



Głębokie wykopy w miastach

tekst: **prof. dr hab. inż. ANNA SIEMIŃSKA-LEWANDOWSKA**, Instytut Dróg i Mostów, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska

Projektowanie i budowa głębokich wykopów są obecnie w Polsce, ale też i na świecie nieodłącznym elementem budownictwa na terenach zurbanizowanych, gdzie brak miejsca na powierzchni terenu zmusza inwestorów do poszukiwania powierzchni biurowych czy mieszkalnych w coraz wyższych budynkach z coraz głębszymi kondygnacjami podziemnymi. W śródmiejskich i zabytkowych dzielnicach miast często buduje się tzw. plomby w miejscach zrujnowanych podczas wojny kamienic lub wewnątrz zachowanych ze względów konserwatorskich elewacji.

1. Wprowadzenie

Rozwój miejskiej komunikacji zbiorowej polegającej głównie na transporcie szynowym (metro, premetro, tramwaje, szybka kolej miejska) wiąże się z budową w centrum miast linii podziemnych z dużymi stacjami przesiadkowymi, które są wielogabarytowymi obiektami podziemnymi. Tunele szlakowe najczęściej ze względu na zabudowę miejską wykonuje się metodami zmechanizowanymi (tarczami); stacje najczęściej powstają w wykopach szerokoprzestrzennych, których głębokość, np. obecnie w Warszawie, wynosi ponad 30 m.

Wykorzystywanie maszyn TBM do drążenia tuneli komunikacyjnych i technicznych wymaga budowy szybów – komór startowych i odbiorczych, mających głębokość sięgającą nierzadko kilkudziesięciu metrów i znaczne wymiary w planie.

Rozwój i urbanizacja miasta to także rozbudowa sieci kanalizacyjnej i wodociągowej oraz konieczność odprowadzania ścieków przez system tuneli kanalizacyjnych do oczyszczalni położonych najczęściej na peryferiach miasta. Budowa lub unowocześnianie podziemnej infrastruktury technicznej wiąże się z wykonywaniem, co prawda wąskich, ale na ogół głębokich wykopów liniowych bezpośrednio pod ulicami, w tzw. żywej tkance miejskiej.

Proces deglomeracji, czyli tendencja do opuszczania centrum miasta i zamieszkania w suburbiach wywołuje problem dużego dziennego napływu do śródmiejskich dzielnic biurowych samochodów, które powinny znaleźć miejsce na podziemnych parkingach. Warszawa i inne

polskie miasta cierpią na chroniczny brak miejsc parkingowych zarówno na powierzchni terenu, jak i pod nią. W miastach Europy Zachodniej czy Dalekiego Wschodu budowa podziemnych garaży, połączonych często z centrami handlowymi czy dworcami, jest standardem świadczącym o wysokiej jakości życia. Jest to również – w powiązaniu z podziemnymi przejściami dla pieszych – sposób na chronienie się przed zimą (Finlandia – Helsinki, Norwegia – Oslo) lub upałem i deszczem w tropikach (Singapur, Hongkong). Podziemne, wielokondygnacyjne garaże i tunele dla pieszych buduje się w głębokich wykopach.

W każdym z podanych wyżej przykładów wykonywania głębokich wykopów na terenie zurbanizowanym powstająca w wykopie konstrukcja podziemna, a później część nadziemna obiektu, często styka się z istniejącą zabudową, nierzadko zabytkową, lub znajduje się w bliskiej odległości od eksploatowanych tuneli metra, drogowych czy kolejowych. To wpływa na dobór rodzaju obudowy i sposób wykonywania konstrukcji. Podstawowym kryterium projektowania konstrukcji w głębokich wykopach jest bezpieczeństwo robót i ograniczenie niekorzystnego oddziaływania na sąsiadujące z wykopem obiekty oraz na środowisko. Jak wspomniano powyżej, bezpieczeństwo konstrukcji i prac budowlanych wynika z przyjętej w projekcie metody budowy części podziemnej oraz z rodzaju zastosowanej obudowy wykopu. Teoretyczna prognoza przemieszczeń

obudowy wykopu i sąsiadów umożliwia ocenę ewentualnych zagrożeń oraz kontrolę, dzięki monitorowaniu konstrukcji, poprawności i jakości prowadzonych prac i przyjętych założeń projektowych.

