

# Wiarygodność danych geotechnicznych przy projektowaniu modernizacji i napraw linii kolejowych

## Reliability of the geotechnical data for the modernization and repair of railways



**Andrzej Batog**

dr inż.

Politechnika Wrocławska, Wydział  
Budownictwa Lądowego i  
Wodnego

andrzej.batog@pwr.edu.pl



**Maciej Hawrysz**

dr inż.

Pracownia Badań  
Geotechnicznych GHEKO Wrocław

maciej.hawrysz@pwr.edu.pl

**Streszczenie:** Artykuł dotyczy przepisów i wytycznych stosowanych w kolejnictwie z zakresu projektowania geotechnicznego, programowania i wykonawstwa badań podtorza. Zawarto w nim dyskusję dotyczącą doboru metod badań podtorza zapewniających uzyskanie wiarygodnych danych geotechnicznych na potrzeby modernizacji i napraw linii kolejowych. W artykule przedstawiono przykład dotyczący powstania błędów, jakie pojawiły się podczas programowania i interpretacji wyników badań podtorza jednego z odcinków modernizowanej linii kolejowej na południu Polski. Pokazano wpływ popełnionych błędów na ocenę stateczności skarp nasypu kolejowego.

**Słowa kluczowe:** Nasypy kolejowe; Podłoże gruntowe; Badania geotechniczne

**Abstract:** The article concerns the rules and guidelines used for geotechnical design, subsoil investigation procedures and geotechnical investigation methods of railway lines. The discussion of the soil investigation methods, which provide obtaining reliable geotechnical data for the modernization and repair of railway lines is presented. The article presents a comprehensive example of errors made during the programming and performing of soil investigations of the modernized railway line. The impact of soil investigation errors on the slope stability of the railway embankment is discussed.

**Keywords:** Railway embankments; Subsoil; Geotechnical investigation

Począwszy od drugiej połowy lat 90-tych minionego wieku w kraju prowadzono intensywne działania projektowe i wykonawcze dotyczące modernizacji linii kolejowych. W okresie tym następowały również zmiany w przepisach dotyczących badań podłoża oraz projektowania geotechnicznego w kolejnictwie.

W artykule przedstawiono stosowanie w kolejnictwie przepisy z zakresu projektowania geotechnicznego, programowania i wykonawstwa badań podtorza. Zawarto dyskusję dotyczącą metod badań zapewniających uzyskanie wiarygodnych danych geotechnicznych na potrzeby projektowania modernizacji i napraw linii kolejowych oraz przedstawiono obszerny przykład wpływu błędów w programowaniu badań geotechnicznych i interpretacji ich wyników na rozwiązania projektowe odcinka modernizowanej linii kolejowej.

### Wytyczne badań podłoża gruntowego na potrzeby budowy i modernizacji infrastruktury kolejowej

Podstawowe wytyczne dotyczące warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie zawiera rozporządzenie MTiGM nr 987 z dnia 1998 r. [2]. Zawarte w nim zapisy dotyczące badań geotechnicznych oraz analiz stateczności skarp są skromne i ogólnikowe. Bardziej konkretne wytyczne zawierała norma branżowa z 1988 r. „Podtorze i podłoże kolejowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania” [1]. Jednakże wpływ czasu, postęp techniczny i publikacje kolejnych przepisów znacząco zdezaktualizowały zapisy tej normy.

Następne wytyczne z zakresu rozpoznania podłoża gruntowego i projektowania geotechnicznego podtorza kolejowego przynosiły kolejne wyda-

nia instrukcji dotyczących utrzymania podtorza kolejowego wydawane przez Zarząd PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. W Instrukcji o utrzymaniu podtorza kolejowego D4 z 1996 r. [3] oraz w „Warunkach technicznych utrzymania podtorza kolejowego” Id-3(D-4) z 2004 r. [4] zagadnienia geotechniczne zostały potraktowane marginalnie, brakowało zapisów dotyczących analiz stateczności skarp. Braki te zostały po części uzupełnione w kolejnej edycji przepisów z roku 2009 w Instrukcji „Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego Id-3” [5], która zawiera wytyczne dla projektowania geotechnicznego nasypów oraz badań geotechnicznych podłoża i podtorza, w tym zalecenia dotyczące doboru punktów badawczych, zakresu badań polowych i laboratoryjnych.

