

*Wojciech Grodecki**

DOŚWIADCZENIE PRZEDSIĘBIORSTWA WARBUD SA W DZIEDZINIE BUDOWNICTWA PODZIEMNEGO

1. Wstęp

WARBUD SA należy do grona największych przedsiębiorstw budowlanych w Polsce; w roku 2006 jego obrót osiągnął 1 mld złotych, zaś kapitał zakładowy wynosi 60 mln złotych. Zatrudnia ponad 1000 pracowników.

Wiodącym udziałowcem Spółki jest światowy potentat rynku budowlanego — francuski holding VINCI Construction. Grupa kapitałowa VINCI zatrudnia 128 000 osób w ponad 2500 spółkach i działa na wszystkich kontynentach.

Działalność WARBUD SA obejmuje budownictwo ogólne i przemysłowe, budowę centrów handlowych i logistycznych, obiektów inżynierskich — mostów i budowli podziemnych, obiektów związanych z ochroną środowiska, obiektów wojskowych realizowanych na potrzeby NATO itp. Spółka jest reprezentowana na terenie całego kraju za pośrednictwem pięciu Dyrekcji Regionalnych oraz trzech Dyrekcji Specjalistycznych. Siedzibą Spółki jest Warszawa.

W dalszej części artykułu zostaną opisane tylko niektóre obiekty budownictwa podziemnego, zrealizowanych przez WARBUD SA w ciągu 15 lat jej istnienia. Należy je podzielić na obiekty budownictwa podziemnego komunikacyjnego oraz związanego z budownictwem kubaturowym, jak np. wielopoziomowe garaże podziemne. Wszystkie niżej opisane obiekty wykonane zostały metodami odkrywkowymi z zastosowaniem głównie ścian szczelinowych, rzadko ścianek berlińskich, do podtrzymania pionowych ścian wykopów, z ich rozparciem za pomocą stalowych rozpór lub stropów. Nie stosowano gruntowych kotwi iniekcyjnych.

1.1. Stacja metra warszawskiego A15 „Ratusz” [1]

WARBUD SA był jej generalnym wykonawcą, wyłonionym w przetargu. Projekt stacji opracował zespół Biura Projektów Architektonicznych i Budowlanych A i B z Warszawy,

* WARBUD SA, Warszawa

zaś ściany szczelinowe zrealizowało, jako podwykonawca, przedsiębiorstwo Energopol 7 z Poznania. Całkowita wartość robót w roku 2001 wyniosła 84 mln złotych.

1.2. Opis stacji

Stacja w planie ma wymiary: długość — 157 m, szerokość — 22 m i składa się z trzech poziomów funkcjonalnych: antresoli z halą odpraw, pomieszczeniami technicznymi i handlowymi, części peronowej (peron wyspowy o wymiarach 12×120 m) z torowiskiem i drugą częścią pomieszczeń technicznych oraz podperonia z między innymi przepompownią ścieków itp.

Z punktu widzenia konstrukcji stacja jest dwupoziomowa — ma strop górny nad antresolą, strop pośredni nad halą peronową i płytą denną. W przekroju poprzecznym stacja jest dwunawowa — podpory boczne stanowią ściany szczelinowe, a podporę pośrednią — słupy rozstawione co 6 m wzdłuż osi stacji (rys. 1).



Rys. 1. Widok hali peronowej stacji metra warszawskiego A15 „Ratusz”

Podłoże stacji zbudowane jest z utworów czwarto- i trzeciorzędowych; do pierwszych zaliczono piaski drobne i pylaste, występujące pod niekontrolowanymi nasypami, zaś trzeciorzęd reprezentowany jest przez plejstoceny iły poznańskie z wkładkami glin pylastych. Warstwy podłoża nie zalegają poziomo, lecz charakteryzują się znacznymi upadami, co dało się wyraźnie zaobserwować w przekroju poprzecznym stacji; jedna ściana szczelinowa na znacznej swej wysokości wykonana była w ile, zaś przeciwległa aż do dna wykopu stacyjnego tkwiła w piaskach.

