

Rys. 2.
Przekroje poprzeczne w poszczególnych segmentach: a) tunel w wykopie otwartym – segment 17, b) wana żelbetowa – segment 70, c) wana żelbetowa – segment 75

- tunel, km 7+562,5 do km 7+675; długość ~ 112,5 m; wykonywany w wykopie otwartym,
 - wana żelbetowa: km 7+675 do km 8+309; długość ~ 635 m; wykonywana w wykopie otwartym.
- Rysunki 2a–2c prezentują typowe przekroje poprzeczne przez konkretne segmenty.

3. Warunki hydrogeologiczne

Wszystkie roboty realizowane są w trudnych warunkach hydrogeologicznych Deltę Wisły, charakteryzującą się naprzemiennym zaleganiem osadów morskich i aluwialnych, wykształconych w postaci piasków oraz miękkoplastycznych namulów i torfów do głębokości około 25,0 m. Projektowany tunel przebiega przez

warstwy gruntów na przemian sypkich i spoistych; warstwy te charakteryzują się słabą nośnością. Dodatkowym utrudnieniem jest wysoki poziom zwierciadła wody gruntowej (nawiercona we wszystkich otworach na całym dokumentowanym poziomie). Wody o zwierciadło swobodnym lub napiętym są powiązane ze sobą hydraulicznie; generalnie zwierciadło wody gruntowej stabilizuje się od 0,10 m do 0,65 m n.p.m.

4. Tunel drążony maszyną TBM wraz z szybem startowym

Maszyna TBM o masie około 2200 ton, ma długość 91 m i średnicę 12,56 m (fot. 2). Maszynę odebrano oficjalnie 13 września 2012 r. w firmie Herrenknecht



Fot. 2.
Maszyna TBM:
widok z przodu
na tarczę, transporto-
wany element
i etap składania

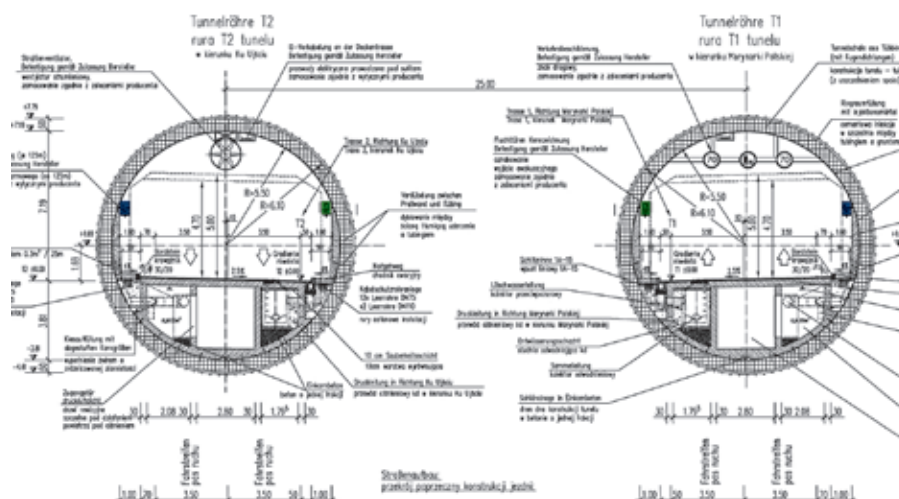
AG w Schwanau, Niemcy i sukcesywnie transportowano do Gdańska drogą zarówno lądową, rzeczną, jak i morską.

Obudowa tunelu wykonana zostanie z prefabrykowanych elementów żelbetowych – tubingów. Zgodnie z przyjętymi założeniami wybudowane zostaną dwie równoległe nitki tunelu dla każdego kierunku ruchu oddzielnie, z jezdniami dwupasmowymi. Maszyna zostanie rozebrana po wykonaniu pierwszej nitki tunelu, zdemontowana, przetransportowana i ponownie złożona w szybie startowym do drążenia drugiej nitki. Nitki tunelu zostaną połączone siedmioma przejściami awaryjnymi, rozstawionymi co 170 m. Rysunek 3 przedstawia przekroje poprzeczne tunelu, a rysunek 4 przekrój podłużny tunelu drążonego.

