



Metody budowy części podziemnej budynków głębokich na podstawie realizacji inwestycji Wolf Marszałkowska i Wolf Bracka w Warszawie

■ mgr inż. Wojciech Szmilewski, mgr inż. Anna Ledzińska, mgr inż. Piotr Godzieba, Bilfinger Berger Budownictwo SA

Firma Bilfinger Berger Budownictwo SA realizuje, na zlecenie firmy Wolf Immobilien Polen, skomplikowane pod względem technicznym obiekty podziemne w centrum Warszawy.

Od grudnia 2007 r. do września 2009 r. firma wykonywała konstrukcję budynku Wolf Marszałkowska, składającą się z 12 kondygnacji nadziemnych oraz pięciokondygnacyjnego garażu podziemnego. Budynek jest położony przy skrzyżowaniu ulic Marszałkowskiej i Żurawiej.

Jednocześnie od lipca 2008 r. do chwili obecnej Bilfinger Berger Budownictwo SA realizuje drugi obiekt handlowo-usługowy dla tego samego inwestora. Jest nim budynek Wolf Bracka, mieszczący się przy skrzyżowaniu ul. Brackiej z Al. Jerozolimskimi. Ma sześć kondygnacji nadziemnych oraz pięć kondygnacji podziemnych.

1. Ogólna charakterystyka budynków i metod ich wykonania 1.1. Wolf Marszałkowska

Wolf Marszałkowska jest budynkiem o 12 kondygnacjach nadziemnych i pięciu kondygnacjach podziemnych, posadowionym na płycie fundamentowej grubości 150 cm z lokalnymi przegłębieniami związanymi z technologią urządzeń technicznych

budynku, na głębokości 19,40 m poniżej poziomu „0” budynku 34,85 m npW (nad poziom Wisły).

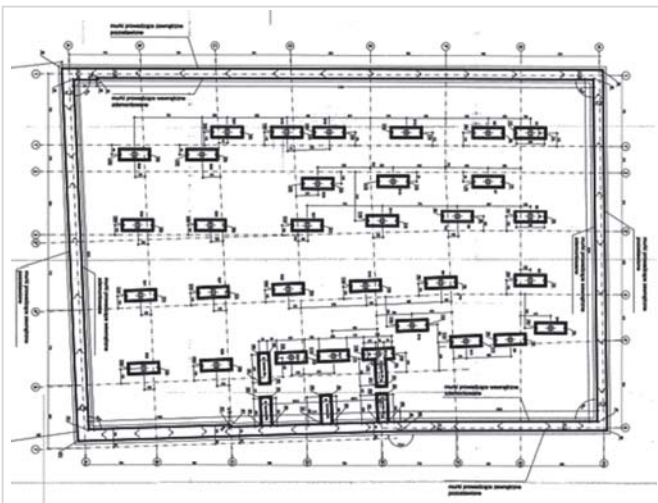
Uwzględniając usytuowanie względem istniejących budynków w sąsiedztwie (banku PKO BP w ostrej granicy z działką inwestycji), zagłębienie wykonywanego budynku (pięć kondygnacji podziemnych) oraz zaprojektowanie wznoszonego budynku po granicy działki, przyjęto jego realizację w zabezpieczeniu ścianami szczelinowymi grubości 80 i 100 cm oraz „stropową” metodę realizacji.

Stropami rozporowymi wykonywanymi w pierwszej fazie budowy były stropy w poziomach kolejno: „-1” (-4,75 m), „-2” (-8,45 m), „-3” (-11,60 m) oraz „-4” (-14,75 m). Stropy te zostały oparte na ścianach szczelinowych i na uprzednio wykonanych z poziomu -1,30 m stalowych słupach tymczasowych, osadzonych w baretach ścian szczelinowych.

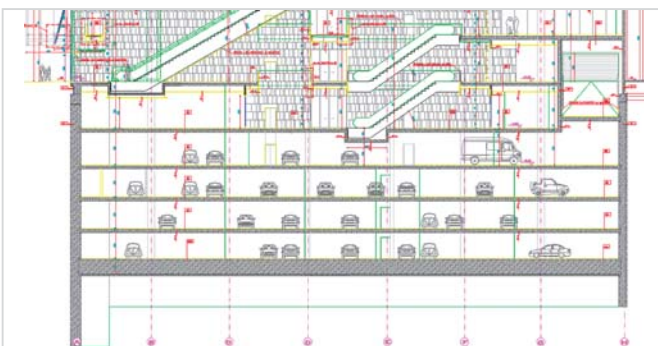
Dodatkowo ściany szczelinowe rozparto stalowymi rozporami zastrzałowymi w poziomie -1,50 m w narożniku północno-wschodnim od strony budynku banku PKO BP oraz stalowymi