Na obszarze przyszłej stacji występowały dwa poziomy wód gruntowych: jeden — zasilany bezpośrednio opadami — na poziomie nieco poniżej gruntów nasypowych w piaskach, i drugi — w utworach czwartorzędowych na głębokości 6 m poniżej poziomu terenu. Wody tego poziomu musiały być zdrenowane do głębokości około 1 m poniżej płyty dennej, tj. do poziomu około 12 m poniżej terenu. Wydatek tych wód był stosunkowo niewielki.

Główne utrudnienie w budowie stacji stanowił oddalony o około 10 m od ściany stacji budynek Arsenалу, mieszczący Państwowe Muzeum Archeologiczne i zbudowany w latach 1638–1643. Nie ma on właściwych fundamentów; jego ściany wzniesiono na zagłębionych w gruncie ściankach z kamienia polnego i niekiedy z cegły, ze źle zachowaną zaprawą wapienną i bez poszerzenia w postaci ławy. Cała konstrukcja naziemna tej zabytkowej budowli ucierpiała w okresie II wojny światowej i choć została odbudowana, to jednak stan jej oceniono jako zły. Stąd szczególna troska budowniczych stacji, by w trakcie prac ziemnych i konstrukcyjnych ograniczyć drgania od transportu i ciężkiego sprzętu, zwłaszcza w trakcie głębinienia wykopów pod ściany szczelinowe.

Drugą okolicznością nakazującą szczególną ostrożność były wspomniane ility pliocen-skie, które w wielu przypadkach na terenie Warszawy charakteryzują się zdolnością do pęcz-nienia i wówczas rozwijania znacznych ciśnień. Dlatego też w trakcie budowy stacji dołożono wielu starań, by nie dopuścić do nawadniania iłów bezpośrednio wodami opadowymi po ich od-słonięciu oraz chronić je przed dłuższą ekspozycją na działanie powietrza atmosferycznego.

Wymienione ograniczenia, a także przyjęta organizacja robót spowodowała, że budo-wę stacji, po uprzednim wykonaniu ścian szczelinowych na całym jej obrysie, realizowano odcinkami po około 10 m, licząc wzdłuż osi trasy metra, a urabianie gruntu pod przyszłą płytę denną prowadzono tak, by ostatnią warstwę gruntu o grubości 1 m zdejmować dopiero tuż przed przystąpieniem do wykonania wstępnej, lekko zbrojonej 20 cm płyty podłoża pod zasadniczą płytę denną. Ponadto wspomniane 10-metrowe odcinki stropów i 24-metrowe odcinki płyty dennej tymczasowo dylatowano, pozostawiając nie zabetonowane poprzeczne fragmenty o szerokości około 1 m. Chodziło między innymi o zmniejszenie ilości zbrojenia przeciwskurczowego, a w odniesieniu do płyty dennej, po późniejszym zabetonowaniu tych przerw, o uzyskanie na całej długości stacji płyty bez dylatacji, a więc o wyeliminowanie możliwości infiltracji wód gruntowych w przypadku dylatowania takiej konstrukcji.

Aby wody opadowe nie nawadniały iłów przez wspomniane przerwy w stropach, zakry-to je tymczasowymi daszkami ochronnymi i zorganizowano specjalny system odprowadze-nia tych wód z powierzchni górnego stropu stacji.

Te wszystkie zabiegi spowodowały, że maksymalne osiadania budynku Arsenалу nie przekroczyły 7 mm i mieściły się w założonych wcześniej, bezpiecznych dla jego konstruk-cji granicach, zaś stacja A15 „Ratusz” należy do nielicznych, w których nie występują prze-cieki do jej wnętrza wód gruntowych — jest całkowicie szczelna.

2. Technologia wykonania stacji A15 „Ratusz”

Konstrukcję stacji wykonano metodą ścian szczelinowych, odmianą zwaną „stropo-wą”. Po wykonaniu ścian szczelinowych o grubości 80 cm i głębokości około 18 m wyko-nano również tą samą metodą, w osi stacji, baretę o wysokości 5 m i długości 2,5 m, jako fundamenty tymczasowych stalowych słupów, stanowiących w dalszych fazach budowy podparcie stropu pośredniego i górnego (rys. 2). Następnie wybrano grunt do poziomu

nieco poniżej stropu pośredniego i na odpowiednio przygotowanym podłożu gruntowym, przykrytym płytami ze sklejki, zazbrojono i wylano kolejnymi polami o powierzchni około 200 m² ten strop. Jego grubość wyniosła 35 cm.



