



Ryc. 1. Instalacja mikropali pod stopy trakcyjne w miejscowości Ptaszkowa, fot. Soley Sp. z o.o.

# Nowoczesne rozwiązania geotechniczne szansą na szybszą modernizację infrastruktury kolejowej

tekst: **NATALIA MACA**, projekt menedżer, Titan Polska Sp. z o.o.

Budownictwo kolejowe w Polsce przeżywa obecnie największą kumulację prac w historii. Oddaje to budżet *Krajowego programu kolejowego*, z którego do 2023 r. sfinansowane zostaną inwestycje o wartości ponad 66 mld zł w ramach ponad 220 projektów i modernizacji 9 tys. km torów [1]. Co więcej, w nowej perspektywie finansowej UE do 2030 r. PKP PLK SA planują realizację inwestycji na kwotę 80 mld zł [2].

## 1. Wstęp

Warto przytoczyć nieco danych statycznych o stanie polskiej infrastruktury kolejowej. Otóż długość eksploatowanych linii kolejowych w 2016 r. to nieco ponad 19 tys. km, z czego w stanie dobrym znajduje się jedynie 40% ogólnej długości torów. Oznacza to, że na ponad 25% sieci kolejowej w Polsce dopuszczalna prędkość nie przekracza 60 km/h [3]. Jednocześnie stale rośnie zapotrzebowanie na trasy o limicie prędkości powyżej 160 km/h i zwiększonych obciążeniach na oś (powyżej 22,5 t).

Nic zatem dziwnego, że inwestycje kolejowe obejmują przede wszystkim prace modernizacyjne na istniejących liniach i budowę krótkich odcinków nowych linii w newralgicznych miejscach sieci kolejowej, zwiększających efektywność zarówno

kolei pasażerskiej, jak i szlaków towarowych. Dopiero w dalszych planach jest budowa kolei dużych prędkości, co nie tylko usprawniłoby transport kolejowy, ale umożliwiło niesamowity skok jakościowy.

Niezależnie jednak od skali tych projektów, zawsze pojawiają się mniejsze lub większe wyzwania geotechniczne, związane najczęściej ze wzmacnianiem czy rozbudową torów kolejowych albo posadawianiem nowych, stabilizacją osuwisk oraz fundamentowaniem szerokiego wachlarza konstrukcji – od obiektów mostowych po ekrany akustyczne i elementy trakcyjne. Zadania te, nawet jeśli proste pod względem merytorycznym, to zazwyczaj – z powodu szczególnych uwarunkowań techniczno-logistycznych projektów kolejowych (zwłaszcza modernizacji) – wymagają indywidualnego podejścia i zastosowania rozwiązań

kompleksowych, często nietypowych, uwzględniających istotne wymagania i ograniczenia projektów kolejowych.

Jak pokazują krajowe i światowe doświadczenia w dziedzinie konstrukcji geotechnicznych, doskonale sprawdzają się tu rozwiązania bazujące na technologii samowierzących iniekcyjnych mikropali lub gwoździ gruntowych. W dalszej części artykułu przedstawiono przykłady ciekawych projektów kolejowych z wykorzystaniem technologii TITAN, które były realizowane z udziałem grupy Friedrich Ischebeck GmbH (w tym Titan Polska Sp. z o.o.). 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 już wspomniano, projekty rozbudowy i modernizacji poszczególnych elementów infrastruktury muszą uwzględniać specyficzne dla tej gałęzi inżynierii wymagania, mocno zawężając wachlarz stosowanych technologii.

Przede wszystkim znacząco ograniczony jest teren inwestycji, co wyklucza rozwiązania wymagające użycia ciężkiego sprzętu, szerokiego zakresu prac ziemnych, posiadania dużego zaplecza budowy czy zbudowania dróg technologicznych. Praca przy liniach kolejowych rozsianych na terenie całego kraju, często będących jedynymi drogami komunikacyjnymi na ubogich infrastrukturalnie terenach, jest nie lada wyzwaniem logistycznym. 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.

Jednocześnie w warunkach rosnących wymagań użytkowników linii kolejowych priorytetem zarządcy infrastruktury trasowej staje się czas realizacji i ograniczenie wyłączeń linii, bowiem 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 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 zastosowaniem zabezpieczenia przed oddziaływaniami dynamicznymi.

I wreszcie, do powyższej listy trudności należy dopisać jakość rozpoznania geologicznego, zwłaszcza w przypadku istniejących linii kolejowych. Często informacja geotechniczna jest bardzo ograniczona, brak danych archiwalnych, a wykonanie nowych sondowań i otworów geologicznych przez istniejący nasyp jest utrudnione albo wręcz niemożliwe, szczególnie 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 aby przy odmiennym od założonego układzie lub stanie warstw geotechnicznych móc osiągnąć wymagane parametry konstrukcji.

