



LECH CZARNECKI, *L.Czarnecki@il.pw.edu.pl*
Politechnika Warszawska, Instytut Techniki Budowlanej
PAWEŁ ŁUKOWSKI, *P.Lukowski@il.pw.edu.pl*
Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej
JACEK ŚLIWIŃSKI, *jsliwins@imikb.wil.pk.edu.pl*
Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

MATERIAŁOWE UWARUNKOWANIA AWARII I NAPRAW KONSTRUKCJI Z BETONU

MATERIAL ASPECTS OF FAILURES AND REPAIRS OF CONCRETE STRUCTURES

Streszczenie W pracy dokonano analizy dorobku pięciu ostatnich konferencji „Awarie Budowlane” w zakresie materiałowych aspektów uszkodzeń i awarii obiektów budowlanych. Szczególną uwagę zwrócono na rozwiązania materiałowo-technologiczne napraw konstrukcji z betonu. Stwierdzono, że w prezentowanych na konferencjach referatach nie są przywoływane normy z serii PN-EN 1504, dotyczące materiałów do napraw i ochrony konstrukcji betonowych. Spostrzeżenie to stanowiło przesłankę bardziej całościowego przedstawienia powyższego zbioru norm w niniejszej publikacji. Omówiono strukturę normy PN-EN 1504 oraz przedstawiono zakres tematyczny jej poszczególnych części, ze szczególnym uwzględnieniem części 9, pełniącej w omawianym zbiorze funkcję szczególną. Zwrócono uwagę na obecne w PN-EN 1504 nowe podejście, polegające na traktowaniu ochrony i napraw jako elementu strategii zarządzania konstrukcją.

Abstract The output of the last five conferences „Structural Failures” has been analyzed in the range of the material aspects of damages and failures of the construction objects. The particular attention has been paid to the material and technological solutions addressed to the repairing of the concrete structures. It has been found out, that the authors of the papers presented within the conference do not refer to the European Standards PN-EN 1504, dealing with the materials for repair and protection of the concrete structures. This observation was an assumption for the presentation of the above series of the Standards in this paper. The structure of the European Standard PN-EN 1504 has been described and the range of its provisions presented, taking into particular consideration the Part 9 “General principles” which plays a specific role in the described set of the Standards. The location of the repair and protection within the structure management strategy has been pointed to as the new approach present in the European Standard PN-EN 1504.

1. Wprowadzenie

Problematyka awarii i napraw obiektów betonowych stanowi jedną z najliczniej reprezentowanych grup tematycznych referatów przedstawianych podczas dotychczasowych 24 edycji Konferencji Naukowo-Technicznej „Awarie Budowlane”. Jest to w pełni zrozumiałe, ponieważ obiekty betonowe, zarówno już eksploatowane, jak i nowoznoszone, ilościowo wyraźnie dominują we współczesnym budownictwie, o czym świadczy także fakt, iż na terenie Europy prace budowlane o charakterze napraw, modernizacji i wzmocnień konstrukcji betonowych stanowią szacunkowo ponad 60% ogółu prac [17].

Szeroko pojęta, skuteczna naprawa obiektów betonowych jest w większości przypadków zabiegiem skomplikowanym, którego końcowy efekt zależy od wielu czynników, w tym przede wszystkim od właściwego doboru materiałów i systemów naprawczych oraz poprawności przeprowadzenia, nierzadko licznych, operacji.

Od niedawna (w całości – od zeszłego roku) polski inżynier otrzymał bardzo przydatne narzędzie ułatwiające zarówno diagnostykę stanu konstrukcji, jak i prawidłowe zaplanowanie oraz przeprowadzenie robót naprawczych, w tym dokonanie właściwego doboru stosowanych materiałów lub ich systemu. Narzędziem tym jest pakiet dziesięciu norm PN-EN 1504 pod wspólnym tytułem Wyroby i systemy do ochrony napraw i konstrukcji z betonu. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Normy te w sposób istotny zmieniają podejście do prac naprawczo-modernizacyjnych oraz porządkują i systematyzują związaną z nimi problematykę. Stanowią one dla inżyniera budownictwa rodzaj szczegółowego, wykorzystującego współczesny stan wiedzy, nowoczesnego przewodnika. Z tego powodu normy te zasługują na możliwie szerokie ich rozpropagowanie, dla którego najbardziej właściwym forum jest niewątpliwie Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”. Mając to na uwadze, mimo licznych prac opublikowanych już na temat norm serii PN-EN 1504 (np. [15÷22, 46, 47]), autorzy uznali za stosowne przedstawienie tytułowego zagadnienia uczestnikom Konferencji. Za celowością prezentacji istoty i zawartości norm serii PN-EN 1504 właśnie podczas konferencji „Awarie Budowlane”, przemawiają także liczne, prezentowane na niej w ostatnim dziesięcioleciu, prace poświęcone problematyce napraw uszkodzonych obiektów betonowych.

2. Charakterystyka materiałowych aspektów awarii i napraw prezentowanych podczas konferencji „Awarie Budowlane” w ostatnim dziesięcioleciu

2.1 Charakterystyka ogólna

Przeprowadzony przez autorów przegląd materiałów konferencyjnych z okresu ostatnich 10 lat, obejmujący pięć edycji Konferencji (od XX do XXIV), pozwolił na wytypowanie ponad 40 opracowań (patrz literatura), w których autorzy w sposób wyraźny jako jedną z przyczyn wskazywali niepoprawną jakość zastosowanych materiałów i/lub podali koncepcję naprawy z ogólnym lub bardziej szczegółowym wskazaniem zalecanych rozwiązań materiałowo-technologicznych. Referaty stanowiące podstawę przeprowadzonych analiz pochodzą z następujących grup tematycznych Konferencji: konstrukcje betonowe (18), mosty (4), budownictwo ogólne (6), konstrukcje stalowe (0) i materiały budowlane (13). Wśród tych opracowań zdecydowaną większość (ok. 88%) stanowią referaty dotyczące betonu i obiektów betonowych [1÷13, 23÷25, 27÷31, 33÷35, 37, 39÷41, 43÷45, 48, 50÷53]. Pozostałe referaty były związane z destrukcją materiału w konstrukcjach drewnianych (ok. 7%) [36, 38, 42] i murowanych (ok. 5%) [14, 32]. Warto wspomnieć, że w żadnym z opisywanych przypadków za awaryjny stan obiektu nie był odpowiedzialny jedynie i wyłącznie beton. Na podkreślenie zasługuje także fakt, iż w grupie „konstrukcje stalowe” nie natrafiono na ani jedno opracowanie, w którym jako choćby jedną z przyczyn awarii wskazywano by niewłaściwą jakość stali.

Omawiane w innych, nieprzywoływanych tu referatach, awarie konstrukcji betonowych, często były spowodowane przyczynami wyłącznie pozamateriałowymi, takimi jak błędy w projektowaniu, niezgodne z projektem wykonawstwo oraz nieprawidłowa eksploatacja, w tym zupełne zaniechanie prac związanych z utrzymaniem obiektu. Zwrócić należy uwagę, że większość opisywanych w referatach awarii konstrukcji z betonu wskazuje na istnienie swoistej wewnętrznej sprzeczności w relacji materiał-awaria. Polega ona na tym, iż objawy awarii przejawiają się niemal zawsze w materiale (zainicjowanie i postępująca destrukcja

oraz zniszczenie), zaś przyczyny (błędy projektowe i/lub wykonawcze oraz eksploatacyjne) leżą zazwyczaj poza materiałem.

2.2 Awarie obiektów wywołane między innymi złą jakością betonu

Na wstępie należy podkreślić, że opisywane w analizowanych referatach awarie obiektów betonowych niemal nigdy nie były spowodowane jedną przyczyną. Najczęściej były one efektem kumulacji różnych czynników: błędów w projektowaniu konstrukcji, błędów wykonawczych (w tym także i materiałowych) oraz niewłaściwej eksploatacji obiektu.

