GEOINŻYNIERIA

OPTYMALIZACJA MURÓW OPOROWYCH NA DOJAZDACH DO TUNELU

■ **TOMASZ TOPOLIŃSKI**
Keller Polska

Projektant Keller Polska sp. z o.o. Jest absolwentem Politechniki Gdańskiej i Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie. Specjalista w zakresie geotechniki i konstrukcji żelbetowych z doświadczeniem w firmach projektowych i wykonawczych.

Z TEKSTU DOWIESZ SIĘ:

- **o wyzwaniach przy realizacji tunelu oraz murów oporowych do jego dojazdów**
- **o zastosowaniu technologii pali wierconych CFA i technologii „pipe roofing" na budowie infrastrukturalnej**

MURY OPOROWE NA DOJAZDACH DO TUNELU DROGOWEGO POD TORAMI SKM I PKP W RAMACH BUDOWY WĘZŁÓW INTEGRACYJNYCH W RUMI

RYS. 1. | Wizualizacja tunelu pod torami SKM i PKP wraz z dojazdami [4]
FOT. 1. | Usuwanie gruntu z wnętrza tunelu i sukcesywny montaż tymczasowych ram stalowych. Mury oporowe w postaci palisady są kontynuacją konstrukcji tunelu realizowanego w technologii „pipe roofing". Fot. Keller Polska

W sąsiadującej z Trójmiastem Rumi trwa budowa węzła integracyjnego z tunelem – największej inwestycji w historii miasta. Projekt zlokalizowany jest w dzielnicy Janowo, w pobliżu dworca SKM (Szybka Kolej Miejska w Trójmieście).

HISTORYCZNA INWESTYCJA

Wyłonionym w przetargu publicznym wykonawcą prac o wartości ponad 60 mln zł została firma Budimex. W ramach inwestycji zrealizowane zostaną między innymi: tunel drogowy pod torami SKM i PKP wraz z dojazdami, przebudowa drogi krajowej nr 6, nadziemna kładka, nowe drogi dojazdowe i skrzyżowania, przebudowa infrastruktury podziemnej, parkingi, ścieżki rowerowe, zatoki i wiaty autobusowe, oświetlenie oraz udogodnienia dla osób z niepełnosprawnościami.

Celem budowy jest przede wszystkim odciążenie zakorkowanej na co dzień drogi krajowej, połączenie dwóch części miasta rozdzielonych linią kolejową oraz usprawnienie transportu zbiorowego. Inwestycja umożliwi integrację różnych środków transportu, a stworzenie spójnego systemu zwiększy liczbę pasażerów komunikacji zbiorowej, co przełoży się na zmniejszenie korków i emisji spalin. Ze względu na znaczenie drogi krajowej nr 6 znaczącą poprawę w codziennej komunikacji odczują także mieszkańcy całego Trójmiasta, jak i sąsiednich miejscowości – Redy i Wejherowa.

WYZWANIE INŻYNIERSKIE

Inwestycja obejmuje szeroki zakres wielobranżowych robót, a szczególnymi pod względem stopnia skomplikowania elementami są tunel oraz mury oporowe jego dojazdów. Z tymi właśnie konstrukcjami wiążą się największe wyzwania tej budowy.

Tunel, który przebiega pod czterema torami oraz przystankiem kolejowym, będzie docelowo korytarzem dla dwóch pasów drogi kołowej, ścieżki rowerowej i ciągu pieszego. Jego konstrukcję zaprojektowano jako ramę żelbetową o rozpiętości około 16,80 m i długości około 30 m. W celu umożliwienia jej realizacji koniecznie jest wykonanie tymczasowej konstrukcji stalowej w technologii „pipe roofing" – niespotykanej na typowych budowach. Polega ona na przewiercaniu i wciskaniu rur stalowych po obrysie tunelu, które będą stanowiły jego tymczasowe ściany i strop, zabezpieczając tory kolejowe znajdujące się na górze. Po przekopaniu na wylot metodami górniczymi możliwe będzie betonowanie docelowej konstrukcji żelbetowej.

