

prof. dr hab. inż. dr h.c. Kazimierz Flaga¹⁾
dr inż. Wioletta Jackiewicz-Rek^{2),*)}

Rozwiązania materiałowo-technologiczne zastosowane podczas budowy Świątyni Opatrzności Bożej w Warszawie

DOI: 10.15199/33.2015.01.16

Proces inwestycyjny Świątyni Opatrzności Bożej wznoszonej od 12 lat na polach wilanowskich w Warszawie charakteryzuje wiele niestandardowych rozwiązań materiałowo-technologicznych umożliwiających budowę monumentalnej konstrukcji o bardzo dużej trwałości w założonym długim okresie użytkowania (fotografia).

Autorem projektu Świątyni Opatrzności Bożej jest pracownia architektoniczna „Szymborski & Szymborski” wraz ze specjalistycznymi biurami: konstrukcyjnym i instalacyjnymi. Bryła świątyni stanowi jednoprzestrzenne wnętrze na planie krzyża greckiego o wymiarach 84,00 x 84,00 m i wysokości 68,37 m w stosunku do poziomu parteru (75,55 m do górnego poziomu krzyża). Nawa główna ma ustrój ramowo-płytowy na rzucie koła o średnicy 68,00 m.

Nad nawą główną wykonano kopułę z jednopowłokową płytowo-żebrową powłoką zespoloną grubości 15 cm i średnicy dołem 26,70 m. Wejścia do świątyni osłonięte są masywnymi ścianami w kształcie fali o grubości 80 cm, połączonymi w poziomie stropu obwodowym wieńcem zewnętrznym. Pylony narożne, pełniące funkcję trzonów komunikacyjnych, mają przekrój kwadratowy o wymiarach zewnętrznych 4,80 x 4,80 m i wysokości 26,72 m do spodu rygli (mostów) i 31,53 m – do ich górnej krawędzi. Ściany zewnętrzne mają grubość 40 cm. Połączono je łącznikami, tzw. mostami, o przekroju skrzynkowym i wymiarach zewnętrznych 4,80 x 4,81 m. Mosty połączone z wierzchołkami pylonów tworzą potężne rygle ram portalo-



Widok świątyni z kopułą pokrytą miedzianą blachą. Pierwotnie planowano zastosować blachę tytanowo-cynkową lub ze stali nierdzewnej (zużyto 30 ton miedzi, o wyborze której zdecydowała trwałość materiału) [9]

¹⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

²⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

^{*)} Autor do korespondencji: w.jackiewicz-rek@il.pw.edu.pl

wych, nadających budowli monumentalny charakter. Nowoczesne technologie zastosowane przy budowie świątyni oraz przeprowadzone analizy i badania materiałów opisano w [1 ÷ 7].

Charakterystyka betonu

Przyjęte założenie etapowania budowy świątyni [3, 5] i sukcesywne dostarczanie dokumentacji wykonawczej sprawiły, że powstało kilka specyfikacji wymaganych cech betonów niezbędnych do realizacji elementów żelbetowych. Zatwierdzono kilkanaście receptur betonu klas B50 i B60 (do części podziemnej świątyni) i C30/37, C35/45 i C40/50 (do części nadziemnej), które wielokrotnie projektowano na podstawie indywidualnych wytycznych. Zasady doboru składu betonu szczegółowo opisano w [1]. Wymagane cechy mieszanki betonowej i stwardniałego betonu każdorazowo potwierdzano badaniami. Kontrolowano również jakość składników betonu.

Podstawową charakterystykę betonu opracowaną w ramach *Specyfikacji Technicznej wykonania i odbioru robót żelbetowych części kulturalno-muzealnej Świątyni Opatrzności Bożej* przedstawiono w tabeli 1. Zakres wprowadzanych niezbędnych zmian dotyczył cech mieszanki betonowej i stwardniałego betonu oraz wymagań technologicznych i obowiązywał w zależności od ustalonych warunków i przebiegu robót.