W opisywanych przypadkach awarii obiektów betonowych, w licznych przypadkach ich przyczyny leżały – zdaniem autorów – także po stronie niewystarczających właściwości betonu, a dokładniej po stronie osób odpowiedzialnych za jego niewłaściwe wykonanie lub niewłaściwą ocenę warunków, w jakich będzie eksploatowany. W kilku przypadkach stwierdzona zła jakość betonu wynikała z jego naturalnego zużycia w trakcie długotrwałej [11, 23, 29], w tym nawet i stuletniej [11, 23], eksploatacji. W wielu przypadkach autorzy, nie wnikając w szczegóły, stwierdzają ogólnie złą jakość betonu, w tym zaniżoną jego wytrzymałość [3, 4, 24, 31, 33, 43, 52]. Wśród wymienianych przyczyn złej jakości betonu pojawiają się obie podstawowe możliwości, a mianowicie:

- niewłaściwy skład betonu [1, 9, 39, 45],
- niepoprawne układanie i zagęszczenie mieszanki oraz niewłaściwa pielęgnacja młodego betonu [2, 3, 7, 10, 24, 28, 41, 45, 48].

Efektom popękania błędów były:

- nadmierny skurcz betonu i/lub odkształcenia cieplne, powodujące zarysowania,
- brak wystarczającej szczelności materiału i spowodowana tym obniżona trwałość betonu, objawiająca się nadmierną podatnością na oddziaływanie czynników zewnętrznych, zwłaszcza wody i rozpuszczonych w niej substancji agresywnych.

Powyższym objawom towarzyszyła zazwyczaj także zaniżona wytrzymałość materiału. Liczne są również informacje o niedostosowaniu właściwości betonu do rzeczywistych warunków jego eksploatacji [4, 5, 8, 25], co wynikało zapewne z braku dbałości o wcześniejsze szczegółowe ich rozpoznanie i w konsekwencji zastosowanie materiału o nieodpowiednich właściwościach. Należy tu przypomnieć, że właściwe rozpoznanie warunków użytkowania betonu leży u podstaw stosowania zaleceń PN-EN 206-1. Norma ta rozróżnia praktycznie wszystkie możliwe warunki, w jakich może być eksploatowany beton (klasy ekspozycji) oraz podaje skorelowane z nimi wymagania dotyczące jego składu. Brak rzetelnych i kompletnych informacji o warunkach przyszłej eksploatacji uniemożliwia właściwe zaprojektowanie jakościowego i ilościowego składu betonu. W konsekwencji, brak uwzględnienia warunków użytkowania lub błędne ich zdefiniowanie, stanowi błąd o charakterze projektowym (projektowanie materiałowe), a nie mankament samego materiału.

Niemal we wszystkich cytowanych referatach pojawiają się także informacje o złym lub bardzo złym wykonaniu elementów betonowych, objawiającym się na przykład źle wykonanymi przerwami roboczymi [39], niewłaściwą grubością otuliny zbrojenia [2, 13, 24], itp.

2.3 Rozwiązania materiałowe stosowane w naprawach

Omawiane w referatach uszkodzenia obiektów betonowych są zazwyczaj typowe i obejmują przede wszystkim zarysowania i spękania betonu oraz degradację otuliny betonowej, połączoną z korozyjnymi uszkodzeniami zbrojenia. Większość napraw polega zatem na przeprowadzeniu iniekcji, reprofilacji oraz ewentualnie wykonaniu powłoki zabezpieczającej.

Najczęściej zalecane naprawy polegały na typowych zabiegach w postaci: skucia zużytego betonu, oczyszczenia i ewentualnego uzupełnienia oraz zabezpieczenia stali zbrojeniowej, reprofilacji przekroju z zastosowaniem warstwy szczepnej oraz ewentualnego zabezpieczenia powierzchni elementu powłoką odcinającą beton od czynników środowiskowych. Zabiegi takie, w wymienionym zestawie lub stosowane osobno, zostały zaproponowane w referatach [1, 2, 3, 6, 8, 11, 23, 25, 29, 30, 39, 40, 44, 53]. Niestety, ze zrozumiałych względów autorzy nie podają szczegółów dotyczących stosowanych materiałów, ograniczając się z reguły do bardzo ogólnych informacji. Wynika z nich, że do reprofilacji stosowane są najczęściej kompozyty polimerowo-cementowe, PCC [2, 8, 11, 25, 39, 40, 43, 44, 53] lub żywiczne, PC [6]. W niektórych przypadkach materiałem naprawczym był beton zwykły lub zwykła zaprawa cementowa [1, 6], ewentualnie beton zbrojony włóknami stalowymi [29], w tym układane metodą natryskową. Sporadycznie stosowany był także beton samozagęszczalny w wersji dostosowanej do betonowania pod wodą [31].

W przypadku iniekcji, mającej na celu przywrócenie ciągłości elementu lub uszczelnienie rysy, stosowane są zazwyczaj materiały zawierające polimery [3, 11, 24, 39, 44]. Zabezpieczenia powłokowe w proponowanych rozwiązaniach wykonywane są jako laminaty poliestrowo-szklane [8, 39] lub powłoki elastyczne, w tym bitumiczne [3, 11].

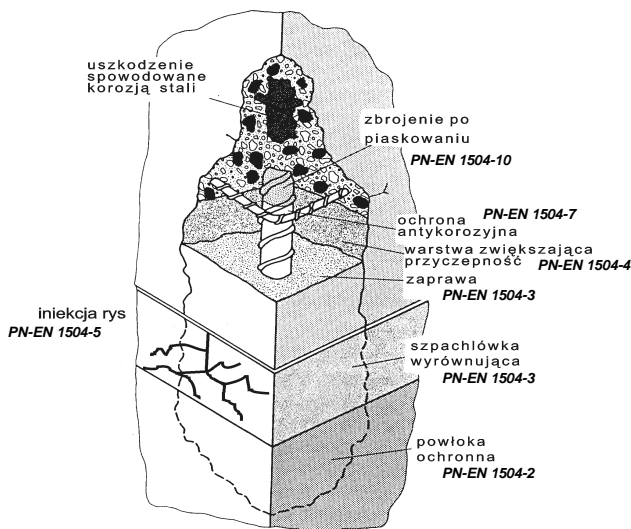
Bardzo często w przypadku przywracania nośności elementów lub ich wzmacniania jako materiał naprawczy stosowane są nowoczesne wyroby z kompozytów polimerowych zbrojonych włóknami węglowymi [2, 6, 14, 44].

Znamienne jest, że w żadnym z referatów prezentowanych na konferencji w ostatnich 10 latach, w których jest mowa o naprawach konstrukcji betonowych, autorzy nie przywołują norm z serii PN-EN 1504, mimo, że pierwsze ogólne informacje o niej publikowane były w połowie lat 90 ubiegłego wieku, zaś informacje bardziej szczegółowe co najmniej od roku 2005. Spostrzeżenie to stanowiło dla autorów referatu dodatkowy argument przemawiający za celowością przedstawienia pakietu norm PN-EN 1504 podczas konferencji „Awarie Budowlane”.

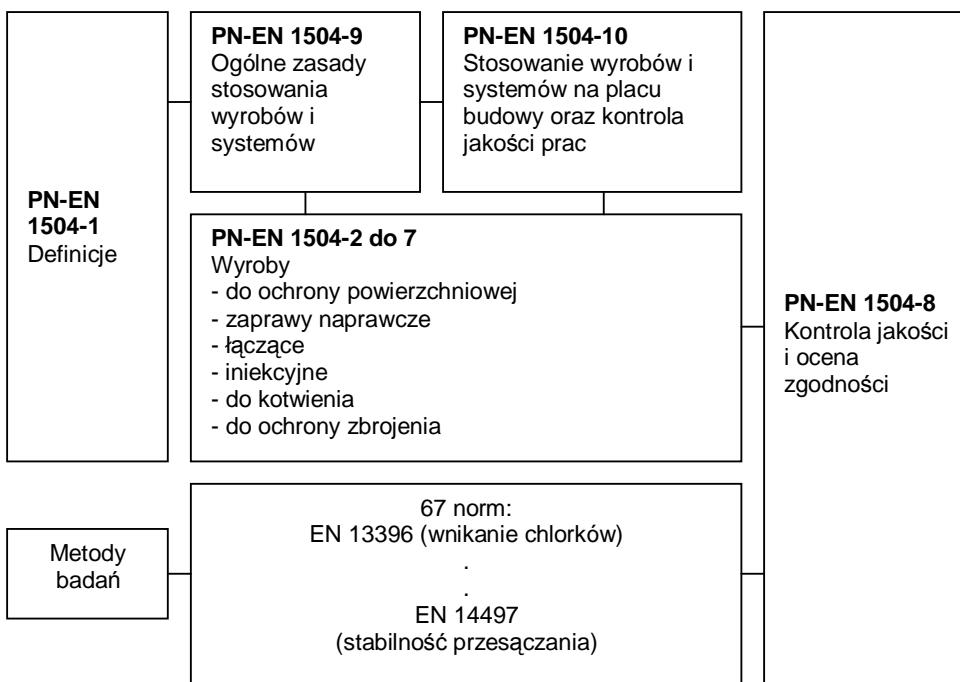
Gwoli kompletności powyższego przeglądu materiałowych aspektów napraw obiektów betonowych, należy wspomnieć o materiałach nowych lub modyfikowanych, będących przedmiotem badań krajowych ośrodków naukowych. W ostatnich 10 latach prezentowano koncepcję materiału z grupy PCC o podwyższonej przyczepności do podłoża betonowego, umożliwiającego naprawę elementów z betonów wysokowartościowych [34], obiecującą koncepcję betonu o zdolności do samonaprawy [35] oraz koncepcję spoiwa o kontrolowanych zmianach objętości przeznaczonego do materiałów naprawczych [37].

