

MIX technologii w służbie rewitalizacji

MIX of technologies in the service of revitalization

mgr inż. Urszula Tomczak (ORCID: 0000-0002-1876-7360), Główny Projektant i Ekspert, Soletanche Polska Sp. z o.o.

DOI 10.5604/01.3001.0016.3254

Streszczenie: Coraz częściej stare budynki pofabryczne są rewitalizowane i przekształcane w tętniące życiem obiekty mixed used. Wymaga to dużego nakładu pracy i zastosowania specjalistycznych technologii geotechnicznych uzupełniających się nawzajem. W artykule przedstawiono na przykładzie obiektu Art Norblin połączenie ścian szczelinowych, baret, kolumn jet-grouting i mikropali. Przedstawiono także bardzo istotne w przypadku otoczenia zabytkowych budynków zagadnienie monitoringu obudowy wykopu i osiadań sąsiednich zabudowań.

Słowa kluczowe: ściany szczelinowe, jet-grouting, monitoring, podbicie fundamentów.

Abstract: More and more often, old post-industrial buildings are revitalized and transformed into vibrant mixed-use facilities. This requires a lot of work and the use of specialized geotechnical technologies that complement each other. The article presents the connection of diaphragm walls, barrettes, jet-grouting columns and micropiles on the example of the Art Norblin facility. The issue of monitoring excavation support and subsidence of neighboring buildings, which is very important in the case of historic buildings, is also presented.

Keywords: diaphragm walls, jet-grouting, monitoring, foundation foundations.

1. Wprowadzenie

Warszawa w swojej perspektywie strategicznej 2030 ma stać się miastem tzw. „krótkich dystansów”. W skrócie założeniem miasta jest zmiana tkanki miejskiej w taki sposób, aby nie tworzyć stref służącym pracy, mieszkaniu, realizowaniu zakupów czy rozrywki. Projekty rewitalizacyjne to zawsze duże wyzwanie dla wszystkich zaangażowanych stron. Współpraca z konserwatorem zabytków, zaspokojenie potrzeb przyszłych wynajmujących to najczęściej wymieniane przez inwestorów determinanty budżetowe. Okazuje się jednak, że to czas wykonywanych robót jest czynnikiem, który odgrywa kluczową rolę w procesie realizacyjnym i wpływa w sposób bezpośredni na budżet.

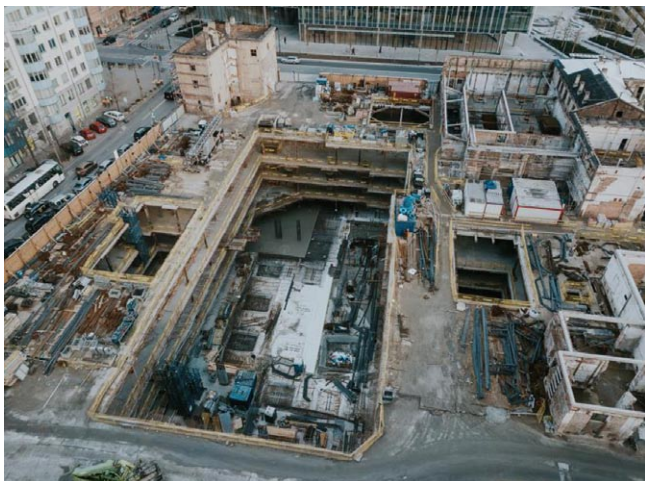
Większość projektów skupia się wyłącznie na zachowaniu zabytkowej czy też ciekawej fasady istniejącego budynku. Do jej zabezpieczenia wykorzystywana jest technologia iniekcji strumieniowej jet-grouting lub rozwiązania palowe i mikropalowe.

To technologie, za pomocą których wzmacnia się fundamenty już istniejących obiektów. Nie powodują drgań, co jest kluczowe dla zabezpieczenia niezwykle wrażliwych konstrukcji. Coraz częściej jednak mianem rewitalizacji nazywamy projekty, które polegają na zmianie funkcji dotychczasowych budynków często nie pojedynczych, ale całych zespołów na przykład pofabrycznych.

