

# Suchy wykop budowlany, czyli jak skutecznie odciąć dopływ wody do wykopu

tekst: **ANDRZEJ WELKA, JERZY ŚWINIAŃSKI**, Keller Polska, zdjęcia: **KELLER POLSKA**

W artykule przedstawiono schematy rozwiązań obudów wykopów budowlanych wykonywanych poniżej zwierciadła wód gruntowych. Skoncentrowano się na obudowie ze ścian szczelinowych z zastosowaniem poziomego, grawitacyjnego ekranu Soilcrete® (jet grouting) oraz podano zalecenia wynikające z doświadczeń Keller Polska z pomyślnej realizacji kilkudziesięciu projektów.

Inwestorzy, projektanci i generalni wykonawcy stają często przed dylematem w jaki sposób sprawnie i bezpiecznie zrealizować głęboki wykop budowlany dla kilku kondygnacji podziemnych, w przepuszczalnych gruntach piaszczystych, przy wysokim poziomie wody gruntowej. Odpowiedź zazwyczaj brzmi: „Oddajmy sprawę w ręce specjalistów”.

Inżynierowie geotechnicy z Kellera od ponad 10 lat z powodzeniem projektują i wykonują kompleksowe zabezpieczenia wykopów budowlanych wraz z odcięciem wód gruntowych, czyli podręcznikowy pełny suchy wykop, poszukując rozwiązań optymalnych technicznie i kosztowo oraz przyjaznych dla środowiska.

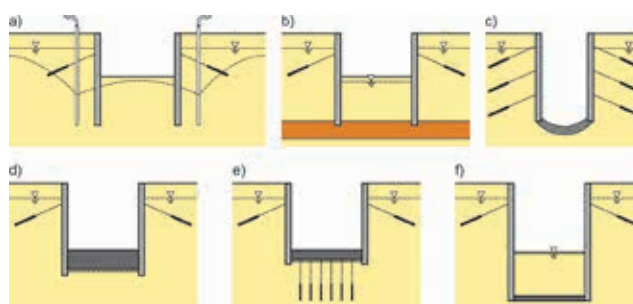
W przypadku wykopu budowlanego z poziomem wód gruntowych poniżej projektowanego dna obudowę można wykonać na wiele sposobów i nie stanowi to dużego problemu. Realnym wyzwaniem jest natomiast wysoki poziom wody gruntowej, wywołującej parcie na obudowę wykopu oraz wypór dna wykopu, wymagające poprawnego projektu, wysokiej jakości wykonawstwa i szczelności obudowy oraz przesłon przeciwfiltracyjnych, gdyż infiltrująca woda gruntowa obnaży bezlitośnie ewentualne błędy projektowe, wykonawcze, a także nie szczelności, grożąc utratą stateczności czy wstrzymaniem lub opóźnieniem realizacji budów, czego liczne przykłady obserwujemy ostatnio na rynku.

Problem dotyczy nie tylko głębokich wykopów w zabudowie miejskiej pod różnorodne obiekty kubaturowe (hotele, garaże, muzea, apartamentowce itd.), ale również pod obiekty hydrotechniczne, energetyczne i infrastrukturalne (np. tunele, stacje metra, komory startowe TBM itd.).

Wybór rozwiązania dla osiągnięcia suchego wykopu przy realizacji podziemnej części obiektu przy wysokim poziomie wód gruntowych zależy od odległości i stanu technicznego sąsiadującej zabudowy i infrastruktury oraz jej wrażliwości na zmiany stosunków gruntowo-wodnych w rejonie wykopu, w tym na ich ewentualne dodatkowe osiadanie i przemieszczenia. Dlatego w przypadku każdego rozwiązania niezbędna jest analiza projektowa wpływu prac i wykopu na sąsiedztwo oraz zastosowanie dodatkowych zabezpieczeń w razie konieczności.

Jeżeli sąsiadująca zabudowa i infrastruktura nie są zbyt wrażliwe, to możliwe jest użycie pionowej obudowy z klasycznym odwodnieniem, bez poziomej bariery przeciwfiltracyjnej (ryc. 1, schemat a). W takim przypadku należy się jednak liczyć ze skutkami szerokoprzestrzennego odwodnienia oraz koniecznością kosztocionnego pompowania i zrzuć dużej ilości wody do czasu zrównoważenia wporu przez konstrukcję obiektu.

