

DIAGNOSTYKA MOSTÓW BETONOWYCH W ŚWIETLE NORM EUROPEJSKICH

Ewa MICHALAK
Politechnika Rzeszowska, Zakład Dróg i Mostów

Prawidłowo przeprowadzona diagnostyka jest jednym z istotnych warunków skutecznej naprawy mostu betonowego. Doświadczenia wskazują, że w praktyce bardzo często jest zaniedbywana. Normy europejskie (*PN-EN*) porządkują te zagadnienia.

Ogólne zasady przeprowadzania diagnostyki konstrukcji betonowych przed naprawą reguluje norma *PN-EN 1504: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych - Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności*.

Norma *PN-EN 13791:2008. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych* wraz z normami towarzyszącymi określa metody, które mogą być stosowane w celu określenia wytrzymałości betonu na ściskanie.

Metodykę badań chemicznych betonu przedstawiają m.in. normy:

- *PN-EN 14629:2008. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Oznaczanie zawartości chlorków w betonie,*
- *PN-EN 14630:2007. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Oznaczanie głębokości karbonatyzacji w stwardniałym betonie metodą fenoloftaleinową.*

Analiza licznych przypadków napraw mostów betonowych realizowanych w Polsce w ostatnich latach wskazuje, że badania diagnostyczne przed naprawami pozostawiają wiele do życzenia. Stosowanie sprawdzonych procedur badawczych pozwoliłoby z pewnością na uniknięcie wielu niepowodzeń.

Słowa kluczowe: most betonowy, naprawa, diagnostyka, wytrzymałość betonu na ściskanie, zawartość chlorków, karbonatyzacja

1. WPROWADZENIE

Jednym z podstawowych warunków skutecznej naprawy mostu betonowego jest prawidłowo przeprowadzona diagnostyka. Jest niezbędna aby trafnie wskazać przyczyny uszkodzeń i je usunąć. Umożliwia również właściwie oszacować zasięg naprawy co pozwala z kolei na jej sprawną realizację.

Doświadczenia wskazują, że w praktyce bardzo często ten element procedury naprawy jest zaniedbywany. Badania obiektów są przeprowadzane nieprawidłowo i/lub w bardzo ograniczonym zakresie.

2. ANALIZA BŁĘDÓW POPEŁNIANYCH W DIAGNOSTYCE MOSTÓW BETONOWYCH

W celu zidentyfikowania błędów najczęściej popełnianych w diagnostyce mostów betonowych przeanalizowano dokumentację projektową napraw obiektów zawierającą sprawozdania z badań konstrukcji wykonanych przed naprawą.

Analiza została przeprowadzona dla 26 obiektów, w tym dwóch obiektów o długości całkowitej do 30 m; pięciu o długości całkowitej 30 ÷ 60 m; sześciu o długości całkowitej 60 ÷ 100 m; siedmiu o długości całkowitej 100 ÷ 200 m oraz sześciu długości całkowitej ponad 200 m. Obiekty zostały wybudowane w latach 70-tych XX wieku i są zlokalizowane w ciągach dróg o dużym natężeniu ruchu. Badania obejmowały określenie zawartości chlorków w betonie i zasięgu karbonatyzacji oraz wytrzymałości betonu na ściskanie.

Szczegółowe wyniki analizy badań diagnostycznych przeprowadzonych przed naprawami mostów betonowych przedstawiono w Tabeli 1.

W przypadku badań chemicznych betonu najczęściej popełnianymi błędami były:

- niewłaściwy dobór miejsc do przeprowadzenia badania,
- brak określenia pH betonu w miejscu badania zawartości chlorków, a tym samym brak możliwości określenia wartości granicznej zawartości chlorków, która zależy od postępu karbonatyzacji betonu,
- źle przyjęta wartość graniczna zawartości chlorków w betonie; na ogół jak dla betonu nieskarbonatyzowanego podczas gdy wartość graniczna dla betonu skarbonatyzowanego jest w przypadku żelbetu czterokrotnie niższa,
- przeprowadzanie badań z dużym wyprzedzeniem czasowym (nawet kilkuletnim) przed wykonaniem naprawy, a np. zawartość chlorków w betonie może zmienić się znacząco nawet w ciągu kilku tygodni.

