

mgr inż. Urszula Tomczak¹⁾
ORCID: 0000-0002-1876-7360

Dostosowanie rozwiązań geotechnicznych do występujących gruntów słabonośnych na przykładzie modernizacji Dworca Zachodniego

Adaptation of geotechnical solutions depending on the presence of soft soils on the example of the modernization of the West Railway Station

DOI: 10.15199/33.2022.02.03

Streszczenie. Zlokalizowanie budowy w skomplikowanych warunkach gruntowych wiąże się z koniecznością zastosowania różnorodnych rozwiązań. Dworzec Zachodni w Warszawie znajduje się w rejonie występowania gruntów organicznych w postaci głównie gytii i torfów osiagających miąższość nawet kilkunastu metrów, co powoduje konieczność zwiększenia grubości obudowy wykopu w technologii ścian szczelinowych aż do 100 cm. W artykule opisano warunki geotechniczne, typowe rozwiązania oraz konieczność zmian i ograniczenia związane z występowaniem gruntów organicznych.

Słowa kluczowe: ściana szczelinowa; głęboki wykop; grunty organiczne; kotwy gruntowe; rozpory stalowe.

Abstract. Locating a construction site in complicated ground conditions requires the use of various solutions. The West Railway Station in Warsaw is located in the area of organic soils, mainly gyttja and peat, reaching a thickness of up to several meters and making it necessary to increase the thickness of the diaphragm wall up to 100 cm. The article describes the geotechnical conditions, typical solutions as well as the necessity to change and limitations related to the presence of organic soils.

Keywords: diaphragm wall; deep excavation; organic soils; ground anchors; steel struts.

Skomplikowane warunki gruntowe wiążą się z koniecznością stosowania różnorodnych rozwiązań geotechnicznych. Rynna Żoliborska w Warszawie jest jednym z rejonów o najtrudniejszych warunkach do posadowienia obiektów lub zaprojektowania obudowy głębokiego wykopu. Grunty organiczne w postaci przede wszystkim gytii i torfów osiagają miąższość nawet kilkunastu metrów i wymuszają zwiększenie grubości obudowy wykopu w technologii ścian szczelinowych aż do 100 cm. Zmienny układ warstw geotechnicznych oraz zakres występowania słabonośnych gruntów organicznych ograniczyły możliwość zastosowania tymczasowych kotew gruntowych i wymusiły wprowadzenie rozpór stalowych.

Przy planowaniu inwestycji coraz częściej doceniane jest dokładne rozpoznanie geotechniczne terenu, szczególnie w przypadku obiektów z częścią podziemną lub posadowieniem pośrednim. Niedokładne rozpoznanie gruntów (zbyt mała liczba lub głębokość odwiertów/sondowań) może skutkować koniecznością zastosowania mniej optymalnego rozwiązania z większą liczbą współczynników bezpieczeństwa, a w rezultacie doprowadzić np. do spękań wybudowanej konstrukcji. Są przypadki, gdzie różnica pomiędzy poszczególnymi przekrojami geotechnicznymi jest tak drastyczna, że

wymusza całkowicie różne rozwiązania konstrukcyjne, a nie tylko zmianę grubości poszczególnych elementów czy ilości zbrojenia.

W celu realizacji modernizacji Dworca Zachodniego zaprojektowano zabezpieczenie stateczności wykopów konstrukcji podziemnej o głębokości wykopu w części płytkiej ok. 8 m p.p.t., a w części głębokiej ponad 15 m p.p.t. oraz posadowienie pośrednie w postaci pali i baret o długości maksymalnej prawie 30 m. Ze względu na dużą głębokość wykopu, zmienne warunki gruntowe oraz wysoki poziom wody gruntowej jako obudowę zastosowano ściany szczelinowe.

Biorąc pod uwagę etapowanie wykonania prac i jak najkrótszy czas zamknięcia poszczególnych torów oraz peronów, cały obiekt podzielono na segmenty wykonywane sekwencyjnie, które są albo osobnymi obiektami, albo zostały rozdzielone tymczasowymi przesłonami pionowymi, aby było możliwe niezależne wykonywanie prac. Wszystkie ściany szczelinowe w obrębie torów były podtrzymywane w fazie pracy tymczasowej przez stropy docelowe. Wykonanie ścian szczelinowych z elementami podparcia stropów (baret z zamocowanymi w nich słupami stalowymi) oraz samego stropu pozwoliło przywrócić ruch na powierzchni terenu, który mógł się odbywać równoległe z wykonywanymi pracami ziemnymi i konstrukcyjnymi pod spodem. W celu zoptymalizowania kosztów wykonania prac na obszarach