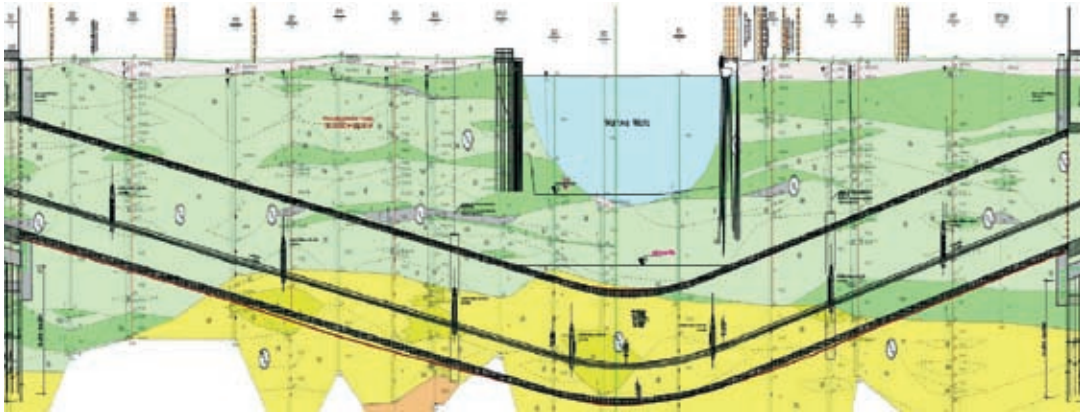
Tunel w swoim najniższym punkcie znajdzie się 34,25 m poniżej zwierciadła Martwej Wisły, a niwe-

leta drogi w najniższym punkcie osiągnie rzędna 29,44 m p.p.m.

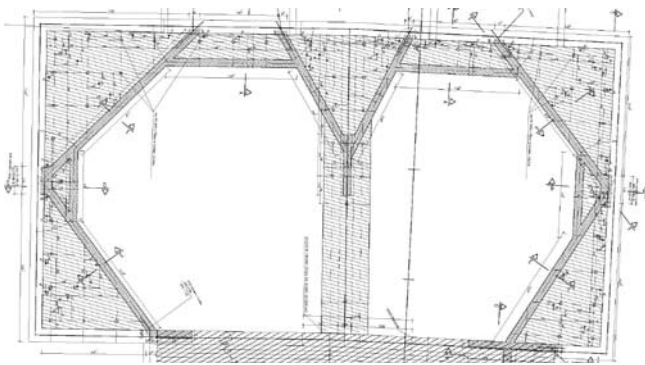
Rozpoczęcie robót związanych z wierceniem maszyną TBM jest przewidziane przez wykonawcę (konsorcjum firm na czele z hiszpańskim OHL – Obrascon Huarte Lain) w początkowych tygodniach 2013 roku. Aby to osiągnąć, należało w pierwszym etapie wykonać tunelowe segmenty 19–24 oraz segment 25 (szyb startowy). Za zabezpieczenie stateczności i szczelności głębokich wykopów dla powyższych segmentów, odpowiedzialna jest firma Keller Polska Sp. z o.o. Zakres jej robót obejmuje między innymi wykonanie ścian szczelinowych (grubości 1,20 m w zakresie segmentów 19–25), uszczelnienie dna (ekran Soilcrete z palami kotwiącymi) oraz wykonanie systemu rozparć. Prawdziwym wyzwaniem jest zabezpieczenie przy zastosowaniu specjalnej konstrukcji rozparć głębokich na około



Rys. 3.
Przekroje
poprzeczne przez
tunel drążony



Rys. 4.
Przebieg tunelu
drążonego



Rys. 5. Rzut z góry na żelbetowe rozparcie wykonane na rzędnej $-2,05$ m n.p.m.

21,0 m wykopów pod komorę startową. W trakcie instalacji maszyny TBM oraz drążenia tunelu, ściany komory startowej będą rozparte tylko stropem żelbetowym oraz płytą denną, tworząc konstrukcję ramową o rozpiętości prawie 16 m. Dokładne etapowanie wykonywania wykopu w szybie startowym można opisać przez kolejne zmiany schematu statycznego ścian szczelinowych w fazach budowlanych:

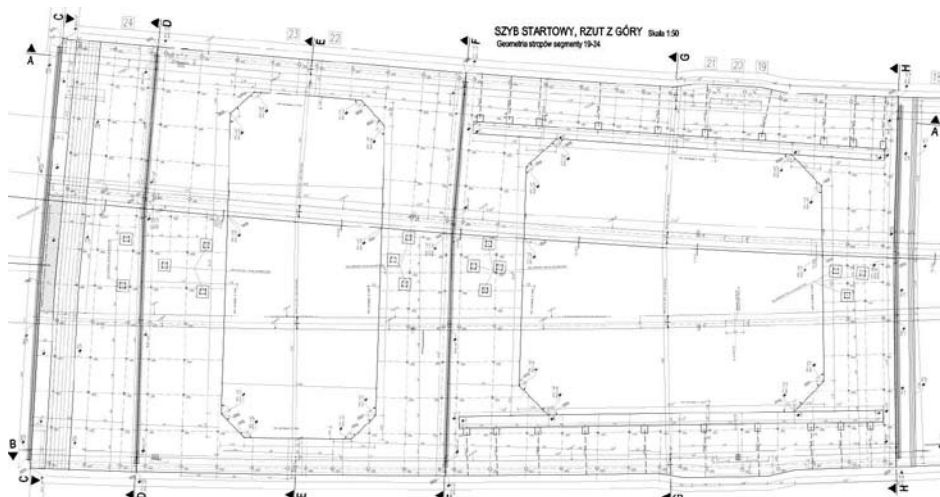
- Etap I: ściana wspornikowa (ekran Soilcrete na rzędnej od $-19,00$ m n.p.m. do $-22,50$ m n.p.m.), wykop do rzędnej $-2,50$ m n.p.m., obniżenie zwierciadła wody gruntowej w wykopie do poziomu $-3,00$ m n.p.m.,

- Etap II: ściana rozpierana tymczasowym stropem żelbetowym (rys. 5) na rzędnej $-2,05$ m n.p.m. oraz ekranem Soilcrete na rzędnej od $-19,00$ m n.p.m. do $-22,50$ m n.p.m., wykop do rzędnej $-11,00$ m n.p.m., obniżenie zwierciadła wody gruntowej w wykopie do poziomu $-11,50$ m n.p.m.;

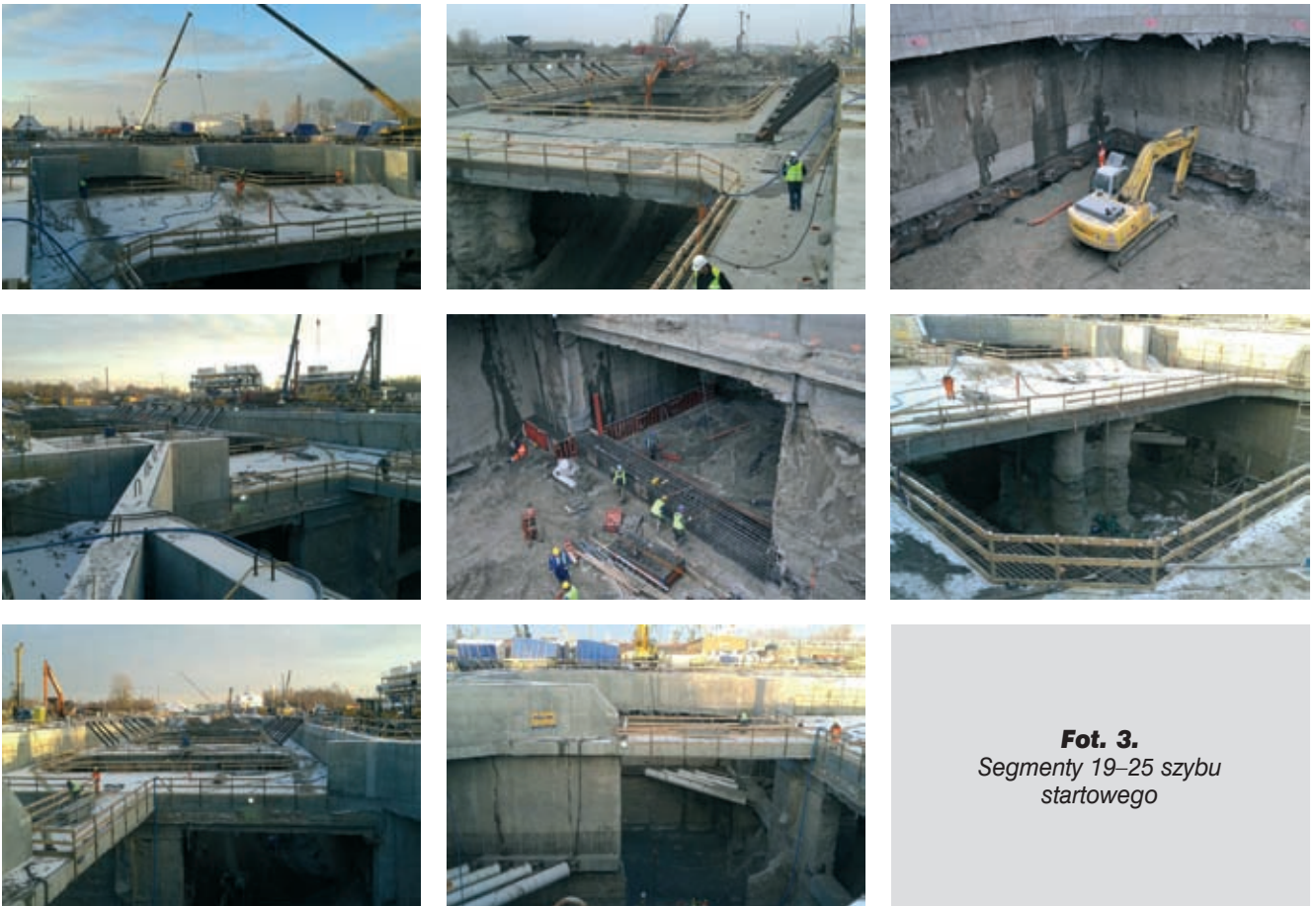
- Etap III: ściana rozpierana tymczasowym stropem żelbetowym na rzędnej $-2,05$ m n.p.m., tymczasowym rozparciem stalowym na rzędnej $-10,00$ m n.p.m. oraz ekranem Soilcrete na rzędnej od $-19,00$ m n.p.m. do $-22,50$ m n.p.m., wykop do rzędnej $-19,00$ m n.p.m., obniżenie zwierciadła wody gruntowej w wykopie do poziomu $-22,50$ m n.p.m.,

