

Nowoczesne materiały i technologie związane z utrzymaniem mostów betonowych

Norma PN-EN 1504-3 rozróżnia dwie klasy materiałów przeznaczonych do napraw konstrukcyjnych (klasy R4 i R3) oraz dwie klasy materiałów do napraw niekonstrukcyjnych (klasy R2 i R1). Naprawy konstrukcyjne odnoszą się do wypełniania ubytków i reprofiliacji elementów nośnych konstrukcji z betonu. Naprawy niekonstrukcyjne dotyczą elementów osłonowych, działowych i drugorzędnych, na które działa wyłącznie obciążenie ich ciężarem własnym, i które nie mają istotnego znaczenia dla bezpieczeństwa konstrukcji jako całości. W przypadku obiektów mostowych mamy do czynienia wyłącznie z naprawami konstrukcyjnymi.

Wprowadzenie

Określenie materiały do naprawy betonu oznacza grupę produktów przeznaczonych do wypełniania ubytków i reprofiliacji elementów konstrukcyjnych z betonu. Po wbudowaniu materiały te powinny charakteryzować się:

- dobrą przyczepnością do naprawianego elementu
- trwałością zbliżoną do trwałości dobrze wykonanego zwykłego betonu
- właściwościami mechanicznymi, w tym przede wszystkim wytrzymałością na ściskanie, współczynnikiem sprężystości i rozszerzalności cieplnej zbliżonymi do zwykłego betonu.

Ponadto wyroby te powinny być również łatwe w aplikacji.



Klasyfikacja materiałów naprawczych

Na rynku jest dostępnych bardzo dużo rodzajów zapraw naprawczych, które są oferowane przez wielu producentów. Są wśród nich zaprawy o szerokim zakresie zastosowań oraz zaprawy wyspecjalizowane przeznaczone do wykonywania określonych napraw czy czynności montażowych. Ich klasyfikacja jest oparta na kilku różnych kryteriach: rodzaju spoiwa, granulacji i grubości układanej warstwy, konsystencji i podstawowego zakresu stosowania.

Pod względem zastosowanych spoiw materiały naprawcze do betonu można podzielić na dwie grupy:

- PC (polymer concrete) – zaprawy i betony polimerowe – mieszanki spoiw polimerowych i frakcjonowanych kruszyw, utwardzane w wyniku reakcji polimeryzacji żywicy zmieszanej z utwardzaczem
- PCC (polymer cement concrete) – zaprawy lub betony hydrauliczne, modyfikowane przez dodanie polimeru, utwardzane po zmieszaniu z wodą.

Pod względem konsystencji zaprawy dzielimy na:

- zaprawy płynne (samorozlewne, do wylewania, samopoziomujące, do kotwienia, na podlewki) – o konsystencji płynnej przeznaczone do wylewania na równych powierzchniach, w otworach lub w deskowaniach, jako podlewki pod łożyska i maszyny itp.; nie wymagają one zagęszczania po ułożeniu
- zaprawy tiksotropowe – o konsystencji gęstoplastycznej, przeznaczone do nakładania przez narzucanie kielnią lub aparatami tynkarskimi; można je stosować na powierzchnie poziome lub pionowe i sufitowe warstwami o grubości od 2 do 4 cm.

W zależności od grubości nakładanej warstwy zaprawy możemy podzielić na:

- zaprawy szpachlowe – przeznaczone do wyrównywania i wygładzania powierzchni betonu, które można układać warstwami o grubości od 0 do 3 mm lub od 2 do 5 mm
- zaprawy naprawcze – przeznaczone do uzupełniania ubytków w betonie lub reprofilacji elementów konstrukcyjnych; wśród nich wyróżnia się:
 - zaprawy drobnoziarniste o maksymalnej średnicy ziaren kruszywa do 2 mm
 - zaprawy gruboziarniste o maksymalnej średnicy ziaren kruszywa do 4 mm
 - betony drobnoziarniste o maksymalnej średnicy ziaren kruszywa do 8 mm.