Instrukcja zawiera wytyczne postępowania dla różnych przypadków występowania złożonych i skompli-

kowanych warunków gruntowych w podłożu.

W ciągu kilku lat po wydaniu instrukcji Id-3 z 2009 r. w przepisach z zakresu projektowania geotechnicznego oraz badań geotechnicznych podłoża nastąpiły istotne zmiany. Z dniem 31.03.2010 Polski Komitet Normalizacyjny wycofał 39 Polskich Norm stosowanych od dziesięcioleci w praktyce projektowej zastępując je odpowiednimi Eurokodami. W zakresie projektowania geotechnicznego wprowadzono Eurokod 7 oraz szereg norm PN EN ISO. W tej sytuacji na zlecenie Zarządu PKP PLK S.A. opracowana została w 2015 r. szczegółowa instrukcja Igo-1 [6] (z uzupełnieniami z 2016 r. [7]) dotycząca badań geotechnicznych podłoża na potrzeby budowy i modernizacji infrastruktury kolejowej, która w pełni opiera się na aktualnie obowiązujących normach i przepisach. Instrukcja jednoznacznie określa zasady projektowania prac, badań i robót geologicznych oraz programowania badań geotechnicznych służących do ustalania przydatności podłoża gruntowego i oceny warunków posadowienia obiektów liniowych. W zakresie projektowania geotechnicznego jednoznacznie zaleca stosowanie Eurokodu 7, co nie we wszystkich aspektach projektowania można uznać za korzystne. O zagrożeniach związanych z modernizowaniem nasypów kolejowych w oparciu o Eurokod 7 i normy PN EN ISO autorzy pisali na łamach Przeglądu komunikacyjnego w 2012 [11]. Inną fundamentalną zmianą, przez autorów uważaną za korzystną, jest zdecydowane ograniczenie stosowania normy PN-81/B-03020 [8] dla ustalania wartości parametrów geotechnicznych, w tym dla potrzeb analiz stateczności skarp nasypów kolejowych.

Instrukcja Igo-1 [7] jest aktualizacją oraz uszczegółowieniem nadal obowiązującej instrukcji Id-3 z 2009 r. [5], która przenosi z Eurokodu 7 i norm z nim powiązanych bardzo obszerny zakres pojęć, definicji i wytycznych, których wprowadzenie do praktyki projektowej w kolejnictwie będzie znacznym wyzwaniem dla utartych przyzwyczajzeń i dotychczas stosowanych proce-

dur dotyczących programowania badań geotechnicznych i wykonawstwa badań podłoża gruntowego.

## Przykład niewłaściwego programowania badań geotechnicznych

Dla ilustracji problemu przedstawiono przykład opracowanej w 2015 r. dokumentacji dla potrzeb modernizacji trzykilometrowego odcinka drugorzędowej linii kolejowej na południu Polski, gdzie bardzo rutynowe podejście dotyczące doboru zakresu i rodzaju badań geotechnicznych spowodowały konieczność ich kilkukrotnego uzupełniania a z kolei uzyskane wyniki, początkowo korzystne, w wyniku przeprowadzonych weryfikacji przez zespół geotechników, wskazały na istotne zagrożenia dla eksploatacji badanego odcinka linii kolejowej.

