczas procesu ich konstytuowania, a także w wyniku zachodzenia w ich strukturze procesów starzeniowych, pod wpływem promieniowania UV oraz mediów agresywnych [17, s.144, 23, s. 56]. Ocena zmian w strukturze polimeru powłokotwórczego, zachodzących pod wpływem narażeń eksploatacyjnych wymaga prowadzenia niekonwencjonalnych badań powłok polimerowych. Do badań tych zalicza się: badania spektroskopowe w podczerwieni, badania za pomocą mikroskopów elektronowych, a także atomowych i optycznych oraz badania rentgenograficzne oraz badania z wykorzystaniem spektrometrii masowej [8, s. 1085]. Natomiast do oceny porowatości (nanoporowatości i mikroporowatości) powłok polimerowych stosowane są badania porozymetryczne, na przykład, metodą porozymetrii rtęciowej lub azotowej.[16, s. 5-23].

Uszkodzeniem powłoki polimerowej będziemy nazywali taki stan systemu Powłoka Polimerowa – Podłoże, gdy powłoka przestała już spełniać nałożone na nią funkcje (ochronne, dekoracyjne, techniczne). W tabeli 1 przedstawiono procesy zużywania, prowadzące do uszkodzenia powłoki.

**Tab. 1.** Procesy zużywania prowadzące do uszkodzenia powłoki polimerowej

Lp.	Procesy zużywania prowadzące do uszkodzenia powłoki polimerowej	
	Rodzaj narażeń	Rodzaj procesu zużywania
1.	Mechaniczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Pęknięcie zmęczeniowe</li> <li>b. Pęknięcie srebrzyste</li> <li>c. Erozja, hydroerozja</li> <li>d. Zużycie ściernie (tribologiczne)</li> </ul>
2.	Cieplne	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Utlenianie tworzywa organicznego</li> <li>b. Destrukcyjna (degradacja)</li> <li>c. Rozpad</li> <li>d. Pęknięcie pod wpływem niskiej temperatury</li> <li>e. Utrata przyczepności do podłoża pod wpływem wysokiej temperatury</li> </ul>
3.	Ablacja	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Rozpad termiczny (warstw powierzchniowych)</li> </ul>

		b. Łuszczenie powłoki
4.	Chemiczne	a. Ługowanie b. Hydroliza c. Utlenianie
5.	Starzeniowe	a. Utlenianie tworzywa sztucznego b. Pękanie wiązań chemicznych c. Powstanie mikropęknięć d. Powstanie pęknięć srebrzystych
6.	Korozyjne	a. Rozwój korozji podpowłokowej b. Zużycie korozyjne powłoki( przebarwienie utrat przyczepności do podłoża).
7.	Biologiczne	a. Rozwój grzybów i pleśni b. Destrukcja powłoki pod wpływem produktów przemiany materii mikroorganizmów  (wżery, odwarstwienie powłoki)

Źródło: [16]

### 1.1. Charakterystyka czynników mechanicznych wpływających na zużycie powłok lakierniczych

Na zwiększenie intensywności zużywania powierzchni powłok polimerowych istotny wpływ mają czynniki otoczenia, które przyczyniają się do zmian: sprężystych, wytrzymałościowych oraz ciernych własności powłok polimerowych. Jednym z silnie niszczących powłoki czynników są media agresywne[17, s. 144]. Destrukcja powłok polimerowych pod wpływem substancji agresywnych zwiększa się jeśli zostały one poddane oddziaływaniu innych czynników eksploatacyjnych, takich jak: wilgoć, ciepło, obciążenia mechaniczne. W efekcie zestarzenia powłok zachodzi obniżenie ich odporności erozyjnej. Zużywanie powłok objawia się pogorszeniem własności ochronnych na skutek: pęknięcia łuszczenia, delaminacji, pęcherzenia i zrywania połączeń adhezyjnych z podłożem. Obniżeniu ulegają również własności dekoracyjne powłok, na skutek utraty połysku lub zmiany barwy.