3. Struktura zbioru norm PN-EN 1504

Zbiór norm z serii PN-EN 1504 stanowi wyczerpujący komplet zaleceń dotyczących wyrobów i systemów stosowanych podczas wszystkich etapów napraw i ochrony elementów i konstrukcji betonowych (rys. 1). Omawiany zbiór składa się z 10 powiązanych ze sobą części (rys. 2). Z podstawowymi normami serii, posiadającymi charakter norm przedmiotowych, wiąże się ponadto ponad 65 norm dotyczących metod badań.



Rys. 1. Naprawa elementu żelbetowego z przypisaniem odpowiednich części normy PN-EN 1504



Rys. 2. Struktura zbioru norm z serii PN-EN 1504

4. Zakres poszczególnych norm

4.1 PN-EN 1504-1 – Część 1: Definicje

W pierwszej części Normy Europejskiej PN-EN 1504 podano podstawowe terminy i definicje odnoszące się do wyrobów i systemów do napraw, ochrony, utrzymania, renowacji

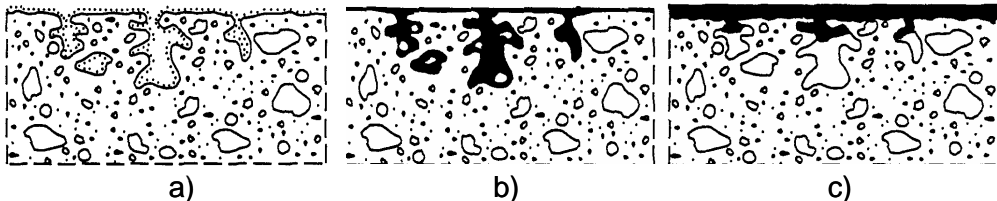
i wzmocnienia konstrukcji betonowych. Opisano tu i zdefiniowano między innymi następujące pojęcia:

- wyroby i systemy ochrony powierzchniowej (poprawa trwałości konstrukcji),
- wyroby i systemy do napraw niekonstrukcyjnych (do napraw powierzchniowych przywracających geometrię powierzchni lub estetyczny wygląd konstrukcji),
- wyroby i systemy do napraw konstrukcyjnych (zastępujące uszkodzony beton i przywracające ciągłość i trwałość konstrukcji),
- wyroby i systemy do łączenia konstrukcyjnego (zapewniające trwałą konstrukcyjną przyczepność między betonem a dodatkowo stosowanym materiałem),
- wyroby i systemy do iniekcji (przywracające ciągłość i/lub trwałość konstrukcji),
- wyroby i systemy do kotwienia (do kotwienia zbrojenia w betonie, zapewniające odpowiednią współpracę obu materiałów, w tym ich współodkształcalność),
- wyroby i systemy do ochrony zbrojenia (ochrona przed korozją),
- impregnacja hydrofobizująca (spowodowanie braku zwilżania powierzchni betonu przez wodę),
- impregnacja (obniżenie powierzchniowej porowatości i wzmocnienie powierzchni betonu),
- nałożenie powłoki (utworzenie ciągłej warstwy ochronnej na powierzchni betonu),
- zaprawy i betony polimerowo-cementowe – PCC (zaprawy lub betony cementowe modyfikowane przez dodanie polimeru np. w postaci żywic akrylowych, kopolimerów winylowych i styrenowo-butadienowych, naturalnych lateksów kauczukowych, żywic epoksydowych),
- zaprawy i betony polimerowe – PC (zaprawy lub betony ze spoiw polimerowych i frakcjonowanych kruszyw),
- spoiwa polimerowe – P (reaktywny polimer, np. żywice epoksydowe, nienasycone poliestrowe, akrylowe i poliuretanowe wraz z utwardzaczem lub katalizatorem),
- przydatność wyrobu lub systemu,
- wymagania dotyczące przydatności materiału (zestaw wymaganych właściwości),
- badanie przydatności.

Niezależnie od podawanych w normie definicji podstawowych pojęć, w kolejnych normach serii podawane są liczne definicje pojęć związanych z poruszaną przez nie problematyką.

4.2 PN-EN 1504-2 – Część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu

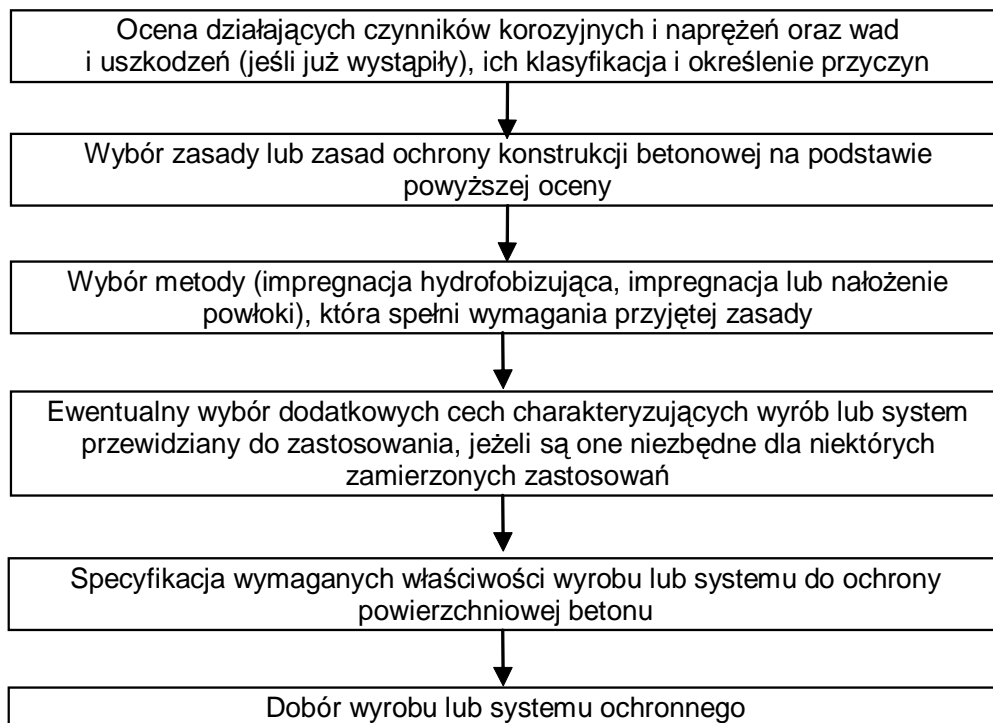
W normie PN-EN 1504-2 omawiane są systemy zabezpieczeń powierzchniowych betonu. Rozważa się trzy metody ochrony powierzchniowej (rys. 3): impregnację hydrofobizującą, impregnację i nakładanie powłok (definicje podano w rozdz. 4.1).



