



GRZEGORZ HORODECKI, *ghor@pg.gda.pl*
EUGENIUSZ DEMBICKI, *edemb@pg.gda.pl*
Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego,
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska,
Politechnika Gdańska

STAN PRZEDAWARYJNY WYKOPU GŁĘBOKIEGO W OBUDOWIE Z PALI CFA

PRE-FAILURE STAGE OF DEEP EXCAVATION PROTECTED BY CFA PILES

Streszczenie W artykule przedstawiono stan przedawaryjny wykopu głębokiego w obudowie z pali CFA. Omówiono warunki geotechniczne podłoża oraz rozwiązania projektowe. Przeprowadzono analizę dwóch wersji projektów konstrukcyjnych oraz fazę wykonawstwa z wskazaniem na liczne błędy. Przedstawiono możliwe oraz przyjęte działania naprawcze. Omówiono problemy i błędy projektowe na etapie działań naprawczych. Wskazano przyczyny wystąpienia stanu przedawaryjnego.

Abstract The article presents and discusses a pre-failure stage of deep excavation protected by CFA piles. The geotechnical properties and construction solutions have been described along with the analysis of the two versions of projects, realization stage and pointing out numerous faults. The possible and accepted repair activities have been presented. The problems and design faults noticed during repair stage have been described. The pre-failure causes have been identified.

1. Wstęp

Analiza błędów projektowych i wykonawczych stwarzających zagrożenie awarią czy katastrofą budowlaną w zakresie geotechniki stanowić może interesujący wkład w lepsze poznanie zjawisk występujących na styku konstrukcji i podłoża gruntowego. Dokładne określenie rodzaju błędów oraz ich konsekwencji stanowi, a przynajmniej powinno stanowić, możliwość weryfikacji metod projektowania i wykonawstwa oraz całego procesu budowlanego robót geotechnicznych w celu uniknięcia podobnych sytuacji w przyszłości.

W niniejszym artykule przeanalizowano stan przedawaryjny obudowy wykopu głębokiego wykonanej w postaci palisady z pali CFA będący wynikiem ciągu błędów projektowych i wykonawczych oraz zalecane i podjęte sposoby naprawcze wraz ze zmianą rozwiązania dotyczącego wykonania wykopu poniżej poziomu wody gruntowej. Pod względem procesu projektowania i realizacji oraz sekwencji popełnionych błędów będących przyczyną stanu przedawaryjnego dokładna lokalizacja analizowanego obiektu nie jest istotna. Opisana sytuacja miała miejsce w centrum jednego z miast Polski północnej. Analiza przypadku obejmowała wizje lokalne, ocenę materiałów archiwalnych, wyniki pomiarów, obliczenia kontrolne stateczności układu ze względu na wypór, parametrów gwarantujących szczelność przesłony oraz ustalenie przyczyn zaistniałego stanu.

2. Opis sytuacji

W trakcie rozpoczęcia próbnego głębenia wykopu podwodnego przy jednym z narożników wykopu, zaobserwowano gwałtowne wymywanie gruntu spoza wykopu poprzez obudowę z pali CFA do wnętrza wykopu (rys. 1). Ponieważ powstała kawerna zlokalizowana była bezpośrednio przy istniejącym budynku sąsiadującym z wykopem, generalny wykonawca wstrzymał prace budowlane w celu określenia przyczyn oraz sposobów dalszego działania gwarantującego bezpieczeństwo wykopu oraz sąsiadujących obiektów. Wykonany próbny wykop został zasypany, a kawernę wypełniono.