W ten sposób oprócz zachowania starych murów zadaniem projektanta geotechnicznego i wykonawcy jest przygotowanie fundamentów pod zmienioną funkcję budynku. Wykonywane są wzmocnienia oraz części podziemne przeznaczone na parkingi, sklepy, magazyny, strefy dostaw pod już istniejącymi budynkami, wykorzystując do tego mix technologii. Najczęściej jest to mariaż technologii ścian szczelinowych z wspomnianym wcześniej jet-groutingiem i mikropalami. Jedną z takich inwestycji jest usytuowana zaledwie 800 m od Pałacu Kultury i Nauki w Warszawie Dawna Fabryka Norblina. Tu historia w spójny sposób łączy się z nowoczesnością. Zakład Norblin, Bracia Buch i T. Werner przed I wojną światową był czołową fabryką metalurgiczną w Królestwie Polskim. Fabryka na rogu ulic Żelaznej i Prostej powstała w połowie XIX wieku i zajmowała się platerowaniem, czyli nakładaniem powłok ochronnych na wyroby metalowe. Zakład był jednym z największych przedsiębiorstw w Polsce, niestety ucierpiał podczas obrony Warszawy we wrześniu 1939 roku oraz w 1944



Rys. 1. Schemat lokalizacji ścian szczelinowych i budynków zabytkowych w czasie wykonywania ścian

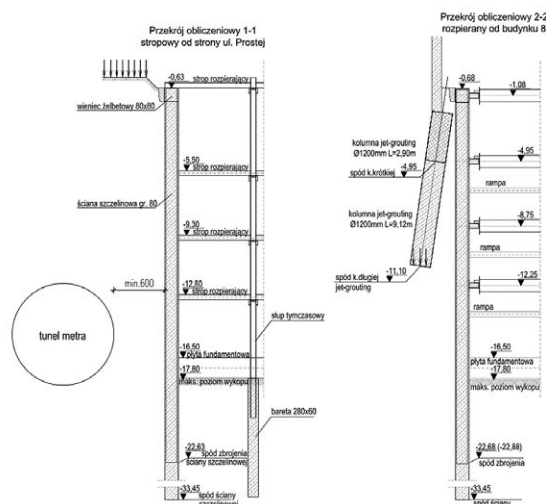


Rys. 2. Widok na ściany szczelinowe z obręczami stropów rozporowych i podbijane budynki

roku po Powstaniu Warszawskim. W 1982 roku Dawna Fabryka Norblina została zamknięta i przekazana na cele muzealne, a teren jej powoli się kurczył. W 2008 roku działkę zakupiła Grupa Capital Park, która postanowiła dać mu drugie życie z zachowaniem szacunku do jego przeszłości historycznej. W listopadzie 2017 roku plac budowy został przekazany Soletanche Polska, która jako pierwsza wkroczyła na teren fabryki w charakterze wykonawcy fundamentowania specjalistycznego.

2. Opis konstrukcji nowo projektowanej

Rewitalizacja tak dużych obszarów jak w opisywanym przykładzie Dawnej Fabryki Norblina wiąże się zarówno z odrestaurowaniem starych często zabytkowych obiektów, jak też z zaprojektowaniem nowych w ścisłym sąsiedztwie obecnych. W tym przypadku projekt zakładał zachowanie istniejących budynków po Dawnej Fabryce Norblina wraz z kompleksami maszyn, wpisanych do rejestru zabytków oraz poddanie ich renowacji oraz wkomponowanie w nowy obiekt wielofunkcyjny. Nowa zabudowa za to powstała nad zabytkowymi budynkami, tworząc otwartą przestrzeń skupioną wokół brukowanej głównej uliczki, przy której znalazły się zabytkowe budynki, pasáže, kawiarenki i butiki oraz odrestaurowane maszyny zabytkowe. Główne elementy nowo projektowanej części kompleksu to dwa budynki usługowo-handlowe mające 7–8 kondygnacji nadziemnych z głębokim czteropoziomowym podziemiem przeznaczonym na przestrzeń handlowe, strefy dostaw, pomieszczenie techniczne, zbiorniki oraz oczywiście parking. Jako zabezpieczenie wykopu i docelowe ściany zewnętrzne wykonano ściany szczelinowe o grubości 80 cm zabezpieczone w fazach tymczasowych stropami rozporowymi. Budynki zabytkowe nr 2, 7, 8, 9, 15, 17, 18, 19 i 25 oraz budynki niewpisane do rejestru zabytków nr 26 wymagały zarówno wzmocnienia istniejących fundamentów, posadowienia nowych słupów, zabezpieczenia ścian zewnętrznych sąsiadujących z głębokim podziemiem, jak i obudowy pogłębianych fragmentów.



Rys. 3. Typowe przekroje ścian szczelinowych

3. Warunki geologiczno-hydrologiczne

W czasie wykonywania rozpoznania geologicznego pod powierzchnią terenu nawiercono typowe dla rejonów miejskich grunty nasypowe w tym przypadku zbudowane z piasków gliniastych oraz lokalnie z piasków i pyłów przemieszanych z gruzem występujące do głębokości maksymalnie 4,5 m. Poniżej znajdują się piaski pylaste lokalnie średnie, średnio zagęszczone i zagęszczone o $I_D = 0,55–0,80$. Pod piaskami znajduje się strop gruntów spoistych – morenowych glin piaszczystych i zastoiskowych pyłów piaszczystych, pyłów i glin pylastych. Stopień plastyczności tych gruntów wynosi $I_L = 0,00–0,25$, czyli są w stanie twaroplastycznym i półzwardym. Strop i spąg gruntów spoistych jest pofałdowany i zalega na zmiennej głębokości. Poniżej gruntów spoistych nawiercono kolejną warstwę piasków tym razem pylastych, drobnych i średnich zagęszczonych o $I_D > 0,80$. Piaski są przewarstwione nieciągłą warstwą gruntów spoistych o zmiennej miąższości (w trzech otworach jej nie nawiercono).

