

REALIZACJA GŁĘBOKIEGO wykopu fundamentowego w zwartej zabudowie miejskiej na przykładzie Mogilska Office w Krakowie

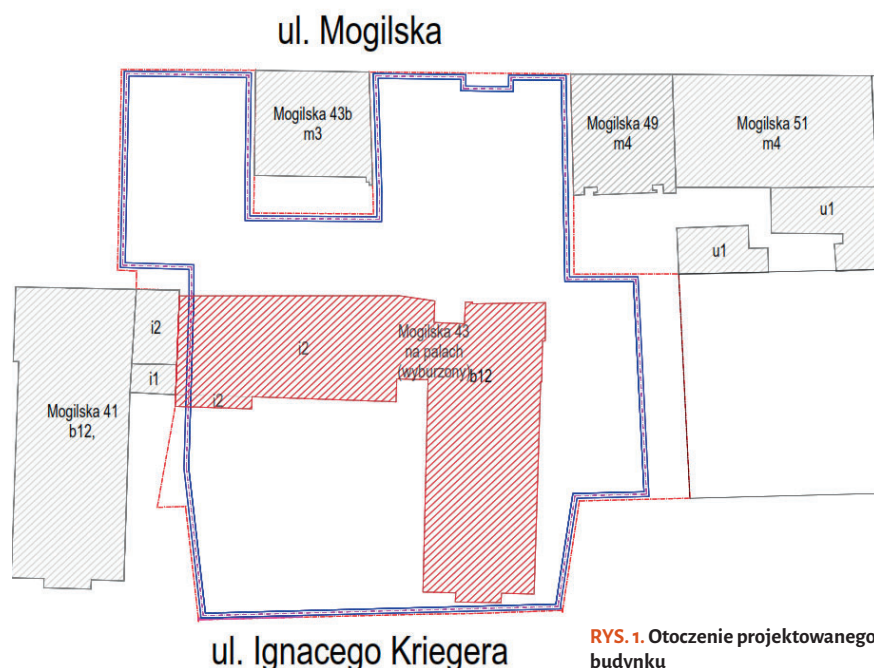


Jakub Zajdel / Keller Polska sp. z o.o.

Prowadzenie prac budowlanych w ścistej zabudowie miejskiej wiąże się z wieloma ograniczeniami. W przypadku realizacji głębokiego wykopu na potrzeby obiektu Mogilska Office w Krakowie zastosowano tymczasową stalową konstrukcję rozparcia w dwóch poziomach, ograniczono zakres stropu rozporowego oraz zaproponowano nietypowy sposób posadowienia żurawi wieżowych



FOT. 1. Plac budowy podczas wykonywania ścian szczelinowych



Wybór optymalnego rozwiązania zabezpieczenia wykopu w ścisłej zabudowie miejskiej wiąże się z koniecznością przeprowadzenia dokładnej i wielowymiarowej analizy. Najważniejszym zadaniem dla projektanta jest ocena wpływu realizacji wykopu na zabudowę sąsiednią. Pozostałymi czynnikami, które należy wziąć pod uwagę w takiej analizie, są m.in.: warunki gruntowe, logistyka placu budowy, istniejące ograniczenia geometryczne oraz harmonogram robót. Przykład doboru optymalnego rozwiązania zostanie zaprezentowany na przykładzie obiektu Mogilska Office, którego inwestorem jest firma Warimpex Finanz- und Beteiligungs AG, a generalnym wykonawcą Porr S.A. Budynek powstaje przy ul. Mogilskiej 43 w Krakowie, w odległości 2,5 km od Rynku Głównego.

W bezpośrednim sąsiedztwie placu budowy od strony ul. Mogilskiej znajdują się trzy- i czterokondygnacyjne budynki mieszkalne z lokalami usługowymi w parterze. Od strony ul. Ignacego Kriegera do niedawna znajdowały się dwa bliźniacze 12-kondygnacyjne obiekty biurowe. Jeden z nich, znajdujący się na działce inwestora, wyburzono wraz z dwukondygnacyjnym łącznikiem.

