

Nowy port lotniczy Berlin Brandenburg International. Domieszki do betonu i jego technologia

NEW INTERNATIONAL BERLIN BRANDENBURG AIRPORT. CONCRETE ADMIXTURES ANF ITS TECHNOLOGY

Streszczenie

Nowe lotnisko Berlin Brandenburg International – właściwie powinno być już dawno gotowe. Swego czasu cieszące się opinią motoru napędowego gospodarki regionu, a wraz z upływem czasu coraz częściej mówi się o licznych wadach budowlanych i gwałtownie wzrastających kosztach. Termin otwarcia tego wielkiego projektu przesuwano już wiele razy.

Liczne negatywne nagłówki kładą się cieniem na projekcie. Jednak to tylko część prawdy: wiele prac wykonano w terminie i prawidłowo, jak na przykład prace z zakresu budownictwa betonowego. Z perspektywy technologii betonowej lotnisko Berlin Brandenburg International to projekt samych superlatyw.

Ponad 2,5 miliona metrów sześciennych betonu użyto do wykonania różnych projektów budowlanych, takich jak budowa tuneli, budownictwo naziemne i konstrukcyjne oraz budowa nawierzchni. Aby sprostać zróżnicowanym wymaganiom stawianym technologii betonu, producent betonu stworzył ponad 300 różnych receptur betonu.

Oprócz specjalistycznych czynności technologicznych, takich jak projektowanie specjalnych domieszek do betonu, schładzanie betonu za pomocą sztucznego lodu lub koncepcja ogrzewania betonu, projekt budowy lotniska stanowił również wyzwanie logistyczne dla producenta betonu oraz dostawców surowców. Do wytworzenia betonu użyto łącznie ponad 4.000.000 ton kruszywa, 600.000 ton cementu, 4.000.000 litrów domieszek chemicznych oraz 61.000 ton lotnego popiołu.

Ten referat stanowi przegląd poszczególnych prac budowlanych na lotnisku wraz z produkcją oraz wbudowaniem betonu. Brane są tu pod uwagę surowce, domieszki, technologia betonu i jego wdrożenie w praktyce.

Abstract

As a matter of fact it should have been ready long ago – new international Berlin Brandenburg airport. Once it enjoyed an opinion of driving motor of economy in the region. The years have gone and there have more often been seen many construction defects and acutely increasing costs. The start-up of the airport has been postponed many times.

Lots of works were done in due time and properly for example concrete construction works. Over 2,5 mln cubic metres of concrete were used to construct different projects like tunnels, ground-based and structural constructions and pavements. In order to come up requirements made to concrete the producer created over 300 various recipes of concrete. Despite special technological operations like designing special concrete admixtures, concrete cooling by means of dry ice or conception of concrete heating the construction project also constituted a logistic challenge for concrete producer and raw materials suppliers. Totally 4000 th. tons of aggregates, 600 th. tons of cement, 4000 th. litres of chemical admixtures and 61 th. tons of fly ashes were used in production of concrete.

This paper presents review of construction works on the airport site including concrete making and its usage in the construction. Raw materials, admixtures, technology and practical application of concrete are considered.

1. Wprowadzenie

Nowe lotnisko Berlin Brandenburg International – właściwie powinno być już dawno gotowe. Swego czasu cieszące się opinią motoru napędowego gospodarki regionu, a wraz z upływem czasu coraz częściej mówi się o licznych wadach budowlanych i gwałtownie wzrastających kosztach. Termin otwarcia wielkiego projektu przesuwano już wiele razy. Dąży się do otwarcia w roku 2016 – jednakże ten termin jest również kwestionowany.

Liczne negatywne nagłówki kładą się cieniem na projekcie, architektach, przedsiębiorcach budowlanych i dostawcach, jednak to tylko część prawdy: wiele prac wykonano w terminie i prawidłowo, jak na przykład prace z zakresu budownictwa betonowego. Z perspektywy inżynierii betonu, lotnisko Berlin Brandenburg International to projekt samych superlatyw.