Badania wytrzymałości betonu na ściskanie wykonywano metodą odwiertów rdzeniowych i/lub metodą sklerometryczną. W obu metodach wybór miejsc do badań był najczęściej przypadkowy i nie odpowiadał potrzebom związanym z planowaną naprawą. Ponadto w metodzie odwiertów rdzeniowych najczęściej pobierano zbyt mało próbek do badań, natomiast w metodzie sklerometrycznej badania nie były wzorcowane na odwiertach lub wzorcowanie było przeprowadzone niewłaściwie.

Tabela 1. Błędy popełniane w badaniach diagnostycznych przed naprawami mostów

Numer obiektu	Rodzaj badania diagnostycznego przed naprawą:							
	zawartość chlorków w betonie				wytrzymałość betonu na ściskanie:			
					metoda odwiertów rdzeniowych		metoda sklerometryczna	
Błędy w badaniu	niewłaściwy dobór miejsc badania	brak określenia pH betonu w miejscu badania chlorków	złe przyjęta wartość graniczna zawartości chlorków	termin badania ponad 5 lat przed terminem remontu	niewłaściwy dobór miejsc badania	liczba próbek nieadekwatna do ich średnicy	niewłaściwy dobór miejsc badania	brak wzorcowania
(1)	+	+	+			+		
(2)	+	+	+		+	+	+	+
(3)	+	+	+			+ ¹⁾		
(4)	+	+	+			+ ²⁾		
(5)	+	+	+		+		+	+
(6)	+	+	+		+		+	+
(7)	+	+	+			+ ³⁾	+	+
(8)	+	+	+				+	+
(9)				+ ⁴⁾		+ ³⁾	+	+
(10)				+ ⁴⁾		+ ³⁾		
(11)	+	+	+			+		
(12)	+	+	+			+		
(13)	+	+	+			+ ²⁾		
(14)	+	+	+			+ ²⁾		
(15)	+	+	+		+	+ ⁵⁾	+	+
(16)	+ ⁶⁾	+	+		+		+	+
(17)	+	+	+	+			+	+
(18)	+	+	+	+	+	+	+	+
(19)	+	+	+	+	+	+	+	+
(20)	+	+	+	+	+		+	+
(21)	+	+	+	+	+		+	+
(22)	+	+	+	+	+	+	+	+
(23)	+	+	+					
(24)	+	+	+				+	+
(25)	+	+	+		+	+	+	+
(26)	+	+	+		+	+	+	+
Łącznie	24	24	24	8	12	17	17	17

1) wytrzymałość betonu na ściskanie zbadano na 1 próbce o średnicy 50 mm pobranej z filara (naprawa dotyczyła głównie przęsła);

- 2) wytrzymałość betonu na ściskanie określona na podstawie wyników badania 4 (5) próbek o średnicy 50 mm pobranych z różnych elementów obiektu; poszczególne wyniki różnią się o ponad 40%;
- 3) brak badania wytrzymałości betonu na ściskanie podczas gdy w obiekcie stwierdzono występowanie rys przeciążeniowych;
- 4) badanie zawartości chlorków – istotne z punktu widzenia zaproponowanej metody naprawy – przeprowadzone w 2008 roku; naprawa zrealizowana w 2015 roku;
- 5) wytrzymałość betonu na ściskanie zbadano na 1 próbce o średnicy 50 mm pobranej z filara dla obiektu o długości całkowitej ponad 250 m; w obiekcie, ze względu na rysy przeciążeniowe, przewiduje się wzmocnienie taśmami kompozytowymi;
- 6) w obiekcie o długości całkowitej ponad 390 m pobrano 3 próbki do badania zawartości chlorków.

