

NOWOCZESNE ROZWIĄZANIA GEOTECHNICZNE W ODPOWIEDZI NA WYZWANIA BUDOWNICTWA KOLEJOWEGO

Natalia Maca

TITAN POLSKA Sp. z o.o., ul. Milkowskiego 3/801, 30-349 Kraków, natalia.maca@titan.com.pl

***Streszczenie.** W projektach kolejowych związanych z modernizacją i rozbudową linii kolejowych zawsze pojawiają się wyzwania geotechniczne, związane najczęściej ze wzmacnianiem, czy rozbudową torów kolejowych lub posadawianiem nowych, stabilizacją osuwisk oraz fundamentowaniem szerokiego wachlarzu konstrukcji: od obiektów mostowych, po ekrany akustyczne i elementy trakcyjne. Zadania ze względu na szczególne uwarunkowania techniczno-logistyczne wymagają podejścia indywidualnego i zastosowania rozwiązań kompleksowych uwzględniających specyficzne wymagania projektów kolejowych.*

Wśród sprawdzonych rozwiązań, stanowiących alternatywę dla tradycyjnych technologii, których zastosowanie w warunkach budownictwa kolejowego jest mocno ograniczone, są konstrukcje bazujące na technologii samowierzących iniekcyjnych mikropali, czy gwoździ gruntowych. Technologia ta umożliwia szybką realizację prac z zachowaniem ciągłości ruchu na modernizowanych liniach kolejowych i minimalizacją uciążliwości dla użytkowników tras oraz stworzenie mobilnego, samowystarczalnego zaplecza budowy, zorganizowanego w dowolnym miejscu infrastruktury trasowej. Rozwiązania te cechują się nie tylko wysoką niezawodnością i trwałością, ale są też bezobsługowe w całym okresie eksploatacji, co wraz z wysoką wydajnością zapewnia efektywność ekonomiczną budowy.

***Słowa kluczowe:** geotechnika, budownictwo kolejowe, stabilizacja i wzmacnianie nasypów, fundamentowanie*

1. Wstęp

Budownictwo kolejowe w Polsce przeżywa aktualnie największą kumulację prac w historii. Skalę inwestycji obrazuje budżet Krajowego Programu Kolejowego, w ramach którego do 2023 roku sfinansowane zostaną inwestycje w infrastrukturę o wartości 67 mld zł na ponad 220 projektów i modernizację 9000 km torów (PKP PLK S.A., 2018). Co więcej, w nowej perspektywie do 2030 roku PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. planują realizację inwestycji na kwotę 80 mld zł (RW, 2017).

Warto w tym miejscu przywołać nieco danych statycznych o stanie polskiej infrastruktury kolejowej. Otóż, długość eksploatowanych linii kolejowych w roku 2016 to nieco ponad 19000 km, z czego w stanie dobrym znajduje się jedynie 40% ogólnej długości torów, co przekłada się na fakt, że nadal na ponad 25% sieci

kolejowej w Polsce dopuszczalna prędkość nie przekracza 60 km/h (Urząd Transportu Kolejowego, 2017). Z drugiej strony, stale rośnie zapotrzebowanie na trasy o limicie prędkości powyżej 160km/h i zwiększonych obciążeniach osi (powyżej 22.5 ton).

Nic zatem dziwnego, że aktualnie inwestycje kolejowe obejmują przede wszystkim prace modernizacyjne na istniejących liniach i budowę krótkich odcinków nowych linii w newralgicznych miejscach sieci kolejowej, zwiększające efektywność zarówno kolei pasażerskiej, jak i szlaków towarowych. Dopiero w dalszych planach znajduje się też budowa kolei dużych prędkości, co nie tylko usprawniłoby transport kolejowy, ale dałoby mu niesamowity skok jakościowy.

Niezależnie jednak od skali, w projektach tych zawsze pojawiają się mniejsze lub większe wyzwania geotechniczne, związane najczęściej ze wzmacnianiem, czy rozbudową torów kolejowych lub posadawianiem nowych, stabilizacją osuwisk oraz fundamentowaniem szerokiego wachlarzu konstrukcji: od obiektów mostowych, po ekrany akustyczne i elementy trakcyjne. Zadania te, nawet jeśli proste pod kątem merytorycznym, to zazwyczaj – ze względu na szczególne uwarunkowania techniczno-logistyczne projektów kolejowych (zwłaszcza modernizacji) – wymagają podejścia indywidualnego i zastosowania rozwiązań kompleksowych, często nietypowych, uwzględniających znaczące wymagania projektów kolejowych.