Destrukcja powłok na skutek oddziaływania mediów agresywnych wpływa na obniżenie ich właściwości mechanicznych[16, s. 200-285].

Procesy starzeniowe zachodzące w powłokach przyczyniają się do rozwoju w ich strukturze porów[24, s. 56]. Skutkuje to utratą przez powłokę szczelności, w wyniku generowania w strukturze powłok ścieżek, przewodzących media agresywne do metalowego podłoża[19, s. 45].

Własności ochronne powłok wynikają głównie z barierowego oddziaływania warstwy tworzywa polimerowego, które polega na odizolowaniu podłoża metalowego od oddziaływań środowiska zewnętrznego, zarówno od czynników elektromechanicznych, jak i od mechanicznych [1, s. 918, 3, s. 86]. W modelowej powłoce ochronnej nie zachodzi dyfuzja gazów, wilgoci i jonów. Diagnozowanie stanu powłoki wymaga ustalenia kryterium szczelności powłoki, jak również metody jej pomiaru. Ocenę kinetyki starzenia można uzyskać na podstawie charakterystyk impedancyjnych układu, który stanowią: podłoże

metalowe, powłoka polimerowa, elektrolit (MPE). Przy założeniu, że powłoka jest szczelna, układ ten jest kondensatorem. Przewodnikami są: podłoże metalowe i elektrolit. Warstwą izolacyjną, czyli dielektrykiem, jest szczelna powłoka polimerowa. W przypadku pełnej izolacji podłoża od wpływu elektrolitu układ MPE ma charakter pojemnościowy. W miarę powstawania mikroporów w powłoce na skutek destrukcji tworzywa rozpoczyna się penetracja elektrolitu w głąb powłoki. Układ traci wówczas charakter pojemnościowy i uzyskuje charakter pojemnościowo - rezystancyjny, a przy całkowitej utracie szczelności – charakter rezystancyjny. Badania procesów zużywania powłoki organicznej powinny być poprzedzone oceną warunków użytkowania powłoki. Dominujące czynniki otoczenia będą miały decydujący wpływ na rodzaj uszkodzenia, którego intensywność zależy również od odporności powłoki na tego rodzaju oddziaływanie. Powłoka użytkowana w środowiskach agresywnych będzie ulegała destrukcji, której intensywność (w poszczególnych warstwach) zależy od szczelności powłoki. W przypadku oddziaływania również czynników mechanicznych (w postaci twardych cząstek) istotny wpływ na zużycie będzie miała odporność danego polimeru na erozję. Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury można wyróżnić następujące rodzaje procesów zużywania mechanicznego powłoki polimerowej:

- a) erozyjne – w wyniku uderzania twardych cząsteczek w powierzchnię powłoki.
- b) tribologiczne – w efekcie tarcia współpracujących elementów, a także w postaci pękania, spowodowanego: oddziaływaniem zarówno czynników mechanicznych (naprężenia), jak i pod wpływem czynników fizykochemicznych (promieniowanie UV, szoki termiczne, media agresywne, woda) [16, s. 5].

## **1.2. Charakterystyka czynników chemicznych przyczyniających się do destrukcji powłok lakierniczych**

W środowisku suchych gazów o szybkości korozji decydują następujące czynniki: skład chemiczny, temperatura, ciśnienie i prędkość przepływu gazu i żaroodporność materiału konstrukcyjnego.

W przypadku oddziaływania na powłokę obojętnych elektrolitów ( np. wodnych roztworów chlorku sodu ) pierwszym etapem destrukcji powłok jest powstawanie ścieżek przewodzących (kapilar), które umożliwiają bezpośredni dostęp jonom do powierzchni metalowego podłoża, powodując jego korozję [13, s. 300].

