

Kolejowe budownictwo inżynieryjne. Fundament(alne) zmiany – bez ograniczeń, bez ryzyka

mgr inż. **Natalia Maca**
mgr inż. **Jakub Sierant**

Wraz z powstaniem Wieloletniego Programu Inwestycji Kolejowych, polska infrastruktura kolejowa po latach zaniedbań inwestycyjnych staje się realnie ogromnym studium projektowym, a w dalszej perspektywie – olbrzymim zadaniem wykonawczym. Obszar działań obejmuje budowę nowych linii kolejowych, odtworzenie (w tym naprawę uszkodzonych fragmentów) oraz modernizację infrastruktury istniejącej, mające na celu podwyższenie standardów techniczno-eksploatacyjnych.

Wyzwań stojących przed inżynierami jest więc co niemiara. Jednym z nich jest bez wątpienia posadowienie nowych elementów infrastruktury kolejowej oraz zabezpieczenie istniejących linii kolejowych i obiektów sąsiadujących na czas prowadzenia tych robót. Ponieważ inwestycje kolejowe są szczególnie poddane specyficznym ograniczeniom, zagadnienia te wymagają podejścia indywidualnego,

wykraczającego poza przyjęte schematy, a nade wszystko zastosowania rozwiązań kompleksowych, uwzględniających wyjątkowe ograniczenia projektów kolejowych.

Doświadczenia krajów, w których prace nad rozwojem kolei są dalece bardziej zaawansowane, pokazują, że doskonale sprawdzają się tu rozwiązania znane i sprawdzone (również w polskich warunkach) w drogownictwie, bazujące na technologii TITAN służącej do wykonywania iniekcyjnych mikropali, kotew i gwoździ gruntowych. Technologia ta oparta jest na idei wiercenia z jednoczesną iniekcją przy użyciu zestawu traconych elementów pełniących następnie funkcje zbrojenia konstrukcyjnego (kotwy, gwoździe gruntowego czy mikropala).

Zakres pozytywnie zweryfikowanych, w wymagających realiach budowy, rozwiązań dla kolejnictwa, opartych na technologii TITAN, jest szeroki. Obej-

muje zagadnienia związane ze wzmocnieniem nasypów, stabilizacją skarp i osuwisk oraz fundamentowaniem specjalnym – posadawianiem konstrukcji wszelkiej skali – od obiektów mostowych, po ekrany akustyczne i elementy trakcyjne (fot. 1). Z uwagi na liniowy charakter konstrukcji (rozciągającej się często na wiele kilometrów) i szereg ograniczeń techniczno-logistycznych, właśnie ekrany akustyczne i słupy trakcyjne stanowią wyzwanie szczególne – oznacza to bowiem konieczność wykonywania setek fundamentów rozmieszczonych co kilkadziesiąt metrów. W dalszej części artykułu opisano przykład sprawnej realizacji posadowienia słupów trakcyjnych z wykorzystaniem fundamentów mikropalowych i prefabrykatów. Przedstawiona realizacja może służyć jako inspiracja dla projektantów rozwiązań dla inwestycji kolejowych jak i wykonawców szukających szybkich i sprawdzonych rozwiązań, stanowiących alternatywę dla tradycyjnych, czasochłonnych technologii, których zastosowanie w warunkach budownictwa kolejowego jest mocno ograniczone.

Projekty kolejowe i ich wymagania

Jak wspomniano, projekty rozbudowy i modernizacji poszczególnych elementów infrastruktury kolejowej muszą uwzględniać specyficzne dla tej gałęzi inżynierii wymagania mocno ograniczające możliwości wykonawcze. Do głównych z nich należy ograniczony czas realizacji projektów, który jak nigdzie indziej przekłada się na koszty, zwłaszcza w przypadku prowadzenia