Widok na budowę Wolf Bracka, róg ul. Brackiej i Al. Jerozolimskich w Warszawie



Rzut ścian szczelinowych i baret – Wolf Marszałkowska



Przekrój podłużny, część podziemna – Wolf Marszałkowska

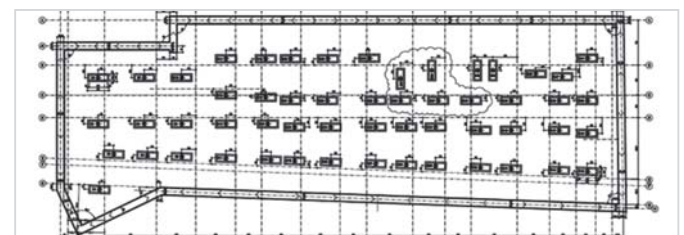
rozporami zastrzałowymi w narożniku północno-zachodnim w poziomie -17,40 m, a także w obszarze rampy zjazdowej na wszystkich kondygnacjach.

1.2. Wolf Bracka

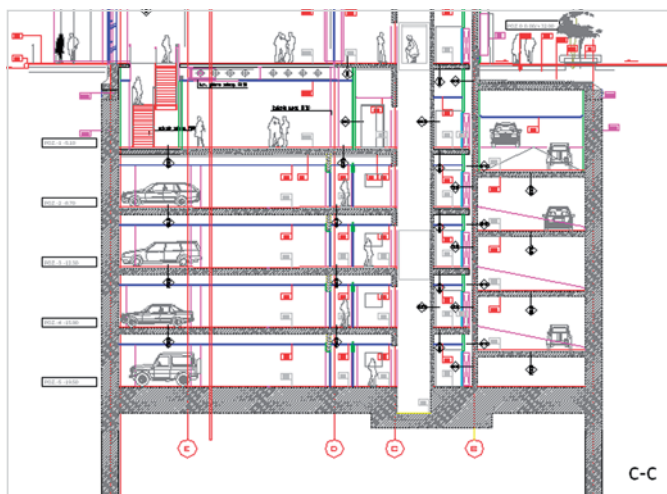
Budynek o sześciu kondygnacjach nadziemnych i pięciu kondygnacjach podziemnych posadowiony został na płycie fundamentowej grubości 150 cm z lokalnymi przegłębieniami związanymi z technologią urządzeń technicznych budynku, na głębokości 21,10 m poniżej „0” budynku (32,00 m npW).

Ściany szczelinowe przy użyciu dwóch głębiarek Liebherr 855 wykonano do głębokości od 44,00 m do 47,40 m, zagłębiając się minimum 2,00 m w warstwę iłów. Łącznie wykonano 10 659,00 m² ścian szczelinowych.

Uwzględniając usytuowanie projektowanego budynku względem istniejących budynków, Tunelu Średnicowego w sąsiedztwie oraz duże zagłębienie budynku (pięć kondygnacji podziemnych), przyjęto jego realizację w zabezpieczeniu ścianami szczelinowymi grubości 100 cm oraz „stropową” metodą realizacji z częściowym rozparciem ścian wykopu w rejonie projektowanych ramp zjazdowych.



Rzut ścian szczelinowych i baret – Wolf Bracka



Przekrój podłużny, część podziemna – Wolf Bracka

Stropami rozporowymi wykonywanymi w pierwszej fazie budowy były stropy w poziomach kolejno: „-1” (-5,20 m), „-3” (-12,40 m) oraz „-4” (-16,00 m). Stropy te zostały oparte na ścianach szczelinowych i na uprzednio wykonanych z poziomu -1,10 m stalowych słupach tymczasowych, osadzonych w baretach ścian szczelinowych. Wykonano 55 baret o głębokości 29,90 m.

Jako słupy tymczasowe zastosowano dwuteowniki 2 x 400 PE i 2 x 500 PE. Ze względu na dużą głębokość posadowienia budynku i jego stosunkowo niewielki ciężar, baryty powiązano z płytą denną dla zabezpieczenia lekkiej konstrukcji budynku przed wyporem.



Słupy tymczasowe i rozpory przed demontażem – Wolf Bracka

Dwa otwory wydobywcze zlokalizowano w odległości 1,50 m od ściany szczelinowej, dzięki czemu było możliwe ułożenie na krawędzi wykopu dwóch koparek wydobywających urobek na zewnątrz.



