

Roller Compacted Concrete (RCC) – nowoczesna technologia wykonania nawierzchni drogowej na terenie Portu Gdańsk – DCT T2

Mgr inż. Paweł Kadukowski, BETPOL SA

1. Wprowadzenie

Projekt o nazwie „Zaprojektowanie i budowa nowego nabrzeża z przyległymi placami składowymi na terenie Portu Gdańsk – DCT T2” powstał ze względu na rosnące zapotrzebowanie na obsługę oceanicznych statków kontenerowych oraz celem ustanowienia skutecznej konkurencji dla Portów Europy Północnej i Zachodniej. Terminal T2 został zaprojektowany jako powiększenie sąsiedniego, działającego od 2007 roku głębokowodnego terminalu kontenerowego DCT Gdańsk (Deepwater Container Terminal Gdańsk) zlokalizowanego na pirsie, posiadającego zdolność przeładunkową na poziomie 1,5 mln TEU. Przeprowadzona inwestycja w zrealizowanym zakresie (faza I) zwiększa zdolność przeładunkową całego terminala do 3 mln TEU, a docelowo po przeprowadzeniu fazy II, dla której zrealizowano roboty przygotowawcze terenu, zdolność wzrośnie do ok. 4 mln TEU. Cały terminal zlokalizowany jest w rejonie Portu Północnego w Gdańsku i jest jedynym terminalem głębokowodnym w basenie Morza Bałtyckiego zdolnym przyjąć największe statki kontenerowe świata (>18 000 TEU). W jego sąsiedztwie powstaje Pomorskie Centrum Logistyczne – komercyjne centrum dystrybucji obsługujące terminal [1]. Jest on doskonale powiązany z krajową siecią dróg i kolei. Rozbudowa terminala kontenerowego jest także szansą dla regionu kujawsko-pomorskiego w kontekście planowanego rozwoju portu multimodalnego doskonale połączonych z regionem Trójmiasta.

Zamawiający DCT Gdańsk SA na potrzeby realizacji projektu wybrał formułę: Zaprojektuj i Zbuduj/EPC (Engineering, Procurement, Construction) w oparciu o Warunki kontraktowe FIDIC na realizację pod klucz, z wyłączeniem dostawy terminalowych urządzeń dźwigowych i transportowych [1].

Na wykonawcę zadania została wybrana belgijska firma NV BESIX SA, która zrealizowała już wcześniej takie inwestycje jak: przebudowa Portu Sonar w Omanie, Las Raffan w Katarze oraz budowy nabrzeży w Porcie Amazone Rotterdam w Holandii. Oprócz usług wsparcia w zarządzaniu kontraktem



Rys. 1. Terminal DCT przed rozbudową



Rys. 2. Terminal DCT2 w fazie eksploatacji

i procesem projektowania funkcję kluczowego podwykonawcy w zakresie robót ziemnych, branży kubaturowej, hydrotechnicznej, elektroenergetycznej, wodno-sanitarnej IT i AKPiA pełniła firma NDI z Sopotu. Jako podwykonawca robót drogowych zgłoszona została firma BETPOL SA z Bydgoszczy. Inżynierem kontraktu była firma C2HM, a funkcję niezależnego konsultanta pełniła firma AECOM Polska Sp. z o.o.

2. Główna część zadania inwestycyjnego

Parametrem krytycznym dla inwestora był czas realizacji zadania przy zachowaniu najwyższej jakości. Zakontraktowane dostawy zarówno konstrukcji elementów suwnic, jak i terminy komercyjnych dostaw towarowych determinowały maksymalny czas wykonania nawierzchni drogowych w okresie ok. 1 roku, wliczając w ten czas okres zimowy.

Zasadniczą częścią całego zadania, obok prac hydrotechnicznych, było wykonanie nawierzchni platformy drogowej. Obszar platformy drogowej stanowiła część, która została „wydarta” z zatoki poprzez odpowiednie prace hydrotechniczne i wykonanie nasypu. Pozostała część istniejącego nabrzeża została wzmocniona włącznie poprzez m.in. palowanie i wibroflotacje.