Fot. 1 | Wykonywanie fundamentów słupów trakcyjnych przy czynnej linii kolejowej

prac budowlanych kosztem czasowego zamknięcia działającego połączenia – tu nie ma czasu na błędy. Znacząco ograniczony jest również teren inwestycji, co wyklucza rozwiązania wymagające użycia ciężkiego sprzętu, szerokiego zakresu prac ziemnych i dużego zaplecza budowy czy dróg technologicznych. W warunkach rosnących wymagań użytkowników linii kolejowych, priorytetem zarządcy infrastruktury trasowej staje się czas realizacji i możliwość zachowania ciągłości ruchu podczas prowadzenia inwestycji. Wymaganie te praktycznie eliminują z zastosowania technologie przestarzałe, czasochłonne, oparte na technikach tradycyjnych (jak choćby rozbiórka i formowanie na nowo nasypu). Projekty te są po prostu zbyt drogie, szczególnie po uwzględnieniu całości kosztów i tzw. utraconych korzyści. Ponadto linie kolejowe często przebiegają przez obszary ochrony flory i fauny, gdzie roboty ziemne ingerujące w krajobraz są wykluczone ze względu na warunki środowiskowe. Praca przy liniach kolejowych rozsiągniętych na terenie całego kraju, często będących jedynymi drogami komunikacyjnymi na ubogich infrastrukturalnie terenach, stanowi także nie lada wyzwanie logistyczne. Zapewnienie dostępu dla sprzętu, doprowadzenie niezbędnych mediów do quasi-stacjonarnych, szybko przemieszczających się wraz z frontem robót placów budowy, jest trudne i kosztowne, a niejednokrotnie wręcz niemożliwe. Rozsądne jest więc uniezależnienie się od stacjonarnych baz roboczych.

Modernizacja istniejącej infrastruktury kolejowej stawia jeszcze jeden, być może decydujący warunek projektantom – prace budowlane na kluczowych liniach muszą być prowadzone przy działających połączeniach.

Zastosowane rozwiązania muszą zatem zapewnić bezawaryjną pracę pociągów, a jednocześnie bezpieczeństwo ekip budowlanych, co wiąże się z minimalną ingerencją w istniejącą konstrukcję i zabezpieczeniem przed oddziaływaniami dynamicznymi.

Modernizacja linii kolejowej 162 w Belgii

Wszystkie powyżej opisane trudności i wyzwania stanęły przed inżynierami firmy TUC Rail, która była odpowiedzialna za wykonanie projektu, kierowanie pracami i nadzór nad nimi w ramach reelektryfikacji linii kolejowej 162 w Belgii. Linia ta łączy Namur z granicą Luksemburga w Arlon. Ukończona w 1859 roku obejmuje ok. 150 km i wraz z linią kolejową 161 oraz luksemburską linią 50 zapewnia połączenie kolejowe Brukseli i Luksemburga (rys. 1). W 1960 roku linia została w całości zelektryfikowana.

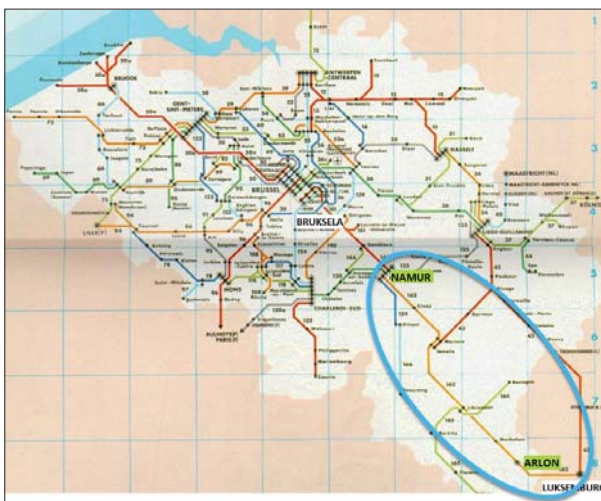
W ramach dużego programu prac modernizacyjnych belgijskich linii kolejowych, mających na celu znaczące skrócenie czasu podróży, w 2009 roku rozpoczęto reelektryfikację linii 162. Prace objęły całkowitą wymianę napowietrznej infrastruktury liniowej. Cechą specjalną nowego typu linii jest jej kompatybilność zarówno z dotychczasowym zasilaniem prądem stałym 3kV (klasyczne linie), jak i docelowym

w przyszłości zasilaniem prądem zmiennym 25kV.