Warto zauważyć, że w żadnym przypadku, spośród 26 losowo wybranych do analizy obiektów, diagnostyka nie została wykonana w pełni prawidłowo.

3. NORMY DO BADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH MOSTÓW BETONOWYCH

Do niedawna stan normalizacji nie ułatwiał inżynierom realizacji badań diagnostycznych. Jednakże od kilku lat w Polsce dostępne są normy europejskie (*PN-EN*) znacząco porządkujące te zagadnienia. Niestety, jak wspomniano wcześniej, praktyka wskazuje, że w ocenie stanu technicznego mostu przed naprawą wspomniane normy są stosunkowo rzadko wykorzystywane.

3.1. Zasady ogólne

Zasady ogólne realizacji badań diagnostycznych formułuje zestaw norm: *PN-EN 1504: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych* kompleksowo prezentujący zagadnienia związane z naprawami konstrukcji betonowych, w tym zasady diagnostyki obiektu. Zestaw składa się z 10 arkuszy, z których w szczególności arkusz dziewiąty i dziesiąty określają ogólne zasady oceny stanu konstrukcji przed naprawą.

W ww. normie uznano, że ochrona i naprawa konstrukcji betonowych wymaga złożonego zaprojektowania robót. Określono najważniejsze etapy procesu naprawy, w których na pierwszym miejscu znajduje się ocena stanu konstrukcji i określenie przyczyn uszkodzeń. Obie procedury nie są możliwe bez przeprowadzenia rzetelnych badań konstrukcji.

Norma określa minimalny zakres działań diagnostycznych poprzedzających naprawę konstrukcji. W szczególności dla obiektów betonowych jest to:

- ocena wizualna stanu konstrukcji;
- badanie stanu betonu i stali zbrojeniowej;
- analiza oryginalnego projektu;
- analiza oddziaływań środowiskowych, w tym możliwości skażenia;

- historia użytkowania konstrukcji;
- warunki użytkowania (obciążenia i inne oddziaływania);
- wymagania dotyczące użytkowania w przyszłości.

W normie [1] podjęto ważny temat terminu wykonywania badań diagnostycznych i jednoznacznie stwierdzono, że badania wykonane z dużym wyprzedzeniem czasowym są niemiarodajne do zaprojektowania skutecznej naprawy. Sugeruje się, aby wykonywać badania co najmniej w dwóch etapach: pierwszym w celu uzyskania szybkiej informacji dotyczącej bezpieczeństwa konstrukcji i użytkowników oraz kolejnym, wykonanym bezpośrednio przed realizacją prac naprawczych. Zagadnienie jest istotne chociażby w kontekście naprawy betonu zawierającego jony chlorkowe. Ich zawartość i lokalizacja w konstrukcji zmienia się znacząco w ciągu kilku miesięcy, a często nawet tygodni. Norma [2] zaleca aby beton skażony chlorkami był usunięty do grubości co najmniej 20 mm z każdej strony zbrojenia. Realizacja tego postulatu jest możliwa wyłącznie pod warunkiem dysponowania wynikami aktualnych badań zawartości jonów chlorkowych w kluczowych miejscach konstrukcji.

Norma [1] formułuje również ogólne wymagania dotyczące kompetencji osób realizujących zadania związane z naprawą konstrukcji: „... zaleca się wyznaczenie do prac kompetentnego personelu, obeznanego z ochroną i naprawą betonu. Dotyczy to wszystkich osób uczestniczących w procesie naprawy, w tym projektantów, wykonawców i kontrolerów ...”.

Norma [2] szczegółowo przedstawia problemy bezpośrednio związane z realizacją naprawy, w tym również kontrolne badania konstrukcji niezbędne przy wykonywaniu określonych czynności wchodzących w zakres naprawy.