Indywidualny projekt nawierzchni drogowej zawierał model obliczeniowy przy założeniu ponadstandardowych obciążeń rzędu do 700 kN/oś dla suwnic RTG i do 1200 kN/oś dla wózków reachstacker operujących na terenie platformy. Obciążenia te są nieporównywalnie większe od nawet najcięższych obciążeń na drogach publicznych do 115 kN/oś.

Konstrukcja nawierzchni o powierzchni 250 000 m² została dobrana indywidualnie i przewidywała następujące warstwy:

- warstwa zagęszczonego podłoża G1;
- warstwa stabilizacji podłoża cement/popiół C3/4, grubość warstwy 15–21 cm;
- warstwa podbudowy z MZC C16/20, grubość warstwy 48 cm;
- podsypka piaszkowa 0/4 mm, grubość warstwy 4 cm;
- warstwa ścieralna z kostki K13 (herringbone), grubość kostki 10 cm.

Dokumentację projektową nawierzchni uzupełniały niezbędne dokumenty związane, między innymi:

- SST;
- WT 5 – załącznik nr 4 do zarządzenia nr 102 GDDKIA pn. „Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym dla dróg krajowych” jako dokument służący do opracowania recepty MZC C16/20;



Rys. 3. Kontrola wysokości



Rys. 4. Układarka Vogele



Rys. 5. Mikser Wirtgen 2500



Rys. 6. Równiarka, siewnik i mikser

- normy brytyjskie zawierające informację nt. kontroli wykonania MZC oraz podsypki piaskowej BS 1924-1 1990 – Stabilized Materials for Civil Engineering Purposes; BS 1924-2 1990 – Stabilized Materials for Civil Engineering Purposes – Part 2 Methods of test for cement-stabilized and lime-stabilized materials; BS 7533-3-2005+A1-2009-2015-11-26-01-51-20 PM.

Niezbędnym warunkiem powodzenia wykonania zadania była praca dynamicznego i kompetentnego zespołu nadzoru i pracowników oraz wykorzystanie nowoczesnych zasobów sprzętowych. W prace drogowe ze strony BETPOL SA zaangażowanych było ok. 15 inżynierów drogowych i geologów, kilkuset pracowników;

Wszystkie czynności drogowe/nawierzchniowe były realizowane przy użyciu nowoczesnych maszyn wyposażonych w system kontroli wysokości. Na podstawie projektu cyfrowego został opracowany model warstwiczny projektowanego układu, który to po wprowadzeniu do tzw. bazy umożliwił odpowiednią pracę maszyn w wielu niepowiązanych ze sobą dostępnych miejscach platformy jednocześnie, oraz pracę nadzoru, który przy użyciu anten „hiper” mógł w dowolnym miejscu kontrolować prawidłowość realizowanych prac. Każda z wykonywanych warstw konstrukcji wymagała unikatowych rozwiązań i precyzyjnej technologii ze względu także na efekt skali zadania. Podstawowe założenia dla poszczególnych czynności przedstawiono poniżej.

• Stabilizacja podłoża

Została wykonana przy użyciu nowoczesnego sprzętu mobilnego (zespoły mikserów mobilnych Wirtgen 2500, siewniki, równiarki) metodą in-situ (na miejscu).

• Wykonanie podbudowy MZC C16/20

Prawdziwym wyzwaniem (z całą pewnością wyjątkową w skali kraju) i czynnością zasadniczą było wykonanie podbudowy MZC C16/20 o grubości 48 cm. Niestety polskie normy drogowe np. PN-S 96014 czy PN-S 96015 nie mogły mieć żadnego zastosowania ze względu na odmienną technologię wykonania – RCC, co powodowało określone problemy w kontekście ustalenia dokumentów referencyjnych i odpowiedniego sposobu kontroli wykonania.

Różnica pomiędzy MZC C16/20 a betonem C16/20: zgodnie z WT5 do zastosowań drogowych wykorzystywane są wtyczne GDDKIA, które umożliwiają realizację poszczególnych warstw z mieszanek wykonywanych na miejscu. W odróżnieniu od klasycznych mieszanek betonowych MZC dopuszcza szkielet mineralny w postaci frakcji ciągłej mieszczącej się w polu dobrego uziarnienia bez dozowania frakcji pośrednich (stąd konieczne codzienne badanie krzywej przesiewu).

