

# Poziome przesłony PRZECIWFILTRACYJNE

tekst: **mgr inż. PIOTR KRZYWKOWSKI**, Keller Polska Sp. z o.o., zdjęcia: **KELLER POLSKA Sp. z o.o.**

W ciągu ostatnich 20 lat w Polsce wyraźnie zaznaczyła się tendencja do umieszczania coraz głębiej podziemnej części budynków. W przypadku budynków w gęstej zabudowie miejskiej wynika to wprost z konieczności maksymalnego wykorzystania działki budowlanej dla otrzymania jak największej powierzchni użytkowej budynku.

Wykonanie głębokiego wykopu wymaga zazwyczaj jego zabezpieczenia przed napływem wody gruntowej. Obniżenie zwierciadła wody gruntowej często jest problematyczne ze względu na aspekty środowiskowe, kwestie prawne i brak możliwości zrzutu wody. W przypadku braku możliwości wykonania klasycznego odwodnienia buduje się często pionowe i poziome przegrody przeciwnofiltracyjne, ograniczające dopływ wody do wykopu bez konieczności obniżania zwierciadła wody poza wykopem.

W niniejszym artykule skoncentrowano się na ogólnych zasadach projektowania i wykonawstwa poziomych przesłon przeciwnofiltracyjnych w technologii jet grouting. Zebrano także doświadczenia ze zrealizowanych przez Keller Polska Sp. z o.o. budowli, na których zaprojektowano i wykonano przesłony przeciwnofiltracyjne.

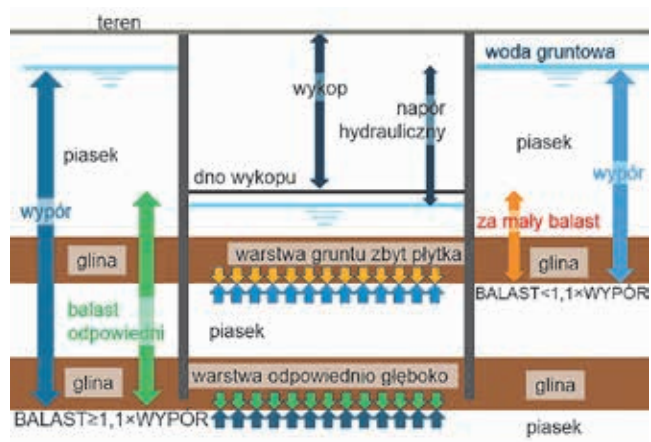
Przy wysokim poziomie wody gruntowej tradycyjne obniżanie poziomu wody przez pompowanie za pomocą studni lub igłofiltrów prowadzi do wytworzenia leja depresji w otoczeniu budowy. Wielkość leja depresji może nawet przekraczać kilka kilometrów i zależy od wymiarów wykopu w planie, jego głębokości, rodzaju i układu warstw gruntów oraz czasu pompowania.

Skutkami obniżenia poziomu wody poza granicą działki inwestora mogą być: osiadanie gruntu i obiektów sąsiednich, zaburzenie równowagi poziomów wodonośnych czy też usychanie roślinności. Dlatego też, zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa, obniżenie poziomu wody gruntowej wymaga każdorazowo uzyskania pozwolenia wodnoprawnego, które wydawane jest w drodze decyzji administracyjnej, co oznacza wydłużenie procesu inwestycyjnego nawet o kilka miesięcy.

Ponadto samo odprowadzenie wody może się wiązać z takimi problemami, jak zbyt mały przekrój kanałów ściekowych, znaczne koszty zrzutu wody do kanalizacji, podtapianie okolicy w miejscu zrzutu powierzchniowego lub przepełnienie i słaby odpływ z rowów melioracyjnych.

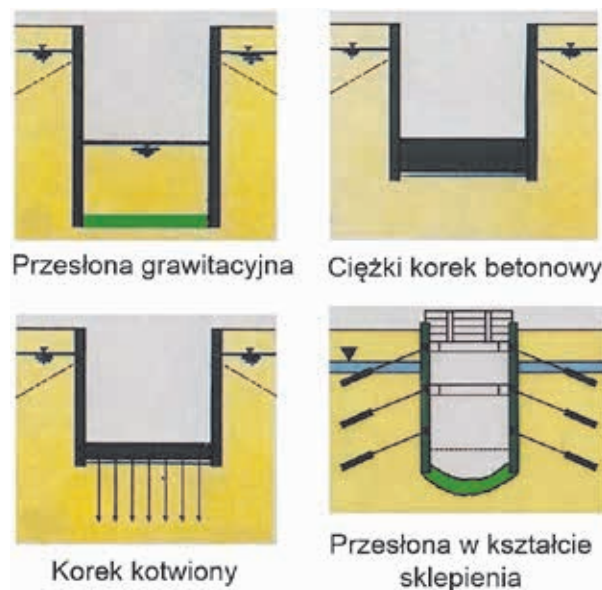
Alternatywą dla klasycznego odwodnienia jest wykonanie szczelnej obudowy wykopu aż do warstwy gruntów słabo przepuszczalnych (ryc. 1). W rozwiązaniu takim kluczowe znaczenie ma głębokość zalegania warstwy słabo przepuszczalnej, albowiem ciężar nadkładu gruntu między dnem wykopu a warstwą słabo przepuszczalną musi być większy od wyporu wody oddziałującego na tę warstwę, co schematycznie pokazano na rycinie 1.