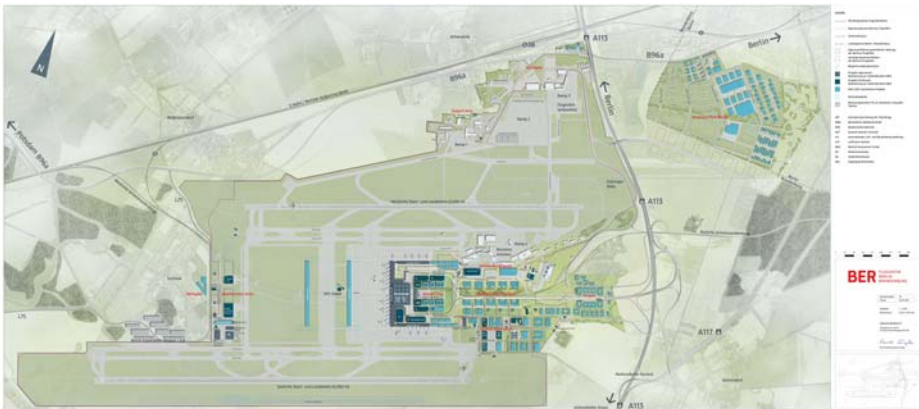
Ponad 800.000 metrów sześciennych betonu nawierzchniowego, 500.000 metrów sześciennych stabilizacji i ponad 1.000.000 metrów sześciennych betonu dla budownictwa inżynieryjnego wyprodukowane zostało dla potrzeb budowy lotniska BBI. W związku z tym, iż poszczególne projekty w dziedzinach budowy nawierzchni betonowych i konstrukcji architektonicznych musiały spełniać różne wymagania wobec cech jakościowo-technologicznych, opracowano ponad 300 różnych receptur betonu do specjalnych zastosowań.

Prace związane z wbudowywaniem betonów na lotnisku, zakończono już na początku roku 2012. Od początku prac budowlanych w roku 2006 wyprodukowano i użyto łącznie ok. 2,5 miliona metrów sześciennych betonu. Do takiej ilości potrzebne było łącznie 4.000.000 litrów domieszek chemicznych, 600.000 ton cementu i 4.000.000 ton kruszywa.

2. Opis prac budowlanych

Modernizacja lotniska Berlin Schönefeld należy do największych projektów infrastrukturalnych Europy. Od września 2006 roku lotnisko zmieniło nazwę na Airport Berlin Brandenburg International i zostało poszerzone o 970 ha do łącznej powierzchni 1.470 ha. Ta powierzchnia odpowiada wielkością ok. 2.000 boisk do piłki nożnej.

Po zakończeniu prac lotnisko Berlin Brandenburg International, w skrócie BER stanie się trzecim największym portem lotniczym w Niemczech. Będzie mogło ono odprawić



Fot. 1. Widok ogólny na teren BBI (Źródło: Rolle, Lotniska w Berlinie)



Fot. 2. Lotnisko powiększane jest do łącznej powierzchni 1.470 ha

nawet 27 milionów pasażerów rocznie. Aby sprostać prognozowanemu wzrostowi ruchu lotniczego lotnisko zbudowano w systemie modułowym z możliwością jego rozszerzenia. W zależności od ilości pasażerów pojemność lotniska można zwiększyć w razie potrzeby prawie dwukrotnie do 45 milionów pasażerów.

Lotnisko BER zastąpi dotychczasowy zdecentralizowany system trzech lotnisk Berlina w Tegel, Tempelhof oraz Schönefeld i skoncentruje ruch lotniczy w jednym miejscu

Ta centralizacja doprowadziła do tego, iż na największym lotniczym placu budowy w Europie zbudowano nie tylko klasyczne budowle, takie jak terminal i powierzchnie lotniskowe, należało również zrealizować wiele projektów budowy infrastruktury, aby sprostać większemu ruchowi pasażerów.

Mowa tutaj o podziemnym dworcu w budynku terminala lotniska, jego połączeniu z siecią Deutsche Bahn i berlińskiej szybkiej kolei miejskiej oraz rozbudowie dojazdów z autostrad i dróg krajowych.

Na północno-wschodnim skraju lotniska powstał również nowy park biznesowy, jako teren przemysłowy dla przedsiębiorstw. Widok ogólny na powierzchnię BBI przedstawia fotografia 1. Poszczególne etapy budowy opisano szczegółowo w kolejnych podrozdziałach.