Jak pokazują krajowe i światowe doświadczenia, w aspekcie konstrukcji geotechnicznych, doskonale sprawdzają się tu rozwiązania bazujące na technologii samowierzących iniekcyjnych mikropali, czy gwoździ gruntowych. W dalszej części artykułu przedstawiono przykłady ciekawych projektów kolejowych z wykorzystaniem technologii TITAN, które były realizowane we współpracy z TITAN POLSKA i ramach całej grupy Ischebeck GmbH. Realizacje te mogą służyć jako inspiracja dla projektantów i wykonawców szukających szybkich i sprawdzonych rozwiązań, stanowiących alternatywę dla tradycyjnych technologii, których zastosowanie w warunkach budownictwa kolejowego jest mocno ograniczone.

2. Specyfika projektów kolejowych w aspekcie robót geotechnicznych

Jak wspomniano, projekty rozbudowy i modernizacji poszczególnych elementów infrastruktury muszą uwzględniać specyficzne dla tej gałęzi inżynierii wymagania, mocno zawężając wachlarz stosowanych technologii.

I tak, znacząco ograniczony jest teren inwestycji, co wyklucza rozwiązania wymagające użycia ciężkiego sprzętu, szerokiego zakresu prac ziemnych i dużego zaplecza budowy czy dróg technologicznych. 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.

W warunkach rosnących wymagań użytkowników linii kolejowych, priorytetem zarządcy infrastruktury trasowej staje się też czas realizacji i ograniczenie wyłączeń linii – koszty opóźnień i zamknięć połączeń są bardzo wysokie. Modernizacja istniejącej infrastruktury kolejowej stawia też projektantom być może decydujący warunek – prace budowlane na kluczowych liniach często muszą być prowadzone przy zachowaniu ciągłości ruchu. Wymagania te praktycznie eliminują z zastosowania technologie czasochłonne czy wymagające wielkich maszyn lub znacznego zakresu robót ziemnych. Dodatkowo zastosowane rozwiązania muszą zapewnić też bezawaryjną pracę pociągów (w tym ograniczenie skrajni), a jednocześnie bezpieczeństwo ekip budowlanych, co wiąże się z minimalną ingerencją w istniejącą konstrukcję i zabezpieczeniem przed oddziaływaniami dynamicznymi.

W końcu, do powyższej listy trudności należy dopisać jakość rozpoznania geologicznego, zwłaszcza w przypadku istniejących linii kolejowych. Często informacja geotechniczna jest bardzo ograniczona, brak jest danych archiwalnych, a wykonanie nowych sondowań i otworów geologicznych przez istniejących nasyp jest utrudnione albo wręcz niemożliwe, zwłaszcza przy ograniczonym czasie realizacji robót. W takiej sytuacji stosowane techniki muszą pozwalać na w miarę swobodną adaptację rozwiązania (np. długości pali) do stwierdzonych podczas instalacji warunków in situ tak, by przy odmiennym od założonego układzie, czy stanie warstw geotechnicznych, osiągnięto wymagane parametry konstrukcji.

3. Przykłady sprytnych koncepcji geotechnicznych

Awaryjna wymiana konstrukcji wsporczych – posadowienie sieci trakcyjnej

Jednym z projektów, w których opisane powyżej trudności stanęły przed projektantem i wykonawcą robót, była awaryjna wymiana konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej na linii nr 96 na szlaku Grybów - Ptaszkowa. Intensywne, wieloletnie użytkowanie i stopniowa erozja doprowadziły tu do lokalnych obsunięć i osiadań wysokiego nasypu kolejowego. Pociągnęło to za sobą przemieszczenia słupów i naruszenie stateczności istniejących konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej, co groziło nie tylko przewróceniem obiektów, ale nawet katastrofą kolejową. W związku z utrzymującą się tendencją do przechylania się słupów podjęto zatem decyzję o przeniesieniu części z nich.