Zmieniano recepturę betonu, konsystencję mieszanki betonowej, a w efekcie określano dopuszczalną temperaturę mieszanki betonowej podczas betonowania, warunki betonowania, terminy badania cech stwardniałego betonu oraz warunki pielęgnacji. Bieżące korygowanie błędów było możliwe dzięki pełnej współpracy wszystkich stron projektu (inwestor – projektant – wykonawca – wytwórca betonu – nadzór) i umożliwiło przeciwdziałanie możliwym trudnościom, a w efekcie „dopasowanie” specyfikacji betonu do specyfiki realizacji.

Kontrolę zgodności mieszanki betonowej i stwardniałego betonu prowadzono wg [10]. Kontrola zgodności podczas produkcji prowadzona była przez producenta betonu towarowego, firmę CEMEX Polska. Odrębną kontrolę dostarczanych mieszanek prowadziło laboratorium wykonawcy i laboratorium zewnętrzne. W trakcie realizacji zwiększano częstotliwość badań stwardniałego betonu (np. mrozoodporność, skurcz, monitoring przebiegu dojrzewania betonu w elementach konstrukcji). Wszystkie procedury, zakres i częstotliwość badań mieszanki betonowej i betonu zatwierdzono w Planie Zapewnienia Jakości (PZJ) na Budowie Świątyni Opatrzności Bożej.

Próbki do badań pobierano na miejscu rozładowania mieszanki zgodnie z [11]. Kontrola mieszanek betonowych na budowie obejmowała oznaczenia konsystencji mieszanki beto-

Tabela 1. Zakres wstępnych, podstawowych wymagań specyfikacji betonu elementów części kulturalno-muzealnej świątyni

Wymagania	Rodzaj betonu			
	wibrowalny, letni, C35/45	wibrowalny, zimowy, C35/45	wibrowalny, letni, C40/50	wibrowalny, zimowy, C40/50
Powołanie na normę	PN-EN 206-1:2003 [10]			
Klasa wytrzymałości	C35/45	C35/45	C40/50	C40/50
Konsystencja	S3/S4			
Przeznaczenie mieszanki	beton zbrojony			
Klasa ekspozycji	XC1, XC3, XF1	XC1, XC3, XF1	XC3	XC3
Rozwój wytrzymałości	umiarkowany 0,3 el. masywne 0,5 el. małej masywności	umiarkowany 0,4 el. masywne 0,5 el. małej masywności	umiarkowany 0,3 el. masywne 0,5 el. małej masywności	umiarkowany 0,4 el. masywne 0,5 el. małej masywności
D _{max}	16 mm			
Domieszka	superplastyfikator			
Cement	CEM II/B-S 42,5N	CEM II/B-S 42,5N	CEM II/B-S 42,5N	CEM II/B-S 42,5N
Kruszywo	żwirowe/łamane 67/33 (ewentualnie 50/50)	żwirowe/łamane 67/33 (ewentualnie 50/50)	żwirowe/łamane 50/50	żwirowe/łamane 50/50
Dodatki	popiół lotny krzemionkowy max. 20%	popiół lotny krzemionkowy max. 20% tylko do elementów masywnych	popiół lotny krzemionkowy max. 20%	popiół lotny krzemionkowy max. 20% tylko do elementów masywnych
Mrozo-odporność	F100			
Temperatura mieszanki	minimalna +10 °C, maksymalna +22 °C			
Temperatura wewnątrz elementu żelbetowego	max. temperatura w środku elementu ≤ +60 °C; max. gradient temperatury ≤ +20 °C/m			
Terminy badań wytrzymałości	po 3, 7 i 28 dniach dojrzewania			

nowej wg [12], temperatury mieszanki betonowej oraz temperatury otoczenia w trakcie betonowania. Wyniki badań potwierdzały przydatność danej mieszanki do wbudowania i były zapisywane każdorazowo w kartach betonowania. **Badania wytrzymałości na ściskanie betonu** wg [13] prowadzono na co najmniej 12 sztukach próbek sześciennych o boku 15 cm dla każdej klasy betonu i w przypadku każdego dnia betonowania, zaś badania mrozoodporności betonu F100 wg [14] na 12 próbkach sześciennych o boku 10 cm. Przeprowadzono również audyty kontrolne wytwórni betonu firmy Cemex Polska Sp. z o.o. Nie wykazały one żadnych nieprawidłowości. Sprawdzano m.in. sposób kontroli mieszanki betonowej w trakcie produkcji, sposób kontroli dostaw materiałów i sposób schładzania kruszywa w okresie letnim (kruszywo było okrywane plandekami i polewane wodą).

