



GRZEGORZ SŁOWEK, *grzegorz.slowek@put.poznan.pl*

Politechnika Poznańska, Instytut Konstrukcji Budowlanych

WŁODZIMIERZ MAJCHRZAK, *wm@torkret.com.pl*

Specjalistyczne Przedsiębiorstwo Budowlane „TORKRET” sp. z o.o. spółka komandytowa

BETON NATRYSKOWY W NAPRAWACH KONSTRUKCJI BETONOWYCH

SPRAYED CONCRETE IN REPAIR OF CONCRETE STRUCTURES

Streszczenie W referacie scharakteryzowano problematykę dotyczącą napraw obiektów żelbetonowych przy wykorzystaniu betonu natryskowego realizowanego metodą suchą. Odwołano się do normy PN-EN 14487:2007 „Beton natryskowy” w zakresie realizacji napraw i wzmocnienia konstrukcji betonowych. Zaprezentowano przypadki zrealizowanych napraw.

Abstract Problems regarding repair of reinforced concrete structures with the use of dry mix sprayed concrete are discussed in this paper. A reference to the Polish code PN-EN 14487:2007 „Sprayed concrete” with regard to repair and reinforcing of concrete structures is made. Study cases of repairs which were carried out are presented.

1. Wprowadzenie

Beton natryskowy jest technologią, która znajduje szerokie zastosowanie w naprawach obiektów i konstrukcji żelbetonowych. Szczególnie w przypadku budowli przemysłowych i inżynierskich do których istnieje ograniczony, bądź znacznie utrudniony dostęp.

Rok 2011 jest jubileuszem 25-lat Konferencji Awarie Budowlane a także jubileuszem 100 lat istnienia technologii betonu natryskowego. W 1911 roku dr Carl E. Akeley uzyskał patent na skonstruowane przez siebie urządzenie, które nazwał „Cement Gun”. Był to zbiornik ciśnieniowy, w którym znajdowała się sucha mieszanka cementu i piasku. Mieszanka ta po doprowadzeniu sprężonego powietrza była transportowana pneumatycznie węzłem, na końcu którego znajdowała się dysza, do której doprowadzono rozpyloną wodą. Dzięki temu sucha mieszanka była nawilżana w czasie przepływu przez dyszę i natryskiwana pod ciśnieniem na podłoże. Ten sposób wykonania betonu natryskowego nazwano metodą suchą. Obok niej opracowano technologię, gdzie najpierw łączono piasek i cement z wodą a następnie mieszankę tą transportowano hydraulicznie węzłem do dyszy wylotowej, do której doprowadzono sprężone powietrze dla uzyskania efektu natrysku. Tą technikę wytwarzania betonu natryskowego nazwano metodą moką.

Wybór metody wykonania betonu natryskowego nie jest jednoznaczny, jakkolwiek metoda sucha jest efektywniejsza ze względu na jej elastyczność – szczególnie w zastosowaniu do napraw konstrukcji żelbetonowych.

Decyduje w tym przypadku możliwość natychmiastowej korekty konsystencji mieszanki betonowej w chwili jej nanoszenia odpowiednio do zmieniających się warunków zewnętrznych (wilgotność podłoża, nasłonecznienie, siła wiatru), żądanej grubości warstwy natry-

skiwanego betonu, czy faktury zewnętrznej wykonywanego betonu. W metodzie mokrej takie zmiany są możliwe dopiero po przerwaniu procesu natrysku i opróżnieniu węży transportowych z znajdującego się w nich materiału.

2. Normy dotyczące betonu natryskowego

Obowiązujące w Polsce normy dotyczące betonu natryskowego zostały przygotowane przez Komitet Techniczny nr 274 ds. Betonu i zatwierdzone przez prezesa PKN. Normy te są wersją Norm Europejskich opracowanych przez Komitet Techniczny CEN/TC 104 „Beton i materiały pokrewne”, którego sekretariat prowadzony jest przez DIN.

Podstawą Normy Europejskiej „Beton natryskowy” jest norma EN-206-1, która ma także status Polskiej Normy [1].