### 1. etap badań geotechnicznych

Pierwsze dane dotyczące warunków geotechnicznych w podłożu i nasypie przyniosła standardowo wykonana dokumentacja geotechniczna obejmująca 54 otworów badawczych (zlokalizowanych na koronie nasypu i u podstawy po obu jego bokach) oraz 18 sondowań dynamicznych wykonanych z korony nasypu. Rozpoznanie przeprowadzono do głębokości 3,0 m poniżej poziomu terenu pod nasypem i po obu jego stronach. Badania laboratoryjne obejmowały jedynie kilka analiz sitowych oraz oznaczeń stanów gruntów spoistych. Na tej podstawie, dla 18 p[poprzecznych przekrojów badawczych określono układ i następstwo litologiczne warstw gruntów, wydzielono szereg warstw geotechnicznych pod względem rodzaju i stanu gruntów jak również podano wprowadzone wartości ich parametrów geotechnicznych.

Górne partie nasypu rozpoznano jako zbudowane z materiału antropogenicznego w postaci mieszaniny kamieni, gleby, żuźla i gruntów rodzimych o zmiennej miąższości, ogólnie w stanie średnio zagęszczonym. Poniżej nasyp formują grunty spoiste o

zmiennej spoistości (od piasków gliniastych, przez gliny do glin pylastych zwięzłych), głównie w stanie twardoplastycznym., bliskim plastycznemu  $I_L = 0,20 - 0,24$ . Z kolei w podłożu nasypu do głębokości 3,0 m rozpoznano jedynie występowanie gruntów spoistych (głównie średnio spoistych) w stanie od twardoplastycznego do plastycznego  $I_L = 0,20 - 0,39$ .

Ustalone wówczas stany gruntów spoistych i niespoistych prognozowały brak problemów z odpowiednią statecznością nasypu i nośnością jego podłoża.

Jednakże w trakcie analizy tej dokumentacji, zastrzeżenia wzbudziło rażąco niewielkie zróżnicowanie układu warstw gruntowych na całym 3 kilometrowym odcinku trasy. W szczególności fakt, że w każdym z wygenerowanych przekrojów poprzecznych, w podłożu nasypu została wydzielona tylko jedna lub sporadycznie dwie warstwy gruntów spoistych.

### 2. etap badań geotechnicznych

W celu rozstrzygnięcia wątpliwości dotyczących dokładności i jakości rozpoznania warunków geotechnicznych przeprowadzono dodatkowe rozpoznanie za pomocą sondowań statycznych sondą CPTU, wykonanych w punktach badawczych zlokalizowanych na koronie nasypu w sąsiedztwie wcześniejszych otworów badawczych dla każdego z 18-tu przekrojów geotechnicznych. Głębokość rozpoznania CPTU przyjęto nie mniejszą niż głębokość wcześniejszych wierceń badawczych.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono występowanie szeregu rozbieżności w rozpoznaniu gruntów, w tym:

- grunty spoiste w nasypie występują generalnie w stanie plastycznym  $I_L = 0,30 - 0,45$  wobec stanu twardoplastycznego  $I_L = 0,20-0,24$  ustalonego w poprzedniej dokumentacji,
- w podłożu bezpośrednio pod nasypem zamiast gruntów twardoplastycznych stwierdzono występowanie gruntów spoistych w

stanie plastycznym  $I_L = 0,30 - 0,45$  również w stanie mniej korzystnym niż poprzednio;

- w podłożu, dla ponad połowy badanego odcinka linii rozpoznano za pomocą sondowania CPTU występowanie warstw gruntów niespoistych (piaski drobne, średni i grube) o zmiennym stanie zagęszczenia  $I_D = 0,30 - 0,80$ , których nie stwierdzono w poprzedniej dokumentacji.