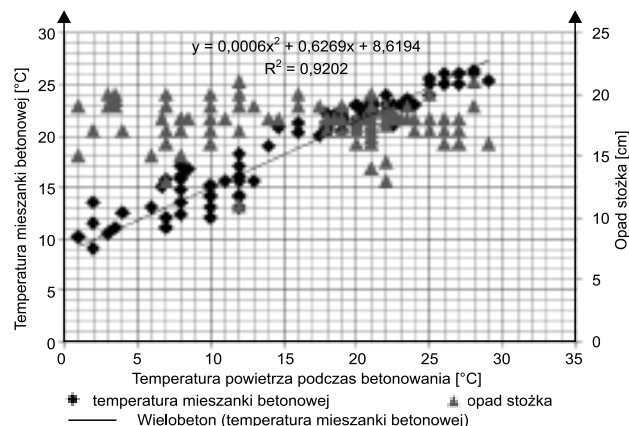
Kontrolą bieżącą objęto konsystencję i urabialność mieszanki betonowej, całkowitą zawartość powietrza w mieszance betonowej (oznaczenie wykonywano okresowo, co 2 miesiące) oraz ciekłość i temperaturę mieszanki betonowej.

Na wniosek wykonawcy zmieniano założenia projektowe dotyczące ciekłości mieszanki, gdyż obawy budziła specyfikowana konsystencja mieszanki betonowej, która przy dużym stopniu i układzie zbrojenia mogłaby szczelnie nie wypełnić deskowania. Opiniowano zmianę konsystencji mieszanki betonowej C40/50 łączników, tzw. mostów, w części kulturalno-muzealnej Świątyni Opatrzności Bożej. W związku z wnioskiem wykonawcy robót o zmianę konsystencji mieszanki betonowej na bardziej ciekłą (zmianę w stosunku do Specyfikacji Technicznej Wykonania i Odbioru Robót, gdzie przewidziano konsystencję S3/S4), decyzję o przyjęciu 180 mm stożka opadu ± 20 mm (wg PN-EN 206-1:2003 dla opadu stożka 180 mm (≥ 100 mm) tolerancja wynosi ± 30 mm; tolerancję przyjętej wartości konsystencji zawężono do 20 mm), przez zastosowanie większej zawartości domieszki upłynniającej – uznano za uzasadnioną technologicznie. Większe upłynnienie mieszanki wiąże się z ryzykiem większej podatności na segregację oraz większego skurczu betonu, co może mieć wpływ na obniżenie trwałości konstrukcji. Specjalne otwory rewizyjne i jednorodność powierzchni betonu w elementach po rozdeskowaniu potwierdziły słuszność zmiany konsystencji na bardziej ciekłą.

Kontrolowano również **całkowitą zawartość powietrza** w mieszankach betonowych, a oznaczenia prowadzono co dwa miesiące dla każdego rodzaju mieszanek. Pomierzona zawartość powietrza metodą ciśnieniową wg [15] wyniosła 0,8 ± 2,2%, przy wymaganym ograniczeniu do 2%, co można tłumaczyć zawartością domieszek. Im więcej domieszki redukującej ilość wody zarobowej (uplastyczniająca i/lub upłynniająca) zawierała mieszanka, tym większą miała porowatość.