Rys. 2. Oparcie stropów na słupach tymczasowych na stacji metra A15 „Ratusz”

W kolejnej fazie wykonano na rusztowaniach i deskowaniach strop górny podobnymi polami jak wyżej. W stropie tym, o zmiennej grubości od 60 do 80 cm, w celu zmniejszenia jego ciężaru, zabetonowano rury Spiro. Mając rozparte dwoma stropami ściany szczelinowe przystąpiono do urabiania gruntu spod stropu pośredniego warstwami 4, 3 i 1 m na odcinkach o długości 24 m. Po wybraniu ostatniej warstwy zabetonowano wspomnianą wyżej wstępną, lekko zbrojoną, 20 cm płytę podłoża, na niej wykonano izolację w postaci sproszkowanego preparatu Xypex, a następnie ułożono zbrojenie i zabetonowano zasadniczą płytę denną. Jej grubość w pobliżu ścian szczelinowych wynosi 70 cm i jest ona pogrubiona do 90 cm w części środkowej ze względu na przebicie słupami podpierającymi stropy.

Kiedy te czynności na długości sekcji zostały zakończone, przystąpiono do zbrojenia i betonowania słupów docelowych, opierających się na płycie dennej i podpierających oba stropy, a następnie usunięto, przez pozostawione w tym celu w stropach otwory, stalowe słupy tymczasowe. Operacja wymiany słupów została zaprojektowana z obawy, że może nie udać się precyzyjne umieszczenie słupów żelbetowych na baretach z zachowaniem odchyłki w osi i w pionie w granicach tolerancji.

Ponieważ roboty budowlane prowadzone były również w okresie zimowym, zastosowano technologię elektronagrzewu betonu. Polega ona na mocowaniu do zbrojenia betonowanego elementu elektrycznych przewodów oporowych i w ramach pielęgnacji betonu przepuszczania przez nie prądu elektrycznego. Tą metodą, bez większych strat wytrzymałości betonu możliwe było prowadzenie robót betoniarskich w temperaturach do -10°C a nawet do -15°C .

Budowa stacji „Ratusz” wzbogaciła doświadczenie personelu WARBUD SA oraz współpracującego Biura Projektów A i B dzięki:

- twórczemu udoskonalaniu metody ścian szczelinowych, zastosowanej w pobliżu bardzo wrażliwego na osiadania i drgania budynku Arsenалу;
- monitorowaniu jego stanu w czasie prac budowlanych i właściwej interpretacji wyników obserwacji;
- wykonaniu pierwszej na trasie metra warszawskiego stacji z płytą denną bez dylatacji, co powoduje, że jest ona szczelna;
- zastosowaniu również po raz pierwszy na tego rodzaju obiekcie preparatu Xypex jako dodatkowej, niepowłokowej izolacji płyty dennej oraz uszczelnieniu nim naturalnych przerw pomiędzy sekcjami ścian szczelinowych;
- zastosowaniu elektronagrzewu świeżego betonu elementów konstrukcji, co pozwoliło na utrzymanie ciągłości prac betoniarskich przy ujemnych temperaturach otoczenia;
- umiejętnemu wykorzystaniu górnego stropu stacji jako dodatkowej powierzchni składowej i transportowej, przy bardzo ograniczonych rozmiarach placu budowy w centrum miasta.

3. Stacja metra warszawskiego A19 „Marymont”

Wyżej opisane doświadczenia z powodzeniem wykorzystano na budowie kolejnej stacji, której generalnym wykonawcą był WARBUD SA, autorem projektu — Biuro Projektów Architektonicznych i Budowlanych A i B, zaś wykonawcą ścian szczelinowych — Hydrobudowa 6 SA.

