

# SIŁA INŻYNIERII

w budowie podziemnych tuneli kolejowych  
w gęstej zabudowie miejskiej

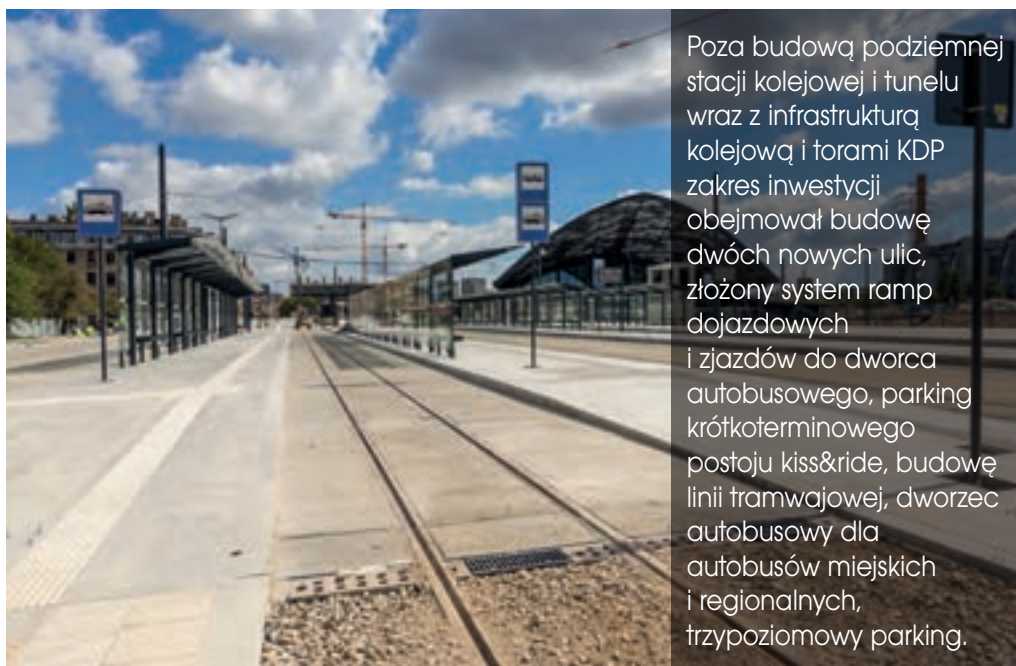
Fot. NLF Torpol+Astaldi s.c.

W realizacji skomplikowanych pod względem technologicznym projektów, takich jak budowa podziemnych tuneli kolejowych w gęstej zabudowie miejskiej, trzeba wykazać się nie lada inżynierskim doświadczeniem, wiedzą i kompetencjami. Do takich przedsięwzięć należą dwie zbieżne ideowo inwestycje: w Turynie i w Łodzi. Wyjątkowo złożone i wymagające zastosowania rozwiązań inżynieryjnych najwyższej klasy.

Pierwsza z inwestycji dotyczy zrealizowanego w Łodzi przez konsorcjum firm Torpol (Poznań), Astaldi S.p.A., PBDiM Mińsk Maz. i Intercor na zlecenie PKP PLK, Miasta Łódź i PKP S.A. zadania Dworzec Łódź Fabryczna. Złożony technologicznie projekt obejmujący dwunawowy tunel o długości blisko 1700 m stanowi połączenie podziemnej stacji multimodalnego węzła przesiadkowego Łódź Fabryczna ze stacją Łódź Widzew i istniejącą siecią kolejową. Decyzja o realizacji tego ambitnego przedsięwzięcia wiązała się z planowaną budową pierwszej w Polsce linii Kolei Dużych Prędkości (Warszawa, Łódź, Wrocław-Poznań).

Poza budową podziemnej stacji kolejowej (-16,5 m), tunelu wraz z infrastrukturą kolejową i torami KDP zakres inwestycji obejmował budo-

Fot. NLF Torpol+Astaldi s.c.