By uzyskać wymagane parametry, konieczne było postawienie nowych słupów trakcyjnych. Podstawowy z pozoru temat, który w przypadku budowy nowej linii nie przedstawiałby większej trudności, zmienia całkowicie swoje techniczne oblicze, kiedy całość robót należy wykonać na funkcjonującej pod ruchem trasie. Już faza koncepcyjna ujawniła zakres wyzwania: fundamenty miały zostać zaprojektowane

i wykonane w bardzo krótkim czasie (na przygotowanie projektu uzyskano jedynie miesiąc), przy czym warunki geotechniczne podłoża nie były rozpoznane. Dodatkowo, technologia wykonania fundamentów dla nowych słupów musiała uwzględniać ograniczoną przestrzeń roboczą i dostęp do terenu prac – na wielu odcinkach jedyny dostęp zapewnia modernizowana linia kolejowa. Jeden z podstawowych warunków to konieczność bezwzględnego zachowania przejezdności linii kolejowej – ruch kolejowy na jednym równoległym torze miał odbywać się bez żadnych przerw. Z powyższych warunków wynikał też wymóg zminimalizowania robót ziemnych ingerujących w istniejącą konstrukcję i potencjalnie zagrażających bezpieczeństwu ruchu oraz powodujących problemy z utylizacją urobku. Projekt był również szczególny pod względem trudności logistycznych – słupy trakcyjne zlokalizowane co 50 m, a załadunek, wyładunek i zaopatrzenie w wodę mogły odbywać się jedynie w bazie sprzętowej wykonawcy – oddalonej nawet o 210 km od miejsca realizacji prac.

Przy tak znacznym poziomie złożoności projektu zdecydowano, że pokonanie wszystkich ograniczeń jest możliwe jedynie przy zastosowaniu prefabrykowanych fundamentów mikropalowych. Opracowana technologia zakładała budowę linii trakcyjnej w sposób



Rys. 1 | Lokalizacja linii 162 w Belgii

przypominający składanie klocków. Prefabrykowane stalowe słupy łączono z prefabrykowaną żelbetową podstawą, związaną z podłożem za pomocą fundamentu właściwego – układu mikropali pracujących dwukierunkowo: na wciskanie i wyciąganie, zapewniającego przeniesienie całości obciążeń. Dodatkowo mikropale miały służyć jako uziemienie słupów trakcyjnych. W tym celu zaprojektowano „uniwersalny”, powtarzalny fundament złożony z układu 4 mikropali TITAN 40/16, połączonych w prefabrykowanym oczepie betonowym, usytuowanym precyzyjnie we wcześniej wykonanym wykopie, tak by mógł pełnić równocześnie rolę szablonu dla wykonywania mikropali, ograniczając w ten sposób niedokładności wykonawcze. Po osadzeniu prefabrykatu i wykonaniu mikropali, ich głowice łączono z prefabrykatem przez wypełnienie okienek technologicznych zaprawą, co wieńczyło trójstopniowy proces wykonania fundamentu: wstępny wykop – osadzenie prefabrykatu – wykonanie i zespolenie mikropali. W dalszej kolejności, z wykorzystaniem marek w oczepie i przy użyciu kotew, łączono słup trakcyjny z podstawą (rys. 2). Przy generalnym rozeznaniu ogólnej budowy geologicznej podłoża założono, że dla uzyskania wymaganej nośności mikropale powinny być zainstalowane na głębokość minimum 1,5 m w podłożu skalnym, przy czym głębokość zalegania gruntów skalistych nie była znana. Dla osiągnięcia właściwej wydajności montażu kolejnych fundamentów przygotowano mobilny, samowystarczalny plac budowy. Na bazie wagonów-platform zbudowano zestaw zawierający zaplecze biurowe i socjalne, zaplecze materiałowe z zapasem elementów TITAN do wykonania mikropali, żelbetowych prefabrykatów oczepowych, cementu i wody oraz zaplecze sprzętowe z zestawem iniekcyjnym i specjalnie przystosowaną wiertnicą. Skonfigurowany w ten sposób pociąg roboczy mógł pracować wzdłuż całego analizowanego