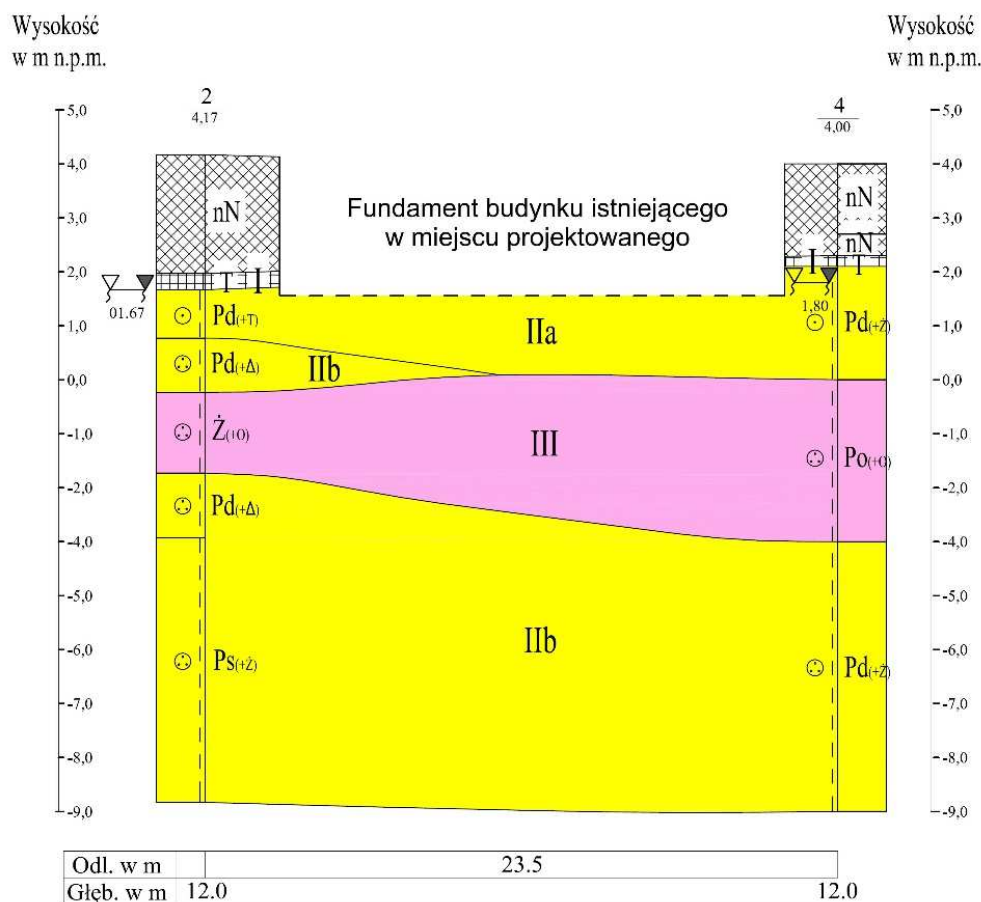
Rys. 1. Zapadlisko zewnątrz obudowy wykopu (aut. Biuro budowy) [1]

Wykop o wymiarach w planie ok. 18×18 m oraz projektowanej głębokości (w technologii korka betonowego wykonywanego metodą podwodną) 5,2 m (w przegłębieniach 5,9) wykonano w obudowie z pali CFA, doszczelnianych iniekcją niskociśnieniową oraz zwieńczonych oczepem żelbetowym.

Od powstania stanu przedwakacyjnego do realizacji stanu „0” prace prowadzono pod nadzorem geotechnicznym.

3. Warunki geotechniczne

W podłożu występują grunty czwartorzędowe, holoceniowe. Powierzchniowo zalegają nasypy niekontrolowane, poniżej których występuje około 0,2 metrowe przewarstwienie torfów. Głębiej zalegają utwory niespoiste pochodzenia morskiego i eolicznego w postaci piasków drobnych, średnich, a także żwirów i pospółek. W utworach tych można zauważyć domieszki otoczków, żwirów, muszli, a także lokalnie w strefie graniczącej z gruntami organicznymi – humusu i torfu.



Rys. 2. Przekrój geotechniczny [1]

Woda gruntowa w rejonie badań występuje w postaci swobodnego zwierciadła pod warstwą torfu w utworach niespoistych na rzędnych 1,67÷1,80 m n.p.m. i podlegają okresowym wahaniom rzędu 0,7 m.

Występujące w podłożu grunty zaliczono do czterech warstw geotechnicznych, biorąc pod uwagę różnice w genezie i litologii oraz zróżnicowanie parametrów geotechnicznych. Wydzielono następujące warstwy geotechniczne:

Warstwa I – obejmuje torfy.

Warstwa IIa – obejmuje piaski drobne z domieszkami żwiru, humusu oraz torfu średnio zagęszczone o $I_D = 0,45$.

