

dr inż. Teresa Możaryn^{1*)}
mgr Joanna Kokowska¹⁾
mgr inż. Aleksander Lamenta¹⁾
mgr inż. Damian Wojnowski¹⁾

Zabezpieczanie konstrukcji budowlanych przed agresywnymi wpływami środowiska

Protection of building structures against aggressive impacts of environment

DOI: 10.15199/33.2015.11.14

Streszczenie. Artykuł dotyczy ochrony konstrukcji betonowych przed działaniem czynników niszczących występujących w warunkach użytkowania. Omówiono wymagania odnośnie do wyrobów i systemów przeznaczonych do powierzchniowej ochrony konstrukcji betonowych i żelbetowych, wyspecyfikowane w normie PN-EN 1504-2 oraz w dokumentach opracowanych w Instytucie Techniki Budowlanej. Zamieszczono wyniki badań laboratoryjnych i in situ wykonane w celu oceny trwałości systemu powłokowego stanowiącego zabezpieczenie chłodzi kominowych.
Słowa kluczowe: konstrukcje betonowe i żelbetowe, środowisko agresywne, ochrona powierzchniowa, trwałość.

Abstract. The paper relates to the protection of concrete structures against destructive factors occurring in the conditions of use. Discusses requirements for products and systems for surface protection of concrete and reinforced concrete, specified in PN-EN 1504-2 and in the documents developed at the Building Research Institute ITB. The results of laboratory and in situ tests to assess the durability of the coating system on cooling towers were presented.

Keywords: concrete and reinforced concrete structures, aggressive impact, surface treatment, durability.

Konstrukcje betonowe i żelbetowe użytkowane są w środowisku zewnętrznym oraz wewnętrznym i w związku z tym działają na nie różne czynniki fizyczne i chemiczne, powodujące niszczenie. Od zewnątrz konstrukcje z betonu narażone są na czynniki atmosferyczne oraz działanie gruntu, wody morskiej i środków odładowych [1]. Natomiast wewnątrz obiektów budownictwa przemysłowego, spożywczego lub pokrewnych, w których podczas eksploatacji używane i/lub wydzielane są substancje chemiczne, elementy konstrukcji z betonu narażone są na działanie agresywnych środowisk chemicznych. Szczególną rolę w procesie niszczenia odgrywa woda. Mechanizm niszczenia betonu i zbrojenia z udziałem wody ma charakter fizyczny, chemiczny i elektrochemiczny. Szkodliwe działanie wody polega nie tylko na wchodzeniu przez nią w bezpośrednie reakcje z materiałami konstrukcji żelbetowej, ale przede wszystkim na aktywizowaniu obecnych w środowisku substancji chemicznych powodujących szkodliwe reakcje. Większość substancji chemicznych, z którymi obiekty żelbetowe mają kontakt, nie byłaby agresywna, gdyby nie obecność wody.

Klasyfikację agresywnych oddziaływań niszczących występujących na zewnątrz

obiektów, w warunkach atmosferycznych i w gruntach, zamieszczono w normie PN-EN 206:2014-04 [1]. Obejmuje ona oddziaływanie naturalnych gruntów, wód gruntowych, dwutlenku węgla zawartego w powietrzu, jonów chlorkowych pochodzących z wody morskiej lub ze środków odładowych, wilgoci i mrozu. Zapobieganie przedwczesnemu niszczeniu konstrukcji żelbetowych użytkowanych w środowisku agresywnym rozpoczyna się na etapie projektowania. Uwzględniając zasady i metody ochrony betonu oraz stali zbrojeniowej przed korozją i niszczącymi czynnikami występującymi w warunkach atmosferycznych, wskazuje się odpowiednie techniki zabezpieczenia. Powszechnie stosuje się zabiegi zwiększające trwałość [1, 3, 4] oraz odporność betonu, stanowiące ochronę powierzchniową [5, 6].

