

Wyzwania geotechniczne w rewitalizacji obiektów zabytkowych na przykładzie modernizacji Hotelu Grand we Wrocławiu

Geotechnical challenges in the revitalization of historic buildings on the example of the modernization of the Grand Hotel in Wrocław

mgr inż. Maciej Król (ORCID: 0000-0001-7473-0493), Keller Polska Sp. z o.o.

DOI 10.5604/01.3001.0016.2706

Streszczenie: Specjalistyczne prace fundamentowe stanowią coraz większy udział we współczesnych inwestycjach budowlanych. Szczególnie wymagające jest prowadzenie tych robót w terenach silnie zurbanizowanych. W artykule opisano sposoby zabezpieczenia głębokiego wykopu oraz podchwycenia fundamentów przy zastosowaniu technologii pali wierconych w orurowaniu i kolumn jet-grouting na przykładzie modernizacji zabytkowego Hotelu Grand we Wrocławiu. Zwrócono uwagę na właściwe planowanie i koordynację prac oraz ochronę sąsiedniej zabudowy, które decydują o optymalnym projektowaniu i realizacji.

Słowa kluczowe: głębokie wykopy, podchwycenie, pale wiercone w orurowaniu, jet-grouting, specjalistyczne prace geotechniczne, ochrona zabudowy.

Abstract: Special geotechnical works have increasing share in construction projects. It is particularly demanding to execute these works in highly urbanized areas. The paper describes the methods of deep excavations support and underpinning existing foundations using the technology of cased CFA piles and jet-grouting columns on the example of the modernization of the historic Grand Hotel in Wrocław. Attention was paid to the proper planning and coordination of works and protection of adjacent structures which determine the optimal design and execution.

Keywords: deep excavations, underpinning, cased CFA piles, jet-grouting, special geotechnical works, protection of adjacent structures.

1. Wprowadzenie

Dzisiejszy wygląd największych polskich miast kształtowany był przez pokolenia architektów, urbanistów i inżynierów budownictwa, a ich dziedzictwem są budynki zlokalizowane w najbardziej prestiżowych (a co za tym idzie, najbardziej dochodowych) lokalizacjach. Oczywiście jest, że na wielkość zysków wpływa położenie budynku. Nie dziwi zatem intensywne wykorzystywanie tych przestrzeni i modernizacja istniejących, często zabytkowych obiektów, do współczesnych wymagań zarówno użytkowników, jak i przepisów prawa. Dynamiczny rozwój technologiczny na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat, obserwowany w budownictwie, w tym w geotechnice, pozwala na realizację coraz bardziej ambitnych i skomplikowanych technicznie projektów. Do takich należą wyzwania związane z obniżeniem posadowienia istniejących obiektów, a wynikające z potrzeby budowy dodatkowych kondygnacji podziemnych.

2. Rewitalizacja obiektów zabytkowych

W przypadku obiektów zabytkowych charakterystyka lokalizacji jest w większości przypadków podobna: plombowa

zabudowa miejska, bliskie sąsiedztwo wrażliwych obiektów budowlanych, utrudnienia logistyczne, duża niejednorodność podłoża gruntowego, gęsta sieć infrastruktury podziemnej czy przeszkody w gruncie w postaci pozostałości dawnych



Rys. 1. Hotel dawniej i współczesna wizualizacja (materiały prasowe Rafin) [1]

Rys. 2. Wykonane prace geotechniczne [2]

budowli. Są to tylko niektóre z czynników podnoszących stopień trudności realizacji robót budowlanych.

Bardzo ważna jest dokładna analiza ryzyka, która powinna być przeprowadzona już na etapie koncepcji projektowych. Niezwykle pomocne na tym etapie są konsultacje architekta i konstruktora z inżynierem geotechnikiem i koordynacja branżowa poszczególnych rozwiązań. Zwróćmy uwagę, że większość powstających obecnie budynków realizowanych jest z wykorzystaniem różnych technologii geotechnicznych (zarówno w zakresie wzmocnień podłoża, jak i zabezpieczeń wykopów), a mimo to wciąż dziedzina ta traktowana jest marginalnie w całym procesie budowlanym. Wielu błędów lub nieporozumień można uniknąć poprzez zaangażowanie specjalistów branży geotechnicznej przy opracowaniu koncepcji, podobnie jak ma to miejsce z pozostałymi branżystami.

