

Doświadczenie przedsiębiorstwa WARBUD SA w dziedzinie budownictwa podziemnego

# Linowe i kubaturowe budowle podziemne

Wojciech Grodecki, WARBUD SA

## 1. Wstęp

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

Wiodącym udziałowcem spółki jest światowy potentat rynku budowlanego – francuski holding VINCI Construction. Grupa kapitałowa VINCI zatrudnia 128 tys. 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 firmy jest Warszawa.

Zawartość niniejszego artykułu została ograniczona do opisanania niektórych obiektów budownictwa podziemnego, zrealizowanych przez WARBUD SA w ciągu 15 lat swojego 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 odkrywcowymi 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.

## 2. 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, zaś ściany szczelinowe zrealizowało, jako podwykonawca, przedsiębiorstwo Energopol 7 z Poznania. Całkowita wartość robót w 2001 r. wyniosła 84 mln zł.

### 2.1 Opis stacji

Stacja w planie liczy 157 m długości oraz 22 m szerokości i składa się z trzech poziomów funkcjonalnych: antresoli z halą odpraw oraz pomieszczeniami technicznymi i handlowymi, części peronowej (peron wyspowy o wymiarach 12 x 120 m) z torowiskiem i drugą częścią pomieszczeń technicznych, a także podperonia, m.in. z przepompownią ścieków.

Z punktu widzenia konstrukcji stacja jest dwupoziomowa – posiada 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 wzduż osi stacji (ryc. 1).

Podłoże stacji zbudowane jest z utworów czwarto- i trzeciorzędowych. Do tych pierwszych zaliczono piaski drobne i pylaste, występujące pod niekontrolowanymi nasypami. Trzeciorzęd reprezentowany jest przez plejstocenijskie pstry



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

ły 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 wysokości była wykonana 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 ok. 1 m poniżej płyty dennej, tj. do poziomu ok. 12 m poniżej terenu. Wydatek tych wód był stosunkowo niewielki.

Główne utrudnienie w budowie stacji stanowił oddalony o ok. 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 jej stan oceniono jako zły. Stąd szczególna troska budowniczych stacji o to, aby w trakcie prac ziemnych i konstrukcyjnych ograniczyć drgania od transportu i ciężkiego sprzętu, zwłaszcza w trakcie głębień wykopów pod ściany szczelinowe.

Drugą okolicznością nakazującą szczególną ostrożność, były wspomniane ły pliocenijskie, które w wielu przypadkach na terenie Warszawy charakteryzują się zdolnością do pęcznienia i rozwijania wówczas znacznych ciśnień. Dlatego też w trakcie budowy stacji dołożono wielu starań, by nie dopuścić do nawadniania łów bezpośrednio wodami opadowymi po ich odsłonięciu oraz chronić je przed dłuższą ekspozycją na działanie powietrza atmosferycznego.

Wymienione ograniczenia, a także przyjęta organizacja

robót spowodowały, że budowę stacji, po uprzednim wykonaniu ścian szczelinowych na całym jej obrysie, realizowano odcinkami po ok. 10 m, licząc wzdłuż osi trasy metra, a urabianie gruntu pod przyszłą płytę denną prowadzono tak, aby ostatnią warstwę gruntu o grubości 1 m zdejmować dopiero tuż przed przystąpieniem do wykonania wstępnej, lekko zbrojonej 20-centymetrowej płyty podłoża pod zasadniczą płytę denną. Ponadto wspomniane 10-metrowe odcinki stropów i 24-metrowe odcinki płyty dennej tymczasowo dylatowano, pozostawiając niezabetonowane poprzeczne fragmenty o szerokości ok. 1 m. Chodziło m.in. 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 ilów przez wspomniane przerwy, w stropach zakryto je tymczasowymi daszkami ochronnymi i zorganizowano specjalny system odprowadzenia tych wód z powierzchni górnego stropu stacji.

