

*Marta Pająk**

ŚCIANA SZCZELINOWA JAKO OBUDOWA GŁĘBOKIEGO WYKOPU NA PRZYKŁADZIE REALIZACJI DLA BUDYNKU EDISON W KRAKOWIE**

1. Cel pracy

W pracy przedstawiono opis realizacji ściany szczelinowej budynku Edison w Krakowie. Jej przeznaczeniem było zbudowanie szczelnej ściany żelbetowej podziemnego garażu oraz zabezpieczenie stateczności ścian głębokiego wykopu na czas jego realizacji. Celem pracy jest również zwrócenie uwagi na znaczenie należytego i precyzyjnego monitorowania, dzięki któremu odnotowano bardzo dobrą skuteczność wykonanego zadania. Precyzyjne pomiary geodezyjne nie wykazały bowiem żadnych odkształceń podłoża gruntowego sąsiadującego z przedmiotową ścianą oraz sąsiadujących budynków, jak również całkowitą szczelność wykonanej ściany.

2. Wybór obudowy głębokiego wykopu

Projektowanie i wykonywanie obudów głębokich wykopów jest często trudnym, a równocześnie bardzo odpowiedzialnym zadaniem w geotechnice. Poprawne rozwiązywanie tego rodzaju problemów wymaga znajomości nie tylko mechaniki gruntów i statyki konstrukcji, ale również technologii wykonywania wykopów i konstrukcji podziemnych części budowli.

Począwszy od ostatniego dziesięciolecia XX wieku coraz częściej projektowano i wykonywano w Polsce obiekty z rozbudowaną częścią podziemną. Wynika to np. z konieczności zapewnienia wymaganej powierzchni parkingowej dla samochodów, co zmusza inwestorów do budowy podziemnych garaży w obrębie wznoszonej budowli. W częściach podziemnych budynków lokalizuje się też niejednokrotnie handel, usługi i zaplecze logistyczne wieżow-

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Praca zrealizowana w ramach badań statutowych nr 11.11.100.588

ców. W efekcie powstają kilkukondygnacyjne podziemia, a ich realizacja wymaga wykonywania głębokich wykopów. W przypadku gdy części podziemne budynków projektowane są jako kilkukondygnacyjne, wówczas niezbędne wykopy osiągają niekiedy głębokość kilkunastu metrów. Realizacja głębokich wykopów przebiega często w bezpośrednim lub bliskim sąsiedztwie obiektów istniejących, posadowionych na niewielkiej głębokości poniżej terenu. Takie wykopy wymagają odpowiedniej obudowy.

Wybierając rodzaj obudowy wykopu, należy uwzględnić warunki gruntowe i poziom występowania wody gruntowej, rodzaj i głębokość sąsiedniej zabudowy, odległość projektowanego wykopu od istniejących obiektów oraz przewidywaną głębokość wykopu. Istotnym kryterium przy wyborze rodzaju obudowy jest informacja, czy jest możliwe w czasie prowadzenia robót fundamentowych korzystanie z terenu poza obrysem wznoszonej budowli. Wynika z tego możliwy sposób realizacji obudowy i organizacji prac budowlanych. Z wybranej metody budowy wynikają rodzaje, schematy statyczne i wymiarowanie obudowy. Główne rodzaje obudów głębokich wykopów to ściany szczelinowe, ściany palowe, ściany z kolumn iniekcyjnych, ściany gwoździowane, ściany z zawiesziny zbrojonej, stalowe ścianki szczelne i ścianki berlińskie [6].

3. Charakterystyka wykonywania ścian szczelinowych

Jedną z często stosowanych obudów głębokich wykopów w Polsce są ściany szczelinowe. Wykonywanie ściany szczelinowej rozpoczyna się od drażenia w gruncie szczeliny sukcesywnie wypełnianej zawieszoną bentonitową. Szczeliny są głębień chwytkami żerdziowymi, ciężkimi chwytkami linowymi lub hydrofrezami. W szczelinie jest formowana żelbetowa ściana złożona z oddzielnie wykonywanych sekcji. Standardowa grubość realizowanych ścian to najczęściej 60 lub 80 cm.

