



Temat specjalny

Głębokie wykopy w zabudowie miejskiej

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne



LIEBHERR



foto: Damian, Adobe Stock

Głębokie wykopy to nieodłączny element budownictwa w gęstej zabudowie miejskiej. Wraz z coraz bardziej skomplikowanymi realizacjami również głębokie wykopy stają się coraz większym wyzwaniem pod względem projektowania i logistyki. Nowoczesny sprzęt i technologie oraz zaawansowane rozwiązania geotechniczne umożliwiają realizację coraz śmielszych projektów.

Według ogólnych definicji, wykopy dzieli się na wąskoprzestrzenne, płytkie i głębokie. Wykopy wąskoprzestrzenne to te, których głębokość jest większa od szerokości dna lub których szerokość dna jest mniejsza niż 1,5 m. Niektóre źródła definiują je jako wykopy o szerokości nie większej niż 5 m. Wykopy szerokoprzestrzenne mają głębokość mniejszą od szerokości dna lub szerokość ich dna przekracza 1,5 m. Do wykopów płytkich zalicza się te o głębokości mniejszej niż 1 m. Wykopy o ścianach pionowych, zabezpieczonych obudową



o głębokości większej niż 3 m, kwalifikuje się jako głębokie. Biorąc pod uwagę okres użytkowania, do wykopów tymczasowych – w przeciwieństwie do wykopów trwałych – należą te, których zakładany czas użytkowania nie przekracza roku [1].

Z uwagi na stopień skomplikowania głębokie wykopy, w myśl normy Eurokod 7 [2], zaliczane są najczęściej do II, a w szczególnych warunkach nawet do III kategorii geotechnicznej, od której zależy zakres rozpoznania warunków geotechnicznych. Budowa głębokiego wykopu w prostych warunkach gruntowych, do której wystarcza opracowanie dokumentacji lub ekspertyzy geotechnicznej niewymagającej zatwierdzenia przez organ administracji geologicznej, zdarza się bardzo rzadko. Zazwyczaj dla potrzeb projektowania i wykonawstwa głębokiego wykopu niezbędne jest opracowanie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, zgodnie z zapisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze [3]. Przy analizie warunków gruntowych istotne są także ocena położenia wód gruntowych w stosunku do dna wykopu oraz podjęcie decyzji o sposobie prowadzenia prac i konieczności odwadniania terenu.

Ogólne zasady projektowania obudów głębokich wykopów

Według Eurokodu 7 [2], obudowy wykopów to ściany zagłębione w podłożu, tzw. konstrukcje oporowe, których głównym obciążeniem jest zginanie, a ich ciężar nie stanowi czynnika stabilizującego. Norma [2] zaleca projektowanie obudów wykopów kilkoma metodami lub kombinacjami metod dla ustalenia, czy mogą pojawić się stany graniczne nośności i użyteczności, które wystąpią w podłożu gruntowym, w konstrukcji obudowy albo łącznie w konstrukcji i podłożu.

Właściwe zaprojektowanie obudowy głębokiego wykopu warunkuje bezpieczeństwo i powodzenie wszystkich następujących prac konstrukcyjnych. Tym samym wymaga specjalistycznej wiedzy z zakresu szeroko pojętej inżynierii lądowej – statyki, specjalistycznego oprogramowania geotechniki, współpracy konstrukcji z masywem gruntowym oraz zasad technologii budowy wkopów. Wybór metody analizy statycznej wiąże się z możliwościami określenia sił wewnętrznych oraz przemieszczeń w zależności od fazy budowy.