W celu ustalenia optymalnych warunków cieplno-wilgotnościowych betonu w konstrukcji prowadzono **rejestr temperatur otoczenia** (i średniej dobowej) oraz **temperatury mieszanki betonowej** przed betonowaniem. Zakres temperatury mieszanek przed wbudowaniem ograniczono do +10 °C ÷ +22 °C. Pomimo starań podejmowanych przez dostawcę betonu w celu obniżenia temperatury, zdarzało się wbudowywać mieszankę betonową o wyższej temperaturze. W przypadku „cieplejszych” mieszanek monitorowano przebieg dojrzewania betonu w elementach konstrukcji oraz dbano o właściwą pielęgnację. W okresie podwyższonej temperatury otoczenia betonowanie prowadzono w godzinach wczesnorannych lub wieczornych. Rygle ram głównych betonowano w godzinach 4:00 – 7:00 rano i od razu przykrywano folią w celu ochrony przed utratą wilgotności, a następnie włókniną, którą polewano wodą. Na pomierzoną na budowie temperaturę mieszanki betonowej miało wpływ wiele czynników materiałowych i technologicznych, w tym temperatura otoczenia podczas produkcji i transportu (rysunek 1).

Cechy stwardniałego betonu badano w trzech niezależnych laboratoriach – producenta, wykonawcy i akredytowanym laboratorium zewnętrznym. Ocenę **wytrzymałości betonu** w konstrukcji prowadzono na podstawie badań wytrzymałości na ściskanie próbek formowanych na placu budowy przed każdym betonowaniem konstrukcji, przechowywanych wg [16] na budowie przez 24 h i badanych wg [13] w laboratorium. W celu oceny jednorodności betonu w konstrukcji wykonywano badania sklerometryczne, metodą oznaczania liczby odbicia od powierzchni stwardniałego betonu z zastosowaniem sprężynowego bijaka stalowego wg [17]. Wytrzymałość betonu na ściskanie sprawdzano na kostkach sześciennych o boku 15 cm pobranych na budowie wg [16] po 28 lub po 56



Rys. 1. Temperatura mieszanki betonowej i konsystencją w funkcji temperatury powietrza podczas betonowania mieszanką C40/50 (wyniki ze 123 betonowań)

dniach dojrzewania w przypadku betonów z cementem hutniczym i popiołami lotnymi.

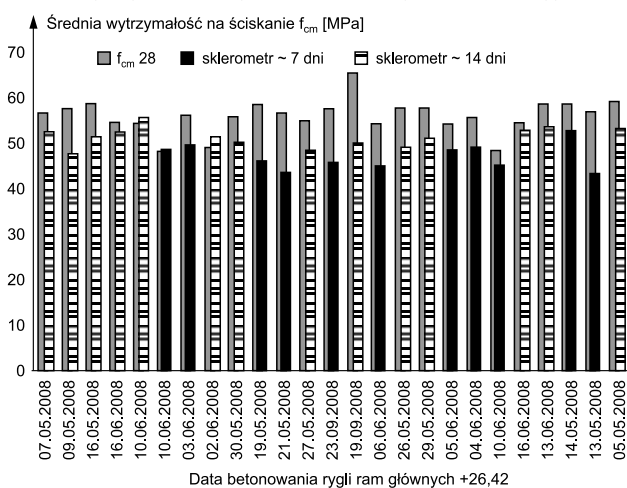
W trakcie kilku lat realizacji prac żelbetowych zdarzały się przypadki występowania dużych różnic wytrzymałości na ściskanie. Największe wartości średniej wytrzymałości betonu klasy C30/37 po 28 dniach dojrzewania wyniosły 55 ± 73 MPa. Istotne było wyjaśnienie i wyeliminowanie przyczyn tak dużej rozbieżności wyników, gdyż przy zawyżonej wytrzymałości rośnie zapotrzebowanie na zbrojenie konstrukcyjne (przypowierzchniowe i przeciwskurczowe) i zmniejsza się odporność na zarysowanie (w tym przypadku nie doszło do zarysowania konstrukcji) [8]. Producent betonu zbadał rzeczywistą zawartość wody w próbkach pobranych na węźle betoniarskim. Uzyskano wartość 150 kg/m³, podczas gdy w laboratoryjnym zarobie próbnym było to 160 kg/m³. Tłumaczono to większą aktywnością domieszki upłynniającej w trakcie mieszania na węźle produkcyjnym w porównaniu z mieszaniem w mieszalniku laboratoryjnym.

