

Wzmocnienie podłoża gruntowego pod nasypy kolejowe za pomocą kolumn żwirowych i żwirowo-betonowych, na przykładzie remontu i modernizacji linii kolejowej E65 na odcinku Ciechanów - Mława

Sławomir Teżyk

Artykuł dotyczy zastosowania technologii wibrowymiany do wzmocnienia słabonośnych gruntów pod nasypami kolejowymi. Rozwój technologiczny wymusza konieczność modernizacji kolei i przystosowanie jej do zwiększenia prędkości pociągów oraz poprawy komfortu i bezpieczeństwa podróży. Jednym z elementów pozwalających na poprawienie warunków posadowienia istniejących oraz nowych nasypów kolejowych są techniki wzmocnienia gruntu za pomocą kolumn żwirowych i żwirowo-betonowych, co zostało opisane w niniejszym referacie na przykładzie remontu i modernizacji linii kolejowej E-65 na odcinku Ciechanów-Mława.



mgr inż. Sławomir Teżyk
Keller Polska Sp. z o.o.
Główny Inżynier
stezyk@keller.com.pl

Rozwój techniczny ostatnich lat wymusił konieczność modernizacji kolei i przystosowania jej do nowoczesnych rozwiązań technologicznych, których efektem jest możliwość zwiększenia prędkości pociągów, poprawy komfortu oraz bezpieczeństwa podróży.

Jednym z elementów wpływającym na możliwość realizacji modernizacji istniejących podtorzy są techniki wzmocnienia gruntu pod nasypy kolejowe za pomocą kolumn żwirowych i żwirowo-betonowych wykonywanych w technologii wibrowymiany.

Firma Keller Polska Sp. z o.o. posiada duże doświadczenie przy wykonywaniu wzmocnień podłoża gruntowych za pomocą kolumn żwirowych i żwirowo-betonowych wykorzystywanych przy budowie wielu dużych inwestycji drogowych i kubaturowych realizowanych w ostatnich latach, takich jak: budowa autostrad A-1, A-2, A-4, S7, S17, S19, Trasa Mostu Północnego, Trasa Siekierowska, budowa stadionu w Gdańsku i Stadionu Narodowego w Warszawie.

Dotychczasowe doświadczenia projektowe i wykonawcze firmy Keller Polska Sp. z o.o. oraz firm należących do Keller Group przy realizacji podobnych inwestycji, jak np. wzmocnienie podłoża gruntowego pod nasypy szybkiej kolei na trasie Berlin – Hamburg, Berlin – Magdeburg czy w Hanowerze

posadowionych na podłożu wzmocnionym kolumnami żwirowymi i żwirowo-betonowymi [8], okazały się bardzo pomocne przy wyborze sposobu wzmocnienia podłoża gruntowego pod nasypy kolejowe wykonywane w ramach projektu „Modernizacja linii kolejowej E65/CE65 Warszawa – Gdynia obszar LCS Ciechanów”.

Badania na etapie projektowym

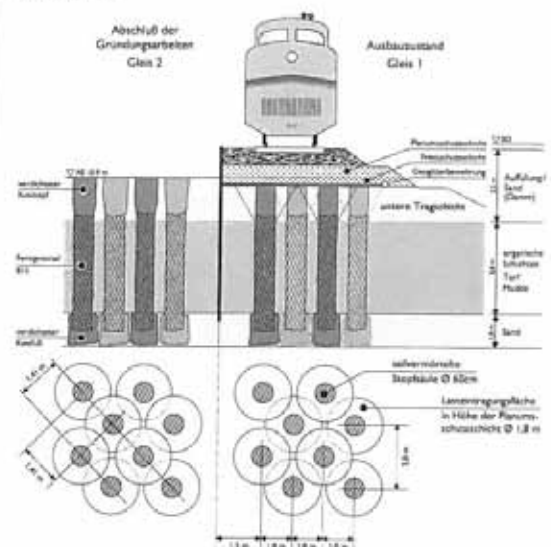
Na etapie projektu budowlanego podstawą do wykonania projektu były wcześniej wykonane badania geotechniczne podłoża gruntowego pod nasypami kolejowymi firmy GEOPARTNER, Kraków 03.2007. Badania

te w wielu miejscach była wykonana zbyt płytko, co nie pozwalało na precyzyjne dobranie parametrów wzmocnienia podłoża gruntowego [1]. Wykonanie prawidłowego rozpoznania geotechnicznego na pełną głębokość zalegania warstw słabonośnych lub organicznych stało się koniecznością przy wykonywaniu dokumentacji wykonawczych wzmocnienia podłoża gruntowego, gdyż jak się okazało, w niektórych miejscach grunty organiczne zalegały do 10 – 12 poniżej poziomu terenu. Dokumentację geotechniczną wszystkich odcinków przeznaczonych do wzmocnienia wykonała firma PUP SOIL, Bydgoszcz 2011[7].