Odrębnym zagadnieniem jest dostosowanie przyjętej metody budowy do udokumentowanych odpowiednim rozpoznaniem warunków geologicznych, geotechnicznych i hydrologicznych w podłożu budowanego obiektu, a także w strefie jego oddziaływania. Głębokie wykopy, w myśl normy Eurokod 7, zaliczane są do tzw. drugiej, a często nawet do trzeciej kategorii geotechnicznej. Oznacza to konieczność wykonania na potrzeby projektu budowlanego dokumentacji geologiczno-inżynierskiej oraz wyznaczenie wartości parametrów podłoża (szczególnie mechanicznych) badaniami in situ oraz laboratoryjnymi. Niezbędne jest również opracowanie opinii środowiskowej i zatwierdzenie jej przez odpowiednie organy administracji państwowej oraz załączenie do projektu budowlanego projektu monitorowania konstrukcji wykopu i obiektów do niego przyległych.

Na koniec, wybór rodzaju obudowy i metod wykonania głębokiego wykopu powinien uwzględniać też aspekty ekonomiczne oraz analizę ryzyka.

2. Rodzaje obudów głębokiego wykopu

Ze względu na kryterium minimalizacji przemieszczeń podłoża i ściany wykopu,



Ryc. 2. Wykop w obudowie berlińskiej – budowa tunelu szybkiego tramwaju w Krakowie, fot. Stump-Hydrobudowa Sp. z o.o.

12 m. Przekrój wykopu na I linii metra w Warszawie budowanego w obudowie ze ściany berlińskiej pokazano na rycinie 1, a widok z realizacji podobnego wykopu pod tunel tramwajowy w Krakowie na rycinie 2. Wykop ten na odcinkach szlakowych był rozpierniany stalowymi rozpórnikami, a na stacjach kotwiony tymczasowymi kotwami gruntowymi. Na rycinach widoczne są stalowe słupy i drewniana opinka ściany berlińskiej oraz głowice kotew gruntowych.

Obydwie te budowy były realizowane w stosunkowo dużej odległości od zabudowy mieszkalnej (w Warszawie na Ursynowie, w Krakowie w sąsiedztwie Dworca Głównego) i na terenie należącym do miasta – pod ulicami. W związku z tym nie trzeba było uzyskiwać zgody na wykonanie kotew gruntowych.

Często obudowa berlińska jest stosowana w miejscach gdzie są przewidziane wyjścia ze stacji metra (ryc. 3) lub też jako fragment obudowy wyższej części ściany



Ryc. 3. Wykop w obudowie berlińskiej – wyjście ze stacji metra w Warszawie, fot. A. Siemińska-Lewandowska

Przy sprzyjających warunkach geotechnicznych wykopy w obudowie berlińskiej wykonywano do głębokości 24 m i 28 m. W Warszawie na ogół głębokość ta wynosi od 10 do 12 m.

wykopu, tam gdzie nie jest wymagana duża sztywność obudowy.

Podjęwając decyzję o wyborze ściany berlińskiej jako obudowy wykopu, należy zwrócić uwagę na konieczność wykonania odwodnienia terenu, jeżeli poziom wody gruntowej znajduje się powyżej dna projektowanego wykopu; należy ocenić, czy warunki geotechniczne umożliwiają wykonanie studni głębinowych i wytworzenie leja depresji. Jeżeli zasięg leja depresji, będzie wykraczał poza granice własności terenu, wówczas należy wykonać operat i uzyskać pozwolenie wodnoprawne. Konieczne jest też opracowanie opinii środowiskowej, oceniającej jak odwadnianie terenu wpłynie na osiadania sąsiednich obiektów – budynków i podziemnej infrastruktury oraz na roślinność. Po zakończeniu robót w głębokim wykopie i wybudowaniu części podziemnej fragmenty ściany berlińskiej (słupy zabetonowane w dnie wykopu i opinka) zostają w gruncie, o czym nie zawsze pamiętają właściciele sąsiednich posesji. Przy kolejnych pracach budowlanych w głębokim wykopie sąsiadującym z wybudowanym w obudowie berlińskiej obiektem trzeba będzie te elementy usunąć (dodatkowe prace i dodatkowy koszt), a na ogół nie jest to uwzględniane np. w kosztorysie inwestorskim. Wykonując analizę oddziaływania wykopu na otoczenie, np. metodą elementów skończonych, trzeba te pozostałości uwzględnić w siatce modelu.