Zadaniem murów oporowych jest trwałe zabezpieczenie różnicy nawet 9 m wysokości terenu (w fazie przecisku rur „pipe roofing" dodatkowe przegłębienie dla pracy siłowników o kolejne 2 m). Wszystkie prace są wykonywane pod czynnym ruchem kolejowym, by nie doprowadzić do utrudnień komunikacyjnych na ważnej w skali kraju i regionu linii. Na decyzję o wyborze bezwykopowych i bezinwazyjnych dla sąsiedniej zabudowy technologii miał również fakt, że peron stacji SKM Rumia Janowo jest nowym obiektem. Budowa elementów infrastruktury, w szczególności znajdujących się poniżej terenu, niesie za sobą wyzwania. Roboty geotechniczne związane z budową murów oporowych na dojazdach zlecono firmie Keller Polska.

WARUNKI GRUNTOWO-WODNE

Na terenie omawianej inwestycji w wykonanej na etapie projektu przetargowego

FOT. 2. | Wykonanie palisady w bezpośrednim sąsiedztwie linii kolejowej wymagało odpowiedniej organizacji robót i zastosowania dodatkowych środków bezpieczeństwa. Fot. Keller Polska

dokumentacji geologiczno-inżynierskiej stwierdzono występowanie warstwy nasypów z domieszkami gruzu oraz czwartorzędowe utwory piaszczyste w postaci piasków, żwirów i pospółek. Zwierciadło wody gruntowej nawiercono na głębokości ponad 10 m poniżej pierwotnego poziomu terenu. Dla przedmiotowego przedsięwzięcia przyjęto II kategorię geotechniczną w prostych warunkach gruntowo-wodnych.

W celu uszczegółowienia rozpoznania geologicznego podłoża i określenia miarodajnych do obliczeń statycznych parametrów fizyko-mechanicznych poszczególnych warstw, firma Keller Polska zaplanowała uzupełniające badania gruntowe. Na podstawie analizy otrzymanych od zamawiającego danych oraz własnych doświadczeń zdecydowano się na wykonanie dodatkowych sondowań statycznych CPTu i badawczych otworów wiertniczych.

ROZWIĄZANIE ZAMIENNE MURÓW OPOROWYCH NA DOJAZDACH

Przetargowa dokumentacja projektowa zakładała wykonanie murów oporowych na dojazdach do tunelu w postaci ścian szczelinowych o grubości 100–120 cm i wysokości 10–22 m. Zamienne rozwiązanie według koncepcji Generalnego Wykonawcy firmy Budimex SA oraz Wykonawcy Robót Keller Polska przewiduje wykonanie murów w postaci palisady kotwionej mikropalami z żelbetowymi ścianami podwyższającymi i licowymi.

Zaprojektowano i wykonano palisady o łącznej długości prawie 340 m w planie. Składa się na nie ponad 400 szt. pali wierconych CFA (*Continous Flight Auger*) o łącznej długości prawie 4 km. Elementy w tej technologii są wiercone i betonowane w czasie jednego ciągłego procesu za pomocą spiralnego świdra o długości równej co najmniej długości pala. Zbrojenie wprowadza się w świeżo zabetonowany trzon przy użyciu wibracji.

Stateczność palisad wysokich murów oporowych zapewniają mikropale kotwiące. Wykonuje się je przy użyciu systemowych stalowych żerdzi zakończonych koronką wiercącą. Odcinki żerdzi, zazwyczaj w formie gwintowanego pręta, skręcane są w trakcie wiercenia i stanowią zarówno zbrojenie mikropala, jak i kanał iniekcyjny. Po osiągnięciu projektowanej głębokości następuje druga faza iniekcji zaczynem cementowym o zwiększonej gęstości. Do kotwienia murów oporowych w Rumi wykonano ponad 1 km mikropali.

SZCZEGÓŁY PROJEKTOWE

Zaprojektowano palisady o zróżnicowanych schematach statycznych – zależnie od wysokości zabezpieczanego naziomu, przejściowej i docelowej funkcji zabezpieczenia wykopu/muru oporowego oraz ograniczeń wynikających z występowania w sąsiedztwie innych obiektów budowlanych. Zastosowanie znalazły elementy wspornikowe, kotwione mikropalami oraz rozpierane tymczasową konstrukcją stalową. Pale murów oporowych stanowią również posadowienie głębokie kładek i schodów. Obliczenia statyczne uwzględniały wszystkie fazy przejściowe i docelowe pracy palisady. Na potrzeby projektu wykonano obliczenia metodami inżynierskimi oraz metodą elementów skończonych, wykorzystując aktualny stan wiedzy technicznej oraz normy projektowe i wykonawcze [5,6,7]. Dane wejściowe pochodziły między innymi z uzupełniających badań gruntowych wykonanych na etapie realizacji. Pomiary przemieszczeń palisady po wykonaniu wykopu pozwoliły natomiast na weryfikację przyjętych do obliczeń założeń i potwierdziły poprawną pracę konstrukcji.