Normy dotyczące betonu natryskowego obejmują w zasadzie dwie grupy dokumentów:

I. Beton natryskowy (PN-EN 14487): część 1 [2] i część 2 [3].

II. Badanie betonu natryskowego (PN-EN 14488) obejmujące 7 części: [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10].

Należy zwrócić uwagę, że norma [5] dotyczy wytrzymałości młodego betonu natryskowego (o wieku do 24 godzin) a normy [6], [8] i [10] odnoszą się do betonu zbrojonego włóknami zarówno polipropylenowymi jak i stalowymi.

Generalnie normy powyższe dotyczą betonu natryskowego, stosowanego do napraw i wzmocnienia konstrukcji, wznoszenia nowych konstrukcji oraz wzmocnienia gruntu.

W dalszej części artykułu zasygnalizowano tylko niektóre problemy dotyczące stosowania w naprawach betonu natryskowego wykonywanego metodą suchą.

Norma „Beton natryskowy” [2] definiuje pojęcia: metoda sucha, sucha mieszanka przygotowana fabrycznie oraz sucha mieszanka przygotowana na budowie.

Należy też zwrócić uwagę, że zgodnie z normą [2]: naprawa – to zastąpienie fragmentów betonu lub elementów murowych uszkodzonych lub gorszej jakości, wzmocnienie – to zastosowanie dodatkowego betonu natryskowego – zbrojonego lub bez zbrojenia – w celu zwiększenia nośności lub integralności konstrukcji, ulepszenie powierzchni – zastosowanie warstwy betonu natryskowego w celu poprawy trwałości lub wyglądu konstrukcji.

3. Wymagania odnośnie betonu natryskowego

Analogicznie jak w normie „Beton” [1], beton natryskowy zgodnie z normą: [2] należy określić jako beton projektowany, albo jako beton recepturowy.

„Beton projektowany to taki, którego wymagane właściwości i dodatkowe cechy są podane producentowi, odpowiedzialnemu za dostarczenie betonu zgodnego z wymaganymi właściwościami i dodatkowymi cechami”.

„Beton recepturowy to taki, którego skład i składniki, jakie powinny być użyte są podane producentowi odpowiedzialnemu za dostarczenie betonu o tak określonym składzie”.

W pracy [11] zwrócono uwagę, że przepisy krajowe ujmują powyższe terminy w sposób bardziej opisowy:

– beton projektowany – to beton o ustalonych właściwościach,

– beton recepturowy – to beton o ustalonym składzie.

Zatem w przypadku betonu projektowanego odpowiedzialność za osiągnięcie zakładanych efektów odpowiedzialność bierze producent.

Za beton recepturowy odpowiedzialność spada na autora receptury – specyfikującego.

Zgodnie z normą [1]: specyfikujący to osoba lub jednostka ustalająca specyfikację mieszanki betonowej i stwardniałego betonu. Natomiast specyfikacja to końcowe zestawienie

udokumentowanych wymagań technicznych dotyczących wykonania lub składu betonu, podane producentowi.

W pracy [11] zwrócono istotną uwagę, że: „Pojęcia specyfikacja oraz specyfikujący wydają się kluczowe dla zrozumienia podstaw normy PN-EN 206-1 oraz podziału odpowiedzialności za właściwą realizację robót betonowych i obiektu. Specyfikującym może być projektant obiektu. Od jego wiedzy i doświadczenia ale także samokrytycznej oceny własnych kwalifikacji zależy jaką drogę postępowania obierze tworząc specyfikację, na jaki rodzaj betonu się zdecyduje: beton projektowany czy beton recepturowy...”. Zakres odpowiedzialności specyfikującego jest duży.

Stworzona przez niego specyfikacja jest ważnym dokumentem, nie tylko w procesie realizacji obiektu, ale także w przypadku zaistniałych wątpliwości lub rozstrzygnięcia sporów. Zatem specyfikacja musi być kompletna, napisana właściwym językiem pod względem merytorycznym i formalno-prawnym [11].

Należy podkreślić, że beton natryskowy jest szczególnym rodzajem betonu, gdyż jego wykonawca jest zarazem producentem. Zatem definicja betonu projektowanego i betonu recepturowego powinny uwzględniać tę odrębność. Przy czym w załączniku A.4 norma [2] podaje, że: „zazwyczaj stosuje się beton projektowany, a nie beton recepturowy”.