Jednym z groźniejszych czynników niszczących powłoki polimerowe są media agresywne powodujące destrukcję chemiczną powłok w wyniku: ługowania, hydrolizy bądź utleniania. Niszczenie to skutkuje obniżeniem efektywności ochronnej powłok w wyniku; pękania, wzrostu liczności i objętości porów, a także w efekcie utraty adhezji do podłoża. Zużycie powłoki organicznej pod wpływem tych czynników objawia się zmianą jej wyglądu zewnętrznego, to jest: matowieniem, pękaniem, marszczeniem, łuszczeniem, kleistością, kredowaniem, zmianą barwy, utratą połysku. Ponadto wzrost chropowatości powierzchni powłok powoduje utratę ich połysku, determinującego właściwości dekoracyjne powłok [16 s. 220-234].

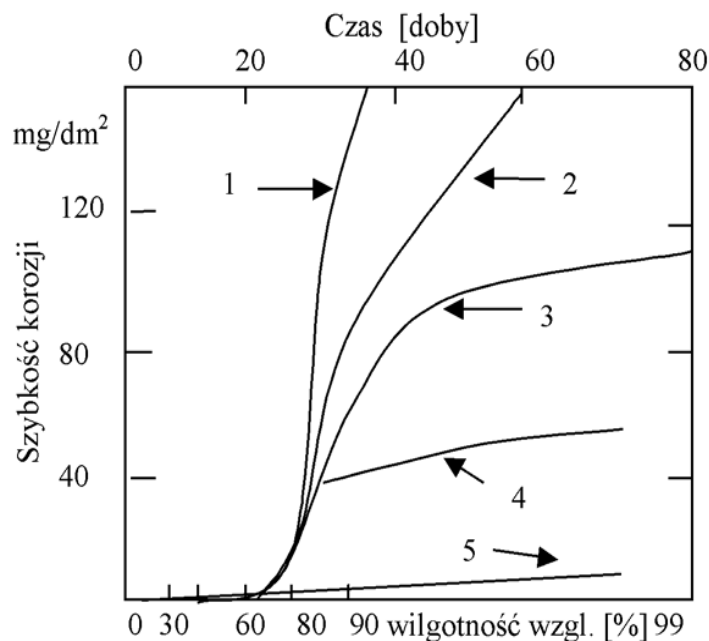
Destrukcja powłok polimerowych pod wpływem substancji agresywnych zwiększa się, jeśli zostały one poddane oddziaływaniu innych czynników eksploatacyjnych, takich jak: wilgoć, ciepło, obciążenia mechaniczne, uderzenia cząsteczek erozyjnych ( gradu, piasku, grudek ziemi, kamieni).

Większość zanieczyszczeń występujących w atmosferze przyspiesza korozję. Zanieczyszczeniami są:

- cząstki stałe, np. kurz, piasek, pył węglowy, sadza, związki chemiczne w postaci cząstek rozpylonych w powietrzu np. siarczan amonu, itp.;
- cząstki ciekłe, np. mgła, para wodna nasycona gazami lub związkami chemicznymi;

– gazy, np. dwutlenek węgla, dwutlenek siarki, siarkowodór, chlorowodór, amoniak, tlenki azotu itp.

Cząstki stałe, osiadając na konstrukcjach, mogą powodować mechaniczne niszczenie warstwy ochronnej lub stanowią ośrodki kondensacji wilgoci. Zanieczyszczenia ciekłe oraz gazy rozpuszczone w warstwie wody pokrywającej powierzchnię metalu, zwiększają stężenie i agresywność elektrolitu. Za najbardziej szkodliwe zanieczyszczenia, w aspekcie zagrożenia korozją, uważane są: dwutlenek siarki pochodzący ze spalin ( którego stężenie może okresowo dochodzić do  $100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  ) oraz siarczan amonu [21, s. 46].



**Rys. 2.** Szybkość korozji stali w funkcji wilgotności względnej powietrza i czasu ekspozycji w atmosferze o różnym składzie zanieczyszczenia: 1 – cząstki sadzy + 0,01%  $\text{SO}_2$ , 2 – cząstki siarczanu amonu + 0,01%  $\text{SO}_2$ , 3 – 0,01%  $\text{SO}_2$ , 4 – cząstki siarczanu amonu bez  $\text{SO}_2$ , 5 – powietrze czyste.