Poza budową podziemnej stacji kolejowej i tunelu wraz z infrastrukturą kolejową i torami KDP zakres inwestycji obejmował budowę dwóch nowych ulic, złożony system ramp dojazdowych i zjazdów do dworca autobusowego, parking krótkoterminowego postoju kiss&ride, budowę linii tramwajowej, dworzec autobusowy dla autobusów miejskich i regionalnych, trzypoziomowy parking.

wę dwóch nowych ulic, złożony system ramp dojazdowych i zjazdów do dworca autobusowego, parking krótkoterminowego postoju kiss&ride, budowę linii tramwajowej, dworzec autobusowy dla autobusów miejskich i regionalnych (24 stanowiska), trzypoziomowy parking na 960 miejsc postojowych. Dodatkowo należało przebudować istniejące ulice i linie tramwajowe oraz układ przystanków.

W Turynie zrealizowano skomplikowany projekt, na który złożyło się wybudowanie 13 km tunelu z siedmioma stacjami. Wykonawcą była firma Astaldi S.p.A. Tunel przebiegał pod rzeką Dora, a także pod placem Statuto, pod którym z kolei znajdują się tunel drogowy i tunel linii metra. Można sobie zatem wyobrazić, jak bardzo zaawansowane rozwiązania musiała wdrożyć inżynierowie w trakcie realizacji tego przedsięwzięcia.

### Wylimitować podział miasta

Tak szeroko zakrojone inwestycje w centrum dużych miast (Łódź – ponad 700 tys. mieszkańców, Turyn – blisko 900 tys.) musiały mieć solidne uzasadnienie. Zarówno w Turynie, jak i w Łodzi realizacje były związane z przeniesieniem infrastruktury kolejowej pod ziemię, aby wylimitować z centrum miasta ten rodzaj zabudowy, który dzieli przestrzeń, a przez to stanowi barierę dla mieszkańców, dla organizacji komunikacji miejskiej i dla sprawnego funkcjonowania miasta w ogóle. Naziemna infrastruktura kolejowa zwykle ogranicza też rozwój inwestycji, jest przyczyną degradacji krajobrazu miejskiego, często wiąże się z uciążliwościami innego rodzaju, np. z podniesionym ryzykiem kolizji kolejowo-drogowych i wypadków z udziałem pieszych.

Podobnie jak w Łodzi, wśród argumentów za przeniesieniem turyńskiej infrastruktury kolejowej do tunelu była także chęć zagospodarowania opuszczonych i opustoszałych terenów poprzemysłowych. Dodatkowym argumentem było odzyskanie cennych terenów pod kolejne inwestycje, zgodnie z ambitnymi planami architektonicznymi.

I w Turynie, i w Łodzi idea wybudowania tuneli powstała w efekcie konsultacji ze znanymi architektami. Łódzki projekt to element Nowego Centrum Łodzi (NCL), pro-

gramu modernizacji ponad 100 ha poprzemysłowego, zdegradowanego terenu w centrum miasta. Pierwszym pomysłodawcą NCL był urbanista luksemburski, Rob Krier. W konsultacjach na temat inwestycji w Turynie uczestniczył znany architekt, Cognardi, i to właśnie on zasugerował przeniesienie linii kolejowej pod ziemię.

### Łódź

Projekt był potężnym wyzwaniem nie tylko ze względu na szeroki zakres inwestycji. Na całym obszarze realizacji znajdowały się wody gruntowe. Na przełomie 2011/2012 wykonawca przeprowadził szczegółowe badania geologiczne, które wykazały różnice stabilizacji zmian zwierciadła wód podziemnych w rejonie budowy w stosunku do danych przekazanych przez Zamawiających w dokumentacji przetargowej. Informacje zawarte w Programie Funkcjonalno-Użytkowym mówiły, że główne zwierciadło swobodne wody stabilizowało się na rzędnej około 207–208 m n.p.m. W piezometrach zainstalowanych wzdłuż planowanego tunelu zaobserwowano, że poziom wody czterorzędowego poziomu wodonośnego wzdłuż tego odcinka wahał się od 208 m n.p.m. na zachodzie do 214 m n.p.m. po stronie wschodniej. Wyższy od zakładanego poziomu wód podziemnych spowodował konieczność korekty wartości sił oddziaływania, na których oparto wcześniejsze obliczenia. Wpłynęło to na decyzję projektantów o zmianie niwelety tunelu. Badania pokazały, że woda w części wschodniej (w obszarze tunelu) występowała w swobodnym zwierciadle, natomiast pod planowanym budynkiem dworca – pod ciśnieniem, pod warstwami nieprzepuszczalnymi. Opracowano i wprowadzono szczegółowy program odwodnienia. Z kilku rozważanych metod zatrzymania napływu wybrano metodę wielkiej studni. Przeważały m.in.: brak przeszkód formalnych i dokumentacja archiwalna wskazująca, że poziom lustra wody w okresie intensywnego przemysłu włókienniczego w Łodzi był zbliżony do poziomu dna projektowanej płyty (około -18 m w stosunku do poziomu terenu). Dawało to podstawy do ograniczenia przewidywanych osiadań związanych z obniżeniem lustra wody.