Nasyp kolejowy, przebiegający nad głęboką dolinką, o wysokości ok. 15 m wykonano z grubego tłucznia na materacu z materiałów rodzimych – rumoszu skalnym przemieszanym z materiałem piaszczystym. Zlokalizowano na nim dwa tory, z których jeden miał pozostać czynny, co wykluczyło jakiegokolwiek większe roboty ziemne. Jednocześnie dostęp do terenu prac możliwy był właściwie jedynie remontowaną linią bez sposobności zorganizowania w pobliżu zaplecza robót.

Taka specyfika projektu zdecydowała o wykorzystaniu prostych fundamentów w oparciu o „mobilną”, a jednocześnie wszechstronną (do zastosowania w dowolnych gruntach) technologię mikropali samowiercących, pracujących w dodatku skutecznie na wciskanie i wyciąganie, zapewniając przeniesienie całości obciążeń działających na słup. Zatem fundamenty te zaprojektowano jako żelbetowe, posadowione na zespołach czterech mikropali TITAN 73/53 o długości 18,0 m każdy. Mikropale spięte zostały żelbetowym blokiem pełniącym również funkcję podstawy dla stalowego słupa trakcji z konstrukcją pozwalającą na jego swobodny montaż.

Tak przemyślany projekt mógł zostać zrealizowany z mobilnego, samowystarczającego placu budowy: na bazie wagonów-platform zbudowano zestaw zawierający zaplecze materiałowe z zapasem materiału do wykonania mikropali i żelbetowych oczepów oraz zaplecze sprzętowe z zestawem iniekcyjnym. Same mikropale instalowane były masztami wiertniczymi zamontowanymi na ramieniu koparki, która również zlokalizowana była na wagonie (Fot. 1). Skonfigurowany w ten sposób pociąg roboczy mógł pracować wzdłuż całego analizowanego odcinka linii kolejowej, likwidując większość problemów logistycznych i nie wpływając znacząco na eksploatację sąsiedniego toru.



Fot. 1. Instalacja mikropali pod słupy trakcyjne, Ptaszkowa (materiały firmy Soley Sp. z o.o.)

Wzmocnienie fundamentów słupów trakcyjnych

Jednym z typowych zadań związanych z modernizacją linii kolejowych jest wymiana napowietrznej infrastruktury liniowej. Często, tak jak podczas renowa-

cji odcinka sieci trakcyjnej na szlaku Piwniczna-Leluchów, polega ona m.in. na wymianie istniejących słupów trakcyjnych na słupy nowszego typu. Pociąga to za sobą konieczność wzmocnienia dotychczasowych elementów wsporczych linii trakcyjnej, w tym fundamentów, oraz ich dostosowanie do potrzeb nowego systemu słupów. Głównym wyzwaniem w tego typu projektach jest jednak nie samo wzmocnienie, ale realizacja w ekstremalnie ograniczonym czasie, bez możliwości zastosowania dużego sprzętu (niewielka przestrzeń robocza), budowy stacjonarnego zaplecza, czy przynajmniej wygodnych dróg technologicznych.

W opisywanym projekcie, istniejące bloki fundamentowe słupów oraz bloki odciągowe wykonane zostały jako betonowe, prefabrykowane elementy posadowione w sposób bezpośredni. W celu umożliwienia prac pod zwiększonym obciążeniem, przy uwzględnieniu ograniczeń wykonawczych zaprojektowano wzmocnienia każdego bloku układem 4 mikropali samowiercących. Wymagało to wywiercenia w istniejącym bloku otworów o średnicy $\Phi 100$ mm na całej jego wysokości. Przez tak odwiercone otwory zainstalowano mikropale typu TITAN 40/16 o długości 9,0 m. Zwieńczenie zespołu mikropali stanowiła stalowa płyta pośrednia ze śrubami służącymi połączeniu blachy stopy słupa trakcyjnego z fundamentem. Płyta pośrednia rektyfikowana była za pomocą rzędu nakrętek systemowych mikropali i stabilizowana od góry rzędem nakrętek mocujących, przyspawanych obwodowo do żerdzi.



Fot. 2. Wzmocnienie fundamentów słupów trakcyjnych, Piwniczna (materiały firmy Soley Sp. z o.o.)

Opracowane rozwiązanie pozwoliło na precyzyjne i bardzo szybkie zrealizowanie prac modernizacyjnych. W tym przypadku technologia TITAN również umożliwiła stworzenie małego zaplecza technologicznego na platformach kolejowych, a same mikropale zainstalowane zostały przez małą, mobilną wiertnicę, również mieszcząca się na platformie z uwzględnieniem ograniczonej skrajni toru (Fot. 2).