Na danym obszarze nawiercono dwa poziomy wodonośne:

- pierwszy o zwierciadle swobodnym na głębokości od 2,00 m do 4,15 m poniżej poziomu terenu;
- drugi o zwierciadle napiętym przez warstwę gruntów spoistych stabilizuje się na głębokości od 8,05 m do 8,85 m poniżej poziomu terenu.

4. Zastosowanie ścian szczelinowych

Zaprojektowano i wykonano ściany szczelinowe grubości 80 cm po całym obwodzie 4-kondygnacyjnego podziemia. Ze względu na zlokalizowanie obudowy w ścisłym sąsiedztwie istniejącej zabudowy oraz tunelu metra wybrano zabezpieczenie ich stateczności w postaci metody stropowej przy wykorzystaniu wszystkich stropów docelowych jako stropy rozporowe, co miało zminimalizować przemieszczenia i co za tym idzie wpływ głębokiego wykopu na otoczenie.

W miejscu występowania rampy docelowej oraz w miejscach tymczasowych otworów do wybierania urobku zastosowano tymczasowe rozpory stalowe również w czterech poziomach. Dla podtrzymania tarcz stropów rozporowych w czasie tymczasowych faz pracy obudowy przed wykonaniem docelowych słupów zaprojektowano słupy tymczasowe zakotwione w baretach. Dodatkowo baryty przenoszą siły docelowe z konstrukcji obiektów zarówno nowo projektowanych, jak i zabytkowych zlokalizowanych nad częścią podziemną (przesuwany budynek nr 15 i podpierane tymczasowo na mikropalach budynki nr 17 i 18). Łącznie wykonano 176 baret o wymiarach 60x280 cm o typowej długości 7,0 m, a dla rejonów zwiększonych obciążeń lub koniecznej minimalizacji osiadań część z nich została wydłużona nawet do 12 m. Zagłębienie ściany szczelinowej poza wymogami statyki przewidziano minimum 2 m poniżej stropu warstwy utrudnień filtracyjnych w celu zminimalizowania dopływu wody do wykopu oraz założono minimalną głębokość ściany na 33,45 m poniżej 0 budynku. Dodatkowo w rejonie przylegającym do istniejącego tunelu metra zmniejszono sekcje ścian szczelinowych oraz wydłużono ściany do rzędnej -49,45 m poniżej 0 budynku w celu zmniejszenia wpływu wykonywania ścian w czasie głębenia wykopu. Typowe fazowanie prac dla przekroju stropowego przedstawiono na rysunku 4.

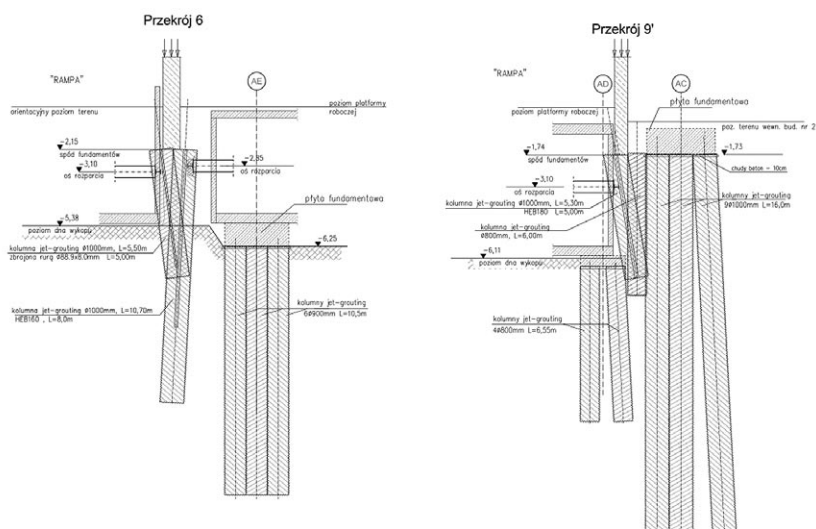
5. Zastosowanie kolumn jet-grouting

Jednym z najtrudniejszych zagadnień było odpowiednie zabezpieczenie i wzmocnienie istniejących zabytkowych budynków, które w dużej części nie były w dobrym stanie technicznym. Architekci i projektanci konstrukcji przewidzieli dla nich nowe funkcje polegające na zmianie użytkowania i także nadbudowie, a co za tym idzie zmianie obciążeń. Istniejące fundamenty musiały przejść zwiększone obciążenia oraz zaprojektowano dodatkowe słupy i stopy fundamentowe pod nimi. Dodatkowo w niektórych rejonach pogłębiono wykop poniżej istniejących fundamentów, dodając podziemne części dla budynków. W bliskim sąsiedztwie istniejącej zabudowy

