Przemysław Kaprzyk[1)]

Doświadczenia z produkcji prefabrykatów do budowy dużego obiektu sportowego

Obecnie mieszanki betonowe stosowane w prefabrykacji standardowo zawierają domieszki uplastyczniające/upłynniające, domieszki przyspieszające wiązanie lub twardnienie, w klasach ekspozycji związanych z działaniem mrozu (XF) domieszki napowietrzające. W przypadku produkcji elementów prefabrykowanych do budowy dużego obiektu sportowego, poza wymienionymi, należało zastosować domieszkę o działaniu hydrofobizującym – kwalifikowaną jako domieszka uszczelniająca (zgodnie z wymaganiami PN-EN 934-2+A1:2012 *Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu – Część 2: Domieszki do betonu – Definicje, wymagania, zgodność, oznakowanie i etykietowanie*).

Hydrofobizacja

Hydrofobizacja – to nadawanie powierzchniom lub całym przestrzeniom materiałów (strukturom wewnętrznym) hydrofilowych właściwości hydrofobowych, tj. odpychania wody. Hydrofobizację przeprowadza się w celu zapobiegania wnikaniu wody w głąb struktury materiałów. Elementy prefabrykowane można hydrofobizować:wewnętrznie, w całym przekroju elementu, domieszkami do betonu; zewnętrznie, przez nałożenie powłoki działającej na głębokość kilku/kilkunastu milimetrów.

Domieszki chemiczne stosowane w mieszance betonowej muszą spełniać wymagania PN-EN 934-2+A1:2012. Norma rozróżnia następujące rodzaje domieszek: plastyfikatory, superplastyfikatory, napowietrzające, zwiększające wiązliwość wody, przyspieszające wiązanie, przyspieszające twardnienie, opóźniające wiązanie, uszczelniające oraz kompleksowe. W przypadku hydrofobizacji wewnętrznej, czyli uzyskania przez beton właściwości hydrofobowych, wykorzystywane są domieszki uszczelniające.

Do głównych zalet betonów hydrofobizowanych w masie należy zaliczyć zabezpieczenie elementu w całym jego przekroju. Zabezpieczenie powłokowe jest tak trwałe, jak jego najsłabszy punkt. Ponadto w przypadku niektórych rozwiązań materiałowych wymagane jest cykliczne odnawianie zabezpieczenia powłokowego. Kolejnymi zaletami są czas i koszty. Hydrofobizacja odbywa się w zakładzie prefabrykacji w trakcie przygotowywania mieszanki betonowej, nie ma więc potrzeby wykonywania dodatkowych prac na budowie.

Realizowany projekt

Informacje o projekcie: produkcja obejmowała elementy prętowe, elementy ścian oraz schody. Z ciekawych wyzwań były elementy belki zębatej ze zintegrowaną balustradą. Produkcję rozpoczęto 4 kwietnia 2020 r., a zakończono 2 lutego 2021 r. Łączna liczba elementów to 1238, a wolumen – 2102 m^3. Parametry mieszanki betonowej oraz stwardniałego betonu podano w tabeli 1, w tabeli 2 podano skład mieszanki betonowej zastosowanej w przypadku realizacji omawianego zlecenia. Zastosowane domieszki chemiczne miały dokumenty dopuszczające do stosowania zgodnie z PN-EN 934-2+A1:2012. Bazy oraz charakterystykę na podstawie kart materiałowych zestawiono w tabeli 3.

Wszystkie zastosowane domieszki chemiczne do betonu są bezchlorkowe i bez ograniczeń mogą być stosowane w elementach prefabrykowanych konstrukcji żelbetowych oraz sprężonych.

Tabela 1. Parametry mieszanki betonowej

Klasa wytrzymałości betonu na ściskanie	C50/60
Klasy ekspozycji	XC4, XF3
Konsystencja mieszanki betonowej	SF2
Napowietrzenie mieszanki betonowej	4,5 – 5,5%

Tabela 2. Skład 1 m^3 mieszanki betonowej

Materiał	Dozowanie
Cement CEM I 5,25R [kg]	400
Mączka wapienna [kg]	80
Piasek 0/2 [%]	38
Żwir 2/8 [%]	28
Żwir 8/16 [%]	34
Superplastyfikator [% m.c.]	0,85 – 0,9 w zależności od okresu produkcji
Domieszka napowietrzająca [m.c]	0,2 – 0,24 w zależności od okresu produkcji
Domieszka przyspieszająca wiązanie [% m.c.]	1 – 1,5 w zależności od okresu produkcji
Domieszka uszczelniająco-hydrofobizująca [% m.c.]	1

Codzienna kontrola mieszanki betonowej zgodnie z PN-EN 206+A1:2016-12 – *Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*, obejmowała pomiar zawartości powietrza metodą ciśnieniową zgodnie z PN-EN 12350-7:2019-08 – *Badania mieszanki betonowej – Część 7: Badanie zawartości powietrza – Metody ciśnieniowe*, oraz pomiar konsystencji metodą rozpływu zgodnie z normą PN-EN 12350-8:2019-08 – *Badania mieszanki betonowej – Część 8: Beton samozagęszczalny – Badanie konsystencji metodą rozpływu stożka*. Dodatkowo przeprowadzono trzy badania odporności betonu na działanie mrozu w przypadku stopnia F150, zgodnie z normą PN-B-06265:2018-10 – *Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność – Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A1:2016-12, załącznik N*. Średnie wartości sprawdzanych parametrów zestawiono w tabeli 4.