2.2. Ściana z grodziec stalowych – ścianka szczelna

Przez wiele lat uważano, że w terenie gęsto zabudowanym ścianka szczelna nie może być stosowana jako obudowa głębokiego wykopu z uwagi na zagrożenie bezpieczeństwa przyległych budynków,

gdyż jest konstrukcją wiotką i wymaga rozpięcia lub kotwienia na wielu poziomach. Obecnie, szczególnie na południu Polski, ściana z grodzic stalowych jest powszechnie wykorzystywana jako obudowa wykopów o głębokości sięgającej kilkunastu metrów. Jedyny warunek technologiczny to stosowanie urządzeń do wciskania brusów, tak aby ograniczyć negatywny wpływ instalacji ściany zarówno na grunt (drżania i wibracje powodują rozluźnienie gruntów niespoistych), jak i na obiekty. W celu zwiększenia sztywności obudowy można też stosować technologię mieszaną, polegającą na pograżeniu grodzic w wykopie szczelinowym wypełnionym zawieszoną iłowo-cementową, tworząc w ten sposób rodzaj konstrukcji zespolonej. Grodzice stosowane jako obudowy klasyfikuje się według kształtu przekroju poprzecznego oraz typu zamków [6]. Najbardziej powszechne kształty to grodzice korytkowe w kształcie litery U, Z, grodzice skrzynkowe z profili dwuteowych i w literę H oraz grodzice płaskie i rurowe. Po osadzeniu brusów wykop w miarę głębienia rozpięta się kotwami gruntowymi lub stalowymi rozporami. Szczegółowe dane dotyczące techniki wykonania ścianki szczelnej, elementów projektowania i wymagań technicznych znajdują się w normie [7].

Obudowa głębokiego wykopu wykonana w technologii ścianki szczelnej jest ekonomicznie uzasadniona w gruntach nawodnionych. Dzięki zagłębieniu brusów w warstwy nieprzepuszczalne można znacznie ograniczyć zakres odwodnienia i objętości wody zrzucanej do sieci, co daje wymierne oszczędności. Nie ma potrzeby uzyskiwania dodatkowych zezwoleń, dzięki czemu skraca się czas oczekiwania na decyzje administracyjne. Obudowa z brusów jest obudową traconą, ale dzięki temu staje się ona rusztowaniem do szalunków zewnętrznych ścian podziemia. Dlatego m.in. z uwagi na koszty obudowy wykopów w technologii ścianki szczelnej mogą być konkurencyjne cenowo w stosunku do ścian szczelinowych o grubości 80 cm i więcej.

W przypadku budowy głębokiego wykopu w obudowie ze ścianki szczelnej na terenie o zwartej zabudowie miejskiej szczególną uwagę należy zwrócić na monitorowanie konstrukcji wykopu i sąsiednich obiektów i np. w ścianie instalować rurki do pomiarów inklinometrów. Dzięki nim możliwa jest stała obserwacja prze-

Obudowa głębokiego wykopu wykonana w technologii ścianki szczelnej jest ekonomicznie uzasadniona w gruntach nawodnionych. Dzięki zagłębieniu brusów w warstwy nieprzepuszczalne można znacznie ograniczyć zakres odwodnienia i objętości wody zrzucanej do sieci, co daje wymierne oszczędności.



Ryc. 4. Wykop w terenie zabudowanym w obudowie z grodzic stalowych, fot. Aarslef Sp. z o.o.

mieszkańców poziomych obudowy wykopu, terenu i przyległych budynków i ewentualna szybka reakcja w przypadku przekroczenia alarmowych progów wartości przemieszczeń. Na rycinie 4 pokazano wykop o głębokości 14 m, wykonany w obudowie z grodzic stalowych. Stateczność ściany wykopu zapewnia jeden rząd kotew gruntowych tymczasowych zainstalowanych na oczepach, a w dolnej części ściany kotwy trwałe wykonane bezpośrednio w grodzicy. Szalowanie ścian jest mocowane do grodzic. W narożach zainstalowano rozpory stalowe rurowe. Wykop ten był przez cały okres budowy monitorowany. Przemieszczenia poziome obudowy mierzono za pomocą inklinometrów, a sąsiednie obiekty i powierzchnię terenu obserwowano metodami geodezyjnymi.