3.2. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie

Podstawową informacją niezbędną do realizacji naprawy mostu betonowego jest znajomość wytrzymałości betonu konstrukcji na ściskanie. Norma *PN-EN 13791:2008. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych* [3] określa metody, które mogą być w tym celu stosowane. Jako podano we wstępie służy do „... oceny „starych” konstrukcji, które mają być modernizowane, przeprojektowywane lub zostały uszkodzone ...”. W świetle [3] wytrzymałość betonu na ściskanie w istniejących obiektach może być sprawdzona przez badanie odwiertów rdzeniowych z konstrukcji i/lub za pomocą wzorcowanych metod pośrednich.

Badanie z wykorzystaniem odwiertów rdzeniowych, w zależności od liczby badanych próbek, przeprowadza się zgodnie z Przypadkiem A (15 lub więcej odwiertów) lub Przypadkiem B (3 do 14 odwiertów). Dla wzorcowania metod pośrednich norma [3] podaje Wariant 1 i Wariant 2.

Odwierty rdzeniowe powinny być wycinane, badane i przygotowywane zgodnie z *PN-EN 12504-1:2011. Badania betonu w konstrukcjach - Część 1: Próbkę rdzeniowe - Pobieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie* [4]

oraz poddane badaniom wytrzymałościowym zgodnie z *PN-EN 12390-3:2011. Badania betonu - Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań* [5].

Procedura badawcza dla metod pośrednich została określona w normach:

- *PN-EN 12504-2:2013-03. Badania betonu w konstrukcjach. Część 2. Badania nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia* [6],
- *PN-EN 12504-3:2006. Badania betonu w konstrukcjach. Część 3. Oznaczanie siły wyrywającej* [7],
- *PN-EN 12504-4:2005. Badania betonu w konstrukcjach. Część 4. Oznaczanie prędkości fali ultradźwiękowej* [8].

W normie [3] zdefiniowano, istotne z punktu widzenia wiarygodności badań, pojęcia punktu pomiarowego i miejsca pomiarowego. Punkt pomiarowy określono jak ograniczony obszar, w którym oznacza się pojedynczy wynik pomiaru wykorzystywany następnie do oszacowania wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji. Miejsce pomiarowe to jeden lub kilka elementów konstrukcyjnych, co do których wiadomo lub przypuszcza się, że należą do tej samej populacji. Wyniki badań mogą być wykorzystywane do określenia, zgodnie z normą [9], charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji oraz związanej z nią klasy wytrzymałości betonu.

W przypadku gdy wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji jest oznaczana na odwiertach rdzeniowych badanie odwiertu o długości równej nominalnej średnicy wynoszącej 100 mm daje wartość wytrzymałości, która odpowiada wytrzymałości próbki sześcienniej o boku równym 150 mm.

Liczba odwiertów wycinanych z jednego miejsca pomiarowego powinna wynikać z objętości wbudowanego betonu oraz celu badania. Każdy punkt pomiarowy stanowi jeden odwiert rdzeniowy. Ze statystycznego punktu widzenia oraz wymagań bezpieczeństwa zaleca się wykorzystanie do określenia wytrzymałości betonu na ściskanie możliwie jak największej liczby odwiertów. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie dla danego miejsca pomiarowego powinna być oparta na badaniu co najmniej 3 odwiertów o średnicy nominalnej 100 mm. W przypadku mniejszej średnicy odwiertów ich liczba powinna być większa. I tak np., dla odwiertów o średnicy nominalnej 50 mm ich minimalna liczba powinna być równa 9. Dla pośrednich średnic norma zaleca określenie liczby odwiertów za pomocą interpolacji liniowej. Norma nie określa procedury badania dla odwiertów o średnicy mniejszej niż 50 mm.

Przypadek A (opisany w normie [3]) ma miejsce gdy dysponuje się nie mniej niż 15 odwiertami rdzeniowymi pobranymi w jednym miejscu pomiarowym. Dla tego przypadku wartość charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji dla danego miejsca pomiarowego jest mniejszą z dwóch wartości (3.1) lub (3.2):

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k_2 \times s \quad (3.1)$$

lub

$$f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4 \quad (3.2)$$

gdzie:

- $f_{ck, is}$ – charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji;
 $f_{m(n), is}$ – średnia wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji uzyskana z n wyników pomiarów;
 k_2 – wartość określona w postanowieniach krajowych, lub jeśli nie jest podana, przyjmowana 1,48;
 s – odchylenie standardowe wyników pomiaru lub $2,0 \text{ N/mm}^2$, w zależności od tego, które z nich przyjmuje większą wartość;
 $f_{is, lowest}$ – najmniejsza z oznaczanych wartości wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji.