3. Rola geotechniki w procesie budowlanym

Modelowy przykład współpracy międzybranżowej można zilustrować na przykładzie rewitalizacji Hotelu Grand we Wrocławiu (rys. 1).

W sercu miasta, naprzeciwko Dworca Głównego, w 1903 r. wybudowano Hotel Du Nord, który stanowił wizytówkę dla podróżnych odwiedzających Wrocław i charakteryzował się należą mu elegancją. Przemianowany po wojnie na Hotel Grand przez wiele lat był jednym z najbardziej prestiżowych hoteli w mieście. Transformacja ustrojowa i zmiany własnościowe w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku nie były łaskawe dla tego obiektu. Hotel przestał być użytkowany i przez kilkanaście lat budynek popadał w ruinę. Rewitalizacji obiektu podjęła się firma Rafin, która postanowiła przywrócić hotelowi dawną świetność.

Ze względu na znaczący stopień uszkodzeń istniejącej konstrukcji duża część budynku została wyburzona, pozostawiono tylko zabytkowe ściany frontowe, przeznaczone do odrestaurowania w pierwotnym stylu architektonicznym. Projekt przebudowy budynku zakładał wykonanie kondygnacji podziemnej w celu dostosowania do współczesnych standardów oraz powiększenia cennej przestrzeni użytkowej obiektu. Zabezpieczenia wykopów od strony sąsiedniej zabudowy oraz istniejącej ściany frontowej zostały zrealizowane za pomocą szeregu nowoczesnych metod geoinżynierskich.

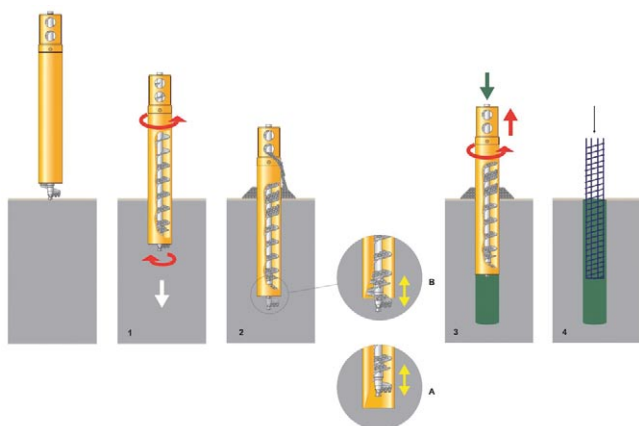
Głównym wyzwaniem okazało się wykonanie kondygnacji podziemnej w bezpośrednim sąsiedztwie istniejących budynków. Należało tak dobrać technologię i zaprojektować



