

Naprawa i ochrona konstrukcji żelbetowej według norm serii PN-EN 1504 na przykładzie obiektu zabytkowego

Repair and protection of reinforced concrete structures according to the PN-EN 1504 series standards on the example of a historic building

dr inż. Krzysztof Pogan (ORCID: 0009-0002-4990-8215), Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, KP-Project Krzysztof Pogan

DOI: 10.5604/01.3001.0054.6381

Streszczenie: Właściwie zaprojektowany, wykonany, wbudowany i pielęgnowany beton jest wyjątkowo trwałym materiałem budowlanym. Wówczas można stwierdzić, że taki beton stanowi sam dla siebie najlepszą ochronę i gwarantuje trwałość konstrukcji w standardowych warunkach eksploatacji i ekspozycji środowiska. W praktyce jednak konstrukcje wykonane z betonu, w tym żelbetowe, są eksploatowane w różnorodnych warunkach stąd też w zależności od środowiska są narażone na oddziaływanie różnych czynników agresywnych. Po latach eksploatacji, zwłaszcza w przypadku obiektów zabytkowych wymagana jest naprawa i właściwa ochrona. W artykule przytoczono uwarunkowania normowe dotyczące metod napraw i doboru rozwiązań materiałowych. Całość zilustrowano przykładem aplikacji zgodnych z normami materiałów do napraw i ochrony elementów żelbetowych konstrukcji wsporczej zabytkowego wiaduktu.

Słowa kluczowe: beton, trwałość, naprawa betonu, ochrona betonu, normy.

Abstract: Properly designed, constructed, cast and cured concrete is an extremely durable building material. It can then be said that such concrete provides the best protection for itself and guarantees the durability of the structure under standard operating and environmental exposure conditions. In practice, however, structures made of concrete, including reinforced concrete, are operated under a wide variety of conditions and are therefore exposed to a wide range of aggressive factors, depending on the environment. After years of use, especially in the case of historic buildings, repair and proper protection are required. The article discusses the standard requirements for repair methods and the choice of material solutions. It is illustrated with an example of the application of standard-compliant materials for the repair and protection of reinforced concrete elements of a support structure for a historic viaduct.

Keywords: concrete, durability, concrete repair, concrete protection, standards.

1. Wprowadzenie

Witruwiusz w swoim dziele „O Architekturze Ksiąg Dziesięć” wskazuje na trzy podstawowe kryteria odnośnie budowy. Otóż „przy budowie należy uwzględniać: trwałość, celowość i piękno. Trwałość budowli osiągnie się wtedy, gdy fundamenty doprowadzi się do stałego gruntu i gdy spośród wielu materiałów budowlanych przeprowadzi się wybór starannie, nie kierując się skąpstwem” [1].

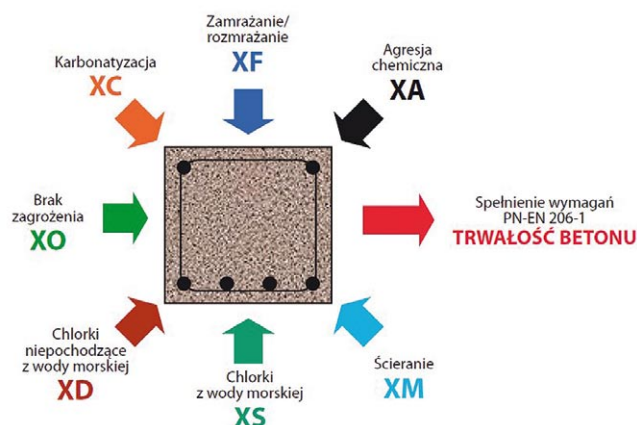
Wspomina także o trwałym materiale powstającym ze zmieszania kilku składników – „istnieje także pewien gatunek pyłu, który dzięki przyrodzonym właściwościom wytwarza rzeczy godne podziwu. Występuje on w okolicy Bajów i na gruntach municypiów leżących dookoła Wezuwiusza. Proszek ten zmieszany z wapnem i łamanym kamieniem nie tylko zapewnia trwałość wszystkich budowli, lecz nawet użyty przy budowie grobli w morzu twardnieje pod wodą” [1]. Dziś wiemy, że miał na myśli mieszkankę betonową, a po stwardnieniu beton.

