

Zastosowanie betonu natryskowego (torkretu) w warstwach fakturowych obiektów zabytkowych i nowo budowanych

Prof. dr hab. inż. Józef Jasiczak, Instytut Budownictwa, Politechnika Poznańska

1. Wprowadzenie

Torkret jest definiowany jako zaprawa lub beton dynamicznie umieszczany w miejscu wbudowania. Wynalazcą torkretu jest Amerykanin Carl Ethan Akeley, który w 1910 roku zastosował urządzenie „Cement Gun” (armatkę ciśnieniową) umożliwiające natryśnięcie mieszanki cementu i piasku o nazwie „Gunité” na przegrody budowlane. W ciągu stu lat stosowania tej technologii zmieniały się obszary zastosowań betonu natryskowego od funkcji wzmacniającej i reprofiliującej przy naprawach uszkodzonych konstrukcji żelbetowych [6, 7], poprzez funkcje ochronne i zabezpieczające konstrukcje stalowe i żelbetowe [4, 5], a w ostatnich latach po funkcje architektoniczne [1, 3, 9]. Elementy architektoniczne budowli z betonu natryskowego są stosunkowo rzadko wykonywane ze względu na skomplikowane wymagania technologiczne, łącznie z określoną barwą powłok, stąd za unikalne w skali światowej uznaje się dwie realizacje wykonane w Polsce przez firmę TORKRET Sp. z o.o. z Poznania, działającej przy wsparciu środowiska naukowego Politechniki Poznańskiej.

2. Wzmocnienie przęseł i odbudowa warstw elewacyjnych zabytkowej estakady kolejowej betonowo-ceglanej o długości 2116 m w Gorzowie Wielkopolskim

2.1. Opis estakady

Estakada kolejowa od km 295,591 do km 297,707 linii nr 203 Tczew – Kostrzyn znajduje się na terenach nabrzeżnych rzeki Warty w centrum Gorzowa Wielkopolskiego. Estakada ta była jedną z czterech zrealizowanych przez koleje pruskie na terenach na wschód od Łaby. Pierwsza powstała w Berlinie, kolejna we Wrocławiu, następna w Gorzowie, a ostatnia w Strzegomiu. Wszystkie były zaprojektowane jako nowoczesne konstrukcje z najlepszych dostępnych wówczas materiałów. Główną część estakady w Gorzowie Wielkopolskim wybudowano w latach 1905–1914, w tym konstrukcje części dworcowej w latach 1911–1912. Na estakadzie ułożono dwa tory. Estakada składa się z kilku odcinków murów oporowych, przęseł ceglanych, wiaduktów stalowych, estakady



Rys. 1. Estakada w Gorzowie Wielkopolskim – widok ogólny (2001), według [8]

dworcowej wraz z tunelami i peronami oraz z przejścia pod torami znajdującego się na terenie wagonowni. Widok boczny estakady przed remontem pokazano na rysunku 1. Konstrukcję obiektu stanowi 51 otwartych arkad, sklepionych łukiem odcinkowym wspartym na filarach wzmocnionych w dolnej części niskimi przyporami (pozostałości dawnych pylonów różnej wysokości) z licem z kilku poziomych boni, zabezpieczonymi od góry spadzistą czapką.

Do budowy zastosowano nowe jak na ówczesne czasy technologie oparte na bardzo wytrzymałym materiale, jakim były odlewy ze sztucznego kamienia, opartego na spoiwie z dobrej jakości szarego cementu. Jako wypełniacza do takiego lastryka użyto materiału dostępnego na miejscu – kruszonego wapienia o ujednoliconej granulacji. Zastosowanie tego wypełniacza było tanie (dostępność materiału na miejscu), a przy okazji dawało efekt rozjaśnienia całej elewacji, pozwalając jednocześnie na uzyskanie efektu „samoczyszczania” powierzchni przez wodę opadową rozpuszczającą powierzchnię wapienia. Odlane z takiego materiału ciosy po usunięciu form były obrabiane powierzchniowo metodą kamieniarską przez wykonanie ryflowania w różnych kierunkach – na całym licu lub tylko na krawędziach.