Podstawowymi zaletami ścian szczelinowych są możliwości ich realizacji w różnych warunkach gruntowych oraz uzyskiwanie w efekcie szczelnej obudowy głębokich wykopów. Fundamenty ze ścian szczelinowych mogą przenosić bardzo duże obciążenia pionowe i poziome oraz momenty. Wykonywanie ścian szczelinowych nie powoduje znaczących hałasów ani wstrząsów. Zaletą współczesnych urządzeń do wykonywania ścian szczelinowych jest możliwość ich realizacji w pobliżu istniejących budowli. Z uwagi na gabaryty sprzętu używanego do budowy ścian wymagane oddalenie krawędzi ściany od lica budynku wynosi minimum 30 cm — odległość ta jest też niezbędna ze względu na konieczność zlokalizowania murku prowadzącego. Murki są konstrukcjami tymczasowymi. Murek prowadzący spełnia rolę przewodnicy chwytnika oraz podstawy sprzętu, który jest używany do formowania ściany szczelinowej.

Ściana szczelinowa jest stopniowo odsłaniania w trakcie głębień wykopu. Stosowane są wtedy ukośne zastrzały lub poziome rozparcia. Rodzaj poziomego podparcia ściany szczelinowej wynika z wielkości obciążeń poziomych działających na ścianę oraz sztywności ściany. Podparcie może być też wykonane jako kotwienie iniekcyjnymi kotwami gruntowymi. Wykorzystywane są również, jako poziome rozparcia, stropy kolejnych kondygnacji podziemnych (metoda podstropowa).

Ściana szczelinowa może stanowić obudowę wykopu, która spełnia swoją funkcję tylko do czasu wykonania konstrukcji podziemia. Takie rozwiązanie jest jednak kosztowne. Obecnie coraz częściej projektuje się ściany szczelinowe jako trwałe elementy konstrukcyjne obiektu. Takie rozwiązanie stawia wyższe wymagania techniczne. Wymagania te dotyczą równości powierzchni ściany, szczelności styków sekcji ściany, uzyskanej pionowości ściany oraz jakości betonu. Rozwiązanie tego rodzaju jest często najkorzystniejsze ekonomicznie dla całego projektowanego zadania.

4. Monitorowanie realizacji obiektu w głębokim wykopie

Rozpoczęcie realizacji budynku z kilkukondygnacyjną częścią podziemną powinno być poprzedzone dokładnym rozpoznaniem warunków gruntowo-wodnych oraz wnikliwą, wszechstronną analizą wpływu głębokiego wykopu oraz nowego budynku na odkształcenia przylegającego terenu i sąsiadującej zabudowy. Na etapie projektowania konieczne jest dokonanie szczegółowej oceny stanu technicznego sąsiadującej zabudowy wraz ze szczegółową inwentaryzacją istniejących uszkodzeń. Należy rozważyć wpływ ewentualnych przemieszczeń obudowy wykopu i wznoszonego budynku na infrastrukturę techniczną znajdującą się w bliskim sąsiedztwie. W projekcie należy szczegółowo przeanalizować technologię wykonania części podziemnej budynku.

Realizacja budynków w głębokich wykopach w warunkach miejskich zawsze jest związana z pewnym stopniem ryzyka. Nawet wszechstronna analiza projektowa może nie uwzględniać wszystkich czynników, które mogą wystąpić podczas realizacji budowy prowadzonej w terenie intensywnie zurbanizowanym, silnie uzbrojonym i o bardzo zróżnicowanych warunkach hydrogeologicznych. Konieczne jest monitorowanie ruchów ośrodka gruntowego i poziomu wód gruntowych oraz zachowań obiektów znajdujących się w strefie oddziaływania budowy. Zasięg strefy oddziaływania wykopu można w przybliżeniu przyjąć jako funkcję jego głębokości (H_w) z uwzględnieniem rodzaju gruntów, w których wykop jest realizowany (tab. 1) [5].