- Etap IV: ściana rozpierana tymczasowym stropem żelbetowym na rzędnej $-2,05$ m n.p.m., płytą fundamentową na rzędnej od $-17,26$ do $-18,07$ m n.p.m. oraz ekranem Soilcrete na rzędnej od $-19,00$ m n.p.m. do $-22,50$ m n.p.m. Następuje zwolnienie rozparcia stalowego na rzędnej $-10,00$ m n.p.m.

Obliczenia tych elementów zostały potwierdzone szczegółowymi analizami numerycznymi dokonanymi na przestrzennych modelach między innymi w programach: Plaxis, SOFISTiK, uwzględniających wszystkie możliwe etapy budowy i schematy obciążeń na ziemi, z wyznaczeniem dopuszczalnych miejsc pracy konkretnych dźwignic włącznie. W obrysie pola powierzchni tarczy przy przewierceniu maszyną TBM



Rys. 6.
Rzut z góry
na stropy
segmentów
19-24
z widocznymi
dwoma otworami



Fot. 3.
Segmenty 19–25 szybu
startowego

przez ścianę szczelinową, zamontowano specjalne zbrojenie z włókna szklanego. Docelowo w szybie startowym nr 25 (a także szybie odbiorowym nr 28) będą wykonane budynki techniczne z całym systemem ścian wewnętrznych, stropów, pomieszczeń itd. Segmenty 19–24 mają łączną długość ponad 65,0 m. Ich strop ma dwa duże otwory o wymiarach: mniejszy $\sim 13,0 \times 28,0$ m i większy $\sim 23,0 \times 25,0$ m (rys. 6). Stwarzają one możliwość opuszczania przez nie na płytę fundamentową kolejnych elementów maszyny TBM i ich złożenie oraz przygotowanie do drążenia. Specjalny system jezdny i konstrukcja podtrzymująco-zapierająca w segmentach 19–25, mają pozwolić maszynie na jej przemieszczanie się do przodu. Stropy z otworami stanowią rozparcie ścian szczelinowych segmentów 19–24 i są podpierane pośrednio 15 tymczasowymi słupami. W fazie docelowej otwory zostaną wypełnione betonem. Dla ich połączenia z istniejącymi stropami wypuszczono odpowiednie pręty. Powyżej przedstawiono zdjęcia z budowy segmentów 19–25 zrobione do połowy grudnia 2012 roku w różnych etapach wykonywania wykopów (fot. 3).

5. Węzeł Marynarki Polskiej

Skrzyżowanie Trasy Słowackiego z ul. Marynarki Polskiej stanowi węzeł Marynarki Polskiej (rys. 7). Składa się on z ronda o średnicy 130 m.



