



Beton klasy C50/60 na moście w Ostrowcu Świętokrzyskim – pasja i sztuka

Betonowanie płyty pomostu ustroju nośnego mostu odbyło się 25 stycznia 2024 r. Produkcja 800 m³ mieszanki betonowej betonu była realizowana na dwóch węzłach o wydajności teoretycznej 100 m³/h każdy. Transport mieszanki betonowej trwał 16 godzin przy udziale 20 betonowozów o maksymalnej jednostkowej pojemności 8 m³. Most na rzece Kamiennej w Ostrowcu Świętokrzyskim będzie miał ok. 100 metrów długości i prawie 19 metrów szerokości.

Powyżej: wizualizacja mostu zamieszczona dzięki uprzejmości firmy CONTEK PROJEKT, ul. Warszawska 6/9, Kielce

Most na rzece Kamiennej w Ostrowcu Świętokrzyskim realizowany jest w ramach rozbudowy drogi wojewódzkiej nr 754, opracowanej przez kielecką firmę Contek Projekt. Taka rozbudowa umożliwi dostosowanie mostu do eksploatacji przez pojazdy kołowe o ciężarze 50 ton. Ustrój nośny to obiekt jednoprzęsłowy swobodnie podparty, podwieszony za pomocą wiant do pylonu obiektu, wykonany z betonu konstrukcyjnego klasy C50/60. Przęsło zaprojektowano z dwóch dźwigarów żelbetonowych połączonych płytą pomostową. Wykonano w sumie 22 systemów podwieszonych – 14 podwieszonych przęsłowych po 7 z każdej strony przęsła oraz 8 podwieszonych odciągowych po 4 z każdej strony jezdni.

Tabela 1. Wyniki mieszanki oraz betonu stwardniałego z zarobu próbnego

Lp.	Badanie	Wynik	
1	Konsystencja	170 mm	
2	Zawartość powietrza	5,70%	
3	Wytrzymałość na ściskanie (28d)	66,7 MPa	
4	Stopień mrozoodporności F200	$\Delta_{\text{rf}} = 3,2\%$ $\Delta_{\text{mf}} = 0,0\%$	
5	Głębokość penetracji wody	17 mm	
6	Charakterystyka porów powietrznych	Średnia zawartość powietrza „A”	4,71%
		Średnia zawartość mikroporów „A ₃₀₀ ”	2,86%
		Średni wskaźnik rozmieszczenia „L”	0,175 mm

Zakotwienia osadzone w gniazdach wykonstrowanych w przęśle. W pylonie zastosowano zakotwienie bierne dla wiant przęsłowych i odciągowych. Pylon jednostronny zlokalizowany za przęsłem, wykonany z dwóch słupów o przekroju prostokątnym, skrzynkowym w części stalowej i wysokości całkowitej 27,13 m, połączony z konstrukcją fundamentów w postaci ścian szczelinowych. Most zyska oświetlenie iluminacyjne. Jego rozpiętość teoretyczna ma sięgnąć 65,4 m, długość całkowita przęsła w osi jezdni 66,3 m, długość całkowita przęsła wraz z konstrukcją wspornika 67,35 m, długość całkowita mostu 97,57 m, a długość całkowita wraz z konstrukcją skrzydełek przyczółka 102,98 m. Szerokość całkowita mostu wyniesie 18,77 m.

Przygotowanie receptury

Prace nad recepturą rozpoczęto w IV kwartale 2022 roku. Zgodnie z wymaganiami otrzymanymi od wykonawcy należało opracować recepturę betonu C50/60 w konsystencji S4, o maksymalnym wymiarze kruszywa D_{max} 16 mm, w klasie ekspozycji XC4, XD3, XF4, XA1, o parametrach trwałościowych stopnia mrozoodporności F200 oraz głębokości penetracji wody (GPW) 60 mm. Warunkiem było zastosowanie do mieszanki kruszywa grubego, granitowego oraz cementu CEM I. Mieszanka przeznaczona do wbudowania w pylon oraz konstrukcję ustroju nośnego, w sumie ok 1600 m³. Po przeprowadzeniu prób laboratoryjnych w laboratorium PBI Beton oraz dostawcy domieszek do betonu MC-Bauchemie, w maju 2023 roku przedłożono do zatwierdzenia recepturę oraz wykonano zarób próbną. Uzyskane wyniki z zarobu próbnego: $f_{\text{cm}, (28\text{dni})} = 66,7$ MPa, stopień mrozoodporności F200 $\Delta_{\text{rf}} = 3,2\%$, $\Delta_{\text{mf}} = 0,0\%$, głębokość penetracji wody = 17 mm. Powyższe wyniki uzyskano z mieszanki betonowej charakteryzującej się opadem stożka 170 mm i zawartością powietrza (metoda ciśnieniowa) = 5,7%.



fol. MC-Bauchemie Polska

Receptura i produkty

Ostatecznie do realizacji dobrano recepturę o klasie wytrzymałości C50/60 w klasach ekspozycji wg EN 206: XC4 XD3 XF4 XA1 i klasie konsystencji S4.