2.3. Ściana szczelinowa

Technologia wykonywania ścian szczelinowych jest szczegółowo opisana w publikacjach [2, 5, 8, 9] oraz w normie [10]. Ściana szczelinowa wylewana w gruncie, którą wykonuje się sekcjami o długości od ok. 3 m do 6 m, jest obudową wykopu za-

pewniającą znacznie większe ograniczenie przemieszczeń aniżeli opisane powyżej obudowy wykopu w postaci ścian berlińskiej i ścianki szczelnej. Ściany szczelinowe najczęściej mają grubość 60, 80 oraz 100 cm (na budowie metra w Warszawie nawet 120 cm) i są jednocześnie elementem konstrukcyjnym podziemnej części obiektu (tunelu, stacji metra, podziemnego parkingu). Podczas głębienia wykopu ściany te są rozpięte stalowymi rozporami, kotwami gruntowymi oraz, co było niemożliwe w przypadku stosowania obudów wiotkich, stropami lub fragmentami stropów podziemnych kondygnacji. Ten ostatni sposób budowy części podziemnej obiektu, nazywany metodą stropową lub półstropową, gwarantuje bezpieczeństwo robót podziemnych oraz ogranicza wpływ wykopu na zabudowę sąsiednią. Głębokość ściany szczelinowej wynika z obliczeń statycznych obudowy wykopu i wynosi na ogół od 15 do 30 m dla różnych głębokości wykonywanego pod ich osłoną wykopu. Zdarza się jednak często, że projektant części podziemnej wraz z wykonawcą decydują wspólnie o takim wydłużeniu ścian szczelinowych.

Ściany szczelinowe najczęściej mają grubość 60 cm, 80 cm oraz 100 cm (na budowie metra w Warszawie nawet 120 cm) i są jednocześnie elementem konstrukcyjnym podziemnej części obiektu (tunelu, stacji metra, podziemnego parkingu). Podczas głębienia wykopu ściany te są rozpierane stalowymi rozporami, kotwami gruntowymi oraz, co było niemożliwe w przypadku stosowania obudów wiotkich, stropami lub fragmentami stropów podziemnych kondygnacji.

aby zagłębić je w warstwie gruntu nieprzepuszczalnego. Dzięki temu ogranicza się zakres odwadniania terenu tylko do obszaru wykopu, co jak już wspomniano powyżej, nie wymaga odpowiednich pozwoleń wodnoprawnych. Wówczas głębokość ścian szczelinowych może wynosić nawet ponad 50 m, tak jak to ma miejsce na stacjach Rondo ONZ i Świętokrzyska na budowanej II linii metra w Warszawie. Należy jednak mieć świadomość, że decyzja o pogłębieniu ścian do warstwy gruntów nieprzepuszczalnych powinna być poprzedzona starannym rozpoznaniem geotechnicznym. Może się zdarzyć, że mimo iż na przekrojach geologiczno-inżynierskich występują na wymaganych głębokościach np. warstwy iłów, w rzeczywistości układ warstw jest inny. Grozi to utratą stateczności dna wykopu, dużym napływem wód gruntowych do głębionego wykopu i w konsekwencji awariami w sąsiedztwie, na powierzchni terenu. Taka sytuacja wydarzyła się w październiku 2012 r. na budowie II linii metra.

Mimo wieloletniego doświadczenia, budując ściany szczelinowe w odległości nierzadko kilkunastu centymetrów od istniejących fundamentów budynków, należy zwrócić uwagę na fazę głębienia szczeliny w osłonie cieczy stabilizującej (zawiesiny iłowej) i na etapowanie prac w wykopie. Jak dowodzą dane z pomiarów przemieszczeń [11], pierwsze znaczące osiadania powierzchni terenu w sąsiedztwie budowanej ściany szczelinowej pojawiają się, gdy wykop szczelinowy jest wykonany do pełnej wymaganej w projekcie głębokości, a jego stateczność zapewnia zawiesina iłowa,

która dzięki zjawisku tiksotropii tworzy żel o niewielkiej wytrzymałości strukturalnej. Jak wspomniano powyżej, ściany wykonuje się sekcjami o długości ok. 6 m. Jeżeli w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu znajduje się budynek zabytkowy lub w złym stanie technicznym, projektant obudowy wykopu stawia warunek, aby długość jednej sekcji ściany szczelinowej nie była większa niż tzw. jeden zabiór chwytaka koparki, tzn. ok. 2,9 m. Wymaga się również, aby czas, jaki upływa między zakończeniem głębienia szczeliny a rozpoczęciem betonowania sekcji (po wstawieniu szkieletu zbrojeniowego) metodą betonowania podwodnego, był możliwie najkrótszy. Etapowanie robót w wykopie w decydujący sposób wpływa na przemieszczenia ściany wykopu oraz otoczenia. Wykonywane w kraju pomiary dowiodły [12], że największe poziome przemieszczenia ściany szczelinowej pojawiają się, gdy ściana jest wspornikiem. Oznacza to, że jeżeli dąży się do ograniczenia oddziaływania wykopu na otoczenie, należy możliwie szybko podeprzeć ścianę w poziomie terenu, wykonując np. strop poziomu 0. Kolejne punkty podparcia (stropami lub rozporami czy kotwami) i fazowanie robót ziemnych znajduje odzwierciedlenie w obliczeniach statycznych obudowy wykopu. W projekcie budowlanym obudowy wykopu należy oprócz wyliczonych wartości momentów zginających i sił poprzecznych określić przemieszczenia poziome obudowy w każdej fazie realizacji, tzn. zarówno podczas głębienia wykopu, jak i wznoszenia konstrukcji. Często o wymiarowaniu obudowy wykopu decyduje faza wznoszenia wewnętrznej konstrukcji.

