

mgr inż. Urszula Tomczak<sup>1\*)</sup>  
mgr inż. Tomasz Pachecki<sup>2)</sup>

# Zabezpieczenie wykopów budynków Equator 1 i Equator 2 w centrum Warszawy

DOI: 10.15199/33.2015.02.05

**Z**e względu na coraz większe zurbanizowanie terenu w wielkich miastach oraz bardzo wysokie ceny gruntów, pod zabudowę przeznaczane są tereny, które do tej pory nie były brane pod uwagę przez inwestorów ze względu na różne czynniki utrudniające i podrażające inwestycję, do których można zaliczyć m.in. grunty słabonośne w podłożu, duże lub nietypowe obciążenia w okolicy, wysoki poziom wód gruntowych. W przypadku trudnych warunków gruntowo-lokalizacyjnych znakomicie sprawdzają się ściany szczelinowe jako zabezpieczenie głębokich wykopów.

W artykule omówimy posadowienie sąsiadujących budynków o dwóch i trzech kondygnacjach podziemnych, w przypadku których zastosowano ściany szczelinowe grubości 80 i 60 cm. Projekty bazowe inwestycji zakładały wykonanie podziemia w następujący sposób:

- **budynek Equator 1** – 2 stropy rozporowe w głębszej części budynku połączone w miejscu zmiany poziomów stropów baretami betonowanymi do poziomu wierzchu górnego stropu, tak aby przekazać siły ze stropu rozporowego płytszej części;

- **budynek Equator 2** – 2 stropy rozporowe w przypadku głębszej części budynku oraz 2 poziomy rozpór pomiędzy stropami a przeciwległą ścianą szczelinową.

Firma Soletanche Polska wraz z generalnym wykonawcą firmą PORR Polska zdecydowały się na wykonanie alternatywnego następującego sposobu rozparcia podziemia:

- **budynek Equator 1** – 1 strop rozporowy w części głębszej oraz rozpory stalowe pomiędzy stropem a przeciwległą ścianą szczelinową;

- **budynek Equator 2** – analogicznie 1 strop rozporowy w części głębszej oraz rozpory stalowe i kotwy gruntowe pomiędzy stropem a przeciwległą ścianą szczelinową.

**Dane techniczne omawianych budynków:**

- wysokość wykopu głębszej części 10,68 m i 12,40 m poniżej poziomu 0 budynku (z lokalnymi przegłębieniami);
- wymiary budynków w planie: 78,0 x 33,9 m; 75,4 x 35,3 m;
- grubość ścian szczelinowych: 80 cm i częściowo 60 cm;
- wysokość ścian szczelinowych głębszej części: 15,7 m i 16,5 m poniżej poziomu 0 budynku.

## Warunki gruntowe

Podłoże gruntowe w przypadku omawianych inwestycji zbudowane było z nasypów antropogenicznych do głębokości maksymalnie 4,3 m poniżej poziomu terenu, warstwy gruntów nośnych (utwory niespoiste wykształcone w postaci piasków drobnych i średnich od średniozagęszczonych do bardzo zagęszczonych) oraz utworów spolistych (gliny, gliny piaszczyste, gliny pylaste i pyły w stanie twardoplastycznym). Pierwsza warstwa wodonośna znajdowała się powyżej poziomu posadowienia budynku i w związku z tym konieczne było odwodnienie wykopu do czasu wykonania płyty fundamentowej i konstrukcji podziemia równoważącej siłę wyporu wody.

## Realizacja ścian szczelinowych

Ze względu na konstrukcję części podziemnej budynków z przesunięciem stropów o pół kondygnacji w pionie zastosowano zróżnicowany sposób zabezpieczenia stateczności ściany szczelinowej (fotografia 1). W głębszej części obu budynków (od strony torów kolejowych) zaprojektowano podparcie



Fot. 1. Instalacja kosza zbrojonego ściany szczelinowej

ścian szczelinowych stropem nad kondygnacją -2 opartym w czasie pracy tymczasowej na słupach stalowych zamocowanych w baretach i palach (rysunek 1). W miejscu zmiany poziomu stropu zastosowano rozpory stalowe i tymczasowe kotwy gruntowe, aby zachować jeden stały poziom rozparcia ściany szczelinowej. W przypadku budynku Equator 2 dodatkowo zastosowano, od strony istniejącego już budynku posadowionego na ścianach szczelinowych, ścianę mniejszej grubości o obniżonym wierzchu (rysunek 2) w celu odwodnienia wykopu oraz ze względu na głębsze posadowienie budynku wykonywanego w drugiej kolejności.

## Wyniki obliczeń w porównaniu z monitoringiem

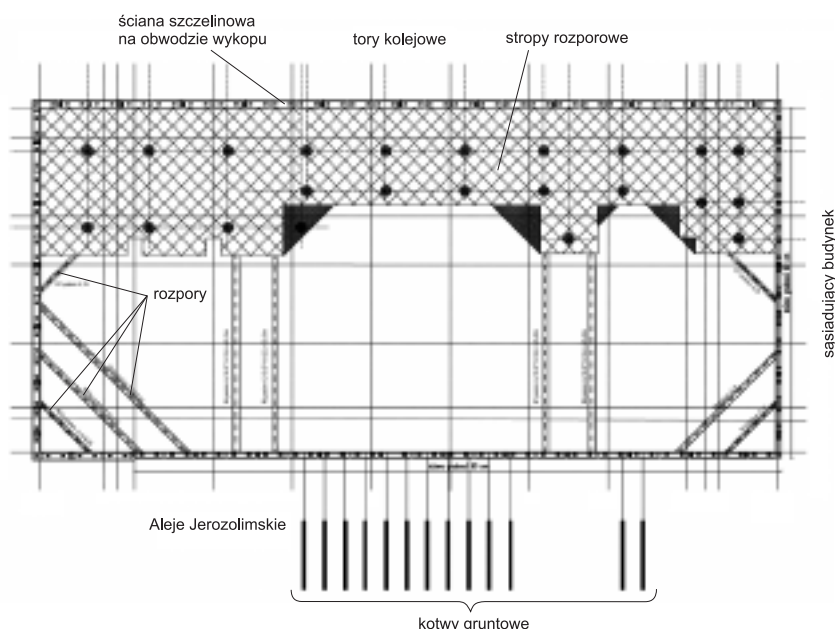
Obliczenia ściany szczelinowej wykonano programem Paroi85, który jest własnością firmy Soletanche

<sup>1)</sup> Soletanche Polska Sp. z o.o.