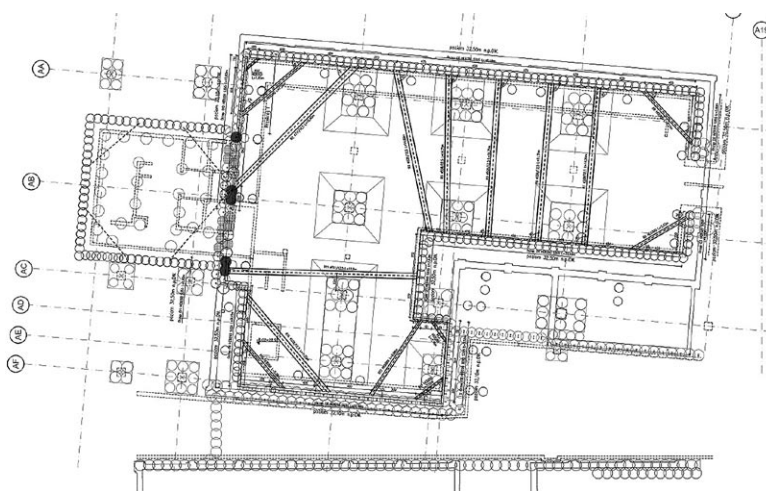
miały być wykonywane ściany szczelinowe, przed czym również należało zabezpieczyć obiekty. Zadania te spowodowały konieczność oprócz prac związanych z samą rozbiórką fragmentów obiektów, wzmocnieniem ich pozostałej konstrukcji elementami stalowymi także wykonanie pakietu prac geotechnicznych. Ze względu na ograniczoną przestrzeń do wykonywania prac wewnątrz istniejących zabudowań została zaproponowana technologia kolumn iniekcyjnych jet-grouting. I tak w pierwszej kolejności dla ścian zewnętrznych przylegających do wykonywanych ścian szczelinowych wykonano palisady z kolumn jet-grouting, podbijając ławy fundamentowe. Ze względu na ceglana konstrukcję ław palisady były ciągłe (bez przerw pomiędzy kolumnami możliwymi do zastosowania na przykład dla fundamentów żelbetonowych) o średnicy 100–110 cm i zmiennej długości dostosowanej do warunków gruntowych, obciążeń oraz limitów osiadań. Rozwiązanie to zabezpieczało ściany zabytkowych obiektów przed osiadaaniem w czasie samego głębenia poszczególnych sekcji ściany szczelinowej, ale także przed wpływem odkształcenia obudowy w kolejnych etapach pogłębienia wykopu dla 4 kondygnacji podziemia. Kolejnym zadaniem było wykonanie wzmocnienia podłoża pod istniejące stopy fundamentowe i ściany w miejscu zwiększenia obciążeń w fazie docelowej, posadowienie pośrednie nowych słupów związanych głównie z nadbudową oraz zabezpieczenie wykopu wewnątrz budynków dla miejsc wymagających pogłębienia. Kolumny zaprojektowano i wykonano o średnicach 90–110 cm i długościach zmiennych od zaledwie 3,8 m dla kolumn wypełniających po nawet 18,0 m dla posadowienia nowych słupów, a część z nich wymagała zbrojenia kształtownikami. W sumie Soletanche wykonało 1423 kolumn (977 jako podbicie fundamentów oraz zabezpieczenie wykopów oraz 446 jako wzmocnienie gruntu). Ze względu na znaczny zakres prac w artykule przedstawiono szczegółowo rozwiązania dla jednego z obiektów. Jako przykład zastosowania technologii szczegółowo opisano budynek nr 2. Do prac geotechnicznych dla tego obiektu należało:

- zabezpieczenie budynku na czas wykonania wstępnych prac przygotowawczych wewnątrz budynku (np. wykop wstępny),
 - zabezpieczenie podbijanych ścian budynku na czas wykonywania kondygnacji podziemnej oraz rampy,
 - miejscowe zabezpieczenie ograniczające dopływ wody do projektowanego wykopu,
 - wzmocnienie podłoża gruntowego dla posadowienia trzonu AK2 oraz pod nowo projektowanymi słupami docelowymi.
- Dla budynku nr 2 wykonano podbicie i zabezpieczenie wykopu istniejących ław fundamentowych pod częścią ścian budynku, zabezpieczenie ograniczające dopływ wody