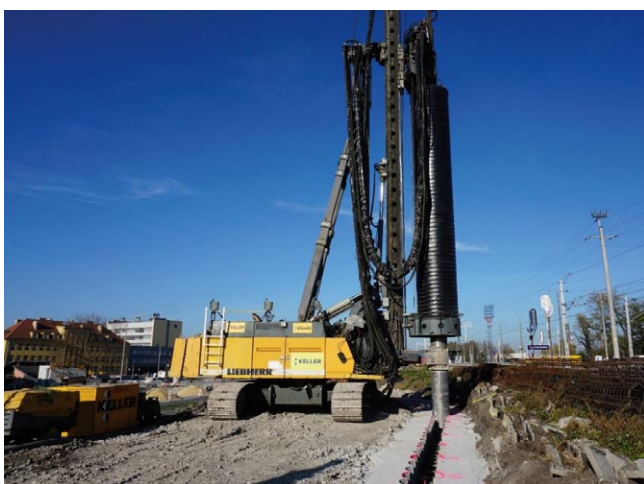
sposób zabezpieczenia wykopu, aby ograniczyć jego wpływ na budynek i infrastrukturę podziemną. Ponadto należało wzmocnić fundamenty oraz stateczność zabytkowej ściany frontowej. Co więcej, elementy zabezpieczenia wykopów istotnie wpływały na kształt i kubaturę kondygnacji podziemnej oraz etapowanie prac budowlanych, co zdecydowanie zwiększało stopień trudności projektowania i realizacji. Udział geotechnika na etapie prac przedprojektowych pozwolił na uwzględnienie niezbędnej przestrzeni wymaganej na zabezpieczenie wykopu (bardzo ważne ze względu na planowanie powierzchni pomieszczeń i przyszłą funkcjonalność obiektu), dobór odpowiednich technologii fundamentowania i optymalny harmonogram realizacji prac. Doświadczenia pokazują, że przestrzeń wymagana na elementy zabezpieczeń wykopu nie jest uwzględniana w planach zagospodarowania terenu oraz projektach architektoniczno-budowlanych. Kondygnacje podziemne projektowane są „na styk” z granicami nieruchomości w celu maksymalnego wykorzystania ich przestrzeni użytkowej. Często taka realizacja nie jest możliwa właśnie ze względu na wymóg zabezpieczenia głębokiego wykopu (a nie zawsze jest możliwość czasowego zajęcia działki sąsiedniej i wykonania demontowalnych obudów). Zdarza się, że informacja o konieczności zabezpieczenia wykopu pojawia się na etapie przetargu lub nawet wykonawstwa, kiedy kompletny projekt budowlany jest już zaakceptowany. Mając na uwadze czasochłonność procesu projektowego i uzgadniania formalności urzędowych, może być zdecydowanie za późno na jakiegokolwiek zmiany.

4. Zastosowane technologie geotechniczne

W celu zabezpieczenia głębokiego wykopu oraz ochrony sąsiedniej zabudowy, wykonano palisadę z pali wierconych w orurowaniu (CCFA – *Cased Continuous Flight Auger*). Technologia ta w literaturze branżowej nosi różne nazwy: VDW (Vor Der Wand), CFP (Cased Flight Auger Piles), SPGO (System Podwójnej Głowicy Obrotowej) lub CSP (Casing Secant

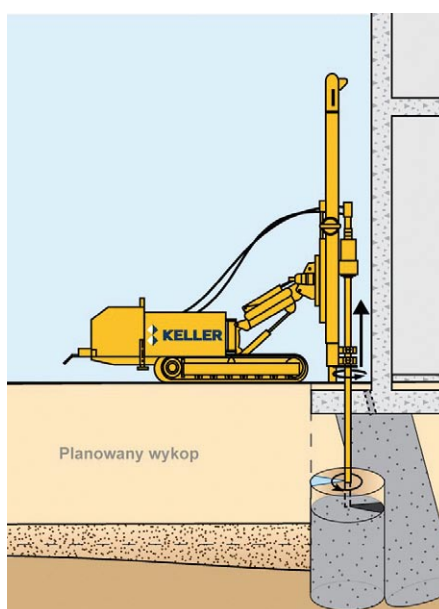


Rys. 3. Schemat wykonywania pali CCFA [4]



Rys. 4. Wykonywanie pali CCFA w murkach prowadzących

Piles). Sposób wykonania pali CCFA polega na jednoczesnym pogrążeniu rury osłonowej i ciągłego świda przy użyciu podwójnej głowicy. W czasie wiercenia wewnątrz rury świda wypełnia się betonem i utrzymuje jego niewielkie ciśnienie, przeciwdziałając penetracji gruntu oraz wody do wnętrza świda. W trakcie wiercenia możliwe jest wysuwanie rury względem świda, co w przypadku natrafienia na przeszkody ułatwia wiercenie. Po osiągnięciu projektowanej głębokości następuje faza stopniowego podnoszenia świda oraz rury i jednoczesnego betonowania trzonu pala pod ciśnieniem. Po zakończeniu betonowania w pal zostaje wprowadzone zbrojenie, najczęściej przy użyciu wibratora. Zastosowanie rury zakończonej koronką wiertniczą pozwala na dokładniejsze prowadzenie trzonu pala i przewiercanie się przez sąsiednie pale i przeszkody w podłożu.



Rys. 5. Schemat wykonywania kolumn Soilcrete [5]

Zabezpieczenie wykopu zaprojektowano, przyjmując schemat statyczny z rozparciem za pomocą konstrukcji stalowej. Ze względu na bliskie sąsiedztwo budynków należało dobrać odpowiednią sztywność obudowy w celu minimalizacji przemieszczeń. Zastosowanie pali w orurowaniu umożliwiło uzyskanie wymaganej dokładności w trudnych warunkach gruntowych z licznymi przeszkodami w postaci pozostałości fundamentów dawnej konstrukcji. Dodatkowym argumentem za użyciem pali CCFA była konieczność zastosowania technologii bezwibracyjnych z uwagi na wrażliwą zabudowę sąsiednią. Ponadto zaprojektowano dodatkowe pale oporowe (wykonywane tą samą metodą), na których oparto stalowe zastrzały dla zapewnienia stateczności ściany elewacyjnej.

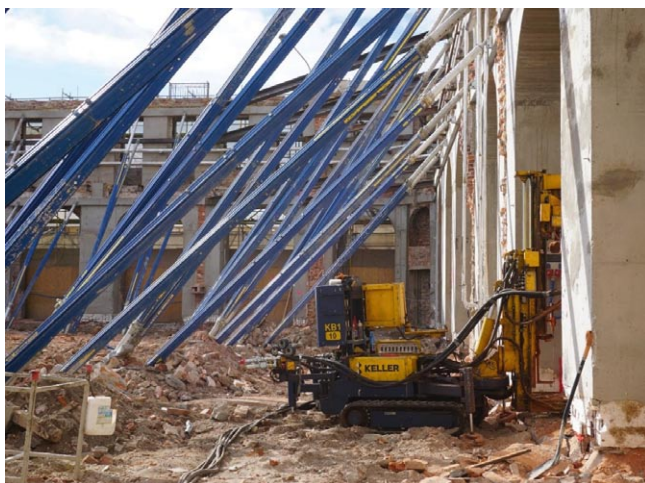
W celu zabezpieczenia fundamentów istniejącej ściany elewacyjnej zaprojektowano podchwycenie za pomocą iniekcji wysokociśnieniowej Soilcrete.

Iniekcja wysokociśnieniowa wytwarza bryły cementogruntu (Soilcrete®) za pomocą monitora zamontowanego na końcu żerdzi wierzących. Proces rozpoczyna się od wkręcenia monitora iniekcji wysokociśnieniowej na żądaną głębokość. Następnie przez dysze w monitorze zaczyna wydostawać się z dużą prędkością zacin cementowy (opcjonalnie z wodą i powietrzem). Zaczyn wycina i miesza grunt w trakcie wyciągania i obracania monitora.

W zależności od potrzeb oraz rodzajów gruntu wykorzystuje się jedną z trzech metod: system pojedynczego medium (tylko zacin cementowy), system podwójnego medium (zacin cementowy otoczony powietrzem) lub system potrójnego medium (woda otoczona powietrzem oraz osobno podawany zacin cementowy). W procesie iniekcji wysokociśnieniowej buduje się pełne kolumny lub częściowe kolumny oraz panele cementogruntowe, które zaprojektowane są na określoną wytrzymałość i/lub przesiąkalność.

Geometria brył oraz własności fizyczne cementogruntu projektowane są na podstawie badań podłoża gruntowego. Ponieważ jest to system oparty o erozję, istotną rolę w przewidywaniu geometrii, jakości i produkcji odgrywa podatność gruntów na erozję. Zazwyczaj grunty niespoiste są bardziej podatne na erozję przy użyciu iniekcji wysokociśnieniowej niż grunty spoiste.

Zabezpieczenie głębokiego wykopu i jednocześnie wzmocnienie fundamentów istniejącej ściany frontowej zrealizowano właśnie za pomocą kolumn Soilcrete. Zaletą podchwycenia fundamentów przy użyciu iniekcji wysokociśnieniowej jest możliwość wykorzystania bryły podbicia

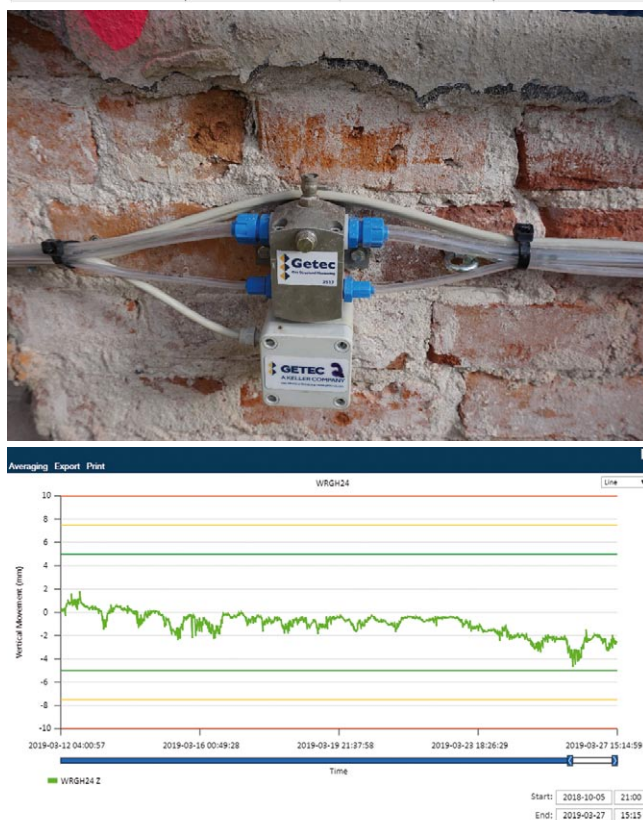
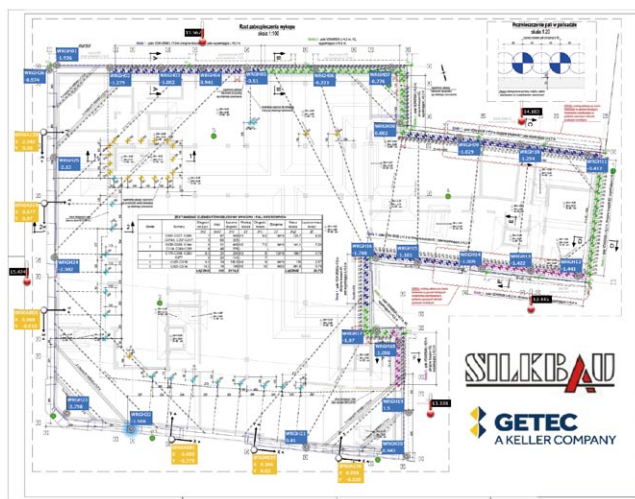


Rys. 6. Podchwycenie ściany elewacyjnej w technologii Soilcrete

jako szalunku jednostronnego i wykonania ścian garażu „na styk” do istniejących fundamentów. Pozwoliło to na uzyskanie dodatkowej przestrzeni w kondygnacji podziemnej, na tyle kluczowej, że nie można było jej przeznaczyć na zajęcie przez palisadę. Ważnym aspektem podchwycenia fundamentów jest konieczność uzyskania zgody właściciela budynku na wzmocnienie fundamentów, co nie zawsze jest zadaniem łatwym. W omawianym przypadku iniekcją wysokociśnieniową zrealizowano pod częścią obiektu należącą do inwestora (co z oczywistych przyczyn nie wymagało uzgodnień), natomiast wzdłuż budynków sąsiednich, ze względu na ograniczenie ingerencji w fundamenty istniejących obiektów, wykonano palisady.

5. Ochrona zabudowy

Ochrona sąsiedniej zabudowy to kluczowy aspekt, który należy rozważyć w projektowaniu zabezpieczeń głębokich wykopów. Szczegółowe algorytmy opisane są w instrukcji. Podstawowe dane do obliczeń statycznych powinny zostać zawarte w ekspertyzie stanu technicznego istniejących budynków. Rola ekspertyzy jest niezwykle ważna, ponieważ stanowi ona dokumentację istniejącego stanu technicznego, a zarazem dowód w przypadku ewentualnych roszczeń sąsiadów względem inwestora. Dobrze sporządzona analiza stanu technicznego powinna zawierać dokumentację fotograficzną rys, spękań i uszkodzeń, ocenę stopnia zużycia elementów konstrukcyjnych, oszacowanie dopuszczalnych przemieszczeń obiektu oraz odkrywki fundamentów z określeniem ich stanu technicznego oraz weryfikacją poziomu posadowienia. Nie należy marginalizować roli ekspertyzy i szukać w ich kosztach pozornych oszczędności. Pobieżna analiza, brak wizji lokalnej czy obliczeń sprawdzających mogą prowadzić do katastrofalnych skutków. Warto w tym miejscu podkreślić, że wykonanie oceny stanu technicznego budynków znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie wznoszonych obiektów jest wymogiem prawa budowlanego (par. 206, pkt. 1).



Rys. 7. Plan monitoringu przemieszczeń, fotografia czujnika i przykładowy wykres przemieszczeń

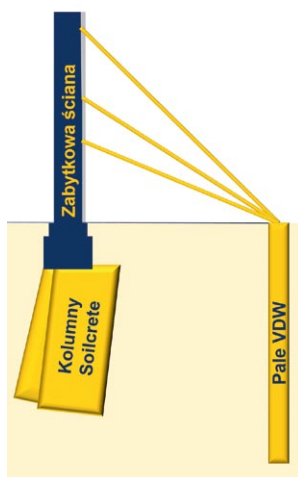
Drugim elementem właściwej ochrony zabudowy jest monitoring przemieszczeń. Pomiary osiadania i odchyień stanowią weryfikację przyjętych założeń projektowych i przedstawiają rzeczywiste zachowanie sąsiednich konstrukcji w wyniku wykonywania prac ziemnych, geotechnicznych czy wyburzeniowych. Wyniki monitoringu są informacją dla projektanta, kierownika budowy oraz inwestora, czy na każdym z etapów budowy jest zapewnione wymagane bezpieczeństwo budynków. Podobnie jak w przypadku ekspertyzy tak w przypadku prowadzenia monitoringu często można zauważyć błędy. Najczęstszym, a zarazem najbardziej problematycznym, jest brak pomiaru zerowego,

Rys. 8. Schemat oraz ilustracja wykonanych prac geotechnicznych

który powinien stanowić punkt odniesienia do rejestrowanych później wyników. Ważne jest, żeby pomiar początkowy przeprowadzić przed rozpoczęciem wszelkich prac, ponieważ to dostarczy informacji, jaka jest „odpowiedź” budynku na poszczególne etapy budowy. Drugim istotnym elementem pomiarów przemieszczeń jest ich częstotliwość.

Duże odstępy czasowe pomiędzy kolejnymi pomiarami lub brak prowadzenia odczytów po istotnych etapach budowy nie dostarczają wystarczających informacji o zachowaniu konstrukcji i uniemożliwiają zauważenie sytuacji potencjalnie niebezpiecznych. Skrupulatność przy prowadzeniu pomiarów geodezyjnych jest niezwykle istotna, zwłaszcza w przypadku kiedy budowa składa się z wielu etapów, a prace realizowane są przez liczne brygady, które nie są właściwie zaznajomione z lokalizacją reperów oraz harmonogramem pomiarów.