Części skrajne sklepień i ścianki boczne wykonano jako betonowe, połączone z warstwą betonu na sklepieniach ceglanych. Sklepienia ceglane mają grubość 64 cm w kluczu i ok. 84 cm przy wezłowiach i przykryte są warstwą betonu o grubości około 8–12 cm w kluczu i około 160 cm nad



Rys. 2. Fragment estakady po oczyszczeniu z siatkami przeciwskurczowymi



Rys. 3. Fragmenty boniowania przed naprawą i po niej



Rys. 4. Naprawiony obiekt w oryginalnym kolorze ecru

podporami. Ściany boczne mają grubość ok. 95–105 cm. Sklepienia ceglane oparto na masywnych podporach betonowych w odstępach co około 8,0 m, grubości 2,2 m i szerokości ok. 9,0 m. Podpory są posadowione bezpośrednio na gruncie. Układ przęsł w planie dostosowany został do krzywizny torowiska.

2.2. Technologia naprawy

W ramach prac przygotowawczych wykonano czynności: usunięcie poprzez skucie skorodowanych warstw betonu na głębokość 6–8 cm; czyszczenie powierzchni betonu z wody, kurzu, luźnego piasku i innych zanieczyszczeń; wypełnienie wszelkich ubytków betonu w istniejących konstrukcjach

wsporczych (oraz w boniowaniu ozdobnym) mieszankami PCC; wypełnienie rys o szerokości większej niż 0,2 mm żywicami syntetycznymi PC; uszczelnienie powierzchniowe materiałami typu „Xypex”, założenie siatek przeciwskurczowych z prętów $\varnothing 8$ mm o okach 10×10 cm na kotwach $\varnothing 12$ wklejanych do podłoża. Widok fragmentu estakady po wykonaniu czynności wstępnych pokazano na rysunkach 2 i 3. Torkret był наносzony w technologii suchej. Używano torkretnic ALIVA 246. Zaprawa była zaprojektowana z użyciem kruszyw kwarcowych, cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R, niewielkiej ilości popiołu lotnego, aktywnej mikrokrzemionki SiO_2 oraz niewielkiej ilości niealkalicznego przyspieszacza wiązania Sigrunit 49 AF firmy Sika.

Zgodnie z opinią konserwatora zabytków należało odtworzyć także oryginalne formy i powierzchnie (ryflowania) ścian bocznych i podpór (wraz z boniowaniem) zaprawą cementową z wypełniaczem z kruszonego kamienia wapiennego o składzie jak w oryginale. Odpowiedni kolor torkretu dobierano po oczyszczeniu oryginalnego lica, w razie potrzeby podbarwiając beton natryskowy pigmentami mineralnymi. Efekty prac pokazano na rysunku 3, a efekt końcowy oddanego w 2018 roku do użytku obiektu na rysunku 4.

3. Muzeum Historii Żydów Polskich – specjalistyczne problemy torkretowania

3.1. Idea Muzeum Polin

Inicjatywa utworzenia Muzeum Historii Żydów Polskich narodziła się Żydowskim Instytucie Historycznym i stopniowo zyskała uznanie zarówno w Polsce, jak i za granicą. Dzięki wsparciu indywidualnych oraz instytucjonalnych darczyńców z całego świata w 1995 r. możliwe było rozpoczęcie prac nad projektem muzeum i kontynuowanie ich – jako inicjatywy społecznej – aż do roku 2013 r., gdy oficjalnie oddano do użytku nowoczesną instytucję kultury – Muzeum Polin – ukazującą 1000 lat dziejów polskich Żydów. Do realizacji wybrano projekt architekta prof. Rainera Mahlamakiego z pracowni Lahdelma & Mahlamäki Architects w Helsinkach, którego częścią centralną jest hall przez całą długość i wysokość budynku, mający symbolizować rozstąpienie się Morza Czerwonego podczas wyjścia Izraelitów z Egiptu (Exodus, XII w pne.). W założeniach konkursowych narzucono także kolor ściany – piaskowożółty, przez analogię do koloru Ściany Płaczu w Świątyni Jerozolimskiej. Pierwotna koncepcja wykonania elementów ściany z obrabianych numerycznie prefabrykowanych paneli fibrobetonowych, montowanych na kotwy systemowe nie została przyjęta. Ze względu na liczne trudności realizacyjne przyjęto alternatywną technologię wykonania tej powłoki – bezpośrednio na placu budowy z barwionego betonu natryskowego z zachowaniem oddylatowanych fragmentów według wzorca podziału Ściany Płaczu w Jerozolimie. Wykonanie ściany wielokrzywiznowej powierzono specjalistycznej firmie SPB TORKRET z Poznania. Po obszernych obliczeniach i licznych



Rys. 5. Muzeum Polin – wejście główne



Rys. 6. Widok wnętrza hallu głównego

badaniach w Laboratorium Instytutu Konstrukcji Budowlanych Politechniki Poznańskiej przystąpiono do wykonania ścian referencyjnych na poligonie pod Poznaniem, a następnie przystąpiono do realizacji w Warszawie.