Fot. NIF TopoArchitekt s.c.



Łódź: budowa płyty stropowej na gruncie – poziom -8



Łódź: konstrukcja płyty dennej – widoczny strop pośredni (-8)

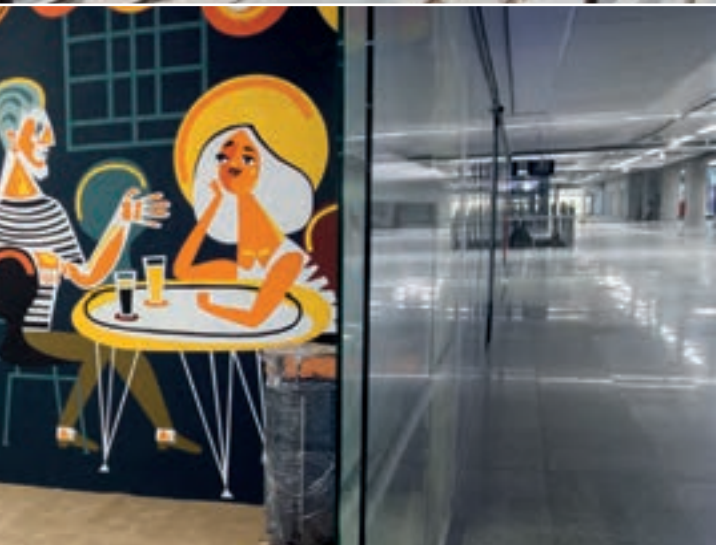


Łódź: budowa tunelu – trwa wykop podstropowy



Łódź: budowa tunelu pod wiadukdami w ul. Kopcińskiego – widoczne żelbetowe podpory wzmacniające

Łódź: dworzec i stacja kolejowa na kilka tygodni przed otwarciem



Fot. NLF Topol-Astaldi s.c.

W ramach robót odwodnieniowych wykonano 80 studni depresyjnych o średnicach od 300 do 460 mm, a także 15 piezometrów. W początkowej fazie odwodnienia jego wydatek sięgał wartości 1800 m<sup>3</sup>/h, później: 1000 m<sup>3</sup>/h. Ponieważ instalacja deszczowa znajdująca się w okolicy nie była w stanie odebrać ilości wody szacowanej w oparciu o przeprowadzone badania, jej odprowadzenie wymagało wykonania kanalizacji o długości 6 km (konieczne były odpowiednie pozwolenia ZWiK). Woda odpompowywana była wzdłuż dawnego torowiska kolejowego do zbiornika przy ul. Tunelowej, a następnie do rzeki Jasień.

Ten skomplikowany technicznie proces został wyposażony w system alarmowy obejmujący rejestratory danych w piezometrach i wodomierzach oraz czujniki pracy pomp, a także w ultradźwiękowe czujniki poziomów wód w zbiornikach przelewowych. W przypadku

bości 1–1,2 m, baryty (odcinkowe podpory wewnętrzne szczelinowe 1 x 2,8 m), a następnie płyta stropowa na poziomie -8 m. Wybranie gruntu spod stropu, ułożenie hydroizolacyjnych mat bentonitowych na podłożu rodzimym oraz wykonanie na nich żelbetowej płyty dennej – to podstawowe roboty, które zainicjowały konstrukcję obiektu.

Budowę dwunawowego tunelu również realizowano w technologii ścian szczelinowych. Tu jednak warunki pracy komplikowały nie tylko wody gruntowe, ale podstawową trudność stanowiły podpory wiaduktów drogowo-tramwajowych w ciągu ul. Kopcińskiego (odcinek drogi krajowej nr 14) kolidujące z założonym przebiegiem tunelu. Co więcej, niemożliwe było całkowite wyłączenie ruchu pojazdów na tej trasie.