Ograniczeniem dla stosowania tej metody może być brak pewności co do ciągłości warstwy słabo przepuszczalnej lub zbyt duża głębokość jej występowania.



Ryc. 1. Szczelna obudowa ścian do gruntów spoiwystych

Kolejną alternatywą jest wykonanie poziomej przesłony przeciwnofiltracyjnej. Zależnie od warunków gruntowych i geometrii wykopów można stosować różne warianty poziomych przesłon przeciwnofiltracyjnych, pokazanych na rycinie 2. Powyższe zagadnienia omówiono też w artykule o bezpieczeństwie głębokich wykopów, opublikowanym w „Nowoczesnym Budownictwie Inżynieryjnym” 2015, nr 5 (62), s. 42–47.



Ryc. 2. Warianty przesłon poziomych

Rozwiązaniem najpopularniejszym jest pozioma przesłona grawitacyjna. Zaprojektowana i wykonana przez doświadczoną firmę geotechniczną pozwala znacząco, bowiem co najmniej 10-krotnie, zmniejszyć ilość pompowanej wody w stosunku do typowego odwodnienia. Istotną zaletą takiego rozwiązania jest to, że głębienie wykopu odbywa się na sucho, co znacząco podnosi poziom bezpieczeństwa i jakości realizowanych robót fundamentowych. W dalszej części artykułu przedstawione zostaną realizacje z zastosowaniem poziomej przesłony grawitacyjnej jako uszczelnieniem dna wykopu fundamentowego.



Głębokość ekranu poniżej dna wykopu:

$$x \geq \frac{\eta_1 \gamma_w (h_3 - h_1) - \gamma_r h_2 - \gamma_u d_u + \gamma_r (h_2 + d_u)}{\gamma_r - \eta_1 \gamma_w} \quad \eta_1 = 1,10$$

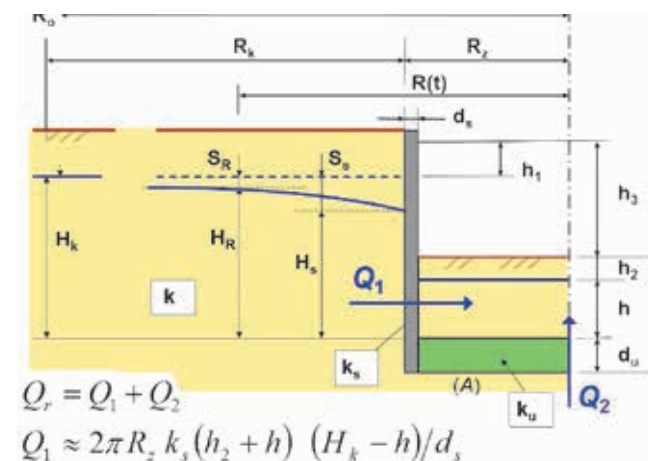
$$\gamma_r \approx \gamma_u \quad x \geq \frac{\eta_1 \gamma_w (h_3 - h_1) + h_2 (\gamma_r - \gamma)}{\gamma_r - \eta_1 \gamma_w}$$

Topolnicki M. (1998)

Ryc. 3. Głębokość przesłony grawitacyjnej

Położenie przesłony grawitacyjnej względem dna wykopu wyznacza się na podstawie równania równowagi balastu i wyporu (ryc. 3). Ze względu na bezpieczeństwo najistotniejsza jest wiedza o poziomie wody gruntowej i jego zmianach, dlatego należy wymagać w projektach przesłon przeciwfiltracyjnych instalacji piezometrów do kontroli zmian poziomu wody.

