

Problemy związane z realizacją przejść poprzecznych w tunelu drogowym pod Martwą Wisłą w Gdańsku

Piotr Czech, Inżynier Kontraktu – Gdańskie Inwestycje Komunalne

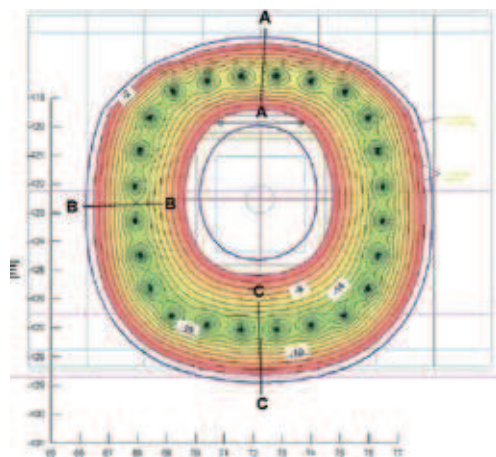
Tunel pod Martwą Wisłą w Gdańsku jest pierwszym drogowym tunelem w Polsce wybudowanym metodą TBM. Składa się z dwóch równoległych tuneli, po jednym dla każdego kierunku ruchu z jezdni dwupasmowymi. Wewnętrzna średnica tuneli wynosi 11 m. Biorąc pod uwagę technologię wykonania oraz przekrój podłużny tunelu, w jego konstrukcji można wyodrębnić pięć sekcji: wanny żelbetowe wykonywane w wykopie otwartym o długości 630 m pod węzłem Marynarki Polskiej i 147,5 m od strony węzła Ku Ujściu, tunel wykonany w wykopie otwartym o długości odpowiednio po obu stronach 112,5 m i 192,5 m oraz tunel drążony o długości 1072,5 m. Łączna długość tunelu bez wanien otwartych wynosi 1377,5 m.

W gdańskim tunelu jest dziewięć wyjść awaryjnych. Celem wyjść awaryjnych jest umożliwienie użytkownikom tunelu jego opuszczenie bez pojazdu i dotarcie w miejsce bezpieczne oraz zapewniające pieszy dostęp do tunelu służbom ratowniczym. Dwa wyjścia ewakuacyjne zlokalizowane są w budynkach technicznych wybudowanych po obu stronach tunelu drążonego, które umożliwiają bezpośrednie wyjście z tunelu na zewnątrz. Siedem wyjść awaryjnych zlokalizowanych jest w tunelu drążonym. Umożliwiają one przejście do sąsiedniej rury tunelu. Przejścia poprzeczne pomiędzy rurami tunelu rozmieszczone są w odstępach od 120 do 175 m. Biorąc pod uwagę liczbę wyjść ewa-

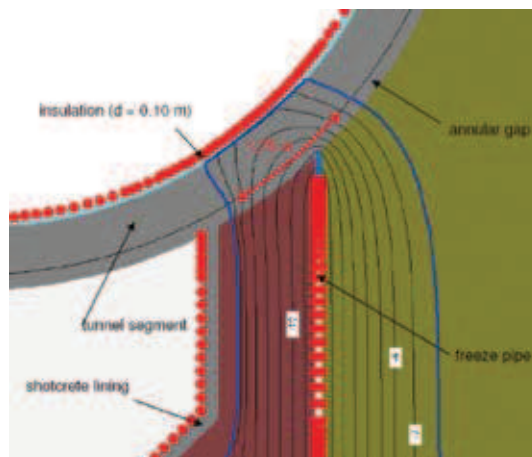
kuacyjnych, można uznać, że tunel w Gdańsku jest jednym z najbezpieczniejszych tuneli wykonanych metodą TBM na świecie.

Przejścia poprzeczne wykonane zostały przy wykorzystaniu technologii betonu natryskowego (NATM) jako obudowy wstępnej. Jako obudowa ostateczna wykonana została trwała konstrukcja żelbetowa o przekroju zbliżonym do kołowego o grubości min. 40 cm. Długość przejść poprzecznych wnosi około 15 m, a średnica wewnętrzna wynosi około 4 metrów. Można stwierdzić, że realizacja przejść poprzecznych na budowie tunelu pod Martwą Wisłą w Gdańsku była jednym z najtrudniejszych i najbardziej niebezpiecznych etapów budowy. Głębokość posadowienia przejść, warunki gruntowo-wodne oraz ograniczenia terenowe wymusiły na wykonawcy zachowanie szczególnych środków ostrożności i stosowanie wysokich wymogów jakościowych i organizacyjnych na wszystkich etapach realizacji.