Widok na strop „-1” – Wolf Bracka

2. Fazy wykonania konstrukcji stanu „0” budynku Wolf Marszałkowska

Wszystkie rzędne podano w stosunku do „0” budynku, które przyjęto jako równe 34,85 m npW.

FAZA I – Wykonanie murków prowadzących w poziomie -1,30 m.

Zastosowano prefabrykowane murki prowadzące o wysokości 120 cm z betonu B30.

FAZA II – Wykonanie ścian szczelinowych z powierzchni terenu.

Wykonano ściany szczelinowe żelbetowe o grubości 80 i 100 cm, stanowiące konstrukcję stałą części podziemnej projektowanego budynku. Ścianę 100-centymetrową wykonano wzdłuż ul. Marszałkowskiej ze względu na bliskie sąsiedztwo tunelu I linii metra.

Sekcje ścian szczelinowych liczyły maksymalnie ok. 5,80 m długości. Od strony budynku PKO BP wykonywano sekcje jednochwytowe o długości ok. 3,20–3,40 m. W stykach sekcji zastosowano podwójne wkładki uszczelniające z zastosowaniem płaskich stopendów do pełnej głębokości.

Ściany wygłębiono przy użyciu dwóch głębiarek z chwytakami Stein o wadze 24 t, o szerokości chwytaka 80 cm (o długości 280 cm) oraz o szerokości 100 cm (o długościach 280 i 340 cm), w obecności zawiesziny bentonitowej.

FAZA III – Ściany szczelinowe zagłębiono w warstwie trzeciorzędowych ilów i glin pylastych o miąższości 2,2–4,5 m na głębokość minimum 2 m na całym ich obwodzie. Zagłębienie ścian szczelinowych wyniosło od 30,85 m do 34,85 m poniżej powierzchni terenu. Łącznie zagłębiono 5383,00 m² ścian. Wierzch ścian szczelinowych zrealizowano do poziomu -2,10 m. Następnie wykonano obwodowe zwieńczenie ścian szczelinowych o wysokości 80 cm.

FAZA IV – Wykonanie stalowych słupów tymczasowych osadzonych w baretach. Wykonano 32 baryty o głębokości od 22,60 m do 24,80 m z zastosowaniem jako słupy tymczasowe dwuteowników 2 x 400 PE.

FAZA V – Wykonanie baret od strony budynku PKO BP (w rejonie pogłębienia pod maszynownię szybów windowych).

Pierwotnie przewidziane było zastosowanie zabezpieczenia przegłębienia ze ścianki jet grouting, wykonywanej z poziomu wierzchu płyty dennej. Ściankę zamieniono na baryty wykonywane z poziomu wierzchu terenu. Wydrążono pięć baret o głębokości 25,50 m. Wierzch betonu po skuciu na poziomie spodu płyty dennej.

FAZA VI – Wykonanie studni i instalacji odwodnieniowej wykopu.

Instalację odwodnieniową tworzyły dwie wewnętrzne i cztery zewnętrzne studnie depresyjne. Celem robót odwodnieniowych było odpompowanie wód statycznych uwięzionych w obrębie ścian



Pracujące głębiarki – Wolf Marszałkowska

szczelinowych za pomocą studni wewnętrznych oraz czasowe odprężenie naporu drugiego poziomu wód gruntowych na warstwę nieprzepuszczalną zalegającą pod dnem wykopu.

FAZA VII – Wykonanie dwóch fundamentów pod dźwigi wieżowe.

Żuraw TC2 posadowiono na fundamencie blokowym o wymiarach 7,50 m x 7,50 m i wysokości 1,60 m. Fundament jednostronnie oparto o wierzch ściany szczelinowej.

Żuraw TC2 posadowiono na żelbetowym ruszcie. Ze względu na przebiegające pod fundamentem czynne instalacje podziemne fundament oparto z jednej strony na ścianie szczelinowej, a z drugiej strony na dwóch grupach po sześć sztuk mikrofali Ø 280 mm zagłębionych do 19,7 m poniżej „0” budynku. Pale wywiercono w systemie Atlas Copco SDA.

FAZA VIII – Rozparcie narożnika północno-wschodniego od strony budynku PKO BP stalowymi rozporami w poziomie -1,50 m.

FAZA IX – Wykonanie wykopu do poziomu -4,50 m.

FAZA X – Podbicie fundamentu budynku PKO BP. Fundament części budynku banku był posadowiony o ok. 0,20 m powyżej wierzchu ściany szczelinowej, usytuowanej po skuciu w bezpośrednim jego sąsiedztwie. Zaszła konieczność podbicia fundamentu i obniżenia jego posadowienia o 0,60–0,80 m.

FAZA XI – Wykonanie wykopu bezpośrednio pod strop „-1” (-4,75 m).