Źródło: [21]

### 1.3. Charakterystyka czynników powodujących biodegradację powłok lakierniczych.

Powłoki polimerowe podczas eksploatacji narażone są na kontakt z czynnikami biologicznymi, do których zalicza się bakterie i grzyby. Wzrost grzybów na powłokach organicznych może zachodzić w różnych warunkach klimatycznych, również powyżej koła podbiegunowego. Rozwój mikroorganizmów, przede wszystkim grzybów, przejawia się w postaci przebarwień powłok. Większość ( 67% ) przebarwień powłok należy przypisać grzybom, a tylko 37% przebarwień spowodowanych jest przez czynniki nieorganiczne. Wzrost bakterii i grzybów zależy od: dostępnych źródeł węgla i azotu, temperatury powietrza, wilgotności powietrza i podłoża, obecności zanieczyszczeń (organicznych i nieorganicznych) oraz od udziału w powłoce toksycznych związków ( biocydów ). Źródłem węgla i azotu dla grzybów mogą być zanieczyszczenia powierzchniowe, podłoże pod powłoką oraz sama powłoka. Zanieczyszczenia powierzchniowe mogą być jednym z ważnych źródeł pokarmów dla grzybów, przy czym wzrost tych organizmów staje się szczególnie intensywny, jeżeli sama powłoka zawiera przyswajalne dla grzybów związki. Grzyby mogą wykorzystywać jako źródło węgla spoiwo lub inne składniki, zawarte w powłoce. W innym przypadku podstawowym źródłem węgla mogą być zanieczyszczenia powierzchni powłoki.

Mikroorganizmy, zasiedlające powłoki, wyraźnie zmieniają ich właściwości. Pod wpływem oddziaływania grzybów uległa zmniejszeniu: twardość, przyczepność i elastyczność powłoki. Na zanieczyszczeniach osadzających się na powłoce organicznej w warunkach optymalnych (np. w klimacie zwrotnikowym) może wyrosnąć kolonia grzybów, wytwarzająca liczne produkty przemiany materii, co prowadzi do zanieczyszczenia powłoki. Niektóre spośród wytwarzanych przez grzyby produktów przemiany materii oddziałują chemicznie na większość powłok polimerowych. Pod wpływem zachodzących procesów chemicznych powierzchnie niektórych materiałów zmieniają barwę, inne tracą połysk, a jeszcze inne tworzą lokalne wytrawienia [25, s.82].

**Tab. 2.** Rodzaje zużycia powłoki polimerowej pod wpływem czynników klimatycznych lub środowiskowych.

Czynnik klimatyczny lub środowiskowy	Skutki oddziaływania czynnika klimatycznego lub środowiskowego	Rodzaj zużycia
1.	2.	3.
Podwyższona temperatura powietrza	Starzenie termiczne, w wyniku zachodzenia w tworzywie organicznym reakcji chemicznych	Kredowanie, pękanie powierzchniowe i łuszczenie powłok, pogorszenie własności mechanicznych
	Rozszerzenie liniowe lub objętościowe (pęcznienie, ekspansja)	Pękanie, kruszenie powłok
	Mięknienie lub topienie	Spływanie powłok termoplastycznych (woskowych, polimerowych, asfaltowych)
	Wydzielanie składników powłoki	Ubytek plastyfikatorów, migracja pigmentów, wypacanie olejów i inhibitorów, dezaktywacja dodatków uszlachetniających
	Rozwarstwienie	Utrata szczelności powłok (woskowych, asfaltowych i polimerowych)
	Wyparowanie lub sublimacja	Odparowanie plastyfikatorów i sublimacja inhibitorów
	Zwiększenie kruchości i zmniejszenie elastyczności przy szoku cieplnym	Pękanie, utrata przyczepności powłok, wzrost szybkości korozji podpowłokowej
Obniżona temperatura powietrza	Kruchość materiałów	Wykruszanie powłok
	Wzrost twardości	Pogarszanie własności mechanicznych powłok
	Skurcz	Pękanie powłok
	Zamarzanie wody	Utrata przyczepności do podłoża, kruszenie powłok
Niska wilgotność względna powietrza	Wysychanie, kurczenie powłok, obniżenie wytrzymałości na rozciąganie	Pękanie powłok
Duża wilgotność względna powietrza	Absorpcja wody	Zmiana własności fizykochemicznych, niekorzystne zmiany wyglądu powłok (zmiana barwy, połysku)
	Pęcznienie	Pogarszanie własności mechanicznych (odporność na ścieranie i zginanie), utrata własności elektroizolacyjnych powłok
	Kondensacja pary wodnej, rośnienie	Wzrost szybkości korozji, utrata adhezji powłok, pęcherzenie powłok
	Korozja metalowego podłoża	Pogorszenie własności (ochronnych i antykorozyjnych) powłok organicznych,