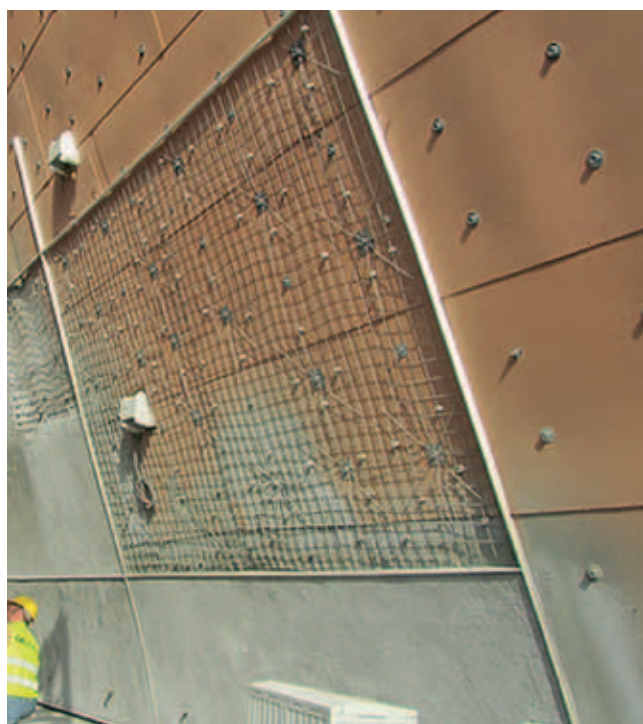
3.2. Wykonawstwo robót

Nadziemna część budynku, zlokalizowana na terenach byłego Getta Żydowskiego w Warszawie, widoczna na rysunku 5, stanowi budynek główny o wymiarach 67,30×67,30 m, posiadający cztery kondygnacje nadziemne i jedną podziemną, o łącznej wysokości 26 m. Obiekt został zaprojektowany jako żelbetowa konstrukcja szkieletowa z zewnętrznymi ścianami monolitycznymi. Elewację stanowią wąskie, pionowe tafle szkła, ustawione ukośnie, mocowane do konstrukcji żelbetowej budynku poprzez lekką konstrukcję stalową wykonaną z ocynkowanych stalowych rur kwadratowych. Budynek posadowiony został bezpośrednio na płycie fundamentowej.

W hallu głównym budynku najważniejszym elementem kształtującym estetykę pomieszczeń są dwie ściany o falistym kształcie (rys. 6). Obie ściany obejmują całą wysokość budynku od fundamentu po dach, a tylko na fragmentach – od poziomu parteru. Powłokę ściany krzywoliniowej stanowi cienkościenna konstrukcja żelbetowa z betonu natryskowego o grubości 5 cm, nakładanego na sklejkę wodoodporną 5 mm, ze zbrojeniem żebrzanymi prętami ze stali

nierdzewnej o grubości 4,5 mm umieszczonymi w jej środku. Ściana, podzielona specjalnymi profilami dylatacyjnymi na pola o powierzchni do 4,5 m², została zawieszona za pomocą systemu kotew osadzonych w podkonstrukcji wspartej na stalowych słupach. Podkonstrukcję ścian zaprojektowano jako szkieletową stalową z profili rurowych walcowanych. Elementy pionowe z rur średnicy 273 mm o zróżnicowanych grubościach ścianki 16–20 mm, gięte w jednej płaszczyźnie, stężono poziomo i skratowano profilami rurowymi Ø193,7×12 mm. Widok podkonstrukcji, podkładów ze sklejkę wodoodpornej, zbrojenia torkretu i wykonanej powłoki pokazano na rysunku 7.

Po geodezyjnym wyznaczeniu kształtu ściany i zamocowaniu sklejkę z listwami definiującymi podział ściany nałożono dwie warstwy betonu natryskowego – pierwsza podstawowa 3,5 cm, torkret zwykły C30/37, druga 1,5 cm, torkret C30.37



Rys. 7. Etapy wykonywania powłoki krzywoliniowej



Rys. 8. Proces etapowego nanoszenia betonu natryskowego

barwiony w masie na kolor piaskowożółty (rys. 8). Używano torkretnic ALIVA 246 oraz gotowych suchych mieszanek betonowych przygotowanych wcześniej dla całego obiektu, z zastosowaniem jednolitego składu i barwy.