2.1. Terminal BBI z podziemnym dworcem

Struktura trzeciego terminala, największego lotniska w Niemczech została zaplanowana zgodnie z koncepcją One-Roof. Oznacza to, iż kompleks budynków będzie stanowił centralne i jedyne miejsce kontaktowe dla pasażerów wszystkich połączeń lotniczych i musi zostać odpowiednio dostosowany do wysokiej frekwencji pasażerów. Terminal znajduje się pomiędzy dwoma równoległe usytuowanymi pasami – startowym i lądowania przez co zwany jest również jako „Midfliegt Terminal”. Sześciopiętrowy budynek ma długość 220 m, szerokość 180 m i dysponuje powierzchnią 280.000 metrów kwadratowych.

Generalnie nowe lotnisko będzie dysponować ponad 85 miejscami postoju dla samolotów i 25 rękawami w położonym z przodu kompleksie w kształcie litery U składającym

się z pirsu głównego, północnego i południowego. 16 rękawów będzie znajdować się na głównym pirsie o długości 715 metrów. Podczas gdy południowy pirs o długości 350 metrów posiada dziewięć rękawów, w północnym pirsie o tej samej długości znajdzie się dwanaście pozycji Walk-Boarding do odprawy lotniczej. W terminalu lotniska osiem wysp do odprawy ze 112 okienkami i 30 liniami kontroli bezpieczeństwa oferuje na razie miejsce do obsługi 6.500 pasażerów na godzinę.

Budowa terminala rozpoczęła się wraz z realizacją dworca podziemnego jako fundamentu kompleksu budynków. Na zlecenie Deutsche Bahn AG, firma Berliner Flughäfen GmbH zadbała podczas budowy dworca w podziemiu terminala o dobre połączenie szynowe nowego lotniska BBI.

Szybka kolej miejska i kolej regionalna łączy placówkę w 15 minut z centrum Berlina, a ruch dalekobieżny powinien w przyszłości docierać również na dworzec lotniska. W tym celu zbudowano odcinek dla kolei dalekobieżnej i krajowej o długości 15 km – częściowo w tunelach – oraz odcinek szybkiej kolei miejskiej o długości ok. 8 km. Koszty budowy dworca i połączenia szynowego opiewają na kwotę 636 milionów euro.



Fot. 3. Dzięki dworcowi w terminalu, BER został zintegrowany z siecią DB i S-Bahn

Zgodnie z szacunkami planistów i Związku Komunikacji Berlin Brandenburg, ponad połowa wszystkich pasażerów będzie docierać na lotnisko pociągiem. Stanowiłoby to ok. 15 milionów ludzi rocznie. Dworzec o długości 405 metrów i szerokości 60 metrów na najniższym piętrze dysponuje czterema torami dla kolei dalekobieżnej z dwoma peronami. Ich długość wystarczy do zatrzymania podwójnego pociągu ICE. Pozostałe tory przewidziano dla ruchu szybkiej kolei miejskiej. Dystans z peronu do terminala po zakończeniu prac budowlanych będzie wynosił około 50 metrów.

Pierwszy odcinek częściowy zrealizowano już w czerwcu 2008, tak aby można było rozpocząć prace nad znajdującym się powyżej terminalem. Do budowy dworca zużyto 53.000 metrów sześciennych betonu. Do przetransportowania tej ilości betonu, konieczne było 8800 kursów betonowozów z betoniarni na plac budowy dworca. Do tego doszło 156.000 metrów sześciennych betonu do budowy terminala lotniska. Tylko do postawienia

trzy pięćsetnego pirsu północnego i południowego zużyto 30.000 metrów sześciennych betonu towarowego o klasach wytrzymałości C12/15 do C45/55. Ponadto zużyto 4.000 metrów sześciennych mieszanki, do produkcji 889 sztuk prefabrykowanych elementów z betonu architektonicznego, o klasie wytrzymałości C35/45.

