

Doświadczenia z realizacji głębokich wykopów na budowie dworca Nowa Łódź Fabryczna

Dworzec kolejowy, ale dlaczego podziemny?

Obecnie uznaje się, że kolej ma być alternatywą wewnątrz-krajowych połączeń lotniczych oraz samochodowego transportu osobowego. Wynika to głównie z konkurencyjnego kosztu przejazdu, ale również czasu dotarcia do zamierzonego celu podróży. Jasne jest, że lotniska są sytuowane poza granicami miast, a dworce kolejowe często znajdują się w centrach miast. Z tego powodu – mimo że przelot porównywalnego dystansu jest znacznie krótszy niż przejazd pociągiem – rzeczywisty czas dotarcia do celu w centrum miasta już nie jest tak oczywisty. Taka sytuacja otwiera przed transportem kolejowym nową szansę na modernizację i rozwój.

Dzięki tak zarysowanej perspektywie w ostatnich latach kolej musiała na nowo sformułować rolę, jaką ma pełnić współczesny dworzec kolejowy. Dąży się do tego, aby wybór transportu kolejowego nie był tylko tańszą alternatywą, ale wyborem wynikającym z jego ewidentnych atutów. Konkurując z innymi środkami transportu, takimi jak transport lotniczy czy samochodowy, musi on zapewnić krótszy czas przejazdu zapewniony przy takim samym komforcie obsługi i podróżowania. Stąd bierze się szereg zmian w definicji współczesnego dworca kolejowego. Można powiedzieć, że obecnie dworzec musi być po pierwsze multimodalny, tzn. umożliwiać dostęp do możliwie największej liczby środków transportu oraz komunikacji miejskiej w jednym miejscu. Dodatkowo musi zapewnić standard obsługi analogiczny jak na lotnisku. Dlatego dworce kolejowe zaczynają coraz powszechniej przypominać galerie handlowe. Czasami odnosi się wrażenie, że się nimi stają, a rola, jaką pełnią na rzecz transportu kolejowego, jest jakby przy okazji.

Przestrzeń potrzebna do zapewnienia dworcowi funkcji podstawowej zasadniczo się nie zmieniła, mimo rozwoju techniki, natomiast dodatkowych funkcji znacząco przybyło. Oczywiście jest więc, że rozwój dworców musi się wiązać ze znacznym zwiększeniem ich kubatury. Problem polega na tym, że dworcowi towarzyszy cała infrastruktura związana z transportem kolejowym. Trafne i obrazujące skalę tego problemu jest spotkane w literaturze określenie: „rzeka torowisk rozcinająca miasto”. Przy obecnym poziomie rozwoju techniki oraz warunkach ekonomicznych właściwie jednoznacznie kierunek rozwoju infrastruktury dworca określają słowa: „pod ziemię”.

Dworzec Nowa Łódź Fabryczna

Rozwój kolei dużych prędkości w Europie i na świecie był motywacją do rozpoczęcia Polskiego Programu Rozwoju Kolei. Częścią tego programu jest budowa dworca Nowa Łódź Fabryczna. Zgodnie z tym planem dotychczas końcowy i przeznaczony do obsługi połączeń lokalnych dworzec Łódź Fabryczna ma się stać dworcem głównym miasta Łodzi. Ma on wyznaczać główną oś oraz centralny punkt infrastruktury kolejowej linii łączącej Poznań z Warszawą. W planach tych mieści się również usprawnienie lokalnej sieci połączeń kolejowych dla miasta Łodzi. Przed nową inwestycją postawiono cel: stworzenie nowoczesnego i rozwojowego węzła multimodalnego.

Oznacza to w niedalekiej perspektywie konieczność wybudowania kilku tuneli kolejowych pod miastem na kierunku zachodnim. Trzeba nadmienić, że założenia dotyczące dworca Nowej Łodzi Fabrycznej, podobnie jak w przypadku dworców w Berlinie i Wiedniu, wskazują taki sam i obecnie podstawowy możliwy kierunek rozwoju, tj. „pod ziemię”.