Nie mniej odnosząc się do specyfikacji betonu natryskowego norma stwierdza, że: „Podstawowe informacje o betonie natryskowym należy podawać zawsze, natomiast informacje dodatkowe należy podawać, jeśli są wymagane”. Brak ustaleń, kiedy informacje dodatkowe są wymagane, co może prowadzić do nieporozumień na płaszczyźnie inwestor – wykonawca.

Beton natryskowy należy określać jako beton projektowany, co jest związane z wymaganiami dotyczącymi betonu stwardniałego. Dokonując kontroli zgodności betonu natryskowego należy wybrać jedną z następujących kategorii inspekcji: 1. kategoria inspekcji, 2. kategoria inspekcji, 3. kategoria inspekcji.

Przy czym, jeżeli w specyfikacji są określone inspekcje kategorii 2. lub 3., należy stosować tylko betony projektowane. W przypadku kategorii 1. można stosować beton recepturowy.

Kategorie określone przez normę [2] przyporządkowane są rodzajowi pracy konstrukcji i podane przykładowo w zestawieniach tabelarycznych załącznika A normy [2]. Napraw i wzmocnienia dotyczą Tablice: A.1 i A.2.

Należy zwrócić uwagę, że norma [2] odnosząc się do pojęć: „Badanie i inspekcje” ujętych w pkt. 3.7 określa:

Wstępne badanie betonu natryskowego to badanie lub badania sprawdzające skład betonu natryskowego mające na celu potwierdzenie, że mieszanka betonowa i beton w stanie stwardniałym spełniają wszystkie określone wymagania.

Badania przedwykonawcze to badanie lub badania przeprowadzone przez wykonawcę przed rozpoczęciem natryskiwania, w celu zapewnienia, że będą spełnione wymagania specyfikacji. W badaniach przedwykonawczych powinien uczestniczyć personel zatrudniony podczas właściwego natrysku i w badaniach tych należy zastosować materiały, wyposażenie i metody natrysku stosowane podczas właściwej produkcji.

Jednak badania przedwykonawcze nie są konieczne, jeśli dostępne są długotrwałe doświadczenia, z tym samym wyposażeniem do wytwarzania betonu natryskowego i z tym samym personelem – pkt. 7.3 normy [2]. Ale należy ponownie ustalić skład (projekt) betonu oraz zależności projektowe w sytuacji: podwyższenia współczynnika w/c , zmiany rodzaju (albo dostawcy) kruszywa, zmiany maksymalnego wymiaru kruszywa, zmiany domieszek lub dodatków, zmiany rodzaju, klasy albo pochodzenia cementu, zmiany rodzaju włókien, albo jego dostawcy.

Badania przedwykonawcze w metodzie suchej zgodnie z tablicą 9 normy [2] obejmują: zawsze określenie wytrzymałości na ściskanie, badanie przyczepności do podłoża dla 2 i 3 kategorii inspekcji, oraz badanie modułu sprężystości tylko dla 3 kategorii inspekcji.

4. Przykłady zrealizowanych napraw

Warunkiem wykonania skutecznej naprawy jest pełne rozpoznanie stopnia i charakteru uszkodzeń. Dokonana musi być ocena aktualnego stanu technicznego konstrukcji, a także przeprowadzane badania laboratoryjne skażeń chemicznych betonu w konstrukcji. Próbkę do badań należy pobrać z rdzeni wyciętych w konstrukcji, gdyż umożliwia to ocenę głębokości migracji i określenie stężeń skażeń na głębokości przekroju, a nie tylko na powierzchni naprawianej konstrukcji.

Jednak skutki skażeń chemicznych betonu okazują się niekiedy nieodwracalne, co stwarza duże problemy przy opracowaniu sposobu naprawy, gwarantującej nie tylko efekt doraźny, ale także skuteczność i trwałość zrealizowanego wzmocnienia. Nie w każdym przypadku możliwe jest usunięcie skażonego, skarbonatyzowanego betonu, gdyż przy znacznej głębokości zalegania skażeń prowadziłoby to do wyburzenia uszkodzonego elementu.