Projektowanie konstrukcji oporowych reguluje norma PN-83/B-03010, w której podano również pewne zasady wyznaczania parcia gruntu na ściany wykopów rozpartych. Do projektanta należy wybór metody statycznej analizy obudowy wykopu. W praktyce spotyka się trzy zasadnicze podejścia. Metody klasyczne umożliwiają zwymiarowanie ścian głębokich wykopów obciążonych gruntem w stanie granicznym. Powinno się je stosować jedynie do wstępnego zwymiarowania obudowy wykopu, gdy budowa wykopu nie jest skomplikowana, a w otoczeniu nie ma obiektów zagrożonych osiadaniami. Wyznaczenie przemieszczeń ściany w każdej fazie wykonywania wykopu umożliwia metoda modułu reakcji podłoża. Jej istotą jest obliczanie ściany głębokiego wykopu jako ustroju statycznie niewyznaczalnego, poddanego znanemu obciążeniu parciem gruntu i nieznaną reakcją podłoża modelowanego za pomocą analogu sprężynowego. Najbardziej zaawansowaną, wymagającą doboru prawidłowego modelu materiałowego masywu gruntowego oraz precyzyjnego określenia jego parametrów, jest analiza statyczna płaskiego lub przestrzennego ustroju, złożonego z konstrukcji obudowy, elementów rozparcia oraz

Rodzaje obudowy głębokiego wykopu [1, 4]



Ściana szczelinowa

– ściana z betonu lub żelbetu, formowana w szczelinie gruntu. Wykorzystuje się ją w konstrukcjach ścian tuneli, podziemi budynków, fundamentów. W budownictwie ogólnym najczęściej są wykonywane na głębokości od 12 do 18 m, w komunikacyjnym od 22 do 25 m.

Ścianka z grodziec stalowych

– ścianka szczelna może być obudową tymczasową lub stałą. Stosuje się ją najczęściej do obudowy wykopu w gruntach nawodnionych, zwłaszcza niespoistych. Zwykle stanowi obudowę traconą z uwagi na trudności z usuwaniem grodziec po zakończeniu inwestycji. Technologia zagłębiania ścianek jest różna dla różnych typów podłoża.

Palisady

– zazwyczaj wykonuje się je z pali CFA o średnicy 60 i 80 cm, rzadziej 1 m, oraz maksymalnej długości do ok. 20 m. Charakteryzują się stosunkowo dużą sztywnością, co umożliwia wykonywanie palisad w pobliżu fundamentów istniejących obiektów. Nadają się do stosowania w różnorodnych warunkach geotechnicznych.

Ściana z kolumn wykonanych metodą iniekcji strumieniowej

– technika polega na upłynianiu gruntu strumieniem cieczy o ciśnieniu 30–70 MPa i mieszaniu go z zaczynem cementowym. Wyróżnia się iniekcję pojedynczą, podwójną i potrójną. Średnica tworzonej kolumny może wynosić od ok. 60 cm do nawet kilku metrów. Osiągana wytrzymałość to od kilku do kilkunastu MPa.

Ściana paryska

– stanowi odmianę obudowy berlińskiej. Zamiast stalowych słupów w gruncie zagłębia się prefabrykowane, żelbetowe elementy. Umieszczone w podłożu słupy są wyposażone w startowe pręty zbrojeniowe. Po wykonaniu fragmentu wykopu pręty zostają odsłonięte i po dołożeniu siatki zbrojeniowej betonuje się fragment opinki.

Obudowa berlińska

– to obudowa tymczasowa, stosunkowo wiotka. Składa się ze stalowych słupów osadzanych w gruncie i poziomej opinki, która zabezpiecza ściany wykopu i umożliwia przeniesienie obciążenia parciem gruntu na pionowe elementy stalowe. Wykonuje się ją sukcesywnie, w miarę postępu robót ziemnych.

Ściana gwoździowana

– gwoździowanie polega na zbrojeniu gruntu specjalnymi gwoździami gruntowymi o długości od 4 do 8 m, nazywanymi inaczej kotwami biernymi. Wzmacnianie gruntu następuje stopniowo, w miarę odsłaniania wykopu. Gwoździowanie nie znajduje zastosowania w gęstej zabudowie oraz w pobliżu uzbrojenia podziemnego.

Doświadczyc postępu.