W tej sytuacji, badań tych nie można było uznać za rozstrzygające. Biorąc pod uwagę metodykę badań podłoża należy zauważyć, że w przypadku dobrze wykonywanych wierceń badawczych, rodzaj i stan gruntów jest rozpoznawany na materiale gruntowym (próbki) wydobytych z otworów badawczych, natomiast w przypadku sondowania CPTU, rodzaj i stan gruntów określany jest pośrednio, na podstawie interpretacji parametrów mierzonych na stożku sondy (oporów  $q_c$  i  $f_s$  oraz ciśnienia porowego  $u_2$ ). Ocena warunków geotechnicznych na podstawie badań CPTU jest zatem dodatkowo obciążona ewentualnymi niedokładnościami formuł interpretacyjnych, co w szczególności może być istotne w przypadku gruntów antropogenicznych (nasypanych), jako że popularnie stosowane (np. nomogramy Robertsona, Młynarka) dotyczą zasadniczo gruntów rodzimych.

Wobec istotnych rozbieżności między obu dokumentacjami, w celu dostarczenia dodatkowych danych, autorzy wskazali trzy przekroje, w których wykonano dodatkowe wiercenia i sondowania z korony nasypu w celu weryfikacji rodzaju i stanu gruntów, jak również zlecono wykonanie badań laboratoryjnych parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych dla reprezentatywnych próbek gruntowych o nienaruszonej strukturze i zachowanej wilgotności (próbki Kat. A).

### 3. etap badań geotechnicznych

W trzech reprezentatywnych (z osiemnastu) przekrojach geotechnicznych wykonano dodatkowe wiercenia badawcze i sondowania dynamiczne

**Tab. 1.** Porównanie wyników badań parametrów fizycznych gruntów w przekroju nr 8

Rodzaj warstwy	Etap 1 wiercenia badawcze		Etap 2 sondowania statyczne		Etap 3 badania weryfikacyjne	
	przelot w-y	stan	przelot w-y	stan	przelot w-y	stan
Nasyp – grunt spoisty	1,6 – 3,6 m	$I_L = 0,21$	1,2 – 2,0 m 2,0 – 3,8 m	$I_L = 0,25$ $I_L = 0,45$	1,4 – 2,8 m	$I_L = 0,47$
Podłoże – grunty spoiste	3,6 – 6,5 m	$I_L = 0,21$	3,8 – 4,5 m	$I_L = 0,45$	2,8 – 3,6 m 3,6 – 4,8 m	$I_L = 0,47$ $I_L = 0,35$
Podłoże – grunty niespoiste	brak	-	4,5 – 6,2 m 6,2 – 7,5 m	$I_D = 0,48$ $I_D = 0,80$	4,8 – 6,4 m 6,4 – 8,0 m	$I_D = 0,66$ $I_D = 0,83$

**Tab. 2.** Porównanie wyników badań parametrów fizycznych gruntów w przekroju nr 12

Rodzaj warstwy	Etap 1 wiercenia badawcze		Etap 2 sondowania statyczne		Etap 3 badania weryfikacyjne	
	przelot w-y	stan	przelot w-y	stan	przelot w-y	stan
Nasyp – grunt spoisty	1,5 – 4,3 m	$I_L = 0,21$	0,2 – 3,4 m	$I_L = 0,40$	0,6 – 3,2 m	$I_L = 0,40$
Podłoże – grunty spoiste	4,3 – 7,5 m	$I_L = 0,33$	3,4 – 5,4 m	$I_L = 0,40$	3,2 – 4,7 m 4,7 – 7,3 m	$I_L = 0,14$ $I_L = 0,51$
Podłoże – grunty niespoiste	brak	-	5,4 – 6,1 m 6,1 – 7,5 m	$I_D = 0,30$ $I_D = 0,60$	7,3 – 8,0 m	$I_D = 0,73$