Tablica 1. Wymagania użytkowe 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 ^a	
4	Ograniczony skurcz/pęcznienie ^b	MC(0,40)	EN 12617-4	przyczepność po badaniu ^{d,e}			brak wymagań
5	Odporność na karbonatyzację ^f	brak	EN 13295	d _k ≤ betonu kontrolnego (MC(0,40))		brak wymagań ^g	
6	Moduł sprężystości	brak	EN 13412	≥ 20 GPa	≥ 15 GPa	brak wymagań	
7	Kompatybilność cieplna ^{fh} Część 1, Zamrażanie- rozmarzanie	MC(0,40)	EN 13687-1	przyczepność po 50 cyklach ^{d,e}			sprawdzenie wizualne po 50 cyklach ^e
8	Kompatybilność cieplna ^{fh} Część 2, Zraszanie	MC(0,40)	EN 13687-2	≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa ^a	
9	Kompatybilność cieplna ^{fh} Część 4, Cykle suszenia	MC(0,40)	EN 13687-4	przyczepność po 30 cyklach ^{d,e}			sprawdzenie wizualne po 30 cyklach ^e
10	Odporność na poślizg	brak	EN 13036-4	klasa I: > 40 jednostek przy badaniu na mokro	klasa I: > 40 jednostek przy badaniu na mokro	klasa II: > 40 jednostek przy badaniu na mokro	

11	Współczynnik rozszerzalności cieplnej ^c	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	$\leq 0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}$	$\leq 0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}$ brak wymagań

Wymagania dotyczące zasad napraw 3, 4 i 7:

Metoda 3.1 – Odbudowanie elementu betonowego przez ręczne nakładanie zaprawy naprawczej.

Metoda 3.2 – Odbudowanie elementu betonowego przez nadłożenie warstwy betonu.

Metoda 3.3 – Odbudowanie elementu betonowego przez natryskiwanie betonu lub zaprawy.

Metoda 4.4 – Wzmacnianie konstrukcji przez dodanie warstwy zaprawy lub betonu.

Metoda 7.1 – Zwiększenie grubości otuliny zbrojenia przez dodanie warstwy zaprawy lub betonu cementowego.

Metoda 7.2 – Wymiana skażonego lub skarbonatyzowanego betonu.

a Osiągnięcie wartości 0,8 MPa nie jest wymagane, jeśli następuje zniszczenie kohezyjne w materiale naprawczym. W takim przypadku wymagana jest minimalna wytrzymałość na rozciąganie 0,5 MPa.

b Nie wymagane przy metodzie 3.3.

c Nie wymagane, jeśli stosuje się cykle cieplne.

d Wartość średnia przy braku pojedynczych wartości mniejszych niż 75% wymaganego minimum.

e Maksymalna dopuszczalna średnia szerokość rysy $\leq 0,05 \text{ mm}$ przy braku rys $\geq 0,1 \text{ mm}$ i braku odspojeń.

f Dla trwałości.

g Nie stosuje się przy ochronie przed karbonatyzacją, chyba że system naprawczy zawiera system ochrony powierzchniowej o potwierdzonej zdolności ochrony przed karbonatyzacją (patrz EN 1504-2).

h Wybór metody zależy od warunków ekspozycji. Jeśli wyrób spełnia wymagania Części 1, uznaje się, że spełnia także wymagania Części 2 i Części 4.

W zależności od czasu wiązania, szybkości przyrostu wytrzymałości i możliwości wczesnego obciążenia wykonanej warstwy, zaprawy naprawcze możemy podzielić na:

- zaprawy o zwykłym czasie wiązania – o zwykłym przyroście wytrzymałości, zbliżonym do zwykłego betonu
- zaprawy szybkosprawne (szybkowiązające) – o szybkim przyroście wytrzymałości, przeznaczone do stosowania w przypadku, gdy jest niezbędne natychmiastowe obciążenie naprawianego elementu.

Wśród zapraw naprawczych wyróżnić należy grupę specjalną:

- zaprawy specjalne – przeznaczone do zastosowań, które nie mieszczą się w klasyfikacji opisanej wyżej; wymagania w stosunku do nich powinny być ustalane indywidualnie dla określonego materiału.