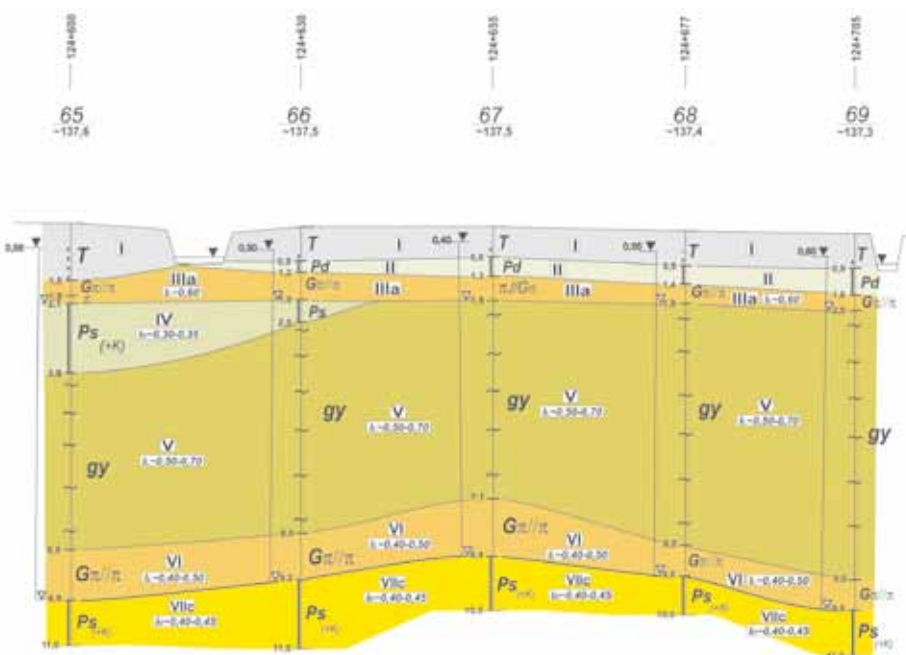


Bauherr
Deutsche Bahn AG - Planungsgesellschaft Bahnbau
Deutsche Einheit mbH, Berlin

Im Zuge des Ausbaues der Strecke Hamburg - Berlin wird ein 5.000 m langes Teilstück des 150 Jahre alten Bahndammes zwischen den Bahnhöfen Friesack und Vietznitz für Geschwindigkeiten von 160 - 200 km/h ertüchtigt.



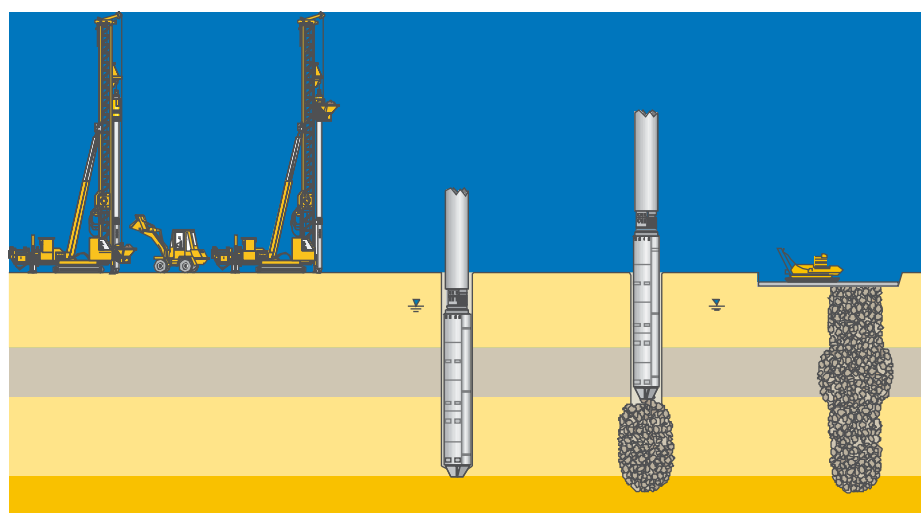
1. Przykład realizacji wzmocnienia na linii kolejowej Hamburg – Berlin [3]



2. Przykładowy częściowy przekrój geotechniczny obszaru do wzmocnienia (km 124) [7]



3. Wykonywanie kolumn żwirowo-betonowych KSS/FSS wibratorem wglębnym metodą wibrowymiany na odcinku „prostowania torów” (km 125)



4. Schemat etapów wykonania kolumn żwirowych KSS i żwirowo-betonowych KSS/FSS wibratorem wglębnym metodą wibrowymiany [3]

Wzmocnienie podłoża gruntowego pod nasypy kolejowe

Na podstawie oceny warunków gruntowo-wodnych przyjęto do wykonania posadowienie modernizowanego torowiska linii kolejowej E-65 na podłożu wzmocnionym kolumnami żwirowo-betonowymi KSS/FSS oraz żwirowymi KSS systemu Kellera. Układy i rozstaw kolumn zaprojektowano zgodnie z założeniami projektu budowlanego z uwzględnieniem geometrii nasypów [5].