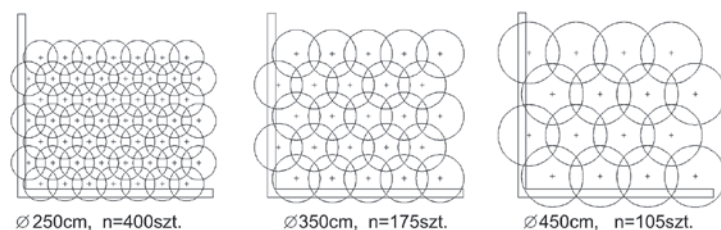
Na rycinie 4 pokazano schematycznie sposób wyznaczania dopływu wody (Qr) do wykopu przez pionowe ściany wykopu (Q1) oraz poziomą przesłonę – dno (Q2). Szczelność takiego systemu zależy od technologii realizacji zabezpieczenia wykopu (ścianka szczelna, ściana szczelinowa, palisada DSM/CFA) oraz w głównej mierze od jakości wykonawstwa poziomej przesłony. Ilość wody napływającej do wykopu, tzw. wody resztkowej, jest bardzo istotna z punktu widzenia specyfikacji odbioru robót i umowy z wykonawcą.



Ryc. 4. Dopływ wody do wykopu

W przypadku wystąpienia nieszczelności w ścianach lub dnie oszacowanie napływu wody do wykopu staje się bardzo trudne, wręcz niemożliwe. Z doświadczenia wiadomo, że nawet przez niewielką szczelinę lub mały otwór napływ potrafi być znaczący, niekiedy uniemożliwiający osuszenie wykopu. Dlatego w celu ograniczenia ryzyka do minimum kluczowe jest zapewnienie najwyższej jakości i kontroli wykonawstwa specjalistycznych robót iniekcyjnych. Kontrola jakości sprowadza się do dokładnego i miarodajnego wykonania kolumn próbnych, ewentualnej korekty rozstawu kolumn po wykonaniu prób, systematycznej kontroli pionowości otworów wiertniczych za pomocą inklinometru, ciągłego monitorowania i rejestracji parametrów wiercenia i iniekcji. Tylko dzięki takiej kontroli można na bieżąco określać, gdzie ewentualnie trzeba wykonać dodatkowe kolumny doszczelniające.

W przypadku przesłony poziomej w technologii iniekcji strumieniowej przecieki zazwyczaj występują na styku sąsiadujących kolumn, dlatego tak ogromne znaczenie ma średnica kolumn tworzących przesłonę przeciwfiltracyjną. Im większa średnica, tym mniej kolumn, mniej styków, tym większa szczelność oraz szybsza realizacja i mniejsze koszty. Keller Polska Sp. z o.o. może poszczycić się uzyskaniem w roku 2008 rekordowej w Polsce średnicy kolumny wynoszącej 5 m (powierzchnia takiej kolumny to prawie 20 m<sup>2</sup>!). Od roku 2014 w Keller Polska Sp. z o.o. standardem są kolumny o średnicy 450 cm. Na rycinie 5 zobrazowano porównanie realizacji przesłony na głębokości 20 m dla wykopu o wymiarach 20 m x 50 m kolumnami o średnicach 250 cm, 350 cm oraz 450 cm. W przykładzie przyjęto zapas bezpieczeństwa, czyli najmniejszy dopuszczalny zakład kolumn równy 5% i odchylenie wiercenia od pionu równe 1%. Widać tutaj, że trzykrotne zwiększenie powierzchni kolumny pozwala co najmniej trzykrotnie zmniejszyć liczbę kolumn.



Ryc. 5. Porównanie liczby kolumn

## Wybrane przykłady realizacji

### Warszawa, Słodowiec Park, ul. Duracza 6 – typowa i prosta realizacja

U zbiegu ulic Magiera i Duracza, niedaleko stacji metra Słodowiec w Warszawie, zbudowano budynek mieszkalny o 12 kondygnacjach nadziemnych oraz dwóch podziemnych. Głębokość wykopu wyniosła 8 m. W trakcie badań geologicznych do głębokości 46 m p.p.t. nie stwierdzono występowania gruntów spoistych, umożliwiających szczelne zakotwienie ścian szczelinowych. Poziom wody gruntowej został pomierzony na rzędnej ok. 2,5 m p.p.t., tj. ok. 5,5 m powyżej projektowanego poziomu dna wykopu. Ze względu na warunki gruntowo-wodne oraz bliską odległość sąsiedniej





Ryc. 6. Warszawa, Stodowiec Park, kopanie ścian szczelinowych



Ryc. 7. Warszawa, Stodowiec Park, iniekcja strumieniowa



Ryc. 8. Warszawa, Stodowiec Park, suchy wykop

zabudowy mieszkaniowej wykonawca zaprojektował i zrealizował kompleksowe rozwiązanie – obudowę wykopu w technologii ściany szczelinowej o grubości 60 cm oraz poziomej przesłony przeciwfiltracyjnej (ryc. 6–8).