TABELA 1

Zasięg strefy oddziaływania wykopu jako funkcja jego głębokości (H_w) z uwzględnieniem rodzaju gruntów, w których wykop jest realizowany [5]

Rodzaj gruntu, w którym wykonywany jest wykop	Zasięg strefy oddziaływania wykopu	
	bezpośrednie oddziaływania wykopu	pośrednie oddziaływania wykopu
Piaski	$\frac{1}{2} H_w$	$2 H_w$
Gliny	$\frac{3}{4} H_w$	$3 H_w$
Iły	H_w	$5 H_w$

Sąsiadujące budynki mogą charakteryzować się różnym stopniem wrażliwości na deformacje. Wielkości odkształceń zależą m.in. od wymiarów budynków oraz ich usytuowania względem wykopu, kierunków ścian nośnych w stosunku do linii krawędzi wykopu. Wrażliwość budynku na deformacje podłoża wynika z rodzaju konstrukcji tego budynku (materiał, którego użyto do wzniesienia budynku, rodzaj stropów). W przypadku wystąpienia znaczących przemieszczeń pionowych mogą pojawiać się widoczne uszkodzenia części budynku, a nawet może wystąpić zagrożenie całej konstrukcji. Orientacyjne wartości granicznych pionowych przemieszczeń podano w tabeli 2 [5].

TABELA 2

Orientacyjne wartości granicznych pionowych przemieszczeń w zależności od rodzaju konstrukcji [5]

Rodzaj konstrukcji	Przemieszczenia pionowe powodujące uszkodzenia konstrukcji, mm	Przemieszczenia pionowe skutkujące zagrożeniem obiektu, mm
Budynki murowane bez wieńców ze stropami drewnianymi lub ceramicznymi typu Kleina	5÷7	15÷18
Budynki prefabrykowane lub murowane ze stropami gęstożebrowymi lub żelbetowymi	7÷9	20÷25
Budynki o konstrukcji monolitycznej	9÷11	25÷35

Monitorowanie zasięgu strefy oddziaływania wykopu na otoczenie przeprowadzane jest zgodnie z zasadami, które ustalane są każdorazowo dla danej budowy. Projekt prac monitorujących zawiera szczegółowe opisy i instrukcje, które mają na celu sprecyzowanie:

- zakresu monitorowania obiektów objętych kontrolą;
- rodzaju prowadzonych pomiarów i obserwacji;
- metody wykonywania pomiarów, ich częstotliwości (w nawiązaniu do postępu prowadzonych prac);
- wykazu prac budowlanych, które stanowią szczególne zagrożenie dla bezpieczeństwa sąsiednich budynków (np. kotwienia realizowane pod budynkiem, pompowanie wody gruntowej, wykonywanie odsłoneń fundamentów itp.);
- sposobu rejestrowania oraz oceny wyników pomiarów i obserwacji;
- wartości ostrzegawczych i alarmujących (ustalane dla danego budynku z uwzględnieniem jego konstrukcji, funkcji i oddalenia od wykopu);
- działania w przypadku przekroczenia wartości ostrzegawczych i alarmujących.

Częstotliwość wykonywania pomiarów powinna bezpośrednio wynikać z postępu prowadzonych robót oraz z wartości otrzymanych wcześniej wyników przemieszczeń. Pomiarzy są prowadzone nie rzadziej niż po zakończeniu kolejnego etapu prac budowlanych.

5. Ściana szczelinowa jako obudowa głębokiego wykopu budynku Edison w Krakowie

Teren, na którym zlokalizowana jest budowa, znajduje się w północno-zachodniej części Krakowa, w dzielnicy Bronowice pomiędzy ulicami Armii Krajowej, Lea, Przybyszewskiego i Kołową. W bezpośrednim sąsiedztwie znajdują się budynki Newton oraz Galileo kompleksu biurowego GTC Korona.