Do grupy materiałów przeznaczonych do naprawy betonu należy także zaliczyć dwa rodzaje wyrobów uzupełniających:

- materiały przeznaczone do wykonywania warstw szepnych
- materiały przeznaczone do wykonywania powłoki antykorozyjnej na odstłoniętych elementach zbrojenia.



Fot. 1. Prawidłowo przygotowane do naprawy naroże słupa z odsłoniętym zbrojenie

Warstwy szcpejne mają za zadanie poprawienie przyczepności zasadniczej warstwy zaprawy naprawczej do podłoża betonowego. Są nanoszone bezpośrednio przed ułożeniem właściwej warstwy naprawczej, tak aby nie zdążyła jeszcze związać – jest to tzw. metoda „mokre na mokre”. Wykonywanie warstw szcpejnych nie jest konieczne przy stosowaniu wszystkich systemów naprawczych do betonu. Zależy to od składu chemicznego właściwej zaprawy naprawczej oraz od zastosowanych dodatków ją modyfikujących. Należy zaznaczyć, że wykonywanie warstw szcpejnych na budowie jest kłopotliwe, zwłaszcza gdy są naprawiane ubytki o dużej powierzchni. Łatwo wtedy o zbyt szybkie wyschnięcie lub jej utwardzenie, zanim zostanie ułożona właściwa warstwa naprawcza. Warstwa szcpejna staje się wtedy warstwą antyadhezyjną.

Warstwy szcpejne wykonane na bazie żywicznej są mniej wrażliwe na warunki pogodowe od warstw na bazie spoiw hydraulicznych, gdyż te wymagają do wiązania odpowiedniej ilości wody i w warunkach wysokiej temperatury otoczenia i silnego wiatru bardzo łatwo mogą ulec przesuszeniu.



Fot. 2. Powierzchnia betonu z nałożoną warstwą szpachlową i pierwszą warstwą powłoki malarskiej

Przeznaczenie, zakres i warunki stosowania materiałów naprawczych

Materiały naprawcze do betonu są przeznaczone do wypełniania ubytków w betonie oraz do jego reprofiliacji. Przy wykonywaniu napraw konstrukcyjnych jest niezbędne, aby zastosowany produkt wykazywał po utwardzeniu właściwości mechaniczne zbliżone do zwykłego betonu. Wypełnienie ubytku nie powinno zostać odspojone pod obciążeniem na skutek koncentracji naprężeń w warstwie stykowej, która może pojawić się, gdy połączone materiały (istniejący beton i zaprawa naprawcza) będą charakteryzować się różnymi współczynnikami rozszerzalności cieplnej i sprężystości.

W przeszłości obiekty mostowe były wykonywane z betonów o wytrzymałości na ściskanie 17-20 MPa. Do ich naprawy nie powinny być stosowane zaprawy naprawcze klasy R3 i R4, przeznaczone do napraw konstrukcyjnych, lecz zaprawy klasy R1 i R2.



Fot. 3. Prześło mostu belkowego po naprawie

Zaprawy bezskurczowe i pielęgnacja wykonanych warstw naprawczych

Zaprawy naprawcze powinny się charakteryzować niskim skurczem, który zapobiega powstaniu naprężeń ścinających na powierzchni stykowej warstwy naprawczej z podłożem. Skurcz betonu i zaprawy naprawczej jest zjawiskiem, które występuje we wszystkich materiałach wiążących wykonanych na spoiwie hydraulicznym. Do zapraw bezskurczowych są dodawane domieszki, powodujące ich pęcznienie w czasie wiązania. Kompensują one skurcz, gdy zaprawa dojrzewa w przeciętnych warunkach wilgotności i temperatury. Większość z nich wiąże przy tym całą wodę dodaną do suchej mieszanki w procesie jej rozrabiania.

Pielęgnację zapraw naprawczych wykonuje się poprzez zabezpieczenie wykonanej warstwy przed nadmiernym parowaniem np. przykrywając ją folią.

