

Właściwości ochronne systemów powłokowych w naturalnych i laboratoryjnych warunkach korozyjnych

Protective properties of coating systems in natural and laboratory corrosion environments

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, skorodowania i przyczepności oraz właściwości barierowych – metodą elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (EIS). W warunkach laboratoryjnych badano właściwości fizyko-mechaniczne powłok (przyczepność, twardość, 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

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, flaking, cracking, rusting and adhesion. The electrochemical impedance spectroscopy (EIS) was used to test barrier properties. Laboratory tests covered physio-

mechanical properties (adhesion, hardness, 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) [1–5, 10, 20–22, 24]. Ze względu na różnorodność powłok oraz czynników wpływających na ich skuteczność ochronną w środowisku korozyjnym żadna z metod badań przyspieszonych nie jest na

■ Informacje o Autorach:

Dr hab. inż. Małgorzata Zubielewicz ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Pracuje w Instytucie Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, w Oddziale Farb i Tworzyw w Gliwicach. Zajmuje się badaniami właściwości powłok ochronnych w zależności od składu wyrobów lakierowych i środowiska eksploatacji powłok oraz opracowywaniem technologii zabezpieczeń przeciwkorozyjnych. Jest członkiem Zarządu Europejskiej Federacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych Farb i Lakierów (FATIPEC – Federation of Associations of Technicians for Industry of Paints in European Countries) i Zarządu Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego. Zajmuje się również działalnością normalizacyjną: przewodnicząca Komitetu Technicznego PKN Nr 155 „Barwniki, Półprodukty Barwnikarskie, Pigmenty i Wypełniacze” i członek KT Nr 175 „Farby i lakiery”.
e-mail: m.zubielewicz@impib.pl

Dr inż. Anna Ślusarczyk uzyskała tytuł doktora na Politechnice Śląskiej w 2002 r. Od 2003 r. pracuje w Instytucie Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, w Oddziale Farb i Tworzyw w Gliwicach. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z wodorocieńczalnymi wyrobami lakierowymi i ich ochroną przed korozją mikrobiologiczną. Jest redaktorem naczelnym czasopisma „Farby i Lakiery” wydawanym przez OFIT IMPiB.
e-mail: a.slusarczyk@impib.pl

Mgr inż. Grażyna Kamińska-Bach jest absolwentką Politechniki Śląskiej – Wydział Chemiczny, kierunek: Technologia Polimerów i Tworzyw Sztucznych. Od 1997 r. pracuje jako asystent w Instytucie Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników w Oddziale Farb i Tworzyw w Gliwicach, w laboratorium akredytowanym, gdzie zajmuje się badaniami wyrobów lakierowych i tworzyw sztucznych. Specjalizuje się w badaniach techniką chromatografii gazowej oraz spektrofotometrii w podzermieni.
e-mail: g.kaminska-bach@impib.pl

Dr inż. Agnieszka Królikowska jest absolwentką Wydziału Chemii Politechniki Warszawskiej w dziedzinie syntezy organicznej. Pracę doktorską obroniła na Politechnice Gdańskiej w zakresie badań antykorozyjnych powłok lakierowych metodą elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej. Przez wiele lat była kierownikiem pracowni powłok malarskich w Instytucie Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie, obecnie jest kierownikiem zespołu zabezpieczeń antykorozyjnych w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów. Prezes Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego.
e-mail: akrolukowska@ibdim.edu.pl

Mgr inż. Leszek Komorowski jest absolwentem Politechniki Warszawskiej Wydziału Chemii. Obecnie pracuje w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów w Zespole zabezpieczeń Antykorozyjnych Mostów. Zajmuje się badaniami w zakresie zabezpieczenia konstrukcji metalowych przed korozją, w szczególności za pomocą systemu duplex.
e-mail: lkomorowski@ibdim.edu.pl

■ Otrzymano / Received: 23.06.2016 • Przyjęto / Accepted: 18.08.2016

tylu 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.