Tworzenie infrastruktury komunikacyjnej w warunkach zurbanizowanych często wiąże się z koniecznością rozwiązania kolizji między



Fot. NLF Topol-Astaldi s.c.

Łódzki projekt to element Nowego Centrum Łodzi (NCL), programu modernizacji ponad 100 ha przemysłowego, zdegradowanego terenu w centrum miasta.

awarii obsługa była natychmiast powiadamiana poprzez wysyłanie alertów sms. System utrzymywany był przez 20 miesięcy.

### Konstrukcja

Stacja kolejowa, tunel, system ramp dojazdowych zlokalizowany po wschodniej stronie – to obiekty żelbetowe, w większości monolityczne. Po wykonaniu wykopu (680 x 120 m) do poziomu -8 m, budowę rozpoczęto od tzw. komory startowej, na którą złożyły się głębokie ściany szczelinowe o gru-

istniejącymi i planowanymi obiektami. Wspomniane wiadukty składają się z trzech niezależnych części: wiaduktu drogowego wschodniego, położonego w środku wiaduktu tramwajowego oraz wiaduktu drogowego zachodniego. Budowa tunelu wymagała rozbiórki fundamentów i oparcia na projektowanym tunelu dwóch filarów wiaduktu. Prace budowlane zostały podzielone na pięć zasadniczych etapów: wzmocnienie fundamentów wiaduktów i roboty przygotowawcze, ściany szczelinowe, elementy trans-

ferowe, odcięcie pali podtrzymujących dotąd wiadukt, przeniesienie obciążeń na konstrukcję tunelu.

Roboty (w tym wykonanie ścian szczelinowych) prowadzone były w ograniczonej przestrzeni pod wiaduktem, co stanowiło dodatkowe utrudnienie.

Na początku wykonano 144 mikropale. Następnie zespolono grunt w technologii *jet grouting* bezpośrednio pod fundamentami w celu uzyskania dostatecznej stabilności w trakcie głębienia ścian szczelinowych oraz w trakcie wykonywania wykopów. W międzyczasie przełożono istniejące instalacje biegnące wzdłuż wiaduktu tramwajowego. Przygotowano również platformy robocze dla urządzeń głębiących ściany szczelinowe, następnie wykonano ściany szczelinowe o grubości 100 cm i głębokości do 21 m, które zwieńczono fragmentami docelowego stropu z szeregiem żelbetowych tarcz podpierających wiadukt. Odcięto bloki fundamentowe, przenosząc pełne obciążenie na tarcze żelbetowe. Po rozbiórce fundamentów uzupełniono brakujące odcinki stropu, znajdujące się w miejscu istniejących wcześniej fundamentów wiaduktów. Na stropach wykonano belki podwalinowe dla docelowego oparcia filarów. Jednocześnie rozpoczęto głębienie tunelu pod stropem. Na ostatnim etapie robót zdemontowano tarcze transferowe, przenosząc całkowicie obciążenia wiaduktu na nową konstrukcję w sposób docelowy.

## Turyń

Projekt inwestycji ewoluował od lat 80. Motorem jego zmian i ciąglego udoskonalania była konieczność zwiększenia przepustowości stacji i przyjęcie modelu eksploatacji linii, w którym przewiduje się oddzielenie strumieni szybkich pociągów dalekobieżnych od strumieni pociągów podmiejskich i kolei metropolitalnej. Stąd też rozwiązanie z zastosowaniem podwójnego tunelu. Każda z nitek, wschodnia (przeznaczona dla ruchu dalekobieżnego i dużych prędkości) oraz zachodnia (przewidziana dla ruchu podmiejskiego i regionalnego), budowane były oddzielnie. W trakcie realizacji tunelu należało zapewnić nieprzerwany pasażerski i towarowy ruch kolejowy ponad dwustu składów dziennie, gwarantując płynną pracę tego znaczącego węzła kolejowego.



Nowa stacja Porta Susa



Roboty w pobliżu starego dworca Porta Susa w Turynie

## Nowatorskie przeprowadzenie tunelu kolejowego pod korytem rzeki Dora w Turynie było jedną z najtrudniejszych operacji inżynierskich.