## 3. Przykłady umiejętnie dobranych rozwiązań geotechnicznych dla inżynierii kolejowej

### 3.1. Awaryjna wymiana konstrukcji wsporczych – posadowienie sieci trakcyjnej

Jednym z projektów, w którym wystąpiły opisane powyżej trudności, 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 osunięć 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 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 był możliwy właściwie jedynie przez remontowaną linię, bez sposobności zorganizowania w pobliżu zaplecza robót.

Taka specyfika projektu przesądziła o wykorzystaniu prostych fundamentów, opartych na mobilnej, a jednocześnie wszechstronnej (do zastosowania w dowolnych gruntach) technologii mikropali samowierzących, pracujących równie skutecznie na wciskanie, jak i wyciąganie, zapewniającej przeniesienie całości obciążeń działających na słup. Fundamenty te zaprojektowano jako żelbetowe, posadowione na zespołach czterech mikropali TITAN 73/53 o długości 18,0 m każdy. Mikropale zostały spięte 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 ocepów oraz zaplecze sprzętowe z zestawem iniekcyjnym. Same mikropale zainstalowano za pomocą masztu wiertniczego zamontowanego na ramieniu koparki, która również znajdowała się na wagonie (ryc. 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.

### 3.2. Wzmocnienie fundamentów słupów trakcyjnych

Jednym z typowych zadań związanych z modernizacją linii kolejowych jest wymiana napowietrznej infrastruktury liniowej. Często, tak jak podczas renowacji 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. Największym wyzwaniem w tego typu



Ryc. 2. Wzmocnienie fundamentów słupów trakcyjnych, Piwniczna, fot. Soley Sp. z o.o.



Ryc. 3. Wzmocnienie nasypu przez gwoździowanie z instalacją z toru, linia kolejowa Großenhain – Frauenhain

projektach nie jest jednak samo wzmocnienie, ale wykonanie go w ekstremalnie ograniczonym czasie, bez możliwości użycia dużego sprzętu (mała przestrzeń robocza), budowy stacjonarnego zaplecza czy przynajmniej wygodnych dróg technologicznych.

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

Opracowane rozwiązanie pozwoliło na precyzyjne i bardzo szybkie zrealizowanie prac modernizacyjnych. Również tutaj technologia TITAN umożliwiła stworzenie małego zaplecza technologicznego na platformach kolejowych, a same mikropale zostały zainstalowane przez niewielką, mobilną wiertnicę mieszczącą się na platformie, z uwzględnieniem ograniczonej skrajni toru (ryc. 2).

### 3.3. Stabilizacja nasypu kolejowego

Jak wspomniano na początku, wiele realizowanych obecnie projektów kolejowych związanych jest z naprawą czy dostosowaniem istniejących linii kolejowych do większych prędkości. Ponieważ większość z nich jest zlokalizowana na nasypach, z których spora część ma nawet ponad 100 lat, prace te polegają w dużej mierze na ich wzmocnieniu.

Nasypy kolejowe budowane były często 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 oddziaływanie opadów atmosferycznych wyfukało drobne cząstki, a wibracje dodatkowo rozluźniły pozostały szkielet gruntowy.

Mała gęstość górnych partii nasypów powoduje nierównomierne osiadanie torów. Różnica osiadań szyn wynosząca już ponad 10 mm wymaga zagęszczenia warstw podsypki, co

wiąże się z przerwami eksploatacyjnymi, ograniczeniem prędkości przejazdu i zwiększonymi kosztami utrzymania. Również dopuszczenie pociągów większych prędkości zwiększa wymagania dla istniejących nasypów pod kątem ich sztywności oraz stateczności ogólnej nasypu pod zwiększonym obciążeniem.

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

Jednocześnie wiercenie gwoździ gruntownych przez nasypy kolejowe, często z ukrytymi przeszkodami, bez możliwości stosowania orurowania, właściwie wyklucza technologie inne niż samowierzące (w której stateczność otworu jest zapewniona przez stosowanie płuczki cementowej). Tym bardziej, że dostęp do skarp nasypu często jest możliwy 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 zdecydowały o popularności tego rozwiązania.

Gwoździowanie jako wzmocnienie nasypu zostało wykorzystane wielokrotnie, m.in. w dużym projekcie modernizacji linii kolejowej Großenhain – Frauenhain (ryc. 3). O wyborze technologii samowierzących 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 gwoździe gruntowe TITAN 30/11 o długości 6–12 m w rozstawie 1,5 x 1,5 m.