Ochrona powierzchniowa konstrukcji betonowych

Zadaniem ochrony powierzchniowej betonu jest przeciwdziałanie procesom niszczącym przez ograniczenie oddziaływania środowiska, stabilizację parametrów betonu decydujących o jego odporności chemicznej i właściwościach ochronnych wobec zbrojenia oraz uodpornienie powierzchni na środowiskowe czynniki degradujące. Ten rodzaj ochrony realizuje się, powlekając powierzchnie stwardniałego betonu wyrobami, które w wyniku reakcji fizykochemicznych tworzą barie-

rę zabezpieczającą w warstwie przypowierzchniowej betonu lub na jego powierzchni. Zasady ochrony powierzchniowej przedstawione w zharmonizowanej normie PN-EN 1504-2:2006 [7] pozwalają na wyeliminowanie lub ograniczenie chemicznych i fizycznych procesów niszczących zachodzących w betonie i elektrochemicznych procesów na powierzchni zbrojenia stalowego. Do ochrony powierzchniowej stosuje się metody podane w tabeli 1 wg normy PN-EN 1504-2:2006 [7] oraz dokumentów krajowych opracowanych w ITB

Tabela 1. Zasady i metody ochrony powierzchniowej konstrukcji betonowych [2, 7, 8]
Table 1. Principles and methods for protection of concrete structures [2,7,8]

Zasada	Metoda
Ochrona przed wnikaniem do betonu niepożądanych substancji	– impregnacja hydrofobizująca – impregnacja – powłoki
Ograniczenie zawilgocenia	– impregnacja hydrofobizująca – impregnacja – powłoki
Zwiększenie odporności na czynniki fizyczne	– impregnacja – powłoki
Zwiększenie odporności na czynniki chemiczne	– impregnacja – powłoki – izolacje chemoodporne [8]
Podwyższenie odporności elektrycznej betonu	– impregnacja hydrofobizująca – impregnacja – powłoki

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Materiałów Budowlanych
^{*)} Autor do korespondencji:
e-mail: t.możaryn@itb.pl

[2, 8]. Są to: impregnacja hydrofobizująca; impregnacja; zabezpieczanie powłokami; izolacje chemo odporne.

Impregnacja hydrofobizująca jest obróbką powierzchni betonu nadającą zdolność odpychania wody. Pory i kapilary nie zostają wypełnione, a jedynie ścianki są powleczone preparatem. Na powierzchni betonu nie powstaje ciągła warstwa preparatu, a wygląd betonu pozostaje niezmienny lub zmieniony w niewielkim stopniu.

Impregnacja to obróbka betonu zmniejszająca jego powierzchniową porowatość i wzmacniająca powierzchnię. Pory i kapilary zostają częściowo lub całkowicie wypełnione. Na powierzchni betonu tworzy się nieciągła cienka warstwa.

Izolacje chemo odporne stanowią powłoki z wyrobów żywicznych, niezbrojone lub zbrojone matą lub tkaniną (laminaty) [8]. Na chronionej powierzchni betonowej tworzą szczelne warstwy wobec parcia cieczy, przyczepne do betonu i odporne na chemiczne oddziaływanie środowiska. Ze względu na rodzaje ochrony stosowane są różne, pod względem materiałowym, rodzaje wyrobów (tabela 2), które charakteryzują się specyficznymi właściwościami, umożliwiającymi wykonanie skutecznego zabezpieczenia betonu przed kompleksowymi fizycznymi i chemicznymi oddziaływaniami występującymi podczas użytkowania konstrukcji.

Tabela 2. Wyroby zalecane do stosowania w metodach ochrony powierzchniowej betonu [2]
Table 2. Products recommended for use in the methods of surface protection of concrete [2]