Projekt zakładał budowę najpierw strony zachodniej wraz z zachodnią nitką tunelu, położenie dwutorowej nawierzchni, uzbrojenie i całkowite wyposażenie strony zachodniej i następnie przeniesienie pod ziemię całego ruchu odbywającego się dotąd na poziomie terenu lub w starych, otwartych wykopach. Kolejny etap przewidywał demontaż starej linii kolejowej na powierzchni i budowę nitki wschodniej tunelu pod uwolnioną w ten sposób przestrzenią. Ta sama sekwencja robót zastosowana

została przy przebudowie istniejących stacji kolejowych.

Oprócz bardzo dokładnych badań geologicznych przed przystąpieniem do robót przeprowadzono niezwykle dokładną inwentaryzację wszystkich obiektów inżynierskich (wiaduktów, mostów, estakad, przejść podziemnych itp.) oraz budowli położonych wzdłuż linii, a wchodzących w kolizję z planowanymi robotami, nie wspominając o kolizjach z urządzeniami infrastruktury technicznej, których całkowite zidentyfikowanie okazało

się zresztą do końca niemożliwe. Zastosowane technologie robót musiały brać pod uwagę bardzo skromną powierzchnię dostępnego placu budowy ze względu na bliskie sąsiedztwo gęstej zabudowy miejskiej.

Jednym z problemów warunkujących rozwiązania projektowe było skrzyżowanie powstającego tunelu kolejowego z położonym niżej tunelem linii metra. Projekt został zrealizowany w ramach ścisłej współpracy i w uzgodnieniu z gestorami obu obiektów podziemnej infrastruktury. Przewidziano tu konsolidację gruntu wokół tunelu metra z zastosowaniem technologii *jet grouting*. Jak już wspomniano, odcinkiem wymagającym szczególnej uwagi było przejście pod placem Statuto, pod

którym już znajdowały się dwa wcześniejsze tunele podziemne, drogowy i linii metra. Tu kolejowy tunel średnicowy jest najniżej posadowiony, podobnie jak pod rzeką Dora. Niweleta w tych najniższych punktach wynosi od -18 do -20 m.

Nowatorskie przeprowadzenie tunelu kolejowego pod korytem rzeki Dora było jedną z najtrudniejszych operacji. Roboty wymagały przegradzania koryta rzeki (wykorzystywano okresy najniższych sezonowych stanów wód) i budowę głębokich ścian szczelinowych

dukt, który umożliwił stworzenie objazdu dla ruchu drogowego, a węzeł rozebrano. Po zakończeniu robót i przykryciu podziemnej stacji Dora stropem stworzono warunki do przywrócenia ruchu w dawnym miejscu, bez kolizji z linią kolejową, a tymczasowy wiadukt rozebrano. Zastosowane rozwiązania konstrukcyjne zostały tak pomyślane, że przewidują w przyszłości możliwość dalszych usprawnień ruchu samochodowego w tym miejscu.

Kolejne utrudnienie w prowadzeniu robót wystąpiło w pobliżu

Susa, po przeniesieniu jej w ramach inwestycji pod ziemię, rozbudowaniu i unowocześnieniu, przejęła rolę centralnej stacji miasta. Stacja została wykończona z niezwykłą starannością. Zastosowano kosztowne szlachetne materiały, marmury, ceramikę, szkło, ozdobiono ją wspaniałymi grafikami z widokami miasta i oświetlono światłem LED. Porta Susa wyposażona jest we wszystko, co pasażerowi potrzebne, stanowi przedłużenie okolicznych ulic z lokalami handlowymi i usługowymi, tworząc

ru miasta, zaprojektowane przez dwie cenione młode polskie artystki.

## Zbieżność idei

Założeniem linii średnicowej w Turynie było rozdzielenie ruchu lokalnego i metra od ruchu dalekobieżnego. Projekt zawarty był w programie reorganizacji i wzmocnienia węzła kolejowego w Turynie przyjętym przez Włoskie Linie Kolejowe i miał zapewnić osiągnięcie trzech celów:

- włączyć Turyn do europejskiej sieci dużych prędkości (korytarz 2.),
- poprawić jakość połączeń kolejowych krajowych i regionalnych,
- stworzyć nowy system zintegrowanego transportu publicznego (regionalnego i metropolitalnego).