W skład mieszanki betonowej wchodził cement CEM I 52,5R- NA z cementowni firmy Cemex Polska Sp. z o.o., kruszywo drobne 0-2 mm, kruszywo grube łamane do 16 mm oraz domieszki firmy MC-Bauchemie Polska Sp. z o.o.

Domieszki zostały dobrane na etapie badań wstępnych w 2022 r., jako rozwiązanie spełniające wszystkie przedstawione przez zamawiającego wymagania w zakresie utrzymania konsystencji, stabilności napowietżenia, odpowiedniej struktury napowietżenia oraz wpływu na uzyskiwane wytrzymałości wczesne i końcowe.

Do realizacji zastosowano takie produkty, jak:

- MC PowerFlow 580, który jest superplastyfikatorem zapewniającym produkcję betonu o niskiej zawartości wody z zachowaniem wydłużonego czasu urabialności mieszanki betonowej oraz zapewnieniem jej jakości od produkcji na węźle, poprzez transport i zabudowę.
- Centrament Air 220 – napowietrzacz należący do grupy związków powierzchniowo czynnych na bazie żywic. Domieszka o wysoce efektywnym działaniu, powoduje obniżenie napięcia powierzchniowego wody, co skutkuje podczas mieszania powstawaniem stabilnych mikroporów powietrza regularnie rozmieszczonych w całej objętości betonu.
- Centrament N 11 – uniwersalny plastyfikator, szczególnie przydatny w kombinacji z superplastyfikatorami MC-PowerFlow do betonów projektowych wyższych klas, o długim czasie utrzymania konsystencji.

Przygotowanie do realizacji i realizacja

Betonowanie płyty pomostu ustroju nośnego zaplanowano na 24 stycznia 2024. Zgodnie z procedurą betonowania opracowaną przez general-

nego wykonawcę (GW), betonowanie rozpoczęło się o godz. 7:00. Zamówiono 800 m³ mieszanki C50/60. Minimalna prędkość podawania mieszanki 50 m³/h, co zakładało ok 16 h ciągłego betonowania. Ze względu na zimowe warunki, GW zastosował następującą pielęgnację: pod konstrukcją płyty ustroju wykonano przekrycie z mat brezentowych, pod którymi ustawiono nagrzewnice. Po zabetonowaniu i zatarciu górna część ustroju została przykryta matami z geowłókniny. Wbudowywana mieszanka betonowa miała minimalną temperaturę 10°C. Strony przedsięwzięcia na kilka dni przed realizacją stanęły przed pierwszym wyzwaniem logistycznym, jakim były zapowiedziane blokady dróg. Aby spełnić jeden z kluczowych warunków, zachowanie ciągłości betonowania, podjęto decyzję o przeniesieniu betonowania, które ostatecznie odbyło się 25 stycznia 2024 roku.

Zgodnie z zamówieniem GW, po stronie producenta betonu PBI Beton była produkcja, transport oraz podanie mieszanki za pomocą pomp. Powyższe zostało zrealizowane wraz z PBI Logistyka, zajmujące się szeroko pojętym transportem materiałów



fol. MC-Bauchemie Polska

Tabela 2. Badania oraz średnie wyniki uzyskane podczas wbudowania mieszanki betonowej

Lp	Badanie	W miejscu produkcji		W miejscu dostawy	
		Ilość próbek	Wynik	Ilość próbek	Wynik
a) mieszanka betonowa:					
1	Temperatura otoczenia	51 bad.	4°C	36 bad.	4°C
2	Temperatura mieszanki betonowej		15°C		13°C
3	Konsystencja		190 mm		210 mm
4	Zawartość powietrza		5,10%		5,60%
b) beton stwardniały:					
1	Wytrzymałość na ściskanie (2d)	-	-	3 szt.	42,9 MPa
2	Wytrzymałość na ściskanie (7d)	8 szt.	68,5 MPa	8 szt.	64,5 MPa
3	Wytrzymałość na ściskanie (28d)	32 szt.	76,2 MPa	18 szt.	71,8 MPa
4	Stopień mrozoodporności F200*	24 szt.	-	24 szt.	-
5	Głębokość penetracji wody	3 szt.	8 mm	3 szt.	13 mm

* badanie w trakcie

budowlanych w Grupie PBI. Po wcześniejszym zmagazynowaniu kruszyw, domieszek oraz opracowaniu harmonogramu dostaw cementu, produkcja betonu była realizowana na dwóch węzłach AR-CEN o mieszalnikach dwuwalowych pojemności 2,5 m³ i wydajności teoretycznej 100 m³/h każdy. Wytwórnia jest wyposażona w instalacje podgrzania wody oraz kruszyw do produkcji, co pozwoliło na dostarczenie mieszanki o odpowiedniej temperaturze.