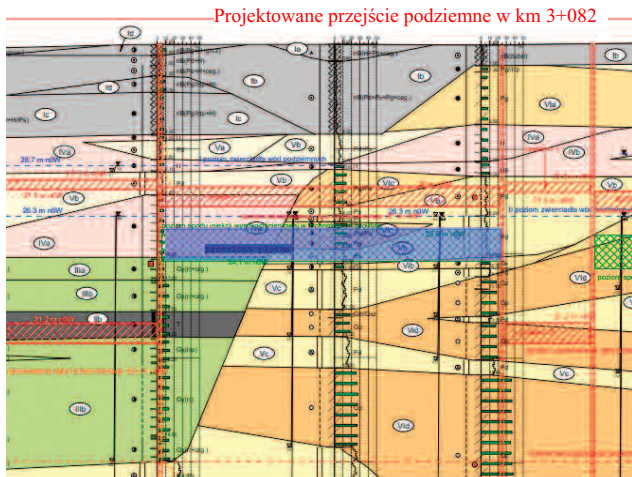
¹⁾ Politechnika Warszawska; Wydział Inżynierii Lądowej; urszula.tomczak@soletanche.pl

poza torami oraz skrócenia czasu ich realizacji zaproponowa- no rozwiązania dostosowane do harmonogramu prac, geome- trii obiektu i warunków gruntowych.

Charakterystyka podłoża

Na podstawie wierceń geologicznych wykonanych na etapie projektu budowlanego stwierdzono, że na badanym terenie pod warstwą gleby i nasypów zalegają grunty spoieste genety wodnolodowcowej w postaci piasków gliniastych, glin piaszczystych i pylastych oraz grunty niespoiste genety wodnolodowcowej typu piaski drobne, średnie oraz pospółka. Grunty te są porożcinane przez utwory genety zastoiskowej w postaci piasków, piasków humusowych, gytii, torfów, namulów, pyłów i glin pylastych należących do sekwencji formy zwanej Rynną Żoliborską. Pod osadami piaszczystymi na głębokości 6,1 ÷ 8,0 m p.p.t. zalegają starsze osady organiczne w postaci gytii, namulów i torfów (rysunek 1). Największa miąższość osadów Rynny Żoliborskiej na terenie badań znajduje się w jej osi i wynosi aż 21 m, a utwory na jej brzegu mają miąższość do 15 m.

OB3-28 /DPH/FVT/CPT 34,48 OB3-26 /DPH/FVT 34,49 OB3-20 /DPH/FVT 34,46



Rys. 1. Przykładowy przekrój geologiczny w rejonie gruntów organicznych

Fig. 1. An exemplary geological cross-section in the area of organic soils

Podczas projektowania posadowienia pośredniego i obudowy wykopu największe znaczenie miała jak najbardziej dokładna lokalizacja gruntów organicznych, których granica jest prawie pionowa, a sąsiadujące przekroje mają różne warunki gruntowe. W celu doprecyzowania zakresu występowania gruntów organicznych o znacznej miąższości wykonano dodatkowe sondowania statyczne CPT w rejonie granicy warstw, które miały pomóc zoptymalizować zakres obudowy wykopu koniecznej do zastosowania w warunkach gruntowych o gorszych parametrach wytrzymałościowych.

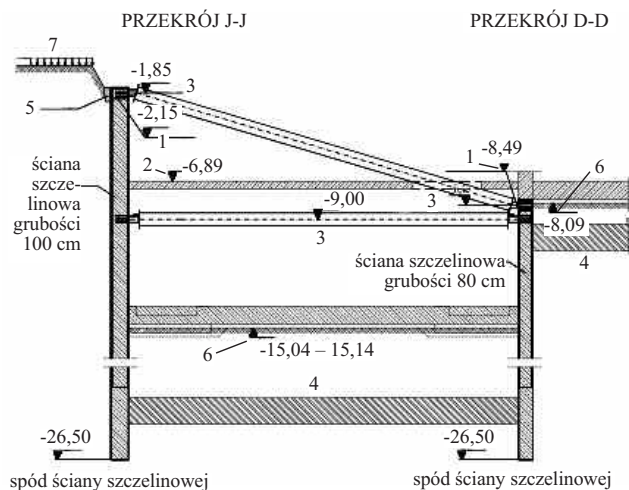
Należy podkreślić, że grunty organiczne w postaci gytii i torfów występują nie jako warstwa przypowierzchniowa, ale na znacznej głębokości i znajdują się zarówno w poziomie posadowienia płyty fundamentowej, jak i w rejonie odporu ściany obudowy. W trakcie wykonywania badań nawiercono wody podziemne należące do czwartorzędowego piętra wodonośnego. Wyróżniono dwa główne poziomy zwierciadła wód pod-

ziemnych oraz liczne zwierciadła wód zawieszonych. Pierwszy poziom wodonośny zlokalizowany 5 – 6 m p.p.t. (napięty lub swobodny w zależności od przekroju geotechnicznego) generuje dodatkowe obciążenie na ścianę szczelinową. Ze względu na brak ciągłej warstwy słaboprzepuszczalnych gruntów spoi- stych poniżej poziomu wykopu całego obiektu, która pozwala- łyby ograniczyć dopływ wody do wykopu, **zaprojektowano poziomą przesłonę przeciwnieprzepuszczalną wykonywaną metodą jet-grouting**. Zmienny poziom wykopu wymusił zróżnicowa- ny poziom przesłony umiejscowionej w taki sposób, aby parcie wody było równoważone ciężarem nadkładu gruntu oraz prze- słony i nie wymagało dodatkowych elementów kotwiących.