Rys. 3. Sposoby ochrony powierzchniowej betonu wg PN-EN 1504-2: a) impregnacja hydrofobizująca, b) impregnacja, c) powłoka

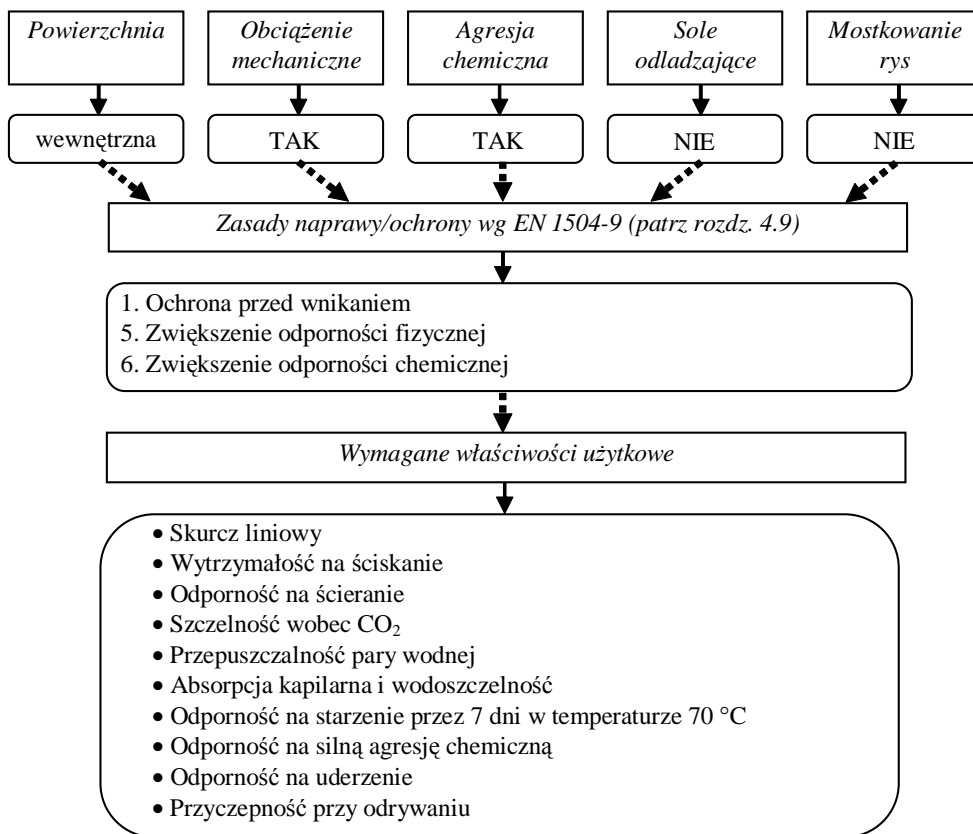
Powłoki, czyli warstwy ochronne, których zadaniem jest odcięcie betonu od wpływów i czynników środowiskowych, dodatkowo można klasyfikować jako: powłoki (grubości do 2 mm), wyprawy (grubości 1 do 10 mm) i wykładziny (warstwy sztywnych płyt przyklejonych do podłoża).

Ochronę powierzchniową dobiera się w zależności od rodzaju i stopnia agresywności środowiska oraz innych warunków użytkowania. Według zaleceń normy PN-EN 1504-2, system ochrony powierzchniowej powinien być dobrany na podstawie oceny rzeczywistych lub potencjalnych przyczyn uszkodzeń oraz rozważenia odpowiednich zasad i metod ochrony i naprawy określonych w PN-EN 1504-9 (patrz rozdz. 4.9). Proces prowadzący do wyboru systemu lub wyrobu można przedstawić jako logiczny ciąg podejmowanych decyzji (rys. 4).



Rys. 4. Etapy doboru rozwiązania materiałowego ochrony powierzchniowej betonu

W normie przedstawiono kilka przykładów określania wymaganych właściwości systemów ochrony powierzchniowej w zależności od warunków użytkowania (rys. 5).



Rys. 5. Określenie wymaganych właściwości wyrobów lub systemów do ochrony powierzchniowej konstrukcji betonowych w zależności od warunków użytkowania (na podstawie PN-EN 1504-2)

4.3 PN-EN 1504-3 – Część 3: Naprawy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne

Trzecia część normy zawiera wymagania dotyczące właściwości identyfikacyjnych, użytkowych (w tym trwałości) oraz bezpieczeństwa wyrobów do konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych napraw konstrukcji betonowych.

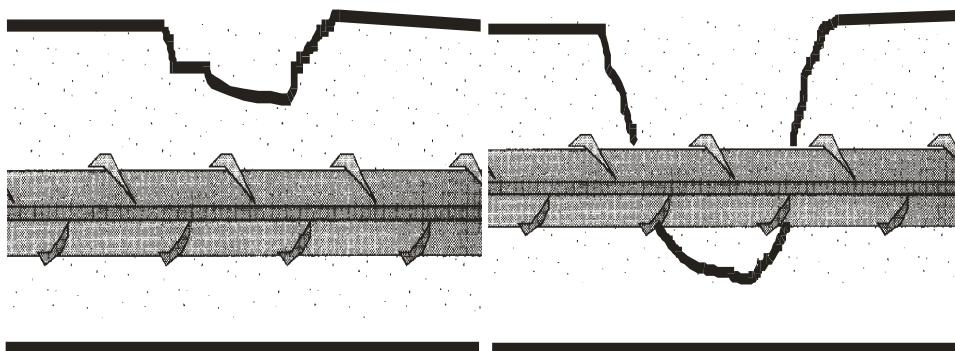
Zgodnie z normą PN-EN 1504-3 wyróżnia się, w zależności od rodzaju i zakresu naprawianych uszkodzeń (rys. 6):

- naprawy niekonstrukcyjne (powierzchniowe), których celem jest przywrócenie kształtu i estetyki obiektu – reprofilacja. Naprawy powierzchniowe mogą obejmować zarówno elementy nośne, jak i nienośne, ale bez ingerencji w ich pracę statyczną. Naprawy niekonstrukcyjne wiążą się często z poprawą niektórych funkcji elementu, na przykład zwiększeniem szczelności w celu lepszej ochrony zbrojenia,
- naprawy konstrukcyjne, obejmujące elementy nośne obiektu i związane z ingerencją w ich pracę statyczną; celem jest poprawa nośności elementu.

Uwzględniono zaprawy i betony do napraw, możliwe do stosowania łącznie z innymi wyrobami i systemami w celu odbudowy i/lub zastąpienia uszkodzonego betonu oraz ochrony zbrojenia, co jest konieczne w celu przedłużenia czasu użytkowania konstrukcji betonowej wykazującej uszkodzenia. W normie rozważa się trzy obszary zastosowań według PN-EN 1504-9: odbudowanie elementu betonowego, wzmacnianie konstrukcji oraz utrzyma-

nie lub przywrócenie stanu pasywnego, podając również metody technicznej realizacji prac w zakresie poszczególnych obszarów, a mianowicie:

- ręczne nakładanie zaprawy naprawczej,
- nadłożenie warstwy betonu,
- natryskiwanie betonu lub zaprawy,
- dodanie warstwy zaprawy lub betonu,
- zwiększenie grubości otuliny przez dodanie zaprawy lub betonu,
- wymiana skażonego betonu.



Rys. 6. Istota naprawy niekonstrukcyjnej i konstrukcyjnej

W normie sformułowano zakres podstawowych wymagań dotyczących wyrobów do napraw konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych; rozróżnia się po 2 klasy tych materiałów (R1 i R2 do napraw niekonstrukcyjnych, R3 i R4 do napraw konstrukcyjnych (tabl. 1).

Tablica 1. Wymagania dotyczące wyrobów do napraw konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych wg PN-EN 1504-3

Nr	Właściwość użytkowa	Podłoże kontrolne (EN 1766)	Metoda badania	Wymaganie			
				Naprawa konstrukcyjna		Naprawa niekonstrukcyjna	
				Klasa R4	Klasa R3	Klasa R2	Klasa R1
1	Wytrzymałość na ściskanie	Brak	EN 12190	≥ 45 MPa	≥ 25 MPa	≥ 15 MPa	≥ 10 MPa
2	Zawartość jonów chlorkowych	Brak	EN 1015-17	≤ 0,05%		≤ 0,05%	
3	Przyczepność	MC(0,40)	EN 1542	≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
4	Ograniczony skurcz/pęcznienie	MC(0,40)	EN 12617-4	Przyczepność po badaniu			Brak wymagań
				≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
5	Odporność na karbonatyzację	Brak	EN 13295	$d_k \leq$ betonu kontrolnego (MC(0,45))		Brak wymagań	
6	Moduł sprężystości	Brak	EN 13412	≥ 20 GPa	≥ 15 GPa	Brak wymagań	

Tablica 1. c.d.