Obecnie beton i jego właściwości regulują normy dotyczące zarówno samego materiału budowlanego, jak i jego składników [2–5].

Podobnie, obszar trwałości uzależniony od czynników oddziałujących na budowlę już Witruwiusz klasyfikował ze względu na lokalizację – „Wydaje się bowiem, że inny typ budownictwa należy stosować w Egipcie, inny w Hiszpanii, nie taki sam nad Fontem, odmienny w Rzymie oraz w innych krajach i okolicach zależnie od ich właściwości, gdyż jedną okolicę nadmiernie nagrzewa słońce w swym biegu, inna znajduje się w znacznej od niego odległości, a jeszcze inna ma położenie pośrednie i klimat umiarkowany. Podobnie jak właściwości powierzchni ziemi – w zależności od strefy i położenia wobec kręgu zodiaku i biegu słońca – różnie są przez tę naturę wyposażone, wydaje się również, że zgodnie z tymi pracami należy przy planowaniu budowli uwzględnić warunki lokalne i różnice klimatyczne” [1].

2. Uwarunkowania dotyczące trwałości i ochrony betonu

Obecnie mamy zdefiniowane klasy oddziaływania środowiska (rys. 1) i zgodnie z nimi odpowiednie metody ochrony materiałowo-strukturalnej betonu, poprzez określenie



Rys. 1. Klasy ekspozycji według PN-EN 206-1 (klasa XM według PN-B-06265 – krajowego uzupełnienia normy PN-EN 206-1) [6]

minimalnej ilości cementu, minimalnej klasy wytrzymałości na ściskanie, maksymalnego wskaźnika wodno-cementowego, a także poziomu napowietrzenia betonu. Norma PN-EN 206-1 wprowadza nowe podejście do projektowania składu i produkcji betonu oraz oceny jego parametrów technicznych. Nadrzędnym celem spełnienia wymagań zawartych w tej normie jest trwałość betonu pracującego w określonych warunkach środowiskowych, tzw. klasach ekspozycji.

Norma PN-EN 206-1 określa wymagania dotyczące:

- składników betonu,
- właściwości mieszanki betonowej i betonu oraz ich weryfikacji,
- ograniczeń dotyczących składu betonu,
- specyfikacji betonu,
- dostawy mieszanki betonowej,
- procedur kontroli produkcji,
- kryteriów zgodności i oceny zgodności.

Norma PN-EN 206-1 obejmuje wymaganiami beton stosowany do konstrukcji wykonywanych na placu budowy oraz konstrukcji i elementów prefabrykowanych. Stosuje

się ją do mieszanki betonowej zagęszczanej w celu usunięcia zawartego w niej powietrza, które nie pochodzi z celowego napowietrzenia.

Normę PN-EN 206-1 stosuje się do:

- betonu lekkiego o gęstości w stanie suchym $\geq 800 \text{ kg/m}^3$ i $\leq 2000 \text{ kg/m}^3$,
 - betonu zwykłego o gęstości w stanie suchym $> 2000 \text{ kg/m}^3$ i $\leq 2600 \text{ kg/m}^3$,
 - betonu ciężkiego o gęstości w stanie suchym $> 2600 \text{ kg/m}^3$.
- Właściwie zaprojektowany, wykonany, wbudowany i pielęgnowany beton jest wyjątkowo trwałym materiałem budowlanym. Wówczas można stwierdzić, że taki beton stanowi sam dla siebie najlepszą ochronę i gwarantuje trwałość konstrukcji w standardowych warunkach eksploatacji i ekspozycji środowiska.