W przypadku betonu C40/50 wbudowanego w rygle ram głównych (rysunek 2) średnia wytrzymałość na ściskanie betonu wyniosła 55,8 MPa, a minimalna i maksymalna wartość odpowiednio 48,1 i 65,2 MPa, przy odchyleniu standardowym 3,63 MPa. Beton C35/45, wbudowany w stropy na poziomie +26,42 m, miał średnią wytrzymałość 53,8 MPa, minimalną 49,0 MPa, a maksymalną – 59,8 MPa (odchylenie standardowe 3,35 MPa). W obu przypadkach betony osiągnęły żądaną klasę wytrzymałości. Wskaźnik zmienności wytrzymałości na ściskanie betonów C40/50 i C35/45 był na porównywalnym poziomie, odpowiednio 6,5% i 6,2%, a zatem jakość wbudowanego betonu można ocenić jako dobrą. Porównując wyniki badań wytrzymałości próbek betonowych pobranych na budowie z wytrzymałością uzyskaną na próbkach podczas kontroli produkcji stwierdzono podobną zmienność wyników, przy czym producent uzyskał minimalnie większy wskaźnik zmienności (6,7% dla C40/50).

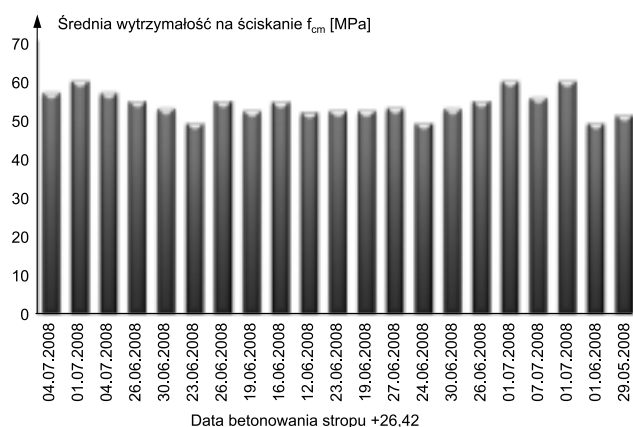
Jakość betonu w konstrukcji sprawdzano również metodą sklerometryczną (młotkiem Schmidta), szacując wytrzymałość betonu w elementach na podstawie liczby odbicia. W przypadku rygli badano jednorodność i wytrzymałość po ok. 7 (6 ÷ 8) i 14 (10 ÷ 14) dniach dojrzewania betonu w konstrukcji (rysunek 2). Wytrzymałość na ściskanie po 7 dniach wynosiła średnio 46,9 MPa, a po 14 – 51,2 MPa. Wszystkie pomiary charakteryzowały się dość niewielkim odchyleniem standardowym wyników (poniżej 3 MPa) i małym wskaźnikiem zmienności (do 6%).

Wszystkie projektowane i wbudowywane mieszanki betonowe nie były napowietrzane, ale miały wymaganą odporność mrozową F100 potwierdzoną po dłuższym dojrzewaniu (po 56 dniach). Wymagany założony stopień mrozoodporności betonu F100 badano metodą zwykłą wg PN-88/B-06250 [14] (zaleca się badanie po 28 dniach dojrzewania betonu – pkt 6.5.1.2.). O wydłużeniu czasu dojrzewania próbek do badań zdecydował skład badanych betonów. Metoda zwykła badania mrozoodporności betonów na bazie cementów z dużą zawartością dodatków mineralnych nie oddaje w pełni tego parametru i często powoduje wiele sporów pomiędzy producentem betonu, nadzorem i wykonawcą. Uzasadnione jest badanie tego typu betonów po dłuższym okresie dojrzewania. Ocena mrozoodporności za pomocą spadku wytrzymałości betonu może nie być miarodajna, ponieważ betony na bazie cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II i hutniczych CEM III charakteryzują się wysokim przyrostem wytrzymałości w długim (56, 90 dni) okresie dojrzewania (rysunki 3 i 4). W efekcie wytrzymałość próbek-świadków z tych cementów jest znacznie większa w porównaniu z wytrzymałością betonów na cementie portlandzkim (dla porównywalnych klas cementu).