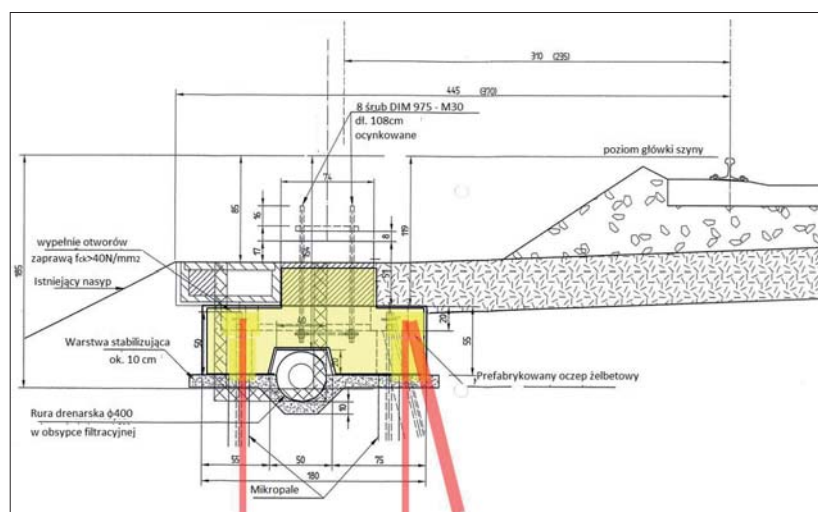
odcinka linii kolejowej (nawet w wąskich przekopach, gdzie konwencjonalne maszyny nie mają dostępu). Rozwiązanie to likwiduje większość problemów logistycznych, a w warunkach oddalonych o ok. 200 km zaplecza zapewniającego dostęp do niezbędnych materiałów, okazało się wręcz jedynym rozsądnym sposobem zorganizowania placu budowy.

W celu potwierdzenia słuszności przyjętych założeń wykonano próbne mikropale, które poddano badaniom wstępnym na wyciąganie. Mikropale próbne wykonano w trzech lokalizacjach wzdłuż trasy modernizowanej linii 162. W wyniku tych przygotowań wybrano optymalny rodzaj i średnicę koronki wiertniczej (2-step carbide cross cut o średnicy 90 mm) i zweryfikowano również przydatność całego mobilnego zestawu roboczego. Określono również spodziewane opory wiercenia i oszacowano głębokość zalegania warstw skalnych. Przeprowadzone próbne obciążenia wykazały, że mikropale osiągają wymaganą nośność.

W ramach prac przygotowawczych zaprojektowano, zbudowano i przetestowano również specjalną wiertnicę dostosowaną do pracy w opisanych warunkach i spełniającą restrykcyjne wymagania nadzoru kolejowego. Urządzenie wiertnicze zamocowano

do ramienia koparki. Modyfikacji uległy jednak jej wymiary, tak by mieściła się ona na platformie pociągu, a jednocześnie w żadnym położeniu nie naruszała skrajni sąsiedniego, czynnego toru. Ramię robocze z urządzeniem wiertniczym o podniesionej mocy nie mogło zbliżyć się na określoną odległość do linii traktioni elektrycznej. Ponadto sprawdzono również zachowanie wiertnicy maksymalnie obciążonej przy określonym przechyle platformy i maksymalnym wysięgu ramienia w celu zweryfikowania stabilności całego zestawu – dla ograniczenia wymiarów (skrócenia) koparki jako nośnika urządzenia wiertniczego niezbędne było zmniejszenie jej przeciwwagi. Po pomyślnych testach odbiorczych sprzęt uzyskał dopuszczenie do wykonywania zaprojektowanych prac.

W trakcie realizacji kolejnych fundamentów w sposób ciągły dostosowywano organizację robót. Opracowano w ten sposób najbardziej efektywną kolejność prac i reżimy technologiczne. O ile technologia wykonywania mikropali TITAN, jako szybka i wydajna, nie odbiegała od „tradycyjnej” (opisywanej wielokrotnie we wcześniejszych publikacjach), o tyle założenia co do pozostałych etapów roboczych uległy pewnym zmianom. I tak: najszybszy postęp prac zapewnia wykonywanie fundamentów pod kolejne słupy trakcyjne po kolei wzdłuż trasy,