**Tab. 3.** Porównanie wyników badań parametrów fizycznych gruntów w przekroju nr 15

Rodzaj warstwy	Etap 1 wiercenia badawcze		Etap 2 sondowania statyczne		Etap 3 badania weryfikacyjne	
	przelot w-y	stan	przelot w-y	stan	przelot w-y	stan
Nasyp – grunt spoisty	1,9 – 3,2 m	$I_L = 0,22$	0,6 – 3,2 m	$I_L = 0,30$	1,4 – 3,2 m	$I_L = 0,41$
Podłoże – grunty spoiste	3,2 – 6,0 m	$I_L = 0,22$	3,2 – 5,8 m	$I_L = 0,35$	3,2 – 4,4 m 4,4 – 6,4 m	$I_L = 0,20$ $I_L = 0,41$
Podłoże – grunty niespoiste	brak	-	5,8 – 6,8 m 6,8 – 8,0 m	$I_D = 0,50$ $I_D = 0,30$	6,4 – 8,0 m	$I_D = 0,64$

DPSH do głębokości 8,0 m poniżej korony nasypu w celu uzyskania rozstrzygających danych dla weryfikacji opisanych wyżej rozbieżności między wcześniej wykonanymi dwoma dokumentacjami geotechnicznymi.

Porównanie wyników uzyskanych w trzech kolejnych etapach badań dla trzech przekrojów geotechnicznych zawarto w tabelach 1 - 3. Zwracają uwagę znaczne różnice wydzieleni pionowych granic poszczególnych rodzajów gruntów jak również różnice w ich stanach.

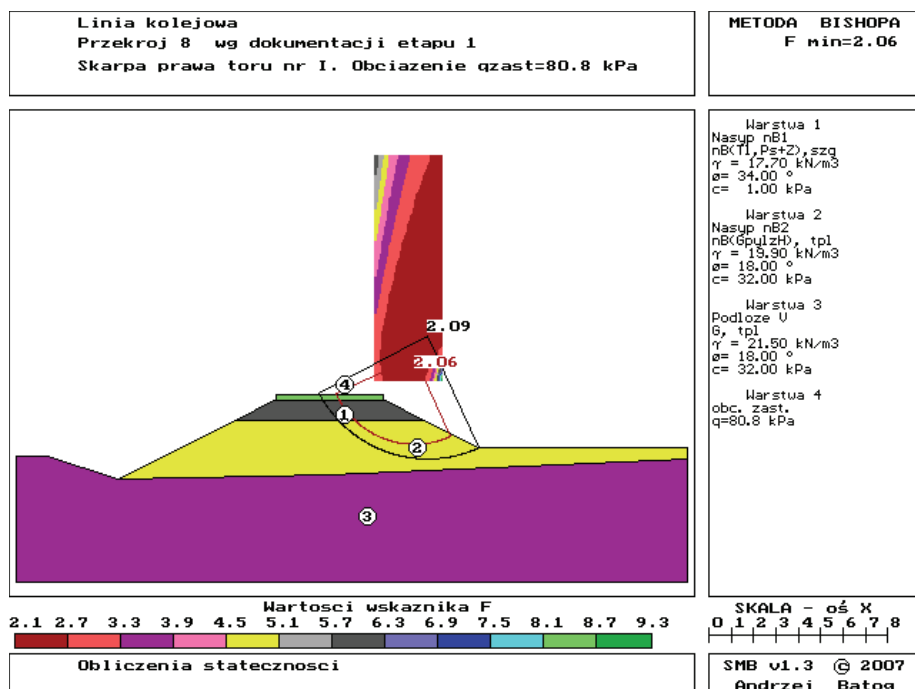
Uzyskane wyniki wykazały na pełną zgodność oceny stanów gruntów spoistych nasypu określonych w badaniach CPTU (etap 2) i w badaniach weryfikacyjnych (etap 3). Dla gruntów spoistych podłoża nasypu uzyskano częściową zgodność wyników, badania weryfikacyjne wskazały na występowanie gruntów w bardziej niekorzystnych stanach - plastycznym i miękkoplastycznym  $I_L = 0,35 - 0,51$ , niż określone za pomocą sondowań statycznych.