Przyjęte rozwiązania

Jako obudowę wykopu w części poza Rynną Żoliborską za- stosowano ściany szczelinowe grubości 80 cm, których stateczność zabezpieczono poza torami kolejowymi tymczasowymi kotwami gruntowymi. Takie rozwiązanie jest bardzo ko- rzystne w przypadku, gdy duże znaczenie ma czas realizacji in- westycji. Wówczas wewnątrz obudowy wykopu mogą być bez przeszkód prowadzone roboty. Rozpory stalowe w dwóch po- ziomach znacznie ograniczają możliwość wykonywania za- równo prac ziemnych, jak i konstrukcji budynku ze względu zmniejszenie światła pracy sprzętu oraz harmonogram demonta- żu dostosowany do zakresu wykonanych elementów doce- lowych. Różnica głębokości wykopu (7,5 m) i różny poziom powierzchni górnej ścian szczelinowych dodatkowo kompli- kowały projekt montażu i demontażu rozparcia (rysunek 2).

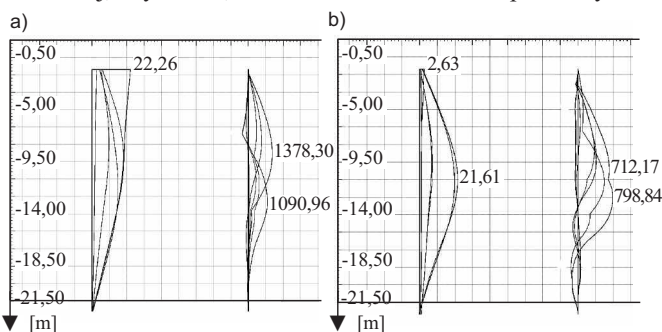
Sąsiednie sekcje ściany szczelinowej w rejonie gruntów or- ganicznych mają grubość 100 cm, a ich stateczność zabezpie- czono dwoma rzędami tymczasowych rozpór stalowych. Kot- wy gruntowe wymagają zakotwienia buławy w gruntach o od- powiednich parametrach i dlatego nie są stosowane w gruntach organicznych lub słabonośnych. Najkorzystniejszymi gruntami do lokalizowania części buławowej są grunty niespoiste od



Rys. 2. Przekrój wykopu o różnej głębokości i zmiennym poziomie powierzchni górnej ścian szczelinowych

Fig. 2. A cross-section with a different depth of excavation and a variable level of the top surface of diaphragm walls

średnio do bardzo zagęszczonych. Przyczyną zwiększenia grubości ściany szczelinowej był znaczny wzrost momentów zginających w ścianie. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe obwiednie z obliczeń statycznych przekroju kotwionego oraz rozpiętego wykazujące prawie dwukrotną różnicę wartości przy takiej samej geometrii wykopu. Obliczeniowe przemieszczenia ścian szczelinowych osiągają zbliżone wartości ze względu na różnicę podatności rozpór i kotew gruntowych. W tabeli porównano wyniki obliczeń statycznych ścian szczelinowych w przypadku analogicznej geometrii wykopu segmentu 2. Stwierdzono znaczną różnicę wartości momentów zginających przekrojów zlokalizowanych w rejonie Rynny Żoliborskiej, czyli G-G, H-H i J-J w stosunku do pozostałych.



Rys. 3. Porównanie obwiedni momentów zginających ściany szczelinowej: a) przekrój w gruntach organicznych; b) przekrój poza gruntami organicznymi

Fig. 3. Comparison of the envelope of bending moments for a diaphragm wall: a) cross-section in organic soil; b) cross-section outside the organic soil