Wymagania w zakresie składu i ustalonych właściwości betonu są określone dla każdej klasy ekspozycji i dotyczą:

- dopuszczalnych rodzajów i klas składników,
- maksymalnego współczynnika wodno-cementowego (w/c),
- minimalnej zawartości cementu,
- minimalnej klasy wytrzymałości betonu na ściskanie,
- minimalnej zawartości powietrza (w przypadku klasy ekspozycji XF).

Spełnienie wymagań dla składu i właściwości betonu dotyczących wartości granicznych jest równoznaczne z zapewnieniem trwałości betonu, pracującego w określonym środowisku, pod warunkiem:

- zaprojektowania i wykonania odpowiedniej grubości otuliny zbrojenia w betonie,
- prawidłowego doboru klasy ekspozycji,
- prawidłowego wbudowania, zagęszczenia i pielęgnacji betonu zgodnie z odpowiednimi normami,
- stosowania przewidzianej konserwacji konstrukcji.

Wymagania w zakresie składu i ustalonych właściwości betonu w zależności od klasy ekspozycji przedstawione zostały w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości graniczne dla betonu w zależności od klasy ekspozycji

Oznaczenie klasy ekspozycji	Opis środowiska – przykłady występowania klas ekspozycji	Wartości graniczne dla betonu			
		maksymalne w/c	minimalna zawartość cementu [kg]	minimalna klasa wytrzymał. betonu	minimalna zawartość powietrza [%]
Brak ryzyka korozji lub brak oddziaływania XO					
XO	Wszystkie środowiska z wyjątkiem klas ekspozycji XF, XA i XM – dotyczy betonów niezbrojonych; Bardzo suche – dotyczy betonów zbrojonych; (beton wewnątrz budynków o bardzo niskiej wilgotności powietrza)	-	-	C12/15	-
Korozja wywołana karbonatyzacją XC					
XC1	Suche (beton wewnątrz budynków o niskiej wilgotności powietrza lub stale zanurzony w wodzie)	0,65	260	C20/25	-

Tabela 1. – cd.

Oznaczenie klasy ekspozycji	Opis środowiska – przykłady występowania klas ekspozycji	Wartości graniczne dla betonu			
		maksymalne w/c	minimalna zawartość cementu [kg]	minimalna klasa wytrzymał. betonu	minimalna zawartość powietrza [%]
XC2	Stale mokre (powierzchnie betonu narażone na długotrwały kontakt z wodą, np. fundamenty)	0,60	280	C25/30	-
XC3	Umiarkowanie wilgotne (beton wewnątrz budynków o umiarkowanej wilgotności powietrza lub na zewnątrz osłonięty przed deszczem)	0,55	280	C30/37	-
XC4	Cyklicznie mokre i suche (powierzchnie betonu narażone na kontakt z wodą, ale nie jak w klasie XC2)	0,50	300	C30/37	-
Korozja wywołana chlorkami nie pochodzącymi z wody morskiej XD					
XD1	Umiarkowanie wilgotne (powierzchnie betonu narażone na działanie chlorków z powietrza)	0,55	300	C30/37	-
XD2	Mokre, sporadycznie suche (baseny, betony narażone na działanie wody przemysłowej zawierającej chlorki)	0,55	300	C30/37	-
XD3	Cyklicznie mokre i suche (elementy mostów narażone na działanie rozpylonych cieczy zawierających chlorki, nawierzchnie dróg i parkingów)	0,45	320	C35/45	-
Korozja wywołana chlorkami pochodzącymi z wody morskiej XS					
XS1	Działanie soli zawartych w powietrzu (konstrukcje zlokalizowane na wybrzeżu)	0,50	300	C30/37	-
XS2	Stałe zanurzenie w wodzie (elementy budowli morskich)	0,45	320	C35/45	-
XS3	Strefa pływów, rozbryzgów i aerozoli (elementy budowli morskich)	0,45	340	C35/45	-
Korozja poprzez zamrażanie/odmrażanie XF					
XF1	Umiarkowane nasycenie wodą (pionowe powierzchnie betonowe narażone na deszcz i zamrażanie)	0,55	300	C30/37	-
XF2	Umiarkowane nasycenie wodą ze środkami odładzającymi (pionowe powierzchnie betonowe konstrukcji drogowych i mostowych narażone na zamrażanie i działanie środków odładzających z powietrza)	0,55	300	C25/30	4,0
XF3	Silne nasycenie wodą bez środków odładzających (poziome powierzchnie betonowe narażone na deszcz i zamrażanie)	0,50	320	C30/37	4,0
XF4	Silne nasycenie wodą ze środkami odładzającymi (jezdnie dróg i mostów narażone na działanie środków odładzających. Strefy rozbryzgu w budowlach morskich narażone na zamrażanie)	0,45	340	C30/37	4,0
Agresja chemiczna XA					
XA1	Słaba agresja chemiczna (fundamenty narażone na wpływ wód gruntowych. Podpory mostowe w nurtach rzek)	0,55	300	C30/37	-
XA2	Umiarkowana agresja chemiczna (rury i studnie kanalizacyjne, nawierzchnie stacji paliw)	0,50	320	C30/37	-
XA3	Silna agresja chemiczna (kolektory sieci kanalizacyjnych, osadniki w oczyszczalniach ścieków)	0,45	360	C35/45	-
Korozja spowodowana ścieraniem XM					
XM1	Umiarkowane zagrożenie ścieraniem (posadzki i nawierzchnie eksploatowane przez pojazdy o ogumieniu pneumatycznym)	0,55	300	C30/37	
XM2	Silne zagrożenie ścieraniem (posadzki i nawierzchnie eksploatowane przez pojazdy o ogumieniu pełnym oraz wózki podnośnikowe na ogumieniu elastomerowym lub rolkach stalowych)	0,55	300	C30/37	obróbka powierzchni betonu
XM3	Ekstremalnie silne zagrożenie ścieraniem (posadzki i nawierzchnie często najeżdżane przez pojazdy gąsienicowe. Filary mostów, powierzchnie przelewów, ściany spustów i sztolni hydrotechnicznych, niecki wypadowe)	0,45	320	C35/45	kruszywo o wysokiej odporności na ścieranie