7	Kompatybilność cieplna Część 1, Zamrażanie-rozmrażanie	MC(0,40)	EN 13687-1	Przyczepność po 50 cyklach			Sprawdzenie wizualne po 50 cyklach
				≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
8	Kompatybilność cieplna Część 2, Zraszanie	MC(0,40)	EN 13687-2	Przyczepność po 30 cyklach			Sprawdzenie wizualne po 30 cyklach
				≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
9	Kompatybilność cieplna Część 4, Cykle suszenia	MC(0,40)	EN 13687-4	Przyczepność po 30 cyklach			Sprawdzenie wizualne po 30 cyklach
				≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
10	Odporność na poślizg	Brak	EN 13036-4	Klasa I: > 40 jednostek przy badaniu na mokro Klasa II: > 40 jednostek przy badaniu na sucho Klasa III: > 55 jednostek przy badaniu na mokro	Klasa I: > 40 jednostek przy badaniu na mokro Klasa II: > 40 jednostek przy badaniu na sucho Klasa III: > 55 jednostek przy badaniu na mokro		
11	Współczynnik rozszerzalności cieplnej	Brak	EN 1770	Nie wymagane, jeśli przeprowadza się badanie 7, 8 lub 9, w innym przypadku wartość deklarowana	Nie wymagane, jeśli przeprowadza się badanie 7, 8 lub 9, w innym przypadku wartość deklarowana		
12	Absorpcja kapilarna	Brak	EN 13057	≤ 0,5 kg·m ⁻² ·h ^{-0,5}	≤ 0,5 kg·m ⁻² ·h ^{-0,5}	Brak wymagań	

4.4 PN-EN 1504-4 – Część 4: Łączenie konstrukcyjne

Ta część normy dotyczy materiałów wzmacniających, stosowanych do łączeń konstrukcyjnych z istniejącą konstrukcją betonową. Rozróżnia się trzy typowe odmiany łączeń:

- przyłączenia zewnętrznych płyt ze stali lub innych odpowiednich materiałów (np. kompozytów zbrojonych włóknami) do powierzchni konstrukcji betonowej w celu wzmocnienia, co obejmuje także laminowanie stosowanych płyt,
- łączenie stwardniałego betonu ze stwardniałym betonem, zazwyczaj stosowane do napraw i wzmacniania elementów prefabrykowanych,
- układanie mieszanki betonowej na stwardniałym betonie z wykorzystaniem złącza adhezyjnego, w wyniku czego powstały układ tworzy część konstrukcji i powinien działać jednolicie.

Jako główne materiały do wykonywania łączeń konstrukcyjnych w normie wymienia się zaprawy i betony polimerowe (PC).

4.5 PN-EN 1504-5 – Część 5: Iniekcja betonu

Wymagania wobec wyrobów do iniekcji betonu zawiera norma PN-EN 1504-5. Iniekcję stosuje się w celu uniknięcia szkodliwych konsekwencji obecności pustek i rys w betonie, a jej oczekiwane efekty to:

- osiągnięcie nieprzepuszczalności i w ten sposób wodoszczelności betonu,
- uniknięcie wnikania agresywnych czynników, które mogłyby powodować korozję zbrojenia stalowego,
- wzmocnienie konstrukcji przez wzmocnienie betonu.

Z punktu widzenia doboru materiału iniekcyjnego szczególnie istotny jest podział tych wyrobów według sposobu i celu wypełniania rys na następujące kategorie:

- F – wyroby do przenoszącego siły wypełniania rys, pustek i szczelin w betonie, tj. wyroby, które mogą tworzyć połączenie z powierzchnią betonu i przenosić siły,
- D – wyroby do elastycznego wypełniania rys, pustek i szczelin w betonie, tj. wyroby, które mogą dostosowywać się do kolejnych odkształceń,
- S – wyroby dopasowujące się przez pęcznienie do wypełniania rys, pustek i szczelin w betonie, tj. wyroby, które w stanie utwardzonym mogą wielokrotnie pęcznieć na skutek adsorpcji wody, przy czym woda jest wiązana przez składnik wyrobu iniekcyjnego.

Do iniekcji kategorii D i S mogą być stosowane jedynie wyroby zawierające spoiwo polimerowe.

Przy doborze środka iniekcyjnego należy także uwzględnić:

- stopień zawilgocenia rysy; rozróżnia się warunki suche, wilgotne, mokre, wypływ wody,
- zmiany szerokości rysy w czasie.

4.6 PN-EN 1504-6 – Część 6: Kotwienie stalowych prętów zbrojeniowych

Według normy wyrób do kotwienia to wyrób zawierający spoiwo hydrauliczne albo żywicę syntetyczną lub ich mieszaninę, mający przy nakładaniu konsystencję ciekłą lub konsystencję zaczynu, stosowany w celu mocowania żebrowanych stalowych prętów zbrojeniowych w konstrukcjach żelbetowych. Omawiane w normie wyroby znajdują zastosowanie zwłaszcza do konstrukcyjnego wzmocnienia w celu zapewnienia ciągłości konstrukcji żelbetowych. Norma formułuje zestaw wymagań stawianych materiałom do kotwienia.

4.7 PN-EN 1504-7 – Część 7: Ochrona zbrojenia przed korozją

W normie określono wymagania dotyczące właściwości identyfikacyjnych i użytkowych (w tym trwałości) wyrobów i systemów do wykonywania aktywnych i odcinających powłok ochronnych na niezabezpieczonym zbrojeniu stalowym i wbudowanej stali w naprawianych konstrukcjach betonowych. Nie obejmuje ona wyrobów do ochrony przed korozją stali sprężającej i stali nierdzewnej

4.8 PN-EN 1504-8 – Część 8: Sterowanie jakością i ocena zgodności

W części 8 normy PN-EN 1504 podano procedury kontroli jakości stosowanych wyrobów. Do tego celu stosuje się między innymi normy dotyczące badań. Do tej pory opracowano ponad 65 norm europejskich na badania materiałów do ochrony i naprawy konstrukcji betonowych, przywoływanych w odpowiednich częściach normy PN-EN 1504.

W normie PN-EN 1504-8 opisano zasady zakładowej kontroli produkcji (zkp), a także zalecenia dotyczące przeprowadzania wstępnych badań typu, badań identyfikacyjnych i badania właściwości użytkowych. Szczególną uwagę poświęcono procedurze postępowania w przypadku stwierdzenia niezgodności wyrobu lub systemu. Podano także wymagania w zakresie oceny, nadzoru i certyfikacji kontroli jakości.

4.9 PN-EN 1504-9 – Część 9: Ogólne zasady dotyczące stosowania wyrobów i systemów

Jako ostatnia część omawianej serii norm europejskich została opracowana i wprowadzona część 9. Pełni ona rolę nadrzędną w stosunku do pozostałych części PN-EN 1504, ponieważ dotyczy ogólnych zasad stosowania wyrobów i systemów do napraw i ochrony betonu. Po raz pierwszy opublikowano ją w roku 1997, jako „normę do tymczasowego stoso-

wania” – na krótki okres próbny, w czasie którego miano zebrać doświadczenia i opinie, pozwalające na sformułowanie wersji końcowej. Termin ostatecznego zatwierdzenia normy do stosowania był kilkakrotnie przekładany, a „krótki okres” jej tymczasowego funkcjonowania trwał ostatecznie ponad 12 lat (!) i zakończył się dopiero w ubiegłym roku.

Norma PN-EN 1504-9 obejmuje następujące zagadnienia:

- zasady badania i oceny stanu konstrukcji betonowej przed i po naprawie,
- zapobieganie uszkodzeniom, powodowanym przez chemiczne i biologiczne oddziaływania środowiska, oddziaływania mechaniczne lub inne fizyczne oraz korozję zbrojenia,
- naprawa wad spowodowanych przez błędy w projektowaniu, specyfikacji lub budowie lub przez zastosowanie nieodpowiednich materiałów konstrukcyjnych
- zapewnienie wymaganej nośności naprawianej konstrukcji
- uszczelnienia przeciwwodne jako integralny element ochrony i naprawy;
- zasady i metody ochrony i naprawy.

Postanowienia normy nie obejmują natomiast przygotowania podłoża przed stosowaniem materiałów do napraw i ochrony, wymagań odnośnie do warunków zewnętrznych przechowywania i stosowania materiałów naprawczych oraz kontroli jakości prac naprawczych; zagadnienia te są przedmiotem normy EN 1504-10.