Liebherr maszyny do głębokiego fundamentowania

- Szeroka oferta i długi okres eksploatacji ze względu na solidną budowę osprzętu
- Niska emisja i wysoka efektywność dzięki inteligentnym systemom napędowym
- Komfort obsługi dzięki innowacyjnej koncepcji sterowania
- Dopasowane narzędzia robocze zapewniają doskonałą wydajność
- Zoptymalizowana konstrukcja dzięki wszechstronnej konsultacji

Liebherr-Polska Sp. z o. o.
ul. Hansa Liebherra 8
41-710 Ruda Śląska
Tel.: +48 32 342 69 50
E-mail: info.lpl@liebherr.com
www.facebook.com/LiebherrConstruction
www.liebherr.pl

LIEBHERR

Metody wykonania głębokich wykopów [1, 4]

Wykop szerokoprzestrzenny – umożliwia najbardziej komfortowe prowadzenie prac, może jednak niekorzystnie wpływać na otoczenie budowy. W przypadku wiotkich obudów, takich jak ścianka szczelna i berlińska, głębokość wykopu nie powinna przekraczać 4 m. Przy ścianach sztywniejszych (szczelinowa i palisada) wykop może sięgać 6 m.

Wykop w obudowie kotwionej – ze względu na warunki robót jest to najdogodniejsze rozwiązanie podparcia obudowy w wykopach o dużych wymiarach w planie. Długość kotew wynosi zwykle od 15 do 25 m. Stosowanie kotew wymaga obniżenia zwierciadła wód podziemnych poniżej rzędnej ich głowicy. W przeciwnym razie woda uniemożliwi wykonanie wiercenia.

Wykop z przyporą z gruntu rodzimego – to wygodne dla wykonawcy robót rozwiązanie można zastosować przy spełnieniu kilku warunków, m.in. gdy głębokość wykopu nie przekracza 7,5 m, grunt rodzimy posiada odpowiednie parametry wytrzymałościowe, w bezpośrednim sąsiedztwie budowy nie ma obiektów obciążających naziem. Metody nie zaleca się do podparcia ścianek szczelnych lub berlińskich.

Wykop w obudowie wzmocnionej rozporami – w zależności od szerokości wykop rozpira się rozporami drewnianymi lub stalowymi z kształtowników lub kratownic oraz stalowymi rurowymi. W przypadku głębokich wykopów najczęściej stosuje się rozpory stalowe z kształtowników HEB lub IPE o wysokości od 300 do 500 mm i przekroju rurowe o średnicy od 500 do 800 mm.

Metoda stropowa – znajduje zastosowanie tylko wtedy, gdy obudowę wykopu stanowią ściany szczelinowe. Metoda klasyczna zapewnia minimalizację wpływu wykopu na obiekty sąsiednie przez ograniczenie odkształceń poziomych obudowy, dzięki czemu można ją stosować w terenie gęsto zabudowanym. Metodę półstropową, która powoduje poziome przemieszczenia wierzchu ściany szczelinowej, można stosować, jeśli w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu nie ma zwartej zabudowy czy obiektów wrażliwych na nierównomierne osiadania. Metoda *top & down* pozwala na jednoczesne prowadzenie robót w dół (w części podziemnej) i w górę (na powierzchni terenu).

Metody kombinowane – w celu optymalizacji kosztów wykonania wykopu oraz przyspieszenia czasu realizacji przy jednoczesnym zachowaniu wymaganych warunków bezpieczeństwa stosuje się metody łączące różne wymienione technologie w zależności od warunków geotektonicznych oraz sąsiedniej zabudowy.



współdziałającego masywu gruntowego metodą elementów skończonych.

Na rynku dostępnych jest wiele programów komputerowych umożliwiających kompleksowe projektowanie i analizę ścian obudowy wykopów głębokich wszystkimi wymienionymi metodami. Pozwalają one m.in. na analizę skomplikowanych przypadków, modelowanie rzeczywistej pracy konstrukcji z uwzględnieniem fazowania budowy, wyznaczanie rozkładu sił wewnętrznych, przemieszczeń oraz rozkładu parcia na obudowę. Oprogramowanie do analizy MES umożliwia wykonanie obliczeń dla modeli sprężysto idealnie plastycznych i stanu krytycznego [1, 4].