Opracowana koncepcja dworca Nowa Łódź Fabryczna zakłada wybudowanie 2250 m linii kolejowej umieszczonej w tunelu kolejowym długości 1700 m oraz głównego budynku stacji długości ponad 600 m. Część infrastruktury podziemnej określona w projekcie jako „stacja” obejmuje obszar 65 000 m² (6,5 ha). Pod tym względem to przedsięwzięcie przekracza swoją skalą większość współczesnych realizacji infrastrukturalnych w Polsce. Jest to obiekt wyjątkowy pod względem wielkości, ale także stopnia skomplikowania zagadnień inżynierskich, jakie trzeba było rozwiązać, aby to przedsięwzięcie zrealizować. W wielu dziedzinach inwestycja ta wyznacza nowe standardy projektowania, planowania i realizacji tego rodzaju inwestycji. Aby jednak można było rozpocząć omawianą inwestycję, należało najpierw wykonać wiele różnego rodzaju badań, analiz i symulacji. Pierwszymi sprawdzeniami koniecznymi do rozpoczęcia planowania inwestycji były oczywiście badania podłoża gruntowego.

Rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych

Przygotowanie rozpoznania geologicznego i hydrogeologicznego pod realizację inwestycji wymagało, ze względu na jej skalę i stopień trudności, możliwie najszerzego spojrzenia na zakres dostępnych danych. Sięgnięto więc do zasobów Państwowego Instytutu Geologicznego oraz dostępnych badań archiwalnych. Bardzo pomocne i dobrze dopełniające obraz okazały się karty otworów studziennych wykonane dla kolei państwowych w okresie, gdy dominowała jeszcze trakcja parowa. Wymagała ona dużych ilości wody i stąd właśnie szerokie rozpoznanie wykonane w celu jej pozyskania. Materiał ten okazał się wyjątkowo rzetelnie opracowany. Odtworzono również szereg istniejących studni głębinowych, aby wykorzystać je jako piezometry do pomiaru poziomu lustra wody gruntowej. Dopiero wszystkie te materiały oraz wiele innych elementów pozwoliły prawidłowo zaplanować i zrealizować siatkę wierceń i sondowań oraz program badań laboratoryjnych na potrzeby rozpoznania podłoża gruntowego. Większość tych prac została zrealizowana przez wykonawcę, a uszczegółowienia tej bazy danych trwają nadal.

Trzeba nadmienić, że Łódź jako jedno z niewielu dużych miast jest usytuowana na wododziale pierwszego rzędu pomiędzy dopływami Wisły i Odry. Jak bardzo komplikuje to sytuację można ocenić dopiero wtedy, gdy próbuje się ustalić właściwy kierunek spływu wód gruntowych w obszarze realizowanej inwestycji.

Dokładne rozpoznanie utrudnia fakt, że większość cieków wodnych na terenie miasta została skanalizowana i ukryta pod infrastrukturą ulic. Nie oznacza to jednak, że przestały one istnieć i kształtować gospodarkę wód gruntowych w obszarze inwestycji.

Aby dokonać optymalnego wyboru metody realizacyjnej, na terenie inwestycji wykonano kilkadziesiąt różnego rodzaju wierceń i sondowań gruntu. Do momentu podjęcia decyzji dysponowano ponad 120 punktami z wykonanym rozpoznaniem gruntowym. Najgłębsze otwory miały 70 m poniżej poziomu terenu. Efektem było stworzenie trójwymiarowego modelu podłoża, który umożliwił wykonanie przybliżonych interpolacji przekroju warstw, a tym samym wyznaczenie przekrojów trudnych do określenia tradycyjnymi metodami.

Na podstawie dokładnego rozpoznania podłoża stwierdzono, że poziom wód gruntowych znajduje się 10 m poniżej terenu. Poziom ten lokował się w silnie przepuszczalnej warstwie piasków i miał tendencję do wahań. Wody gruntowe mają w obszarze inwestycji charakter płynący i są zasilane z kierunku północno-wschodniego. Wspomniane wcześniej głębokie wiercenia nie ujawniły również żadnej ciągłej warstwy gruntów nieprzepuszczalnych, która dawałaby możliwość odcięcia dopływu wód gruntowych do dna wykopu. Należy zaznaczyć, że badania na przedmiotowym obszarze nie wykryły żadnych przewarstwień gruntów organicznych lub innych słabonośnych, często występujących w tym rejonie.

