

mgr inż. Piotr Rychlewski¹⁾
ORCID: 0000-0002-5477-5202
mgr inż. Jakub Saloni²⁾
ORCID: 0009-0005-2084-2509
mgr inż. Monika Ura^{2)*}
ORCID: 0009-0009-5414-6172

Kolumny sztywne w gruntach o małej wytrzymałości na ścinanie

Rigid inclusions in soils with low shear strength

DOI: 10.15199/33.2023.04.04

Streszczenie. Wykonywanie kolumn sztywnych w gruntach o małej wytrzymałości na ścinanie wymaga zachowania wysokich standardów począwszy od badań geologicznych (w tym badań in situ), przez projektowanie i kontrolę wykonawstwa. Kluczowa jest również interpretacja wyników badań, m.in. FVT i CPTU, ponieważ obie metody zakładają korzystanie ze współczynników korelacyjnych szacowanych na podstawie lokalnych doświadczeń. W artykule omówiono poszczególne działania, jakie należy podjąć przy projektowaniu i kontroli wykonywania robót ziemnych, wzmocnienia podłoża oraz późniejszych robót budowlanych.

Słowa kluczowe: kolumny sztywne; kolumny przemieszczeniowe CMC; grunty słabonośne; grunty o małej wytrzymałości na ścinanie; wzmocnienie gruntów organicznych.

Abstract. Execution of rigid inclusions in soils with low shear strength requires keeping high standards, starting from soil investigation (including in-situ testing), design and execution control. The interpretation of soil investigation i.e. FVT and CPTU tests is also crucial, because both methods consists of using coefficients estimated on the basis of local experience. The article presents the steps that should be taken in proper designing and supervision of earthworks, the execution of rigid inclusions and execution of following construction works.

Keywords: rigid inclusions; CMC columns; weak bearing soils; soils with low shear strength; soil improvement in organic soil.

Z wykonywaniem wzmocnienia podłoża w bardzo słabych gruntach związane są różne ryzyka, a część ze standardowo stosowanych technologii wzmocnienia może zawieść, dlatego tak ważna jest świadomość dotycząca poziomu ryzyka geotechnicznego oraz możliwości jego zminimalizowania. Wzmocnienie podłoża kolumnami sztywnymi, przede wszystkim przemieszczeniowymi, stanowi ekonomiczną alternatywę rozwiązań z zastosowaniem np. pali. Efektem ubocznym jest jednak możliwość popełnienia większej liczby błędów, o których pisało już wielu autorów, np. w [1]. Z tego powodu skuteczne wzmocnienie podłoża kolumnami przemieszczeniowymi wymaga zachowania odpowiednich standardów począwszy od badania podłoża, projektowania, przez kontrolę wykonawstwa i badań odbiorowych do planowania oraz koordynacji robót towarzyszących samemu procesowi wykonania kolumn. Przykład awarii kolumn z tego ostatniego powodu pokazano na fotografii 1.

¹⁾ Instytut Badawczy Dróg i Mostów

²⁾ Menard Sp. z o.o.

^{*} Adres do korespondencji: mura@menard.pl



Fot. 1. Przykład awarii kolumn w wyniku wykonywania robót w sąsiedztwie wzmocnienia podłoża

Fot. P. Rychlewski
Photo. 1. An example of failure of the columns as a result of works in the vicinity of the already improved soil
Photo: P. Rychlewski

Analizowanie możliwości wzmocnienia podłoża za pomocą betonowych kolumn przemieszczeniowych w słabych gruntach (głównie organicznych, rzadziej miękkoplastycznych gruntach mineralnych) powinno wiązać się z dokładnym rozpoznaniem zasięgu występowania tych gruntów oraz określeniem ich parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych. Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posada-*

wiania obiektów budowlanych [2] i zapisami ustawy Prawo budowlane [3] wykonywanie badań podłoża projektowanego obiektu powinno odbywać się wieloetapowo, zwiększając stopień ich szczegółowości i dokładności, oraz dostosowując zakres do etapu projektu (koncepcja, projekt architektoniczno-budowlany, projekt techniczny) oraz rozważanych rozwiązań geotechnicznych.