Stabilizacja nasypu kolejowego

Jak wspomniano na początku artykułu, wiele aktualnie realizowanych projektów kolejowych związanych jest z naprawą, czy dostosowaniem istniejących linii kolejowych do większych prędkości. Ponieważ większość z nich zlokalizowana jest na nasypach, z których wiele ma nawet ponad 100 lat, to prace te związane są w dużej mierze z ich wzmocnieniem.

Nasypy te budowane były niejednokrotnie w sposób niekontrolowany, bez zagęszczania, z gruntów słabych, a wręcz odpadów (np. pokopalnianych). Często elementy drewnianych rusztowań, z których były usypywane, pozostały i uległy spróchnieniu, osłabiając nasyp. Ciągłe działanie opadów atmosferycznych wypłukało drobne cząstki, a drgania dodatkowo rozluźniły pozostały szkielet gruntowy.

Mała gęstość górnych partii nasypów powoduje nierównomierne osiadanie torów. Różnica osiadań szyn już ponad 10 mm wymaga zagęszczenia warstw podsypki, co wiąże się z kolei z przerwami eksploatacyjnymi, ograniczeniem prędkości przejazdu i zwiększonymi kosztami utrzymania. Również dopuszczenie pociągów większych prędkości powoduje wzrost wymagań dla istniejących nasypów pod kątem ich sztywności oraz stateczności ogólnej nasypu pod zwiększonym obciążeniem.

Tymczasem, już od 30 lat znane są pozytywne doświadczenia stabilizacji i wzmocnienia nasypów kolejowych przez gwoździowanie, zwłaszcza w projektach Deutsche Bahn (koleje niemieckie). W przeszłości gwoździowanie stosowano głównie do zwiększania wskaźnika stateczności, ale wykazano również większą efektywność i ekonomiczność tej technologii w ograniczeniu osiadań, w porównaniu do klasycznego dogęszczania podsypki. Dzisiaj jej skuteczność sprawdzana jest m.in. pociągami monitorującymi, mierzącymi częstotliwości własną (sztywność) przed i po gwoździowaniu.

Jednocześnie wiercenie gwoździ gruntownych przez nasypy kolejowe często z ukrytymi przeszkodami, bez możliwości stosowaniu orurowania, właściwie wylucza technologie inne niż samowierzące (stateczność otworu jest zapewniona przez stosowanie płuczki cementowej). Tym bardziej, że dostęp do skarpu nasypu możliwy jest często wyłącznie z torów, ograniczając wielkość maszyn wiertniczych. Wraz z opisaną już możliwością instalacji wiertnicami zlokalizowanymi – podobnie jak stacja iniekcyjna i zapas materiału – na platformach kolejowych, aspekty te zadecydują o popularności tego rozwiązania.

Gwoździowanie jako wzmocnienie nasypu zostało wykorzystane m.in. w dużym projekcie modernizacji linii kolejowej Großenhain-Frauenhain (Fot. 3). O wyborze technologii samowiercących gwoździ gruntownych TITAN zaważyły opisane wcześniej ograniczenia, m.in. dostęp jedynie z toru, konieczność zachowania ciągłości ruchu na sąsiednim torze i bardzo napięty harmonogram prac. Wykorzystano tutaj gwoździe gruntowe TITAN 30/11 długości 6-12 m, w rozstawie 1.5 m x 1.5 m.