Właściwości techniczno-użytkowe materiałów naprawczych

Wymagania techniczno-użytkowe w stosunku do materiałów naprawczych do betonu określone w normie PN-EN 1504-3 zestawiono w tablicy 1.

W przypadku napraw reprofilacyjnych betonu oraz nałożenia powłok ochronnych trwałość i skuteczność robót jest oceniana głównie na podstawie przyczepności wykonanych warstw do podłoża. Gdy wypełnienie ubytku lub powłoka odpadnie to naprawa została źle zrobiona i wszystkie inne właściwości ułożonej warstwy naprawczej lub powłoki ochronnej przestają mieć znaczenie, pomimo że zostały potwierdzone odpowiednimi badaniami. Gdy wypełnienie ubytku lub powłoka są nieuszkodzone w miejscu wbudowania nikt nie zakwestionuje jakości robót ani zastosowanych materiałów. W przypadku prac naprawczych w praktyce stosuje się zero-jedynkową ocenę jakości i trwałości robót – naprawa udała się (1) lub nie (0).

O powodzeniu wykonania warstwy naprawczej decyduje jej przyczepność do podłoża, ale trzeba tu podkreślić, że nie chodzi o przyczepność doraźną, możliwą do stwierdzenia lub pomiaru bezpośrednio po wykonaniu robót. Ważna jest przyczepność trwała, czyli ta, która powoduje, że wykonana powłoka nie ulegnie uszkodzeniu przez wiele lat.

W polskich warunkach klimatycznych najgroźniejszym czynnikiem działającym na beton oraz na ułożone warstwy zapraw naprawczych jest wielokrotne zamrażanie i odmrażanie. Woda w betonie znajduje się w porach. Zamarzając zwiększa swoją objętość i rozsadza je uszkadzając strukturę betonu. Działa także na zaprawę wypełniającą ubytek w elemencie betonowym niszcząc jej strukturę (spękania, złuszczenia)

i odpajając od podłoża (ściananie w warstwie stykowej z naprawianym betonem). Aby wyeliminować z rynku zaprawy naprawcze nieodporne na działanie czynników klimatycznych IBDiM opracował Zalecenia IBDiM do Udzielania Aprobata Technicznych nr Z/20090-03-019 Wyroby i Systemy do Naprawy Konstrukcji Betonowych (Naprawy Konstrukcyjne). W zaleceniach tych ocenę przydatności zapraw naprawczych oparto na badaniu mrozoodporności zapraw po 200 cyklach zamrażania i odmrażania oraz na badaniu przyczepności do podłoża: doraźnej i zmierzonej po 200 cyklach zamrażania i odmrażania.

Technologia wykonywania napraw

Naprawa elementów konstrukcji żelbetowych powinna być wykonywana przy dobrej pogodzie, przy temperaturze otoczenia (powietrza i podłoża) w granicach od +5°C do +30°C. Nie należy prowadzić robót w czasie deszczu oraz gdy spodziewany jest deszcz lub spadek temperatury poniżej 0°C w czasie 8 godzin po zakończeniu prac.

Podłoże powinno być oczyszczone ze wszystkich luźnych frakcji, pyłów, zatłuszczeń i uszkodzonych warstw aż do odsłonięcia dobrego betonu. Czyszczenie podłoża należy wykonywać za pomocą młotków elektrycznych, wodą pod wysokim ciśnieniem (hydromonitorem), piaskowania, śrutowania itp. Nawierzchnia ubytku powinna być uszorstniona, a jego krawędzie – przycięte prostopadłe do powierzchni elementu na głębokość ok. 1 cm, co umożliwi wygładzenie podłoża po naprawie. Głębokość przycięcia krawędzi powinna być zgodna z zaleceniami producenta zaprawy.

Odsłonięte zbrojenie powinno być oczyszczone z rdzy przez piaskowanie do stopnia czystości Sa 2" wg PN-EN ISO 8501-1. Decyzja o odkuwaniu betonu pod zbrojeniem w celu odsłonięcia pręta na całym obwodzie należy poprzedzić analizą statyczną nośności przekroju. Czyszczenie zbrojenia nie może spowodować utraty nośności przekroju. Prawdłowo przygotowane do naprawy naroże słupa z odsłoniętym zbrojeniem pokazano na fot. 1.