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 [15],
- przyczepności metodą nacięcia krzyżowego wg PN-EN ISO 16276-2 [13],
- odporności na uderzenie wg PN-EN ISO 6272-1 [17],
- twardości wg PN-EN ISO 1522 [12] (wahadło Persoza),
- tłoczności wg PN-EN ISO 1520 [11].

3.2. Odporność powłok na działanie czynników korozyjnych

Badania odporności systemów powłokowych na działanie czynników korozyjnych wykonano wg PN-EN ISO 9227 [18] oraz wg ISO 20340 [6]. Badania w komorze solnej trwały 1440 h zgodnie z PN-EN 12944-6 [10] dla okresu trwałości powyżej 15 lat i kategorii korozyjności C5I. Jeden

Tabela 1. Charakterystyka wytypowanych mostów

Table 1. Characteristic of selected bridges

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

* zgodnie z tabelą 2

Tabela 2. Systemy powłokowe do badań

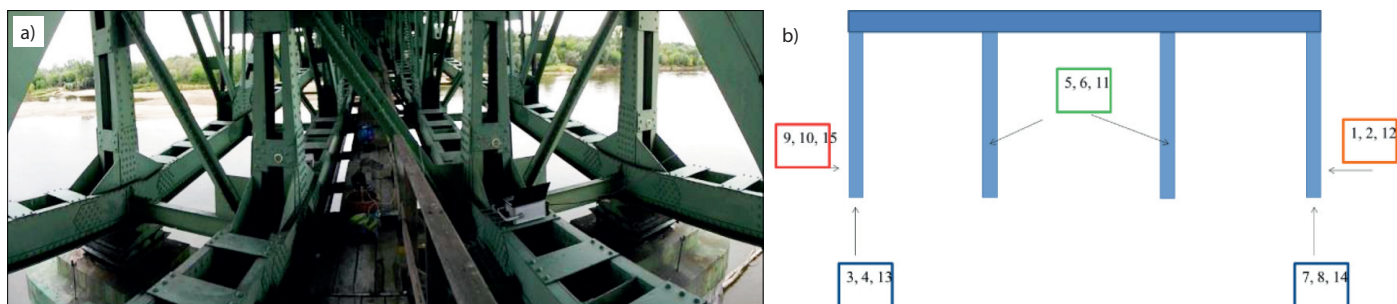
Table 2. Coating systems selected for testing

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 – diizocyjanian heksametylenu

* most po częściowej renowacji; większa grubość spowodowana pozostawieniem części starych powłok

** powłoki na moście przebadano w późniejszym czasie



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

168-godzinny cykl badań wg [6] 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 [14]. 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 [8].

Po 1000 h ekspozycji powłok w komorze UV oznaczono zmianę połysku i barwy. Połysk zmierzono połyskomierzem wielokątowym TRIGLOSS, prod. Byk, wg PN-EN 2813 [9], 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 [19]. 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-ściernej.

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-ściernej do stopnia Sa 2½.

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 $\log IZI$ 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

* oznaczana zgodnie z PN-EN ISO 8502-9 Przygotowanie podłoży stalowych przed nakładaniem farb o podobnych produktów – Badania służące do oceny czystości powierzchni – Część 9. Terenowa metoda konduktometrycznego oznaczania soli rozpuszczalnych w wodzie jako sumaryczna gęstość powierzchniowa soli

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

kredowania powłoki nawierzchniowej dla różnych systemów powłokowych.

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.

5.2. Odporność powłok na działanie czynników korozyjnych

Po 3 x 1440 h ekspozycji w komorze solnej i 25 cyklach badań w zmiennych warunkach (UV/mgła solna/temp. -20°C) na wszystkich niezarysowanych powłokach (płytkach i kształtkach T) nie stwierdzono spęcherzenia ani skorodowania. 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 (Tab. 6).

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 [7] 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.

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).