### **Warszawa, rozbudowa Centrum Bankowo-Finansowego Nowy Świat – bardzo złożona realizacja**

Rozbudowa budynku Centrum Bankowo-Finansowego Nowy Świat (CBF) polegała na budowie budynku biurowo-handlowo-usługowego oraz oddzielnego garażu podziemnego. Na terenie projektowanej inwestycji znajduje się pięciokondygnacyjny budynek CBF, dawny Dom Partii. Natomiast w najbliższym sąsiedztwie od strony południowej jest Uniwersytet Warszawski (ul. Nowy Świat 4) oraz Centrum Giełdowe (ul. Książęca 2/4), a od strony wschodniej – gmach Muzeum Narodowego.

Budynek biurowo-handlowo-usługowy położony jest między gmachem CBF a Centrum Giełdowym. Budowany pięciokondygnacyjny obiekt o wysokości ok. 25,5 m posiada trzy poziomy podziemne. Trójkondygnacyjny garaż podziemny znajduje się od strony Al. Jerozolimskich i połączony jest z częścią podziemną budynku biurowo-usługowo-handlowego przez istniejący jednopoziomowy garaż (podziemny), zlokalizowany pod budynkiem CBF.



Ryc. 9. Warszawa, CBF, budynek – realizacja iniekcji – wąska przestrzeń między budynkami istniejącymi

Oba obiekty posadowione są w podobnych warunkach gruntowych: pierwsza warstwa to nasypy antropogeniczne, następnie występują gliny zwałowe z przewrstwieniami piaszczystymi, kolejną warstwą są nawodnione piaski i żwir rzeczne. Warstwę ostatnią stanowią plioceńskie iły, iły pylaste i gliny pylaste. Na części powierzchni wykopu obu budynków strop warstwy iłów znajduje się na głębokości ok. 20–24 m i ma prawie poziomy układ. Jednakże od strony wschodniej następuje gwałtowny upad stropu iłów do głębokości ponad 40 m p.p.t. Pierwszy poziom wód gruntowych o swobodnym zwierciadle stabilizuje się na głębokości ok. 3 m p.p.t., a drugi napięty poziom wody gruntowej na głębokości ok. 9 m p.p.t., tj. ok. 4 m powyżej projektowanego poziomu dna wykopu.

Ze względu na warunki gruntowo-wodne, bliską odległość sąsiedniej zabudowy oraz konieczność zapewnienia skutecznego odciążenia dopływu wody do wykopu wykonawca zaprojektował i zrealizował zamiast wykonywania bardzo głębokich ścian szczelinowych kompleksowe rozwiązanie obudowy wykopu w technologii ściany szczelinowej oraz poziomej przesłony przeciwfiltracyjnej (tylko w miejscu upadu stropu iłów), co zobrazowano na rycinach 10 i 11. Takie rozwiązanie pozwoliło prowadzić wykop bez ryzyka związanego z obniżeniem

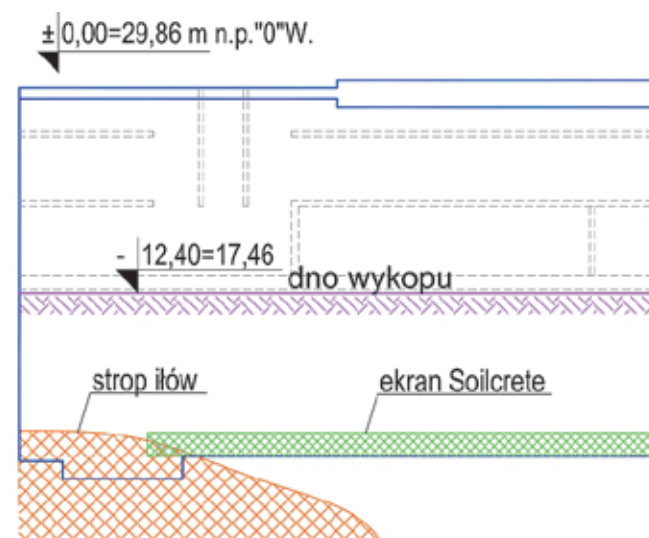
Tab. 1. Doświadczenia wykonawcze Keller Polska Sp. z o.o. z większych wykopów z poziomą przesłoną przeciwnfiltracyjną Soilcrete z lat 2011–2015