Metoda ochrony	Rodzaj wyrobu zalecanego do danej metody ochrony
Impregnacja hydrofobizująca	wyroby: silikonowe, silanowe, siloksanowe i inne, oparte na związkach krzemorganicznych, o właściwościach odpychania cząsteczek wody, nie tworzą powłok.
Impregnacja	wyroby z żywic syntetycznych: epoksydowych, poliuretanowych, akrylowych, poliestrowych, np. farby, impregnaty, lakiery, wyroby polimerowo-cementowe, wyroby mineralne, wypełniają pory i kapilary, tworzą powłoki nieciągłe.
Powłoki	żywice syntetyczne i kompozycje z żywic: epoksydowych, poliuretanowych, akrylowych, poliestrowych, poliwęglanowych i inne wyroby polimerowe, wyroby polimerowo-cementowe, wyroby mineralne – tworzące powłoki o grubości do 5 mm, a w szczególnych przypadkach powyżej 5 mm.
Izolacje chemo odporne	żywice syntetyczne oraz kompozycje z żywic syntetycznych: epoksydowych, poliuretanowych, poliestrowych, poliwęglanowych, modyfikowane dodatkami mineralnymi, bitumicznymi, z wkładkami zbrojącymi lub bez. Jako wkładki zbrojące stosuje się maty szklane, tkaniny szklane, tkaniny z włókien syntetycznych, chemo odpornych. Tworzą szczelne wobec parcia cieczy powłoki ciągłe o skończonej grubości.

Właściwości użytkowe wyrobów i systemów przeznaczonych do ochrony powierzchniowej betonu

Właściwości użytkowe dzielą się na dwie kategorie. Do pierwszej zalicza się właściwości wymagane we wszystkich zamierzonych zastosowaniach dla danej zasady i metody ochrony (tabela 3 i 4). Są to właściwo-

Tabela 3. Właściwości użytkowe wyrobów i systemów, wymagane we wszystkich zastosowaniach, dla danej zasady i metody ochrony [7]

Table 3. The characteristics of the products and systems required for all applications, for all indicate principles and methods of protection [7]

Zasada ochrony	Metoda ochrony		
	impregnacja hydrofobizująca	impregnacja	powłoka
Zasada 1 „Ochrona przed wnikaniem”	głębokość wnikania; nasiąkliwość wodą i odporność na alkalia; szybkość wysychania	absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody; głębokość wnikania	przepuszczalność CO ₂ ; przepuszczalność pary wodnej; absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody; przyczepność przy odrywaniu
Zasada 2 „Kontrola wilgoci w betonie”	głębokość wnikania; nasiąkliwość wodą i odporność na alkalia; szybkość wysychania	nie dotyczy	przepuszczalność pary wodnej; absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody; przyczepność przy odrywaniu
Zasada 5 „Zwiększenie odporności fizycznej”	nie dotyczy	odporność na ścieranie; absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody; odporność na uderzenia; przyczepność przy odrywaniu; głębokość wnikania	odporność na ścieranie; absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody; odporność na uderzenia; przyczepność przy odrywaniu
Zasada 6 „Zwiększenie odporności na chemikalia”	nie dotyczy	nie dotyczy	odporność na silną agresję chemiczną; przyczepność przy odrywaniu
Zasada 8 „Podwyższenie odporności betonu”	głębokość wnikania; nasiąkliwość wodą i odporność na alkalia; szybkość wysychania	nie dotyczy	przepuszczalność pary wodnej; absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody; przyczepność przy odrywaniu

ści podstawowe wyrobów, jakie powinny być zawsze spełnione w danej zasadzie i metodzie. Druga kategoria obejmuje właściwości użytkowe wyrobów i systemów wymagane w niektórych, zamierzonych, konkretnych zastosowaniach. Wymagania te wynikają z analizy konstrukcji przeznaczonej do ochrony powierzchniowej, warunków jej użytkowania oraz oceny agresywności śro-

Tabela 4. Właściwości użytkowe wyrobów i systemów, wymagane w Zasadzie 6 „Zwiększenie odporności na chemikalia” i metodzie ochrony izolacjami chemo odporными [8]

Table 4. The performance of products and systems required by the Principle 6 „Resistance to chemicals” and method “chemically resistant insulation [8]

Zasada ochrony	Metoda ochrony izolacja chemo odporna
Zasada 6 Zwiększenie odporności na chemikalia	– odporność na silną agresję chemiczną, – przyczepność przy odrywaniu, – naprężenia zrywające, – wydłużenie względne przy maksymalnym naprężeniu; – przepuszczalność wody pod zwiększonym ciśnieniem