2.2. Powierzchnie operacyjne lotniska

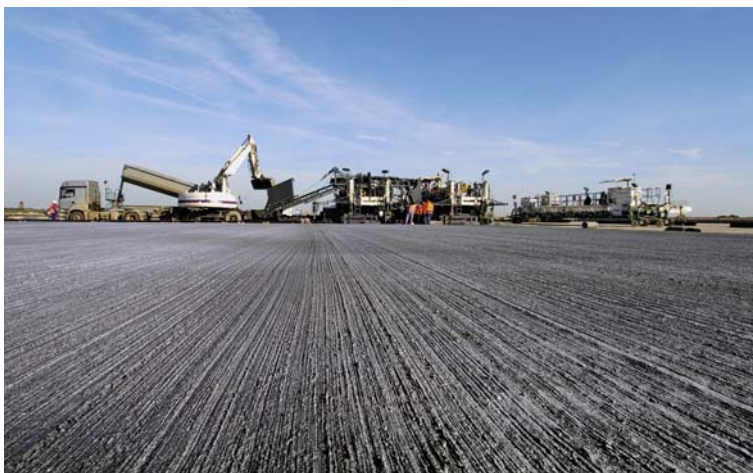
Na powierzchni o wielkości 1,7 miliona metrów kwadratowych wykonano nowe pasy startowe i lądowania, drogi kołowania i przedpola. Wykorzystano do tego celu ponad 1,1 miliona metrów sześciennych betonu.

W ten sposób nowe lotnisko BER dysponuje dwoma przebiegającymi równolegle do siebie pasami startowymi i lądowania, które z powodu odległości od siebie wynoszącej 1900 metrów i podsadzką 1250 metrów mogą być zarządzane oddzielnie.

Już istniejąca kolej południowa wcześniejszego lotniska w Schönefeld została rozbudowana do postaci kolei północnej BER a przy tym rozbudowano ją o 600 metrów do łącznej długości 3.600 m.

Kolej północna dawnego lotniska w Schönefeld została natomiast całkowicie rozebrana, aby wykorzystać jej powierzchnię do rozbudowy częściowego odcinka autostrady A113.

Pasy, startowy i lądowania o długości 4.000 metrów i szerokości 60 metrów posiadały łączną powierzchnię 240.000 metrów kwadratowych. Dzięki tym wymiarom lotnisko BBI nadaje się do startów i lądowań Airbusa A380.



Fot. 4. 1,1 miliona metrów sześciennych betonu wykorzystano do budowy powierzchni użytkowych lotniska

Betonowi przeznaczonemu na pasy startowe i lądowania, przedpola i pasy do kołowania stawiano szczególne wymagania techniczne: dzięki nim powierzchnie operacyjne lotniska muszą wytrzymywać nie tylko obciążenia samolotów, ale również być szczególnie odporne na warunki atmosferyczne oraz zapewniać odpowiednią szorstkość.

Aby spełnić te wymogi zastosowano beton odporny na mróz i środki odladzające o klasie wytrzymałości C35/45, w klasach ekspozycji XF4, XM2.

Aby zapewnić bezproblemowy przebieg lotu również w przypadku niskich temperatur zewnętrznych zastosowano również środki odmrażające do powierzchni lotniska na bazie octanu i mrówczanu. Wytrzymałości betonu stawiano więc wysokie wymagania. Ponieważ zmiany opracowanej dyrektywy nabierały mocy prawnej równoległe z przeprowadzaniem pierwszych badań i związanym z tym wyborem kruszywa, to zadanie stanowiło wyjątkowe wyzwanie dla wszystkich uczestników projektu.

Łącznie wyprodukowano i zużyto ponad 800.000 metrów sześciennych betonu nawierzchniowego i 500.000 metrów sześciennych stabilizacji dla powierzchni operacyjnych nowego lotniska.

2.3. Połączenia komunikacyjne

Z budową lotniska BBI związane są nieodłącznie szeroko zakrojone projekty infrastrukturalne zarówno kolejowe, jak i drogowe.

Połączenie szynowe

Dla zachodniego połączenia szynowego lotniska w kierunku centrum miasta wykonano nowy odcinek pomiędzy podziemnym dworcem lotniska do istniejącego Berliner Außenring. W tym celu z terminala poprowadzono tunel w kierunku wschód-zachód, o długości 3,2 km. Na zachodzie poprowadzono go pod przedpolem lotniska, na wschodzie tunel prowadzi pod Airport City.