Rys. 4. Przykładowe przekroje dla budynku nr 2



Rys. 5. Rzut kolumn jet grouting wraz z rozparciem dla budynku nr 2



do projektowanego wykopu oraz kolumny jet-grouting dla wzmocnienia podłoża pod nowo projektowane słupy oraz trzon AK2 dla ograniczenia różnic osiadania fundamentów projektowanego budynku A. Podbicie ścian było konieczne ze względu na zabezpieczenie zabytkowego obiektu w trakcie wykonania wykopów wewnątrz i na zewnątrz, a także w trakcie docelowego użytkowania jako część konstrukcji trwałej. Zgodnie z zaleceniami opisanymi w instrukcji ITB „Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów” [16] należy nierównomierne osiadanie znacząco ograniczyć, co powoduje konieczność podbicia ścian w strefach bezpośredniego wpływu projektowanych wykopów.

Wykonując zarówno projekt, jak i prace podbicia fundamentów istniejących budynków należy jak najdokładniej przeanalizować istniejący projekt budynku (dla budynków starych, zabytkowych, zazwyczaj takie projekty nie zachowały się, ponieważ uległy zniszczeniu w czasie II wojny światowej), a gdy nie jest zachowany – wykonać jak największą liczbę odkrywek. Często zdarza się tak, że każda ściana różni się poziomem posadowienia czy grubością. Powoduje to konieczność wykonania wielu przekrojów obliczeniowych i analiz, a także pracę projektanta geotechnicznego w czasie wykonywania prac i bieżące korekty na podstawie informacji z terenu. Pokazuje to zazwyczaj liczbę rewizji wykonywanego projektu i w tym przypadku projektanci doszli do rewizji o oznaczeniu I. Ostatecznie wyszczególniono 18 przekrojów obliczeniowych (przykładowe pokazano na rysunku 5), a poniżej przedstawiono opis części z nich:

- podbicie ścian od strony wewnętrznej z poziomu istniejącej posadzki w postaci kolumn odchylonych od płaszczyzny pionowej o 5° i 7°, średnicy $\varnothing 1100$ mm i długości 7,55 m zbrojone kształtownikami HEB120-160, długości od 6,5 do 8,0 m;
- podbicie ściany, gdzie zaprojektowany został wykop z dwóch stron – wewnątrz budynku dla kondygnacji podziemnej oraz na zewnątrz budynku pod projektowaną rampę. Zaprojektowano tutaj kolumny w układzie kozłowym – wewnątrz z poziomu istniejącej posadzki, a na zewnątrz z poziomu terenu. Kolumny jet-grouting wewnętrzne są odchylone od płaszczyzny pionowej o 3°, natomiast wewnątrz o 7°. Kolumny wewnętrzne zaprojektowano jako $\varnothing 1000$ mm, o długości 10,70 m, zbrojone kształtownikiem HEB140 lub HEB160 o długości 8,00–9,00 m, natomiast na zewnątrz jako $\varnothing 1000$ mm o długości 5,50 m, gdzie część kolumn jest zbrojonych rurą $\varnothing 88,9 \times 8,0$ mm o długości 5,00 m;
- kolumny $\varnothing 1000$ mm wykonywane z zewnątrz jako podbicie ścian budynku oraz zabezpieczenie wykopu o długości 11,30 m, odchylone o 10°. Ze względu na zbrojenie dwuteownikiem

HEB160 o długości 8,0 m należało wykonać przewiert rdzeniowy;

- kolumny pionowe $\varnothing 900$ mm stanowiące zabezpieczenie wykopu pod rampę. Kolumny o długości 10,90 m, zbrojone IPE240 o długości 8,0 m;
- uszczelnienie z kolumn jet-grouting w celu wykonania otworu na poziome kondygnacji podziemnej do nowo projektowanej części inwestycji w obudowie ściany szczelinowej. Kolumny wykonywane z zewnątrz $\varnothing 1200$ mm z poziomu terenu, odchylone od płaszczyzny pionowej o 2° oraz kolumny wewnątrz $\varnothing 1000$ mm wykonane z poziomu istniejącej posadzki, odchylone również o 2° wszystkie o długości 5,60 m;
- kolumny $\varnothing 1000$ mm o długości 7,50 m wykonane jako miejscowe zabezpieczenie ograniczające dopływ wody do projektowanego wykopu w rejonie rampy.

Poza tym dla części, gdzie projektowane było pogłębione podziemie pod budynkiem nr 2, zostało wykonane tymczasowe rozparcie stalowe składające się z układu oczepów stalowych z kształtowników HEB 200 do HEB300 i rozpór stalowych z kształtowników HEB 200 i HEB300 oraz rur stalowych $\varnothing 508$ i $\varnothing 711$ (rys. 6).