Ochrona materiałowo-strukturalna oznacza zwiększenie odporności betonu lub żelbetu przez odpowiedni dobór składu mieszanki betonowej i ukształtowanie właściwej struktury podczas jego wykonywania. Wynika z tego, że ochrona materiałowo-strukturalna powinna stanowić przesłankę dla doboru materiałów zarówno do konstrukcji nowo wznoszonej, jak również do napraw. Ochrona powierzchniowa, jeśli nie została przewidziana projektem i wykonana podczas budowania, może być naniesiona w dowolnym momencie użytkowania. Z reguły jest wymagana po naprawie i to w odniesieniu do całego naprawianego obiektu [7].

Wobec obiektu w stanie użytkowania zastosowanie znajdują trzy główne kierunki działań:

- właściwe zaprojektowanie i wykonanie zapewniające odpowiednią trwałość budowli nowo wznoszonej,
- ochrona przed korozją i zabiegi konserwacyjne podczas użytkowania,
- naprawa i ochrona po naprawie elementów konstrukcji, które uległy uszkodzeniu w czasie użytkowania.

3. Przyczyny uszkodzeń betonu i ich klasyfikacja

Degradacja i korozja betonu jest zjawiskiem złożonym i zróżnicowanym. Dla każdego rodzaju betonu, dla każdego rodzaju czynników korozyjnych proces niszczenia betonu będzie przebiegać inaczej. Aby chronić elementy konstrukcji oraz całe obiekty i zapewnić im wymaganą trwałość, stosuje się ochronę konstrukcyjną, która polega na właściwym ukształtowaniu budowli czy budynku. Obejmuje ona projektowanie elementów o najprostszyc kształtach, tak aby powierzchnia betonu narażona na działanie czynników korozyjnych była jak najmniejsza, bez miejsc, w których mogłyby się gromadzić agresywne pyły, ciecze lub opary. W obiektach narażonych na działanie środowisk agresywnych schemat statyczny i układ konstrukcyjny powinny być dobrane w taki sposób, żeby ewentualne uszkodzenia korozyjne poszczególnych elementów nie powodowały zniszczenia obiektu. Należy także zapewnić możliwość wymiany elementów najbardziej narażonych na korozję, a w rozwiązaniu konstrukcyjnym należy unikać miejsc trudno dostępnych.