Istotną informacją dla opracowania sposobu naprawy jest określenie jaka jest (poza wytrzymałością na ściskanie) wytrzymałość betonu na odrywanie w naprawianym podłożu. Informacja ta jest istotna dla zapewnienia przyczepności nanoszonych warstw naprawczych do istniejącego podłoża betonowego. Badanie to przeprowadza się metodą pull-off, a średnia wytrzymałość na odrywanie nie może być mniejsza niż 1,5 MPa, przy pojedynczym wyniku badania nie niższym niż 1,0 MPa.

Problematyka napraw jest szeroka, co zaprezentowano szerzej w pracy [12]. Jednak należy zaznaczyć, że wykonanie skutecznej naprawy wymaga:

- zapewnienia swobodnego dostępu do naprawianego obiektu,
- oczyszczenia i przygotowania podłoża betonowego jak i prętów zbrojenia oraz wykonania piaskowania wszystkich powierzchni,
- montażu zbrojenia wzmacniającego i zbrojenia przeciwskurczowego,
- opracowania właściwego składu betonu natryskowego i prawidłowego wykonania natrysku wraz z mokrą pielęgnowaniem betonu,
- wykonanie zabezpieczenia powierzchniowego natryśniętego betonu.

W prezentowanych poniżej naprawach stosowano gotowe suche mieszanki workowane oraz przygotowywane wcześniej (tam gdzie było to możliwe) gotowe siatki zbrojeniowe.

Dla zapewnienia ochrony i trwałości zrealizowanych napraw we wszystkich przypadkach stosowano powłoki antykorozyjne przygotowane według wcześniej ustalonej kolorystyki.

Trzeba zaznaczyć, że zabezpieczenie powierzchniowe spełnia funkcje architektoniczne, zatem dobór kolorystyki nie może być przypadkowy.

4.1 Wiadukt

Wiadukt ten składa się z dwóch niezależnych obiektów o jednokierunkowych jezdniach z 3 pasmami ruchu w każdym kierunku o długości każdego ponad 530 metrów.

Przebudowa wiaduktu obejmowała naprawę uszkodzonego korozyjnie obiektu połączoną ze wzmocnieniem jego konstrukcji dla dostosowania jego nośności dla aktualnych potrzeb (klasa A).

Istotą wzmocnienia była zmiana schematu statycznego istniejącego układu 25-ciu jedno-prześłowych belek strunobetonowych wolnopodpartych na układ ciągły wieloprześlowy (10+5+10) co było przedmiotem oddzielnego projektu.

Beton natryskowy zastosowano w pracach związanych z naprawą i wzmocnieniem słupów i oczepów oraz naprawą dolnej powierzchni płyty pomostowej (zamków) i półek dolnych dźwigarów strunobetonowych – rys. 1÷4.



Rys. 1. Korozyjne uszkodzenia belki oczepowej i płyty pomostowej



Rys. 2. Wzmacnianie słupów



Rys. 3. Montaż zbrojenia na belce oczepowej



Rys. 4. Wiadukt po naprawie i wzmocnieniu

Dodać należy, że całość robót naprawczych prowadzona była przy utrzymaniu ruchu pojazdów samochodowych, z wykorzystaniem drugiego wiaduktu i wprowadzeniem na nim ruchu dwukierunkowego.

Ponadto w części wiadukt przebiegał nad torami węzła kolejowego (24 tory). Wymagało to ścisłych ustaleń nie tylko w zakresie zabezpieczeń obiektu, ale także odnośnie wyłączeń torowisk oraz sieci trakcyjnej na czas prowadzenia robót.

4.2 Żelbetowy komin

Najbardziej zagrożony ze względu na negatywne wpływy agresywnego środowiska i warunki pracy jest górny odcinek komina obejmujący 3÷5 m od wylotu spalin. W obszarze tym osadzają się zasieczony pyły intensyfikujące korozyjne destrukcje żelbetowego trzonu, a także stalowy pomost galerii górnej i drabiny włazowej – rys. 5 i 6.