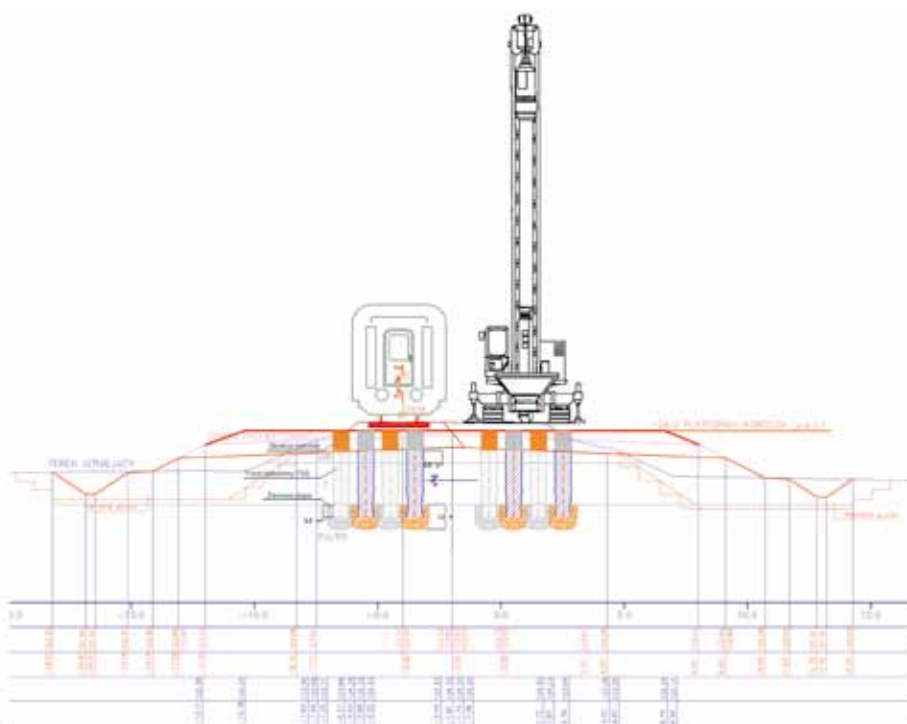
Wykonawstwo kolumn żwirowych i żwirowo-betonowych

Kolumny KSS/FSS i KSS wykonuje się wibratorem wglębnym z rdzeniowym (tzn. wewnętrznym) podawaniem materiału. W pierwszej fazie, tj. w czasie formowania podstawy, dogęszcza się podłoże i podaje dodatkowo gruboziarniste kruszywo dla uformowania żwirowej stopy kolumny. W drugiej fazie, tj. w czasie formowania trzonu kolumny w obrębie gruntów słabonośnych podaje się ubijalny beton klasy **B15** (KSS/FSS). W trzeciej, końcowej fazie, ponownie podaje się kruszywo, co pozwala uformować żwirową głowicę kolumny, która zapewnia podatny charakter podparcia nasypu torowiska. Uziarnienie kruszywa dla poszerzonej stopy żwirowej oraz głowicy kolumny powinno mieścić się w przedziale od 0 do 40 mm. Istotną cechą opisanego rozwiązania jest dostosowanie długości każdej kolumny do rzeczywistych warunków gruntowych w danym punkcie ze względu na ciągły pomiar oporu penetracji wibratora w podłożu. Cechą charakterystyczną przyjętego rozwiązania posadowienia nasypu kolejowego na podłożu wzmocnionym kolumnami KSS/FSS i KSS, które traktuje się jako elementy przestrzennego wzmocnienia gruntu, jest ich zdolność do znacznego zredukowania osiadania generowanego przede wszystkim w gruntach słabych. Wykonanie żwirowej głowicy ponad betonowym trzonem kolumny zapewnia zachowanie podatnego charakteru podparcia nasypu kolejowego.

Średnica kolumn żwirowo-betonowych wynosi od 0,6 do 0,8 m i zależy od podatności bocznej gruntu, tj. w warstwach słabych jest większa a w gruntach mocniejszych – mniejsza [3].