W dziewiątej części normy PN-EN 1504 dokonano istotnego uporządkowania zagadnień związanych ze stosowaniem materiałów i systemów do napraw i ochrony konstrukcji betonowych. Między innymi, określono najważniejsze etapy procesu naprawy (rys. 7).

Wprowadzono kilka istotnych definicji. Rozróżniają one, na przykład, czas użytkowania konstrukcji (rzeczywisty) od projektowego czasu użytkowania (zakładanego). Zdefiniowano też jednoznacznie wadę jako stan wymagający interwencji oraz naprawę (usuwanie wad), ochronę (zapobieganie i ograniczanie powstawania wad) oraz konserwację (okresowe lub stałe prowadzenie napraw lub ochrony).

Dla oceny możliwości i celowości naprawy niezbędne jest ustalenie występujących wad oraz ich przyczyn. Wady konstrukcji betonowych mogą wynikać z błędów popełnionych w czasie projektowania, specyfikowania, nadzoru, wykonania prac i doboru materiałów, w tym zwłaszcza:

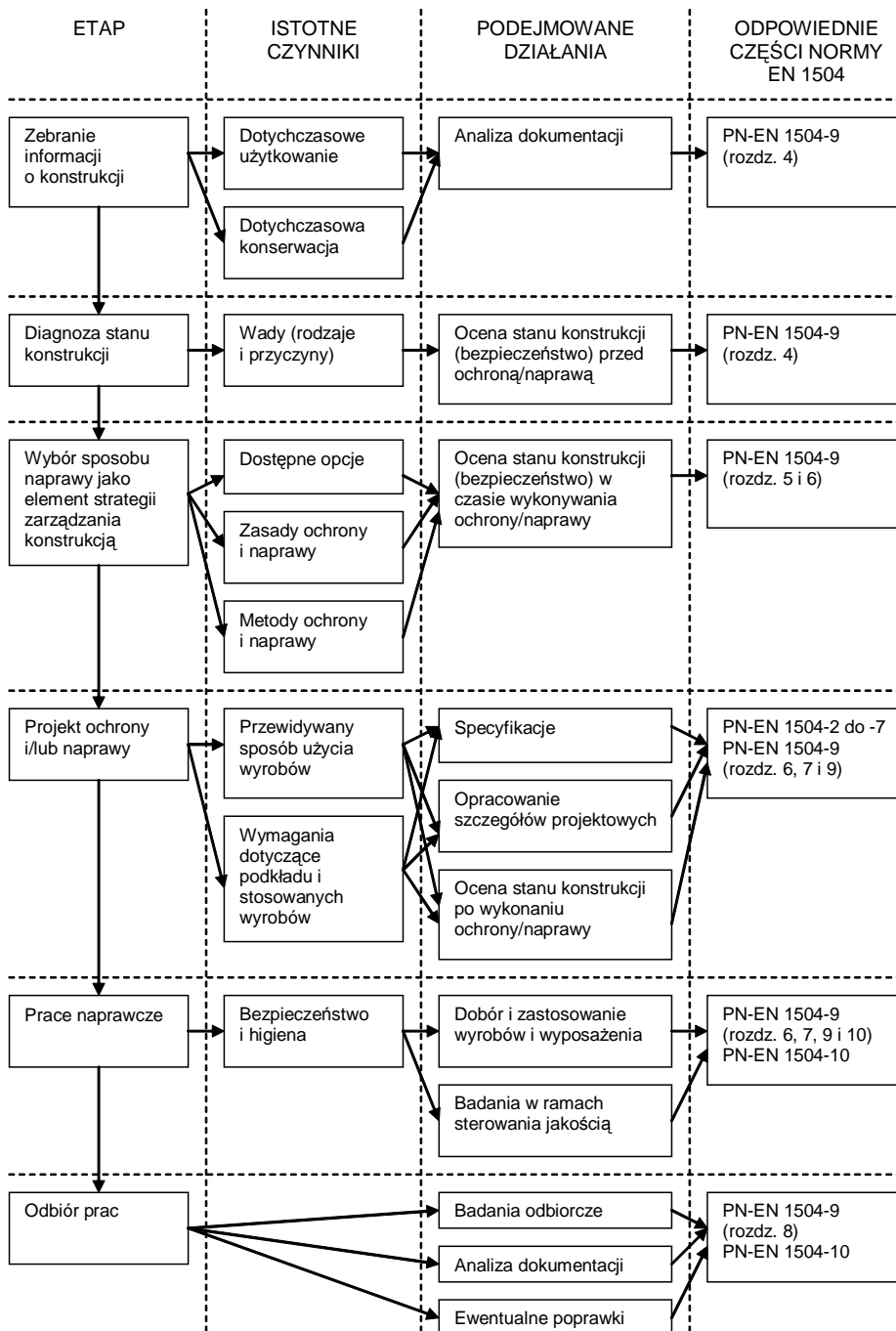
- niewłaściwego zaprojektowania konstrukcji,
- niewłaściwego zaprojektowania, wymieszania i zagęszczenia mieszanki betonowej,
- niewystarczającej otuliny betonowej,
- niewystarczającej lub wadliwej izolacji przeciwwodnej,
- zastosowania kruszywa złej jakości, reaktywnego lub skażonego,
- niewłaściwej pielęgnacji.

Należy także ocenić możliwości spełniania przez konstrukcję swojej funkcji – użyteczność. Ocena stanu konstrukcji, zgodnie z zaleceniami normy, powinna obejmować następujące elementy, jednak nie ograniczając się tylko do nich:

- wizualna ocena stanu konstrukcji,
 - badanie stanu betonu i stali zbrojeniowej,
 - porównanie istniejącej konstrukcji z założeniami projektu,
 - analiza wpływu środowiska (możliwość skażenia),
 - dotychczasowy przebieg użytkowania konstrukcji (w tym warunki klimatyczne),
 - obecne warunki użytkowania (w tym występujące obciążenia),
 - wymagania dotyczące użytkowania w przyszłości.

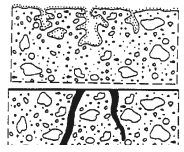
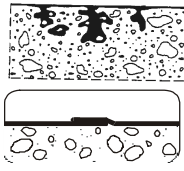
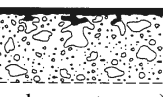

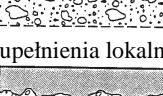

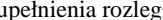
Jednym z osiągnięć normy PN-EN 1504-9 jest sformułowanie zasad naprawy i ochrony betonu i zbrojenia oraz określenie metod technicznej realizacji tych zasad (tabl. 2 i 3). Wybór właściwych zasad naprawy jest najważniejszym elementem projektowania naprawy.

Możliwych jest tu kilka podejść, a końcowa decyzja wynika z uwzględnienia różnych czynników – przede wszystkim z diagnozy stanu konstrukcji.

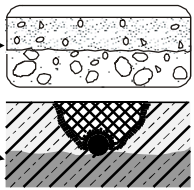
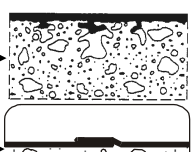
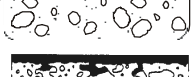




Rys. 7. Etapy naprawy, rozważane czynniki i podejmowane działania wg PN-EN 1504-9

Tablica 2. Zasady i metody naprawy betonu według PN-EN 1504-9

Oznaczenie	Zasada	Metoda	
PI	Ochrona przed wnikaniem (Protection against Ingress)	– impregnacja – iniekcja – powłoki ochronne	
MC	Ograniczenie zawilgocenia (Moisture Control)	– impregnacja /hydrofobizacja /uszczelnianie – powłoki ochronne (osłony/okładziny) – ochrona elektrochemiczna	
CR	Odbudowanie elementu (Concrete Restoration)	– betony i zaprawy – betony natryskowe – częściowa wymiana	(cienkowarstwowe /uszczelnianie) 
SS	Wzmacnianie (Structural Strengthening)	– iniekcja – dodatkowe pręty, płyty, taśmy – zwiększenie przekroju – sprężanie	(grubowarstwowe) 
PR	Odporność na czynniki fizyczne (Physical Resistance)	– impregnacja – powłoki ochronne	
RC	Odporność na czynniki chemiczne (Resistance to Chemicals)	– impregnacja – powłoki ochronne	(uzupełnienia lokalne) 
			(uzupełnienia rozległe) 

Tablica 3. Zasady i metody dotyczące ochrony zbrojenia według PN-EN 1504-9

Oznaczenie	Zasada	Metoda	
RP	Utrzymanie lub przywrócenie stanu pasywnego stali zbrojeniowej (Preserving or Restoring Passivity)	– zwiększenie grubości otuliny – wymiana betonu – realkalizacja (elektrochemicznie) – usunięcie chlorków	
IR	Podwyższenie oporności elektrycznej otuliny betonowej (Increasing Resistivity)	– ograniczenie zawilgocenia – impregnacja /uszczelnianie – powłoki ochronne (okładziny)	
CC	Kontrola obszarów katodowych (Cathodic Control)	– ograniczenie dostępu tlenu – powłoki ochronne	
CP	Ochrona katodowa (Cathodic Protection)	– zewnętrzne źródło prądu	
CA	Kontrola obszarów anodowych (Control of Anodic Areas)	– powłoki na zbrojeniu – inhibitory korozji	

Nowym elementem, który pojawił się w ostatecznej wersji normy PN-EN 1504-9, jest powiązanie ochrony i naprawy ze strategią zarządzania konstrukcją (patrz rozdz. 5).