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

Tabela 6. Odporność powłok z nacięciem na działanie mgły solnej i zmiennych warunków wg ISO 20340

Table 6. Resistance of scratched coatings to salt spray and changing conditions acc. to ISO 20340

System	Spęcherzenie wokół rysy				Skorodowanie wokół rysy, mm			
	Mgła solna, h		Warunki zmienne		Mgła solna, h		Warunki zmienne	
	1440	3 x 1440 (4320)	8 cykli (1344 h)	25 cykli (4200 h)	1440	3 x 1440 (4320)	8 cykli (1344 h)	25 cykli (4200 h)
A	pojedyncze S2–S3	pojedyncze S4	3(S2)–3(S3)	4(S3)–4(S4)	1–3	3–4	3–4	do 7
B	bz	pojedyncze S3–S4	3(S2)–4(S3)	4(S3)–4(S5)	bz	do 1	3–6	5–8
C	bz	bz	2(S3)–4(S4)	5(S4)	bz	do 1	5,5–8	9–16
D	bz	bz	2(S2)–3(S3)	4(S4)	2–4	do 9	do 3	do 6
E	bz	bz	bz	do 3(S3)	bz	do 2	bz	do 6
F	pojedyncze S3–S4	pojedyncze S4–S5	2(S2)	do 2(S3)	1–2	do 2,5	do 2	do 5
G	bz	pojedyncze S4	2(S2)–(S3)	3(S4)–4(S4)	1–3	do 4	4–6	6–7

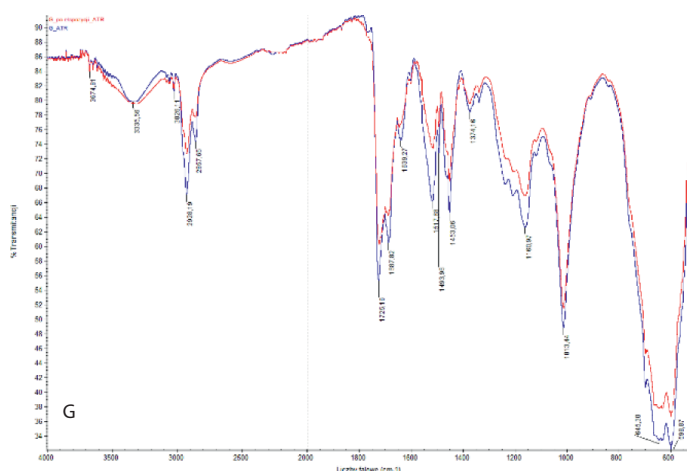
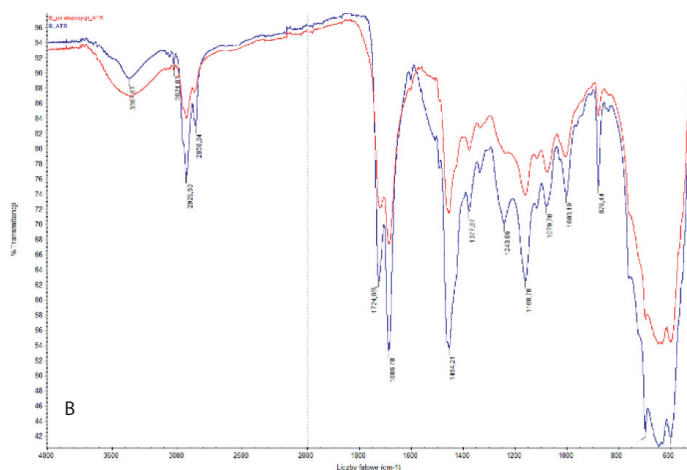
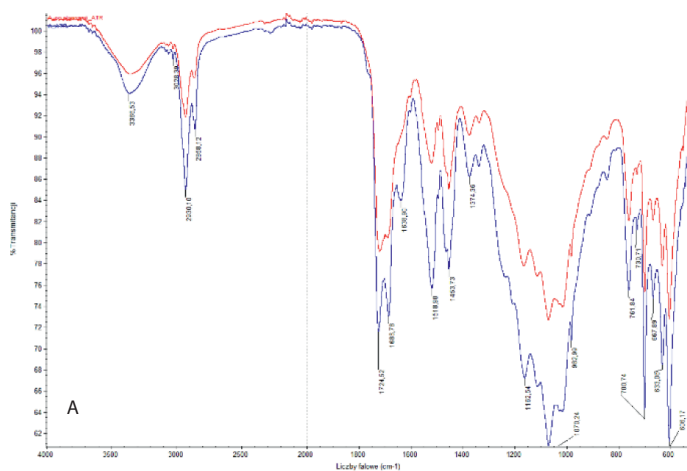
Tabela 7. Właściwości powłok po 1000 h ekspozycji w komorze UV