Ocena trwałości systemów powłokowych na podstawie badań

Trwałość zabezpieczeń powierzchniowych można przewidywać na podstawie badań laboratoryjnych, stosując laboratoryjne procedury badań przyspieszonych [1, 2]. Najbardziej jednak wartościowe dane można uzyskać, wykonując badania degradacji powłok w rzeczywistych warunkach użytkowania. W Zakładzie Materiałów Budowlanych ITB wykonano badania, których celem była ocena wpływu wieloletniej eksploatacji powłok (12, 15 i 16 lat), w określonych agresywnych warunkach chłodni kominowych, na właściwości użytkowe powłok zabezpieczających ich zewnętrzne i wewnętrzne powierzchnie. Badaniom poddano dwa systemy powłokowe: epoksydowy – zastosowany na po-

dowiska. Są to właściwości dodatkowe, jakie powinny, łącznie z właściwościami użytkowymi wymaganymi we wszystkich zamierzonych zastosowaniach, spełniać wyroby i systemy przeznaczone do zamierzonego, konkretnego stosowania. W tabeli 5 podano wymagane właściwości w przypadku impregnacji stosowanej jako ochrona fizyczna (np. nabrzeża portowe) i ochrona przed wnikaniem jonów chlorkowych.

Tabela 5. Właściwości użytkowe wyrobów i systemów wymagane w ochronie powierzchniowej metodą impregnacji [7]

Table 5. The performance of products and systems required to protect surface by methods of impregnation [7]

Właściwość użytkowa	Metoda ochrony powierzchniowej betonu impregnacja
Odporność na ścieranie	X
Przepuszczalność pary wodnej	X
Absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody	X
Przyczepność po badaniu kompatybilności cieplnej	X
Odporność chemiczna	X
Oporność na uderzenia	X
Przyczepność przy odrywaniu	X
Klasyfikacja ogniowa reakcja na ogień	X
Odporność na poślizg	X
Głębokość wnikania	X
Dyfuzja jonów chlorkowych	X

wierzchniach wewnętrznych i siloksano-wo/metakrylowy – zastosowany na wewnętrznych i zewnętrznych powierzchniach trzech chłodni kominowych [10]. Na podstawie dokumentacji technicznej dotyczącej badanych obiektów, warunki użytkowania konstrukcji żelbetonowych chłodni kominowych sklasyfikowano następująco:

- ze względu na agresywne oddziaływanie zamrażania/rozmarzania, bez środków odładzających i chlorków, **jako klasę XF₁** (umiarkowane nasycenie wodą) w przypadku powierzchni zewnętrznych i **jako klasę XF₃** (silne nasycenie wodą) w przypadku powierzchni wewnętrznych, z wyłączeniem rejonu w pobliżu korony i korony chłodni;
- ze względu na agresywne oddziaływanie CO₂ z powietrza **jako klasę XC₄** (cykliczne mokre i suche).

Zakres prac podczas wizji lokalnej obiektów obejmował:

- wizualną ocenę stanu żelbetonowych konstrukcji chłodni;
- wizualną ocenę powłok na wewnętrznych i zewnętrznych powierzchniach chłodni;
- pobranie do badań laboratoryjnych próbek odwiertów z powłokami z zewnętrznych i wewnętrznych powierzchni chłodni;
- badania laboratoryjne wybranych właściwości użytkowych pobranych próbek i porównanie ich z wykonanymi w laboratorium i wysezonowanymi próbkami odniesienia z takich samych wyrobów jak na chłodniach.

Program badań laboratoryjnych obejmował oznaczenie: przyczepności do betonu; przepuszczalności wody; grubości powłok

pobranych z wewnętrznych powierzchni chłodni oraz próbek powłok odniesienia wykonanych w laboratorium. W przypadku próbek powłok pobranych z zewnętrznych powierzchni chłodni kominowych i próbek powłok odniesienia zbadano: przyczepność do betonu; przepuszczalność wody; przepuszczalność pary wodnej; przepuszczalność CO₂ oraz grubość (tabela 6).