W ramach III etapu budowy Zespołu Biurowego GTC Korona przy ulicy Armii Krajowej w Krakowie powstaje budynek Edison. Ściana szczelinowa wykonana jako obudowa wykopu jest docelowo ścianą nośną tego budynku. Ściana ma grubość 60 cm i całkowitą długość 55 m.

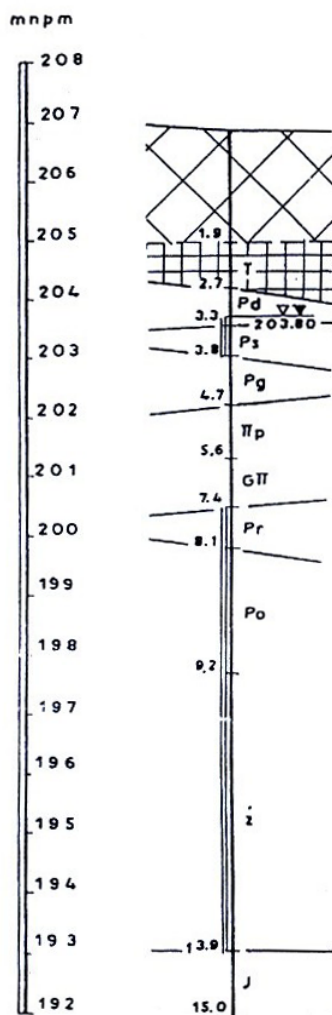
Ścianę szczelinową posadowiono w warstwie niespoistych gruntów czwartorzędowych wykształconych w postaci średniozagęszczonych żwirów o stopniu zagęszczenia $I_D = 0,50$. Głębokość rzędnej spodu ściany szczelinowej w stosunku do zera budynku wynosi $-9,00$ m oraz $-12,00$ m.

5.1. Opis warunków geotechnicznych dla rozpatrywanego obiektu

Morfologicznie teren budowy stanowi fragment terasy Wisły i Rudawy. Teren jest prawie płaski. Podłoże terenu jest zbudowane z osadów trzeciorzędowych i osadów czwartorzędowych. Osady trzeciorzędowe to mioceńskie łył warstw skawińskich o stropie na głębokości około 13,0 m ppt. Na podłożu trzeciorzędowym zalegają czwartorzędowe osady rzeczne. Jest to warstwa żwirowo-piaszczysta o grubości 6,5÷9,0 m z piaskami w stropie. Nad tą warstwą znajduje się warstwa mad i mad próchnicznych obejmująca gliny pylaste, pyły piaszczyste, piaski gliniaste i torfy. Przypowierzchniową warstwę stanowią nasypy niebudowlane [4].

Typowy profil geotechniczny dla terenu realizacji robót fundamentowych dla obiektu Edison przedstawiono na rysunku 1.

W podłożu stwierdzono występowanie wody gruntowej strefy saturacji (nasylenia) oraz grawitacyjnej (wsiąkowej) wody gruntowej. Woda gruntowa strefy saturacji o zwierciadle ciągłym, swobodnym występuje w obrębie piasków i żwirów na głębokości 3,00÷3,30 m ppt. Lokalnie w obrębie nasypów i torfów w okresie wzmożonych opadów może występować grawitacyjna woda gruntowa w postaci sączeń o zmiennej intensywności. Woda gruntowa zgodnie z PN-80/B-01800 wykazuje I_{a1} — słaby stopień agresywności węglanowej CO_2 względem betonu [3].



Rys. 1. Typowy profil geotechniczny z terenu realizacji robót fundamentowych dla obiektu Edison w Krakowie

5.2. Charakterystyka konstrukcyjna ściany szczelinowej

Zbrojenie ściany szczelinowej stanowią kosze zbrojeniowe, które zostały tak zaprojektowane (ciężar i sztywność), aby możliwy był ich montaż w wykopanej szczelinie. Szkielety zbrojeniowe wyposażono w „zawiesia” umożliwiające podnoszenie dźwigiem oraz zawieszenie na murkach prowadzących. Elementem wieńczącym ścianę szczelinową jest oczep żelbetowy. Ze ściany szczelinowej wyprowadzono pręty zbrojeniowe umożliwiające jej połączenie z oczepem [2].