		wzrost destrukcyjnego działania dwutlenku siarki i chlorku sodu na metalowe podłoże, dezaktywacja inhibitorów, obniżenie trwałości powłok
	Biodegradacja	Rozwój grzybów i bakterii na powłokach organicznych, degradacja powłok, korozja biologiczna, korozja podpowłokowa
Opady (deszczu, śniegu, gradu)	Absorpcja wody, ścieranie powłok	Zmiana własności fizykochemicznych, utrata mechanicznych własności powłok
	Adsorpcja wody na powierzchni powłoki	Zwiększenie korozji w szczelinach i złączach, pęcznienie i Pęcznienie powłok
	Podwyższenie wilgotności powietrza i temperatury punktu rosy	Zwiększenie korozji podłoża i biodegradacja powłoki.
Nasłonecznienie	Reakcje chemiczne i fizyczne oraz fotochemiczne (fotoliza, fotooksydacja)	Kredowanie, występowanie: siatki spękań, rys, wykruszeń, utrata połysku, zmiana barwy powłok
	Kruchość	Pęknięcie powłok w wyniku procesu starzenia tworzywa organicznego
	Szok temperaturowy	Odrywanie od podłoża oraz pęknięcie powłok w wyniku różnej rozszerzalności cieplnej metalowego podłoża i materiału powłokowego
Substancje korozyjne zawarte w powietrzu	Utrata własności ochronnych, odrywanie powłoki od podłoża	Przyspieszenie korozji metalowego podłoża
Piasek, pył	Ścieranie i rysowanie powłok, powstanie osadów, intensyfikacja korozji podpowłokowej	Zdarcie powłoki, utrata przyczepności powłoki do podłoża
Wiatr	Wibracja powłok	Pęknięcie zmęczeniowe powłok

Źródło[16]

## PODSUMOWANIE

Zabezpieczenie powierzchni metali przy użyciu powłok polimerowych, szczególnie farbami i lakierami, jest jednym z najważniejszych sposobów zabezpieczania przed działaniem czynników eksploatacyjnych. Oprócz zastosowania tworzyw polimerowych jako spoiwa w materiałach malarskich (farbach, lakierach) mogą one być także stosowane do celów ochronnych przed korozją w postaci wykładzin, które wykonuje się z zastosowaniem techniki klejenia do podłoża metalowego folii lub pyłu. W zależności od rodzaju tworzywa i oddziaływającego na nie środowiska korozyjnego niszczenie może zachodzić na skutek hydrolizy ( szczególnie grupy estrowe i eterowe), utleniania (szczególnie wiązania podwójne), pęcznienia ( gum w rozpuszczalnikach organicznych ) lub pęknięcia naprężeniowego( tworzywa etylenowe i akrylowe).