W przypadku wykonywania kolumn sztywnych w gruntach o małej wytrzymałości na ścinanie chodzi przede wszystkim o kolumny przemieszczeniowe

we. Mamy wówczas do czynienia z przemieszczeniem gruntu, a nie z wymowaniem urobku, jak w przypadku kolumn wierconych, aby nie dopuścić do obniżenia parametrów tych słabonych gruntów i ich rozluźnienia.

Już na etapie badań wstępnych, np. do opinii geotechnicznej, należałoby ustalić parametry słabego podłoża, głównie wytrzymałość tych gruntów na ścinanie. Powinny to być badania *in situ*, w tym sondą statyczną CPTU oraz sondą krzyżakową FVT (preferowane z zapisem elektronicznym, w celu eliminacji błędów wykonawczych), gdyż są one względnie tanie i szybkie do wykonania, w porównaniu np. z badaniami laboratoryjnymi, a pozwalają na wstępne ustalenie rodzaju i zakresu wzmocnienia, jak również wytypowanie stref wątpliwych do szczegółowego rozpoznania. Ponadto badania laboratoryjne w przypadku gruntów słabych mogą okazać się problematyczne.

Istotne jest, aby rozpoznanie budowy podłoża, oprócz ustalenia wartości parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych, obejmowało: układ warstw i jego zmienność; sposób zalegania lub ewentualnie kierunku zapadania tych warstw, który może skutkować utratą stateczności na etapie prac ziemnych i wykonywania wzmocnienia podłoża lub pod obciążeniem konstrukcji; określenie ewentualnych miejsc osłabienia (rejon skarp, wykopów, w tym hałd materiałów budowlanych); określenie wpływu warunków hydrologicznych (cieki, rowy melioracyjne) i hydrogeologicznych (możliwość ewentualnych przebieg hydraulicznych lub konieczność zastosowania odwodnień budowlanych).

Opracowanie wyników badań geologicznych powinno zawierać wyniki kartowania geologicznego terenu wokół inwestycji, opis zjawisk i procesów geodynamicznych oraz antropogenicznych występujących w miejscu lokalizacji projektowanego obiektu budowlanego oraz prognozę zmian warunków gruntowo-wodnych mogących wystąpić podczas budowy i użytkowania obiektu. Zakres ten wskazują również zapisy [4] odnoszące się do dokumentacji geologiczno-inżynierskich, z których należy korzystać przy projektowaniu wzmocnienia podłoża w słabych gruntach, tj. złożonych warunkach gruntowych zgodnie z [2].

Wytrzymałość gruntu na ścinanie bez odpływu c_u może być wyznaczona na podstawie badania sondą statyczną CPTU ze wzorów [5]:

$$c_u = (q_t - \sigma_{v0})/N_{kt}$$

$$c_u = (q_c - \sigma_{v0})/N_k$$

gdzie:

q_c – opór zagłębienia stożka;
 q_t – opór zagłębienia stożka skorygowany ze względu na wpływ ciśnienia wody w porach gruntu;

σ_{v0} – początkowe całkowite pionowe naprężenie od nadkładu na rozpatrywanej głębokości;

N_k i N_{kt} – współczynniki oszacowane na podstawie lokalnego doświadczenia lub wiarygodnej korelacji.

W przypadku badań sondą krzyżakową FVT, w celu określenia wartości wytrzymałości gruntu na ścinanie bez odpływu, wyniki badania (c_{fv}) należy skorygować na podstawie wzoru [6]:

$$c_u = \mu \cdot c_{fv}$$

gdzie:

μ – współczynnik korekcyjny określany na podstawie lokalnego doświadczenia.

Obie metody zakładają obliczenie wytrzymałości na ścinanie c_u z zastosowaniem współczynników szacowanych na podstawie lokalnego doświadczenia. Kluczowe jest wówczas doświadczenie osób interpretujących badanie, przy czym dla projektanta istotna jest również dokładna informacja, przy jakich współczynnikach obliczono podane wartości wytrzymałości gruntu na ścinanie, która powinna znaleźć się w opracowaniach badań geologicznych.