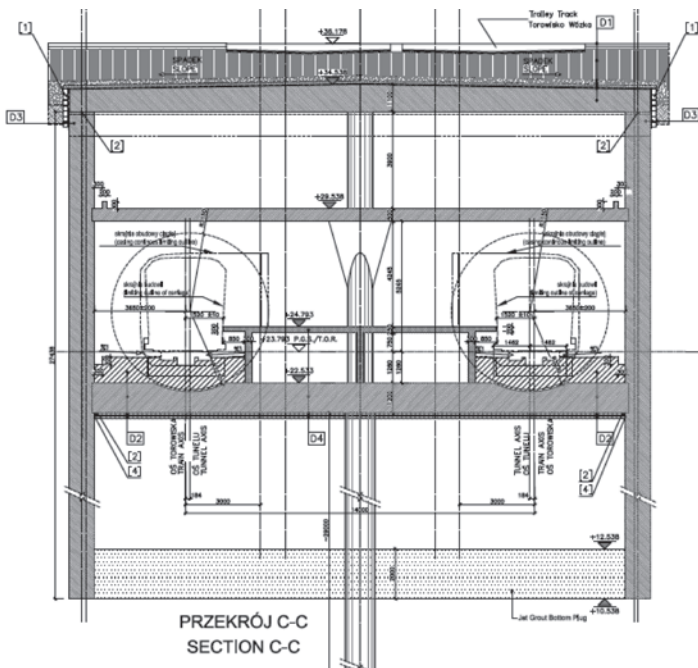
Technika wykonywania ścian szczelinowych jest w Polsce znana od lat 70. XX w. Obecnie istnieje wiele specjalistycznych firm wykonawczych, które opanowały tę technologię na poziomie światowym. Ze względu na to, że jest to obudowa sztywne, niewymagająca przy sprzyjających warunkach zewnętrznego odwodnienia terenu, jest to technologia stosowana w Polsce powszechnie jako obudowa wykopu na terenie miejskim.

3. Metody budowy głębokich wykopów

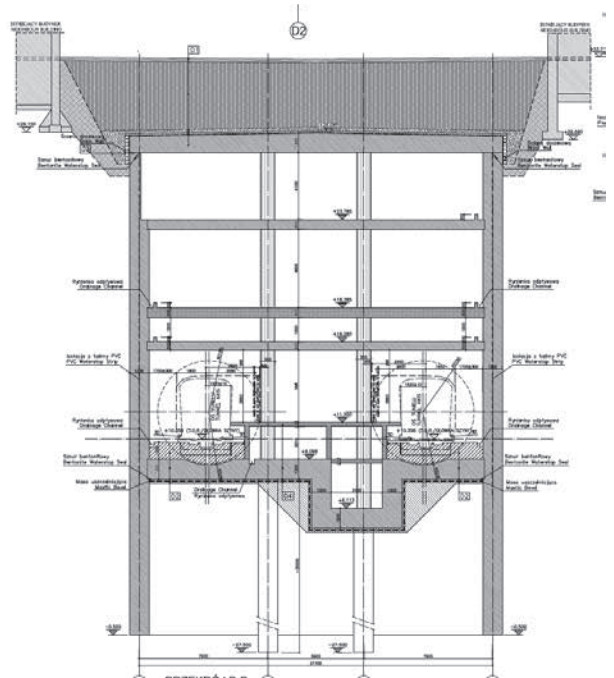
Głębokie wykopy najczęściej wykonuje się jako wykopy otwarte, szerokoprzenne, których stateczność zapewniają rozpory, kotwy lub przypory z gruntu rodzimego. Ten sposób budowy może być stosowany w miastach pod warunkiem, że inwestor dysponuje dużym placem budowy, w sąsiedztwie wykopu nie ma budynków wrażliwych na osiadania, a warunki gruntowe są korzystne (np. brak wody gruntowej). W ten sposób buduje się duże budynki biurowe z dwukondygnacyjnymi podziemiami na terenach przemysłowych, np. w Warszawie na Służewcu Przemysłowym, gdzie powstało zagłębienie biurowe w sąsiedztwie lotniska i obwodnicy.