### 3.4. Dobudowa nowego toru do istniejącego

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

Sytuacja taka miała miejsce podczas modernizacji SNCB linii 161 Schaerbeek – Namur – Ottignies w Belgii. W projekcie



Ryc. 6. Wykonanie gwoździ gruntowych dla dobudowy toru, linia kolejowa Schaerbeek – Namur

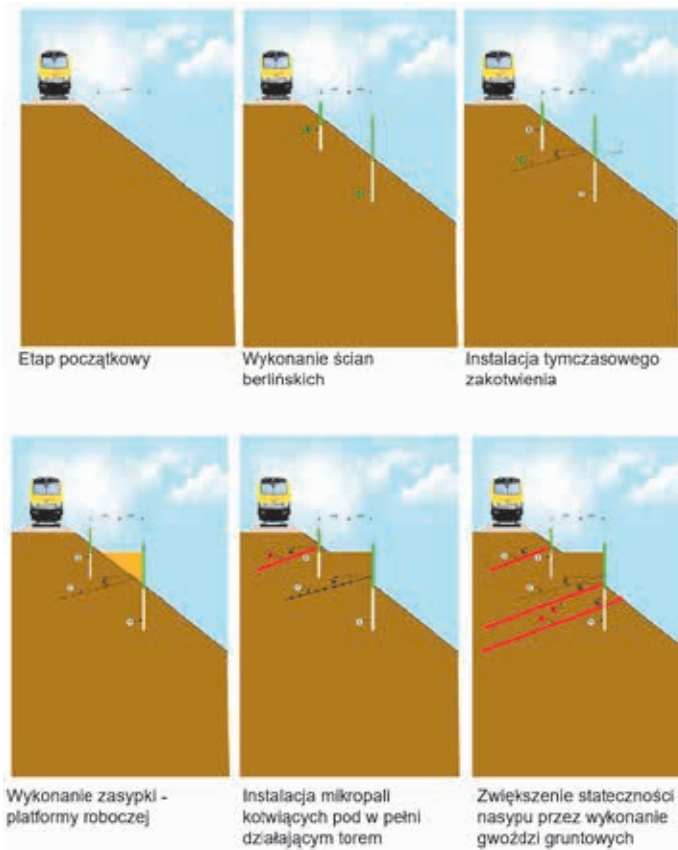
tym wykonywane było m.in. poszerzenie dwutorowej linii kolejowej do sześciu torów. Schemat opracowanego rozwiązania dobudowy toru na istniejącym nasypie, bazującego na wykonaniu dwóch kotwionych ścianek berlińskich, wzmocnienia istniejącego nasypu przez gwoździowanie oraz posadowienia prefabrykowanych układów torowych na mikropalach (wszystkie te elementy z wykorzystaniem technologii samowiercącej TITAN), przedstawiono na rycinach 4 i 5, a realizację na rycinie 6.

### 3.5. System NFF – budowa i modernizacja torów z wykorzystaniem prefabrykowanych nawierzchni bezpodspykowych

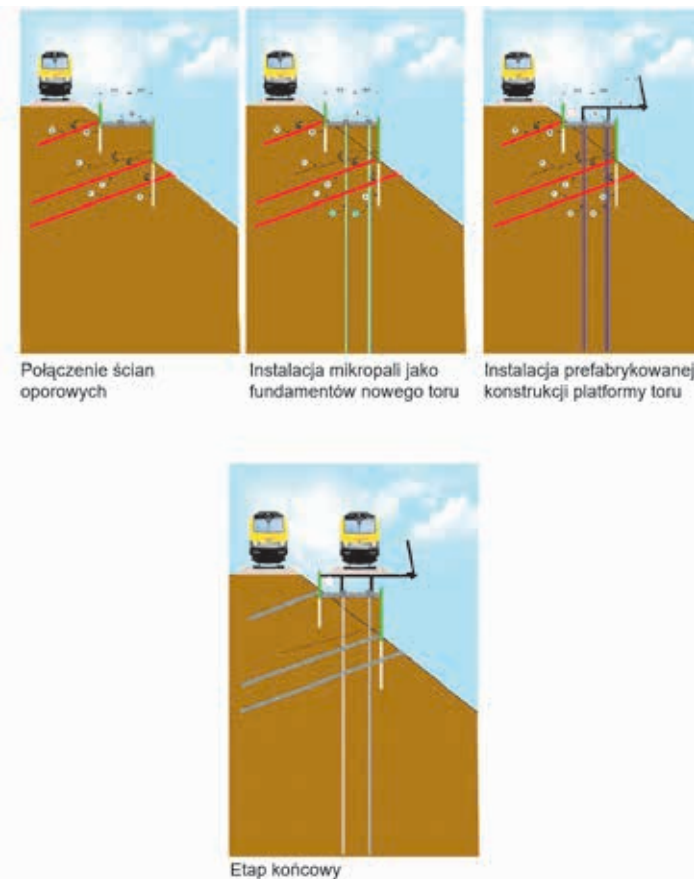
Wraz ze wzrostem prędkości pociągów i nacisków osi oraz koniecznością poprawy efektywności ekonomicznej (m.in. zmniejszenia kosztów utrzymania nawierzchni) na całym świecie rośnie popularność bezpodspykowych konstrukcji nawierzchni kolejowych. Do grupy tych rozwiązań w 2010 r. dołączył system NFF (Neue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