Rys. 7. Węzeł Marynarki Polskiej

W celu jego realizacji konieczna jest budowa siedmiu obiektów inżynierskich, w tym dwóch tuneli pieszo-rowerowych w ciągu ul. Marynarki Polskiej nad Trasą Słowackiego w okolicach segmentów nr 55 i 62 (fot. 4). W przekroju poprzecznym są to wanny otwarte.

Na rondzie zaprojektowano także dwa wiadukty drogowe (segmenty 56 i 61), dwa wiadukty techniczne dla instalacji położonych wzdłuż ulicy Marynarki Polskiej dla sieci podziemnej (segmenty 57 i 59) i wiadukt tramwajowy (segment 58). Wykonawstwo przykładowego stropu segmentu 56 pokazano na fotografii 5.

6. Inne odcinki obiektu inżynierskiego

W połowie grudnia realizowane były także między innymi segmenty 1–8, wanny płytke, otwarte, z których segmenty 1–4 są posadowione na mikropalach niekotwiących płytę fundamentową, a segmenty 5–8 na mikropalach kotwiących płytę fundamentową (fot. 6). Generalnie wykonanie mikropali kotwiących występuje na około 750,0 m odcinka tunelu znajdującego się na zachodnim brzegu oraz 340,0 m odcinka tunelu na wschodnim brzegu rzeki.

Innymi przykładami gotowych stropów obiektów jest segment 13 – tunel żelbetowy dla drogi głównej umożliwiający bezkolizyjne przeprowadzenie toru PKP nr 305 nad trasą główną, a także segment 14 – tunel żelbetowy dla drogi głównej umożliwiający bezkolizyjne przeprowadzenie trasy głównej pod projektowanym terenem. Schemat statyczny tych obiektów to ramy dwuprzęsłowe (fot. 7).

7. Podsumowanie

Przedstawiony artykuł, dotyczący projektu przeprawy tunelowej pod Martwą Wisłą, wskazuje na szeroki zakres podejmowanego przedsięwzięcia. Budowa tunelu w trudnych warunkach geotechnicznych metodą drą-



Fot. 6. Segmenty 1–8 rozparte stalowymi rurami



Fot. 7. Widok z boku na gotowy strop segmentu 13



Fot. 4. Rozparcie stalowe grodziec zabezpieczających wykop tunelu dla pieszych w okolicy segmentu 55



Fot. 5. Wykonywany strop segmentu 56

żenia maszyną TBM, tak pod korytem Martwej Wisły, jak i w pobliżu istniejących i czynnych elementów infrastruktury drogowej, portowej i przemysłowej, stanowi śmiało i unikatowe wyzwanie z punktu widzenia organizacyjnego i inżynierskiego. Jest to pierwsza drogowa tunelowa przeprawa podwodna w Polsce, realizowana metodą drążenia przy użyciu maszyny TBM o tak dużej średnicy tarczy. Rozmach tego przedsięwzięcia jest znaczący także w skali międzynarodowej.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Projekt Wykonawczy „Połączenie Portu Lotniczego z Portem Morskim Gdańsk – Trasa Słowackiego” Zadanie IV. Odcinek Węzeł Marynarki Polskiej – Węzeł Ku Ujściu. TUNEL POD MARTWĄ WISŁĄ. EUROPROJEKT GDAŃSK Sp. z o.o./SSF Ingenieure GmbH. EUROPROJEKT GDAŃSK Sp. z o.o./SSF Ingenieure GmbH. Gdańsk, styczeń 2011
- [2] Projekty technologiczno-wykonawcze. Keller, 2012
- [3] Bierawski L., Tunel drogowy pod Martwą Wisłą w Gdańsku. Geoinżynieria – drogi mosty tunele. Lipiec – sierpień, 4/2010
- [4] Buca R., Gdańsk. Tunel pod Martwą Wisłą. Biuletyn Keller Polska sp. z o.o. Nr 3, sierpień 2012
- [5] Mazurkiewicz B. Przeprawa tunelowa pod Martwą Wisłą w Gdańsku. Inżynieria Morska i Geotechnika. Nr 2/2010
- [6] Mazurkiewicz B., Analiza potencjalnych rozwiązań budowlanych tunelu drogowego pod Martwą Wisłą i podstawy wyboru realizowanej koncepcji konstrukcyjnej
- [7] Sumara A., Gdańskie trasy komunikacyjne wraz z tunelem pod Martwą Wisłą. Geoinżynieria – drogi mosty tunele. Wrzesień – październik, 5/2012
- [8] www.gik.gda.pl