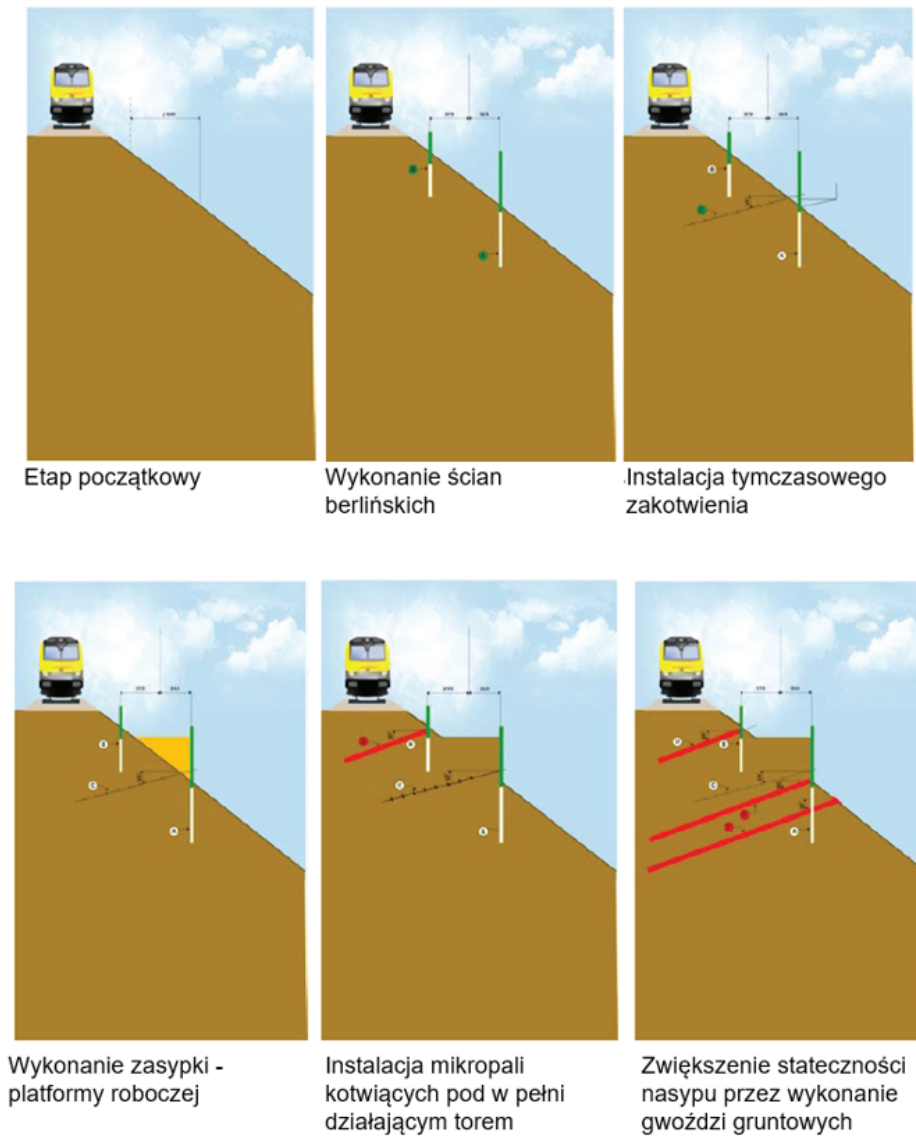
Fot. 3. Wzmocnienie nasypu przez gwoździowanie z instalacją z toru, linia kolejowa Großenhain-Frauenhain

Dobudowa nowego toru do istniejącego

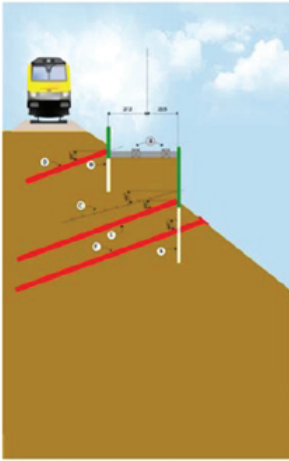
Innym ciekawym wyzwaniem w projektach kolejowych jest dobudowa nowych torów wzdłuż istniejących. Stosowane są tu różne koncepcje rozwiązań, m.in. poszerzanie nasypu w technologii gruntu zbrojonego, zazwyczaj na wzmocnionym podłożu. Prawdziwe wyzwanie pojawia się jednak, kiedy taki projekt realizowany jest w terenie silnie zurbanizowanym, bez możliwości zajęcia dodatkowego terenu pod nasyp oraz z zachowaniem ciągłości ruchu na istniejących torach.