Tym, co wyróżnia system NFF spośród innych konstrukcji bezpodspykowych, 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 były nawet w najtrudniejszych gruntach, system NFF ma konstrukcję zbliżoną do mostu (ryc. 7). 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 poprzecznikami 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 (w razie potrzeby szyny mogą być również wstępnie zamontowane na podkładach). Cały system umożliwia odpowiednią rektyfikację. Poszczególne etapy wymiany nawierzchni standardowej na NFF pokazano na rycinie 8.

Technologia NFF, wykorzystująca mikropale samowierzące TITAN, daje możliwość niezależnienia konstrukcji nawierzchni od warunków geotechnicznych – właściwe posadowienie realizuje się jedynie przez odpowiednie dopasowanie samego układu mikropali, bez zmiany reszty konstrukcji. Niezależnie



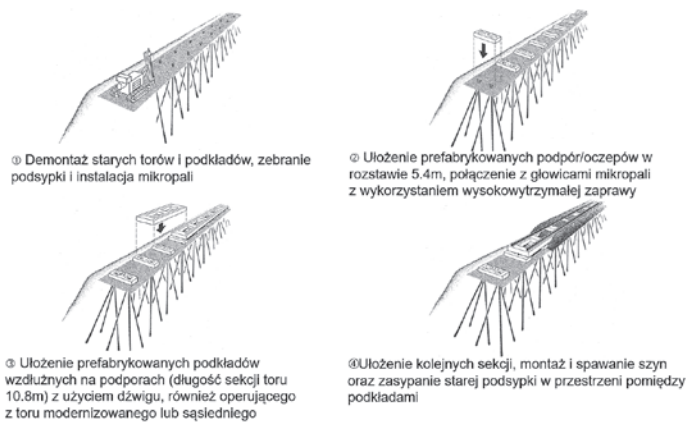
Ryc. 4. Etapy dobudowy nowego toru z wykorzystaniem systemowych platform prefabrykatowych, 1/2, linia kolejowa Schaerbeek – Namur



Ryc. 5. Etapy dobudowy nowego toru z wykorzystaniem systemowych platform prefabrykatowych, 2/2, linia kolejowa Schaerbeek – Namur



Ryc. 7. Schemat konstrukcji nawierzchni bezpodсыpkowej systemu NFF, za: [4]



Ryc. 8. Schemat wymiany nawierzchni torowej w technologii bezpodсыpkowej systemu NFF, za: [5]

więc od warunków geotechnicznych sztywność nawierzchni jest stała – jej moduł sprężystości wynosi 100 kN/mm.

Dzięki zastosowaniu technologii mikropali samowiercących 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 – powodują, że NFF może być stosowany w kombinacji z konwencjonalnymi konstrukcjami nawierzchni podsypkowych. Jak wszystkie konstrukcje bezpodсыpkowe, 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 Wülfrath w Niemczech w 2008 r. (ryc. 9). 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 [4].



Ryc. 9. Nawierzchnia kolejowa bezpodсыpkowa NFF po wykonaniu, Kalkwerk Wülfrath

#### 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 umożliwiła 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 projektów inżynierskich.

#### Literatura

- [1] Mapa inwestycji ujętych w Krajowym Programie Kolejowym (online). PKP PLK SA, 2018. Dostępny w Internecie <http://www.plk-inwestycje.pl/#/> (dostęp 20 sierpnia 2018).
- [2] RW: W nowej perspektywie do 2030 r. PLK planuje inwestycje na 80 mld zł. „Kurier Kolejowy” (online). 3 sierpnia 2017. Dostępny w Internecie: <https://kurierkolejowy.eu/aktualnosci/30585> (dostęp 15 sierpnia 2018).
- [3] Sprawozdanie z funkcjonowania rynku transportu kolejowego w 2016 r. Urząd Transportu Kolejowego. Warszawa 2017.
- [4] Produktspezifikation. ThyssenKrupp GfT Gleistechnik GmbH. Essen 2012.
- [5] Improved Railway Construction Design with Drilled and Grouted Micropiles TITAN. Friedrich Ischbeck GmbH. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Workshop on Micropiles. Milan 2012.