Naszym zdaniem oraz wg [6], należałoby wartości c_u w słabych (wątpliwych) gruntach określać zarówno sondami sta-

tycznymi CPT/CPTU, jak i sondą krzyżakową FVT ze stałą małą prędkością ścinania, z których FVT jako metoda, w której pomiaru wytrzymałości dokonuje się w sposób bezpośredni, powinna spełniać rolę metody referencyjnej do kalibracji wyników interpretowanych z sondowania statycznego [6]. Stosowanie tych metod oddzielnie, wraz z brakiem zastosowania odpowiednich współczynników korekcyjnych, może bowiem prowadzić do diametralnie różnych wniosków dotyczących parametrów badanego podłoża (porównanie wyników w tym samym punkcie badawczym – tabele 1 i 2). W wykonanych (na przedstawionym przykładzie) badaniach sondą krzyżakową SLVT (tabela 1) oraz weryfikacyjnych badaniach CPTU (tabela 2) nie podano informacji o zastosowanych współczynnikach korekcyjnych. Należy podkreślić, że norma [5] odnosi się do badań FVT wykonywanych ze stałą małą prędkością, natomiast bardzo często stosuje się sondę SLVT, która nie spełnia wymagań dotyczących sondy krzyżakowej, a jej wyniki są z reguły zawyżone, gdyż w sondzie SLVT ścinanie wykonuje się ręcznie kluczem dynamometrycznym. Można jednak z dużym prawdopodobieństwem założyć, że w przypadku stosowania sondy SLVT nie zastosowano żadnego współczynnika, a wyniki ścinania, o ile wykonane prawidłowo, są zbyt duże. Natomiast wartość współczynnika N_{kt} w przypadku sondy CPTU była zbyt duża, a uzyskane wyniki zbyt ostrożne.

Tabela 1. Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie sondą SLVT w rejonie Międzyodrza w Szczecinie (punkt badawczy nr 1) [10]

Table 1. Results of shear strength tests with the use of SLVT in Międzyodrza area in Szczecin (test point No. 1) [10]

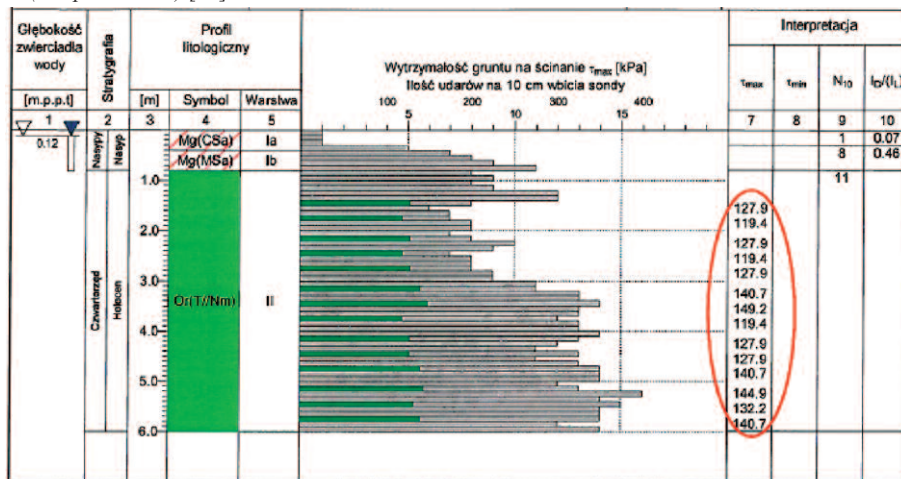


Tabela 2. Wyniki interpretacji sondowania CPTU w rejonie Międzyodrza w Szczecinie (rejon tego samego punktu badawczego nr 1) [10]

Table 2. Results of CPTU interpretation in Międzyodrza area in Szczecin (area of the same test point No. 1) [10]