W przypadku wykonywania głębokich wykopów na terenie zwartej zabudowy miejskiej, obszarach zabytkowych czy chronionych, gdzie konieczne jest ograniczenie wpływu wykopu na otoczenie, stosuje się metodę stropową lub półstropową. Ten pierwszy sposób budowy wybrano np. do wykonania wszystkich stacji na II linii metra w Warszawie. Na rycinie 5 pokazano przekrój poprzeczny stacji C10 Rondo ONZ, a na rycinie 6 stacji C12 Nowy Świat. Obydwie stacje budowane są pod ul. Świętokrzyską, w obszarze silnie zurbanizowanym. Głębokość wykopu na stacji C10 wynosi 15,5 m p.p.t., a na stacji C12 26 m p.p.t. Fazy budowy korpusu stacji C10 metodą stropową są następujące:

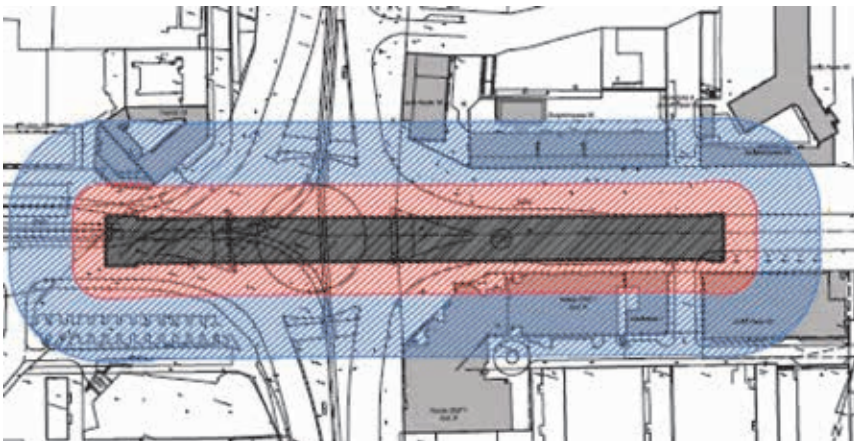
- wykonanie ścian szczelinowych o długości 53 m oraz pali i baret,
- wykonanie wykopów do dolnej krawędzi górnego stropu,
- wykonanie stropu stacji,
- zasypanie górnego stropu z pozostawieniem otworów technologicznych,
- głębienie podstropowo wykopu do poziomu dolnej krawędzi stropu pośredniego,



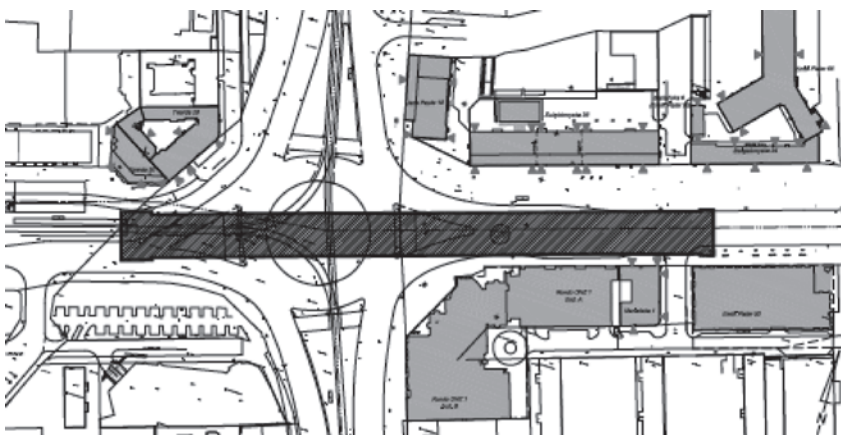
Ryc. 5. Przekrój poprzeczny stacji Rondo ONZ na II linii metra w Warszawie [14]



Ryc. 6. Przekrój poprzeczny stacji Nowy Świat na II linii metra w Warszawie, fundamenty budynków znajdują się w odległości ok. 3 m od krawędzi ściany szczelinowej stacji [14]