W miejscu dawnego budynku powstaje Mogilska Office, który uzupełni pierzeję od strony ul. Mogilskiej i zapewni nowoczesną powierzchnię biurową.

Warunki geotechniczne

Na terenie objętym inwestycją podłoże gruntowe jest uwarstwione. Pod względem morfologicznym jest to terasa niska Wisły. Przed rozpoczęciem budowy na terenie działki wykonano wiercenia, badania laboratoryjne oraz odkrywki fundamentów. W podłożu gruntowym do głębokości około 3,2 m p.p.t. stwierdzono występowanie nasypu niebudowlanego. Poniżej nasypów we wszystkich otworach nawiercono grubą warstwę średnio zagęszczonych gruntów niespoistych frakcji piaszczystej oraz żwirowej pochodzenia rzecznej. Lokalnie w obrębie warstwy piaszczystej występują przewarstwienia gruntów organicznych w postaci mań oraz torfów o miąższości do około 3,2 m. Na głębokości od 12,0 do 14,2 m p.p.t. (rzędne od 190,4 do 192,5 m n.p.m.) stwierdzono występowanie stropu iłów mioceńskich w stanie twardoplastycznym. Lokalnie w obrębie iłów stwierdzono występowanie przewarstwień gipsów oraz łupków ilastych.

Wodę gruntową nawiercono we wszystkich otworach. Lokalnie stwierdzono napięte zwier-

ciadło wody związane z występowaniem słabo przepuszczalnych gruntów organicznych. Poziom wody gruntowej stabilizował się na głębokości 3,6–5,0 m p.p.t., tj. na rzędnych 199,7–200,6 m n.p.m.

Pierwotne rozwiązanie projektowe

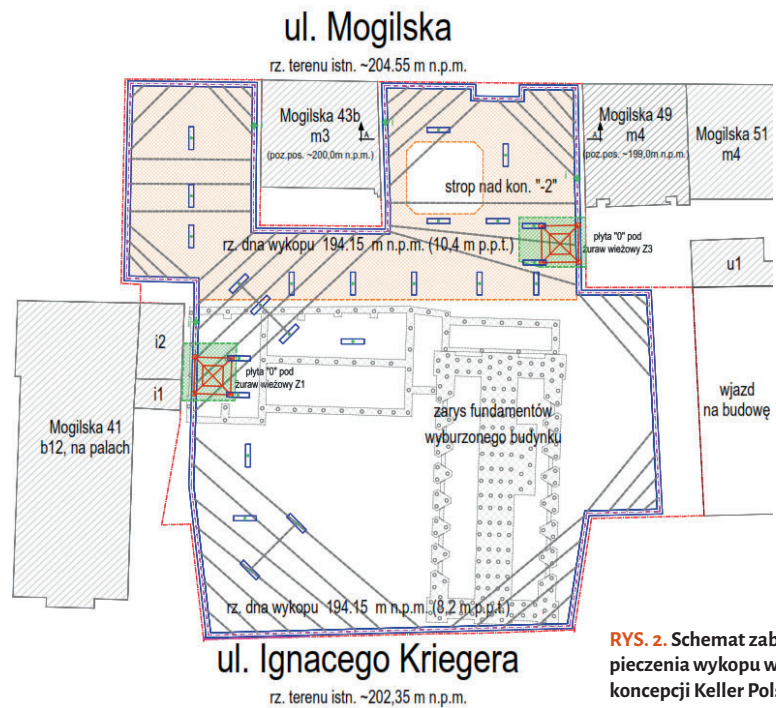
Pierwotnie planowano wykonanie trzech kondygnacji podziemnych. Jako obudowę wykopu na obwodzie blisko 300 m zaprojektowano ścianę szczelinową grubości 80 cm, zagłębioną w warstwę iłów. Na całym zakresie jako podparcie ściany zaproponowano zastosowanie stropów rozporowych (opasek obwodowych) nad kondygnacjami „-2” oraz „-3”. Na czas budowy oparcie stropów zaplanowano na 35 słupach tymczasowych, osadzonych w baretach. Zasadniczy poziom dna wykopu przyjęto na rzędnej 192,3 m n.p.m. Założono prowadzenie odwodnienia wody resztkowej, zamkniętej wewnątrz obrysu ścian szczelinowych, utrzymując jej zwierciadło poniżej dna wykopu. Po zakończeniu odwodnienia, z uwagi na nieuniknione nieszczelności obudowy wykopu, ciśnienie wody pod płytą fundamentową odbudowuje się do pierwotnego poziomu. Konieczne było zastosowanie kotwienia płyty fundamentowej na wypór, ponieważ ciężar konstrukcji budynku lokalnie nie równoważył ciśnienia wody pod płytą fundamentową. Kotwienie płyty fundamentowej na wypór