We wstępnej fazie przygotowania realizacji dworca rozważano kilka sposobów realizacji wykopu głębokiego. Od początku jednak zakładano zastosowanie obudowy w postaci ścian szczelinowych. Przyjęty sposób realizacji kontraktu w formule „projektuj i buduj” pozwalał na pewną swobodę wykonawcy w zakresie wyboru metod jego realizacji. W związku z tym oraz ze względu na głęboko występujące zwierciadło wód gruntowych możliwe było niezwłocznie (po uzyskaniu decyzji administracyjnych) rozpoczęcie wykopu do głębokości około 9 m (rys. 1).

Wśród analizowanych metod realizacji wykopu w strefie poniżej lustra wody gruntowej była rozważana metoda podobna do zastosowanej na budowie dworca głównego w Berlinie. W końcowej fazie procesu decyzyjnego została ona jednak wyeliminowana i do dalszych analiz pozostały tylko dwie metody:

- z wykopem otwartym i ścianami szczelinowymi kotwionymi w gruncie na zewnątrz wykopu,
- z wykopem podstropowym i ścianami rozpartymi stropem pośrednim.

W przypadku metody podstropowej możliwe było jednocześnie budowanie „w górę i w dół”. Konieczne było jednak podparcie płyty rozpierającej (tzw. płyty pośredniej) na 220 baretach oraz pełnej koronie ściany szczelinowej (rys. 2 i 3). Metoda „up and down” w tym wypadku różniła się znacznie od tej metody stosowanej podczas budowy wielu obiektów posadowionych głęboko w centrach miast. Różnica tkwiła w skali przedsięwzięcia. Największy, ale nie jedyny otwór do wywozu urobku miał wymiary 42×122 m. Możliwe było wykonanie pełnej rampy do wjazdu pojazdów czteroosiowych oraz realizacja wykopu standardowym pełnowymiarowym sprzętem. Utrzymanie wydobycia urobku wynoszącego średnio około 6000 m³ na dobę było kluczowe ze względu na realizację założonego harmonogramu. Chwilami wartość ta osiągała 10 000 m³. Taka wydajność była konieczna ze względu na to, że do wydobycia tylko w obszarze stacji było blisko 1,5 mln m³ gruntu.

Kolejną barierą do pokonania było zapewnienie suchego dna wykopu poniżej poziomu wody gruntowej. W tym przypadku rozważano trzy możliwe rozwiązania:

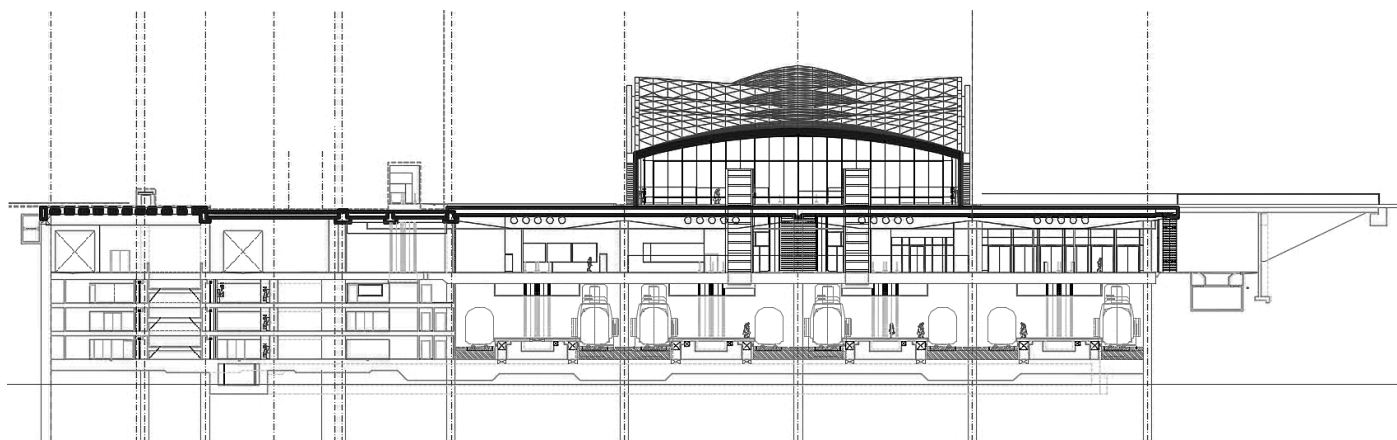
- realizacja przestony przeciwiłtracyjnej metodą niskociśnieniowej iniekcji doszczelniającej,