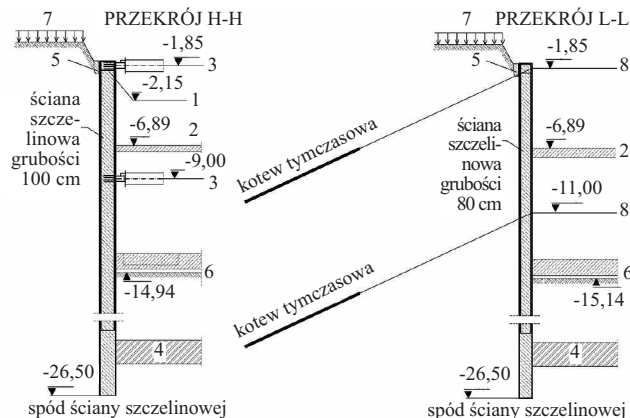
Zmniejszenie odporu typowe dla gruntów słabonośnych (w tym organicznych) poniżej poziomu wykopu wymaga zazwyczaj przedłużenia ściany obudowy i zagłębienia jej w gruntach o lepszych parametrach wytrzymałościowych. W przypadku omawianego obiektu nie było takiej konieczności ze względu na wysokość ściany szczelinowej wynikającą z położenia poziomej przesłony przeciwfiltracyjnej (rysunek 4).

W przypadku, gdy grunty organiczne zlokalizowane są płytko, często tuż poniżej warstwy gruntów antropogenicznych, należy rozważyć wykonanie wykopu wstępnego. W większości przypadków dotyczy to młodych gruntów organicznych o bardzo małym kącie tarcia i spójności, często niedających właściwie żadnego odporu. Warto pamiętać, że po wykonaniu niewielkiego wykopu wstępnego o głębokości 0,5 – 1,0 m ściana obu-

Wyniki obliczeń statycznych poszczególnych przekrojów ścian szczelinowych wykopu głębokiego – segment 2

Results of static calculations of the individual sections of the deep excavation diaphragm walls – segment 2

Grunty	Przekrój	Otwór geologiczny	Grubość ściany [cm]	Przemieszczenie [mm]	Moment zginający [kNm/m]
Organiczne	G-G	28	100	22,3	1378
	H-H	27	100	22,7	1389
	H-H	30	100	17,8	1295
	J-J	28	100	34	1579
Nieorganiczne	K-K	25	80	28	1047
	L-L	25	80	35,6	920
	M-M	12	80	18	869
	R-R	20	80	25,7	756



Oznaczenia: 1 – wierzch ściany szczelinowej; 2 – wierzch stropu; 3 – poziom rozparcia; 4 – przesłona jet-grouting; 5 – murek przewodzący; 6 – poziom wykopu; 7 – droga technologiczna; 8 – poziom kotwienia

Rys. 4. Typowy przekrój obliczeniowy segmentu 2 – część głęboka
Fig. 4. Typical design sections for segment 2 – deep part

dowy może się znacznie przemieścić, ponieważ zaczyna pracować wspornikowo, a podparcie znajduje się nie w poziomie wykopu, lecz dopiero w poziomie stropu warstwy gruntów poniżej organicznych. Skutkować to może nawet kilkucentymetrowym przemieszczeniem wierzchu ściany do wykopu oraz wystąpieniem zwiększonych momentów zginających, a jeżeli nie zostało to przewidziane na etapie projektu, także zarysowaniem od strony gruntu i ryzykiem korozji zbrojenia.

Podsumowanie

Wykonanie dodatkowych punktów geotechnicznych (odwiertów i sondowań) nie gwarantuje dokładnego określenia granicy występowania gruntów organicznych. Oprócz sformułowania zakresu poszczególnych przekrojów obliczeniowych z odpowiednim zapasem bezpieczeństwa, konieczne jest przeanalizowanie rozwiązania zastępczego możliwego do wprowadzenia podczas realizacji prac. W czasie głębinienia poszczególnych sekcji ścian szczelinowych prowadzone są metryki i jeśli zostanie stwierdzony inny układ warstw niż przewidywano w danym miejscu, projektant ma czas na przygotowania zastępczego systemu rozparcia/podparcia obudowy do czasu wykonywania wykopu. Dodatkowo należy przewidzieć odpowiedni system monitoringu pozwalający na bieżąco śledzić zachowanie obudowy i sąsiadujących z nią obiektów. W przypadku budynków w rejonie ścisłej zabudowy, w szczególności zabytkowej, wskazane jest zastosowanie monitoringu automatycznego pozwalającego na natychmiastową reakcję w przypadku nadmiernego przemieszczenia lub osiadania (system wysyła powiadomienia alarmowe mailem lub w formie SMS). Wówczas praca projektanta nie kończy się na projekcie, ale wymaga ciągłego nadzoru prac aż do zamknięcia stanu 0.

Trudne warunki gruntowe są wyzwaniem. Doświadczenie wszystkich uczestników przedsięwzięcia, od geologa przez geotechnika, projektanta aż po wykonawców pozwala zrealizować inwestycję w sposób bezpieczny i zoptymalizować czas wykonania oraz koszty. Warto zaznaczyć, że oszczędności na dokumentacji geologiczno-inżynierskiej mogą skutkować dodatkowymi kosztami i opóźnieniami w pracach.

Przyjęto do druku: 10.01.2022 r.