Najczęściej nie jest jednak dopuszczalne intensywne odwodnienie z szerokim zasięgiem leja depresji, dlatego stosowane są rozwiązania zapewniające odcięcie bezpośredniego dopływu wody gruntowej do wykopu przez zastosowanie pionowej obudowy skarp (ścian) wykopu oraz uszczelnienie dna (ryc. 1, schematy b–f). Takie rozwiązanie ogranicza ryzyko zmiany stosunków gruntowo-wodnych poza wykopem i minimalizuje jego wpływ na sąsiadującą zabudowę.



Ryc. 1. Schematy obudów wykopu budowlanego z odcięciem napływu wody gruntowej: a) klasyczne obniżenie ZWG, b) naturalna warstwa nieprzepuszczalna, działająca jak ekran, c) ekran w formie odwróconego sklepienia, d) ekran grawitacyjny betonowy lub jet grouting, e) kotwiony ekran jet grouting, f) zagłębiony ekran jet grouting, działający grawitacyjnie

W rozwiązaniach głębokich wykopów stosowane są najczęściej następujące elementy:

- pionowe obudowy trwałe (ściany szczelinowe, palisady z pali wierconych) i tymczasowe (stalowe ścianki szczelne, palisady / ściany DSM, szczelne berlinki) wspornikowe, kotwione lub rozpięte;

- poziome ekrany przeciwfiltracyjne grawitacyjne: zagłębione przesłony jet grouting, wykonywane z powierzchni terenu (ryc. 1, schemat f), oraz – stosowane rzadziej – betonowe, wykonywane w dnie wykopu metodą betonowania podwodnego (ryc. 1, schemat d);
- poziome ekrany przeciwfiltracyjne kotwione: przesłony jet grouting (lub betonowe, jak opisano wyżej), kotwione dla przeciwdziałania wyporowi wody (ryc. 1, schemat e);
- system odwodnienia wody zawieszanej i dopływu resztkowego do wykopu;
- dodatkowe zabezpieczenia w postaci podchwycenia stóp i ław fundamentowych obiektów zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu budowlanego.

Bezpieczeństwo rezydentów i właścicieli obiektów i (lub) infrastruktury sąsiadujących z planowanym głębokim wykopem zależy od wielu czynników i warunków, które należy uwzględnić na etapie projektowania i wykonawstwa:

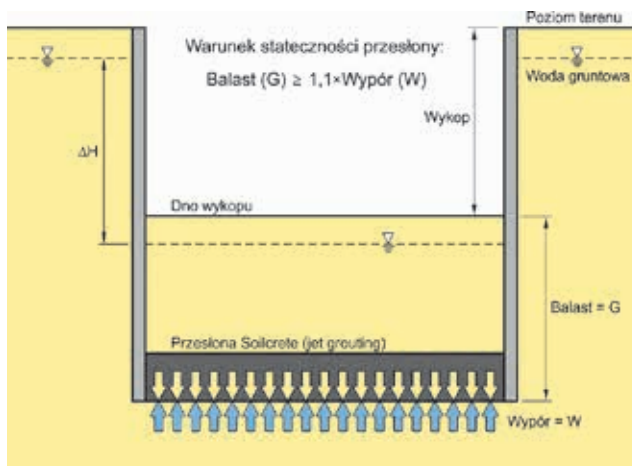
- stateczność, odpowiednia sztywność i szczelność pionowej obudowy wykopu;
- odporność systemu obudowy na zmiany warunków grunto-wodnych;
- stateczność na wypór, szczelność oraz odporność na przebicie hydrauliczne dna wykopu;
- położenie i stan techniczny obiektów w stosunku do linii wpływu wykopu na przyległą zabudowę;
- sposób zabezpieczenia obiektów przyległych przed szkodliwym wpływem wykopu budowlanego.

Realizacja głębokich wykopów jest jednym z najbardziej złożonych zadań geotechnicznych, wymagających kompleksowego i profesjonalnego podejścia. Dlatego w interesie inwestora wskazane jest, aby projektowanie, wykonanie i gwarancja prawidłowej realizacji takiego zadania spoczywały w jednym ręku, tj. u jednego wykonawcy kompleksowej usługi.