Rys. 1. Realizacja wykopu powyżej lustra wody gruntowej



Rys. 2. Realizacja płyty pośredniej. Widok z wnętrza wykopu



Rys. 3. Przekrój poprzeczny przez stację. Widoczna płyta pośrednia rozpierająca ściany szczelinowe

- realizacja przestony przeciwnofiltracyjnej metodą iniekcji wysokociśnieniowej typu jet-grouting,
- obniżenie zwierciadła wody gruntowej za pomocą systemu pomp odwadniających.

Należy zaznaczyć, że w odniesieniu do zastosowania ostatniej z tych metod nie było przeszkód formalnych. Decyzja lokalizacyjna oraz późniejsza decyzja środowiskowa zakładały właśnie obniżanie poziomu lustra wody. Głównym ryzykiem związanym z zastosowaniem odwodnienia wykopu za pomocą studni było:

- oszacowanie osiadań odwadnianego gruntu,
- oszacowanie ilości wody koniecznej do odprowadzenia z wykopu,
- znalezienie możliwości odbioru wody.

Szczegółowa analiza materiałów archiwalnych, wraz z wykonaniem odpowiednich badań terenowych i laboratoryjnych, pozwoliła określić historyczny poziom wód gruntowych w okresie rozkwitu tzw. Łodzi przemysłowej. Dominujący na terenie miasta przemysł lekki potrzebował do realizacji procesów produkcyjnych dużych ilości wody. W związku z tym, że w mieście nie ma dużej rzeki, eksploatowano intensywnie zasoby wód gruntowych. Doprowadziło to do obniżenia ich poziomu o ponad 8 m, tj. do poziomu –18 m. Mając pewność, że w gruncie nastąpiła już konsolidacja odpowiadająca takiemu obniżeniu zwierciadła wód, można było z optymizmem patrzeć na ponowne zastosowanie tej metody. Aby ostatecznie oszacować ryzyko wystąpienia osiadań gruntu w obszarze propagacji lejów depresji, przeprowadzono szereg analiz, korzystając z wiedzy kilku niezależnych zespołów eksperckich. Wykonano odpowiednie modelowania z uwzględnieniem bilansu zasobów wód gruntowych. Ponieważ prace zespołów były prowadzone niezależnie, dopiero duża zbieżność wyników wykonanych analiz cyfrowych, potwierdzona wynikami badania wielkoskalowego pompowania, pozwoliła zdecydować o zastosowaniu właśnie tej metody.

W celu zabezpieczenia się przed ewentualnymi skutkami nagłego obniżenia poziomu wód gruntowych opracowano plan pompowania skorelowany z tempem obniżania się lustra wody. Założono, że poziom wody nie musi i wręcz nie powinien obniżać się szybciej niż postęp prac przy wydobywaniu urobku spod płyty stropowej. Tak narzucone naturalne tempo prac odwodnieniowych pozwoliło w pełni kontrolować stan propagacji lejów depresji oraz obserwować zachowanie otaczającego gruntu. Mając odpowiednio dużo czasu, można było przeprowadzić ponowną kalibrację wybranego modelu analitycznego metodą analizy odwrotnej, doprowadzając do oczekiwanej zgodności z faktycznymi wynikami pomierzonymi w piezometrach.