Zastosowano następujące zasoby sprzętowe: mobilne węzły do produkcji mieszanek, nowoczesne układarki Vogele 1800



Rys. 7. Przykładowy rdzeń odwiertu MZC C16/20



Rys. 8. Układanie podbudowy z MZC

3i, pracujące także na systemach ze spotęgowaną dokładnością dzięki zastosowaniu połączenia z tachimetrem, równiarki i sprzęt do zagęszczenia, tzn. walce drogowe stalowe i ogumione; niezależną kontrolę wykonania (własne i akredytowane laboratorium drogowe). Zarówno do wykonania podbudowy, jak i podsypki piaskowej zastosowany został unikatowy materiał mineralny wydobywany z dna morza Bałtyckiego (mieszanki kruszyw naturalnych o bardzo wysokiej gęstości, niskiej nasiąkliwości i ścieralności) – Baltex.

Parametry, które musiały być kontrolowane na bieżąco:

- skład mieszanki, a więc szkielet mineralny (codzienne badanie krzywej przesiewu);
- zagęszczenie podbudowy, które było wykonywane wałcami drogowymi. Powyższe było technicznie możliwe jedynie wtedy, gdy mieszanka miała wilgotność zbliżoną do optymalnej, przy czym była ona zbliżona raczej do dolnej granicy przedziału określonej w receptce, tj. ok. 5–6%;
- wytrzymałość na ściskanie.

Bardzo istotne z punktu widzenia nawierzchni drogowych jest uzyskanie minimalnych wymaganych wartości nie tylko wytrzymałości próbek na ściskanie, ale przede wszystkim zagęszczenia mieszanki /s w całym jej przekroju. Nie ma żadnych wątpliwości, że parametry te (zagęszczenie i wytrzymałość przy założeniu stałej jednorodności mieszanki) są od siebie zależne.

Kwestią sporną była właściwa metodologia badań zagęszczenia podbudowy. Wymagania stawiane mieszance zgodnie z opinią [2] zależą od prawidłowego sklasyfikowania i nazwania materiału. Zgodnie z opinią [2] „Badanie wskaźnika zagęszczenia można określać na podstawie maksymalnej gęstości objętościowej określonej w badaniu Proctora wg normy PN-EN 13286-2 oraz gęstości objętościowej zmierzonej w terenie zgodnie z normą BN 77 8931-12”. Grubość wykonywanej warstwy, jej równość, wymagana dokładność rzędnych wysokościowych i spadków, temperatura, w której realizowano pracę w danym dniu, a także skala zadania wymuszały bardzo wiele niezbędnych codziennych czynności.

Podbudowa musiała być wykonywana w dwóch warstwach osobno zagęszczanych i kontrolowanych. Napięty harmonogram wymuszał wykonywanie prac związanych z MZC C16/20



Rys. 9. Codzienna kontrola i rejestracja pracy oraz datowanie poszczególnych działek, warstw i kampanii badań

Tabela 1. Porównanie kosztów zasadniczych dla 1000 m² warstwy gr. 25 cm

	MZC16/20 V1	C16/20 S3
Cena mieszanki	X	X+15%X
Transport i wbudowanie	– pojazdy tzw „wanny” – walce drogowe – pracownicy	– samochody typu „gruszka” – pompy – wibratory – pracownicy
Deskowania	brak	konieczne
Badania laboratoryjne	wg BS	wg PNEN
Straty na zagęszczenie i docięcia	X + 5%X	X
RAZEM	wartość C	wartość C + 14%C
Wynik →	do 14% taniej	

całodobowo, przy sprzyjających warunkach atmosferycznych. Niska wilgotność mieszanki oraz zmienne warunki atmosferyczne wpływały bezpośrednio na technologię wykonywanych prac, także w kontekście pielęgnacji warstwy MZC C16/20, jak również wykonywania koniecznych dylatacji (czas od wbudowania do nacięcia). Generalnie pielęgnacja odbywała się wodą surową, jednakże możliwość pielęgnacji wodą morską warstwy niezbrojonej podbudowy MZC C16/20 była również przedmiotem rozważań na podstawie badań wpływu na wytrzymałość na ściskanie. Niepodważalne zalety wybranej technologii podbudowy z MZC to możliwość wykonania zadania w oczekiwanym terminie (szybciej niż metodą tradycyjną w deskowaniach) oraz aspekt ekonomiczny. Uproszczona analiza porównawcza kosztów znajduje się w tabeli 1.