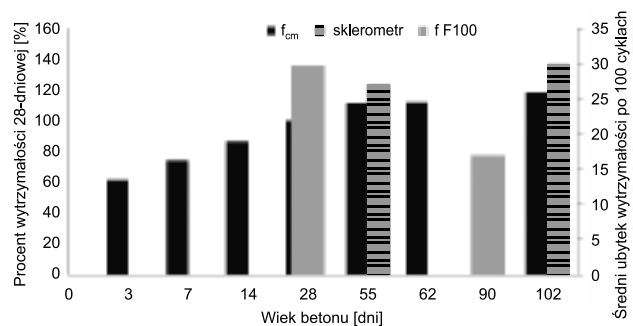
W przypadku wielkogabarytowych mostów łączących wierzchołki pylonów narożnych świątyni ważne było określenie skurczu betonu. Zaprojektowano beton C40/50, o niskiej kaloryczności i dobrej urabialności, ze względu na duże zagęszczenie zbrojenia, zwłaszcza w partiach przypodporowych, oraz o małym skurczu (z uwagi na odkształcenia reologiczne mostów i wywołane przez nie naprężenia skurczowe w przekroju oraz współpracę z pylonami, po ich połączeniu). Wstępne badania laboratoryjne przyjętego składu betonu wykazały duży skurcz 0,26 mm/m po 7 dniach i 0,61 mm/m po 28 dniach. W związku z tym, że wytrzymałość na ściskanie betonu znacznie przewyższała poziom odpowiadający wymaganej klasie, zmniejszono zawartość cementu w mieszance z 364 kg/m³ do 320 kg/m³ w celu obniżenia ryzyka odkształceń skurczowych. Jednocześnie zredukowano ilość wody, stosując łącznie domieszkę upłynniająca i uplastyczniająca. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonu potwierdziły wymaganą klasę już po 28 dniach dojrzewania, a poziom otrzymanych wyników wytrzymałości był niewiele niższy od betonu wyjściowego



Rys. 2. Średnia wytrzymałość na ściskanie betonu C40/50 wbudowanego w rygle ram głównych na poziomie +26,42 m oznaczona na próbkach betonowych pobranych na budowie w czasie betonowania oraz oszacowana na podstawie badań sklerometrycznych



Rys. 3. Średnia wytrzymałość na ściskanie betonu C35/45 wbudowanego w stropy na poziomie +26,42 m oznaczona na próbkach betonowych pobranych na budowie w czasie betonowania



Rys. 4. Rozwój wytrzymałości na ściskanie betonu C35/45 wraz z wynikami oznaczeń ubytków wytrzymałości po 100 cyklach zamrażania i rozmrażania (F100) betonu w różnym wieku

go, z większą o 44 kg zawartością cementu. Skurcz rzeczywisty w badaniach laboratoryjnych [wg 18] okazał się o 78% większy niż skurcz obliczony wg Eurokodu 2. Natomiast skurcz dla konstrukcji omawianych mostów wg Eurokodu 2 był znacznie mniejszy niż skurcz obliczony dla beleczek Amslera. Niewielkie przemieszczenia skurczowe zostały potwierdzone szczegółowymi pomiarami geodezyjnymi na budowie świątyni. Rozpatrzone zagadnienie skurczu kompleksowo opisano w [6].

Monitoring ugięć

Montaż czterech żelbetonowych łączników (mostów) na narożnych pylonach był bardzo spektakularny [6]. Pomiaru ugięcia łączników, tzw. mostów, dokonywano po ich opuszczeniu na podpory tymczasowe (pomiar nr 1), przed podnoszeniem (pomiar nr 2), po podniesieniu i osadzeniu wszystkich mostów na łożyskach (pomiar nr 3) oraz po rocznej ich eksploatacji (tabela 2 pomiar nr 4). Wszystkie mosty wybudowano z początkową, projektowaną strzałką wzniesienia 180 mm, przyjętą w opracowaniu jako stan „0”. Pomiary i obliczenia wykonano wg metody różnicowej posadowienia znaków pomiarowych przy pomiarach mostów na podporach tymczasowych. Ugięcia mostów o 57 mm (tabela 2) potwierdziły przewidywane obliczeniami ugięcia sprężyste konstrukcji (docelowe przemieszczenia 78 mm).