Bezpieczna realizacja

Na bezpieczną i zgodną z założeniami realizację wykopu wpływa wiele czynników. W praktyce najważniejsze znaczenie ma prawidłowe oszacowanie przemieszczeń obudowy i gruntu za ścianą wykopu. Największy wpływ na tego rodzaju przemieszczenia mają sztywność obudowy i podparcia, warunki gruntowo-wodne, technologia wykonania ścian i sposób wykonania robót w wykopie.

Podstawowe znaczenie dla możliwości prowadzenia robót budowlanych i bezpieczeństwa wykopu ma ograniczenie napływu wody gruntowej do wykopu, która może dostawać się zarówno przez ściany, jak i dno. Szczelność ścian obudowy zależy w dużym stopniu od ich rodzaju i dokładności wykonania. Jest łatwiejsza do kontroli i poprawienia, zwłaszcza

w części odsłoniętej, w porównaniu z napływem wody przez dno wykopu. W celu ograniczenia napływu wody przez dno wykopu stosuje się dwa podstawowe sposoby – odwodnienie albo uszczelnienie [5].

Bezpieczna realizacja złożonych projektów, jakimi są głębokie wykopy, zależy w dużej mierze od właściwej oceny sposobu ograniczenia ryzyka, ale także od zaangażowania wszystkich stron inwestycji – inwestora, projektanta i wykonawcy. Prawidłowe opracowanie koncepcji wykonania głębokiego wykopu, wybór rodzaju obudowy i sporządzenie jej projektu powinny zapewnić bezpieczeństwo realizacji samego wykopu, jak i pobliskich obiektów [1].

Literatura

- [1] Siemińska-Lewandowska A.: *Głębokie wykopy*. Warszawa 2010.
- [2] PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7. *Projektowanie geotechniczne*. Cz. 1. *Zasady ogólne*.
- [3] Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. 1994, nr 27, poz. 96 z późn. zm.
- [4] Siemińska-Lewandowska A.: *Budowa obiektu a obudowa wykopu – niełatwe zależności*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2010, nr 2, s. 64–71.
- [5] Topolnicki M., Buca R., Dymek D.: *Bezpieczeństwo dużych i głębokich wykopów budowlanych*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2015, nr 5, s. 42–47.



Jakie znaczenie dla realizacji głębokich wykopów mają warunki geotechniczne i poziom wody gruntowej?



prof. dr hab. inż. KAZIMIERZ GWIZDAŁA,
Katedra Geotechniki, Geologii
i Budownictwa Morskiego,
Politechnika Gdańska

Projektowanie i realizacja wykopów głębokich to jedne z najbardziej złożonych i trudnych przedsięwzięć w budownictwie. Prawidłowe rozpoznanie podłoża gruntowego warunkuje bezpieczną realizację i eksploatację obiektu. Ingerencja w naturalne środowisko zawsze związana jest ze zmianą warunków pierwotnych panujących w podłożu gruntowym. Rozpoznanie podłoża powinno być związane z oceną geologiczną, hydrogeologiczną i geotechniczną. Rozpoznanie to powinno dotyczyć szerszego zakresu, a nie tylko obszaru bezpośrednio przy wykopie. Historyczne uwarunkowania geologiczne absolutnie warunkują prawidłową ocenę parametrów niezbędnych w dalszych obliczeniach (np. OCR). Wiele błędów związanych jest ze zbyt wąskim rozpoznaniem hydrogeologicznym. Lokalnie rozpoznanie poziomu wody gruntowej jest błędem. Zawsze należy rozpatrywać dynamikę wód gruntowych w przestrzeni i w czasie. Chwilowy poziom wody gruntowej, w dniu wykonania otworu, jest informacją bardzo ubogą, a czasami wręcz niebezpieczną. Zasilanie i napływ wody może występować

z odległości kilku czy kilkunastu kilometrów. Przestrzenna analiza warunków hydrogeologicznych w dłuższym okresie powinna być warunkiem podstawowym w ocenie możliwości realizacji obiektu. Dotyczy to szczególnie wykopów o głębokości kilku czy kilkunastu metrów.