Uzyskane z modelu wyniki pozwoliły właściwie zaprojektować system odprowadzenia wody z wykopu. W tym celu zaprojektowano i wykonano w samym tylko obszarze stacji baterię przeszło 40 studni odwodnieniowych. Połączone specjalnie do tego zbudowanym systemem rurociągów, skutecznie obniżyły poziom wód gruntowych, umożliwiając bezproblemową i bezpieczną realizację płyty dennej (rys. 4, 5).

Zgodna z przewidywaniami okazała się również odpowiedź ośrodka gruntowego na taką skalę pompowania. Nie wykazał on żadnych istotnych osiadań ani innych przemieszczeń zagrażających bezpieczeństwu lub choćby estetyce budynków znajdujących się w potencjalnej strefie oddziaływania wykopu.

Realizacja wykopu pod wiaduktem w ciągu ul. Kopcińskiego

Do realizacji tunelu kolejowego, z tych samych względów co w przypadku stacji, przyjęto metodę podstropową. Było to uzasadnione dodatkowo tym, że tunel miał zostać zrealizowany w śladzie dawnego torowiska, gdzie teren był niezabudowany, a w jego pobliżu nie znajdowały się właściwie żadne obiekty budowlane. Jedynym obiektem stanowiącym utrudnienie reali-



Rys. 4. Elementy systemu odprowadzenia wody z wykopu



Rys. 5. Stacja pomp oraz przyłącze rurociągów tłocznych średnicy 600 i 1000 mm odprowadzających wodę poza teren budowy do systemu cieków wodnych

zacyjne był wiadukt drogowy i tramwajowy w ciągu ul. Kopcińskiego. Ulica ta, będąca jedną z głównych arterii komunikacyjnych Łodzi na kierunku północ – południe, stanowi (do momentu ukończenia realizacji obwodnicy wschodniej miasta) główną oś komunikacyjną na tym kierunku. Przyjęta metoda realizacji tunelu musiała ograniczyć lub wykluczyć konieczność zamykania ruchu na tym wiadukcie, a jednocześnie umożliwić bezpieczną realizację tunelu kolejowego poniżej poziomu jego posadowienia. W związku z realizacją tunelu pod problematycznym obiektem opracowano wielofazowy projekt zakładający tymczasowe podparcie płyty wiaduktu na żelbetowych ustrojach tarczowych. Wspomniane tarcze miały się opierać na fragmentach ścian szczelinowych stanowiących docelową obudowę tunelu. Problem z realizacją ścian szczelinowych wynikał głównie z roboczej wysokości maszyny drążącej, jaka mogła zmieścić się pod wiaduktem (rys. 6).



Tak zrealizowane ściany stanowiły podparcie w pierwszej fazie realizacji

←

Rys. 6. Wykonywanie tymczasowych tarcz żelbetowych

plyty górnej. Na wykonanych fragmentach płyty wykonano tymczasowe tarcze żelbetowe, na których w dalszej fazie oparto wiadukt. Pozwoliło to na bezpieczną rozbiórkę istniejących fundamentów wiaduktu, dokończenie płyty stropowej oraz scalenie obiektów ze sobą. W ten sposób płyta górna tunelu stała się płytą fundamentową istniejącego wiaduktu. Przyjęta metoda realizacji umożliwiła utrzymanie ruchu na wiadukcie przez cały okres realizacji zadania. Prace przy wykopie podstropowym tunelu przebiegały na tym fragmencie podobnie jak na jego pozostałej części (rys. 7 i 8).



Rys. 7. Wykonywanie tymczasowych tarcz żelbetowych. Widoczna struktura pierwotnych fundamentów wiaduktu



Rys. 8. Widok tymczasowych tarcz żelbetowych opartych na fragmentach płyty górnej tunelu kolejowego