NR TESTU:		CPTU-1			GŁĘBOKOŚĆ WODY:				Rzędna:					0,92 m n.p.m.			
Przełot warstwy	Rodzaj gruntu	Dentelki	Przewietrzalność	Rodzaj gruntu	Dentelki /Przewietrzalność	Opór toczenia q_c	Napięcie pionowe σ_v	Parametry stanu			Parametry sondowania		Parametry wytrzymałości na ścinanie			Edymetryczny moduł ściśliwości pierwotnej	
								I_p	I_c	q_s	f_s	N_{60}	ϕ'	c'	S_{su}		M_v
strop [m]	spąg [m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[MPa]	[kPa]	[k]	[-]	[MPa]	[-]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	
0,0	0,1	Borehole: Mg(CSa)															
0,1	1,2	Mg(mSaCSa)	-	-	NN(Pr)	+Ps	2,40	12	25	-	2,39	0,00	-	29° 50'	-	11,0	
1,2	1,8	Or(Nmg)	-	-	Nmg	-	0,50	27	-	0,55	0,47	0,00	4,3	14° 10'	4	25	1,2
1,8	4,0	Or(T)	-	sr(nmg)	T	//Nmg	0,40	46	-	-	0,34	-0,15	2,9	10° 40'	3	17	0,6
4,0	5,0	Or(Nmg)	-	-	Nmg	-	0,28	67	-	0,35	0,21	-0,21	2,3	9° 20'	2	11	0,4
5,0	6,5	Or(Nm)/Or(Nmp)	-	-	Nm/Nmp	-	0,25	87	-	0,30	0,17	-0,26	1,7	7° 30'	2	9	0,4
6,5	7,4	Or(Nmg)	-	-	Nmg	-	0,50	107	-	0,51	0,40	-0,06	3,7	13°	3	21	1,3
7,4	8,7	Or(Nm)	-	gr(nmg, nmp)	Nm	//Nmp //Nmg	0,35	124	-	0,39	0,25	0,01	2,2	9° 30'	2	13	0,7
8,7	9,3	Fsa	-	-	Pd	-	7,40	140	55	-	7,28	0,00	-	34°	-	-	32,7
9,3	10,7	Fsa/Msa	-	-	Pd/Ps	-	12,30	160	70	-	12,16	0,00	-	36°	-	-	60,4

Zgodnie z wytycznymi [7] oraz zapisami normy [8] w przypadku kolumn formowanych w gruncie zaleca się, aby wytrzymałość na ścinanie bez odpływu c_u wynosiła co najmniej 15 kPa. W przypadku, gdy stwierdzona na podstawie wykonanych badań pierwotna wytrzymałość na ścinanie c_u jest mniejsza niż 15 kPa, to w ramach prac projektowych należy sprawdzić stateczność świeżego trzonu kolumny. W warunkach bez odpływu, przy założeniu nieściśliwości gruntu (współczynnik Poissona $\nu = 0,5$), w gruncie o wytrzymałości na ścinanie c_u , graniczny opór gruntu wynosi [7]:

$$q_{su}(z) = \gamma z_w + \gamma_{sr}(z - z_w) + c_u(z)(1 + (G/c_u(z)))$$

gdzie:

γ_{sr} – ciężar objętościowy gruntu nawodnionego;
 $c_u(z)$ – wytrzymałość gruntu na ścinanie bez odpływu na głębokości „z”.

Stosunek G/c_u jest wskaźnikiem sztywności gruntu I_R . W przypadku namulów, gytii oraz gruntów spoistych o małej wytrzymałości gruntu na ścinanie, iloraz $G_{0,5\%}/c_u$ wynosi 100 – 200; a torfu 50 – 150 [7]. Podany wzór na stateczność trzonu kolumny nie uwzględnia lepkości betonu, a część obecnie opracowywanych innowacji skupia się na tym parametrze materiału używanego do wykonywania kolumn. Należy mieć na uwadze, że w pewnych sytuacjach można posłużyć się bardziej zaawansowaną formułą do wyznaczania oporu granicznego.