miało zostać zrealizowane przy zastosowaniu 53 szt. mikropali iniekcyjnych o nośności minimum 500 kN, wykonywanych z dna wykopu.

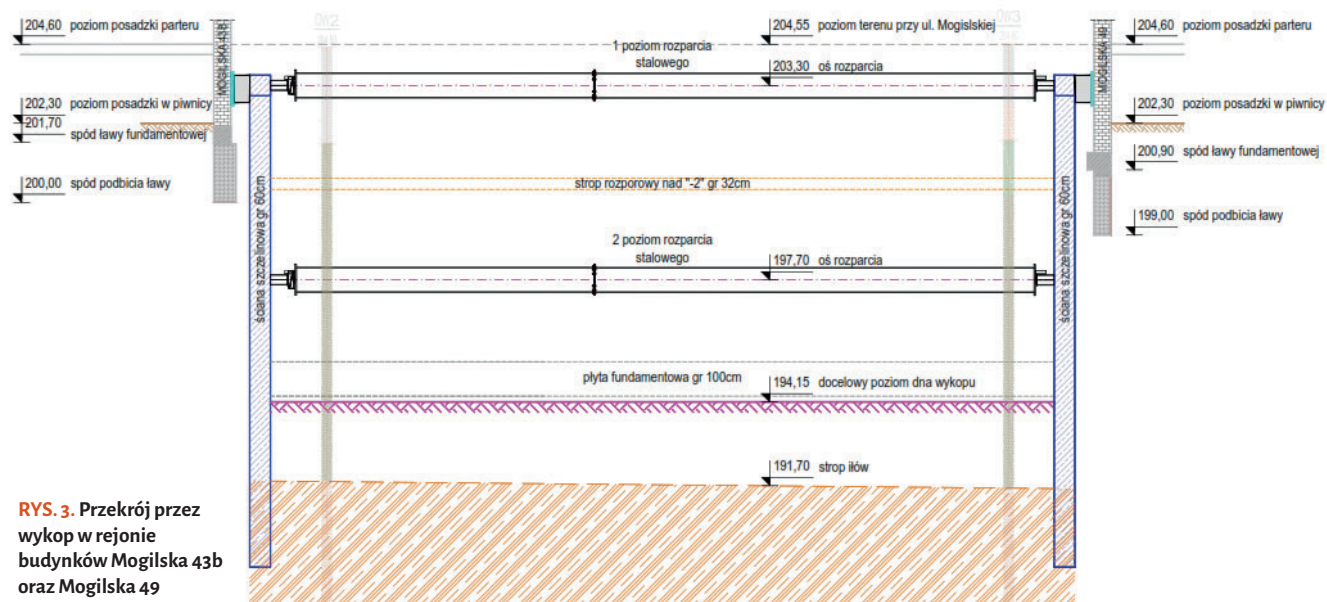
Zrealizowane rozwiązanie projektowe

Ostatecznie zmieniono koncepcję garażu podziemnego. W miejsce trzech klasycznych kondygnacji podziemnych zdecydowano się zbudować dwie. Wysokość w świetle kondygnacji „-1” to około 3,0 m. Ze względu na zastosowanie systemu platform parkingowych nietypową jest wysokość konstrukcyjna kondygnacji „-2”, ponieważ wynosi ona około 5,0 m. Zasadniczy poziom posadowienia projektowanego budynku przyjęto na rzędnej 194,15 m n.p.m. W związku z ukształtowaniem terenu całkowita głębokość wykopu o powierzchni 3200 m² wynosiła od około 10,4 m p.p.t. od strony ul. Mogilskiej do około 8,2 m p.p.t. od strony ul. Ignacego Kriegera. Zgodnie z wytycznymi zawartymi w instrukcji ITB 376 w strefie oddziaływania znalazły się cztery budynki – Mogilska 41, Mogilska 43B, Mogilska 49 oraz budynek gospodarczy przynależący do obiektu Mogilska 51.

Firma Keller zaproponowała własną koncepcję zabezpieczenia wykopu, która znacznie skróciła czas realizacji części podziemnej. Po analizie dokumentacji archiwalnej wyburzonego 12-kondygnacyjnego budynku stwierdzono, że w gruncie pozostało około 200 szt. żelbetowych pali. Zachodziła obawa występowania kolizji projekto-



RYS. 2. Schemat zabezpieczenia wykopu wg koncepcji Keller Polska



RYS. 3. Przekrój przez wykop w rejonie budynków Mogilska 43b oraz Mogilska 49

wanych baret wraz ze słupami tymczasowymi z przeszkodami w gruncie. Pale mogły stanowić znaczne utrudnienie podczas prowadzenia robót ziemnych i przy wykonywaniu stropów rozporowych. Na decyzję o zmianie sposobu podparcia ściany na część zakresu miały wpływ czynniki harmonogramowe oraz ekonomiczne. Realizacja wykopu z rozparciem stalowym ściany szczelinowej jest znacznie tańsza i szybsza niż realizowanie wykopu podstropowo. Zaprojektowano ścianę szczelinową grubości 60 cm.