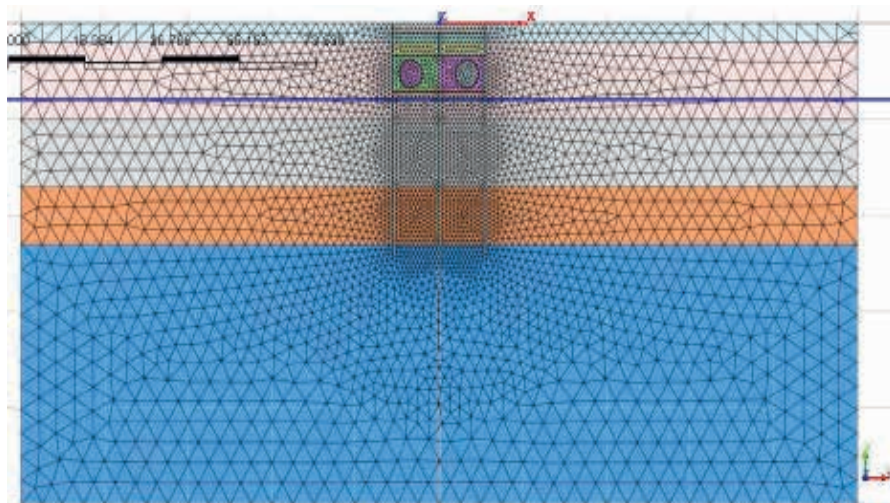
Ryc. 7. Zasięg stref oddziaływania wykopu stacji Rondo ONZ na II linii metra w Warszawie [14]



Ryc. 8. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na budynkach w strefie oddziaływania stacji Rondo ONZ na II linii metra w Warszawie [14]

- wykonanie stropu pośredniego,
- wykonanie odwodnienia wewnątrz ścian szczelinowych do poziomu płyty dennej,
- głębienie wykopu do rzędnej docelowej dna, tzn. 15,5 m p.p.t.,
- wykonanie płyty dennej,
- wyłączenie odwodnienia i przywrócenie naturalnego ciśnienia wody w gruncie.

W podobny sposób wykonano stację Nowy Świat. Na każdej stacji przeprowadzono analizę oddziaływania wykopu na otoczenie i wyznaczono strefy oddziaływania, korzystając z instrukcji [13]. Na stacji C10 szerokości tych stref, uzależnione od głębokości wykopu i rodzaju gruntu, mają wymiar w planie: strefa bezpośredniego wpływu SI = 15,5 m i strefa pośredniego oddziaływania SII = 31,0 m. Łącznie obie strefy mają szerokość równą 46,5 m. Ich układ pokazano na rycinie 7. W zasięgu wpływu wykopu stacji C10 znajdują się budynki zbudowane przed II wojną światową oraz powstałe po 1945 r., a także wybudowane ostatnio wysokościowce – budynek Rondo 1. Dokonano też klasyfikacji budynków z punktu widzenia stanu ich uszkodzeń, korzystając ze skali według [13] od 0 do 5. W zależności od liczby punktów zaplanowano system monitorowania przemieszczeń (ryc. 8). W ścianach szczelinowych stacji umieszczono inkl-



Ryc. 9. Model numeryczny stacji C10 II linii metra w Warszawie [15]

nometry. Prognozowane i pomierzone przemieszczenia stacji, powierzchni terenu i budynków zweryfikowano obliczeniami metodą elementów skończonych. Model numeryczny stacji C10 i siatkę elementów pokazano na rycinie 9.

Przyjęta metoda budowy pozwoliła na ograniczenie przemieszczeń sąsiednich budynków i powierzchni terenu, co zostało udokumentowane wynikami pomiarów geodezyjnych i inklinometrycznych. Analiza MES potwierdziła poprawność przyjętych założeń dotyczących faz budowy i parametrów elementów konstrukcyjnych stacji.

Analiza numeryczna metodą MES jest jedyną metodą pozwalającą na ocenę i prognozę przemieszczeń budowanej w głębokim wykopie konstrukcji, sąsiednich obiektów i powierzchni terenu. Podobne obliczenia wykonano dla oceny bezpieczeństwa konstrukcji tunelu trasy W-Z w Warszawie podczas budowy metodą stropową części podziemnej budynku biurowego na Starym Mieście oraz dla budynków biurowych z głębokimi podziemiami budowanych w sąsiedztwie tuneli szlakowych i stacji II linii metra w Warszawie.