W przypadku, gdy obliczona stateczność świeżego trzonu kolumny jest niewystarczająca, można zastosować dodatkowe zabiegi obejmujące wstępną konsolidację podłoża (m.in. wspomaganą drenami pionowymi lub nie) oraz dobór odpowiedniej mieszanki betonowej. Konieczna jest jednak kontrola ich efektywności, która oprócz geodezyjnych pomiarów osiadania powinna również obejmować badanie wytrzymałości gruntów na ścinanie raczej metodami bezpośrednimi, tj. sondą FVT niż CPTU, gdyż zmiana parametrów mierzonych podczas sondowania CPTU (q_c, f_s) będzie dość nieznaczna. Przykład efektów dodatkowego wzmocnienia gruntów słabych przez konsolidację, przed wykonaniem wzmocnienia kolumnami przemieszczeniowymi, pokazano w tabeli 3. Kontrola jest również kluczowym elementem podczas wykonywania tych zabiegów, aby nie doprowadzić do ścięcia lub wyparcia gruntów słabych pod ciężarem platformy roboczej i/lub nasypu przeciążającego, gdyż w przypadku zniszczenia gruntu w trakcie ścięcia lub wyparcia nie mamy już do czynienia z pierwotną wytrzymałością na ścinanie.

W przypadku, gdy obliczenia stateczności świeżego trzonu kolumny wykażą, że wykonanie kolumn jest możliwe, kolejnym etapem prac powinno być zaprojektowanie i wykonanie platformy roboczej dla sprzętu ciężkiego. W tym momencie konieczną jest kontrola wykonania robót w terenie. Zaniedbania na tym

etapie mogą skutkować powstawaniem sytuacji awaryjnych pokazanych na fotografii 2.

Wytyczne projektowania i wykonania platform roboczych wraz z uproszczoneymi zaleceniami dobierania ich grubości zebrano w opracowanym przez Porozumienie dla Bezpieczeństwa w Budownictwie standardzie *Platforma Robocza – Wykonanie i Eksploatacja* [9]. Wytyczne te opracowano, aby zapewnić bezpieczne wykonywanie robót budowlanych, w tym wzmocnienie (rysunek 1).

Mniejszy nacisk, niż na wykonanie i odbiór platform roboczych, kładzie się na kontrolę wykonywania robót ziemnych i konsekwencje ich nieprawidłowego wykonania. Efekty problemów z wykonaniem platformy, takie jak utrata jej stateczności podczas prac ziemnych, można czasami zaobserwować w trakcie odbioru platformy. O ile oczywistym działaniem w takim przypadku jest naprawa platformy roboczej, to jednak przed przystąpieniem do wykonywania wzmocnienia konieczne jest również ponowne sprawdzenie parametrów wytrzymałościowych gruntu przewidzianego do wzmocnienia, gdyż warunki gruntowe uległy zmianie! Następnie należy sprawdzić stateczność świeżego trzonu kolumny w nowych warunkach gruntowych, a także całe rozwiązanie projektowe pod tym kątem. Problem pojawia się w momencie, kiedy wykonawca wzmocnienia/palowania nie otrzymuje informacji od generalnego wykonawcy i/lub od wykonawcy robót ziemnych dotyczącej problemów z wykonaniem platformy lub robót towarzyszących. Kluczowa jest w tym przypadku funkcja inspektora nadzoru oraz świadomość wszystkich uczestników procesu budowlanego, że rozwiązanie projektowe w tych warunkach gruntowych może okazać się niewystarczające.