Wilgotność podłoża powinna być zgodna z zaleceniami producenta materiału naprawczego. Zaprawy można układać na betonie o dwóch stanach zawilgocenia:

- podłoże matowo-wilgotne oznacza beton w stanie matowo-wilgotnym; powierzchnia jest jednolicie wilgotna i ciemna, bez błyszczącej warstwy wody na powierzchni, gdyż mogłaby ona zakłócić proces wiązania zaprawy i doprowadzić do jej nadmiernego spęcznienia i spękania lub do spłynięcia z powierzchni pionowej albo sufitowej; na podłożu wilgotnym są układane zaprawy typu PCC
- podłoże suche oznacza beton w stanie powietrzno-suchym¹; powierzchnia jest jednolicie sucha i jasna bez lokalnych zaciemnień spowodowanych obecnością wilgoci; na podłożu suchym są układane zaprawy typu PC (wilgoć może przeciwdziałać wiązaniu).

Gdy system naprawczy tego wymaga oczyszczone, odsłonięte zbrojenie należy zabezpieczyć poprzez nałożenie powłoki antykorozyjnej.

Zaprawy naprawcze należy nakładać warstwami (po związaniu poprzedniej) o grubości zalecanej przez producenta. Jako ostania powinna być ułożona warstwa szpachlowa, której zadaniem jest wygładzenie powierzchni naprawianego elementu – fot. 2.

Przykłady poprawnych zastosowań wyrobów naprawczych

Przy prawidłowej realizacji robót, związanych z naprawami i reprofiliacją betonu, wykonanych prac nie powinno być widać. Na fotografii 3 pokazano wyremontowane przeszło mostu belkowego z betonu zbrojonego.

¹Niektóre karty techniczne opracowane przez producentów zapraw naprawczych i materiałów do wykonywania powłok ochronnych na betonie zawierają wymaganie, aby wilgotność podłoża nie przekraczała 4%. Wykonanie pomiaru wilgotności podłoża jest bardzo trudne. Dostępne na rynku elektroniczne mierniki wilgotności są dostosowane do pomiaru wilgotności tynków i dają dobre wyniki pomiarów, gdy nasiąkliwość podłoża wynosi co najmniej 15%. Wyniki pomiarów wilgotności betonów

mostowych o nasiąkliwości zawartej między 4% a 7% nie są wiarygodne. Pomiar wilgotności na podstawie absorpcji wody z próbki betonu pobranej z konstrukcji też może być wadliwy. W trakcie jej pobierania, zwykle wykonywanego za pomocą wiercenia, a następnie rozdrabniania można tą próbkę przesuszyć.

dr inż. Krzysztof Germaniuk
Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Spis literatury

1. Czarnecki L., Emmons P.H., *Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych*, Polski Cement, Kraków 2002
2. Germaniuk Krzysztof, *Uwagi mostowca do normy PN-EN 1504. Artykuł dyskusyjny*, „Materiały Budowlane”, nr 2/2009, s. 5-7
3. Germaniuk K., *Doświadczenia w zakresie stosowania materiałów do napraw i reprofilacji betonu oraz zabezpieczenia obiektów mostowych metodą hydrofobizacji w Polsce*, Międzynarodowa Konferencja: Nowoczesne systemy ochrony antykorozyjnej obiektów mostowych, Kielce 12.05.2009, s. 15-30
4. Germaniuk K., Gajda T., Królikowska A., *Wyroby i systemy do naprawy konstrukcji betonowych (naprawy konstrukcyjne)*, Zalecenia IBDiM do Udzielania Aprobat Technicznych nr Z/2009-03-019, Seria Informacje, Instrukcje, Zeszyt nr 78, IBDiM, Warszawa 2010
5. Germaniuk Krzysztof, *Powłoki ochronne na mostach żelbetowych – oczekiwania i rzeczywistość*, „Materiały Budowlane”, nr 2/2011
6. 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*