Miejsca wykonywania przejść poprzecznych zostały zabezpieczone przez zamrożenie gruntu. Wykorzystano cechy fizyczne ośrodka gruntowego polegające na tym, że między ziarnami gruntu występują pory wypełnione wodą. Zamrażająca się w ośrodku gruntowym woda zachowuje się jak cement w mieszance betonowej, wiążąc ze sobą ziarna gruntu.



Rys. 1. Obliczeniowy rozkład temperatury w przejściu nr 2 – w przekroju poprzecznym przejścia po 74,5 dniach mrożenia



Rys. 2. Obliczeniowy rozkład temperatury w przejściu nr 2 – na styku z obudową rury T1 po 76,5 dniach mrożenia



Rys. 3. Stalowa rama wzmacniająca

Do zamrożenia ośrodka gruntowego zastosowano solankowe agregaty mrozeniowe, gdzie solanka (np. rozcieńczony roztwór chlorku sodu) jest schładzana do temperatury -35°C , po czym jest rozprowadzana rurami mrozeniowymi w układzie zamkniętym. Wewnątrz tunelu były ulokowane dwa agregaty mrozeniowe o mocy około 150 kW, jeden do mrożenia przejść XP1 i XP2, drugi do mrożenia przejść XP3 i XP4 oraz jeden agregat umieszczony na zewnątrz tunelu do mrożenia przejść XP5, XP6 i XP7 o mocy 250 kW. W celu odebrania ciepła z gruntu konieczne było umieszczenie w gruncie szeregu dwupłaszczowych rur mrozeniowych. Dla każdego przejścia osadzono w gruncie minimum 24 rury mrozeniowe. Wewnętrzna rura służyła do podawania schłodzonej solanki, która wracając pierścieniową zewnętrzną szczeliną między dwoma płaszcami rury odbierała ciepło z gruntu. Strefa zamrożonego gruntu wokół rury mrozeniowej rozszerzała się, aż do połączenia z podobnymi strefami wokół sąsiednich rur, tworząc stopniowo pełny płaszcz zamrożonego gruntu wokół przyszłego przejścia poprzecznego.

Początkowa temperatura gruntu wynosiła 13°C . W wyniku procesu mrożenia wymagane było uzyskanie średniej temperatury w bryle zamrożonego gruntu -10°C , a na granicy zewnętrznego obrysu wymaganej grubości bryły -2°C . Aby uzyskać wymaganą wytrzymałość i szczelność zamrożonego gruntu do otwarcia przejścia, minimalna grubość zamrożonego płaszcza musiała wynosić minimum 1,80 m. Założony w projekcie czas mrożenia do uzyskania wymaganej bryły zmrożonego gruntu wynosił 8 tygodni.

Mrożenie pierwszego przejścia XP1 rozpoczęto 24 maja 2014 r., a decyzję o możliwości otwarcia tubingów podjęto 15 sierpnia 2014 r., czyli dla bezpieczeństwa po 12 tygodniach. Następnie przez kolejne 2 dni wykonywany był tzw. test szczelności, tj. za pomocą zaworu umieszczonego wcześniej w tubungu spuszczone wodę uwięzioną w torusie z zmrożonego gruntu i obserwowano, czy woda nie napływa, czyli czy obudowa z zmrożonego gruntu jest szczelna. Po uzyskaniu opisanych warunków można było przystąpić do drążenia przejścia. Przed cięciem tubingów, które wykonano przy użyciu piły tarczowej do beto-



Rys. 4. Drążenie przejścia poprzecznego w zamrożonej bryle gruntu za pomocą robota wyburzeniowego BROKK 330

nu, zamontowano stalowe tymczasowe ramy, których zadaniem było przejęcie obciążenia z wycinanych tubingów na tubingi sąsiednie. Po wykonaniu pomocniczych ramp najazdowych z kruszywa, otwarciu tubingów przystąpiono do drążenia przejścia poprzecznego metodą górniczą w zamrożonym gruncie. Drążenie wykonywano etapami po około 1 metr. Po każdym etapie wykonywano obudowę wstępną z betonu natryskowego.

Do betonowania obudowy wstępnej użyto betonu natryskowego C20/25 szybko wiążącego o konsystencji S4 i uziarnieniu do 8 mm układanego w dwóch warstwach po 15 cm każda. Baton natryskowy był zbrojony siatkami z prętów $\phi 6$ w rozstawie 15 na 15. W miejscach zwiększonych nakręceń stosowano dodatkowe kratownice przestrzenne i dodatkowe pręty zbrojeniowe.