• **Podsypka piaskowa 0/4 mm**

Została dostarczona w składzie zgodnym z normą BS 7533-3-2005+A1 z kruszywa łamanego Baltex o zawartości pyłów do 1% [3], co umożliwia odpowiednią filtrację, odwodnienie warstwy.

• **Kostka K13 grubości 10 cm**

Została specjalnie wyprodukowana przez firmę KAMAL na indywidualne zapotrzebowanie jako jednowarstwowa z mieszanki o klasie ekspozycji między innymi XF4, a zatem zapewniająca trwałość i mrozoodporność w rozumieniu normy PN-EN 206-1 dla nawierzchni drogowych. Dostarczana kostka została ułożona na paletach tak, aby możliwe było jej mechaniczne układanie za pomocą specjalistycznych wózków.

3. Podsumowanie

Czy opisany indywidualny projekt podbudowy można nazwać RCC (*Roller Compacted Concrete*)? W pewnym stopniu na pewno tak, lecz nie w pełni. Klasyczne mieszanki stosowane dotychczas w Polsce dedykowane są dla nawierzchni betonowych KR1, KR2 – drogi o ruchu lekkim. Zwiększanie



Rys. 10. Układanie nawierzchni z kostki



Rys. 11. Układanie podsypki piaskowej

zawartości popiołów w mieszance (RCC) zwiększa jej urabialność i optymalizuje cenę przez zmniejszenie zawartości cementu, jednakże kosztem mrozoodporności. Dużym wyzwaniem jest również uzyskanie wymaganej dla dróg wyższych klas równości, przy układaniu warstw grubości > 20 cm i zagęszczeniu walcami. BETPOL SA przy realizacji ww. zadania dla uzyskania równości przetestował równiarki –



Rys. 12. Urządzenie troxler

z powodzeniem w niektórych obszarach do końcowej obróbki powierzchni. Brak jest jeszcze w Polsce szerokiego zastosowania tych mieszanek oraz wystarczających materiałów technicznych i norm pozwalających na swobodne projektowanie i ich wykonywanie dla danych warstw nawierzchni i wyższych kategorii ruchu.

Wykonywanie podbudów z MZC zagęszczanych tradycyjnymi walcami drogowymi jest ekonomicznie uzasadnione, gdyż jest o ok. 10–15% tańsze od podbudów wykonywanych tradycyjnie w deskowaniach i zagęszczanych wibratorami i listwami wibracyjnymi.

Jednakże nieuregulowaną jest w pełni metodologia kontroli wykonywanej warstwy MZC. Zastosowanie płyty dynamicznej nie daje w tym przypadku wiarygodnych wniosków z uwagi na zmienność wyników w zależności od wilgotności i czasu wbudowania. Badanie wskaźnika zagęszczenia metodą odwiertów z częstotliwością podaną przez normy brytyjskie generuje znaczne koszty. Udział tych kosztów w budżecie to ok. 1% wartości zadania. Sprawdzoną i znormalizowaną metodą, która ma swoje uzasadnienie przy realizacji dużych zadań, jest metoda „Nuclear Gauge” stosowana powszechnie w Niemczech, zastosowana także na DCT2 dla ok. 20% powierzchni podbudowy – urządzenie troxler 3440.

BETPOL SA zakończył realizację zadania w dobrej jakości oraz w terminie, dochowując także terminów pośrednich kamieni milowych, co potwierdzają otrzymane referencje Besix/NDI.

BIBLIOGRAFIA

[1] Małkiewicz Ł., Budowa nowego nabrzeża z przyległymi placami składowymi na terenie portu Gdańsk – DCT T2, Przegląd Budowlany 5/2017
 [2] Jaskuła P., Ryś D., Ekspertyza techniczna dotycząca wykonania konstrukcji nawierzchni w terminalu kontenerowym DCT 2 w Gdańsku
 [3] BS 7533-3-2005+A1-2009-2015-11-26-01-51-20 PM