Spełnienie wymagań dotyczących docelowej geometrii murów uzyskano przez

FOT. 3. | Mury oporowe na dojazdach wykonano jako palisady z żelbetowymi ścianami podwyższającymi i licowymi
Fot. Keller Polska

zastosowanie żelbetowych ścian licowych oraz podwyższających. Połączenie mikropali kotwiących z palisadą zapewniają również elementy żelbetowe – oczep zwieńczający głowice oraz mocowanie w pachwinach pali. Zaprojektowane rozwiązania są autorską koncepcją firmy Keller Polska. Ich wykorzystanie pozwoliło spełnić wymagania estetyczne oraz dotyczące trwałości i niezawodności konstrukcji.

ZALETY ROZWIĄZANIA ZAMIENNEGO

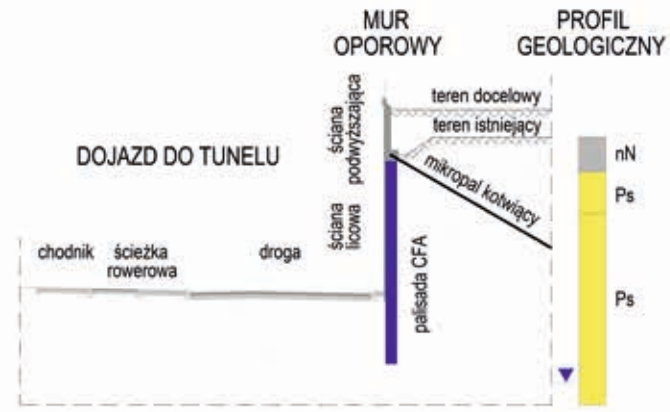
Zamienna koncepcja Keller Polska spełniła wszystkie wymagania stawiane murom oporowym na dojazdach do tunelu. Ponadto, w stosunku do rozwiązania przetargowego i innych dostępnych rozwiązań murów oporowych, pozwoliła dodatkowo:

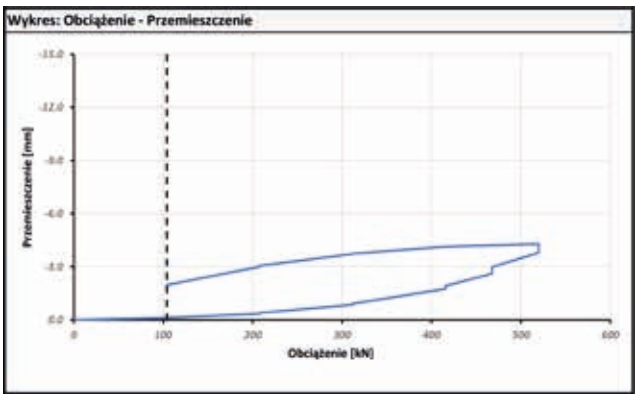
- przyspieszyć czas realizacji;
- zmniejszyć koszty;
- ograniczyć wpływ inwestycji na środowisko przez zmniejszenie „śladu węglowego" – zoptymalizowano zużycie energochłonnych materiałów, jakimi są stal i beton;
- ułatwić dopasowanie przebiegu murów w planie do łukowego kształtu dojazdu;
- zwiększyć dokładność elementów nośnych murów przez wykorzystanie technologii o mniejszych odchyłkach wykonawczych;
- usprawnić organizację placu budowy i koordynację innych robót przez ograniczenie zaplecza technologicznego.

KONTROLA WYKONANIA ROBÓT

Funkcja murów oporowych wymaga wysokiej dokładności wykonania palisady. Dopuszczalne tolerancje normowe [6]

RYS. 2. | Przekrój przez zamienną koncepcję murów oporowych na dojazdach do tunelu w postaci palisady oraz profil geologiczny
RYS. 3. | Wyniki próbnego obciążenia mikropala kotwiącego. Badania nośności potwierdziły poprawność jego wykonania i spełnienie założeń projektowych