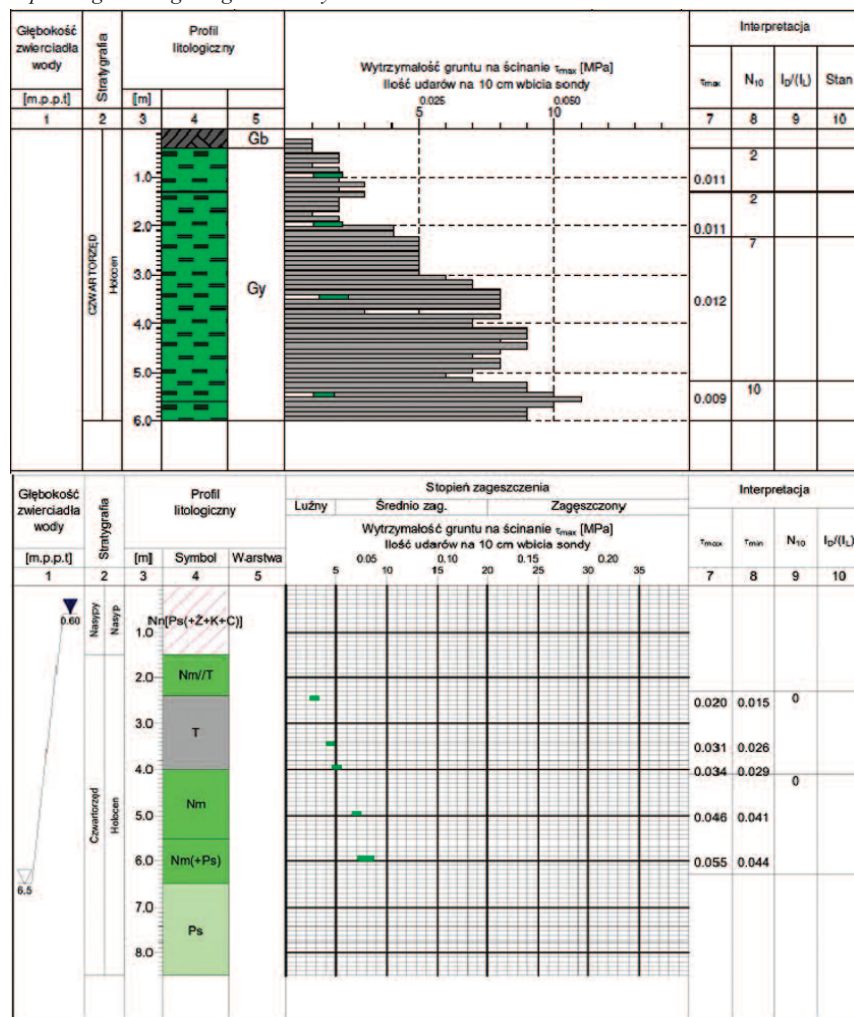
Jeśli możliwość wykonania kolumn przemieszczeniowych została zweryfikowana lub powtórnie zweryfikowana, kolejnym wręcz obowiązkowym działaniem jest kontrola robót geotechnicznych. Nie

Tabela 3. Zwiększenie wytrzymałości na ścinanie gruntów przez konsolidację przed wykonaniem wzmocnienia. Badania wykonano w tym samym punkcie, natomiast opis litologii, wg geologów dozorujących, jest różny

Źródło: Menard

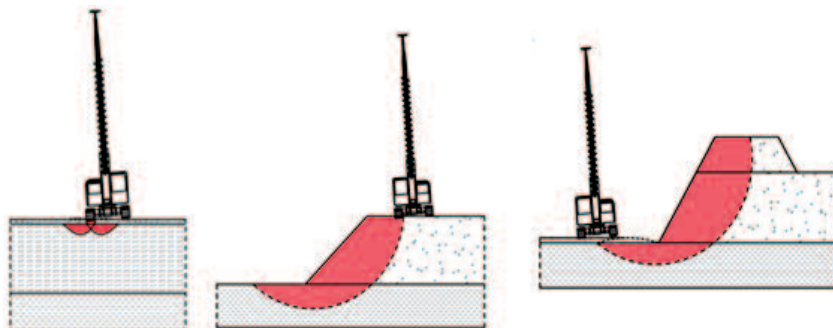
Table 3. Increase in shear strength of soils by consolidation before soil improvement. Soil investigations were carried out in the same spot, but the lithological description varies depending on the geological survey

Source: Menard



Fot. 2. Awaria wiertnicy spowodowana jakością platformy roboczej Fot. PZWFS
Photo 2. Drilling rig failure caused by quality of working platform Photo: PZWFS

może się ona jednak ograniczać do wykonania badań odbiorowych (w tym badania wytrzymałości próbek betonu, próbnych obciążeń oraz badania ciągłości kolumn), lecz należy uwzględnić kontrole podczas wykonywania kolumn, w tym: weryfikację metryk wykonywanych kolumn i monitoring zużycia betonu oraz ciśnienia betonowania; weryfikację po-