Zakres robót wzmocnienia

W ramach robót wzmocniających podłoże gruntowe pod nasypy kolejowe linii kolejowej E65 na odcinku Ciechanów – Mława wykonano 117.089,3 m biejących kolumn, większość z nich zgodnie z projektem, natomiast w niektórych przypadkach były znaczące odstępstwa. Dzięki urzędze-



5. Schemat wykonanych kolumn żwirowych KSS i żwirowo betonowych FSS [5]



6. Prace przy wykonywaniu kolumn żwirowo-betonowych w bezpośredniej bliskości czynnego toru w rejonie km 106

niom zainstalowanym na naszych maszynach byliśmy w stanie kontrolować długość kolumn w stosunku do przebiegu warstw nośnych.

Razem wykonano 15.003 sztuk kolumn żwirowych i żwirowo-betonowych o łącznej długości 117.089 mb. Do wykonania kolumn żwirowych stosowano naturalne kruszywo mineralne o uziarnieniu ciągłym od 0 mm do 40 mm, a betonowy trzon kolumn FSS wykonywano z ubijanego betonu C 12/15 wykonanym na kruszywie 0 – 40 mm [2].

Dobre rozpoznanie geotechniczne pozwoliło na dokładne sprecyzowanie zakresu robót w poszczególnych kilometrażach, co pozwoliło na optymalizację zakresu wzmocnienia. W kilku przypadkach rozszerzono zakres wzmocnienia o tereny, na których podczas prac ziemnych ujawniły się problemy geotechniczne. Każdorazowo wykonano dodatkowe badania geotechniczne. Podczas wykonywania kolumn żwirowo-betonowych na poszczególnych odcinkach każdorazowo analizowano zapisy

elektroniczne oporu gruntu podczas formowania stopy i trzonu kolumny. Po analizie zapisów elektronicznych kolumn żwirowo-betonowych wykonanych od km 124+577 do km 124+655 oraz od km 124+713 do km 124+755 stwierdzono występowanie gorszych warunków geotechnicznych w poziomie posadowienia niż zakładano w Dokumentacji Wykonawczej. Zlecono wykonanie dodatkowych badań geotechnicznych w strefie występowania gruntów słabonośnych. Wykonane badania potwierdziły obawy i pozwoliły stwierdzić głębiej zalegające warstwy gruntów organicznych po stronie zachodniej osi toru nr 2 w km od 124+577 do km 124+598 i w km od 124+617 do km 124+652 oraz w km 124+713 do km 124+755 oraz na małym fragmencie nasypu po stronie wschodniej osi toru nr 1 od km 124+647 do km 124+655. Po konsultacji z projektantem wzmocnienia podłoża gruntowego i Inspektorem Nadzoru zgodnie z p.8 pp.2 Projektu Wykonawczego zaproponowano wykonanie kolumn uzupełniających w celu uzyskania prawidłowych parametrów wzmocnienia podłoża gruntowego [2,5,6,7].

Kontrola jakości robót

W ramach kontroli jakości wykonywanych robót każda kolumna musi mieć metrykę wykonania obejmującą: numer kolumny, datę wykonania, zagłębienie wibratora poniżej poziomu roboczego, ilość zużytego kruszywa na wykonanie stopy żwirowej, długość betonowego trzonu kolumny, ilość zużytego betonu. Poza tym maszyny wykonujące kolumny KSS i FSS wyposażone są w automatyczne urządzenia rejestrujące parametry wykonawstwa. Rejestracja podlega głębokość, opory pogrążania, prędkość pogrążania i podciągania, natężenie prądu, itp. Wartości natężenia prądu w czasie formowania stopy i trzonu kolumny należy traktować jako parametry pomocnicze, które pozwalają na bieżącą i pośrednią ocenę wykonania kolumny na budowie.

W celu kontroli ciągłości kolumn żwirowych i osiągnięcia wymaganego modułu ścisłości założonego projektowo na poziomie $M = 90$ MPa wykonywano sondowania dynamiczne trzonów kolumn sondą SD 30 w ilości jedno sondowanie na 100 kolumn. W celu sprawdzenia stanu wzmocnienia nasypów wykonywano również kontrolne sondowania nasypu kolejowego co 25 m i porównywano ze stanem przed wzmocnieniem. Sprawozdanie z wyników kontrolnych sondowań dynamicznych każdorazowo załączano do przekazywanej dokumentacji powykonawczej.

Sprawdzeniu podlega również wytrzymałość próbek betonu użytego do formowania kolumn oraz lokalizacja i ilość wykonanych kolumn[2,5].