4. Podsumowanie

Przedstawione w artykule obudowy wykopów oraz metody budowy mogą być zastosowane w warunkach miejskich pod warunkami podanymi poniżej. Należy ocenić jakość i zakres dokumentacji geologiczno-inżynierskiej oraz sposób wyznaczania obliczeniowych parametrów gruntów (szczególnie mechanicznych), które będą stosowane w projekcie obudowy wykopu; rozważyć możliwość

wykonania dodatkowych otworów badawczych i badań in situ.

Sprawdzić, czy możliwe jest wykonanie odwodnienia w zakresie niezbędnym do wykonania wykopu (w przypadku stosowania ściany berlińskiej) w celu zmniejszenia parcia wody na ścianę lub wykonania odwodnienia wewnątrz wykopu.

Określić zasięg stref oddziaływania wykopu na podstawie np. [13] i w zależności od istniejącej w tych strefach zabudowy i ich stanu dobierać rodzaj obudowy, unikając np. obudów podatnych.

Wykonać wstępne obliczenia i ocenić prognozowane wartości przemieszczeń poziomych obudowy wykopu, nierzadko już na etapie projektu koncepcyjnego, dla kilku wariantów typu obudowy i sposobu prowadzenia robót ziemnych. To pozwoli inwestorowi i projektantowi całości obiektu na podjęcie właściwej decyzji i jej uzasadnienie również w aspekcie bezpieczeństwa istniejących sąsiadów i ewentualnie obiektów podziemnych.

Sprawdzić system rozparcia wykopu i ocenić, czy sąsiedzi wyrażą zgodę na wykonanie np. kotew gruntowych pod ich obiektem (na ogół nie zgadzają się i trzeba szukać innych rozwiązań).

Obliczyć, stosując metodę elementów skończonych, przewidywane przemieszczenia powierzchni terenu, sąsiednich obiektów naziemnych i podziemnych.

Literatura

[1] Grzegorzewicz K.: *Obudowa ścian głębokich wykopów*. Seminarium Głębokie wykopu na terenach wielkomiejskich. IDiM PW i IBDiM. Warszawa 2002, s. 45–70.

- [2] Jarominiak A.: *Lekkie konstrukcje oporowe*. WKiŁ. Warszawa 1999.
- [3] Ou Ch.: *Deep Excavation Theory and Practice*. Taylor & Francis Group, 2006.
- [4] Puller M.: *Deep excavations, a practical manual*. Thomas Telford. London 1996.
- [5] Siemińska-Lewandowska A.: *Głębokie wykopy. Projektowanie i wykonawstwo*. WKiŁ. Warszawa 2010.
- [6] Mazurkiewicz B.: *Projektowanie ścianek szczelnych*. Materiały konferencyjne Warsztaty pracy projektanta konstrukcji. Ustroń 2005, s. 75–92.
- [7]. PN-EN 12063:2001 *Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Ścianki szczelne*.
- [8] Grzegorzewicz K.: *Technika wykonywania ścian szczelinowych*. IBDiM. Warszawa 1975.
- [9] Grzegorzewicz K., Kłosiński B., Rychlewski P.: *Warunki techniczne wykonania i odbioru ścian szczelinowych*. IBDiM (w druku).
- [10] PN-EN 1538:2010 *Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Ściany szczelinowe*.
- [11] Long M.: *Database for retaining wall and ground movements due to deep excavations*. „Journal of Geotechnic & Geoenvironmental Engineering” 2001, No. 3, pp. 203–224.
- [12] Siemińska-Lewandowska A.: *Przemieszczenia kotwionych ścian szczelinowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2001.
- [13] *Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów*. Instrukcja Instytutu Techniki Budowlanej. Warszawa 2002, z. 376.
- [14] „Projekt i budowa II linii metra od stacji Rondo Daszyńskiego do stacji Dworzec Wileński w Warszawie, projekt wykonawczy”. ILF Consulting Niger Polska SA, Rocksoil, Prota. ul. Postępu 158, Warszawa.
- [15] „Opinie techniczne dotyczące wykonania konstrukcji stacji C10, C11 II linii metra w Warszawie”. Zakład Geotechniki i Budowli Podziemnych, Instytut Dróg i Mostów, Politechnika Warszawska. Warszawa 2013.

Artykuł opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na 60. jubileuszowej Konferencji Naukowej KILiW PAN i KN PZITB Krynica 2014, 14–19 września 2014 r.