Jako zabezpieczenie stateczności ściany szczelinowej w fazie budowlanej zaprojektowano dwa poziomy tymczasowej stalowej konstrukcji rozparcia. Pierwszy poziom rozpór zaprojektowano nieco poniżej lub w poziomie odczepu ściany szczelinowej. Drugi poziom rozparcia znalazł się około 3,5 m nad dnem wykopu, tj. na rzędnej 197,7 m n.p.m (rys. 2).

Ze względu na możliwość prowadzenia robót ziemnych oraz żelbetowych, rzędną drugiego poziomu rozparcia stalowego dobrano tak, aby uzyskać optymalne zbrojenie ściany szczelinowej

oraz zachować rozsądną przestrzeń pod rozporami. Rozparcie zaprojektowano z rur stalowych RO508 x 12,5 mm i RO711 x 12,5 mm oraz kształtowników gorącowalcowanych HEB 300 ze stali S355. Zastosowanie rozpór o długości dochodzącej do 36,0 m wymagało wykorzystania konstrukcji wsporczych jako podparcia pośredniego rozpór. łączna masa tymczasowej konstrukcji rozparcia wyniosła ponad 250 ton, z tego ponad 60 ton rozparcia do zamontowania i zdemontowania pod wykonanym stropem nad kondygnacją „-2”. Bezpośrednie sąsiedztwo budynków Mogilska 43b oraz Mogilska 49, posadowionych bezpośrednio około 5,0 m powyżej projektowanego dna wykopu, wymusiło konieczność dodatkowego podparcia ściany szczelinowej w postaci stropu nad kondygnacją „-2”. Dodatkową funkcją tarczy stropu było usztywnienie narożników wypukłych ściany szczelinowej, które bez właściwego podparcia mają tendencję do rysowania się i rozszczelniania. Podparcie stropu w fazie budowlanej zrealizowano poprzez bary 0,6 x 2,8 m wraz ze słupami tymczasowymi typu HEB 400. Na potrzeby ko-