Opis badania rurkami Karstena

Zestaw rurek Karstena przedstawiono na fotografii 1. Tester penetracji nakleja się na badaną powierzchnię od strony kopułki np. za pomocą plasteliny (fotografia 2). Materiał uszczelniający wewnątrz kopuły powinien pozostawić wolną okrągłą powierzchnię o średnicy

[1)] Consolis Sp. z o.o.;
Przemyslaw.Kaprzyk@consolis.com

Tabela 3. Charakterystyka domieszek zastosowanych w mieszankach betonowych, z których produkowano elementy prefabrykowane

Domieszka	Baza	Charakterystyka
Superplastyfikator	modyfikowane PCE	dzięki mechanizmowi odpychania elektrostatycznego można silnie upłynnić mieszankę betonową bez zwiększania ilości wody zarobowej. Do pozostałych zalet należy zaliczyć: poprawę urabialności; dużą wytrzymałość wczesną; mały skurcz i małą tendencję do spękań
Superplastyfikator	azotan wapnia	bezchlorkowa domieszka do betonu przyspiesza wiązanie – działanie podstawowe. Do działań ubocznych zaliczamy: uplastycznienie i poprawę urabialności mieszanki; przyspieszenie twardnienia; obniżenie temperatury zamarzania zaczynu cementowego; znaczne skrócenie czasu osiągnięcia wczesnej wytrzymałości
Domieszka napowietrzająca	modyfikowane żywice korzenne	stosowanie domieszki napowietrzającej pozwala uzyskać beton, w którym pory powietrza mają odpowiednią wielkość i równomierny rozkład. Dzięki temu uzyskuje się miejsce do ekspansji zamarzającej w betonie wody i redukuje podciąganie kapilarne
Domieszka uszczelniająca	modyfikowane związki krzemo-organiczne	domieszka o działaniu uszczelniającym i hydrofobizującym. Do jej zalet zalicza się: poprawę urabialności; poprawę wodoszczelności; poprawę nasiąkliwości; poprawę absorpcji kapilarnej wody; hydrofobizację powierzchni widoczną przez „efekt kropli" lub ograniczenie wnikania wody przy badaniu rurką Karstena

Tabela 4. Wyniki badania mieszanki i betonu

Parametr	Wynik	
Średnie napowietrzenie mieszanki betonowej	5,2%	
Średni rozpływ mieszanki betonowej	685 mm	
Średnia wytrzymałość 28-dniowa	68,60 MPa	
Mrozoodporność	F150	
	średni ubytek masy	średni spadek wytrzymałości
	0,01%	3,3%

Fot. 1. Zestaw rurek Karstena

Fot. 2. Rurki Karstena podczas badania

ok. 20 mm, odpowiadającą powierzchni testowej ok. 3 cm^2.

Podczas wnikania wody należy uzupełniać ubytki, aby utrzymać stałe ciśnienie wody ok. 10 cm słupa wody. Oceny hydrofobizacji, jeżeli nie określono inaczej, dokonuje się na podstawie wartości podanej przez producenta zestawu rurek Karstena, zgodnie z tabelą 5.

Tabela 5. Wartości graniczne wnikania wody podane przez producenta rurek Karstena

Typ betonu/zabezpieczenia	Graniczna wartość [ml/min]
Beton zwykły bez hydrofobizacji	0,5
Beton wodoszczelny	0,3
Beton z domieszkami uszczelniającymi, hydrofobizacyjnymi lub pokryty powłoką hydrofobizującą	0,1

Z uwagi na klasę wytrzymałości betonu C50/60, który zastosowano do badań, oraz wcześniejsze doświadczenia z betonem bez domieszki uszczelniającej (potwierdzony parametr wodoprzepuszczalności – W10) spodziewano się małej wartości wchłanianej wody (badanie porównawcze wykonano, stosując beton tej samej klasy bez domieszki uszczelniającej). Wyniki przedstawiono w tabeli 6. Przeprowadzone testy wykazały, że każdy z betonów spełnił wymagania dotyczące betonu wodoszczelnego oraz betonów z domieszkami uszczelniającymi. Wartości podane przez producenta rurek Karstena nie są aktualne w przypadku obecnie produkowanych betonów. Badanie porównawcze wykazało o rząd wielkości większą szczelność/mniejszą nasiąkliwość niż dane w tabeli 5. Na fotografii 3 pokazano tzw. efekt kropli na betonowym elemencie hydrofobizowanym w masie.

Tabela 6. Ilość wchłoniętej wody – wyniki badania

Parametr	Prefabrykat z domieszką uszczelniającą C50/60	Element z betonu monolitycznego C35/45	Prefabrykat bez domieszki uszczelniającej C50/60
Ilość wchłoniętej wody [ml/min]	0,0033	0,013	0,01

Fot. 3. Efekt kropli na betonowym elemencie hydrofobizowanym w masie

Podsumowanie

Rozwiązanie w postaci hydrofobizacji w masie jest w pełni zasadne, pomimo większego zużycia na metr sześcienny vs zabezpieczenie liczone na metr kwadratowy, daje znaczne oszczędności w przypadku robocizny i kontroli prac. Betonowy element prefabrykowany zabezpieczony w całym przekroju, który trafia na budowę, jest gotowy do montażu. Stosowanie domieszek chemicznych czołowego na świecie producenta chemii budowlanej pozwoliło na wykonanie mieszanki betonowej o odpowiedniej konsystencji, właściwym napowietrzeniu i wytrzymałości wczesnej zapewniającej dotrzymanie harmonogramu produkcji oraz zawierającej uszczelniającą domieszkę o działaniu hydrofobizującym. Produkcja została zakończona w terminie, co przy sprzyjających warunkach atmosferycznych na budowie, pozwoliło na montaż obiektu w terminie założonym przez inwestora.

Partner działu: **Stowarzyszenie Producentów Betonów**
www.s-p-b.pl