Środowisko ma bardzo duży wpływ na szybkość procesu korozji metalowego podłoża powłok polimerowych [5, s. 43].Korozję podpowłokową można ograniczyć poprzez wprowadzenie do składu powłok różnego typu inhibitorów korozji[4, s.49].Właściwe przygotowanie powierzchni metalu przed nałożeniem powłok ochronnych jest jednym z podstawowych czynników decydujących o jakości, a tym samym o trwałości powłoki [6, s. 175, 9, s.23]. Nawet najlepsze powłoki, o dużej odporności korozyjnej, mogą nie spełniać swojego działania ochronnego, jeżeli zostaną nałożone na nieodpowiednio przygotowane podłoże. Pod pojęciem przygotowania powierzchni rozumie się usuwanie zanieczyszczeń pochodzenia organicznego ( smary, oleje, tłuszcze, różnego rodzaju emulsje ), a także nieorganicznego (tlenki metali i ich sole, pyły) oraz nadanie powierzchni wymaganej chropowatości. Niewłaściwe przygotowanie powierzchni metalu powoduje: zmniejszenie

przyczepności powłoki, zmniejszenie gładkości powierzchni, rozwój korozji podpowłokowej, powstanie pęcherzy, pęknięcie i łuszczenie się powłoki. Między trwałością nakładanych powłok, a stopniem czystości powierzchni, istnieje ścisła zależność. Im lepiej oczyszczona jest powierzchnia metalu, tym większa jest trwałość zabezpieczenia powłokowego. Odporność na korozję podpowłokową można zwiększyć poprzez wprowadzenie do składu powłok pigmentów i napełniaczy, których ilość nie może przekroczyć ich stężenia krytycznego [22, s. 233].

Miarą trwałości powłok jest czas, w którym zachowują one swoje własności użytkowe. Są to: właściwości ochronne, dekoracyjne bądź właściwości specjalne, na przykład elektroizolacyjne, czy przeciwтарыowe. W miarę upływu czasu eksploatacji powłoki polimerowe ulegają starzeniu, pod wpływem destrukcyjnego oddziaływania czynników otoczenia. Na trwałość powłoki ochronnej wpływają: warunki eksploatacji, rodzaj podłoża, metoda przygotowania podłoża pod powłokę, rodzaj materiału powłoki, liczba warstw powłoki, technologia nanoszenia, technologia suszenia lub utwardzania.

## BIBLIOGRAFIA

1. Athey R.D., *Abrasion resistant coatings*. European Coatings Journal 1996, Vol. 12.
2. Batchelor A.W., Stachowiak G.W., *Predicting synergism between corrosion and abrasive wear*. Wear 1988, Vol.123.
3. Bauer D.R.: *Predicting in-service weatherability of coatings; A new approach*. Journal of Coatings Technology 1997, Vol. 69, No. 864.
4. Bautisa A.: *Filiform corrosion in polymer-coated metals*. Progress in Organic Coatings 1996, Vol.28.
5. Bierwagen G.P.: *Reflection on corrosion control by organic coatings*. Progress in Organic Coatings 1996, Vol.28.
6. Bordziłowski J.: *Wpływ przygotowania powierzchni różnymi ścierniwami na własności ochronne powłok malarskich*. Materiały konferencyjne XXI Konserwatorium Korozji Morskiej. Jurata 1995.
7. Broniewski T., Kapko J., Płaczek W., Thomalla J.: *Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych*. WNT, Warszawa 2000.
8. Decker C., Balandier M.: *Degradation of poli(vinyl chloride) by U.V. radiation – I. Kinetics and quantum yields*. European Polymer Journal, Vol. 18, 1982.
9. Dobosz F.: *Niektóre aspekty reaktywności powierzchni i granicy faz w odniesieniu do korozji i ochrony materiałów metalicznych*. W: Korozja 96. Teoria i praktyka. Materiały konferencyjne. Gdańsk, 1996.
10. Kotnarowska D.: *Rodzaje destrukcji powłok lakierniczych nadwozi samochodów*. Transcomp-XIV International Conference. Computer systems aided science industry and transport. 2010.
11. Kotnarowska D., Stanisławek D., Wojtyniak M., *Nanopowłoki polimerowe o zwiększonej odporności na erozję i zarysowania*. Autobusy 3/2013.
12. Kotnarowska D. *Wpływ procesu starzenia na trwałość powłoki epoksydowej*. Monografia Nr 12, Radom, Wydawnictwo WSI 1994.
13. Kotnarowska D.: *Powłoki ochronne*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej. Radom 2010, ( wydanie III, poprawione i poszerzone).
14. Kotnarowska D., Wojtyniak, M.: *Influence of Ageing on Mechanical Properties of Epoxy Coatings*. Solid State Phenomena 2009, Vol. 147-149.
15. Kotnarowska D.: *Effect of nanofillers on wear resistance of polymer coatings*. Solid State Phenomena 2009, Vol. 144.
16. Kotnarowska D.: *Rodzaje procesów zużywania powłok polimerowych*. Monografia Nr60, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2003.