5.3. Czynności przygotowawcze do realizacji ściany szczelinowej

Przed przystąpieniem do realizacji ściany konieczne było zlokalizowanie ewentualnych przeszkód mogących kolidować z projektowaną ścianą. W przypadku kolizji dokonywano przełożenia obcych urządzeń i resztek starych murów. Niezbędne było zachowanie wymaganych przepisami odległości ściany od urządzeń obcych.

Punkty wyznaczające oś ściany oznaczane były na gruncie w sposób trwały i możliwy do odtworzenia na każdym etapie budowy ściany szczelinowej. Na murkach prowadzących wyznaczono punkty charakterystyczne poszczególnych sekcji ściany [1]. Przed przystąpieniem do realizacji ściany przygotowano platformę roboczą, tzn. wyrównaną, stabilną i wolną od przeszkód powierzchnię roboczą przystosowaną do ciągłej pracy ciężkiego sprzętu budowlanego w każdych warunkach pogodowych. Murki prowadzące, zaprojektowane jako żelbetowe z betonu B20, wykonano na warstwie chudego betonu. Były one rozpierane elementami drewnianymi.

5.4. Realizacja ściany szczelinowej dla budynku Edison

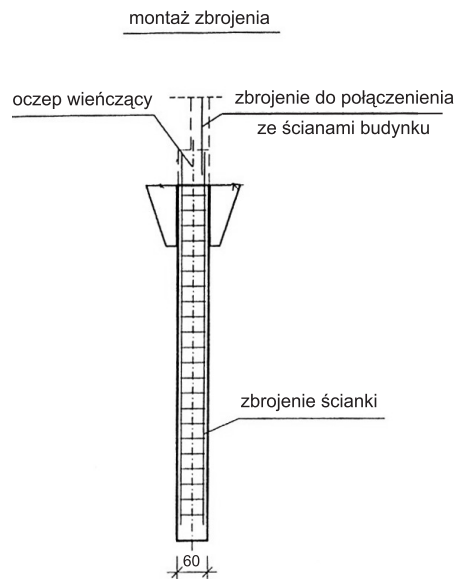
Ścianę szczelinową wykonano bezpośrednio w gruncie z poziomu terenu w szczelinie uzyskanej dzięki wybieraniu gruntu specjalnym chwytakiem hydraulicznym zawieszonym na linie dźwigu. W trakcie realizacji drążona szczelina wypełniana była zawieszoną bentonitową, która gwarantuje zabezpieczenie przed zaciskaniem ścian otworu. Ściana szczelinowa budowana była w formie paneli (sekcji) oddzielonych w trakcie montażu rurami stopendowymi.

Zasadniczy element głębiarki stanowi chwytak hydrauliczny obsługiwany z dźwigu na podwoziu gąsienicowym. Chwytak opuszczany jest statycznie, tak że nie powoduje drgań podłoża gruntowego. Szerokość chwytaka dobierana jest w zależności od grubości ściany (dla budynku Edison było to 60 cm). Elementy rozdzielcze (rury stopendowe) wyciągane są przy pomocy dźwigu siłą gwarantującą pokonanie oporu tarcia pomiędzy betonem już związanym a rurą stalową. Na budowie zainstalowany był węzeł do przygotowania zawiesiny bentonitowej (specjalny mikser szybkoobrotowy) oraz odpiaszczacz do czyszczenia i regeneracji już użytej zawiesiny odpompowywanej w trakcie betonowania.