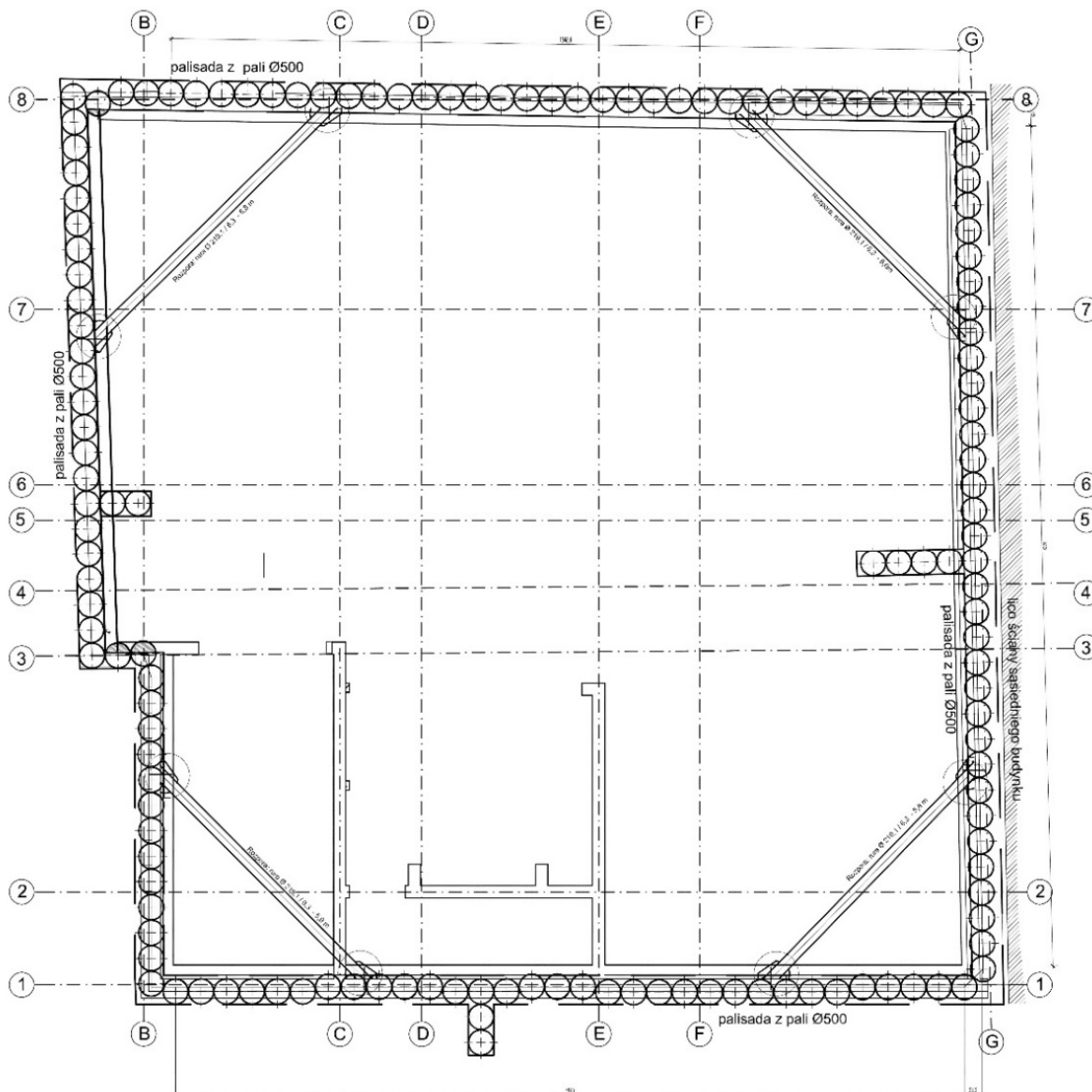
Warstwa IIb – obejmuje piaski drobne i średnie z domieszkami żwiru oraz muszli zagęszczone o $I_D = 0,70$.

Warstwa III – obejmuje żwiry i pospółki z domieszką otoczków zagęszczone o $I_D = 0,70$.

Poziom posadowienia budynku 0,2 m n.p.m. (w przegłębieniach do -0,7 m n.p.m.).

3. Projektowane rozwiązanie

Na etapie projektowym powstały dwie wersje projektu zabezpieczenia wykopu. W obu wersjach, jako zabezpieczenie wykopu przyjęto palisadę ciągłą (na styk – rys. 3) z pali CFA o średnicy 500 mm, uszczelnianą iniekcją cementową. W bezpośrednim sąsiedztwie wykopu zlokalizowane są trzy budynki, z czego jeden „na styk”. Z tego względu wykluczono odwodnienie wykopu, przyjmując wykonanie korka betonowego w technologii betonowania podwodnego.



Rys. 3. Plan palowania – pierwotna wersja projektu [1]

Pale miały mieć długość 10,15 m w pierwszej wersji projektu oraz 9,5 m w drugiej wersji. Rzędne głowy pali odpowiednio 3,93 m n.p.m. oraz 2,1 m n.p.m. Oznaczało to różne poziomy podstawy pali. W obliczeniach oraz w wytycznych do realizacji podano rzędną góry pali 2,4 m n.p.m. W wersji pierwotnej rzędna podana w wytycznych była zgodna z wcześniejszymi zapisami i wynosiła 3,93 m n.p.m. W obu wariantach przyjęto zwieńczenie palisady oczepem żelbetowym rozpiętym w narożach oraz usztywnienia z dodatkowych pali ścian w osiach G oraz 1. W ostatecznym wariantcie zrezygnowano z analogicznego usztywnienia ściany w osi B (rys. 3).

Korek betonowy z betonu B-20 przyjęto o grubości 1,5 m od rzędnej $+0,31 \div -1,19$ m n.p.m. z lokalnymi przegłębieniami do rzędnej $-1,89$ m n.p.m.

W tak wykonanym wykopie przewidziano niezależne wykonanie części podziemnej konstrukcji projektowanego budynku w technologii białej wanny.

Poziom wody gruntowej do obliczeń przyjęto na rzędnej $+1,8$ m n.p.m.

W projekcie podano jedynie schematycznie lokalizację iniekcji cementowej za palisadą – pomiędzy palami – na wysokości 4,0 m. Założono skuwanie w znacznym zakresie części pali kolidujących z docelową konstrukcją ścian.

4. Błędy projektowe

Przyjęta w rozwiązaniu ogólna idea palisady górą rozpartej i betonowego korka w dnie była poprawna, stanowiąc jedno z możliwych rozwiązań. Poważne wątpliwości natomiast budzą szczegóły projektowych oraz wykonawstwo.

Przyjęta w projekcie palisada ciągła (na styk) z doszczelnieniem iniekcyjnym pomiędzy, wymagała bardzo wysokiej jakości wykonania oraz sprzyjających warunków gruntowych i nie powinna być stosowana w sytuacji, gdzie celem jest uzyskanie szczelnej obudowy. W takim rozwiązaniu sama palisada z założenia nie gwarantuje szczelności. Funkcję uszczelniającą przejmuje iniekcja, a uzyskanie szczelności jest bardzo trudne i obciążone dużym ryzykiem ze względu na współpracę dwóch bardzo różnych pod względem wytrzymałości materiałów – betonu pali i iniektu. Ponadto taka konstrukcja jest wrażliwa na oddziaływania dynamiczne, takie jak przewidziane w projekcie skuwanie wystającej części dużej liczby pali. Uwzględniając występujące w podłożu otoczaki należało spodziewać się pewnych trudności wykonawczych, skutkujących niewielkimi przesunięciami pali w stosunku do lokalizacji projektowej, powodującym w efekcie przerwy w palisadzie. W takim przypadku zmienia się rola iniekcji w takich miejscach (z doszczelniającej na uszczelniającą), co przy założonym w projekcie skuwaniu pali od wewnątrz (w celu wyrównania) mogłoby spowodować liczne i znaczne rozszczelnienie wykonanych wcześniej iniekcji. Prawidłowym rozwiązaniem pod względem szczelności (i odporniejszym na dokładność wykonania) byłoby przyjęcie palisady z pali wzajemnie wciętych z co drugim palem zbrojonym i pozostawieniem iniekcji jedynie w faktycznej funkcji doszczelniającej w niezbędnych miejscach. Również przyjęcie w projekcie iniekcji jedynie cementowej (bez iniekcji uszczelniającej np. szkłem wodnym) nie gwarantowało uzyskania szczelności.

W projekcie zabrakło obliczeń II stanu granicznego obudowy, co powinno być wykonane przynajmniej od strony bezpośrednio przylegającego, istniejącego budynku.