W celu wzmocnienia podłoża pod projektowanym trzonem AK2 zaprojektowano układ kolumn jet-grouting o średnicy 1000 mm i długości typowej 12,0 m rozmieszczonych w nieregularnej siatce dostosowanej do rozkładu sił pod ścianami trzonu. Założono przegubowy schemat statyczny oparcia płyty trzonu na kolumnach. Nośność projektowanych kolumn jest nie mniejsza niż 2000 kN.

W celu ograniczenia osiadań, a także dla lepszej kontroli nad nierównomiernymi osiadaniami budynku A, którego fundamenty znajdują się zarówno w obrębie budynków, jak i poza nimi zaprojektowano pod nowo projektowanymi słupami kolumny jet-grouting. Zaprojektowano kolumny formowane pionowo oraz pod kątem 3°, o średnicach 800–1000 mm i długościach od 6,55–16,0 m.

6. Rozwiązania nietypowe

Zdarza się, że typowe rozwiązania nie mogą dać oczekiwanych efektów, a prace rewitalizacyjne związane z przebudową

starych obiektów często wymagają skomplikowanych rozwiązań. Tutaj zarówno projektanci, jak i wykonawcy muszą wykazać się dużą kreatywnością, a czasami też i odwagą. Dla obiektu Art. Norblin w pracach geotechnicznych dwa z rozwiązań z pewnością do typowych nie należały. Pierwsze z nich dotyczy budynków nr 17 i 18, które znajdowały się pośrodku projektowanego czterokondygnacyjnego podziemia. Rozebranie i odbudowanie tych obiektów nie było dozwolone ze względu na ich zabytkowy charakter. Tutaj postanowiono posadzić je tymczasowo na mikropalach o długości od 8 do 13 m zbrojonych kształtownikami HEB 120 spiętymi ocepem, co pozwoliło na wykonanie wykopu pod ławami i zrealizowanie stropu 0 (lokalizacja pokazana na rysunku 7). Strop oraz jego podparcie na słupach stalowych posadowionych w baretach został tak zaprojektowany, żeby przejąć obciążenia od istniejących zabytkowych budynków. Po wykonaniu stropu 0 to już on przejął całe obciążenia, a mikropale mogły zostać zdemontowane w ramach postępu prac ziemnych.

Kolejny problem stwarzał budynek nr 15, który musiał zostać w całości relokowany celem wykonania ścian szczelinowych oraz konstrukcji żelbetowej. Po dokonaniu wzmocnień budynek wrócił na swoje dawne miejsce. Operacja relokacji trwała kilka miesięcy i składała się z kilku etapów. Pierwszym z nich było dokładne zabezpieczenie ważącego ponad 900 ton budynku o powierzchni 380 m². Kolejnym było odcięcie go przy nasadzie i przesunięcie po przygotowanych wcześniej ośmiu belkach ślizgowych. Budynek przenoszony był za pomocą siłowników i zamontowanych do nich prętów wysokiej wytrzymałości. Do wykonania tego zadania niezbędny był układ hydrauliczny składający się z sześciu siłowników oraz pompy hydraulicznej o mocy 700 barów. W czasie pracy cały czas działały urządzenia pomiarowe oraz pomocnicze. Po wykonaniu ścian szczelinowych oraz konstrukcji żelbetowej pod pierwotną lokalizacją budynku nr 15 w kolejnym etapie prac został on przeniesiony na swoje pierwotne miejsce i tam docelowo ustabilizowany. Tutaj prace geotechniczne musiały być ściśle zharmonizowane

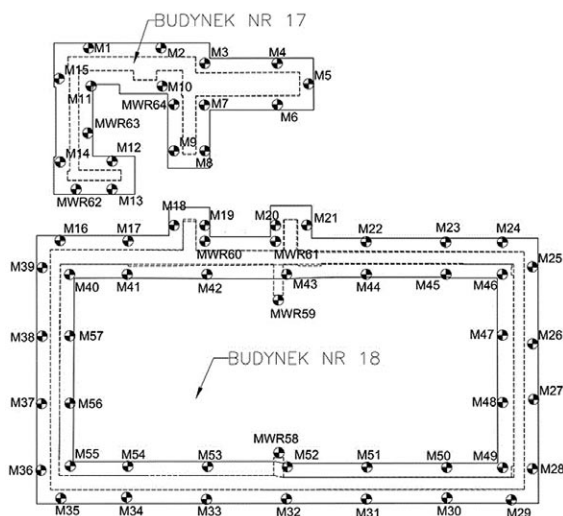
z pracami wykonawcy relokacji tak, aby wykonać w pierwszej części baretę przenosząc obciążenia z relokowanego budynku poprzez strop 0 na podłoże. W czasie gdy budynek został przesunięty do wnętrza obrysu podziemia, dokończono wykonywanie prac związanych ze ścianami szczelinowymi (fragment pod istniejącym budynkiem), które zostały odpowiednio podzielone na sekcje umożliwiające taką kolejność prac.