W przypadku Hotelu Grand wysoki stopień skomplikowania prac i liczne sąsiedztwo wrażliwych obiektów budowlanych wymagały szczególnej dokładności i częstotliwości prowadzenia pomiarów przemieszczeń. Z tego względu zdecydowano się zastosować automatyczny system pomiaru przemieszczeń z ciągłą rejestracją danych. Wyniki pomiarów były zapisywane i dostępne w trybie on-line dla wszystkich uczestników projektu. Takie rozwiązanie umożliwiałoby podgląd zachowania budynków w dowolnym czasie za pomocą aplikacji internetowej. Dodatkowo wprowadzono ostrzegawcze wartości przemieszczeń, po przekroczeniu których przesyłana była informacja do projektanta oraz kierownika budowy za pomocą wiadomości e-mail oraz SMS. System ostrzegawczy pozwalał na natychmiastową identyfikację przyczyny przemieszczeń i podjęcie środków zaradczych. Pomiarami objęto zarówno sąsiednią zabudowę, jak i zabytkową ścianę frontową. Monitoring obejmował rejestrację osiadania oraz przemieszczeń poziomych ilustrujących odchylenia ściany. Automatyczny system jest niezwykle użyteczny, ponieważ pozwala na obserwację przemieszczeń na każdym etapie realizacji prac, a zwłaszcza bezpośrednio podczas wykonywania robót geotechnicznych. Ponadto jest korzystny ekonomicznie w stosunku do częstych pomiarów geodezyjnych. Zastosowanie automatycznych systemów nie zwalnia z wykonania tradycyjnego pomiaru zerowego (stanowiącego punkt referencyjny dla dalszych odczytów) przed rozpoczęciem jakichkolwiek prac i podobnie jak system reperów geodezyjnych powinien być odpowiednio zabezpieczony przed przypadkowym uszkodzeniem.



6. Przebieg prac geotechnicznych

Charakterystycznym elementem prac w zwartej zabudowie miejskiej jest utrudniona logistyka. Tak było również w przypadku wykonywania prac budowlanych Hotelu Grand. Optymalny harmonogram i kolejność prowadzenia robót geotechnicznych były kluczowe dla pomyślnej realizacji całej inwestycji. Na stosunkowo niewielkiej przestrzeni należało zrealizować szereg prac zabezpieczających istniejące konstrukcje, po których mogły nastąpić roboty ziemne i żelbetowe.

Kolejność działań przedstawiono poniżej.

- Prace wyburzeniowe, polegające na demontażu elementów konstrukcji zagrażających bezpieczeństwu. Efektem prac rozbiórkowych było pozostawienie części ściany frontowej wraz ze stropami i ścianami poprzecznymi stabilizującymi elewację do momentu wykonania prac geotechnicznych.
- Przygotowanie platformy roboczej [10] – pozycja obowiązkowa dla wszelkich prac geotechnicznych. Szczególnie ważne w przypadku prowadzenia prac w obrębie dawnych budynków są: inwentaryzacja piwnic i ich właściwe zasypianie oraz wytyczenie i oznaczenie lub usunięcie sieci uzbrojenia podziemnego.
- Wykonanie żelbetowych murków prowadzących dla pali CCFA, ułatwiających realizację prac w trudnych warunkach gruntowych i zwiększających dokładność wykonania palisady.
- Realizacja pali CCFA. Zaprojektowano nośne pale żelbetowe (zbrojenie w postaci kosza stalowego) oraz wypełniające pale betonowe. Palisadę wykonano wzdłuż istniejących budynków sąsiednich. Po wykonaniu pali CCFA głowice rozkuto i zwińczone oczepem żelbetowym z elementami pod projektowaną konstrukcją rozparcia.
- Wykonanie pali oporowych w technologii CCFA, stanowiących oparcie zastrzałów stabilizujących ścianę elewacyjną przed utratą stateczności w wyniku działania siły wiatru.
- Montaż systemowych zastrzałów stalowych łączących pale oporowe z oczepami stalowymi i żelbetowymi zainstalowanymi



Rys. 9. Palisada zabezpieczająca sąsiednią zabudowę



Rys. 10. Zabezpieczenie ściany elewacyjnej

na ścianie elewacyjnej. Zastrzały należało zamontować pomiędzy stropami i ścianami istniejącej konstrukcji, przeznaczonej w następnej kolejności do wyburzenia.