Rys. 1. Przykłady możliwych awarii platform roboczych
Fig. 1. Examples of possible failures of working platforms

Rys. Menard
Fig. Menard

ziomu głowic kolumn po 3 – 5 h oraz np. 24 h od ich wykonania). W przypadku nieprawidłowości, takich jak np. obniżenie poziomu głowic kolumn (fotografia 3), konieczne jest przerwanie wykonywania wzmocnienia oraz jak najszybszy

kontakt z projektantem rozwiązania geotechnicznego, w celu ustalenia przyczyny i rozwiązania problemu.

Weryfikacja badań podłoża, określenie stref wątpliwych, sprawdzanie założeń projektowych, a także kontrola jakości wykonania prac przygotowawczych oraz towarzyszących, w tym prac na odcinkach sąsiadujących ze wzmacnianym obszarem, i w końcu kontrola jakości wykonanego wzmocnienia pozwolą na zminimalizowanie ryzyka wystąpienia awarii.

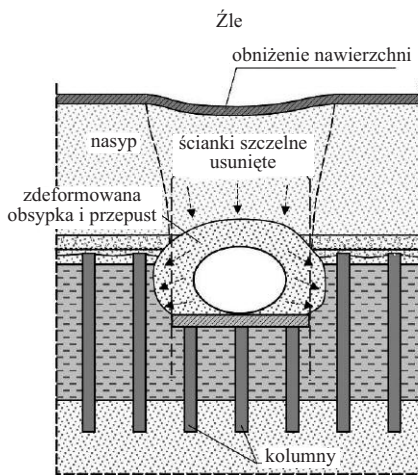
Pomimo spełnienia wszystkich zaprezentowanych wymagań oraz zakończenia z sukcesem prac geotechnicznych, do awarii może dojść również na późniejszym etapie robót budowlanych. W projektowaniu geotechnicznym konieczne jest zatem wzięcie pod uwagę każdego etapu procesu budowlanego. Jednym z ważniejszych etapów jest wykonywanie wykopów oraz ich odwodnienie we wzmocnionym wcześniej podłożu, a przede wszystkim w słabych gruntach organicznych. W przypadku wykonywania wykopów np. pod przepusty drogowe, konieczne jest odpowiednie zaprojektowanie ich zabezpieczenia, aby nie doprowadzić do ścięcia gruntów organicznych wraz z kolumnami, wyparcia gruntu z dna wykopu oraz do awarii warstw transmisyjnych, a także warstw konstrukcyjnych i obiektów wykonanych na wzmocnionym podłożu (rysunek 2).

Skutki awarii robót na tym etapie są trudne do usunięcia ze względu na koszty oraz czasochłonność, dlatego ważna

jest świadomość ryzyka, a optymalizacja kolejnych etapów robót powinna być analizowana pod kątem założeń, jakie przyjęto do projektowania robót geotechnicznych albo konsultowana z projektantem geotechnicznym. Brak wery-



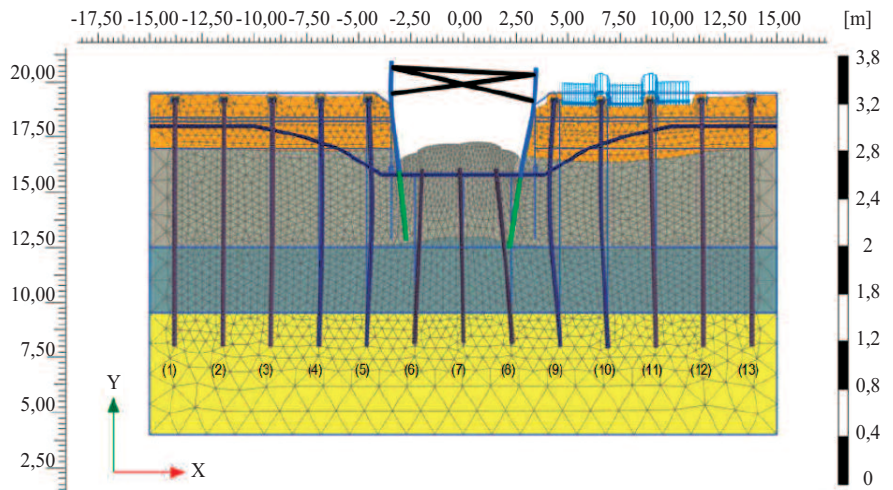
Fot. 3. Obniżenie się poziomu głowic po wykonaniu kolumn
Fot. Menard
Photo 3. Concrete slumping after execution of rigid inclusion
Photo: Menard