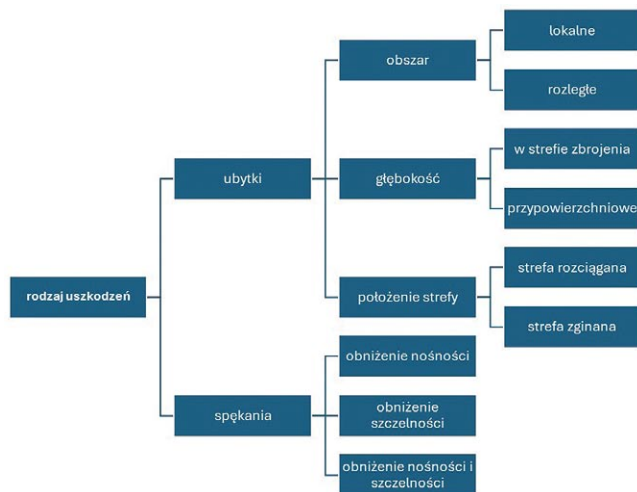
Z kolei drugim sposobem jest ochrona materiałowo-strukturalna elementów nowo wznoszonych (o czym już wspomniano wcześniej), a obejmująca:

- dobór materiałów o możliwie największej odporności na działanie środowiska,
- kształtowanie struktury tworzywa (betonu) utrudniającej wnikanie agresywnych substancji z otoczenia.

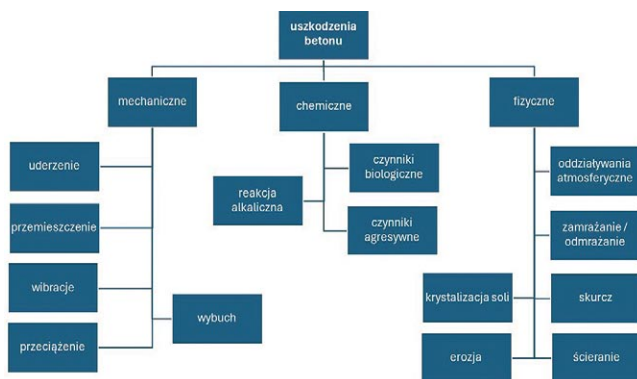
Spękania i ubytki to dwa główne rodzaje uszkodzeń betonu w konstrukcji [7, 8]. Klasyfikację uszkodzeń betonu ilustruje rysunek 2.

Z kolei przyczyny powstawania uszkodzeń betonu leżą po stronie mechanicznej, fizycznej i chemicznej.

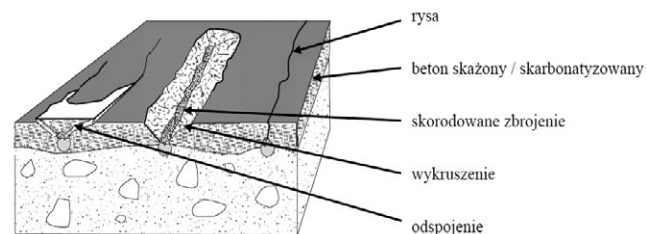
Rodzaje uszkodzeń betonu przedstawia schemat na rysunku 3.



Rys. 2. Klasyfikacja uszkodzeń betonu



Rys. 3. Uszkodzenia betonu



Rys. 4. Schematyczny wygląd uszkodzeń elementu żelbetowego [7]

Natomiast rysunek 4 prezentuje schematyczny wygląd i umiejscowienie poszczególnych rodzajów uszkodzeń elementu żelbetowego, podczas gdy rysunek 5 przedstawia przykładowy widok uszkodzeń żelbetowej konstrukcji wsporczej zabytkowego wiaduktu.