Tabela 6. Porównanie wyników właściwości użytkowych badanych próbek systemów powłok z kryteriami przyjętymi w normie PN-EN 1504-2

Table 6. Comparison of the technical properties of tested coating samples in accordance with the requirements of EN 1504-2

Wyniki badań (wartości średnie)	Powłoka z systemu epoksydowego po 16 latach użytkowania	Powłoka z systemu siloksano/metakrylowego		Wymagania PN-EN 1504-2
		po 12 latach użytkowania	po 15 latach użytkowania	
Przyczepność do podłoża betonowego [MPa]	2,2 zerwanie kohezyjne w betonie	2,4 zerwanie kohezyjne w betonie	2,4 zerwanie kohezyjne w betonie	≥ 0,8 obciążenia ruchem
Przepuszczalność wody [kg/m ² h ^{0,5}]	< 0,082	0,0038	0,0052	< 0,1
Przepuszczalność pary wodnej [m]	–	7,3	4,7	< 5
Przepuszczalność dwutlenku węgla [m]	–	> 240	92	> 50

Wyniki badań próbek powłok ochronnych wykonanych na wewnętrznych i zewnętrznych powierzchniach chłodni kominowych użytkowanych przez 12, 15 i 16 lat wykazały, że warunki ekspozycji środowiskowych nie spowodowały istotnych uszkodzeń ani pogorszenia właściwości użytkowych powłok. Pomimo wieloletniej ekspozycji w warunkach działania agresywnych środowisk można przyjąć, że poziom wyznaczonych wartości właściwości użytkowych nadal spełniał wymagania normy. W odniesieniu do wymagań normy PN-EN 1504-2 [7], powłoki zakwalifikowano jako chroniące powierzchnie betonowe chłodni kominowych przed wnikaniem substancji agresywnych obecnych w środowisku.

Podsumowanie

Wyroby i systemy stosowane do ochrony powierzchniowej betonu powinny charakteryzować się właściwościami użytkowymi pozwalającymi zrealizować określoną zasadę i metodę ochrony. Wymagania dotyczące ochrony realizowanej metodami impregnacji hydrofobizującej, impregnacji i nakładania powłok określone są w normie PN-EN 1504-2:2006, a ochrony za pomocą izolacji chemoodpornych w dokumencie ITB ZUAT-15/VI. 05-1/2009. Spełnianie wymagań przez wyroby i systemy do ochrony powierzchniowej betonu powinno być potwierdzone deklaracją właściwości użytkowych lub deklaracją zgodności z Aprobata Techniczną. Właściwości użytkowe wy-

robów i systemów, potwierdzone wymiennymi dokumentami, są podstawowymi parametrami, na podstawie których dokonuje się doboru konkretnych rodzajów wyrobów i systemów do właściwej zasady i metody ochrony dla danego zastosowania.

Literatura

[1] PN-EN 206:2014-04 Beton-Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.

[2] Instrukcje, Wytyczne, Poradniki nr 453/2009 Ochrona powierzchniowa betonu w warunkach agresji chemicznej. ITB, Warszawa 2009.

[3] PN-EN 1990:2004 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.

[4] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

[5] PN-EN 1504-9:2008 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 9: Podstawowe zasady dotyczące stosowania wyrobów i systemów.

[6] Poradnik ITB 479/2012 Naprawa i ochrona konstrukcji żelbetonowych, Warszawa, Instytut Techniki Budowlanej 2012.

[7] PN-EN 1504-2:2006 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu.

[8] Zalecenia Udzielania Aprobata Technicznych ITB, ZUAT-15/VI.05-1/2009 Wyroby do zabezpieczania powierzchni betonowych przed korozją Część I: Wyroby do wykonywania ciągłych izolacji chemoodpornych. Ciekłe żywice syntetyczne i kompozycje z żywic syntetycznych.

[9] PN-ISO 15686-2:2005 Budynki i budowle. Planowanie okresu użytkowania. Część 2: Procedury związane z przewidywaniem okresu użytkowania.

[10] Możaryn T., Kokowska J., The service life of coatings systems applied on cooling towers – a laboratory study and in-situ investigations, RILEM Workshop on Long-term performance of cementitious barriers and reinforced concrete in nuclear plants and waste management. EFC Event 317. NUCPERF 2009, March 30 – April 2, 2009, Cadarache, France s. 305 – 312.

Przyjęto do druku: 02.10.2015 r.