- Podchwycenie fundamentów ściany elewacyjnej za pomocą iniekcji strumieniowej Soilcrete. Ze względu na ograniczenia wysokościowe (praca pod stalowymi zastrzałami) oraz utrudnioną logistykę należało dobrać odpowiednie gabaryty wiertnicy, które umożliwiały bezpieczną i efektywną pracę w trudnych warunkach terenowych (rys. 6).
- Odkopanie podchwycenia fundamentów do rzędnej zapewniającej stateczność konstrukcji i instalacja oczepu stalowego na kolumnach Soilcrete.
- Montaż konstrukcji stalowej zapewniającej rozparcie obudowy wykopu. Instalacja rur oraz kształtowników stalowych prowadzona była z dużą ostrożnością ze względu na niewielki plac budowy, utrudniony dostęp i liczne przeszkody w postaci pali oporowych i zastrzałów, pomiędzy którymi należało umieścić konstrukcję rozparcia (rys. 9, 10).
- Realizacja prac ziemnych do docelowej rzędnej dna wykopu oraz płyty fundamentowej.
- Montaż ukośnych rozparć stalowych, połączonych z płytą fundamentową, który umożliwił usunięcie rur rozpierających

wykop na poprzednich etapach prac. Zmiana sposobu rozparcia ułatwiła i umożliwiła bezkolizyjne prowadzenie prac żelbetowych w kondygnacji podziemnej.

- Wykonanie ścian kondygnacji podziemnej oraz stropu nad garażem stanowiącego docelową konstrukcję rozparcia dla obudowy wykopu. Po uzyskaniu wymaganej wytrzymałości betonu stropu, zdemontowano rozparcia stalowe.
- Sukcesywnie do realizacji kolejnych kondygnacji nadziemnych i zapewniania stateczności ściany elewacyjnej z połączeniem konstrukcją stropów, demontowano zastrzały stalowe. Po pełnym połączeniu ściany frontowej z nową konstrukcją usunięto pale oporowe.

7. Podsumowanie

W artykule, na podstawie rewitalizacji hotelu Grand we Wrocławiu, zwrócono uwagę na stopień złożoności prac geotechnicznych realizowanych w zwartej zabudowie miejskiej i dotyczących obiektów zabytkowych. Na złożoność zagadnienia wpływa „przenikanie” się różnych branż, zarówno w trakcie projektowania jak i wykonawstwa i oczywiste jest, że tylko właściwa koordynacja robót może prowadzić do pomyślnej realizacji całego przedsięwzięcia. Dlatego ważnym zadaniem jest rozwiązanie zagadnień geotechnicznych i właściwe zaplanowanie poszczególnych prac jeszcze na etapie projektowania i przygotowania przedsięwzięcia do realizacji. Nie uda się tego zrobić bez zaangażowania w proces projektowy, już na wczesnym etapie, inżyniera – geotechnika. Geotechnika, podobnie jak konstrukcja czy instalacje, to bardzo istotna branża, zwłaszcza w terenach wysoce zurbanizowanych. W niniejszym artykule przedstawiono, jak bardzo istotne dla bezpieczeństwa konstrukcji jest właściwe zaprojektowanie i przygotowanie robót geotechnicznych. Prace geotechniczne, jakkolwiek obecnie zupełnie niewidoczne na etapie użytkowania obiektu, odegrały znaczącą rolę na drodze przywracania do świetności Hotelu Grand.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Materiały prasowe Firmy Rafin
- [2] Fotografia ze strony: <https://fotopolska.eu/1424978,foto.html?o=b261897>, autor: Corvus monedula
- [3] Rychlewski P., Rurowane pale CFA, Inżynieria i Budownictwo 2012, <https://inzynierbudownictwa.pl/rurowane-pale-cfa/>
- [4] PW Keller nr 386/PW/WR/2018 Zabezpieczenie głębokiego wykopu za pomocą palisady wraz z tymczasowym zabezpieczeniem istniejącej ściany przed wpływem wiatru
- [5] PW Keller nr 542/PW/WR/2018 Podchwycenie fundamentów ściany elewacyjnej w technologii Soilcrete
- [6] Fotografie z archiwum firmy Keller Polska sp. z o.o.
- [7] Instrukcja ITB 376/2020: Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów
- [8] PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne
- [9] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane
- [10] Król M., Platformy robocze i nie tylko, czyli o bezpieczeństwie w geotechnice, Przegląd budowlany 9–10/2022