Podczas przygotowania zawiesiny, w czasie intensywnego mieszania, następuje silne pęcznienie mieszanki i akumulacja wody w krystalicznej strukturze minerałów bentonitu. Zawiesina jest tiksotropowa, tzn. wytrzymałość na ścinanie oraz jej lepkość zanikają, gdy poddana jest drganiom. Pozostawiona w bezruchu uzyskuje ponownie swoje właściwości.

Proces realizacji ściany szczelinowej obejmował podstawowe etapy:

1. drążenia szczeliny w zawieszinie bentonitowej; straty zawiesiny wynikające z jej filtracji w grunt są stale uzupełniane;
2. instalacji elementów rozdzielczych;
3. zbrojenia ściany szczelinowej (rys. 2);
4. betonowania (beton układano metodą kontraktor);
5. wykonania wykopu z jednej strony ściany do zaprojektowanej głębokości.



Rys. 2. Schemat zbrojenia ściany szczelinowej

5.5. Głębienie wykopu w uformowanej ścianie szczelinowej

Przed rozpoczęciem wykopu wykonano zwieńczenia ściany szczelinowej żelbetowym oczepem. Zbrojenie oczepu zaprojektowane zostało tak, aby zapewniać ciągłość połączenia wszystkich sekcji. Oczep został wykonany po skuciu ściany szczelinowej.

Wykop docelowy wykonano do zaprojektowanych rzędnych dla całej długości ścian. Wykopy realizowano zgodnie z projektem robót ziemnych. Przed przystąpieniem do realizacji wykopu w obudowie ze ścianą szczelinową przestrzegana była zasada, iż konieczne jest uzyskanie przez beton oczepu ściany, wytrzymałości nie mniejszej niż 80% średniej wytrzymałości betonu na ściskanie oraz nie wcześniej niż po 30 dniach od wykonania tej ściany.

6. Podsumowanie

W artykule zwrócono uwagę na fakt, że ściana szczelinowa pod budynkiem Edison w Krakowie, wykonana w trudnych warunkach gruntowych, a zarazem w niewielkich odległościach od istniejących budynków, spełniła wymagane w projekcie warunki. Z prowadzonego w sposób ciągły monitoringu ilości zużywanej zawiesiny bentonitowej odnotowano znacznie podwyższoną ilość zużytego bentonitu w strefie gruboziarnistych czwartorzędowych gruntów żwirowo-piaszczystych. Głębokość szczeliny w gruncie od 9,0 do 12,0 m przy niewielkiej odległości od budynków istniejących (od 6,0 do 23,0 m) wymagała bardzo starannego i precyzyjnie kontrolowanego głębienia wykopu dla ściany.

Dzięki szczególnej dokładności i staranności prowadzonych prac, zgodnie ze szczegółową specyfikacją warunków technicznych wykonania, nie odnotowano odkształceń otaczającego podłoża gruntowego oraz sąsiadujących budynków, a także wykazano bardzo dobrą szczelność wykonanej ściany szczelinowej.

LITERATURA

- [1] Biuro architektoniczne — DDJM, Projekt pt. „Zespół biurowy GTC Korona. Etap III wykonawczy”, Kraków 2006
- [2] Biuro Konstrukcyjne S.C. Szefer-Grabacki, Projekt pt. „Zespół biurowy GTC Korona. Etap III wykonawczy”, Kraków 2006
- [3] *Brzowski J.*: Badania geotechniczne dla III etapu budowy kompleksu biurowego GTC przy ulicy Armii Krajowej w Krakowie. Kraków 2006
- [4] Geoprojekt — Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Geologiczne Sp. z o.o., Sprawozdanie z wykonanych wierceń dla kompleksu biurowego GTC przy ulicy Armii Krajowej w Krakowie. Kraków 2005
- [5] IBDiM, Zeszyt nr 35, Warunki techniczne wykonywania ścian szczelinowych. Warszawa, 1995
- [6] *Jaromiak A.*: Lekkie konstrukcje oporowe. Warszawa, WKŁ 2000
- [7] PN-EN 1538:2002 Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych — Ściany szczelinowe
- [8] PN-83/B-03010 Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie