



WŁAŚCIWOŚCI OCHRONNE SYSTEMÓW POWŁOKOWYCH W NATURALNYCH I LABORATORYJNYCH WARUNKACH KOROZYJNYCH

PROTECTIVE PROPERTIES OF COATING SYSTEMS IN NATURAL AND LABORATORY CORROSION ENVIRONMENTS

Małgorzata Zubielewicz, Anna Ślusarczyk, Grażyna Kamińska-Bach
Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych, Oddział Farb i Tworzyw, Gliwice
Agnieszka Królikowska, Leszek Komorowski
Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa

Streszczenie

Omówiono wyniki badań właściwości antykorozyjnych systemów powłokowych stosowanych do zabezpieczania mostów. Badania wykonano bezpośrednio na wytypowanych obiektach mostowych narażonych na środowisko o kategorii korozyjności C4/C5I i w warunkach laboratoryjnych. Powłoki na mostach oceniano pod względem kredowania, pęcherzenia, łuszczenia, spękania, i skorodowania i przyczepności oraz właściwości barierowych – metodą elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (EIS). W warunkach laboratoryjnych badano właściwości fizyko-mechaniczne powłok (przyczepność, twardość, giętkość, odporność na uderzenie), odporność na czynniki korozyjne (mgła solna, warunki zmienne) oraz na działanie promieniowania UV. Stwierdzono, że dotychczasowe wyniki badań w dużym stopniu odpowiadają rzeczywistemu zachowaniu się powłok w czasie kilkunastoletniej eksploatacji w środowisku naturalnym o kategorii korozyjności C4–C5.

Słowa kluczowe: korozja, ochrona przed korozją, systemy powłokowe, badania

Abstract

The test results of protective properties of anticorrosive coatings systems used for bridge protection are discussed. The research was carried out directly on selected bridges exposed to C4/C5I environmental corrosivity category and in laboratory conditions. Coatings on the bridges were evaluated for chalking, blistering, flacking, cracking, rusting and adhesion. The electrochemical impedance spectroscopy (EIS) was used to test barrier properties. Laboratory tests covered physio-mechanical properties (adhesion, hardness, flexibility, impact resistance), resistance to corrosive environment (salt spray test, changing conditions) and to UV radiation. A high degree of correlation was found between results of the research carried out so far and the real behavior of coatings during long-time operation in natural corrosion environment

C4–C5.

Keywords: corrosion, corrosion protection, coating systems, testing

1. Wprowadzenie

Prezentowane wyniki badań stanowią część realizacji projektu wykonywanego w ramach Inicjatywy CORNET. Celem projektu jest opracowanie kryteriów i wytycznych doboru systemów powłokowych do malowania konstrukcji stalowych w oparciu o wyniki badań powłok na istniejących obiektach oraz wyniki laboratoryjnych badań przyspieszonych takich samych systemów powłokowych, jak zastosowane na wytypowanych mostach oraz wytypowanie odpowiednich i wiarygodnych metod badawczych do szybkiej oceny właściwości antykorozyjnych powłok.

W zakresie przyspieszonych badań właściwości ochronnych powłok organicznych istnieje wiele metod różniących się warunkami prowadzenia badań (rodzaj środowiska, temperatura, czas trwania, warunki stałe/zmienne, zanurzenie, natrysk itp.) i sposobem oceny wyników (wizualnie, instrumentalnie) [1–10]. Ze względu na różnorodność powłok oraz czynników wpływających na ich skuteczność ochronną w środowisku korozyjnym żadna z metod badań przyspieszonych nie jest na tyle uniwersalna, aby stosować ją jako jedyną do oceny powłok. W badaniach właściwości ochronnych powłok konieczne jest w związku z tym zastosowanie kilku różnych metod, aby uzyskać jak najbardziej prawdopodobny obraz zachowania się powłok w warunkach naturalnych.

Najbardziej wiarygodne wyniki uzyskuje się w badaniach terenowych, w rzeczywistych środowiskach eksploatacji powłok, jednak ze względu na ich długi czas trwania badania te nie są przydatne do szybkiej oceny powłok, szczególnie w przypadku systemów powłokowych do długoletniej ochrony przed korozją. Do badania właściwości antykorozyjnych stosuje się w związku z tym szereg metod laboratoryjnych (zanurzenie, komory korozyjne, badania elektrochemiczne); ponadto wykonuje się badania właściwości mechanicznych (odporność na uszkodzenia, giętkość, twardość itp.), które również wpływają na właściwości ochronne powłok. Stosowanie różnych metod badawczych ma na celu lepsze poznanie przydatności testów przyspieszonych do oceny powłok przeznaczonych do długoletniej ochrony przed korozją i wytypowanie najbardziej odpowiednich.

W pracy zastosowano odwrotny schemat badań niż stosowany powszechnie przy doborze metod przyspieszonych do oceny zachowania się systemów powłokowych w określonych warunkach korozyjnych – zamiast sprawdzania wiarygodności metod laboratoryjnych w warunkach naturalnych oceniono systemy powłokowe eksploatowane już wiele lat na obiektach mostowych w środowisku o kategorii korozyjności C4/C5I i dobrano przyspieszone metody badań tak, aby uzyskać podobny stopień zniszczeń, jak w przypadku powłok ocenianych na mostach.

2. Badane systemy powłokowe

Do badań na rzeczywistych obiektach mostowych wytypowano mosty zlokalizowane w różnych warunkach korozyjnych (tab. 1). W badaniach terenowych i laboratoryjnych badano systemy powłokowe składające się z gruntów epoksydowych różniących się rodzajem utwardzacza i pigmentów antykorozyjnych, międzywarstwy epoksydowej i nawierzchniowej powłoki poliuretanowej utwardzanej diizocyjanianem heksametylenu (HDI), opartej w większości przypadków na żywicy akrylowej (tab. 2). Wybór takich systemów podyktowany został powszechnością ich stosowania na obiektach w Polsce.

Tabela 1. Charakterystyka wytypowanych mostów

Table 1. Characteristic of selected bridges

Lokalizacja	Rok* M/R	Kategoria korozyjności	Oznakowanie systemu powłokowego**
Most w Kośminie	2003 R	C4	A
Most w Tryńcy	2006 M	C4	B
Most w Górze Kalwarii	2000 M	C5I	C1
Most Gdański w Warszawie	1999 M	C5I	C2
Most Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy	2000 M	C4	E
Most Fordon w Bydgoszczy	2001 M	C5I	F
Most Praski w Warszawie	2001 M	C4	G

* M – malowani, R – renowacja
** zgodnie z tabelą 2

Tabela 2. Systemy powłokowe do badań

Table 2. Coating systems selected for testing

System	Rodzaj powłoki	Żywica/utwardzacz/ pigment antykorozyjny	Średnia grubość, μm	
			na mostach	do badań lab.
A	Grunt	EP (HS)/addukt aminowy/Al (2–4% mas.)	207	273
	Międzywarstwa	EP (HS)/poliaminowy/Al		
	Nawierzchniowa	PUR (akrylowa)/HDI		
B	Grunt	EP (HS)/polaminoamidowy/Al (2% mas.)	447	291
	Międzywarstwa	EP (HS)/polaminoamidowy/Al (2% mas.)		
	Nawierzchniowa	PUR (akrylowa)/HDI		
C	Grunt	EP/poliamidowy/Zn (75% mas. w suchej powł.)	C1: 282 C2: 410	282
	Międzywarstwa	EP/poliamidowy/Al (1–2,5% mas)		
	Nawierzchniowa	PUR (akrylowa/poliestrowa)/HDI		
D	Grunt	EP (HB)/poliaminowy/–	–	303
	Międzywarstwa	EP (HB)/poliaminowy/–		
	Nawierzchniowa	PUR (akrylowa)/HDI		
E	Grunt	EP/polamidoaminowy/Zn (94% mas. w suchej powł.)	281	286
	Międzywarstwa	EP/polaminoamidowy/MIOX (58% mas.)		
	Nawierzchniowa	PUR (akrylowa)/HDI/MIOX (47% mas.)		
F	Grunt	EP/polaminoamidowy/ Al (10% mas.)	281	290
	Międzywarstwa	EP/poliaminowy/ MIOX (12% mas.), Al (10% mas.), fosforan Zn (5% mas.)		
	Nawierzchniowa	PUR (akrylowa)/HDI		
G	Grunt	EP/polaminoamidowy/fosforan Zn (10,6% mas.)	188	276
	Międzywarstwa	EP/polaminoamidowy/MIOX (36,5% mas.)		
	Nawierzchniowa	PUR (akrylowa)/HDI		

HDI – diizocyanian heksametylenu

3. Metody badań laboratoryjnych

3.1 Fizyko-mechaniczne właściwości powłok

Przeprowadzono następujące badania fizyko-mechanicznych właściwości powłok:

- przyczepności metodą odrywu wg PN-EN ISO 4624 [11],
- przyczepności metodą nacięcia krzyżowego wg PN-EN ISO 16276-2 [12],
- odporności na uderzenie wg PN-EN ISO 6272-1 [13],
- twardości wg PN-EN ISO 1522 [14] (wahadło Persoza),
- tłoczności wg PN-EN ISO 1520 [15].

3.2. Odporność powłok na działanie czynników korozyjnych

Badania odporności systemów powłokowych na działanie czynników korozyjnych wykonano wg PN-EN ISO 9227 [16] oraz wg ISO 20340 [17]. Badania w komorze solnej trwały 1440 h zgodnie z PN-EN 12944-6 [18] dla okresu trwałości powyżej 15 lat i kategorii korozyjności C5I. Jeden 168-godzinny cykl badań wg [17] obejmował: 72 h ekspozycji w komorze UV (4 h UV, 60°C, lampy UVA 340/4 h kondensacja, 50°C); 72 h ekspozycji w komorze solnej (mgła solna, 35°C); 24 h w warunkach niskich temperatur (-20°C). Cykl powtarza się 25 razy: łącznie 4200 h.

3.3. Odporność powłok na przyspieszone starzenie

Przyspieszone badania odporności na działanie warunków atmosferycznych (UV, wilgoć) przeprowadzono w komorze QUV, Q-Panel, wg PN-EN ISO 16474-3:2014-02 [19]. Zastosowano lampy UVB 313 i cykl: 4 h UV/60°C + 4 h kondensacji/40°C. Czas trwania ekspozycji: 1000 h. Warunki badania przyjęto z PN-EN 13523-10 [20].

Po 1000 h ekspozycji powłok w komorze UV oznaczono zmianę połysku i barwy. Połysk zmierzono połyskomierzem wielokątowym TRIGLOSS, prod. Byk, wg PN-EN 2813[21], a barwę spektrofotometrem SP 62, X-Rite, o geometrii pomiarowej d/8, stosując metodę z uwzględnionym połyskiem (SPIN) i iluminant/obserwator /10° – wg PN-ISO 7724-2 [22]. Wyniki pomiarów barwy podano w systemie CIELAB (L*a*b*).

4. Przygotowanie próbek do badań laboratoryjnych

Do badania właściwości mechanicznych (giętkość, odporność na uderzenie, twardość i tłoczność) oraz do badania odporności powłok na przyspieszone starzenie przygotowano powłoki nałożone na znormalizowane płytki stosowane do tego typu badań, o wymiarach 150 mm x 70 mm x 0,8 mm, niepoddane obróbce strumieniowo-ścierniej.

Do badania odporności na działanie czynników korozyjnych przygotowano płytki o wymiarach 150 mm x 100 mm x 4 mm oraz próbki w kształcie T, z powłokami nałożonymi na podłoże przygotowane metodą obróbki strumieniowo-ścierniej do stopnia Sa 2½.

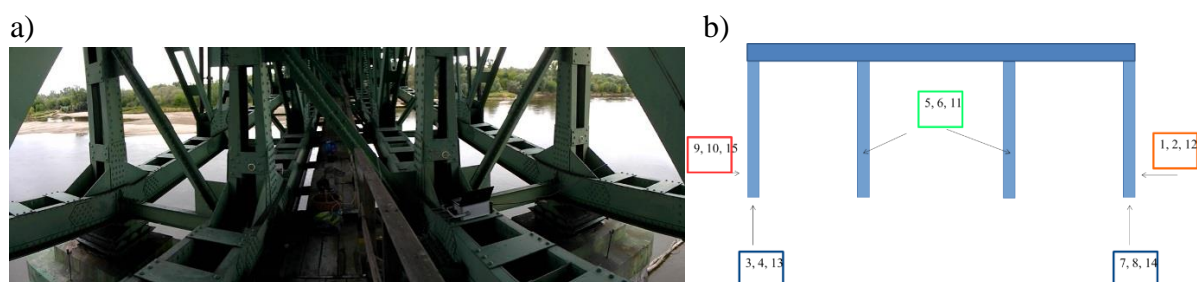
5. Wyniki badań polowych

Powłoki na mostach oceniano wizualnie pod kątem kredowania, pęcherzenia, łuszczenia, spękania i skorodowania wg PN-EN ISO 4628 [23]. Przyczepność powłok oznaczono metodą nacięcia w kształcie X, a właściwości barierowe – metodą elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (EIS). Badano również zanieczyszczenia jonowe w wytypowanych strefach zagrożeń na mostach. Miejsca pomiarowe wybrano w zależności od konstrukcji mostu; przykładowe miejsca pomiarowe pokazano na rys. 1. Przy wyborze kierowano się zasadą, aby miejsca pomiarowe obejmowały największe zagrożenia korozyjne (pasy dolne dźwigarów, ewentualnie miejsca na które spadają zanieczyszczenia z pasa jezdni, miejsca osłonięte wewnątrz konstrukcji oraz miejsca o różnym narażeniu na promieniowanie słoneczne z obu stron mostu na środnikach lub na pasach górnych). Wyniki badań przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki badań systemów powłokowych na mostach
 Table 3. Test results of coating systems applied on bridges

System	Średnia grubość, μm	Przyczepność, stopień	Zniszczenia, stopień	Średnia wartość logIZI przy 0,1 Hz	Średnia wartość zanieczyszczeń jonowych, mg/m^2
A	207	0	brak zniszczeń	8,0	1560
B	447	0–2	kredowanie 2 skorodowanie Ri1 korozja w szczelinach	9,1	34
C1	252	2	kredowanie 2	8,2	142
C2	410	2–3	kredowanie 1, na pasie dolnym 2 skorodowanie Ri1	8,6	186
E	281	2	kredowanie 3	8,7	215
F	365	0	kredowanie 1 korozja w szczelinach	9	103
G	188	1	kredowanie 1 korozja na pakietach blach i na powierzchni pasa dolnego	7,7	414

Na podstawie wyników badań wykonanych metodą EIS stwierdzono bardzo dobre właściwości barierowe powłok po kilkunastu latach eksploatacji na mostach. Na wszystkich badanych mostach wartość log IZI przy częstotliwości 0,1 Hz wynosiła w większości przypadków powyżej 8 (tab. 3) – obniżone właściwości barierowe zaobserwowano jedynie miejscowo, co widać na przykładzie mostu w Górze Kalwarii (rys. 1, tab. 4). Nie znaleziono powiązania zmniejszonej odporności powłok z miejscem ekspozycji powłok na mostach – w tym w zależności od ilości zanieczyszczeń jonowych zbadanych jednorazowo w danym miejscu (badania ilości zanieczyszczeń w wytypowanych miejscach są kontynuowane) – zaobserwowano natomiast wyraźne zmniejszenie właściwości ochronnych powłok przy grubości poniżej 250 μm . Zaobserwowano różny stopień kredowania powłoki nawierzchniowej dla różnych systemów powłokowych.



Rys. 1. Most w Górze Kalwarii: a) ogólny widok, b) schemat rozmieszczenia naczynek pomiarowych

Fig. 1. Bridge in Góra Kalwaria: a) general view, b) schematic arrangement of measure vessels

Tabela 4. Moduł impedancji przy częstotliwości 0,1 Hz w zależności od miejsca pomiaru na moście w Górze Kalwarii

Table 4. Impedance modulus at frequency of 0,1 Hz as a function of the measurement location on the bridge in Góra Kalwaria

Naczynko pomiarowe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
log $Z_{0,1}$ po 2h $\Omega \cdot \text{cm}^2$	8,35	8,44	8,80	5,89	6,67	9,04	9,32	9,04	8,55	8,61	8,54	9,65	8,68	8,70	9,79
log $Z_{0,1}$ po 24 h, $\Omega \cdot \text{cm}^2$	8,09	8,19	8,67	6,00	5,71	8,28	9,02	7,97	8,43	8,44	8,35	8,90	8,85	9,03	8,56

6. Wyniki badań laboratoryjnych

5.1. Właściwości fizyko-mechaniczne

Wszystkie systemy powłokowe wybrane z zastosowanych na mostach odznaczają się bardzo dobrą przyczepnością do podłoża i odpornością na uderzenie (100 cm spadku ciężarka) (tab. 5). Wartość siły odrywu dla większości badanych systemów wynosi 8–9 MPa – głównie następuje kohezyjne rozerwanie w powłoce nawierzchniowej lub międzywarstwowej. Nie stwierdzono oderwania systemu powłokowego od podłoża.

Twardość i tłoczność to właściwości silnie powiązane ze sobą i zależne od poszczególnych typów farb w systemie powłokowym. Twardsze powłoki (A, B, C, D i E) charakteryzują się mniejszą tłocznością, a powłoki o mniejszej twardości (systemy F i G) większą.

Tabela 5. Właściwości fizyko-mechaniczne powłok

Table 5. Physico-mechanical properties of coatings

System	Średnia przyczepność		Odporność na uderzenie, cm spadku ciężarka	Twardość, s	Tłoczność, mm
	Met. odrywu, MPa	Met. nacięcia w kształcie X, stopień			
A	8,51 D	0	100	237	0,7
B	9,35 D	0	100	220	0,6
C	9,6 D	0	100	151	1,7
D	8,55 C	0	50	171	1,3
E	8,95 D	0	100	111	1,1
F	5,14 D	0	100	81	1,8
G	9,1 C	0	100	95	6,1

5.2. Odporność powłok na działanie czynników korozyjnych

Po 1440 h ekspozycji w komorze solnej i 8 cyklach badań w zmiennych warunkach (UV/mgła solna/temp. -20°C) na wszystkich niezarysowanych powłokach (płytkach i kształtkach T) nie stwierdzono spęcherzenia ani skorodowania (tab. 7). Pęcherze i korozja pojawiła się tylko na płytkach z rysą, przy czym w warunkach stałego działania czynnika korozyjnego w stałej temperaturze (natrysk 5% roztworu NaCl, temp. 35°C) uszkodzenia w rysie były mniejsze niż w zmiennych warunkach korozyjnych.

Tabela 6. Odporność powłok na działanie mgły solnej i zmiennych warunków
 Table 6. Resistance of coatings to salt spray and changing conditions

System	Rodzaj próbki	Spęcherzenie		Skorodowanie	
		Mgła solna – 1440 h	Warunki zmienne – 8 cykli (1344 h)	Mgła solna – 1440 h	Warunki zmienne – 8 cykli (1344 h)
A	Bez rysy	bz	bz	bz	bz
	Z rysą	pojedyncze S2–S3 wokół rysy	3(S2)–3(S3) wokół rysy	1–3 mm od rysy	3–4 mm od rysy
	Kształtka T	bz	bz	bz	bz
B	Bez rysy	bz	bz	bz	bz
	Z rysą	bz	(S2)–4(S3) wokół rysy	minimalne w rysie	3–6 mm od rysy
	Kształtka T	bz	bz	bz	bz
C	Bez rysy	bz	bz	bz	bz
	Z rysą	bz	2(S3)–4(S4) wokół rysy	minimalne w rysie	5,5–8 mm od rysy
	Kształtka T	bz	bz	bz	bz
D	Bez rysy	bz	bz	bz	bz
	Z rysą	bz	2(S2)–3(S3) wokół rysy	2–4 mm od rysy	do 3 mm od rysy
	Kształtka T	bz	bz	bz	bz
E	Bez rysy	bz	bz	bz	bz
	Z rysą	bz	bz	w rysie	bz
	Kształtka T	bz	bz	bz	bz
F	Bez rysy	bz	bz	bz	bz
	Z rysą	pojedyncze S3–S4 wokół rysy	2(S2) wokół rysy	1–2 mm od rysy	do 2 mm od rysy
	Kształtka T	bz	bz	bz	bz
G	Bez rysy	bz	bz	bz	bz
	Z rysą	bz	2(S2)–(S3) wokół rysy	1–3 mm od rysy	4–6 mm od rysy
	Kształtka T	bz	bz	bz	bz

Badania odporności powłok na czynniki korozyjne są kontynuowane: w komorze solnej – do pierwszych zniszczeń zaobserwowanych na płytkach i kształtkach bez rysy; w zmiennych warunkach korozyjnych – do 25 cykli. Na razie można stwierdzić, że przy podobnym czasie badań większe zniszczenia korozyjne występują w badaniach o zmiennych cyklach. Dotyczy to zarówno skorodowania, jak i spęcherzenia wokół rysy.

5.3. Odporność powłok na przyspieszone starzenie

Powłoki B i G praktycznie nie zmieniły swojej barwy po 1000 h ekspozycji w komorze UV; ΔE poniżej 1 jest niedostrzegalna wizualnie (tab. 7). Największą zmianę barwy wykazała powłoka F ($\Delta E = 5,84$), co jest efektem silnego wyblyszczania powłoki. Różnica barwy pozostałych powłok nie przekracza wartości 5, co jest bardzo dobrym wynikiem

w przypadku tak długiego narażenia na promieniowanie UV emitowane przez lampy UVB 313. Połysk powłok również nie uległ istotnej zmianie.

Dopuszczalne zmiany połysku i barwy przyjęte w normie PN-EN 10169 [24] są następujące (w zależności od kategorii odporności):

- barwa – 3 (kategoria R_{uv2}) lub 5 (kategoria R_{uv3}),
- połysk – 30% (kategoria R_{uv2}) lub 60% (kategoria R_{uv3}).

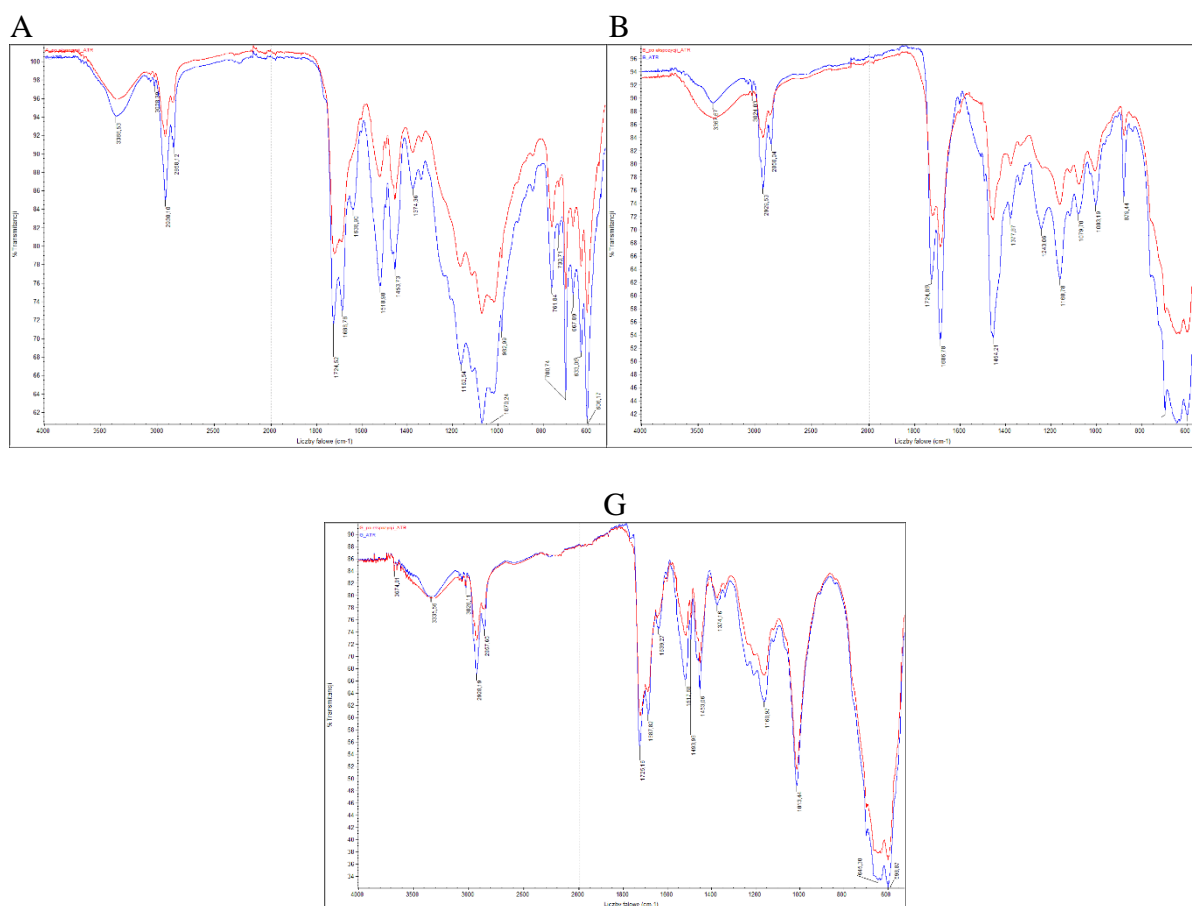
Tak więc zmiana połysku i barwy większości badanych powłok mieści się w podanych w normie zakresach.

Tabela 7. Właściwości powłok po 1000 h ekspozycji w komorze UV
 Table 7. Properties of coatings after 1000 h of exposure in UV chamber

System	Połysk 60°, %			Zmiana barwy ΔE	Kredowanie*, stopień
	wyjściowy	po ekspozycji	Zmiana połysku, %		
A	89	83	-7	3,32	0 (0)
B	89	74	-17	0,69	0 (2)
C	73	67**	-8	2,98	1 (1-2)
D	87	75**	-14	4,36	4 (-)
E	6	5	-17	4,35	0 (3)
F	7	11	+43	5,84	0 (1)
G	75	64	-15	0,36	0 (1)

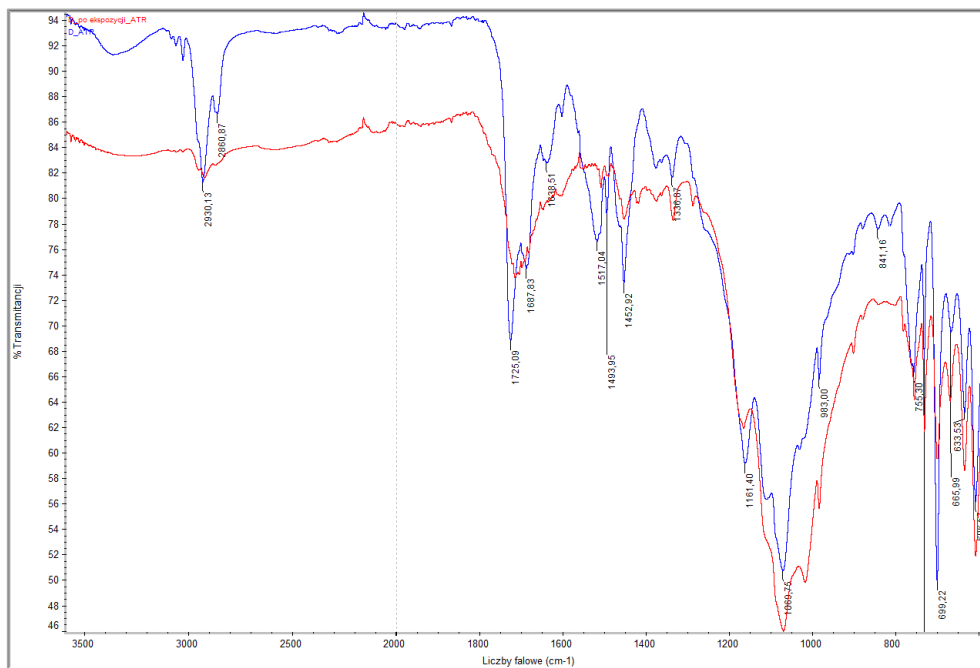
* w nawiasie stopień kredowania w warunkach naturalnych
 ** po usunięciu warstwy skredowanej

Spśród powłok nawierzchniowych wybranych ze stosowanych na mostach najmniejsze zmiany zaobserwowano w przypadku powłok A, B i G. W przypadku tych powłok po ekspozycji stwierdzono obecność wszystkich pasm pochodzących od spoiwa niepoddanego narażeniu na UV (rys. 2).



Rys. 2. Widma powłok nawierzchniowych w systemach A, B i G: linia niebieska – przed ekspozycją, linia czerwona – po 1000 h ekspozycji w komorze QUV
 Fig. 2. Spectra of top coats in systems A, B and G: blue line – before exposure, red line – after 1000 h of exposure in UV chamber

W przypadku powłok C, D, E i F następuje praktycznie całkowity zanik pasm NH⁻ (ok. 3300), CH⁻, CH₂⁻ (2930, 2860, 1452, 1336), C=O (1725, 1687, 1638), C-N, N-H uretanowego (1517) i C-O-C akrylowego (1161), co widać wyraźnie na przykładzie widma powłoki D (rys. 3).



Rys. 3. Widma powłoki nawierzchniowej w systemie D: linia niebieska – przed ekspozycją, linia czerwona – po 1000 h ekspozycji w komorze QUV

Fig. 3. Spectra of top coat in system D: blue line – before exposure, red line – after 1000 h of exposure in UV chamber

Powłoki po kilkunastu latach eksploatacji na mostach zachowują się podobnie jak powłoki po 1000 h ekspozycji w komorze QUV. Pasma w przypadku powłok narażonych na naturalne warunki atmosferyczne na mostach pozostają takie same lub zanikają w taki sam sposób jak w warunkach laboratoryjnych (rys. 4). Stopień skredowania określony na mostach nie zawsze pokrywa się jednak ze stopniem skredowania określonym w laboratorium dla poszczególnych systemów. W warunkach naturalnych skredowanie jest większe niż w komorze (tab. 7).



Rys. 4. Widma powłoki nawierzchniowej w systemie C: linia zielona – powłoka niestarzona, linia niebieska – powłoka starzona w naturalnych warunkach atmosferycznych (zdjętej z mostu), linia czerwona – powłoka starzona w warunkach laboratoryjnych (1000 h w komorze UV)
 Fig. 4. Spectra of top coats in system C: green line – non aged coating, blue line – coating aged in natural environment (removed from the bridge), red line – coating aged in laboratory conditions (1000 h of exposure in UV chamber)

6. Podsumowanie

Wszystkie systemy powłokowe na wybranych mostach zachowały dobre właściwości ochronne; skorodowanie stwierdzono na niektórych mostach jedynie w obszarach krytycznych, głównie w szczelinach lub w miejscach wyraźnych błędów aplikacyjnych. Podobne wyniki uzyskano w badaniach takich samych systemów powłokowych w warunkach laboratoryjnych. W warunkach badań przyspieszonych uszkodzenia powłoki nastąpiły jedynie na powłokach zarysowanych, przy czym można zauważyć, że większe spęczenie i korozja wokół rysy wystąpiły na powłokach narażonych, w podobnym czasie, na działanie zmiennych warunków korozyjnych niż stałych – działanie 5% roztworu NaCl w stałej temperaturze.

Badania powłok w symulowanych warunkach atmosferycznych, w komorze UV, również wykazały podobny mechanizm degradacji jak w przypadku systemów powłokowych narażonych na warunki naturalne. Widma IR powłok usuniętych z mostów i próbek laboratoryjnych świadczą o zanikaniu lub zachowaniu takich samych pasm charakterystycznych dla spoiw poliuretanowych. Pewne różnice wystąpiły w nasileniu zjawiska kredowania.

Powłoki badane w warunkach laboratoryjnych wykazują w większości przypadków bardzo dobrą przyczepność do podłoża i odporność na czynniki mechaniczne, jak również dobre zachowanie barwy i połysku.

Na podstawie wykonanych badań można przyjąć, że wyniki badań laboratoryjnych, otrzymane dotychczas, w dużym stopniu odpowiadają rzeczywistemu zachowaniu się powłok po kilkunastu latach eksploatacji w środowisku naturalnym o kategorii korozyjności C4–C5.

Podziękowania

Praca została wykonana w ramach realizacji projektu CORNET/4/17/2014 „Kryteria i wytyczne oceny i doboru antykorozyjnych systemów malarskich na konstrukcje stalowe/ Criteria and guidelines for evaluation and selection of paint anticorrosive systems for steel structures (DuraCoat)” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

LITERATURA

1. U. Schulz, Accelerated Testing. Nature and Artificial Weathering in the Coatings Industry, Vincentz Verlag, Hannover 2009.
2. D.A. Claydon, Coatings World, 2 (2003) 26–33.
3. P. Schutyser, D.Y. Perera, Proc. ff XXI FATIPEC Congress, Amsterdam 1992, vol. III, p.1.
4. M.J. Crewdson, P. Brennan, J. Prot.Coat. Linings, 9 (1995) 17–25.
5. N.D. Cremer, Polym. Paint. Colour J., 7 (1998) 31–32.
6. L.D. Vincent (ed.), Mater. Perform., 8 (2009) 54–58.
7. B.S. Skerry, C.H. Simpson, Corrosion, 49, 8 (1993) 663–674.
8. B.J. Carlotto et. al., J. Coat. Technol., 68, 858 (1996) 47–61.
9. E.C. Ferlauto et.al., J. Coat. Technol., 66, 835 (1994) 85–97.
10. Y. Korbov, C. Rice, J. Prot. Coat. Linings, 16, 9 (1994) 25–44.
11. PN-EN ISO 4624 Farby i lakiery – Próba odrywania do oceny przyczepności.
12. PN-EN ISO 16276-2 Ochrona konstrukcji stalowych przed korozją za pomocą ochronnych systemów malarskich – Ocena i kryteria przyjęcia adhezji/kohezji (wytrzymałości na odrywanie) powłoki – Część 2: Badanie metodą siatki nacięć i metodą nacięcia w kształcie X.
13. PN-EN ISO 6272-1 Farby i lakiery – Badania nagłego odkształcenia (odporność na uderzenie) – Część 1: Badanie za pomocą spadającego ciężarka, wgłębnik o dużej powierzchni.
14. PN-EN ISO 1522 Farby i lakiery – Badanie metodą tłumienia wahadła.
15. PN-EN ISO 1520 Farby i lakiery – Badanie tłoczności.
16. PN-EN ISO 9227 Badania korozyjne w sztucznych atmosferach – Badania w rozpylonej solance.
17. ISO 20340 Paints and varnishes – Performance requirements for protective paint systems for offshore and related structures.
18. PN-EN ISO 12944 Farby i lakiery Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich Laboratoryjne metody badań właściwości
19. PN-EN ISO 16474-3:2014-02 Farby i lakiery – Metody ekspozycji na laboratoryjne źródła światła – Część 2: Lampy fluorescencyjne UV.
20. PN-EN 13523-10 Metale powlekane metodą ciągłą – Metody badań – Część 10: Odporność na promieniowanie fluorescencyjne UV i kondensację wody.
21. PN-EN 2813 Farby i lakiery – Oznaczanie wartości połysku pod kątem 20 stopni, 60 stopni i 85 stopni.
22. PN-ISO 7724-2 Farby i lakiery – Kolorymetria – Część 2: Pomiar barwy.
23. PN-EN ISO 4628 Farby i lakiery – Ocena zniszczenia powłok – Określanie ilości i rozmiaru uszkodzeń oraz intensywności jednolitych zmian w wyglądzie.
24. PN-EN 10169 Wyroby płaskie stalowe z powłoką organiczną naniesioną w sposób ciągły – Warunki techniczne dostawy.