Dalszy etap to prawidłowa ocena parametrów geotechnicznych do obliczeń i przebiegu realizacji. Obecnie uwarunkowania obliczeń, gdy wykorzystujemy metody numeryczne i profesjonalne programy obliczeniowe, stwarzają bardzo szerokie możliwości analizy. Rozpoznanie parametrów geotechnicznych powinno być skorelowane z metodą obliczeń i zastosowanym modelem gruntu. Należy stosować sprawdzone programy obliczeniowe z wykorzystaniem zaawansowanych modeli materiałowych gruntu.

Istnieje możliwość symulacji całego procesu budowlanego w ramach obliczeń numerycznych, począwszy od pierwszych faz wykopu, odprężenia podłoża (pionowego i poziomego), a skończywszy na ostatniej fazie budowlanej. Prawidłowość doboru parametrów geotechnicznych do właściwego, wybranego programu obliczeniowego jest tu oczywista.

W każdym przypadku rozpoznanie podłoża gruntowego, projektowanie i realizacja wykopu głębokiego jest zadaniem trudnym i skomplikowanym. Zawsze wymaga się od uczestników całego procesu dużego wyczucia, doświadczenia i jednak intuicji inżynierskiej.

Jakie wyzwania niesie ze sobą projektowanie stateczności dna głębokich wykopów?



dr inż. BOLESŁAW KŁOSIŃSKI,
Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Problem jest poważny, lekceważenie go grozi ogromnymi konsekwencjami. Większość głębokich wykopów jest zagłębiona poniżej zwierciadła wody gruntowej. Zniszczenie dna może być spowodowane wyparciem dna lub płyty dennej albo przebicciem hydraulicznym gruntu. Zniszczenie jest nagłe – zwykle bez wcześniejszych sygnałów. Zasady projektowania stateczności dna wykopów podaje norma PN-EN 1997-1. Choć jej wymagania są dyskusyjne i krytykowane, to dobrze, że są – dotychczasowe polskie normy zagadnienie to niemal pomijały. Warsztaty stosowania Eurokodu 7 wykazały duży rozrzut wyników, a zatem ich niepewność. Poprawa będzie w nowej wersji EC7, ale za parę lat. Projektant powinien zachować ostrożność, bo z ciśnieniem wody nie ma żartów!

Podstawą są wiarygodne dane o poziomach i ciśnieniu wody w dnie wykopu. Pamiętajmy, że choć w glinach lub iltach nie ma napływu wody do wykopu, to po zamknięciu dna płyta ciśnienie wody w porach wzrośnie do pełnej wysokości. Po wykonaniu płyty dennej nie można przerwać pompowania wody, dopóki budowla nie uzyska ciężaru dostatecznego do zrównoważenia wyporu.

Należy liczyć się np. z awarią pracy pomp, a przy pompowaniu w obrębie obudowy wykopu objętość wody jest mała i odbudowanie ciśnienia szybkie. Warto pamiętać, że mniej groźne jest zalanie wykopu niż wyłamanie jego dna! Problemy powodują niezlikwidowane otwory wierceń, bardzo trudno je znaleźć i uszczelnić. Projektowanie zabezpieczeń wykopów jest zadaniem bardzo odpowiedzialnym – wymaga specjalistycznej wiedzy i doświadczenia oraz przezorności, gdyż popełnienie błędu może skutkować kosztownymi konsekwencjami. Utrata stateczności dna wykopu prowadzi co najmniej do awarii, a czasem nawet do katastrof, trudnych do naprawy i powodujących znaczne dodatkowe koszty. Przykładem może być zawalenie sąsiadującego z wykopem budynku archiwum historycznego w Kolonii, które miało miejsce w 2009 r.