Wszystkie te zabiegi spowodowały, że maksymalne osiadania budynku Arsenału nie przekroczyły 7 mm i mieściły się w założonych wcześniej, bezpiecznych dla jego konstrukcji granicach, zaś stacja A15 „Ratusz” należy do nielicznych, w której nie występują przecieki do jej wnętrza wód gruntowych – jest całkowicie szczelna.

## 2.2 Technologia wykonania stacji A15 „Ratusz”

Konstrukcję stacji wykonano metodą ścian szczelinowych, odmianą zwaną „stropową”. Po wykonaniu ścian szczelinowych o grubości 80 cm i głębokości ok. 18 m wykonano w osi stacji, również tą samą metodą, 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 (ryc. 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 ok. 200 m<sup>2</sup> ten strop. Jego grubość wyniosła 35 cm.

W kolejnej fazie wykonano na rusztowaniach i deskowaniach strop górny, podobnymi polami jak wyżej. W stropie tym, o zmiennej grubości wynoszącej 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 m, 3 m i 1 m – na odcinkach o długości 24 m. Po wybraniu ostatniej warstwy zabetonowano wspomnianą wyżej wstępną, lekko zbrojoną, 20-centymetrową 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 żelbetonowych na baretach, zachowując 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 betonarskich w temperaturach do -10, a nawet do -15 °C.



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

Budowa stacji „Ratusz” wzbogaciła doświadczenie personelu WARBU SA oraz współpracującego Biura Projektów A i B dzięki twórczemu udoskonalaniu metody ścian szczelinowych zastosowanej w pobliżu bardzo wrażliwego na osiadania i drgania budynku Arsenału; 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 zaowocowało pewnością, że będzie 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 betonarskich 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”

Opisane doświadczenia z powodzeniem wykorzystano na budowie kolejnej stacji, której generalnym wykonawcą był WARBU 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 m + 5,0 m + 7,1 m. Drugą jej cechą wyróżniającą jest to, że nie ma stropu pośredniego w środkowej części stacji na dłu-

gości 36,0 m, stąd na tym fragmencie hala peronowa ma wysokość opowiadającą dwóm kondygnacjom, tj. 11,25 m, licząc w świetle stropu górnego nad antresolą i płyty dennej. Z uwagi na nieco mniejszą szerokość peronu – 10,0 m – szerokość stacji w świetle ścian szczelinowych wynosi 18,4 m, a jej długość, licząc w osiach ścian czołowych, 156,0 m.

Strop górny, o zmiennej grubości od 80 do 100 cm, opiera się na ścianach szczelinowych o grubości 80 cm, z wyjątkiem fragmentu o długości ok. 40 m, w miejscu, w którym ściany nie są rozpięte stropem pośrednim. Tu pogrubiono ścianę szczelinową do 100 cm.

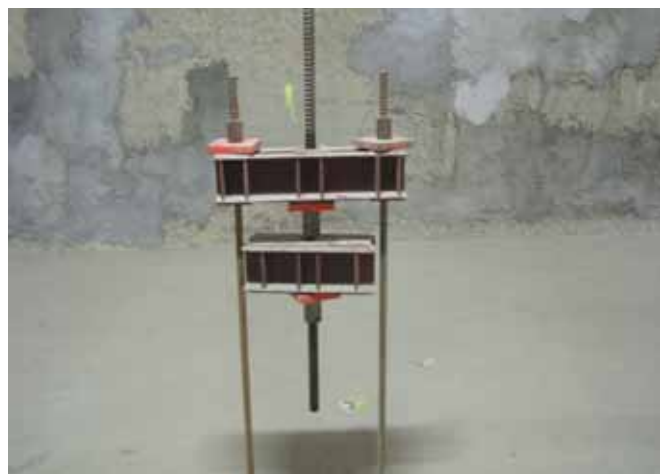
Strop pośredni ma grubość 42 cm, a płyta denna – zmienną grubość od 80 do 115 cm. Ten ostatni wymiar został przyjęty z uwagi na uniemożliwienie przebiegu przez dwa rzędy słupów o średnicy 80 cm i w rozstawie wzdłuż stacji co 12,0 m. Wierzch stropu górnego znajduje się na głębokości ok. 2,0 m poniżej poziomu terenu, zaś spód płyty dennej na głębokości ok. 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.