Sytuacja taka miała miejsce podczas modernizacji SNCB linii 161 Schaerbeek–Namur–Ottingenies w Belgii. W projekcie tym wykonywane było m.in. poszerzanie dwutorowej linii kolejowej do sześciu torów. Schemat opracowanego rozwiązania dobudowy toru na istniejącym nasypie, bazującego na wykonaniu dwóch kotwionych ścianek berlińskich, wzmocnienia istniejącego nasypu przez gwoździowanie oraz posadowienia prefabrykowanych układów torowych na mi-

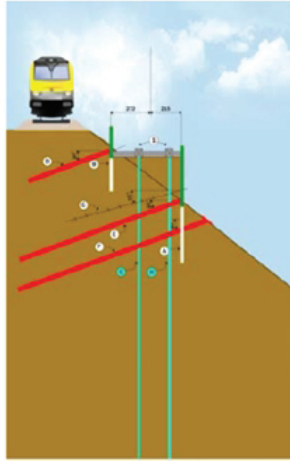
kropalach (wszystkie te elementy z wykorzystaniem technologii samowierzących TITAN) przedstawiono rysunkach 1 i 2, a realizację na fotografii 4.



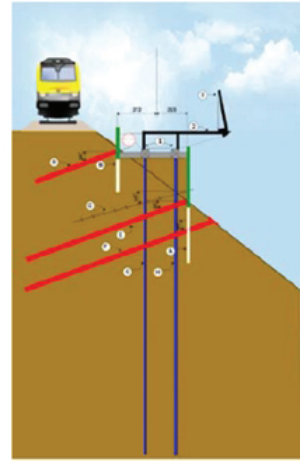
Rysunek 1. Etapy dobudowy nowego toru z wykorzystaniem systemowych platform prefabrykatowych, 1/2, linia kolejowa Schaerbeck-Namu



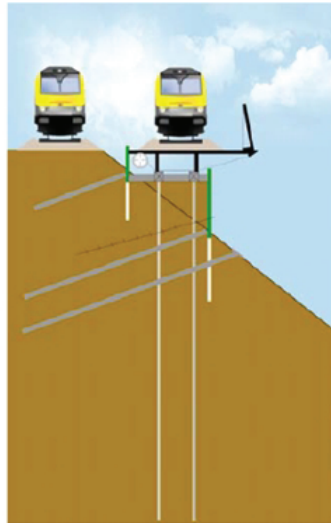
Połączenie ścian oporowych



Instalacja mikropali jako fundamentów nowego toru



Instalacja prefabrykowanej konstrukcji platformy toru



Etap końcowy

Rysunek 2. Etapy dobudowy nowego toru z wykorzystaniem systemowych platform prefabrykatowych, 2/2, linia kolejowa Schaerbeck-Namur



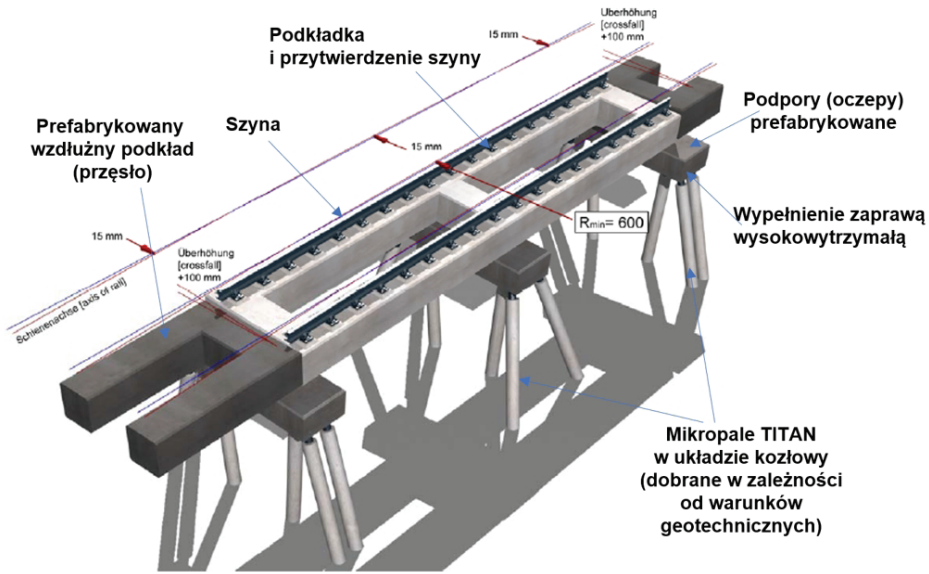
Fot. 4. Wykonanie gwoździ gruntowych dla dobudowy toru, linia kolejowa Schaerbeck-Namur

System NFF – budowa i modernizacja torów z wykorzystaniem prefabrykowanych nawierzchni bezpodсыpkowych