4.10 PN-EN 1504-10 – Część 10: Stosowanie wyrobów i systemów na placu budowy oraz sterowanie jakością prac

Dziesiąta część normy dotyczy praktycznych aspektów stosowania wyrobów i systemów naprawczych i ochronnych na placu budowy. Podano w niej wymagania dotyczące stanu podłoża przed i podczas prowadzenia robót, obejmujące również stabilność konstrukcyjną, a także wymagania związane z przechowywaniem, przygotowywaniem i stosowaniem materiałów, obejmujące m.in. kontrolę jakości, konserwację, bezpieczeństwo i higienę oraz wpływ na środowisko. Ponieważ wymagania związane ze stosowaniem materiałów do napraw i ochrony związane są ściśle z zasadami określonymi w PN-EN 1504-9, omawiana norma stanowi w naturalny sposób jej kontynuację i dopełnienie.

Ogólne wymagania dotyczące przeprowadzania napraw i ochrony budowli betonowych są związane z chemicznym, elektrochemicznym i fizycznym stanem podłoża, jego zdolnością do przenoszenia obciążeń, ruchów i drgań podczas prac, warunkami otoczenia oraz charakterystyką materiałów występujących w podłożu i stosowanych do naprawy i/lub ochrony. Zwrócenie uwagi na warunki elektrochemiczne stanowi nowość w stosunku do dotychczasowych dokumentów normalizacyjnych, jednakże w dalszej treści normy zagadnienie to nie jest omówione szerzej. Konieczne jest zapewnienie:

- odpowiedniego stanu podłoża,
- kompatybilności między podłożem a materiałem stosowanym do jego naprawy lub ochrony oraz – generalnie – pomiędzy dwoma dowolnymi elementami układu; norma nie precyzuje jednakże pojęcia kompatybilności,
- właściwego poziomu cech stosowanych materiałów,
- odpowiednich warunków przechowywania i stosowania, takich jak temperatura otoczenia, wilgotność względna, siła wiatru itp.

W normie zestawiono metody napraw i ochrony konstrukcji przed korozją, odnosząc je do zasad naprawy i ochrony, sformułowanych w normie PN-EN 1504-9. Dla każdej metody podano zestaw cech wraz z wymaganiami, które powinny być sprawdzone, aby zapewnić właściwy przebieg prac; właściwości te dotyczą podłoża, stosowanych materiałów i otoczenia, a każdej z nich przypisano odpowiednią kategorię:

- dla wszystkich przewidywanych zastosowań,
- dla niektórych spośród przewidywanych zastosowań,
- dla zastosowań specjalnych.

Przygotowanie podłoża ma na celu zapewnienie warunków dla właściwego zastosowania materiału do naprawy lub ochrony. Przygotowanie to obejmuje, w zależności od potrzeb, oczyszczenie i/lub uszorstnienie podłoża oraz ewentualne usunięcie uszkodzonych lub skażonych fragmentów betonu z uwzględnieniem podanych zasad.

Przygotowanie zbrojenia może obejmować czyszczenie, nakładanie powłoki ochronnej lub wymianę części zbrojenia. Zasadnicze znaczenie ma z jednej strony zapewnienie odpowiedniej przyczepności stali do betonu, z drugiej zaś ochrona stali przed korozją.

W celu zapewnienia właściwego przygotowania i zastosowania wyrobów i systemów do napraw i ochrony konstrukcji, norma zaleca przyjęcie planu zapewnienia jakości; wszelkie prace należy przeprowadzać zgodnie z tym planem oraz zaleceniami normy PN-EN 1504-8. Badania sprawdzające obejmują łącznie 45 cech podłoża, otoczenia oraz stosowanych materiałów. Zakres badań uzależniony jest od zasady, której przyporządkowana jest metoda naprawy lub ochrony; w 18 przypadkach metoda badania polega na wizualnym sprawdzeniu danej cechy.

5. Ochrona i naprawa jako element strategii zarządzania konstrukcją

W normie PN-EN 1504-9 powiązано ochronę i naprawę ze strategią zarządzania konstrukcją [22, 49]. W normie wskazano czynniki (podstawowe, konstrukcyjne oraz związane z bezpieczeństwem ludzi i środowiska), które należy brać pod uwagę przy wyborze spośród dostępnych możliwości. Możliwości te obejmują następujące opcje:

- wstrzymanie się z działaniem – lecz monitorowanie stanu konstrukcji,
- analiza nośności – ewentualne ograniczenie funkcji obiektu,
- powstrzymanie lub ograniczenie degradacji betonu w konstrukcji,
- wzmocnienie (naprawa) ochrona konstrukcji lub jej elementów,
- budowa lub wymiana konstrukcji lub jej części,
- rozbiórka.

Wyboru strategii zarządzania konstrukcją dokonuje się nie tylko na gruncie technicznym, ale także biorąc pod uwagę czynniki ekonomiczne, funkcjonalne i środowiskowe, a przede wszystkim wymagania właściciela konstrukcji, dotyczące projektu i czasu użytkowania konstrukcji oraz możliwości konserwacji i naprawy. Określa to przyjmowaną strategię zarządzania naprawą.

Najważniejszym wymaganiem w strategii zarządzania konstrukcją jest utrzymanie lub przywrócenie bezpieczeństwa. Możliwości spełnienia tego podstawowego warunku należy oceniać ze względu na ich efektywność w pozostałym czasie użytkowania konstrukcji. Analiza dostępnych możliwości i ich konsekwencji w aspekcie ekonomicznym powinna obejmować koszt początkowy, koszty konserwacji i ewentualną konieczność wprowadzenia ograniczeń w użytkowaniu konstrukcji [26].

Podstawową przesłanką w projektowaniu systemu ochrony i naprawy jest przewidywany czas użytkowania naprawionej konstrukcji betonowej. Ważny jest także czas do pierwszej konserwacji poszczególnych wyrobów użytych do naprawy, jako że ich okres użytkowania może być krótszy niż zakładany czas użytkowania całej konstrukcji. Wreszcie, należy uwzględnić takie czynniki, jak dostępność miejsc prowadzenia prac oraz możliwość wymiany i naprawy zastosowanych systemów ochronnych i naprawczych.

Zakres dostępnych możliwości obejmuje zarówno przywrócenie projektowego czasu użytkowania konstrukcji betonowej w jednej, wszechstronnej operacji, jak i prostsze działania, które mogą wymagać cyklicznie powtarzanej konserwacji, lub w których występuje potrzeba wielokrotnego stosowania składników układu naprawczego, np. systemów ochrony powierzchniowej (rys. 8).

Dodatkowo, należy uwzględniać czynniki związane z bezpieczeństwem i higieną. W szczególności, materiały i metody stosowane w ramach wybranych zasad naprawy mogą wpływać na pracowników wykonujących naprawę, a także na mieszkańców, użytkowników i osoby trzecie. Można tu wymienić, na przykład: wyroby zawierające składniki szkodliwe lub wydzielające nieprzyjemne zapachy, emisję hałasu, pyłu i wibracji, mokry lub pylący gruz powstający w trakcie prac przygotowawczych, przemieszczanie roślin.