Połączenie wschodnie lotniska zostało rozbudowane w kierunku południowym na długości ok. 6 km na dwóch torach i łączy BER z odcinkiem szynowym Berlin-Cottbus. Do wykonania nowej trasy konieczna była budowa łącznie trzech mostów nad A117, trasa krajową 179 i „Czarną Drogą”.

Budowa dróg komunikacyjnych

Do nowego lotniska można dojechać autostradą A113. Od roku 2008 19-kilometrowa autostrada łączyła A100 z A10 na południu Berlina i łączy w ten sposób lotnisko z centrum stolicy.

Do czasu pierwotnego terminu otwarcia wybudowano sześciopasmową autostradę z połączeniem z lotniskiem. Sześciopasmowa A113 została zrealizowana w kilku odcinkach częściowych, ponieważ część nowej autostrady przebiegała przez teren dawnej kolei północnej lotniska Schönefeld.

Dlatego też zrealizowano najpierw prace budowlane poza terenem lotniska, a po rozbiórce kolei północnej zamknięto powstałą w ten sposób lukę drogową na długości 650 metrów na dawnym terenie lotniska. Następnie zrealizowano miejsce połączenia lotniska BBI przy już trwającym ruchu drogowym na autostradzie.

3. Technologia betonu na lotnisku BER

Ciekawostką na terenie budowy BER była centralna regulacja zaopatrzenia w beton na całym terenie. Oznacza to, że inwestor zobowiązał wszystkie firmy wykonawcze do

odbioru betonu od jednego określonego producenta. Kontrakt ten wymusił poważne wyzwanie jakie postawione zostało wytwórcy betonu oraz technologom.



Fot. 5. W szczytowych okresach betoniarnie dysponowały 6 węzłami

Zlecenie na produkcję betonu otrzymała firma Becker Bau GmbH & Co. KG z Bornhöved. W ciągu sześciu tygodni na powierzchni o 70.000 metrach kwadratowych przedsiębiorstwo stworzyło jedno z największych miejsc produkcji betonu towarowego w Europie, tuż obok placu budowy. Między sierpniem a październikiem 2006 r. umocniono 60.000 metrów kwadratowych terenu betonem oraz asfaltem, powstał pierwszy węzeł betoniarski, postawiono silosy na cement, boksy na kruszywo, taśmociągi i urządzenia dozujące. Dodatkowo położono pięć kilometrów kabla sygnalizującego oraz cztery kilometry sieci wodociągowej. Do własnego dworca przeładunkowego fabryki betonu towarowego położono 1.400 metrów szyn i pięć zwrotnic.

Według potrzeb, firma Becker Bau etapami rozszerzała zdolność produkcyjną swojego zakładu: przy użyciu łącznie sześciu samodzielnych betoniarni, ponad 20 silosów cementowych, powierzchni magazynu dla 120.000 ton kruszywa i systemu magazynowania dla 61.000 litrów domieszek chemicznych, przedsiębiorstwo w najlepszym czasie produkowało 11.000 metrów sześciennych betonu w ciągu jednego dnia. Łącznie zużyto ok. 2,5 milionów metrów sześciennych betonu, dla różnych projektów na terenie lotniska.

3.1. Surowce do produkcji betonu

Produkcja tak dużych ilości betonu wymagała dopracowanego planu zaopatrzenia betoniarni w surowce.

Kruszywo

Łącznie do produkcji potrzeba było ponad 4.000.000 ton kruszywa i ok. 600.000 ton cementu. Dostawa tych surowców odbywała się drogą kolejową przez tor dojazdowy. Ponieważ tor ten używano także do dostarczania ropy naftowej do starego lotniska



Fot. 6. W szczytowym okresie kolejną dostarczano 3000 t cementu dziennie

Schönefeld, konieczna była dokładna koordynacja terminów dostawy i szybkie rozładowywanie pociągów. W dniach szczytowych, przez zakładowy dworzec codziennie w dwu- lub czterogodzinnych cyklach przejeżdżało sześć pociągów z kruszywem i dwa pociągi z cementem.

Kruszywo po cyfrowym ważeniu rozładowywano stopniowo do koleb wyrotnych o długości 120 metrów, znajdujących się obok torów. Ładowarki przewoziły kruszywa zgodnie z ich przeznaczeniem do jednego z dziesięciu składów frakcji granulometrycznej. Ogólnie możliwe było przechowanie 120.000 ton kruszywa na powierzchni o wielkości 40 ha.