Po wykonaniu obudowy wstępnej można było wyłączyć agregaty mrozeniowe i przystąpić do wykonywania obudowy stałej, która składała się z konstrukcji uszczelniającej pomiędzy tubingami a przejściem poprzecznym, żelbetowego kołnierza usztywniającego, który docelowo przejmował odciążenia z przeciętych tubingów oraz części środkowej przejścia.

Do zbrojenia obudowy docelowej każdego przejścia poprzecznego użyto 30 ton stali BST 550 oraz około 220 m³ betonu mostowego klasy C35/45. Do szalowania kołnierzy usztywniających użyto szalunków systemowych, a do szalowania części środkowej szalunków indywidualnych składających się ze stalowej konstrukcji tukuwej i tarcicy grubości 72 mm.



Rys. 5. Schemat drążenia



Rys. 6. Szalunek obudowy docelowej przejścia poprzecznego

Po wykonaniu obudowy docelowej przystąpiono do demontażu instalacji mrozeniowej, likwidacji otworów mrozeniowych w tubingach, demontażu ram tymczasowych, likwidacji gruntowych ramp najazdowych. W trakcie drążenia poszczególnych przejść można było szczegółowo poznać, jak skomplikowana i zróżnicowana jest budowa geologiczna gruntu na stosunkowo niewielkim obszarze.

W pierwszym i ostatnim przejściu poprzecznym, tj. w XP1 i XP7 stwierdzono proste warunki gruntowe, z tym, że w przejściu XP1 w wyniku przedłużenia mrożenia gruntu (pierwsze z wykonywanych przejść poprzecznych) doszło do całkowitego zamrożenia strefy środkowej przejścia. W przejściu drugim XP2 natrafiono na warstwę otoczków w spągu przejścia. W trzecim przejściu problemem były głazy narzutowe o średnicy około 1 m i wadze około 2 ton, które znajdowały się w stropie przejścia. Z uwagi na to, że nie można było stosować młotów wibracyjnych w wyrobisku, głazy wymagały ręcznego odkuwania. W przejściu czwartym znajdowała się warstwa uwodnionego żwiru jednofrak-

cyjnego, co spowodowało wylanie się zawartości przejścia w trakcie drążenia urobku. W przejściu szóstym XP6 znajdowała się warstwa glin o grubości około 4 m oraz warstwa otoczków z lepiszczem gliniastym.

W związku ze skomplikowanymi warunkami gruntowymi występowało szereg zagrożeń podczas wykonywania przejść poprzecznych. W czasie drążenia mógł wystąpić obwał stropu wyrobiska, wypiętrzenie spągu wyrobiska, dopływ wód gruntowych i wód Martwej Wisły w wyniku zarysowania się lodu lub wzrost temperatury zamrożonego gruntu, obsunięcie niezamrożonych mas ziemnych z przodka wyrobiska (jak w przejściu XP4), odpadnięcia od stropu głazów, kamieni i okruchów zmarzniętego gruntu (co mogło wystąpić w przejściu XP3 w czasie dokuwania głazów narzutowych).

Poza tym występowały zagrożenia związane z wykonywaniem robót w ciasnym wyrobisku, takie jak pracujące maszyny podczas torkretowania.

Wszystkie te wymienione uwarunkowania i zagrożenia wymuszały szczególną ostrożność przy realizacji przejść poprzecznych, co miało decydujący wpływ na harmonogram robót, który jednak nie był priorytetem. Priorytetem było bezpieczeństwo prowadzonych prac, ponieważ konsekwencje jakiegokolwiek awarii byłyby trudne do określenia w zakresie dodatkowych kosztów i czasu realizacji. W harmonogramie pierwotnym wykonawca zakładał wykonywanie jednocześnie wszystkich przejść z 1-tygodniowym przesunięciem. Stąd wykonanie wszystkich siedmiu przejść planowano w czasie 129 dni i dodatkowo 56 dni na mrożenie, czyli razem 185 dni.

W rzeczywistości wykonanie przejść poprzecznych trwało ponad rok. Wykonawca mrożenia wszedł na plac budowy i rozpoczął prace przygotowawcze do mrożenia na przełomie stycznia i lutego 2014 r., a ostatni element ostatniego przejścia zabetonowano 25 lutego 2015 r. Tunel otwarto ponad rok po wykonaniu ostatniego przejścia poprzecznego 24 kwietnia 2016 r.