6. Podsumowanie

Naprawy konstrukcji betonowych stanowią złożone i trudne technicznie zadanie, a zarazem gospodarczo znaczące. Opracowanie podstaw naukowych i wynikających stąd zaleceń technicznych przeprowadzania napraw wymaga całościowego, i co ważne, holistycznego ujęcia (gr. hólos – cały). Prawidłowe zaplanowanie i przeprowadzenie prac naprawczych wymaga bowiem kompleksowej analizy wielu różnych i wzajemnie ze sobą sprzężonych uwarunkowań. Podejście holistyczne powinno zatem umożliwić wzięcie pod uwagę nie tylko poszczególnych składników układu, czynników działających na układ i procesów w nim zachodzących, ale – co bardzo ważne – ich wzajemnego oddziaływania. Omówione w refe-

7. Ajdukiewicz A., Hulimka J., Krzywoń R.: Zagrożenia jakości betonu w konstrukcji wskutek oddziaływań dynamicznych w sąsiedztwie. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
8. Barycz S., Kocot W., Oruba R., Wodyński A.: Badania i rekonstrukcja obiektów granulacji żużla. XX Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2001.
9. Błaszczyński T., Łowińska-Kluge A., Zgoła B.: Błędy wykonawcze jako przyczyna zagrożeń korozyjnych betonu na przykładzie fundamentów hali sportowej. XXII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2005.
10. Brandt A.M., Glinicki M.A.: Ocena jakości betonu w budynku, który uległ katastrofie w wyniku przemrożenia betonu. XXII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2005.
11. Cichocki M., Kozakow Z., Abramski M., Sitarski A.: Stan awaryjny mostów system Möllera oraz sposób ich naprawy. XX Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2001.
12. Ciesielski R., Stypuła K., Kwiecień A.: Uszkodzenia ścian budynku wznoszonego w technologii HEBEL na skutek wpływów parasejsmicznych. XX Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2001.
13. Ciesielski R., Krupiński J.: Uszkodzenie żelbetowych słupów chłodni wentylatorowej i ich naprawa. XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2003.
14. Ciesielski R., Kwiecień A.: Wzmocnienie uszkodzonych łuków ceglanych w zabytkowym budynku muzeum w Krakowie. XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2003.
15. Czarnecki L.: Materiały do napraw i ochrony konstrukcji z betonu w świetle projektu europejskiej normy ENV 1504-9:1997. Materiały Budowlane, nr 11/1998
16. Sasse H.R., Czarnecki L.: Naprawy i ochrona konstrukcji betonowych w świetle normy EN 1504-10. Materiały Budowlane, nr 7/1999.
17. Czarnecki L., Emmons P.H.: Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych. Polski Cement, Kraków, 2002.
18. Czarnecki L., Łukowski P.: Naprawa konstrukcji betonowych użytkowanych w warunkach zagrożeń chemicznych. LI Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, 2005.
19. Czarnecki L.: Materiały i systemy napraw i wzmocnień konstrukcji żelbetowych. XXI Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 2006.
20. Czarnecki L., Łukowski P.: Naprawy i ochrona betonu zgodnie z PN-EN 1504. Materiały Budowlane, nr 2/2009.
21. Czarnecki L., Łukowski P.: Wdrażanie normy PN-EN 1504-9 do stosowania w Polsce. Materiały Budowlane, nr 2/2010.
22. Czarnecki L., Łukowski P.: Ochrona i naprawa jako element strategii zarządzania konstrukcją - Normy Europejskie z serii PN-EN 1504. VI Konferencja „Dni Betonu”, Wisła, 2010.
23. Dembiński M.: Uszkodzenia i naprawa stuletnich żelbetowych konstrukcji wsporczych kotłów węglowych. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
24. Dyduch K., Płachecki M.: Wzmacnianie powłok stożkowych w żelbetowych zbiornikach na ciecze. XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2003.
25. Dyduch K., Płachecki M., Sieńko R., Szydłowski R.: Naprawa i wzmocnienie uszkodzonej przez korozję żelbetowej wieży granulacyjnej w zakładach azotowych. XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2007.
26. Flint A.R., Das P.: Whole life performance-based assessment rules – background and principles. Conference on Safety of Bridges, Thomas Telford, London, 1996.
27. Gawlicki M., Mróz R.: Uszkodzenia konstrukcji betonowych jako rezultat tworzenia thaumasytu. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
28. Godycki-Ćwirko T., Korzeniowski P., Piotrkowski P.: Awaryjne zarysowanie ścian zbiornika żelbetowego spowodowane skurczem. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.

29. Hołowaty J.: Załamanie żelbetowej płyty zespolonego pomostu wiaduktu drogowego. XXII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2005.
30. Kamiński M., Szechiński M., Tos S.: Naprawa uszkodzonego słupa żelbetowego konstrukcji supermarketu. XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2003.
31. Kańska S., Sołtysik R.: Przykłady napraw i wzmocnień budowli hydrotechnicznych wykonywanych w technologii betonowania pod wodą. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
32. Kwiecień A., Zajac B.: Naprawa pękniętych budynków murowanych metodą złącza podatnego. XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2007.
33. Kwiecień A.: Uszkodzenia betonowych nawierzchni lotniskowych. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
34. Łukowski P.: Polimerowo-cementowa zaprawa naprawcza o podwyższonej przyczepności do betonu. XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2007.
35. Łukowski P.: Możliwości samonaprawy betonu. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
36. Malczyk A., Broł J.: Awaria drewnianej szkieletowej konstrukcji ścian basenu kąpielowego. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
37. Nocuń-Wczelik W., Konik Z., Stok A., Małolepszy J.: Społwa o kontrolowanych zmianach objętości do prac naprawczych i uszczelniających. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
38. Orłowicz R., Mielczarek Z.: Stan techniczny drewnianych hełmów wybranych wież kościelnych. XXII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2005.
39. Pająk Z., Gromysz K.: Uszkodzenia i sposób remontu żelbetowego zbiornika wieżowego. XX Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2001.
40. Pająk Z., Drobiec Ł.: Stan zachowania prefabrykowanych zespolonych stropów sprężonych budynku przemysłowego. XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2007.
41. Pereira de Oliveira L.A., de Castro Gomes J.P., Gonc Alves Lanzinha J.C., Dinis S.F.: Anomalies occurred on a bridge slab due to inappropriate self-compacting concrete placing conditions. XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2003.
42. Podhorecki A., Sobczak-Piąstka J., Dobiszewska M.: Diagnostyka zabytkowej synagogi w Bydgoszczy. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
43. Podolski B., Podolski M., Bartosik T.: Przeciążenie zaprojektowanej z nadmiernym uproszczeniem nieckii basenowej i sposób jej wzmocnienia. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
44. Przybyłowicz E.: Stan przedawaryjny stropów żelbetowych w budynku zabytkowym i sposób ich naprawy. XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2003.
45. Runkiewicz L., Błaszczynski T., Łowińska-Kluge A.: Awaria stropów monolitycznych w budynku użyteczności publicznej w wyniku destrukcji wewnętrznej. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
46. Raupach M.: Naprawa betonu zgodnie z Normami Europejskimi z serii EN 1504. Materiały Budowlane, nr 2/2006.
47. Raupach M.: Naprawa betonu wg Normy Europejskiej EN 1504. Materiały Budowlane, nr 2/2011.
48. Rymsha J.: O przyczynach katastrofy budowlanej podczas budowy wiaduktu nad drogą ekspresową S1 w miejscowości Ogrodzona. XXII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2005.
49. Somerville G.: Management of deteriorating concrete structures. Taylor & Francis, London and New York, 2008.
50. Trtik K., Vodička J.: Performance of SFRC produced by a manual processing and a wet shooting technology for repair of concrete building. XX Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2001.

51. Urban T.: Stan awaryjny nadproża w dawnej kotłowni zespołu fabrycznego rodziny Grohmanów. XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaryje Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2007.
52. Woliński S., Kerste J.: Awaria żelbetowych trybun stadionu sportowego. XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaryje Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2003.
53. Wróbel K., Kubiszyn W.: Stan awaryjny podziemnego bunkra na węgiel. XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaryje Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2003.

Niniejszy artykuł został opracowany w ramach realizacji tematu badawczego PT.2.3 „Wyznaczanie kompatybilności materiałowych układów złożonych w konstrukcji” finansowanego z Programu Operacyjnego „Innowacyjna Gospodarka” pt. „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju”; umowa o dofinansowanie POIG.01.01.02-10-106/09-01.