Postępująca degradacja i niszczenie betonu może być potęgowane przez dodatkowe okoliczności, a w szczególności:

- nieodpowiednie w danych warunkach rozwiązanie konstrukcyjne bądź materiałowe,
- nieodpowiednie wymieszanie i zagęszczenie mieszanki betonowej na etapie wbudowywania,
- niewystarczająco szczelna i o zbyt małej grubości otulina zbrojenia,
- niewłaściwa pielęgnacja betonu w okresie dojrzewania,
- prądy błędzące,

- podwyższona temperatura użytkowania, powodująca przyspieszenie przebiegu reakcji chemicznych,
- zmiana schematu obciążeń i wielkości oddziaływań,
- zmiana klasy ekspozycji.

4. Zasady i metody naprawy betonu

Naprawa to złożony sposób postępowania mający na celu całkowite lub częściowe przywrócenie obiektowi szeroko rozumianego stanu użytkowania zakłóconego na skutek złego wykonania – usterki lub uszkodzenia podczas użytkowania.

Naprawa obiektów zdegradowanych polega na przywróceniu właściwego poziomu cech użytkowych betonu lub na ich poprawieniu, w tym szczególnie właściwości ochronnych betonu wobec stali zbrojeniowej.

Cele te osiąga się poprzez naprawę podłoża betonowego, głównie stosując:

- iniekcję rys i pęknięć otuliny betonowej,
- zabezpieczenie zbrojenia,
- uzupełnienie ubytków betonu,
- impregnację betonu/powierzchniową ochronę.



Rys. 5. Widok uszkodzeń żelbetonowej konstrukcji wsporczej zabytkowego wiaduktu (archiwum autora)

Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) opracował wieloarkusową normę pod ogólnym tytułem „Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji z betonu”. Zestawienie numerów poszczególnych arkuszy z ich tytułami przedstawia tabela 2.

Zgodnie z normą PN-EN 1504-9 [9] wyróżniamy następujące zasady i metody napraw betonu:

- ochrona przed wnikaniem – ograniczenie lub uniemożliwienie wnikania szkodliwych substancji (wody, innych cieczy, par, gazów, czynników chemicznych i biologicznych). Do dyspozycji mamy tu kilka sposobów – impregnacja, powłoki ochronne, lokalne scalanie rys, wypełnienie rys, przekształcanie rys w złącza, zewnętrzne osłony, wykładziny;
- ograniczanie zawilgocenia – utrzymanie zawilgocenia betonu na do-

puszczalnym poziomie dzięki zastosowaniu hydrofobizacji, powłok ochronnych, osłon i okładzin bądź przez ochronę elektrochemiczną;

- odbudowanie elementu – przywrócenie elementowi betonowemu założonego kształtu i funkcji; częściowa wymiana betonu. Można to uzyskać przez ręczne nakładanie zaprawy naprawczej, nałożenie warstwy betonu, natryskiwanie betonu lub zaprawy naprawczej lub przez wymianę elementu;

Tabela 2. Zharmonizowane normy europejskie serii PN-EN 1504

Numer normy	Tytuł
PN-EN 1504-1	Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 1: Definicje
PN-EN 1504-2	Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu
PN-EN 1504-3	Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 3: Naprawy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne
PN-EN 1504-4	Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 4: Łączenie konstrukcyjne
PN-EN 1504-5	Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 5: Iniekcja betonu
PN-EN 1504-6	Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 6: Kotwienie stalowych prętów zbrojeniowych
PN-EN 1504-7	Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 7: Ochrona zbrojenia przed korozją
PN-EN 1504-8	Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością oraz ocena i weryfikacja stałości właściwości użytkowych – Część 8: Sterowanie jakością oraz ocena i weryfikacja stałości właściwości użytkowych
PN-EN 1504-9	Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 9: Ogólne zasady dotyczące stosowania wyrobów i systemów
PN-EN 1504-10	Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 10: Stosowanie wyrobów i systemów na placu budowy oraz sterowanie jakością prac (wersja angielska)