W Przypadku B (3 do 14 odwiertów) wartość charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji dla danego miejsca pomiarowego jest mniejszą z dwóch wartości (3.3) lub (3.4):

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k \quad (3.3)$$

lub

$$f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4 \quad (3.4)$$

gdzie:

- k – zmienna zależna od liczby wyników badań; równa 5 dla $10 \div 14$ wyników, 6 dla $7 \div 9$ oraz 7 dla $3 \div 6$ wyników badania.

Warto dodać, że w Przypadku B uzyskuje się niższe wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie co wynika oczywiście z niepewności wynikającej z małej liczby wyników badania oraz dążenia do zapewnienia tego samego poziomu ufności.

Norma [3] określa również ogólne zasady oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji za pomocą metod pośrednich. Pośrednie metody badania stanowią alternatywę dla badania odwiertów rdzeniowych lub mogą stanowić uzupełnienie danych w przypadku ograniczonej liczby odwiertów.

Metody te mogą być stosowane pod warunkiem przeprowadzenia wzorcowania na odwiertach rdzeniowych:

- pojedynczo;
- w kombinacji z metodami pośrednimi;
- w kombinacji z metodami pośrednimi i metodą bezpośrednią (badanie odwiertów).

Ponieważ w przypadku pomiarów metodami pośrednimi mierzona jest inna właściwość niż wytrzymałość niezbędne jest określenie zależności między wynikami uzyskiwanymi z metody pośredniej a wytrzymałością betonu na ściskanie badaną na odwiertach. W normie [3] zaproponowano dwa alternatywne spo-

soby oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji określonymi jako Wariant 1 i Wariant 2.

Wariant 1 jest stosowany gdy dla rozważanego betonu określona jest zależność korelacyjna między jego wytrzymałością na ściskanie w konstrukcji a wynikiem badania uzyskanym za pośrednictwem metody pośredniej. Aby tę zależność określić niezbędne jest co najmniej 18 wyników badania odwiertów rdzeniowych.

W Wariacie 2 opisano procedury oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, dla ograniczonego zakresu wytrzymałości, z wykorzystaniem wyznaczonej zależności korelacyjnej określonej za pomocą badania odwiertów rdzeniowych. Procedury określono dla pomiaru liczby odbicia, pomiaru prędkości fali ultradźwiękowej oraz siły wrywającej.

W Wariacie 1 urządzenia pomiarowe, procedura badania oraz obliczanie wyników powinno być zgodne z [4] w przypadku badania odwiertów oraz zgodne z [6], [7] i [8] odpowiednio w przypadku pomiaru liczby odbicia, siły wrywającej lub prędkości fali ultradźwiękowej.

Zależność korelacyjną należy wyznaczyć na podstawie co najmniej 18 par wyników: 18 wyników badania odwiertów rdzeniowych i 18 wyników pomiarów uzyskanych metodą pośrednią w tym samym punkcie pomiarowym.

Procedurę określenia zależności korelacyjnej określa norma [3], a wartość wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji wyznacza się z wykorzystaniem tej zależności.

W Wariacie 2 wykorzystuje się podstawową krzywą regresji zamieszczoną w normie [3] przesuniętą do właściwego poziomu określonego na podstawie badania odwiertów rdzeniowych. W tym przypadku niezbędne jest co najmniej 9 par wyników badań przeprowadzonych wg procedury jak w Wariacie 1. Norma ogranicza stosowanie tego Wariantu do betonów „typowych”.

