

Jakie metody wzmacniania podłoża gruntowego są dziś najczęściej stosowane w budowie lub modernizacji linii kolejowych?



RAFAŁ SOBCZYK,
dyrektor Oddziału Centrum,
Keller Polska Sp. z o.o.

Rozwój nowoczesnej infrastruktury kolejowej, w tym projekt CPK i kolej dużych prędkości, oznaczają realizację największego programu infrastrukturalnego w Polsce od dekad. Budowa portu lotniczego wymaga nowoczesnych rozwiązań w zakresie planowania przestrzennego, logistyki i zarządzania przepustowością, a linie KDP – zastosowania technologii umożliwiających prędkości rzędu 250–300 km/h. Projekt obejmuje m.in. konstrukcję nowych torów o wysokich parametrach geometrycznych, wdrożenie systemów sterowania ruchem opartych na standardach ERTMS/ETCS, a także integrację węzłów kolejowych i terminali multimodalnych. Tego typu inwestycje zwiększają niezawodność i bezpieczeństwo transportu, zmniejszają obciążenie dróg oraz emisję spalin, a jednocześnie podnoszą poziom kompetencji technicznych w krajowym sektorze inżynierii-budowlanej.

Rozbudowa istniejącej oraz budowa nowej infrastruktury kolejowej w Polsce wymaga coraz bardziej zaawansowanych rozwiązań inżynierskich. Szczególnym wyzwaniem jest odpowiednie przygotowanie podłoża gruntowego, które stanowi fundament całej konstrukcji torowiska. To właśnie od jakości podłoża gruntowego, jego nośności i odporności na odkształcenia zależy stabilność i niezawodność linii kolejowej w długim okresie eksploatacji. W przypadku linii dużych prędkości, gdzie pociągi poruszają się z prędkością przekraczającą 200 km/h, wymagania wobec podłoża są jeszcze bardziej rygorystyczne – nie tylko ze względu na siły statyczne, ale również na oddziaływania dynamiczne, które przy tak dużych prędkościach taboru kolejowego stają się znaczącym akcentem podczas projektowania podłoża. Dodatkowo w odmienny sposób zostały zdefiniowane graniczne wartości przemieszczeń jako wyznacznik spełnienia stanów granicznych użyteczności, a kluczowym wymogiem podłoża jest zagwarantowanie jego osiadania w okresie użytkowania od momentu wykonania torowiska w zakresie dopuszczalnym.

Dlatego we współczesnym budownictwie kolejowym stosuje się szereg metod wzmacniania podłoża gruntowego. Dobór odpowiedniej metody jest procesem złożonym, zależnym od warunków gruntowych, geometrii podłoża, wymaganej nośności oraz dopuszczalnych przemieszczeń, a nawet warunków logistycznych prowadzonej budowy. Dodatkowo, uwzględniając wyzwania klimatyczne, emisja CO₂ zaczyna być znaczącym wskaźnikiem zrównoważonego rozwoju inwestycji budowlanej, więc w oczywisty sposób wpływa też na dobór metody wzmocnienia podłoża gruntowego. Uwzględniając przywołane uwarunkowania, najczęściej wybieranym

rozwiązaniem – szczególnie dla linii kolejowych przebiegających w otwartym terenie – jest wibrowymiana, czyli wykonywanie w gruncie kolumn z kruszywa (najczęściej żwiru lub mieszanki żwirowo-piaskowej). Technologia ta łączy w sobie dwa efekty – wprowadzenie w grunt materiału o wysokiej nośności oraz poprawę parametrów samego podłoża dzięki jego zagęszczeniu. Efektem jest redukcja osiadania, zwiększenie sztywności podłoża i bardziej efektywne rozpraszanie drgań. W praktyce metoda ta sprawdza się zarówno w budowie nowych nasypów, jak i w modernizacji istniejących odcinków, a dodatkowo charakteryzuje się najkorzystniejszym bilansem środowiskowym spośród najczęściej stosowanych metod wzmacniania podłoża gruntowego, ponieważ wykorzystuje naturalne materiały i pozwala ograniczyć emisję CO₂.

W przypadku konieczności zastosowania wzmocnienia podłoża gruntowego o większej sztywności, utrzymując wysoki standard emisyjności CO₂, mamy do dyspozycji wzmocnienie za pomocą kolumn DSM (ang. *deep soil mixing*). Technologia ta polega na mieszaniu gruntu za pomocą specjalnego mieszadła zamontowanego na klasycznej wiertnicy. W trakcie mieszania gruntu przez dysze umiejscowione w dolnej części mieszadła podawany jest pod ciśnieniem zaczyn cementowy, który wymieszany z gruntem tworzy tzw. cementogrunt. Technologia DSM cechuje się dużą różnorodnością i elastycznością zastosowań – oprócz wzmocnienia podłoża kolumny DSM mogą być stosowane do posadowienia nowo budowanych lub przebudowywanych obiektów inżynierskich, a także mogą stanowić konstrukcję zabezpieczenia wykopu. Istotną zaletą technologii DSM jest możliwość prowadzenia prac nawet w odległości ok. 1,5 km od bazy produkcyjnej, w której przygotowywany jest zaczyn cementowy. Dzięki temu możliwe jest wykonywanie robót na trudno dostępnych fragmentach linii kolejowych, np. w terenach leśnych, gdzie brak jest dróg dojazdowych lub istnieją ograniczenia w budowie tymczasowych tras technologicznych.

W warunkach miejskich lub tam, gdzie prowadzone są roboty tunelowe, stosuje się z kolei rozwiązania bardziej precyzyjne i ukierunkowane na ochronę istniejących obiektów. Należą do nich iniekcje kompensacyjne i iniekcje wysokociśnieniowe, które umożliwiają prowadzenie prac tunelowych w bardzo gęsto zabudowanej tkance miejskiej. Dobrym przykładem jest budowa tunelu średnicowego i budowa tunelu KDP w Łodzi, gdzie konieczne było zastosowanie połączenia kilku technologii, takich jak jet grouting, mikropale i iniekcje kompensacyjne, w celu wzmocnienia fundamentów budynków znajdujących się w strefie oddziaływania tunelowania, jak np. historycznego budynku Łódzkiego Domu Kultury, aby w rezultacie ograniczyć wpływ drżenia tarcz TBM na otoczenie. Ostateczny wybór technologii zależy od szeregu czynników. Kluczowe znaczenie mają warunki gruntowo-wodne i rodzaj podłoża, a także wymagania projektowe dotyczące dopuszczalnych osiadań i bezpieczeństwa dynamicznego toru. Równie istotne są uwarunkowania lokalizacyjne – inne metody stosuje się na terenach otwartych, a inne w gęsto zabudowanych centrach miast. W procesie decyzyjnym uwzględnia się również czas realizacji, koszty, a w ostatnich latach także wpływ środowiskowy danej technologii.