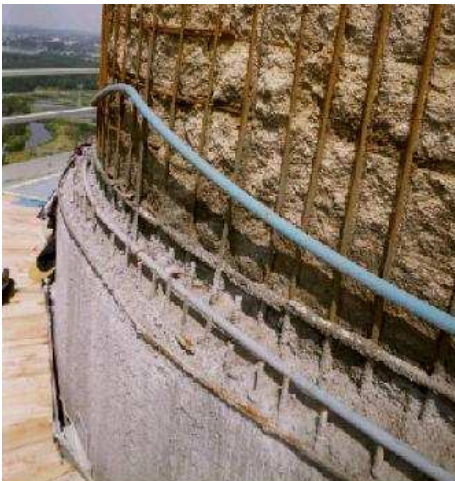
Rys. 5. Zasiarczenia i korozja zbrojenia



Rys. 6. Korozja betonu i stali zbrojeniowej

Projekt naprawy opracowano wydzielając 3 obszary napraw. Komin o wysokości 100 m posiadał dwie galerie (pomosty). Stąd odcinki te obejmowały: obszar dolny od podstawy kominu do galerii dolnej, obszar środkowy pomiędzy galeriami i odcinek górny, który ze względu na silne uszkodzenia korozyjne był odcinkiem od poziomu wylotu spalin łącznie z galerią górną.

Na odcinku górnym o długości 8 m zaprojektowano powłokę wzmacniającą o grubości 14 cm zbrojoną dwoma siatkami ortogonalnymi. Wzmocnienie to wykonano w dwóch odcinkach (po 4 m) co umożliwiło wykorzystanie „starej”, skorodowanej galerii jako pomostu roboczego i zamontowanie nowej galerii na wzmocnionym wcześniej odcinku trzonu kominu – rys. 7. Na pozostałych odcinkach wykonano wzmocnienie powłoką o grubości 8 cm, zbrojoną pojedynczą siatką ortogonalną. Na całym trzonie kominu wykonano zabezpieczenia powierzchniowe stanowiące istotną ochronę przed wpływami agresywnego środowiska przemysłowego – rys. 8.



Rys. 7. Wykonanie odcinka powłoki wzmacniającej



Rys. 8. Nanoszenie powłok ochronnych i montaż galerii środkowej

4.3 Chłodnia kominowa

Chłodnie kominowe wykazują odmienny charakter destrukcji, gdyż ze względu na małą grubość powłoki i wpływy korozji ługującej wymianie podlegają duże (zarówno powierzchniowo jak i objętościowo) obszary skorodowanego betonu. Ponadto miejscami osłabień przekroju betonowego są styki kolejnych cykli betonowania.

Należy zwrócić uwagę, że ze względu na geometrię hiperboloidalnej chłodni a ściślej krzywizną powłoki, konieczne jest zastosowanie odpowiedniego systemu rusztowań wiszących umożliwiających swobodny dostęp do naprawianej powierzchni. Jest to szczególnie ważne na powierzchni wewnętrznej, gdzie docisk do powłoki zapewniają liny napinające dociskające rusztowania do naprawianej powierzchni.

Dodać należy, że grubość powłoki na odcinku dolnym wynosi 40 cm i maleje do 12 cm na wysokości 20 m pozostając stałą do poziomu galerii górnej na wysokości 90 m.

Poniższe rys. 9÷12 ilustrują kolejne fazy naprawy chłodni.



Rys. 9. Usuwanie skorodowanego betonu (tzw. okna) Rys. 10. Stan zbrojenia we wykutym oknie



Rys. 11. Natryskiwanie betonu

Rys. 12. Naprawiona chłodnia z powłokami ochrony powierzchniowej

Wymiana betonu w całym przekroju powłok wymagała zastosowania jednostronnych deskowań, które montowano na powierzchni zewnętrznej chłodni. Po wykonaniu naprawy (zarówno na powierzchni wewnętrznej jak i zewnętrznej) wykonano powłoki ochronne metodą „airless”. Zwraca się uwagę, że podwyższona temperatura i wysoka wilgotność we wnętrzu chłodni odpowiadają wyższemu ciśnieniu pary wodnej niż ma to miejsce po drugiej stronie. Stąd molekuly wody dyfundują na zewnątrz poprzez powłokę chłodni. Zatem szczelność powłok wewnętrznych jest decydująca dla wyeliminowania dyfuzji pary wodnej do betonu płaszcza chłodni.