Keller Polska specjalizuje się w projektowaniu i realizacji obudów głębokich wykopów, wykonywanych przy zastosowaniu pionowych ścian szczelinowych oraz poziomego ekranu uszczelniającego w technologii Soilcrete® (jet grouting), umożliwiających pracę w suchym wykopie nawet 20 m poniżej zwierciadła wód gruntowych. W latach 2013–2018 firma Keller zrealizowała z powodzeniem kompleksowo ponad 20 zabezpieczeń głębokich wykopów, stosując ściany szczelinowe oraz grawitacyjny lub kotwiony ekran w technologii Soilcrete®.

Poziom posadowienia obudowy i ekranu wynika ze statyki konstrukcji oraz z warunku stateczności poziomego ekranu na wypór i przebicie hydrauliczne dna wykopu (ryc. 2). Takie rozwiązanie jest ekonomicznie uzasadnione dla kilku kondygnacji podziemnych, gdzie ściana szczelinowa stanowi docelową ścianę i fundamenty obiektu, a wysoki poziom wody uniemożliwia lub utrudnia jego klasyczne obniżenie (np. na Wyspie Spichrzów nad Motławą w Gdańsku) bądź odwadnianie jest ryzykowne dla sąsiadującej zabudowy miejskiej, posadowionej na podłożu piaszczystym, zalegającym do znacznej głębokości (np. do 50 m p.p.t. na warszawskiej Woli).

Pionową część obudowy w rozwiązaniach Kellera stanowi najczęściej ściana szczelinowa, którą wykonuje się w kilku etapach (przedstawionych schematycznie na rycinie 4) ze zbrojonego betonu, w szczelinie wykopanej w gruncie do głębokości nawet 25–30 m, przy zastosowaniu ścian o grubości 50, 60, 80 lub 100 cm.

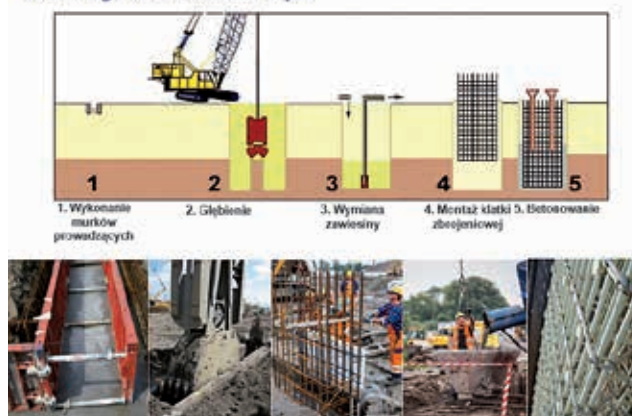


Ryc. 2. Schemat i warunek stateczności na wypór zagłębionego ekranu jet grouting



Ryc. 3. Przykład obudowy ze ścianą szczelinową i kotwionym poziomym ekranem Soilcrete® – budowa tunelu pod Martwą Wisłą w Gdańsku

#### Technologia ścian szczelinowych



Ryc. 4. Etapy wykonania ściany szczelinowej jako pionowej obudowy głębokiego wykopu budowlanego

Poziomy ekran przeciwfiltracyjny wykonywany jest najczęściej z zastosowaniem wysokociśnieniowej iniekcji strumieniowej typu Soilcrete® (jet grouting). Rzadziej stosuje się w Polsce przesłony powstałe w technologii iniekcji niskociśnieniowej.

Technologia jet grouting, przedstawiona schematycznie na rycinie 5, jest powszechnie stosowana we wzmacnianiu i uszczelnianiu gruntu. Jej duża elastyczność w kształtowaniu kubatury zeskalonego gruntu przy zastosowaniu lekkiego



- monitoring osiadania i przemieszczeń obiektów sąsiednich i przyległych do wykopu budowlanego w pierwszej i drugiej strefie wpływu według instrukcji ITB;
  - kontrolę wydatku wody wypompowywanej z wykopu, tj. wody uwięzionej w obudowie oraz wody resztkowej przenikającej przez obudowę i ekran, zgodnie z założonymi współczynnikami filtracji (przenikania) wody przez powierzchnię zwilżoną wykopu;
  - pomiar inklinometryczny odchylenia wiercenia od pionu dla technologii jet grouting przy głębszych wykopach;
  - pomiar średnicy kolumn jet grouting na kolumnach próbnych w celu określenia parametrów produkcyjnych.
- Prawidłowo zaprojektowana i wykonana obudowa wykopu z ekranem Soilcrete® pozwala na:

- a) rezygnację z obowiązku uzyskania pozyskania pozwolenia wodno-prawnego;
- b) ograniczenie do niezbędnego minimum objętości wody resztkowej z wykopu, przeznaczonej do zrzutu;
- c) zminimalizowanie ryzyka nadmiernego osiadania i przemieszczeń przyległych obiektów i infrastruktury;
- d) zapewnienie bezpieczeństwa prac prowadzonych w suchym wykopie;
- e) realizację prac związanych z wykonaniem obudowy pionowej i ekranu Soilcrete® z poziomu jednej platformy roboczej na poziomie terenu.

W ciągu ostatniej dekady lat Keller Polska wykonała łącznie ponad 100 tys. m<sup>2</sup> poziomych przesłon przeciwfiltra-

Tab. 1. Przykładowy wydatek wody resztkowej dopływającej do kilku wykopów z poziomym ekranem jet grouting

	Jedn.	BCO Białystok	CONCEPT TOWER Warszawa	SŁODOWIEC PARK Warszawa	WATERFRONT Gdynia
A <sub>1</sub> pow. zwilżona obudowy	[m <sup>2</sup> ]	1750	1550	1090	2914
A <sub>2</sub> pow. dna wykopu	[m <sup>2</sup> ]	1700	1000	1625	7410
A <sub>1</sub> +A <sub>2</sub> pow. zwilżona	[m <sup>2</sup> ]	3450	2550	2715	10 324
ΔH napór hydrauliczny	[m]	7,0	9,0	6,0	4,0
Q <sub>max</sub> = Q <sub>1</sub> + Q <sub>2</sub> Ilość wody dopływająca do wykopu	[m <sup>3</sup> /h]	1,0	3,0	5,0	10,0

cyjnych Soilcrete® na przeszło 35 inwestycjach w Polsce. W żadnej z nich dopływ wody do wykopu nie przekraczał dopuszczalnych ilości zakładanych w projekcie i (lub) ilości gwarantujących bezpieczną i terminową realizację dalszych robót budowlanych.

### Literatura

- [1] Krzywkowski P.: *Poziome przesłony przeciwfiltracyjne*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2015, nr 6, s. 90–93.
- [2] Wójtowicz P.: *Przesłony Soilcrete® (jet grouting) – dobre praktyki*. „Inżynieria i Budownictwo” 2018, nr 7.



## XVIII KRAJOWA KONFERENCJA MECHANIKI GRUNTÓW I INŻYNIERII GEOTECHNICZNEJ ORAZ VII OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA MŁODYCH GEOTECHNIKÓW



Polski Komitet Geotechniki, Oddział Stołeczny Polskiego Komitetu Geotechniki oraz Katedra Geoinżynierii Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie mają zaszczyt zaprosić na XVIII Krajową Konferencję Mechaniki Gruntów i Inżynierii Geotechnicznej oraz VII Ogólnopolską Konferencję Młodych Geotechników, która odbędzie się w dniach **4-7 września 2018 r.** w Laboratorium Centrum Wodne SGGW przy ul. Ciszewskiego 6 w Warszawie.

Konferencja, której wiodącym tematem są „Wyzwania geotechniki w Polsce” adresowana jest przede wszystkim do projektantów, wykonawców, pracowników firm specjalistycznych, pracowników naukowych, kadry akademickiej oraz doktorantów i studentów zajmujących się zagadnieniami geotechnicznymi. W ramach konferencji prowadzone będą obrady w sesjach tematycznych: **sesja I – Badania i dobór parametrów, sesja II – Modelowanie i obliczenia projektowe, sesja III – Zagrożenia i zabezpieczanie budowli, sesja IV – Infrastruktura transportowa.**



W programie konferencji przewidziane są również sesje Młodych Geotechników oraz sesje promocyjno-szkoleniowe firm geotechnicznych.



Szczegółowe informacje dotyczące konferencji dostępne są na stronie internetowej: <http://kkmgig2018.kg.sggw.pl>



Biuro Konferencji  
Katedra Geoinżynierii SGGW w Warszawie  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Bud. 33, pok. 36  
tel.: 22 59 35 222, 22 59 35 200, fax: 22 59 35 203  
e-mail: [kkmgig@sggw.pl](mailto:kkmgig@sggw.pl)