Kontrola robót

Kluczowym i nieodzownym elementem realizacji była ciągła kontrola (obserwacja) przyjętych założeń projektowych. Dlatego na obszarze całego zamierzenia prowadzono geodezyjne pomiary parametrów geometrycznych obiektów istniejących znajdujących się w oszacowanej strefie oddziaływania, obiektów realizowanych, pomiar naprężeń w elementach konstrukcji głównej oraz kontrolę poziomu wód gruntowych. W celu zwiększenia

częstości pomiarów wykorzystywano automatyczne urządzenia pomiarowe. Wyniki tych pomiarów były konfrontowane z wynikami pozyskanymi podczas klasycznych pomiarów geodezyjnych oraz wyrównawczych sprawdzeń pomiarów przy udziale kadry obsługującej system. Oczywiście jest, że przy takiej skali pomiarów dane musiały być w sposób systematyczny gromadzone i analizowane za pomocą odpowiedniego systemu baz danych. Największą korzyścią takiego podejścia był nieograniczony dostęp do danych pomiarowych oraz możliwość natychmiastowego reagowania na powstałe ewentualne niekorzystne zjawiska. Tak opracowany system był częścią działań mających na celu ograniczenie ryzyka podczas realizacji budowy. Zastosowany system ma działać do oddania zamawiającemu obiektu do użytkowania. W zależności od decyzji zamawiającego istnieje możliwość adaptowania części tego systemu na potrzeby kontroli obiektu w czasie jego eksploatacji.

Podsumowanie

Na sukces realizacji każdego zadania składa się sprawność w wykrywaniu i reagowaniu na czynniki nieprzewidziane w projekcie i niezależne od wykonawcy. Nasuwa się również myśl, że w tak złożonych przedsięwzięciach każda decyzja pociąga za sobą szereg konsekwencji, czasem trudnych do przewidzenia. W związku z tym należy bezwzględnie przestrzegać procedury podejmowania kluczowych decyzji poprzez szerokie rozpoznanie, diagnozę oraz kalkulację ryzyka związanego z proponowanym rozwiązaniem problemu. Nawet wtedy, gdy podjęta decyzja została uznana za właściwą, należy zapewnić podczas realizacji rzetelną kontrolę jej wykonania. Tylko dzięki konsekwencji w pozyskiwaniu danych i metodycznej ich analizie można ocenić skutki podjętych decyzji i wyciągnąć właściwe wnioski. Często jednak na budowach brakuje czasu na prawidłowe dokumentowanie całego procesu realizacji. Jest jednak pewne, że w perspektywie realizacji zadania tak złożonego jak budowa Nowej Łodzi Fabrycznej przynosi to pożądane efekty.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Opinia techniczna nt. możliwości budowy tunelu kolejowego linii średnicowej nr 17 pod istniejącymi wiaduktami w ciągu ul. Kopcińskiego w Łodzi. Pracownia Projektowa MAGAT Jerzy Wojdon, Wrocław, maj 2013 r.
- [2] Projekt budowlany tunelu wielobranżowego. FBT Pracownia Architektury i Urbanistyki/MDR-projekt, Warszawa, lipiec 2014 r.
- [3] Projekt budowlany stacji kolejowej. FBT Pracownia Architektury i Urbanistyki, Warszawa/Łódź, 2014.
- [4] Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla potrzeb realizacji Stacji Nowa Łódź Fabryczna. PGI Janiszewski, 2012.
- [5] Projekt wykonawczy wzmocnienia wiaduktów w ciągu ul. Kopcińskiego. MDR-projekt, Warszawa, maj 2014 r.
- [6] *Siemińska-Lewandowska A.*: Głębokie wykopy. WKŁ, Warszawa 2012.
- [7] PN-EN 1997-1:2008 Projektowanie geotechniczne – Zasady ogólne.
- [8] *Krzywkowski P., Wójtowicz P.*: Redukcja napływu wody gruntowej przez dno wykopu za pomocą iniekcji strumieniowej na przykładzie budowy S8 w Warszawie. Materiały konferencyjne z sympozjum SGGW „Problemy geotechniczne posadowienia obiektów w rejonie Warszawy”, Warszawa 2012.
- [9] *Wysokiński L., Kotlicki W., Godlewski T.*: Projektowanie geotechniczne według Eurokodu 7. Wydawnictwo ITB, Warszawa 2011.
- [10] *Wilun Z.*: Zarys geotechniki. WKŁ, Warszawa 2010.