7. Monitoring

Jednym z najbardziej istotnych elementów w prowadzeniu każdej inwestycji jest obserwowanie jej wpływu na otoczenie. Obserwacja, czyli monitoring prowadzony jest po to, żeby sprawdzić i kontrolować trafność założeń, jakie zostały poczynione w trakcie analiz projektowych. Monitoring pozwala także zapewnić bezpieczeństwo poprzez bieżącą kontrolę stanu i zachowania obiektów i terenu w zakresie wpływu inwestycji. Inwestycja Fabryka Norblina poprzez swoje bliskie sąsiedztwo zarówno z zabudową mieszkaniową, biurową, ale także infrastrukturą naziemną i podziemną, jak np. tunel metra, zalicza się do inwestycji, dla których szczególnie istotną kwestią jest obserwowanie, w jaki sposób budowa wpływa na bliskie otoczenie.

Dla ścian szczelinowych poza tradycyjnym monitoringiem tachimetrycznym prowadzony był monitoring inklinometryczny, pozwalający na bieżące obserwowanie przemieszczeń w trakcie prowadzenia wykopu na całej długości ściany. Wyniki pomiarów były bliskie wartościom zakładanym. Dodatkowo prowadzono monitoring przemieszczeń stropów rozpierających w celu weryfikacji przemieszczeń ściany szczelinowej i założeń co do przyjętych wartości sztywności podparcia. W trakcie prac budowlanych nie wystąpiła sytuacja, w której ścianę należało dodatkowo podeprzeć lub wstrzymać wykop. Monitoring ścian pozwalał natomiast zrozumieć zachowanie punktów pomiarowych na budynkach zabytkowych i w tunelu metra, a obudowa wykopu była tylko jednym z czynników wpływu. Bez wiedzy na temat przemieszczeń obudowy trudno byłoby analizować przyczyny przemieszczeń sąsiednich obiektów i właściwie oceniać ryzyko.

Dla zabytkowych budynków ekspertyza, a za nią projekt monitoringu określiły dopuszczalne przemieszczenia w granicach 5–7 mm. Ekspertyza uzupełniająca pozwoliła przeanalizować budynki odrębnie i skupić się na dopuszczalnych ugięciach fundamentu i ich wpływu na ściany w zależności od niecki osiadań: wypukłej lub wklęsłej, a także dopuszczalnego wychylenia ściany od pionu. Należy też wspomnieć, że mury budynków były w złym stanie technicznym. W znaczącym stopniu były już popękane z zabezpieczonymi otworami okiennymi i drzwiowymi, także rozpatrywanie ich w aspekcie stanów granicznych użytkowania nie miało sensu. Wszystkie istniejące i nowo powstałe zarysowania były opomiarowane szczelinomierzami. Całość pomiarów tworzyła bazę danych pozwalającą na analizę przemieszczeń i ich



Rys. 6. Schematy lokalizacji mikropali pod budynkami nr 17 i 18



Rys. 7. Lokalizacja punktów pomiarowych zabudowy sąsiedniej

przyczyn, a także wskazania odpowiednich działań zaradczych. Część budynków zabytkowych została podbita kolumnami jet-grouting, które często jednocześnie były obudowami wykopów. Poza monitoringiem osiadań budynków był również prowadzony monitoring przemieszczeń obudów, który pozwalał reagować na przemieszczenia, zanim wystąpi poważna awaria. W miejscach zagrożonych wykonywano wzmocnienia ściągami, oczepami, czy podpierano koźłami, ale dzięki monitoringowi nie było konieczności zabezpieczania wszystkich elementów.

Monitoring zabudowy sąsiedniej był prowadzony metodą niwelacji precyzyjnej. Na wszystkich budynkach w strefie oddziaływania wykopu zostały zamontowane repery stale monitorowane (lokalizacja na rysunku 7). Żaden z budynków w zabudowie sąsiedniej nie przekroczył wartości przemieszczeń stanowiących dla niego zagrożenie.

Bardzo ważnym elementem było zadbanie o bezpieczeństwo w tunelu metra, który jest oddalony od budynku jedynie o kilka metrów. Każda większa deformacja mogła wpłynąć na konieczność spowolnienia przejazdu pociągów metra. O ryzyku zablokowania przejazdu w tunelu nawet nie było dyskusji. Należało do zagrożenia wstrzymania ruchu nie dopuścić.

Zgodnie z wytycznymi Metra Warszawskiego dopuszczalne deformacje pionowe podtorza pomiędzy dwoma punktami pomiarowymi, wyrażone w postaci wskaźnika wygięcia (wg EN 1997-1:2004), wynoszą: $\Delta/L = 1/1100$.