- wzmacnianie konstrukcji – przywrócenie lub zwiększenie nośności elementu konstrukcji. Do wykorzystania jest tutaj kilka metod: uzupełnienie lub wymiana prętów zbrojeniowych lub zewnętrzne zbrojenie, zabetonowania prętów w uprzednio przygotowanych otworach w betonie, doklejenie płyt, nadkład zaprawy lub betonu, iniekcja rys, pustek i przerw, wypełnienie rys, pustek, przerw, sprężenie;
- odporność fizyczna – zwiększenie odporności na oddziaływanie mechaniczne lub inne fizyczne stosując powłoki lub wykładziny ochronne lub impregnację;
- odporność chemiczna – zwiększenie odporności powierzchni betonu na destrukcję czynnikami chemicznymi stosując powłoki lub wykładziny ochronne lub impregnację.

5. Zastosowania zapraw naprawczych na przykładzie obiektu zabytkowego

Naprawa obiektów historycznych jest zadaniem wieloaspektowym i wymagającym wielu zabiegów technologicznych, poprzedzonych rzetelną analizą przyczyn zaistniałego stanu. Warunkiem udanej rewitalizacji jest odpowiedni dobór materiałów, gdzie kluczowym zagadnieniem jest fizyczna i chemiczna ich kompatybilność z podłożem i rodzimymi materiałami, używanymi do wznoszenia obiektów. Ingerencja konserwatorska nie może być ostateczna, ale zawsze odwracalna. Cały proces jest skomplikowany i oparty na próbie powrotu i stworzenia materiału, który będzie najbliższy stosowanemu wiele lat temu. Ochrona i renowacja obiektów żelbetowych jest prostsza niż w przypadku najczęściej wiekowych już budowli murowanych. W XIX-wiecznych

konstrukcjach żelbetowych spoiwem jest cement, który niewiele różni się od obecnie produkowanych zapraw. Brak zasadniczych zmian w cemencie jako spoiwie sprawia, że nie jest trudno stosować ogólnodostępnych materiałów naprawczych. Jedyną trudność polega na odpowiednim zdiagnozowaniu występującego zniszczenia oraz zaproponowanie odpowiednich rozwiązań [10].

Zanim przystąpi się do wykonywania napraw elementów betonowych, niezbędna jest analiza stanu istniejącego, przyczyn uszkodzeń, badania podłoża i wreszcie projekt napraw, zawierający dobór rozwiązań materiałowych i opis technologii wykonania prac.

Pierwszym etapem napraw jest przygotowanie podłoża polegające przede wszystkim na usunięciu zdegradowanego betonu, oczyszczeniu odsłoniętych prętów zbrojeniowych i oczyszczeniu powierzchni.

W omawianym przypadku obiektu zabytkowego, zdegradowany beton oraz odspojone fragmenty napraw wykonywanych w przeszłości, usunięto mechanicznie rozkuwając te miejsca (rys. 6). Aby ocenić czy usunięto cały zniszczony beton i odsłonięto w ten sposób zdrowy beton, wykonywano wskaźnikowy „Test tęczowy” (kompozycja płynów wskaźnikowych Rainbow Indicator), który pozwala ocenić zasięg (głębokość) i intensywność (profil) procesu karbonatyzacji, dzięki przebarwianiu się na różne kolory w zakresie od pH 5 do pH 13 (rys. 7).

Kolejny etap prac to czyszczenie całej konstrukcji żelbetowej, metodą hydromonitoringu – woda pod wysokim ciśnieniem (rys. 8). W ten sposób usunięto wszelkie zabrudzenia, resztki luźno związanych części zdegradowanego



Rys. 6. Rozkuwanie odspojonego i zdegradowanego betonu, pozostałego po poprzednich naprawach obiektu zabytkowego (archiwum autora)



Rys. 7. Test tęczowy (Rainbow Indicator) na powierzchni betonu podczas skuwania zdegradowanej warstwy (archiwum autora)



Rys. 8. Hydromonitoring powierzchni betonowej (archiwum autora)

Rys. 9.