Z kolei główny argument za szeroko zakrojoną przebudową w Łodzi to udrożnienie połączeń kolejowych w obu osiach: wschód – zachód i północ – południe. W wyniku zawitych losów historycznych linia kolejowa z Koluszek prowadziła do końcowej stacji Łódź Fabryczna. Na razie nowo wybudowana stacja, choć powstała jako przelotowa, również pełni funkcję czołową. Co ważne, PKP PLK już ogłosił przetarg na budowę tunelu średnicowego, który wystartuje od zachodniej głowicy stacji Łódź Fabryczna i będzie prowadził na zachód. Będzie miał dwa wyloty: na północ – w kierunku Łodzi Żabiańca i na południe w stronę Łodzi Kaliskiej. Tunelem pod centrum miasta jeździć mają pociągi kolei regionalnej i ponadregionalnej (w relacjach Kraków – Łódź – Poznań – Szczecin oraz Warszawa – Łódź – Wrocław). Korzystać z niego będą także składy Łódzkiej Kolei Aglomeracyjnej, a w przyszłości być może również Kolej Dużych Prędkości, która łączyłaby Warszawę, Łódź, Poznań i Wrocław.

Tunel średnicowy pozwoli na przejazd pociągów dalekobieżnych przez Łódź, ale stworzy także nowy ważny środek transportu miejskiego i podmiejskiego. Dwie dodatkowe stacje: Łódź Centrum oraz Łódź Manufaktura, uzupełnią bezkolizyjne, podziemne połączenie centrum miasta z Widzewem z jednej strony, a z Łodzią Kaliską z drugiej. Podobne rozwiązania infrastruktury kolejowej od lat funkcjonują w wielu miastach świata.

Opr. AK i KR



Roboty pod Placem Statuto w Turynie

Foto: ASTALDI SpA

z wysp wznoszonych na dnie rzeki. Dodatkowym utrudnieniem była równoczesna całkowita rozbiórka istniejącego tu mostu kolejowego, położonego w osi wschodniej nitki tunelu kolejowego. Równocześnie, wykorzystując częściowe przekierowywanie nurtu rzeki, kładziono fundamenty pod przyszłe filary mostu drogowego. Wszystkie te czynności wymagały bardzo starannej koordynacji.

Budowa nowego przystanku kolejowego Dora także wiązała się z trudnościami logistycznymi. W pobliżu istniał ogromny węzeł drogowy z gigantycznym ślimakiem, a filary, na których był oparty, uniemożliwiały budowę wykopów podziemnej stacji. Wybudowano zatem w pobliżu tymczasowy wia-

dukt Corso Grosseto, gdzie projekt przewidywał przejście wschodniej nitki tunelu pod istniejącym wiaduktem drogowym – sytuacja bardzo podobna do opisanej wyżej operacji budowy tunelu pod wiaduktami przy ul. Kopcińskiego w Łodzi. W Turynie wymaganiem było, aby wiadukt pozostał nienaruszony. Projekt zakładał utrzymanie niezmięionej niwelety Corso Grosseto i – znów analogicznie do Łodzi – zapewnienie nieprzerwanego ruchu na obu jezdnich wiaduktu. I z tymi wymaganiami budowniczości musieli się zmierzyć.

## Szlachetne materiały i grafiki

Warto wspomnieć, że jedna z siedmiu turyńskich stacji – Porta

dułą galerię handlową wewnątrz. Zespólna jest ze stacją metra, budynek połączony jest z parkingiem na 800 miejsc postojowych. Wokół, podobnie jak w Łodzi, przewidziano wkomponowane w strukturę stacji postoje taksówek, rampy dla odwożących typu kiss&ride oraz liczne wejścia i wyjścia na różnych poziomach budowli. Ażurowa konstrukcja, która również przywodzi na myśl szklany dach w kształcie falującej paraboli z Łodzi, wydaje się stanowić przedłużenie prowadzącej do niej ulicy.

Wypada zaznaczyć, że obiekt łódzki również został wykończony z dbałością o jakość. Wykorzystano szlachetne materiały, tj. szkło, stal, granit, a wnętrza ubarwiają kolorowe grafiki nawiązujące do charakte-