Nie można jednakże wykluczyć, że występujące różnice pomiędzy pionowymi

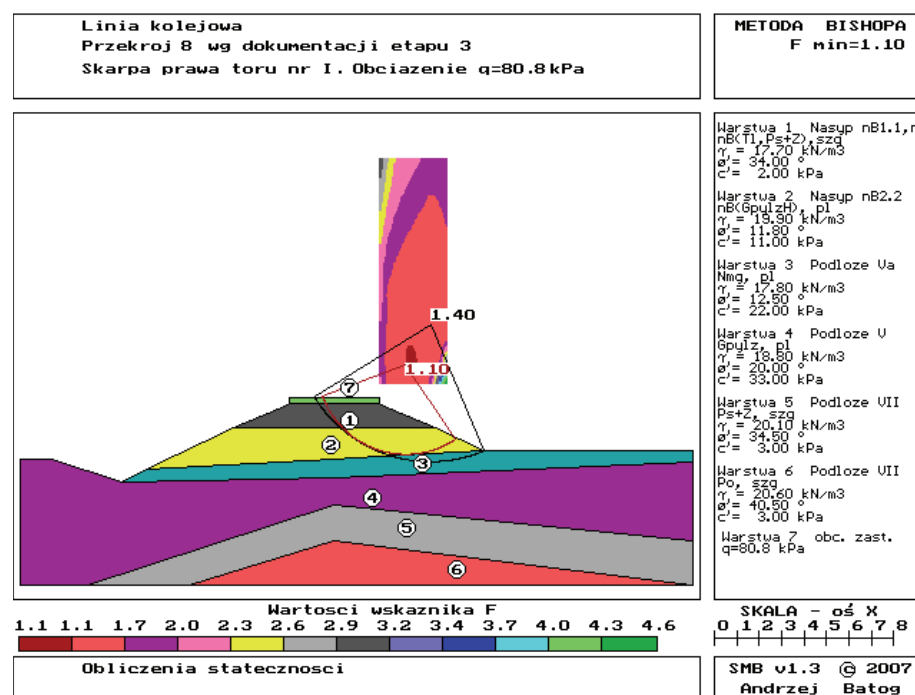
wymi wydzieleniami warstw wynikają z dużej zmienności układu warstw podłoża przedmiotowego nasypu kolejowego.

### Wpływ rozbieżności ocen stanu fizycznego gruntów na stateczność nasypu

Dokumentacja geotechniczna 1. etapu badań dla spoistych gruntów formujących nasyp ustaliła znacząco niższe (korzystniejsze) wartości stopnia plastyczności od określonych w pozostałych dwóch dokumentacjach (etap 2. i 3. badań). Ma to znaczący wpływ na ocenę stateczności skarp gruntowych nasypu obciążonego ciężarem składu kolejowego, poruszającego się z prędkością rozkładową. Ilustruje ten przypadek rysunek 1, na którym przedstawiono wyniki obliczeń stateczności w przekroju nr 8, wykonane metodą Bishopa dla warunków gruntowych i parametrów geotechnicznych określonych w 1. etapie badań. Zapas stateczności jest tu wysoki, wskaźnik stateczności (współczynnik pewności)



1. Przekrój nr 8. Obliczenia stateczności dla rozpoznania warunków gruntowych z etapu 1 badań - bardzo wysoki zapas stateczności skarpy nasypu



2. Przekrój nr 8. Obliczenia stateczności dla rozpoznania warunków gruntowych z etapu 3 badań - bardzo niski zapas stateczności skarpy nasypu

$F_{min}=2.06$  wobec wartości wymaganej przez instrukcję Id-3.

Znacznie bardziej niekorzystne oceny stateczności przynoszą wyniki badań z etapu 2-go oraz 3-go, gdyż rozpoznane w nasypie grunty spoiste w stanie plastycznym  $I_L=0.40-0.47$  mogą charakteryzować się niewystarczającą wytrzymałością na ścinanie, nie zapewniającą osiągnięcia wymaganego zapasu stateczności dla skarpy nasypu.