Wykonanie ściany krzywoliniowej zajęło 13 miesięcy – prace podstawowe i kilka miesięcy prace wykończeniowe. Ostatecznie wszystkie prace ściennie zakończyły się w sierpniu 2012 roku, a uroczyste otwarcie placówki, z udziałem m.in. prezydenta USA Baracka Obamy nastąpiło rok później. American Shotcrete Association uznało wykonanie opisanej ściany krzywoliniowej za największe na świecie osiągnięcie w technologii torkretu w 2013 roku.

4. Podsumowanie

Beton natryskowy to beton, który ma wiele zalet w porównaniu z innymi metodami układania, bez konieczności stosowania rozległego deskowania strukturalnego i skomplikowanego systemu produkcji i transportu mieszanki betonowej. Bogata literatura techniczna opisuje wiele tradycyjnych zastosowań związanych z renowacją betonu [6, 7], ale wskazuje również na nowe trendy, jak np. natryskowe warstwy ogniochronne w tunelach drogowych [4, 5]. Beton natryskowy może być również używany do kształtowania przestrzeni

architektonicznej, np. w North Burlington Skatepark Project [9], a także wielkopowierzchniowych elementów z betonu architektonicznego [1, 3]. Nowym wyzwaniem towarzyszy rozwój technologii betonu droбноziarnistego z pyłem krzemionkowym, domieszkami chemicznymi i innymi dodatkami mineralnymi, z krótkimi włóknami stalowymi i polipropylenowymi, o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych. Ta nowa generacja betonu z droбноziarnistym kruszywem, opisana dokładnie w [2], jest odpowiednia do stosowania w technologii betonu natryskowego.

Opracowanie objęte programem 0412/SBAD/0044.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Czajka W., The Museum of the History of Polish Jews. Shotcrete, Magazine of the American Shotcrete Association, tom 15, 1/2013, str. 12–17
- [2] Jasiczak J., i in., Betony ultrawysokowartościowe, Wydawnictwo Polskiego Cementu, Kraków, 2008, str. 157
- [3] Jasiczak J., Czajka W., Majchrzak W., Construction of Undulating Walls Using Dry-Mix Shotcrete, Concrete International 6/2015, str. 31–35
- [4] Kusterle W., Sprayable fire-protective layers in traffic tunnels. In: Proc. of the third International Conference on Engineering Developments in Shotcrete, Queenstown, 15–17 March, 2010, Bernard, E.S. (ed.) Shotcrete: Elements of a System, CRC Press/Balkema, Taylor & Francis, London, 2010, str. 159–172
- [5] Lukas W., Kusterle W., Pichler W., Neue Tendenzen in der Spritzbeton-Technologie-Probleme, Grenzen und Möglichkeiten, In: IBK-Bau-Fachtagung 186: Tunnel-und Stollenbauwerke – Neubau und Sanierung, Hannover, 26–27.9.94, Institut für das Bauen mit Kunststoffen, Darmstadt, 1994
- [6] Słowek G., Majchrzak W., Ocena efektywności i trwałości napraw realizowanych technologią torkretowania na przestrzeni 20 lat, XIX seminarium: Współczesne metody budowy, wzmocnienia i przebudowy mostów, Jubileusz 70-lecia urodzin prof. dr hab. inż. Witolda Wołowickiego, Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej, 5/2009, str. 197–212
- [7] Spritzbeton – Tagung Conference, Alpbach, Tirol, 29–30 January, 2015
- [8] Władki i estakady miejskie w Polsce, Świat Kolei 10/2001, str. 23–25
- [9] Youkhana D., The North Burlington Skatepark Project, Magazine of the American Shotcrete Association, tom 15, 1/2013, str. 46–47
- [10] strony internetowe https://www.bazakolejowa.pl/_ferwojoj/BIBLIO/OGOLNE/ESTAKADY/ESTAKADY.HTM

Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa

przy współudziale

Ministerstwa Rozwoju

oraz

Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego

ogłaszają:

Konkurs PZITB BUDOWA ROKU 2020 edycja XXXI

Konkurs organizowany jest od 1989 roku. Promuje on polskie budownictwo oraz firmy budowlane znacząco przyczyniając się do ich rozwoju.

Dzięki bogatej tradycji „Budowa Roku” stała się jednym z najbardziej prestiżowych przeglądów osiągnięć polskiego budownictwa.



Serdecznie zapraszamy do udziału www.budowaroku.pl