Norma [3] zawiera załączniki, w których określono czynniki wpływające na wytrzymałość betonu w odwiertach rdzeniowych oraz wyniki uzyskiwane w metodach pośrednich.

I tak, w przypadku badania wytrzymałości betonu na ściskanie z wykorzystaniem odwiertów rdzeniowych należy wziąć pod uwagę, że:

- wytrzymałość odwiertu nasyconego wodą jest od 10% do 15 % niższa niż wytrzymałość podobnego odwiertu w stanie powietrznosuchym, tzn. o wilgotności ok. 8% do 12%;
- podwyższona porowatość obniża wytrzymałość; szacunkowo 1% porowatości obniża wytrzymałość o ok. 5 % do 8%;
- wytrzymałość odwiertu wycinanego zgodnie z kierunkiem betonowania może być do 8% wyższa niż odwiertu wyciętego poziomo z tego samego betonu;
- wymiary geometryczne odwiertu mają wpływ na uzyskiwane wyniki, w szczególności dotyczy to wcześniej wspomnianej średnicy odwiertu

oraz stosunku długości/średnicy odwiertu; dla próbek od $l/d > 1$ wartość wytrzymałości maleje, a dla $l/d < 1$ rośnie;

- stosunek maksymalnego wymiaru kruszywa w betonie do średnicy rdzenia, większy niż ok. 1:3 ma znaczący wpływ na mierzoną wytrzymałość i tak np. eksperymenty wykazały, że przy kruszywie o wymiarze 40 mm wytrzymałość rdzeni o średnicy 100 mm była o ok. 17 % większa niż rdzeni o średnicy 50 mm (norma [4] podaje jeszcze zależności dla innych wymiarów kruszyw i średnic rdzeni);
- obecność prętów zbrojeniowych w odwiertach może być pomijana pod warunkiem, że nie są one usytuowane równolegle do kierunku wiercenia; obecność pręta usytuowanego inaczej niż równolegle wpływa na obniżenie wytrzymałości betonu;
- na wyniki badania mogą mieć wpływ płaskość dolnej i górnej powierzchni próbki oraz jakość kapslowania.

W badaniach przeprowadzonych z wykorzystaniem metod pośrednich należy uwzględnić takie czynniki jak:

- w przypadku pomiaru liczby odbicia – wpływ wilgotności i rodzaju powierzchni betonu, karbonatyzacji, a także kierunku badania [6];
- w przypadku pomiaru siły wyrywającej – wpływ lokalizacji punktów pomiarowych oraz ew. obecności prętów zbrojeniowych [7];
- w przypadku pomiaru prędkości fali ultradźwiękowej – wpływ wilgotności istotny przy opracowaniu korelacji, a także wpływ długości drogi pomiarowej, kształtu i wielkości próbki, obecności prętów zbrojeniowych (głównie równoległych do kierunku pomiaru) oraz rys i pustek w betonie [8].

Norma [3] odnosi się również do zagadnień związanych z zależnością między wytrzymałością betonu w konstrukcji a wytrzymałością określaną na znormalizowanych próbkach do badania. Generalnie wytrzymałość uzyskiwana z odwiertów oraz wytrzymałość betonu w konstrukcji jest niższa niż wytrzymałość uzyskiwana z badania znormalizowanych próbek. Wynika to m.in. ze sposobu zagęszczania i pielęgnacji próbek oraz lokalizacji miejsc do badań w konstrukcji. Doświadczenia wskazują, że różnice w wytrzymałości betonu w konstrukcji mogą dochodzić do 25% (w zależności od tego czy odwiert jest pobierany z dolnej czy górnej części przekroju).

Projektowanie konstrukcji żelbetowych i sprężonych opiera się na akceptowanej zasadzie, że beton może być rozważany jako materiał o losowej zmienności swoich cech co uwzględnia się przez zastosowanie dla wytrzymałości betonu częściowego współczynnika bezpieczeństwa γ_c .