FAZA XII – Wykonanie stropu kondygnacji „-1”, opartego na ścianach szczelinowych i słupach tymczasowych.

Posadowiono stropy na gruncie na podbudowie z betonu B10 i sklejki.

FAZA XIII – Wykonanie stalowego rozparcia stropu rozporowego „-1”.

FAZA XIV – Wykonanie wykopu bezpośrednio pod strop „-2” (-8,45 m).

Otwory technologiczne do wydobywania urobku i transportu materiałów potrzebnych do wykonywania stropów na gruncie zazwyczaj umieszcza się w miejscach projektowanych klatek schodowych bądź ramp zjazdowych (unikając w ten sposób pozostawiania bardzo dużej ilości wykotwień). Z tego powodu na budowie Wolf Marszałkowska otwór technologiczny został usytuowany w odległości 6,50 m od krawędzi wykopu, co pociągnęło za sobą konieczność wykonania stalowego pomostu dla koparki odbierającej grunt spod stropu. Pomost posadowiono na dwóch wzmocnionych baretach i ścianie szczelinowej. Wymiary otworu technologicznego ze względu na gabaryty opuszczanych ładowarek urabiających grunt pod stropami, a także ze względu na długość pierwszego ramienia koparki podsiębiernej zastosowanej na tej budowie (koparka podsiębierna o zasięgu 16,00 m)



Platforma stalowa do wywozu urobku – Wolf Marszałkowska

wynosił 8,60 m x 8,60 m. Do odpajania i transportu urobku pod stropami użyto dwóch ładowarek gąsienicowych i dwóch koparko-ładowarek.

FAZA XV – Wykonanie kolejno stropów wraz z ich rozparciem i wykopem podstropowym, począwszy od kondygnacji „-2” do kondygnacji „-4”.

FAZA XVI – Wykonanie wykopu do poziomu -19,40 m.

FAZA XVII – Wykonanie warstw podłożowych i płyty fundamentowej. Ze względu na znaczne siły parcia gruntu na ściany szczelinowe w poziomie posadowienia zdecydowano, że ostatnia faza wykopu zostanie przeprowadzona następująco:

I etap – wykop na całej powierzchni do głębokości 1,50 m powyżej spodu płyty dennej

II etap – wykop do poziomu spodu płyty fundamentowej z uwzględnieniem podziału na niestykające się ze sobą kolejne działki robocze.



Widok na plac budowy – Wolf Marszałkowska

FAZA XVIII – Wykonanie stalowego rozparcia w poziomie -18,50 m w rejonie pogłębienia od strony budynku PKO.

FAZA XIX – Wykonanie wykopu do poziomu docelowego -22,10 m w rejonie pogłębienia pod maszynownię wind od strony budynku PKO z jednoczesnym szalowaniem opinką drewnianą zakładaną za istniejące bary.

FAZA XX – Wykonanie warstw podłożowych i płyty fundamentowej oraz ścian w rejonie pogłębienia pod maszynownię.

FAZA XXI – Wykonanie żelbetowej konstrukcji nośnej słupów, ścian i ramp zjazdowych od poziomu „-5” do „-1” z jednoczesnym demontażem stalowej konstrukcji rozparcia.

FAZA XXII – Demontaż stalowych słupów tymczasowych. Wykonanie żelbetowej konstrukcji nośnej słupów, ścian i ramp zjazdowych do poziomu „0” z jednoczesnym demontażem stalowej konstrukcji rozparcia.

3. Podsumowanie

Wykonanie dwóch pięciokondygnacyjnych obiektów podziemnych w zwartej zabudowie centrum Warszawy, w zróżnicowanych warunkach gruntowych, przy nietypowych kolizjach i rozwiązaniach technologicznych oraz przy napiętym harmonogramie stanowiły dla firmy wyzwanie zarówno technologiczne, jak i logistyczne. Dzięki doświadczonej kadry inżynierskiej, bogatej bazie sprzętowej i dobrej współpracy zamawiającego, nadzoru i wykonawcy realizacja podziemi obu obiektów zakończyła się sukcesem. Potwierdziło się tym samym, że Bilfinger Berger Budownictwo SA jest najbardziej doświadczoną polską firmą wykonującą tak głębokie i skomplikowane roboty fundamentowe.

Projekt konstrukcji wykonało biuro projektowe KiP Sp. z o.o. Projekt ścian szczelinowych oraz metody budowy opracował zespół projektowy pod kierownictwem Jana Domarada.



Ludzie budują za dużo murów, a za mało mostów

Isaak Newton

 **BILFINGER BERGER**
Budownictwo