Fot. 7. Do betoniarni trafiało codziennie do sześciu pociągów z kruszywem



Fot. 8. Kruszywo rozładowywano przechyltowo

Rozładowanie obu pociągów zawierających cement z łącznym ładunkiem 3.000 ton miało miejsce w sześciu punktach rozładunkowych. Za pomocą tego systemu możliwe było przyjęcie do 160 ton na godzinę.

Do różnych projektów budowlanych z zakresu budowy nawierzchni betonowych, nadziemnej i inżynierskiej zastosowano tylko dwa rodzaje cementu. Do budowy powierzchni komunikacyjnych użyto CEM I 42,5 (Sd), do projektów takich jak terminal, użyto cementu CEM III/A 42,5 N, LH/NA. W ponad 20 silosach całkowita pojemność magazynowania cementu wynosiła 3.800 ton.

Dostawę 61.000 ton popiołu lotnego „Steament DO” z elektrowni Dolna Odra w Polsce na plac budowy również przeprowadzono transportem drogowym. W sezonie szczytowym na plac budowy BBI miesięcznie docierało z polskiej elektrowni 3.200 ton popiołu lotnego w ciężarówkach. Odpowiada to dziennej dostawie 250 ton.

Domieszki

Wymagane 4.000.000 litrów chemii do betonu samochodami ciężarowymi i cysternami na berliński plac budowy dostarczyła firma Ha-Be Betonchemie GmbH & Co. KG z Hameln.

Specjalnie pod wymagania techniczne berlińskiej inwestycji, producent domieszek skomponował nowy plastyfikator PANTARHIT® 45 bbb (BV). Produkt ten miał na celu uniknięcie stosowania wielu produktów, co uniemożliwiała ograniczona powierzchnia magazynowa. W ten sposób powstał produkt uniwersalny, który znalazł zastosowanie spełniające wiele różnych parametrów jakościowych.

Do tych parametrów należała w szczególności, szybkość działania produktu w procesie mieszania betonu, ponieważ beton nawierzchniowy musiał być produkowany na kilku betoniarniach w ilości 900 m³ na godzinę. Domieszka musiała wykazać odpowiednią kompatybilność z systemem napowietrzającym, tak aby uzyskać odpowiednią ilość powietrza, uwzględniając mikropowietrze oraz zapewnić wysoki stopień redukcji wody, tak aby uzyskać klasę wytrzymałości C35/45.

Dla potrzeb produkcji betonu nawierzchniowego obok plastyfikatora PANTARHIT® 45 bbb (BV), użyto domieszki napowietrzającej na bazie detergentów PANTAPOR 66

K (LP). Dla budownictwa inżynierskiego oraz tuneli zastosowano superplastyfikator PANTARHIT® RC17 (FM). Beton architektoniczny wbudowywany był z użyciem superplastyfikatora PANTARHIT® RC14 (FM).



Fot. 9. W betoniarni można było składować łącznie 120.000 t kruszywa

W celu zagwarantowania możliwości tworzenia zapasów domieszek, na plac budowy powstało kilka magazynów domieszek wyposażonych w zbiorniki. Poprzez zakładowe przygotowanie do magazynowania chemii do betonu i dodatkowe tworzenie zapasów z systemami drobnicowymi na terenie budowy, możliwe było osiągnięcie łącznej pojemności magazynu dla 61.000 litrów substancji chemicznych. Za pomocą innowacyjnego pomysłu dotyczącego napełniania i dopełniania zbiorników, pojemność magazynowania na jedną betoniarnię zwiększyła się dwukrotnie. Mimo tego dostawę w głównym okresie fazy budowy wykonywano punktualnie wg systemu Just-in-time. Z Hameln do Berlina w krótkim 24-godzinnym takcie wysyłano cysterny mieszczące 21.000 litrów domieszek.



Fot. 10. Łącznie zużyto 4.000.000 l domieszek chemicznych do betonu

3.2. Technologia betonu

Do budowy lotniska BER wyprodukowano ponad 800.000 metrów sześciennych betonu nawierzchniowego, 500.000 metrów sześciennych warstw nośnych i ponad 1.000.000 metrów sześciennych betonu do budowli naziemnych i konstrukcji inżynierskich.