Norma [3] zawiera wytyczne planowania badań wytrzymałości betonu na ściskanie. Jeżeli celem badania jest ocena nośności istniejącej konstrukcji zaleca się aby badania były skoncentrowane na betonie, który jest reprezentatywny dla najbardziej wyťažonych fragmentów konstrukcji. W przypadku oceny rodzaju i zakresu uszkodzeń miejsca pomiarowe powinny być zlokalizowane tam, gdzie

te uszkodzenia wystąpiły lub przewiduje się, że wystąpią jakkolwiek porównanie z wytrzymałością betonu w miejscach nieuszkodzonych też może być w tym przypadku cenne.

3.3. Badania chemiczne betonu

Bardzo ważne z punktu widzenia realizacji skutecznej naprawy mostu betonowego jest oszacowanie zasięgu i postępu korozji zbrojenia w konstrukcji. Pośrednim źródłem informacji są w tym przypadku dane dotyczące zawartości chlorków w betonie i głębokości karbonatyzacji.

Normy:

- *PN-EN 14629:2008. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Oznaczanie zawartości chlorków w betonie* [10],
- *PN-EN 14630:2007. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Oznaczanie głębokości karbonatyzacji w stwardniałym betonie metodą fenoloftaleinową* [11]

prezentują metodykę uzyskiwania wyżej wspomnianych wartości.

Norma [10] przedstawia dwie metody oznaczania całkowitej zawartości rozpuszczalnych w kwasie chlorków w stwardniałym betonie. Badanie można przeprowadzić na sproszkowanych próbkach pobranych w czasie wiercenia albo z odwiertów rdzeniowych lub innych fragmentów betonu pozyskanych z konstrukcji. Próbkę do badań należy pobierać z miejsc reprezentatywnych czyli tam gdzie jest umieszczone zbrojenie i gdzie istnieje zagrożenie występowania chlorków. Ponieważ zaleca się pobieranie próbek z różnych głębokości norma [10] zaleca aby zmiana głębokości nie przekraczała 25 mm. Minimalna wymagana ilość próbki wynosi 1 g jednakże przy pobieraniu próbek proszkowych zaleca się aby pozyskać ok. 20 g próbki, tak aby zapewnić reprezentatywność wszystkich składników betonu. Odwierty rdzeniowe do badania zawartości chlorków powinny mieć średnicę od 30 mm do 50 mm; można je pociąć na plastry lub rozdrobnić na różnych głębokościach. W normie [10] opisano procedurę oznaczania zawartości chlorków metodą Volharda (Metoda A) i metodą potencjometryczną (Metoda B). W obu metodach uzyskuje się informację nt. procentowej zawartości jonów chlorkowych w stosunku do masy próbki. Ponieważ graniczne zawartości chlorków w betonie są ustalane dla zawartości jonów chlorkowych w stosunku do masy cementu w betonie norma [10] zaleca aby, o ile nie jest znana zawartość cementu w betonie, przyjmować zawartość cementu w betonie wynoszącą 14% masy (wartość ta odpowiada betonowi o gęstości 2400 kg/m^3 zawierającemu 350 kg cementu na 1 m^3 betonu).

W Polsce graniczne zawartości chlorków w betonach mostowych określa Rozporządzenie [12] (Tabela 2).

Tabela 2. Graniczne wartości zawartości jonów Cl w betonie [12]

Rodzaj skażenia	Jednostka miary	Graniczna wartość liczbowo wielkości
Ułamek masowy jonów Cl w betonie nieskarbonatyzowanym: 1) konstrukcji żelbetowych 2) konstrukcji sprężonych	%	nie większy niż 0,4 nie większy niż 0,2
Ułamek masowy jonów Cl w betonie skarbonatyzowanym	%	nie większy niż 0,1

Wartości graniczne są od wielu lat przedmiotem badań i dyskusji w wielu krajach należy jednak zaznaczyć, że te przyjęte w [12] odpowiadają powszechnym wymaganiom w tym zakresie przyjmowanym w krajach o warunkach eksploatacji obiektów mostowych zbliżonych do występujących w Polsce. Warto jednakże podkreślić fakt, że zależą one zawsze od wartości pH betonu (postępu karbonatyzacji) w miejscu badania. Dlatego badanie zawartości chlorków w określonym miejscu konstrukcji ma sens tylko wtedy gdy jednocześnie w tym samym miejscu i w tym samym czasie zostanie oznaczona głębokość karbonatyzacji. Procedurę tego badania reguluje norma [11].