Strumieniowo-ściernie czyszczenie odsłoniętych prętów zbrojeniowych (archiwum autora)



betonu oraz nawilżono podłoże przed nakładaniem zaprawy naprawczej.

Odsłonięte pręty zbrojeniowe czyszczone metodą strumieniowo-ścierną (woda z piaskiem) – rysunek 9.

Wybór zapraw naprawczych opierał się nie tylko na analizie właściwości i zgodności z normą PN-EN 1504-3, ale w tym konkretnym przypadku, obiektu zabytkowego, niezbędne było także wykonanie pól próbnych aby uzyskać akceptację nie tylko projektanta, ale przede wszystkim służb konserwatorskich. Ocenie podlegał także wygląd powierzchni po aplikacji zapraw PCC. Kluczowe w tym aspekcie były właściwości użytkowe podczas nakładania zapraw (dobra przyczepność do podłoża, urabialność, łatwość obróbki powierzchni) oraz uzyskany efekt końcowy.

Do zabezpieczenia prętów zbrojeniowych, po ich oczyszczeniu, zastosowano materiał cementowo-polimerowy zgodny z PN-EN 1504-7 (rys. 10).

Zaprawę naprawczą do reprofiliacji elementów żelbetowych i uzupełnienia ubytków nakładano metodą natrysku. Z kolei

Rys. 11. Widok pomalowanej żelbetowej konstrukcji wsporczej zabytkowego wiaduktu; w celu ułatwienia zmywania niechcianej grafiki (graffiti) elementy konstrukcji żelbetowej zostały zabezpieczone powłoką „anty-graffiti” (archiwum autora)

**Rys. 10.**

Zabezpieczenie prętów zbrojeniowych materiałem cementowo-polimerowym (archiwum autora)



powierzchnię części elementów wymagających uzyskania gładkiej struktury wyrównywano zaprawą droбноziarnistą spełniającą wymagania normy PN-EN 1504-2.

Naprawioną w ten sposób konstrukcję żelbetową (łuki, portale, belki Vierendeela), zabezpieczono przed karbonatyzacją i nadano kolorystykę, zgodną z projektem i wymaganiami służb konserwatorskich, stosując farbę akrylową, zgodną z normą PN-EN 1504-2 (rys. 11).

6. Podsumowanie

Opisano powyżej jedynie początkowy fragment robót budowlanych z zakresu napraw i zabezpieczenia żelbetowej konstrukcji wsporczej zabytkowego wiaduktu. W chwili powstawania artykułu prace naprawcze jeszcze trwają. Czyszczeniu i zabezpieczeniu podlega także konstrukcja stalowa płyty jezdnej tego wiaduktu. Przed przystąpieniem do reprofiliacji poszczególnych elementów żelbetowych montowane są także protektory korozji, wykorzystujące katodową metodę ochrony zbrojenia konstrukcji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Witruwiusz, O Architekturze Ksiąg Dziesięć, tłumaczenie Kazimierz Kumaniecki, Wydawnictwo Prószyński i S-ka, 1999
- [2] PN-EN 206:2014 Beton: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [3] PN-EN 197-1:2012 Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku
- [4] PN-EN 12620-A1:2010: Kruszywa do betonu
- [5] PN-EN 934-1 i 2:2010: Domieszki do betonu
- [6] Beton wg normy PN-EN 206 wraz z krajowym uzupełnieniem PN-B 06265, broszura informacyjna Górażdże Heidelberg Materials
- [7] Czarnecki L., Emmons P. H., Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych, Polski Cement, Kraków, 2002
- [8] Czarnecki L., Łukowski P., Naprawy i ochrona konstrukcji betonowych w świetle Norm Europejskich, Konferencja Dni Betonu 2008, Wisła 13–15.10.2008
- [9] PN-EN 1504-9:2010: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 9: Ogólne zasady dotyczące stosowania wyrobów i systemów
- [10] Pogan K., Żelbet też się starzeje, Renowacje i Zabytki 1/2015