3.1. Opis stacji

Podobnie jak stacja „Ratusz”, stacja „Marymont” jest konstrukcją dwupoziomową o podobnym rozmieszczeniu funkcji. Różni się natomiast tym, że w przekroju poprzecznym dzieli się na trzy nawy o rozpiętości osiowej $7,1\text{ m} + 5,0\text{ m} + 7,1\text{ m}$. Drugą cechą wyróżniającą ją jest to, że nie ma stropu pośredniego w środkowej części stacji na długości $36,0\text{ m}$; stąd na tym fragmencie hala peronowa ma wysokość opowiadającą dwóm kondygnacjom, tj. $11,25\text{ m}$, licząc w świetle stropu górnego nad antresolą i płyty dennej. Z uwagi na nieco mniejszą szerokość peronu — $10,0\text{ m}$ — szerokość stacji w świetle ścian szczelinowych wynosi $18,4\text{ m}$, a jej długość, licząc w osiach ścian czołowych — $156,0\text{ m}$.

Strop górny, o zmiennej grubości od 80 do 100 cm, opiera się na ścianach szczelinowych o grubości 80 cm, za wyjątkiem fragmentu o długości około 40 m w miejscu, w którym ściany nie są rozpierane stropem pośrednim. Tu pogrubiono ścianę szczelinową do 100 cm. Strop pośredni ma grubość 42 cm, a płyta denna — zmienną grubość od 80 do 115 cm. Ten ostatni wymiar został przyjęty z uwagi na niemożność przebiccia przez dwa rzędy słupów o średnicy 80 cm i w rozstawie wzdłuż stacji co 12,0 m. Wierzch stropu górnego znajduje się na głębokości około 2,0 m poniżej poziomu terenu, zaś spód płyty dennej — na głębokości około 16,0 m.

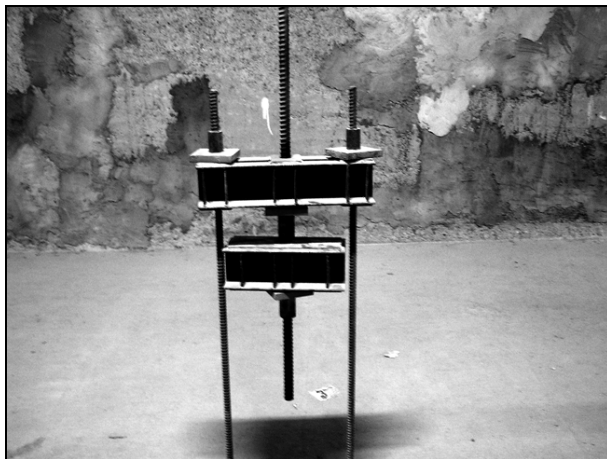
3.2. Technologia wykonania stacji A19 „Marymont”

W pierwszej kolejności wykonano ściany szczelinowe, a następnie zabetonowano na odpowiednio przygotowanym podłożu, na gruncie — strop górny. Stanowił on zarazem górną, sztywną rozporę ścian szczelinowych. Strop ten został tak wzmocniony zbrojeniem, aby zdołał przejąć obciążenie ciężarem własnym oraz, co stanowi nowość w dotychczasowych technologiach budowy stacji metra, obciążenie ciężarem stropu pośredniego — o czym niżej.

Po uzyskaniu wymaganej wytrzymałości betonu stropu górnego wybierano spod niego grunt do poziomu nieco poniżej stropu pośredniego, a następnie „na gruncie” zabetonowano ten strop. I on również na znacznej długości stanowił rozparcie ścian szczelinowych, za wyjątkiem wspomnianego fragmentu o długości 36,0 m, na którym założono stalowe rozpory rurowe. Aby można było dalej prowadzić roboty ziemne pod stropem pośrednim, postanowiono go podwiesić do stropu górnego. Zastosowano pionowe ciągną — wieszaki ze stalowych prętów — które zostały następnie naprężone za pomocą dźwigników śrubowych i w tym stanie zablokowane (rys. 3 i 4). Naprężenie to miało na celu zapobieżenie obniżeniu stropu pośredniego po usunięciu spod niego gruntu [2].