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

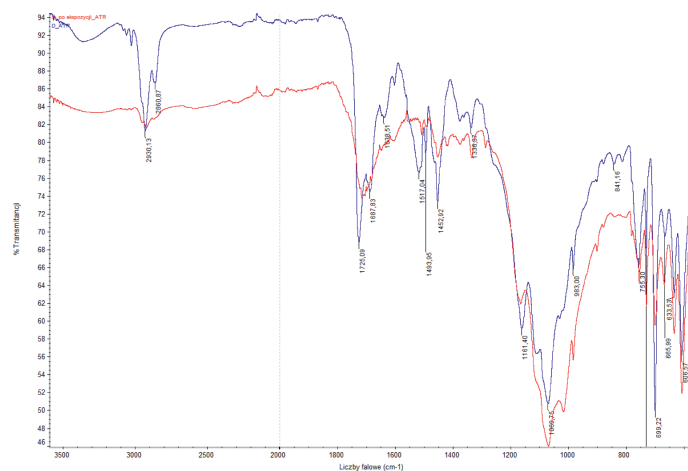
** po usunięciu warstwy skredowanej



Rys. 2. Widma powłok powierzchniowych 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).

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. 3. Widma powłoki powierzchniowej 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



Rys. 4. Widma powłoki powierzchniowej 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; skredowanie 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 spęcherzenie 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] Carlozzo B.J., Andrews, J., Anwari, F., Di Lorenzo, M., Glover, R., Grossman, S., Harding, C., McCarthy, J., Mysza, B., Raymond, R., Skerry, B., Slifko, P.M., Stipkovich, W., Weaver J.C., Wilson, G. 1994. "Correlation of Accelerated Exposure Testing and Exterior Exposure Sites. 2. One-Year Results". *Journal of Coatings Technology*. 68 (858) : 47–61.
- [2] Claydon David A. 2003. "Performance testing of anticorrosive coatings". *Coatings World*. 2 : 26–33.
- [3] Cremer Nigel David. 1998. "From continuous to cyclic salt spray testing". *Polymer Paint and Colour Journal*. 188 (4406) : 31–32.
- [4] Crewdson Michael J., Patrick Brennan. "Outdoor Weathering. Basic Exposure Procedures". 1995. *Journal of Protective Coatings and Linings*. 12 (9) : 17–25.
- [5] Ferlauto EC, Emami M., Galantefox J., M. Grivna, E. Habeck, L. Jones, S. Oebser, J. Prevost, G. Vetter, L. Wood. 1994. "Selection of corrosion test methods based on mechanism principles". *Journal of Coatings Technology*. 66 (835) : 85–97.
- [6] ISO 20340 Paints and varnishes – Performance requirements for protective paint systems for offshore and related structures.
- [7] PN-EN 10169 Wyroby płaskie stalowe z powłoką organiczną naniesioną w sposób ciągły – Warunki techniczne dostawy.
- [8] PN-EN 13523-10 Metale powlekane metodą ciągłą – Metody badań – Część 10: Odporność na promieniowanie fluorescencyjne UV i kondensację wody.