Rys. 2. Przykład wystąpienia awarii w przypadku wykonywania przepustu w wzmocnionym podłożu [7]
Fig. 2. An example of a failure during building of a culvert in improved soil [7]

fikacji projektowej pracy konstrukcji geotechnicznej na poszczególnych etapach może doprowadzić do zniszczenia jej elementów lub globalnej utraty nośności wzmocnionego podłoża gruntowego (rysunek 3, fotografia 4).

Projektowanie geotechniczne powinno obejmować weryfikację badań geologicznych oraz rozwiązanie problemu geotechnicznego, a także dostarczać informacji dotyczących ryzyka, jakie może wystąpić w trakcie prac przygotowawczych oraz dalszych etapów robót budowlanych. Inwestor oraz generalny wykonawca, dokonując zmian (np. optymalizacji) w robotach następujących po robotach geotechnicznych, musi mieć świadomość, że rozwiązania te muszą być kompatybilne z rozwiązaniem geotechnicznym, aby nie doprowadzić do awarii



Rys. 3. Zbyt płytka obudowa wykopu wykonana zamiast ścianki szczelnej

Fig. 3. Too shallow excavation shoring installed instead of sheet piling

Rys. Menard
Fig. Menard

budowlanej. Optymalizacja kosztów robót budowlanych ma swoje granice i powinna być poprzedzona analizą ryzyka.

Literatura

[1] Grzegorzewicz K. Bukiet czarnych kwiatów (piąty) o błędach przy wzmacnianiu podłoża gruntowego kolumnami betonowymi i skutkach robót przy podstawie nasypu na słabym podłożu, Seminarium IBDiM i PZWFS „Wzmacnianie podłoża i fundamentów 2014”. Warszawa, 6 marca 2014.

[2] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. 2012 poz. 463).

[3] Ustawa – Prawo budowlane z 7 lipca 1994 r. (tekst jednolity Dz.U. 2021 poz. 2351, z późn. zm.).

[4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033).

[5] PN-EN 1997-2:2009 – Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.

[6] Tamawski M, Frankowski Z, Godlewski T, Gwizdała K, Kłosiński J, Mieszkowski R, Nowosad A, Saloni J, Słabek A, Szczepański T, Ura M, Wierzbicki J, Wójcik M. Badanie podłoża budowli – Metody polowe. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2020.

[7] Topolnicki M, Kłosiński B, Gajewska B, Gajewski M, Grzegorzewicz K, Kanty P, Krasinski A, Łęcki P, Marchwicki M, Rychlewski P, Saloni J, Sołtys G, Świniński J, Trybocka K, Warchał T, Wojtasik A. Wytyczne wzmacniania podłoża gruntowego kolumnami sztywymi – projektowanie, wykonawstwo, kontrola. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2022.

[8] PN-EN 12699:2015. Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Pale przemieszczeniowe (wersja angielska).

[9] http://www.porozumieniemilabezpieczenstwa.pl/images/Standardy_BHP/3.5._Platforma_robocza_02_wytyczne.pdf.

[10] Dokumentacja przetargowa: Postępowanie: OZ-091/48/IPU-7/2022.

Przyjęto do druku: 04.04.2023 r.



Fot. 4. Efekt wykonania zbyt płytkiej obudowy wykopu oraz ścięcia podłoża wraz z kolumnami

Fot. Menard
Photo 4. The effect of making the excavation shoring too shallow and failure of the subsoil together with the columns
Photo: Menard