5. Podsumowanie

Beton natryskowy wykonywany metodą suchą jest skuteczną i relatywnie szybką metodą napraw konstrukcji betonowych i żelbetowych także o znacznych wymiarach geometrycznych i dużych powierzchniach co zaprezentowano w referacie. Praktycznie wyeliminowana jest konieczność stosowania desek w naprawach. Wprowadzenie norm krajowych: „Beton natryskowy” porządkuje oraz ujednocza zasady i reguły dotyczące zarówno napraw, ale także realizacji nowych konstrukcji z betonu natryskowego.

Ramy niniejszego referatu nie pozwalają na omówienie szerokiego zakresu zastosowań praktycznych betonu natryskowego w naprawach.

Skład betonu natryskowego jest ustalany dla konkretnych zastosowań w zależności od rodzaju i stopnia skażeń z użyciem dodatków (popioły lotne, mikrokrzemionka, granulowany żużel wielkopieczowy) oraz domieszek (plastyfikatory i superplastyfikatory, przyspieszacze i opóźniacze) [12]. Naprawa pełna jest możliwa gdy uszkodzenia i skażenia obejmują tylko otulinę betonowa, a beton podłoża ma wytrzymałość na odrywanie (przyczepność) $\geq 1,5$ MPa. W przypadku wytrzymałości $< 1,5$ MPa realizowana jest naprawa częściowa, która nie przywraca stanu początkowego konstrukcji. Wymagane jest wtedy zastosowanie wklejanych kotew stalowych w naprawiane podłoże i zastosowanie siatek zbrojenia wzmacniającego. W przypadkach przedawaryjnych można wykonać naprawę wzmacniającą, obejmującą zwiększenie wymiarów przekroju i obliczeniowe ustalenie dla niego dodatkowej ilości zbrojenia.

Literatura

1. PN-EN 206-1:2003. Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
 2. PN-EN 14487-1:2007. Beton natryskowy. Część 1: Definicje, wymagania i zgodność.
 3. PN-EN 14487-2:2007. Beton natryskowy. Część 2: Wykonywanie.
 4. PN-EN 14488-1-2008. Badanie betonu natryskowego. Część 1: Pobieranie próbek mieszanki betonowej i stwardniałego betonu.
 5. PN-EN 14488-2:2007. Badanie betonu natryskowego. Część 2: Wytrzymałość na ściskanie młodego betonu natryskowego.
 6. PN-EN 14488-3:2008. Badanie betonu natryskowego. Część 3: Wytrzymałość na zginanie (przy pierwszym pliku, maksymalna i resztkowa) próbek beleczkowych zbrojonych włóknami.
 7. PN-EN 14488-4:2008. Badanie betonu natryskowego. Część 4: Wytrzymałość złącza w odwiertach przy bezpośrednim rozciąganiu.
 8. PN-EN 14488-5:2008. Badanie betonu natryskowego. Część 5: Oznaczanie zdolności pochłaniania energii przez próbki płyt zbrojonych włóknami.
 9. PN-EN 14488-6:2008. Badanie betonu natryskowego. Część 6: Grubość warstwy betonu na podłożu.
 10. PN-EN 14488-7:2008. Badanie betonu natryskowego. Część 7: Zawartość włókien w betonie zbrojonym włóknami.
 11. Beton według normy PN-EN 206-1; komentarz – praca zbiorowa pod kierunkiem Lecha Czarneckiego. Polski Cement oraz PKN, Kraków 2005.
 12. Słowek G., Majchrzak W.: Naprawy konstrukcji żelbetowych przez torkretowanie. XXI Ogólnopolska Konferencja: Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk 8+11.03.2006 r., Naprawy i wzmocnienia konstrukcji budowlanych, Konstrukcje żelbetowe, tom III, s. 65÷119.
- Praca wykonana w ramach tematu: 11-066/11 DS.