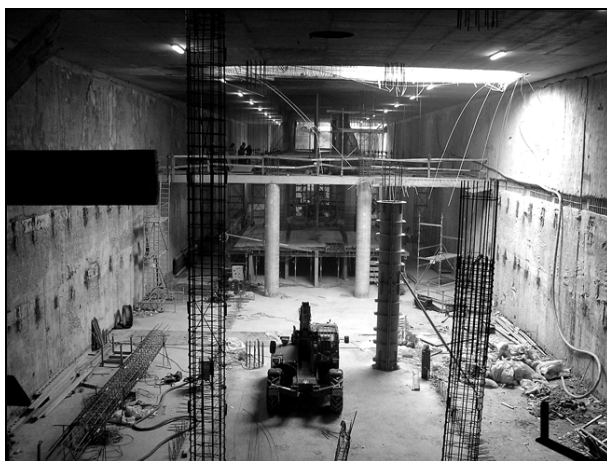


Rys. 3. Rząd odprężonych wieszaków po podparciu stropu pośredniego słupami na stacji metra A19 „Marymont”



Rys. 4. Szczegół podwieszenia stropu pośredniego do stropu górnego

Dalszą operacją było wybranie gruntu odcinkami aż do poziomu posadowienia płyty dennej, a następnie takimi samymi odcinkami jej betonowanie. W obszarze, w którym ściany szczelinowe nie były rozparte stropem pośrednim, założono dwa poziomy stalowych rozpór rurowych. Dopiero po zabetonowaniu płyty dennej przystąpiono do betonowania słupów obu kondygnacji, opierając na nich kolejno strop pośredni i górny, a także usuwając wspomniane wyżej wieszaki (rys. 5).



Rys. 5. Wnętrze stacji A19 „Marymont” po zabetonowaniu płyty dennej

Ten sposób wykonania konstrukcji stacji, z podwieszeniem stropu pośredniego, stanowi nowe, twórcze rozwinięcie metody stropowej i przyniosło WARBUD SA korzyści w po-

staci przyspieszenia robót, a także oszczędności finansowe, pomimo dozbrojenia płyty górnej w pasmach wieszaków.

Ostatnią fazą budowy było wykonanie na stropie zagęszczonej zasypki o grubości około 1,8 m, która stanowiła jego główne obciążenie.

4. Podziemne garaże i parkingi

Większość inwestycji, które WARBUD SA zrealizował od początku swego istnienia, to obiekty budownictwa kubaturowego — domy mieszkalne, budynki użyteczności publicznej, hotele itp. W każdym z nich dolne, podziemne kondygnacje, w liczbie od jednej do pięciu, przeznaczone są na garaże i parkingi oraz na pomieszczenia techniczne i socjalne. Do ich budowy zastosowano technologie podobne do używanych w klasycznym, odkrywkowym budownictwie podziemnym, tj. ściany szczelinowe i ścianki berlińskie.

Jednym z ciekawszych tego rodzaju obiektów był hotel Hyatt w Warszawie. Ekipa WARBUD SA zastała wykonaną już część nadziemną w stanie surowym, ściany szczelinowe na obrysie budynku i pale — słupy, stanowiące podpory dla słupów wyższych kondygnacji. Zadaniem WARBUD SA było wybranie gruntu kolejnymi, pięcioma piętrami od poziomu terenu w dół, wykonanie płyt stropów pośrednich i płyty dennej, posadowionej na pęczniących ilach wraz z systemem kompensacji ciśnienia pęcznienia. Całość obiektu budowana była metodą *top & down*, polegającą na równoczesnym wznoszeniu kondygnacji nadziemnych i podziemnych, oczywiście po uprzednim wykonaniu robót fundamentowych. Z uwagi na różne okoliczności roboty podziemne były jednak opóźnione w stosunku do szybciej wznoszonej nadziemnej części budynku.

Z racji szczupłości miejsca na powierzchni terenu, dużego zagęszczenia pali i znacznej głębokości wykopu pod budynkiem takie operacje jak urabianie gruntu, jego ewakuacja na powierzchnię, przygotowanie podłoża na gruncie pod kolejne stropy oraz ich zbrojenie i betonowanie wymagały opracowania bardzo precyzyjnego harmonogramu i rozplanowania robót. Było to dobre doświadczenie, zwłaszcza w zakresie logistyki.