Poza rozwiązaniami technicznymi jak wydłużenie ścian szczelinowych, żeby ograniczyć wpływ efektu odprężenia wykopu na tunel, prowadzono pomiar torowiska metodą niwelacji precyzyjnej, a także zmianę odległości między szynami i wichrowatość. Pomiary rozpoczęły się z wyprzedzeniem i trwały w trakcie wszystkich prac na budowie. Jednocześnie prowadzone były pomiary poziomych przemieszczeń obudowy tunelu, co pozwalało określić wielkość deformacji przekroju tunelu. W trakcie trwania budowy, pomimo bardzo nisko ustalonych progów powiadomień nie osiągnięto poziomów przemieszczeń zbliżających się do alarmowych, a metro jeździło bez zakłóceń.

8. Podsumowanie

Wykonanie fundamentowania Dawnej Fabryki Norblina było nie tylko dużym wyzwaniem ze względu na wymagający charakter realizacji, ale również z uwagi na skomplikowane warunki gruntowe. Tak trudna i skomplikowana inwestycja, a przede wszystkim wymagająca ciągłego nadzoru projektowego i wprowadzania na bieżąco szeregu zmian związanych z „niespodziankami” odkrytymi w czasie prac, trudna logistyka łącząca wiele różnych technologii wykonywanych jednocześnie nie ma szansy powodzenia bez współpracy wszystkich stron zarówno inwestora, generalnego wykonawcy i projektanta konstrukcji z wykonawcą i projektantem specjalistycznych prac geotechnicznych.

Jako wykonawcę specjalistycznych prac geotechnicznych warto wybrać firmę posiadającą cały wachlarz technologii, co pozwoli na jak najlepsze dobranie rozwiązań zarówno pod względem ekonomicznym, jak i technicznym oraz zapewni ciągłość oraz bezpieczeństwo prac. Przede wszystkim warto od początku procesu projektowego zaprosić do współpracy ekspertów z zakresu geotechniki. Takie działania zawsze przynoszą oszczędności. Nie trzeba wówczas dokonywać optymalizacji na już istniejącym projekcie. Nie ma też ryzyka w kontekście przebudowy już wykonanego frontu robót, który wymaga wykonania jakiegoś dodatkowego wzmocnienia pod nim.

Artykuł był prezentowany na konferencji WPPK 2022

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 1538:2015: Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Ściany szczelinowe
- [2] PN-EN 1537: Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Kotwy gruntowe
- [3] PN-EN 1997-1: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne
- [4] PN-EN 12716: Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Iniekcja strumieniowa
- [5] Dokumentacja geologiczno-inżynierska do projektu architektoniczno-budowlanego zespołu budynków wielofunkcyjnych handlowo-usługowych, kultury oraz biurowych wraz z wielopiętrowym garażem podziemnym w Warszawie przy ulicy Żelaznej 51/53, GEOTEST, Warszawa, 2011
- [6] Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrologiczne w związku z zamierzonym wykonaniem odwodnienia budowlanego wykopu fundamentowego obiektu Art. Norblin przy ulicy Żelaznej 51/53 na terenie dzielnicy Wola, Geosystem Wiesław Opęchowski, Warszawa, 2012
- [7] Dokumentacja geotechniczna dla strefy kontaktu obiektu ART. NORBLIN oraz tunelu szlakowego D10 II linii metra
- [8] Opinia dotyczącej metod budowy i fundamentowania specjalnego projektowanych i istniejących budynków przy ul. Żelaznej 51/53 w Warszawie, Jan Domurad, Warszawa, 2014
- [9] Projekt budowlany konstrukcji, Fort Polska Sp. z o.o., Warszawa, 2013
- [10] Projekt przetargowy konstrukcji, Fort Polska Sp. z o.o., Warszawa, 2013
- [11] Projekt wykonawczy podbitcia fundamentów ścian istniejących oraz wzmocnienia podłoża pod nowo projektowanymi słupami metodą iniekcji strumieniowej „jet-grouting” budynek nr 2, Soletanche Polska Sp. z o.o., maj 2019
- [12] Projekt wykonawczy mikropali dla budynku nr 17 i 18, Soletanche Polska Sp. z o.o., kwiecień 2018
- [13] Projekt wykonawczy ścian szczelinowych i baret, Soletanche Polska Sp. z o.o., luty 2019
- [14] Raport stanowiący podstawę uruchomienia prac projektowych wykonawcy konstrukcji geotechnicznych, Fort Polska, Warszawa, 2017
- [15] Jarominiak A., Lekkie konstrukcje oporowe, WKŁ, Warszawa, 2000
- [16] Kotlicki W., Wysokiński L., Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów, ITB, Wytyczne nr 376/2002, Warszawa, 2002