17. Kotnarowska D.: *Erozja powłok polimerowych*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2009.
18. Królikowska A.: *Katastrofy, straty i utrudnienia życia związane z korozją*. W: IV Doroczna Konferencja Naukowo-Techniczna Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego „Współczesne technologie przeciwkorozyjne”, Bronisławowo (referat plenarny) [on-line]. [www.psk.org.pl](http://www.psk.org.pl), 21-23 kwietnia 2010.
19. Nguyen T., Hubbart J.B., Pommersheim J.M.: *Unified model for the degradation of organic coatings on steel in a neutral electrolyte*. Journal of Coatings Technology 1996, Vol. 68, No.855.
20. Nguyen T., Bentz D., Byrd E.: *Method for measuring water diffusion in a coating applied to a substrate*. Journal of Coatings Technology 1995, Vol. 67, No.844, p. 37
21. Surowska B.: *Wybrane zagadnienia z korozji I ochrony przed korozją*. Politechnika Lubelska 2002.
22. Schauer T., Liu W.M., Dulog L.: *Corrosion protective pigments; Their efficiency in organic and waterborne primers*. European Coatings Journal (GBR) 1997, No.3.
23. Webb Paul A.: *An Introduction To The Physical Characterization of Materials by Mercury Intrusion Porosimetry with Emphasis On Reduction And Presentation of Experimental Data* Micromeritics Instrument Corp., Norcross, Georgia, 2001.
24. Yong Fu Xu, De' An Sun: *A fractal model of soil pores and its application to determination of water permeability*. Physica A 316 (2002).
25. Zyska B.: *Problemy mikrobiologicznego rozkładu i mikrobiologicznej korozji materiału*. Ochrona przed korozją 1994, nr.4.

## **INFLUENCE OF OPERATING FACTORS ON THE USAGE OF CAR BODY PAINT COATING**

### **Abstract**

*The article describes the impact of operational factors on consumption of paint car bodies , such as aggressive media , heat , ultraviolet radiation (UV) , erosive factors . Paint coatings are exposed during that operation to the impact factors: physical, chemical , mechanical and biological causing them to generate a destructive processes leading ultimately to wearing coatings up. The mechanical wear includes: erosive wear , tribological and wear due to bursting . Aggressive substances adsorbed on the surface of the coating reduce the surface energy and the associated mechanical strength of the polymer coatings . However, the absorption of corrosive media by polymer coatings contributes to their chemical degradation or their swelling. The effect of swelling coatings may be the development of micro-cracks , leading to fracture distribution . The synergistic effect on the development of polymer cracking processes has a simultaneous impact of active environment and mechanical stress .*

### **Autorzy:**

prof. dr hab. inż. **Zbigniew ŁUKASIK**, prof. zw.- Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, Instytut Automatyki i Telematyki, Zakład Automatyzacji Procesów;  
mgr inż. **Dariusz Stanisławek** – doktorant;