Średni czas transportu mieszanki betonowej wyniósł 50 min i został zrealizowany za pomocą 20 betonowozów. Ładunek każdego transportu wynosił maksymalnie 8 m³.

Transport wewnętrzny był zrealizowany za pomocą dwóch pomp do betonu o zasięgu 60 i 46 m, zlokalizowanych po obu stronach obiektu, z czego pierwsza pompa miała pełny zasięg, natomiast druga ok. 2/3 rozpiętości ustroju. Dodatkowo na placu budowy zabezpieczono awaryjnie pompę o zasięgu 48 m.

Zgodnie z założeniami, pierwsza gruszka na budowie została rozładowana ok. godz. 7:00. Ostatni rozładunek odbył się ok. godziny 23:00, co przełożyło się na realizację w czasie zakładanych 16 h.

Obsługa laboratoryjna

Kolejnym z wyzwań było zapewnienie obsługi laboratoryjno-technologicznej dla całego cyklu produkcji i wbudowania mieszanki betonowej. Podczas wbudowania kontrola mieszanki była prowadzona przy współpracy trzech jednostek laboratoryjnych: laboratorium wykonawcy – Mota Engil Central Eu-

rope, laboratorium mobilne – MC Bauchemie oraz laboratorium producenta betonu – PBI Technologie. W trakcie betonowania nadzór technologiczny był zapewniony z trzech ww. jednostek.

Ze względu na jednoczesną produkcję z dwóch węzłów betoniarskich oraz podawanie mieszanki za pomocą dwóch pomp jednocześnie dostawca betonu – PBI Beton – zaplanował i prowadził kontrolę w zakładzie produkcji oraz na budowie. Podczas planowania, oprócz badań wynikających z Zakładowej Kontroli Produkcji, podjęto decyzję o rozszerzeniu zakresu badań w odniesieniu do miejsca, ilości i częstotliwości. Do każdego z dwóch węzłów betoniarskich był przypisany laborant, który prowadził bieżące badania mieszanki wraz z pobraniem próbek przez cały okres produkcji. Również na budowie przy każdej pompie była osoba odpowiedzialna za prowadzenie badań. Tak prowadzona kontrola pozwoliła na skuteczną i bieżącą kontrolę nad dostarczoną mieszanką betonową, co przełożyło się na przebadanie co drugiej gruszki na betoniarni oraz co trzeciej w miejscu wbudowania. Ważnym elementem było koordynowanie prac zespołu laboratoryjnego oraz bieżąca analiza uzyskanych wyników. W tym celu, oprócz przypisania poszczególnych stanowisk laborantom, do identyfikowania pobranych próbek oraz uzyskanych wyników posługiwano się tzw. kartami kontroli ciągłej przypisanymi do danego stanowiska badawczego, które pozwalały na szybką identyfikację badanego ładunku wytwórnia/budowa. Zestawienie ilości wykonanych badań wraz ze średnimi uzyskanymi wynikami podano w tabeli 1. Dodatkowo podczas produkcji losowo zostały pobrane próbki materiałów wsadowych wykorzystanych do produkcji dostarczonej mieszanki betonowej.

Łukasz Osuch
technolog – PBI Technologie – Grupa PBI
Damian Zawół
dyrektor ds. Technologii i Rozwoju
PBI Beton – Grupa PBI
Konrad Grzesiak
Product Manager – MC-Bauchemie Polska

Wykres 1. Rozwój wytrzymałości na ściskanie wbudowanej mieszanki

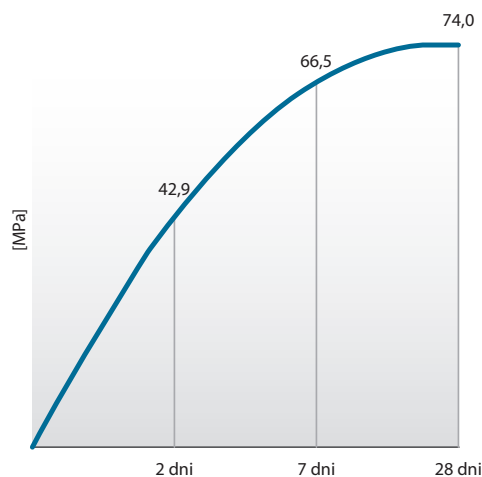


foto: PBI Beton