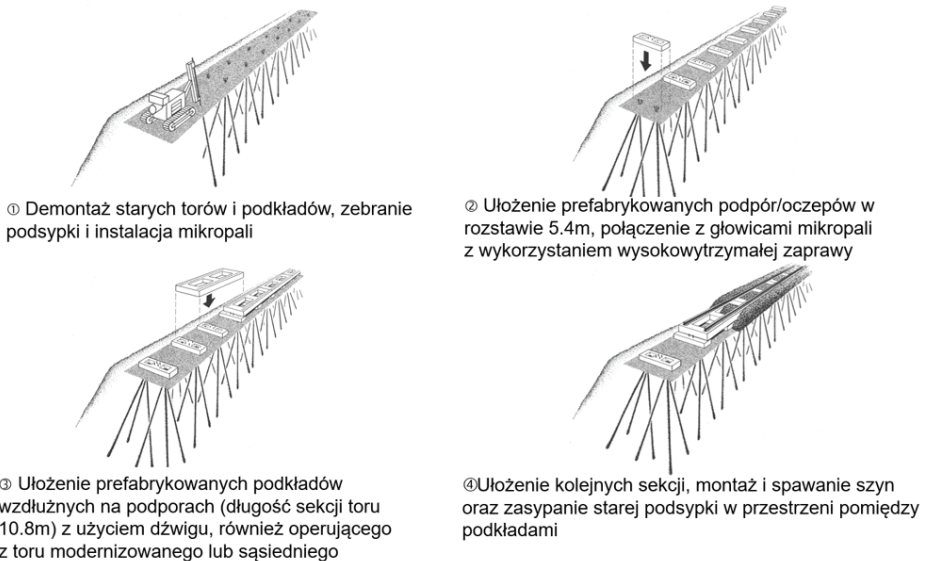
Wraz ze wzrostem prędkości pociągów i nacisków osi oraz koniecznością poprawy efektywności ekonomicznej (m.in. zmniejszenia kosztów utrzymania nawierzchni), na całym świecie rośnie popularność bezpodсыpkowych konstrukcji nawierzchni kolejowych. Do grona tych rozwiązań w 2010 roku dołączył system NFF (Neue Feste Fahrbahn) opracowany przez ThyssenKrupp GfT Gleistechnik GmbH we współpracy z Ischebeck GmbH.

Tym, co wyróżnia system NFF spośród innych konstrukcji bezpodсыpkowych, jest kompleksowe i innowacyjne podejście do warunków podparcia, które ze względu na trudne warunki geotechniczne, charakteryzujące modernizowane nasypy kolejowe, bywa krytycznym czynnikiem robót. By sprawne wykonanie torów lub ich wymiana możliwe było nawet na najtrudniejszych gruntach, system NFF charakteryzuje się konstrukcją zbliżoną do mostu (Rys. 3). Zamiast ciągłego podparcia na podbudowie, wykonane są izolowane fundamenty w postaci punktowo rozmieszczonych układów mikropali iniekcyjnych, trwale połączonych ze sztywnymi podporami (oczepami). Na nich zamocowane są precyzyjnie ustawione prefabrykowane wzdłużne podkłady żelbetowe. Składają się one z dwóch podłużnych belek połączonych trzema poprzecznicami zlokalizowanymi w miejscu podparć, tworzącymi prefabrykowany ruszt konstrukcyjny torów. Łączniki szyn gotowe do przytwierdzenia są wstępnie zamocowane do podkładów wzdłużnych, pozwalając na szybki montaż szyn (te, w razie potrzeby, mogą być również wstępnie zamon-

towane na podkładach). Cały system umożliwia odpowiednią rektyfikację. Kolejne etapy wymiany nawierzchni standardowej na NFF pokazano na rysunku 4.



Rysunek 3. Schemat konstrukcji nawierzchni bezpodsypkowej systemu NFF (ThyssenKrupp GfT Gleistechnik, 2012)



Rysunek 4. Schemat wymiany nawierzchni torowej w technologii bezpodsypkowej systemu NFF (Ischebeck, 2012)

Technologia NFF, dzięki wykorzystaniu mikropali samowierzących TITAN, pozwala zatem na uniezależnienie konstrukcji nawierzchni od warunków geotechnicznych, jedynie przez odpowiednie dopasowanie samego układu mikropali, bez zmiany reszty konstrukcji. Zatem, niezależnie od warunków geotechnicznych sztywność nawierzchni jest stała – jej moduł sprężystości wynosi 100 kN/mm.