Od początku 2006 roku WARBUD SA sam wykonuje ściany szczelinowe. Pozyskany został odpowiedni sprzęt w postaci 4 głębiarek, z których 3 pozwalają na wykonywanie ścian szczelinowych do 28 m głębokości i o szerokości 60 i 80 cm, komplety tzw. stopsoli do obu tych szerokości, 2 dźwigi do opuszczania zbrojenia, silosy do składowania bentonitu oraz zestaw do sporządzania zawiesiny bentonitowej wraz z laboratorium polowym do oznaczania jej parametrów. W tak niedługim czasie, przy pomocy własnej ekipy, zrealizowano ściany szczelinowe o łącznej powierzchni 25 000 m i o głębokościach od 11 do 18,5 m na 8 obiektach w Warszawie i w Poznaniu.

Wykonawstwo podziemnych obiektów liniowych, takich jak tunele czy stacje metra, jest prostsze w porównaniu z podziemnymi garażami i parkingami pod budynkami, bowiem w pierwszym przypadku szerokość wykopu w świetle ścian szczelinowych jest zazwyczaj mniejsza i stąd wystarczające są stalowe rozpory rurowe o średnicach 500 lub 700 mm,

rozmieszczone w stałych odstępach. Przy dużej powierzchni wykopów w drugim przypadku i znacznych ich wymiarach w planie zastosowanie zbyt długich rozpór jest nieracjonalne. Jednym z rozwiązań jest wykonanie w pierwszej kolejności wykopu do poziomu spodu przyszłej płyty dennej tylko w części środkowej obiektu i pozostawienie gruntu wewnątrz obrysu ścian szczelinowych jako przypór, zapewniających tym ścianom stateczność.

W następnym etapie w pogłębionej części wznoszony jest fragment właściwej budowli, który stanowi oparcie dla rozpór o racjonalnej długości, zapewniających stateczność ścian szczelinowych i pozwalających na sukcesywne usuwanie wspomnianych przypór gruntowych. Tak postąpiono w przypadku budowy dużego apartamentowca w Poznaniu przy ul. Garbary (rys. 6).



Rys. 6. Widok rozparcia ścian szczelinowych z jego oparciem na centralnym fragmencie konstrukcji apartamentowca w Poznaniu

Równie interesująca jest budowa siedziby Naczelnego Sądu Administracyjnego w Warszawie przy ul. Jasnej. Charakteryzuje się ona tym, że nowy budynek został „doklejony” do starszego, posadowionego znacznie płycej na stopach fundamentowych. Ściany szczelinowe wykonano z powodzeniem w bezpośrednim sąsiedztwie tych stóp — nie zaobserwowano praktycznie żadnego ich osiadania. Monitorowano też zachowanie się, podczas wszystkich faz budowy obiektu NSA, sąsiadujących budynków, które były bardzo uszkodzone w czasie II wojny światowej, a następnie odbudowane. Z uwagi na osłabienie ich konstrukcji zachowywano zwiększoną ostrożność tak podczas głębień szczelin pod ściany zewnętrzne trzykondygnacyjnych, podziemnych garaży i pomieszczeń technicznych NSA, jak też podczas wykonywania wykopu i rozpierania ścian szczelinowych. I tu nie zaobserwowano żadnych uszkodzeń wspomnianych budynków, powodowanych budową NSA (rys. 7 i 8).

Na zakończenie warto dodać, że holding VINCI zakupił ostatnio znaną na całym świecie firmę Solétanche. Zwiększyło to w znakomity sposób zdolność WARBU SA i Solétanche

che Polska do współdziałania w zakresie odkrywkowych metod budowy obiektów podziemnych i głębokich robót fundamentowych, co nie pozostaje bez znaczenia np. w perspektywie budowy II linii metra w Warszawie.



Rys. 7. Wykop pod część podziemną budynku NSA w Warszawie w sąsiedztwie budynku istniejącego



Rys. 8. Rozparcie ścian szczelinowych w narożniku wykopu pod budynek NSA w Warszawie

LITERATURA

- [1] *Jabłońska D.*: Stacja metra „Ratusz” w Warszawie. *Budownictwo Górnicze i Tunelowe*, 2, 2004, 50–63
- [2] *Stańczyk A.*: Koncepcja i wykonanie stacji A-19 metra w Warszawie. *Budownictwo Górnicze i Tunelowe*, 1, 2006, 14–21