Mniejszy, ale również niekorzystny wpływ na stateczność skarpy nasypu ma fakt występowania w głębszych partiach jego podłoża gruntów spoiowych w stanie plastycznym i miękkoplastycznym  $I_L=0.35-0.51$ . Analogiczne obliczenia stateczności wykonane w przekroju nr 8 dla warunków gruntowych rozpoznanych w 3. etapie badań przynoszą wskaźnik stateczności (współczynnik pewności) wynoszący

zaledwie  $F_{min}=1.10$  - jest to stan bliski równowagi granicznej.

Na wyniki ocen stateczności skarpy znaczący wpływ ma przyjęty sposób ustalenia wartości parametrów geotechnicznych, w tym przede wszystkim parametrów wytrzymałości na ścinanie [9]. W dokumentacji etapu 1. badań wartości parametrów fizyko-mechanicznych wydzielonych warstw gruntów zostały określone jedynie za pomocą zależności korelacyjnych, bez przeprowadzenia jakichkolwiek badań specjalistycznych. Rzeczywiste wartości parametrów geotechnicznych mogą znacząco odbiegać od tych wartości. W celu przeprowadzenia miarodajnych obliczeń stateczności Autorzy wskazali miejsca dla poboru prób gruntu o nienaruszonej strukturze w celu wyznaczenia metodami laboratoryjnymi miarodajnych- charakterystycznych wartości parametrów geotechnicznych: gęstości objętościowej  $\rho$  i gęstość właściwej  $\rho_s$ , granic ko nysstencji  $w_p$  i  $w_L$ , efektywnych wartości spójności  $c'$  i kąta tarcia wewnętrznego  $\phi'$ . W efekcie przeprowadzonych kolejnych etapów badań geotechnicznych uzyskano możliwość wiarygodnej oceny poziomu stateczności istniejącego odcinka modernizowanego szlaku kolejowego co stanowiło podstawę do przyjęcia racjonalnych rozwiązań projektowych.

## Podsumowanie

Przedstawiony w artykule przykład analizy stateczności przeznaczony do modernizacji dość krótkiego odcinka szlaku kolejowego dobitnie wskazuje na istotny wpływ jakości rozpoznania warunków gruntowo-wodnych istniejącego podtorza.

Dotychczasowe doświadczenie zawodowe Autorów związane z problemami projektowania nowych lub modernizacji istniejących kolejowych budowli ziemnych dowodzi o konieczności odpowiedzialnego programowania badań geotechnicznych oraz profesjonalnej interpretacji ich wyników.

Zalecana w ostatnich „Wytucz-



nych..” [ 6, 7 ] wieloetapowa realizacja rozpoznania geotechnicznego podtorza jest jak najbardziej słuszną lecz rzadko realizowaną , zazwyczaj w sytuacji zagrożenia awarią wykonywanej modernizacji lub naprawy obiektów infrastruktury kolejowej . Stąd , najczęściej pierwszy etap badań geotechnicznych pozostaje jedyny i nabiera walorów badań zasadniczych .

Niezależnie od tego czy rozpoznanie geotechniczne podtorza będzie realizowane w jednym czy w kilku etapach ich programowania należy poprzedzić wnikliwą wizją terenową trasy przebiegu przedmiotowego odcinka modernizowanego lub projektowanego szlaku kolejowego z inwentaryzacją sytuacji mogących mieć wpływ na jakość eksploatacji tej linii kolejowej .

Następnym , bardzo ważnym i ekonomicznie uzasadnionym , działaniem w programowaniu badań jest zgromadzenie i analiza wszystkich dostępnych informacji geotechnicznych dla danego teren z wykorzystaniem dokumentacji archiwalnych , baz danych geologicznych itp.