FOT. 4. | Palisady wykonano w technologii CFA. Zastosowano pale o średnicach 630 oraz 800 mm i długości do 15,5 m. Fot. Keller Polska
FOT. 5. | Żelbetowe ściany podwyższające i licowe wykonano jako monolityczne po osiągnięciu docelowej rzędnej wykopu. Połączenia wymienionych elementów z palisadą zapewniają pręty startowe oraz łączniki wklejane. Fot. Keller Polska
FOT. 6. | Połączenia mikropali kotwiących z palisadą wykonano w całości jako żelbetowe, zapewniając wymaganą estetykę i trwałość konstrukcji. Fot. Keller Polska

nałożone zostały na lokalizację pali w planie, jak również ich odchylenie od pionu. Wykonywanie robót w gruncie wiąże się z ryzykiem natrafienia na przeszkody – występujące w podłożu omawianej inwestycji kamienie i gruz powodowały odchylenia pozycji świdra podczas wykonywania pali. Dzięki zaangażowaniu doświadczonych operatorów oraz wykorzystaniu nowoczesnego sprzętu wpływ przeszkód na końcową geometrię palisady został zminimalizowany. Wszystkie maszyny firmy Keller Polska są wyposażone w oprzyrządowanie, które monitoruje i rejestruje kluczowe parametry w trakcie pracy – są to między innymi: głębokość, obroty świdra, prędkość penetracji i wyciągania, ciśnienie betonowania, ciśnienie wiercenia i siła docisku. Podczas wiercenia kilku pali natrafiono na znaczne przeszkody w gruncie, które doprowadziły do ponadnormatywnych odchyłek. Zastosowana technologia pozwoliła jednak na łatwą i szybką rektyfikację do projektowanej geometrii przez skuwanie betonu pali i włączenie do współpracy żelbetowej ściany licowej.

W przypadku specjalistycznych robót geotechnicznych bieżąca kontrola jakości jest szczególnie ważnym zagadnieniem. Pozwala ona na sprawdzenie poprawności wykonania, weryfikację założeń projektowych i potwierdzenie bezpieczeństwa pracy dla kolejnych wykonawców. Keller Polska buduje swoją wiedzę i doświadczenie dzięki analizie wyników badań kontrolnych, których zakres wykracza często poza wymagania narzucone przez normy i dokumentację projektową. W przypadku budowy w Rumi przeprowadzono ponadprogramowe próbne obciążenie mikropala kotwiącego.

W ramach kontroli jakości wykonania robót związanych z murami oporowymi na dojazdach do tunelu wykonano:

- Inwentaryzację geodezyjną palisady i mikropali,
- Metryki zawierające dane z automatycznego systemu rejestracji parametrów wykonania pali i mikropali,
- Badania wytrzymałości na ściskanie betonu pali i zaczynu cementowego mikropali podczas każdej zmiany roboczej,
- Próbne obciążenie mikropala kotwiącego,
- Monitoring przemieszczeń palisady.

PODSUMOWANIE

Na budowie węzła integracyjnego w Rumi opracowano zamienną koncepcję wykonania murów oporowych na dojazdach do tunelu. Rozwiązanie to umożliwia optymalizację kosztów i czasu realizacji, a także uwzględnia zasady zrównoważonego budownictwa i ogranicza wpływ budowy na środowisko.

Zasoby projektowe i wykonawcze pozwalają firmie Keller Polska podejmować podobne wyzwania geotechniczne na prowadzonych obecnie w kraju inwestycjach budowlanych. Szczególnie pomocne są w tym względzie lokalne doświadczenia, nieustannie rozszerzany „know how" oraz innowacyjne podejście we wprowadzanych rozwiązaniach zamiennych. Kompleksowe podejście, polegające na zintegrowanym projektowaniu, realizacji i kontroli jakości robót, daje wymierne korzyści w wielu aspektach powierzonego zadania. |

LITERATURA

[1] Budowa węzłów integracyjnych w Rumi wraz z trasami dojazdowymi. Tunel drogowy pod torami SKM i PKP wraz z murami na dojazdach; projekt technologiczny murów oporowych na dojazdach; Keller Polska.

[2] Uzupełniające badania geologiczne; Przedsiębiorstwo Usługowe GeoTIm.

[3] Technologie Keller Polska, www.keller.com.pl/czym-sie-zajmujemy/technologie

[4] Materiały promocyjne, Miasto Rumia, https://rumia.eu/ oraz https://www.youtube.com/watch?v = XCaUHoASJ_Y

[5] PN-EN 1992:2008 Projektowanie konstrukcji z betonu

[6] PN-EN 1536+A1:2015: Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Pale wiercone

[7] PN-EN 14199:2018: Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Mikropale