twienia płyty fundamentowej zaprojektowano 15 szt. baret fundamentowych ze zbrojeniem koszowym. Logistyka placu budowy i konieczność dotrzymania harmonogramu realizacji konstrukcji całego budynku wymusiła na generalnym wykonawcy lokalizację żurawia wieżowego Z1 w rejonie budynku Mogilska 41, który ma wysokość 12 pięter. Ze względu na bliskość granicy działki i istniejącą infrastrukturę, nie było możliwe usytuowanie żurawia na naziemiu poza obrysem wykopu. Koncepcja posadowienia żurawia na kotwie traconej, umieszczonej we wcześniej wykonanym fragmencie płyty fundamentowej, została odrzucona, ponieważ pracujący żuraw był niezbędny do realizacji stropu rozporowego. Analogiczna sytuacja miała miejsce w przypadku żurawia Z3 w rejonie budynku Mogilska 49. Do realizacji zadania wykorzystano żurawie wieżowe o maksymalnym nacisku charakterystycznym na łapę wynoszącym około 1000 kN. Biorąc pod uwagę te uwarunkowania, zaproponowane zostało posadowienie żurawi w poziomie stropu „0”. Dwie zewnętrzne łapy ramy balastowej o wymiarach 4,5 x 4,5 m zostały oparte na ścianie szczelinowej, a dwie wewnętrzne na dwugłęziowych tymczasowych słupach stalowych 2 x IPE 400. Płyta żelbetowa pełniła rolę stężenia całego układu.

FOT. 2. Wykop do rzędnych docelowych pod stropem rozporowym

FOT. 3. Wykop do rzędnych docelowych od strony ul. Kriegera



Realizacja

Budowa rozpoczęła się w IV kwartale 2017 r. Do realizacji ścian szczelinowych wykorzystany został zestaw dźwigów gąsienicowych Liebherr HS 8100 jako głębiarka, Liebherr HS 845 jako dźwig serwisowy oraz maszyny i urządzenia zaplecza

technologicznego. Podczas wykonywania robót dostępny był tylko jeden wjazd na budowę, co stanowiło istotne utrudnienie. Głębienie sekcji ściany szczelinowej oraz wykonywanie baret rozpoczęło się z końcem października, a zakończyło a początku grudnia 2017 r. (fot. 2). W połowie stycznia, po wykonaniu oczepu ściany szczelinowej, generalny wykonawca przystąpił do głębienia wykopu. Wraz z postępem robót ziemnych odbywał się montaż tymczasowej stalowej konstrukcji rozparcia (fot. 2, fot. 3, fot. 4). Do końca kwietnia wykonana została płyta fundamentowa pod całością obiektu, a w czerwcu zakończono realizację stanu „0”. Obecnie budynek osiągnął już docelową wysokość, a oddanie go do użytkowania planowane jest na I kwartał 2019 r.

Monitoring

Przez cały czas trwania wykopu oraz realizacji kondygnacji podziemnych prowadzono geodezyjny monitoring osiadań zabudowy sąsiedniej, monitoring przemieszczeń ściany szczelinowej oraz monitoring odkształceń ścian szczelinowych z wykorzystaniem inklinometrów. Pomiarów osiadań zabudowy sąsiedniej dokonywano na 25 reperach zamontowanych na budynkach sąsiednich, a przemieszczeń ściany szczelinowej – regularnie w 20 przekrojach pomiarowych rozlokowanych po obwodzie obudowy wykopu. Do odczytów służyły tarczki umieszczone w poziomie oczepu żelbetowego i w poziomie drugiego poziomu rozparcia. Pomiaru inklinometrycznego odkształceń ścian szczelinowych dokonywano w czterech pionach pomiarowych, zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie

budynków istniejących. Wyniki geodezyjnych pomiarów przemieszczeń i odkształceń ścian szczelinowych wykazały minimalne, nieprzekraczające kilku milimetrów, wartości odkształceń obudowy (rys. 4).