Ponieważ poszczególne projekty w dziedzinie budowy nawierzchni betonowych i konstrukcji inżynierskich miały sprostać różnym wymaganiom stawianym technologii betonu, opracowano ponad 300 różnych receptur betonu do specjalnych zastosowań.

Tabela 1 przedstawia receptury mieszanek betonowych wykorzystane przy budowie lotniska.

Tabela 1. Przegląd głównych receptur

Rodzaj/ Zastosowanie	Klasa wy- trzymałości	Klasa eks- pozycji	Zaw. cementu	Wsk. W/C	Ilość pow.	Domieszka
Stabilizacja Beton (HGT)	HGT	X0	120 kg/m ³	1,05		brak
Nawierzchnia	C35/45	XF4, XM2	360 kg/m ³	0,41	4,5 %	PAN- TARHIT® 45 bbb (BV) PANTAPOR 66 K (LP)
Beton architekto- niczny	C 30/37	XC3, XF1, XA1	300 kg/m ³	0,5	-	PANTAR- HIT® RC14 (FM)
Płyty	C 25 / 30 LP wg instrukcji ZTV	XC4, XD3, XF3, XF4	360 kg/m ³	0,42	4,5 %	PAN- TARHIT® 45 bbb (BV) PANTAPOR 66 K (LP)
Stropy / Słupy Elementy tuneli	C 50/60	XC2, XA1	380 kg/m ³	0,41	k.A	PANTAR- HIT® RC17 (FM)

Szczególnie wymagania musiał spełnić beton do budowy tunelu kolejowego.

Według dodatkowych wymagań instrukcji ZTV ING – część 5, jego temperatura nie mogła przekraczać 25°C w momencie wbudowania. Przy wysokich temperaturach zewnętrznych beton schładzano przy użyciu instalacji do produkcji sztucznego lodu.

Wytworzone kryształy lodowe wykazywały ogromny potencjał chłodzący, dzięki niewielkiej grubości szybko roztopiały się w mieszance i były łatwe magazynowaniu oraz dozowaniu do mieszalnika.

Przemysłowa maszyna do wytwarzania lodu stała bezpośrednio obok betoniarni i w godzinach szczytu produkowała ok. 80 ton sztucznego lodu dziennie. Wodę mrożono na lamelach zamocowanych w urządzeniu pionowo jedna pod drugą. Przepływającą wodę schładzano tak długo, aż utworzyła na lamelach warstwę lodu o grubości od 5 do 7 mm. Po przestawieniu ze schładzania na ogrzewanie warstwy lodu odrywały się i spadały do przewidzianego do tego celu magazynu na lód. Tam najpierw go łamano

i ważono, następnie transportowano do platformy mieszalnika za pomocą przenośnika ślimakowego i mieszano z innymi surowcami.

Dla wyżej podanej receptury dla budownictwa tunelowego C50/60 XC2, XA1, w lecie była następująca temperatura betonu wg tabeli 2

Tabela 2. Temperatura betonu, tunel

Surowiec	Ilość w kg	Temperatura in °C
Cement	380	60
Kruszywa (wilgotność 2%)	1800	30
Woda	156	28
Wskaźnik W/C	0,41	
Dało temperaturę		31,7

Jak już wcześniej wspomniano, wykorzystano maszynę do produkcji schłodzonej wody między 1°C i 5°C, oraz lodu – 1°C. Tabela 3 podaje wyniki temperatury świeżej mieszanki przy dozowaniu wody o temperaturze 28°C, 5°C i 1°C.

Tabela 3. Redukcja temperatury betonu przy pomocy schłodzonej wody

	Temperatura wody w °C	Temperatura betonu w °C
Wynik temperatury betonu przy temperaturze wody	28	31,7
Wynik temperatury betonu przy temperaturze wody	5	27,3
Wynik temperatury betonu przy temperaturze wody	1	26,5

Jak pokazuje powyższa tabela, samo zastosowanie schłodzonej wody nie wystarczyło, aby zredukować temperaturę mieszanki betonowej z 31,7°C do 25°C. Z tego powodu zdecydowano się zastosować również lód.