W wyniku zastosowania technologii mikropali samowierzących oraz wysokiego stopnia prefabrykacji możliwa jest szybka instalacja w przerwach eksploatacyjnych kolei lub krótkich zamknięciach. Wszystkie prace mogą być prowadzone z toru, bez konieczności budowy dróg tymczasowych i bez zdejmowania linii napowietrznych itp. Z kolei modułowe wymiary – wielokrotność standardowego rozstawu tradycyjnych podkładów torowych – NFF może być stosowany w kombinacji z konwencjonalnymi konstrukcjami nawierzchni podsypkowych. Jak wszystkie konstrukcje bezpodsytkowe, charakteryzuje się również mniejszym hałasem i wibracjami, a przede wszystkim prostszym i tańszym utrzymaniem.

System został po raz pierwszy zainstalowany i opomiarowany na polu badawczym w Kalkwerk Wulfrath, w Niemczech w 2008 (Fot. 5). Pomiary osiadania na tym torze próbnym pokazały, że wzrost osiadania w latach 2008-2012 wyniósł zaledwie 2 mm, z tendencją spadkową. Wykazano też, że wymiana 120 m standardowej nawierzchni podsypkowej na NFF może być wykonana w ciągu jednej zmiany roboczej, włączając w to spawanie szyn. Aktualna niemiecka homologacja systemu NFF pozwala na jego nieograniczone stosowanie do prędkości 230 km/h i nacisku na oś 22.50 t, ale może być również prawie dowolnie dostosowany do innych wymagań (ThyssenKrupp GfT Gleistechnik, 2012).



Fot. 5. Nawierzchnia kolejowa bezpodsytkowa NFF po wykonaniu, Kalkwerk Wulfrath

4. Podsumowanie

Przedstawione przykłady rozwiązań dla inżynierii kolejowej są zaledwie namiastką możliwości, jakie daje kreatywne wykorzystanie samowiercących mikropali TITAN w trudnej specyfice realizacji kolejowych. Technologia ta umożliwia szybką realizację prac z zachowaniem ciągłości ruchu na modernizowanych liniach kolejowych i stworzenie mobilnego, samowystarczalnego zaplecza budowy, zorganizowanego w dowolnym miejscu infrastruktury trasowej. Co więcej, przywołane rozwiązania są nie tylko wygodne i bezpieczne w wykonawstwie, ale też – w przeciwieństwie do technologii tradycyjnych – trwałe i bezobsługowe w całym okresie eksploatacji.

Płynąca z charakterystyki opisanych technologii swoboda w kształtowaniu kolejowych konstrukcji inżynierskich wraz z ich wysoką niezawodnością i efektywnością ekonomiczną sprawiają, że wiele niewykonalnych dotychczas zamierzeń można przenieść do realnej fazy planowania inwestycji. Natomiast koncepcje realizowane do tej pory przy wielkiej uciążliwości dla użytkowników tras, można prowadzić znacznie racjonalniej i wydajniej.

Pozostaje zatem wyrazić nadzieję, że przedstawione rozwiązania geotechniczne staną się inspiracją do tworzenia nowych, ciekawych kreacji inżynierskich.

Bibliografia

- [1] Ischebeck, E., 2012. *Improved Railway Construction Design with Drilled and Grouted Micropiles TITAN*. Milan, 11th International Workshop on Micropiles.
- [2] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., 2018. *Mapa inwestycji ujętych w Krajowym Programie Kolejowym*. [Online] Available at: <http://www.plk-inwestycje.pl>. [Data uzyskania dostępu: 20 Sierpień 2018].
- [3] RW, 2017. *W nowej perspektywie do 2030 r. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. planuje inwestycje na 80 mld zł*. [Online] Available at: <https://kurierkolejowy.eu/aktualnosci/30585/w-nowej-perspektywie-do-2030-r--plk-planuje-inwestycje-na-80-mld-zl.html>
- [4] ThyssenKrupp GfT Gleistechnik, 2012. *Produktspezifikation*, Essen: ThyssenKrupp GfT Gleistechnik GmbH.
- [5] Urząd Transportu Kolejowego, 2017. *Sprawozdanie z funkcjonowania rynku transportu kolejowego w 2016 r*, Warszawa: Urząd Transportu Kolejowego.