W żadnym z przekrojów pomiarowych nie przekroczono odkształceń założonych w projekcie zabezpieczenia wykopu. Poprawność przyjętych w projekcie założeń potwierdziły niewielkie osiadania budynków sąsiednich, nieprzekraczające kilku milimetrów. Pomiar przemieszczeń potwierdziły, że istotnym czynnikiem wpływającym w sposób bezpośredni na pracę rozpór stalowych jest temperatura otoczenia. Montaż rozpór stalowych odbywał się w okresie od stycznia do marca, w którym notowano ujemne temperatury. Po wykonaniu płyty fundamentowej rozpoczęto demontaż drugiego poziomu rozparcia. Przypadał on na okres od kwietnia do maja. Można przyjąć, że pomiędzy montażem a demontażem nastąpił 30-stopniowy wzrost temperatury powietrza, który spowodował wydłużenie termiczne rozpór. Wyniki pomiarów geodezyjnych wskazywały na cofnięcie się ściany do gruntu w stosunku do wyników pomiarów uzyskanych przed wykonaniem płyty fundamentowej. Drugim objawem tego zjawiska było silne sprężenie rozpór, obserwowane podczas ich rozklinowywania.

Podsumowanie

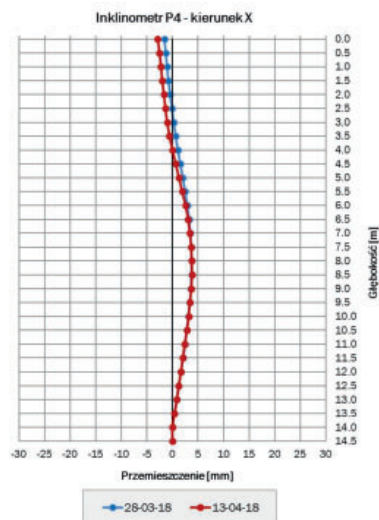
W ścisłej zabudowie miejskiej zawsze występują liczne ograniczenia w sposobie prowadzenia robót. Część z nich związana jest z przeszkodami występującymi w podłożu, które na etapie

projektowania są trudne do zlokalizowania. Przedstawiony przykład realizacji dotyczy kompleksowego zabezpieczenia głębokiego wykopu budowlanego, w którym zastosowano tymczasową stalową konstrukcję rozparcia w dwóch poziomach, ograniczono zakres stropu rozporowego oraz zaproponowano nietypowy sposób posadowienia żurawi wieżowych. Rozwiązanie okazało się optymalne i pozwoliło na sprawną realizację wykopu bez przekroczenia dopuszczalnych wartości osiadań budynków sąsiednich. Wszyscy uczestnicy tego procesu inwestycyjnego wykazali się szczególną troską i zaangażowaniem w ochronę zabudowy sąsiedniej. Istotne znaczenie przy opracowaniu koncepcji zamiennej miała bardzo dobra współpraca z inwestorem (Warimpex), generalnym wykonawcą (Porr) oraz projektantem (OP Architekten / GSBK). <

Literatura

- [1] Projekt wykonawczy ścian szczelinowych na potrzeby realizacji budynku biurowego przy ul. Mogiłskiej 43 w Krakowie, Keller Polska, październik 2017.
- [2] Recommendations on Excavations EAB. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin.
- [3] Instrukcja ITB nr 376/2002: Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów, Warszawa, 2002.
- [4] Górska K., Muszyński Z. and Rybak J.: Displacement monitoring and sensitivity analysis in the observational method. *Studia Geotechnica et Mechanica* 35(3).

RYŚ. 4. Odkształcenia ściany szczelinowej przy budynku Mogiłska 49 po demontażu drugiego poziomu rozparcia



FOT. 4. Betonowanie działki płyty fundamentowej