Rys. 2 | Schemat konstrukcji fundamentu mikropalowego

tak by nie było konieczności powracania do pominiętych lokalizacji (fot. 2). Znaczną oszczędność efektywnego czasu roboczego zapewniło wyposażenie pociągu roboczego w taką ilość materiału, by załadunek w bazie nie był częstszy niż raz na tydzień (ma to znaczenie zwłaszcza na terenach ubogich infrastrukturalnie). Samo rozwiązanie projektowe zafunkcjonowało pomyślnie, nie wymagało zmian i poprawek. Jedyną nieprzewidzianą okolicznością okazały się obszerne pustki, kawerny w podłożu, objawiające się nagłym spadkiem oporów wiercenia i bardzo dużymi ucieczkami iniektu. Dla zagwarantowania właściwej nośności mikropali i zapewnienia ich należytej długowieczności wskazane było wykonywanie iniekcji wtórnej. Aby umożliwić płynny postęp frontu robót, iniekcję wtórną zdecydowano się wykonywać w oddzielnym kroku technologicznym. W ramach przedstawionej realizacji wykonawca zainstalował 1908 mikropali (477 fundamentów pod słupy trakcyjne) w ciągu 89 dni roboczych, z czego większość w warunkach zimowych. Biorąc pod uwagę brak jakichkolwiek doświadczeń z robót o zbliżonym choćby charakterze, konieczność dostosowywania sprzętu i organizacji robót, wynik ten należy uznać za znakomity. Sam projekt zaś zasługuje na miano „rewolucji” technologicznej, prowadzonej na nieznanym polu, w warunkach silnej presji czasowej: niezwykle krótkiego terminu na przygotowanie projektu, braku rozpoznania geotechnicznego, konieczności dostosowania sprzętu wiertniczego i przy bieżących modyfikacjach wstępnych założeń. Należy tu zwrócić uwagę na fakt, że wszystkie prace przebiegały przy zachowaniu przejezdności linii kolejowej i wszystkich ograniczeniach z tego wynikających, a narzuconych przez operatora linii kolejowej. Można zatem śmiało określić ten pionierski projekt jako sukces, zarówno od strony projektowej, wykonawczej, jak i organizacyjnej.



Fot. 2 | Wykonywanie mikropali pod słupy trakcyjne, widoczne zaplecze budowy zamieszczone na platformie pociągu roboczego

Podsumowanie

Przedstawiony przykład rozwiązania posadowienia słupów trakcyjnych na mikropalach jest zaledwie namiastką możliwości zastosowania technologii samowierzących, iniekcyjnych gwoździ i mikropali TITAN w obszarze infrastruktury kolejowej. Unikalne cechy użytkowe tej technologii sprawiają, że możliwe stało się stworzenie mobilnego, samowystarczalnego zaplecza budowy, zbudowanego na bazie pociągu roboczego. Dzięki mobilności i możliwości organizacji budowy w każdym miejscu infrastruktury trasowej, ta nowa filozofia prowadzenia robót inżynierskich w specyficznych warunkach projektów kolejowych sprawia, że wiele nierealnych dotychczas zamierzeń można przenieść do realnej fazy planowania inwestycji. Natomiast te realizowane do tej pory przy wielkiej uciążliwości dla użytkowników tras można prowadzić znacznie racjonalniej i wydajniej. Projektanci mają do dyspozycji narzędzie, które jest sprawdzone w różnych warunkach na całym świecie i weryfikowalne na każdym etapie prac, a w zależności od rzeczywistych warunków realizacji łatwe do ewentualnej bezpiecznej modyfikacji.

Zarządca infrastruktury trasowej jako inwestor ma do dyspozycji doskonale zbilansowane kosztowo, uniwersalne rozwiązanie, które umożliwia wykonanie inwestycji z zachowaniem ciągłości ruchu na modernizowanej linii, a dzięki wcześniejszemu doświadczeniu – w pełni bezpieczne, pozbawione ryzyka związanego z wdrażaniem nowoczesnej myśli technicznej. Na podkreślenie zasługuje również fakt, że – w przeciwieństwie do technologii tradycyjnych – opisane rozwiązania są trwałe i bezobsługowe w całym okresie eksploatacji.

Pozostaje zatem wyrazić nadzieję, że sukces przedstawionej realizacji stanie się inspiracją do tworzenia śmiałych projektów.

TITAN POLSKA

TITAN POLSKA sp. z o.o.

ul. Miłkowskiej 3/702

30-349 Kraków

tel. +48 12 636 61 62

fax +48 12 267 05 25

biuro@titan.com.pl

www.titan.com.pl