Zgodnie z [11] oznaczenie głębokości karbonatyzacji przeprowadza się metodą fenoloftaleinową na odwiertach rdzeniowych lub fragmentach betonu pobranych z konstrukcji. Badanie, co ważne, wykonuje się na świeżym przełamie betonu.

4. PODSUMOWANIE

Analiza licznych przypadków napraw mostów betonowych realizowanych w Polsce w ostatnich latach wskazuje, że działania podejmowane w zakresie diagnostyki przed naprawami pozostawiają wiele do życzenia. Badania są często wykonywane nieprawidłowo, źle interpretowane lub nie są wykonywane w ogóle. Prowadzi to do, niestety dość powszechnego zjawiska, niskiej skuteczności napraw mostów betonowych. Wynika ona z braku odpowiedniej oceny stanu technicznego konstrukcji, identyfikacji przyczyn uszkodzeń i ich usunięcia przed naprawą oraz realizacji naprawy w zakresie nieadekwatnym do przyczyn, rodzaju i rozmiaru uszkodzeń. Argumentacja ekonomiczna jest nieprzekonująca dlatego, że koszty konsekwencji popełnionych nieprawidłowości są często wielokrotnie wyższe niż koszty solidnej diagnostyki. Stosowanie sprawdzonych procedur badawczych, przedstawionych m.in. w omawianych normach, pozwoliłoby z pewnością na uniknięcie wielu niepowodzeń.

LITERATURA

1. 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 wyrobów i systemów.
2. PN-EN 1504-10:2005 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.
3. PN-EN 13791:2008. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych.
4. PN-EN 12504-1:2011. Badania betonu w konstrukcjach - Część 1: Próbkę rdzeniowe - Pobieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.
5. PN-EN 12390-3:2011. Badania betonu - Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań.
6. PN-EN 12504-2:2013-03. Badania betonu w konstrukcjach. Część 2. Badania niszczące. Oznaczanie liczby odbicia.
7. PN-EN 12504-3:2006. Badania betonu w konstrukcjach. Część 3. Oznaczanie siły wrywającej.
8. PN-EN 12504-4:2005. Badania betonu w konstrukcjach. Część 4. Oznaczanie prędkości fali ultradźwiękowej.
9. PN-EN 206:2014-04 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
10. PN-EN 14629:2008. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Oznaczanie zawartości chlorków w betonie.
11. PN-EN 14630:2007. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Oznaczanie głębokości karbonatyzacji w stwardniałym betonie metodą fenolftaleinową.
12. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. Dz. U. 2000 nr 63 poz. 735

DIAGNOSTICS OF CONCRETE BRIDGES IN ACCORDANCE WITH EUROPEAN STANDARDS**Summary**

Correctly performed diagnostics is essential in effective concrete bridge repair. Experience shows that it is often neglected. The European Standards (*PN-EN*) help putting these things in order.

General rules of performing of concrete structures diagnostics before repair are specified in the standard *PN-EN 1504 Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity*.

Standard *PN-EN 13791:2008 Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components* together with other related standards define methods that are used to assess the compressive strength of concrete in existing structures.

Methods of chemical tests of concrete are mainly presented in standards:

-
- *PN-EN 14629:2008. Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test methods – Determination of chloride content in hardened concrete,*
 - *PN-EN 14630:2007. Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test methods – Determination of carbonation depth in hardened concrete by phenolphthalein method.*

The analysis of numerous cases of concrete bridges repairs in Poland performed in recent years shows that diagnostic tests before repairs are not sufficient enough. Application of valid research procedures would allow prevent many failures.