- [9] PN-EN 2813 Farby i lakiery – Oznaczanie wartości połysku pod kątem 20 stopni, 60 stopni i 85 stopni.
- [10] PN-EN ISO 12944 Farby i lakiery Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich Laboratoryjne metody badań właściwości .
- [11] PN-EN ISO 1520 Farby i lakiery – Badanie tłoczności.
- [12] PN-EN ISO 1522 Farby i lakiery – Badanie metodą tłumienia wahadła.
- [13] 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.
- [14] PN-EN ISO 16474-3:2014-02 Farby i lakiery – Metody ekspozycji na laboratoryjne źródła światła – Część 2: Lampy fluorescencyjne UV.
- [15] PN-EN ISO 4624 Farby i lakiery – Próba odrywania do oceny przyczepności.
- [16] PN-EN ISO 4628 Farby i lakiery – Ocena zniszczenia powłok – Określanie ilości i rozmiaru uszkodzeń oraz intensywności jednolitych zmian w wyglądzie.
- [17] 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.
- [18] PN-EN ISO 9227 Badania korozyjne w sztucznych atmosferach – Badania w rozpylonej solance.
- [19] PN-ISO 7724-2 Farby i lakiery – Kolorymetria – Część 2: Pomiar barwy.
- [20] Schulz Ulrich. 2009. *Accelerated Testing. Nature and Artificial Weathering in the Coatings Industry*. Hannover. Wydawnictwo Vincentz Verlag.
- [21] Schutyser Peter, Dan Y. Perera, Proc. XXI FATIPEC Congress, Amsterdam 1992, vol. III, p.1.
- [22] Skerry Brian, S., Charles H. Simpson. 1993. "Accelerated test method for assessing corrosion and weathering of paints for atmospheric corrosion control". *Corrosion*. 49 (8) : 663–674.
- [23] Tait W. Stephen. 2003. "Using Electrochemical Measurements to Estimate Coating and Polymer Film Durability". *Journal of Coatings Technology*. 75 (942) : 45–50.
- [24] Vincent L.D. (ed.). 2009. "Ask the Coatings Experts: Coating Performance Test Methods for Offshore Service Compared to Actual Service Life". *Materials Performance*. 48 (8) : 54–58.

Z KALENDARZA IMPREZ



Polska 2016

Międzynarodowa konferencja Biodeterioration and Protection of Cultural Heritage

8-9.09.2016 • Politechnika Łódzka

Informacje: www.biodeterioration2016.p.lodz.pl,

e-mail: biodeterioration2016@info.p.lodz.pl

Targi Zabezpieczeń Powierzchni SURFPROTECT

18-20.10.2016 • EXPO Silesia, Sosnowiec

Informacje: tel. 32 788 75 40 tel.kom.510 031 691, fax. 32 788 75 03

e-mail: katarzyna.cacala@exposilesia.pl

Kurs IBDiM: Projektowanie i nadzór nad wykonywaniem zabezpieczeń antykorozyjnych na konstrukcjach stalowych:

STAL 3/2016 • 26-30.09.2016

Kurs IBDiM: Projektowanie i nadzór nad wykonywaniem zabezpieczeń antykorozyjnych na konstrukcjach betonowych

BETON 2/2016 • 17-21.10.2016

Informacje: U. Paszek, tel.: 600 457 498, upaszek@ibdim.edu.pl

FROSIO SURFACE TREATMENT TRAINING COURSE

4-14.10.2016 • Gdańsk

Informacje: Teknologisk Institutt, Norwegia

tel. +47 982 90 270, www.ti-norway.com

ADVANCES IN COATINGS TECHNOLOGY

(POSTĘPY W TECHNOLOGII FARB I LAKIERÓW)

8-10.11.2016 • EXPO Silesia, Sosnowiec

Informacje: Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników,

Oddział Farb i Tworzyw, Gliwice, mgr inż. Anna Pająk,

tel. 32 2319043,

e-mail: a.pajak@impib.pl; www.impib.pl

Seminaria i kursy ITB:

Seminarium informacyjne dla producentów betonu towarowego

4.10.2016 • ITB, Warszawa

Informacje: <http://www.itb.pl/seminarium-informacyjne-dla-producentow-betonu-towarowego>

Seminarium szkoleniowe

„Zakładowa Kontrola Produkcji betonu towarowego”

dla kierowników wytwórni, operatorów wężła i laborantów

7-9.11.2016 • ITB, Warszawa

Informacje:

<http://www.itb.pl/seminarium-szkoleniowe-zakladowa-kontrola-produkcji-betonu-towarowego-dla-kierownikow-wytworni>

Kurs „Laborant w laboratorium betonu i kruszyw”

21-24.11.2016 • ITB, Warszawa

Informacje:

<http://www.itb.pl/kurs-laborant-w-laboratorium-betonu-i-kruszyw-4>