Pomiary przemieszczeń dybli stalowych, na których posadowiono mosty, przeprowadzone przy temperaturze powietrza 15 °C i temperaturze konstrukcji 10 °C, wykazały przesuw dybli stalowych od 3,5 mm na zewnątrz mostu do 1 mm

Tabela 2. Pomierzone ugięcia łączników – mostów

Most	Pomiar ugięcia mostów [mm]				Data podnoszenia mostu
	1	2	3	4 30.09.2010 r.	
Północny	30	39	40	57	29.07.2009
Zachodni	29	39	39	56	20 – 21.08.2009
Wschodni	27	38	38	56	31.08 – 1.09.2009
Południowy	28	37	37	57	11.09.2009

do środka. Przemieszczenia dybli stalowych w kierunku podłużnym, jako wynik sumy odkształceń termicznych i skurczowych, potwierdziły wcześniejsze założenia.

Podsumowanie

Wysoka jakość powierzchni betonowych, jak i trwałość betonu w konstrukcji, potwierdzone badaniami i monitoringiem, stanowi wkład w osiągnięcia myśli technicznej i wykonawczej polskiego budownictwa. Było to możliwe dzięki owocnej współpracy i dialogowi wszystkich uczestników procesu: inwestora, projektantów, wykonawcy i nadzoru. Wspólnie i twórczo reagowano na problemy i rozwiązywano je.

Literatura

- [1] Flaga K., Naziębło W., Budowa Świątyni Świętej Bożej Opatrzności w Warszawie, Budownictwo, Technologie, Architektura, Polski Cement, Nr 2/2007.
- [2] Flaga K., Naziębło W.: Wybrane problemy konstrukcyjne i technologiczne budowy Świątyni Świętej Bożej Opatrzności w Warszawie, Inżynieria i Budownictwo, Nr 12/2005.
- [3] Naziębło W., Osiński B., Sieczkowski J., Budowa Świątyni Świętej Bożej Opatrzności w Warszawie, Inżynieria i Budownictwo, Nr 9/2003.
- [4] Osiński B., Naziębło W., Sieczkowski J., Zakończenie realizacji konstrukcji dolnego kościoła Świątyni Świętej Bożej Opatrzności w Warszawie, Inżynieria i Budownictwo, Nr 3/2004.
- [5] Flaga K., Naziębło W.: Świątynia Świętej Bożej Opatrzności w Warszawie. Realizacyjne problemy konstrukcyjne w kolejnych etapach wznoszenia, Inżynieria i Budownictwo, Nr 7/2008.
- [6] Flaga K., Jackiewicz-Rek W., O skurczu betonu w badaniach laboratoryjnych i rzeczywistych konstrukcjach na przykładzie Świątyni Świętej Bożej Opatrzności w Warszawie, Inżynieria i Budownictwo, nr 9/2010.
- [7] Flaga K., Naziębło W., Realizacja żelbetonowych „mostów” łączących pylony Świątyni Świętej Bożej Opatrzności w Warszawie, Dni Betonu 2010.
- [8] Flaga K.: Naprężenia skurczowe i zbrojenie przypowierzchniowe w konstrukcjach betonowych. Monografia nr 391, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2011.
- [9] <http://biznes.trojmiasto.pl/Gdanskie-Doraco-i-kopula-Swiatyni-Opatrzności-Bożej>.
- [10] PN-EN 206-1:2003, Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [11] PN-EN 12350-1:2011, Badania mieszanki betonowej. Część 1: Pobieranie próbek.
- [12] PN-EN 12350-2:2009, Badania mieszanki betonowej. Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka.
- [13] PN-EN 12390-3, Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania.
- [14] PN-88/B-06250, Beton zwykły.
- [15] PN-EN 12350-7, Badania mieszanki betonowej. Część 7: Badanie zawartości powietrza. Metody ciśnieniowe.
- [16] PN-EN 12390-2:2001, Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.
- [17] PN-EN 12504-2:2002, Badania betonu w konstrukcjach. Część 2: Badanie nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia.
- [18] PN-84/B-06714/23, Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie zmian objętościowych metodą Amslera.

Przyjęto do druku: 19.12.2014 r.