Współczesne programowanie badań geotechnicznych , zgodnie z zaleceniami Eurokodu 7 preferuje badania polowe z ograniczeniem roli badań laboratoryjnych pobranych z otworów badawczych próbek gruntów do oznaczenia parametrów identyfikacyjnych klasyfikacyjnych oraz wykonania wybranych badań cech mechanicznych.

Programując badania dla potrzeb budowy i modernizacji infrastruktury kolejowej , i nie tylko , należy mieć na uwadze przede wszystkim cel tych badań , o czym często się zapomina , którym jest uzyskanie wiarygodnych danych dla konkretnych analiz numerycznych dotyczących stateczności ogólnej danego obiek-

tu oraz jego zachowania się pod przewidywanym oddziaływaniem zewnętrznym .

W rezultacie , rozwiązanie zadania w postaci uzyskania wiarygodnych danych geotechnicznych , w szczególności dla obiektów liniowych infrastruktury kolejowej , nie powinno opierać wyłącznie o wyniki badań wykonanych jedną z modnych lub dostępnych technik , jak sondowania statyczne CPTU lub tylko mało średnicowe wiercenia w punktach znacząco odległych od siebie . W takim przypadku rozpoznanie punktowe należy uzupełnić badaniami geofizycznymi lub profilowaniem georadarowym co zostało sprawdzone w ramach modernizacji kilku linii kolejowych na południu i wschodzie Polski. Taki wymóg obowiązuje również przy projektowaniu nasypów drogowych.

Badania polowe o ile są programowane w postaci wierceń i sondowania statycznego lub dynamicznego powinny uzupełniać się bowiem interpretacja samych sondowań statycznych może prowadzić do niewiarygodnych ocen danych geotechnicznych.

Zakres badań laboratoryjnych próbek gruntów , a w szczególności materiałów antropogenicznych , ma za zadanie ocenę wiarygodnych wartości parametrów geotechnicznych jakie będą odpowiednie dla przyjętych modeli obliczeniowych. Dotyczy to oznaczenia efektywnych parametrów wytrzymałości na ściskanie oraz parametrów dla oceny odkształcalności budowli ziemnych pod obciążeniami.

Przytoczone powyżej uwagi , wynikające z dotychczasowych doświadczeń zawodowych Autorów artykułu , charakteryzują proces uzyskania wiarygodnych danych geotechnicznych dla budowy i modernizacji liniowych budowli kolejowych jako działanie bardzo od-

powiedzialne i często wymagające współpracy geotechników z projektantami. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] BN-88/8932-02 Podtorze i podłoże kolejowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania
- [2] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej nr 987 z dnia 10.09.1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie. Dz.U. Nr 151 z dnia 15.12.1998 r.
- [3] Instrukcja o utrzymaniu podtorza kolejowego D4. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa, 1996
- [4] Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego Id-3(D-4), PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2004
- [5] Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego Id-3, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa, 2009
- [6] Wytyczne badań podłoża gruntowego na potrzeby budowy i modernizacji infrastruktury kolejowej. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa, 2015
- [7] Wytyczne badań podłoża gruntowego na potrzeby budowy i modernizacji infrastruktury kolejowej Igo-1. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa, 2016
- [8] PN-81/B-03020. Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednio budowli
- [9] Krużyński M., Hawrysz M., Batog A., Stateczność skarp nasypów modernizowanych linii magistralnych. III MKN-T Problemy modernizacji i naprawy podtorza konferencyjnego. Materiały konferencyjne. Wrocław Żmigród, 2006
- [10] Batog A., Hawrysz M., Problemy analizy stateczności skarp nasypów kolejowych. Górnictwo i Geoinżynieria. 1/2008
- [11] Batog A., Hawrysz M., Ostrożne podejście do stosowania Eurokodów przy modernizacji nasypów kolejowych. Przegląd Komunikacyjny nr 11/2012