Aby uzyskać wymaganą temperaturę 25°C, zdecydowano się na użycie kombinacji dozowania schłodzonej wody oraz lodu. Tabela 4 pokazuje ilości schłodzonej wody oraz lodu, potrzebne dla uzyskania betonów o temperaturach 20°C oraz 22°C, tak aby poprzez transport w gorące dni i ewentualne ocieplenie, beton nie przekroczył 25°C podczas wbudowania.

Tabela 4. Wymagania, Temperatura betonu 20°C oraz 22°C

	Temperatura betonu w °C	Potrzebny lód w kg/m ³	Schłodzona woda w l/m ³	Woda w kruszywie l/m ³	Woda całkowita w l/m ³
Potrzebny lód (przy -1°C) oraz schłodzona woda (przy 5°C)	20	56,3	63,5	36	156
Potrzebny lód (przy -1°C) oraz schłodzona woda (przy 5°C)	22	40,8	79,0	36	156

W praktyce dozowanie ilości lodu w lecie wynosiło od 30 do 60 kg/m³.

Zastosowanie lodu nie miało wpływu na inne parametry jakościowe betonu, jak również na ilość dozowanych domieszek.

Aby zagwarantować zaopatrzenie placu budowy lotniska w beton również w razie temperatur ujemnych, należało zrealizować koncepcję ogrzewania betonu w betoniarniach. W chłodniejszych okresach, kruszywo i wodę zarobową dozowano do mieszalników po wstępnym ogrzaniu. W ten sposób można było wytwarzać beton także przy temperaturze zewnętrznej sięgającej -10°C.

3.3. Produkcja betonu

Z powodu nakładania się terminów różnych projektów budowlanych na wielkim placu budowy, należało równolegle produkować różne rodzaje betonu, aby móc obsłużyć różne place budowy.

Ponieważ sześć mieszalni dysponowało łącznie ośmioma mieszalnikami, można było w jednym czasie realizować produkcję betonu z ośmiu receptur.

Dzienne zlecenia były koordynowane w centrali, a harmonogram produkcji był przekazywany do placówek kierowniczych poszczególnych betoniarni. Stamtąd personel Becker Bau nadzorował sterowane komputerowo dozowanie poszczególnych komponentów.

W godzinach szczytu betonowozy i ciężarówki opuszczały zakłady transportu betonu co minutę i zawoziły beton do poszczególnych placów budowy na lotnisku.

Aby zapewnić jakość wszystkim rodzajom betonów, prowadzone były odpowiednie badania techniczne. W czasie trwania projektu zbadano pod względem wytrzymałości, w ramach wewnętrzzakładowej kontroli produkcji ponad 1.000 belek na zginanie i ponad 10.000 sztuk kostek na ściskanie. Dodatkowa kontrola jakości betonu wykonywana była przez system kontroli nadzorowany przez spółkę zarządzającą lotniskiem.



Fot. 11. W każdej minucie zakład opuszczają ciężarówki i betonowozy

4. Podsumowanie

Termin otwarcia lotniska BER jest nadal nieznany. Nawet jeżeli niektóre prace budowlane wykazują usterki opóźniające budowę niektórych prestiżowych obiektów, plac budowy z punktu widzenia inżynierii betonu pozostaje projektem pełnym superlatyw.

Łącznie użyto ok. 2,5 miliona metrów sześciennych do poszczególnych projektów, takich jak terminal z dworcem podziemnym, powierzchnie operacyjne lotniska oraz różne prace związane z infrastrukturą kolejową i drogową oraz BBI Airport City, jak również terenem przemysłowym.

Do produkcji betonu w tej ilości zużyto 4.000.000 litrów domieszek do betonu, 600.000 ton cementu i 4.000.000 ton kruszywa. Pogłębiona koncepcja zaopatrzenia betoniarni w te ilości była konieczna i została skutecznie zrealizowana przez wszystkich uczestników.

Nie tylko duże ilości betonu i surowców sprawiły, iż plac budowy BBI jest projektem szczególnym, również wymagania stawiane technologii betonu były bardzo wysokie. Do różnych budowli stworzono ponad 300 różnych receptur.

Obejmowały one zarówno koncepcję schładzania betonu w cieplejszych miesiącach, jak również koncepcję ogrzewania betonu, aby zaopatrzyć plac budowy w beton również zimą.