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



Ryc. 4. Szczegół podwieszenia stropu pośredniego do stropu górnego

Po uzyskaniu wymaganej wytrzymałości betonu stropu górnego, wybierano spod niego grunt do poziomu nieco poniżej stropu pośredniego, a następnie „na gruncie” zabetonowano ten strop. Również i on na znacznej długości

stał się rozparcie ścian szczelinowych, z wyjątkiem wspomnianego fragmentu o długości 36,0 m, na którym założono stalowe rozpory rurowe. By móc dalej prowadzić roboty ziemne pod stropem pośrednim, postanowiono go podwiesić do stropu górnego. Zastosowano pionowe ciężna-wieszaki ze stalowych prętów, które zostały następnie naprężone za pomocą dźwigników śrubowych i w tym stanie zablokowane (ryc. 3 i 4). Naprężenie to miało na celu zapobieżenie obniżeniu stropu pośredniego po usunięciu spod niego gruntu [2].

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 stalowe rozpory rurowe. Dopiero po zabetonowaniu płyty dennej przystąpiono do betonowania słupów obu kondygnacji, opierając na nich kolejno strop pośredni i górny i usuwając wspomniane wyżej wieszaki (ryc. 5).



Ryc. 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 postaci przyspieszenia robót, a także oszczędności finansowe, mimo dozbrojenia płyty górnej w pasmach wieszaków.

Ostatnią fazą budowy było wykonanie na stropie zagęszczonej zasyпки o grubości ok. 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 podobne technologie do klasycznego, odkrywkowego budownictwa podziemnego, 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 piętami od poziomu terenu w dół, wykonanie płyt stropów pośrednich i płyty dennej, posadowionej na pęczniących łałach wraz z systemem kompensacji ciśnienia pęcznienia. Całość obiektu budowana była metodą *top and down*, tj. w zamyśle równoczesnego wznoszenia kondygnacji nadziemnych i podziemnych, po oczywiście uprzednim wykonaniu robót



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



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

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 r. WARBUD SA sam wykonuje ściany szczelinowe. Pozyskano odpowiedni sprzęt w postaci czterech głębiarek, z których trzy pozwalają na wykonywanie ścian szczelinowych do 28 m głębokości oraz szerokości 60 i 80 cm, komplety tzw. stopsoli do obu tych szerokości, dwa 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 tys. m<sup>2</sup> i o głębokościach od 11 do 18,5 m na ośmiu 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 tym 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 (ryc. 6).

Równie interesująca była budowa gmachu 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 głębienia szczelin pod ściany zewnętrzne trzykondygnacyjnych, podziemnych garaży i pomieszczeń technicznych NSA, jak też podczas wykonywania wykopu i rozpierania ścian szczelinowych. I tu podobnie nie zaobserwowano żadnych uszkodzeń wspomnianych budynków, powodowanych budową gmachu NSA (ryc. 7 i 8).

Na zakończenie warto dodać, że holding VINCI zakupił ostatnio znaną na całym świecie firmę Solétanche. Zwiększyło to w znakomity sposób zdolność WARBUD SA i Solétanche Polska do współdziałania w zakresie odkrywkowych metod budowy obiektów podziemnych i głębokich robót fundamentowych, co nie pozostaje bez znaczenia np. w perspektywie budowy drugiej linii metra w Warszawie.



Ryc. 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” 2004, nr 2, s. 50–63.
2. Stańczyk A.: *Koncepcja i wykonanie stacji A-19 metra w Warszawie*. „Budownictwo Górnicze i Tunelowe” 2006, nr 1, s. 14–21.