Obudowa ścian	Inwestycja	Powierzchnia przesłony [m <sup>2</sup> ]	Napór hydrauliczny [m]	Ilość wody dopływającej do wykopu [m <sup>3</sup> /h]
grodzice	Warszawa, ul. Dźwigowa (2011)	2600	2–3	21
	Legionowo, tunel drogowy (2013)	1600	4–6	57
	Krośnice, tunel drogowy (2015)	1944	2–5	pomijalnie mała
palisada DSM	Gdańsk, Teatr Szekspirowski (2011)	4350	3	2,5
	Sopot, Kino Polonia (2012)	1127	2,5	pomijalnie mała
	Świnoujście, ul. Dąbrowskiego (2014)	4627	4,5	7
ściana szczelinowa	Gdańsk, Baltic Arena (2011)	681	5,5	pomijalnie mała
	Warszawa, Concept Tower (2011)	1000	9	3
	Białystok, BCO (2012)	1700	7	1
	Gdańsk, TMW (2012-2013)	11 388	5–20	pomijalnie mała
	Gdynia, Waterfront (2013)	7410	4	10
	Warszawa, Słodowiec Park (2013)	1625	6	5
	Warszawa, Q22 (2014)	2950	11	29
	Warszawa, CBF (2014)	1300	4	3
	Warszawa, Słodowiec City (2014)	8885	4	< 12
	Gdańsk, Tryton (2014)	5861	5	pomijalnie mała
	Szczecin, tunel tramwajowy (2014)	8362	1–3	pomijalnie mała
	Warszawa, Domaniewska 37C (2014)	6956	8	pomijalnie mała
	Pruszków, ul. Powstańców (2014)	2850	7	< 10
	Warszawa, ul. Wołoska 24 (2014)	3883	10	pomijalnie mała

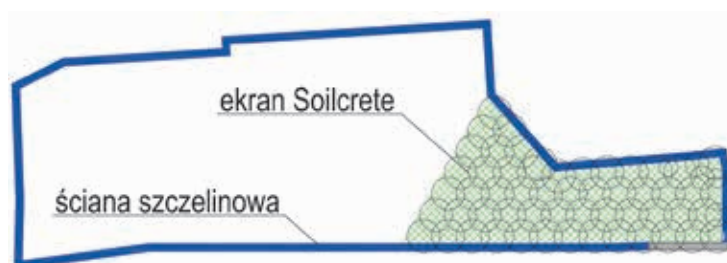
zwierciadła wody na zewnątrz wykopu, a co za tym idzie, osiadania budynków sąsiednich.

Rosnąca liczba realizacji poziomych przesłon w ostatnich pięciu latach wskazuje wyraźnie, że inwestorzy i generalni wykonawcy przywiązują wagę nie tylko do kosztów, które

nawiasem mówiąc są coraz niższe dzięki ciągłemu rozwojowi technologii, ale również do bezpieczeństwa realizacji wykopu, do braku wpływu na obiekty sąsiadujące, do przewidywalnego harmonogramu robót ziemnych (gwarancja ilości dopływającej wody). Realizacja tych oczekiwań klientów jest standardem, który zapewnia wieloletnie doświadczenie spółki Keller Polska, wspierane ciągłym doskonaleniem technologii.



Ryc. 10. Warszawa, CBF, budynek – przekrój



Ryc. 11. Warszawa, CBF, budynek – rzut kolumn

Łącznie w latach 2011–2015 Keller Polska Sp. z o.o. wykonała ponad 82 000 m<sup>2</sup> poziomych przesłon przeciwnfiltracyjnych na przeszło 25 inwestycjach w Polsce.





## Geotechnika bez ryzyka

Keller Polska Sp. z o.o. należy do Keller Group plc z siedzibą w Londynie. Jesteśmy wiodącym koncernem międzynarodowym w zakresie geotechniki, notowanym na Giełdzie Londyńskiej oraz liderem rynku geotechnicznego w Polsce.

Jesteśmy wszędzie tam, gdzie dla powodzenia i bezpieczeństwa realizacji inwestycji potrzebne jest zastosowanie specjalistycznych, często indywidualnie dedykowanych rozwiązań geotechnicznych.

Dysponując najszerszą na rynku paletą nowoczesnych technologii geotechnicznych oraz profesjonalnym zespołem specjalistów, oferujemy kompleksowe doradztwo, projektowanie i wykonawstwo w zakresie wzmocnienia i uszczelniania gruntu, zabezpieczeń skarp i wykopów oraz głębokiego fundamentowania.

Gwarantujemy geotechnikę bez ryzyka poprzez wysoką jakość oferowanych rozwiązań technicznych, dostosowanych do potrzeb każdego klienta.