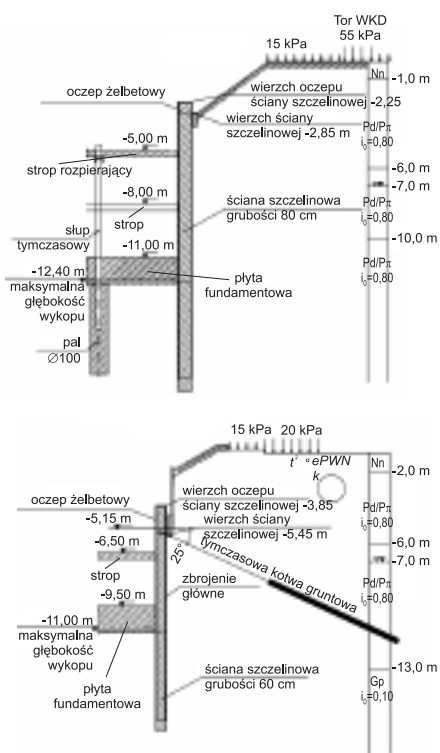
<sup>2)</sup> PORR Polska S.A.

\*) Autor do korespondencji:

e-mail: urszula.tomczak@soletanche.pl



Rys. 1. Rzut ścian szczelinowych z rozparciem w przypadku budynku Equator 2



Rys. 2. Przekroje budynku Equator 2

Bachy France, opracowanym przez przedsiębiorstwo SIF-BACHY. Modeluje on grunt jako półprzestrzeń elastoplastyczną, której zachowanie określone jest warunkami Winklera. Każda z następujących po sobie faz obliczeniowych bierze pod uwagę jako stan początkowy stan odkształceń i naprężeń z fazy poprzedniej.

Sztywność ściany szczelinowej wyrażona jest iloczynem EI obliczonym przez program w zależności od grubości ściany. Sztywności poziome płyty fundamentowej i stropów w fazach tymczasowych oraz fazy docelowej wyznaczono z prawa Hooke'a jako wynik bezpośredniego skrócenia przy ściskaniu. W obliczeniach uwzględniono zmienność przebiegu warstw geotechnicznych, zmianę geometrii budynku, poszczególne sposoby rozparcia i zróżnicowane obciążenia zewnętrzne (obciążenie ruchem drogowym, obciążenie taborem kolejowym). Implikowało to wykonanie obliczeń dla dużej liczby wariantów danych oraz konieczność wybrania wariantu najbardziej niekorzystnego do wymiarowania ścian szczelinowych dla każdego schematu rozparcia. W przypadku poszczególnych faz wykonywania części podziemnej budynków wykonywano pomiary geodezyjne przemieszczeń poziomych ścian szczelinowych oraz przemieszczeń pionowych otaczającej infrastruktury. Maksymalne przemieszczenia korony ściany szczelinowej (repery zlokalizowane na oczepek żelbetowym wieńczącym ścianę) wynosiły odpowiednio: od strony Alej Jeruzolimskich 7,8 mm, a od strony torów WKD 8,0 mm. Pomierzone przemieszczenia pionowe najbardziej wrażliwego obiektu w okolicy budo-

wy, czyli torów kolejowych wykazały osiadanie maksymalne zaledwie 2,4 mm. Zastosowanie od strony torów zabezpieczenia głębszej części budynku stropem rozporającym oraz wykorzystanie sztywnej ściany grubości 80 cm zapewniło odpowiednią ochronę przed nadmiernym osiadaaniem obiektu.

## Podsumowanie

Zastosowanie jednolitego sposobu zabezpieczenia stateczności obudowy głębokiego wykopu wydaje się rozwiązaniem idealnym, jednakże z różnych względów nie zawsze jest najwłaściwsze. W omawianym przypadku zastosowano aż trzy rodzaje rozparcia ściany (rozpory stalowe, kotwy gruntowe, strop) oraz 2 grubości ściany szczelinowej (60 cm i 80 cm) dostosowane do geometrii budynku i warunków obciążeń zewnętrznych. Zaprezentowane rozwiązanie okazało się najbardziej opłacalne ekonomicznie. Zapewniło też ochronę sąsiadującej infrastruktury na odpowiednim poziomie, co potwierdzają wyniki monitoringu geodezyjnego.

Dzięki zmianom rozparcia ścian szczelinowych względem projektów budowlanych, znacznie przyspieszono realizację podziemia obydwu obiektów, co przyniosło wymierny skutek ekonomiczny (obniżono koszty rozparcia oraz wykopów ziemnych).



Fot. 2. Wykop docelowy budynku Equator 1

Dzięki bardzo dobrej współpracy oraz wspólnej koordynacji wszystkich prac (począwszy od projektowych do wykonawczych) oba podziemia obiektów Equator 1 (fotografia 2) i Equator 2 zrealizowano szybko, w sposób bezpieczny, ale i ekonomiczny.

Wszystkie fotografie – archiwum firmy Soletanche Polska