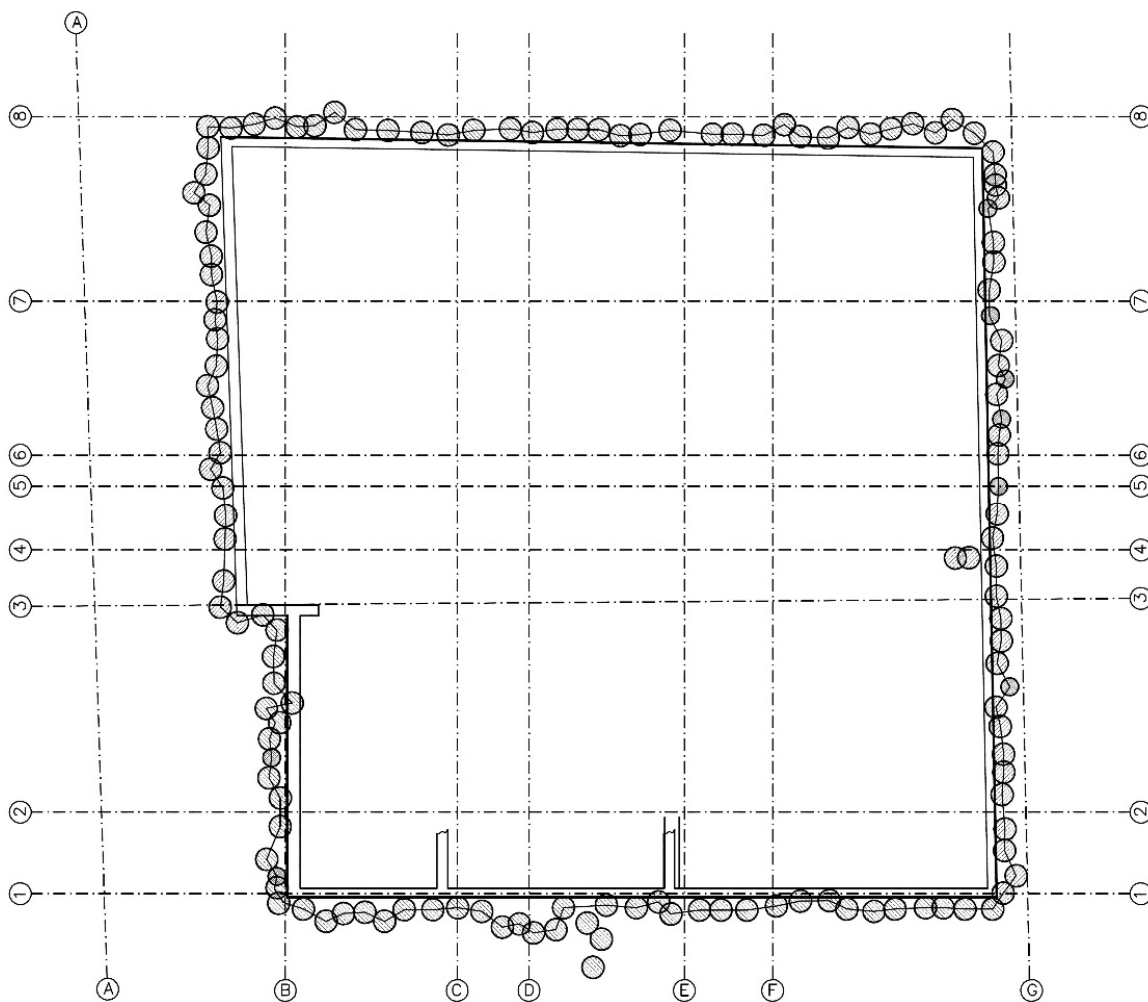
Wątpliwości budziły obliczenia palisady. Rozstaw między prętami przyjęto jako odległość pomiędzy maksymalnie oddalonymi prętami, chociaż w rzeczywistości pręty rozłożone były po okręgu (mniejsza odległość). Niezrozumiałym był również sposób obliczeń dla trzech ścian poza ścianą sąsiadującą z istniejącym budynkiem. Z jednej strony potraktowano ją jako wspornikową (obliczony moment dla ścianki wspornikowej jest znaczny, a wyliczone zbrojenie przy braku załączonych obliczeń budziło wątpliwości), z drugiej w uwadze podano, że będzie podparta (brakowało stosownych obliczeń). W obliczeniach palisady przyjęto 3 pręty $\phi 18$, zaś na rysunkach 4 pręty $\phi 16$. Brakowało obliczeń podparcia palisady. Parametry przyjętej rozpory wydawały się za małe przy braku usztywnień palisady w osiach 8 i B (w osi B usztywnienie było w wariancie pierwotnym). Nie jest jasne w jaki sposób były uwzględniane usztywnienia w pozostałych dwóch bokach.

Do obliczeń przyjęto zdecydowanie za niski poziom wody gruntowej, na rzędnej 1,8 m n.p.m., pomimo, że w dokumentacji geotechnicznej podano, że poziom ten może podlegać znacznym wahaniom „powyżej 0,5 m”. Rzutowało to niekorzystnie (po stronie niebezpiecznej) na całość obliczeń rozwiązania projektowego (palisada, rozparcia, korek betonowy).

W projekcie nie zawarto obliczeń korka betonowego (warunku na wypór oraz na zginanie – określenia czy jest konieczne jego zbrojenie).

5. Błędy wykonawcze

Wykonawstwo obudowy bardzo istotnie odbiegało od założeń projektowych, pomimo faktu, iż projekt i wykonawstwo realizowała ta sama firma. Stwierdzono bardzo duże odchyłki w lokalizacji poszczególnych pali, w wyniku czego zrealizowana palisada jedynie w przybliżeniu przypominała układ projektowy (rys. 4). Ponadto nie było możliwe określenie rzeczywistego układu wykonanych pali na podstawie dokumentacji powykonawczej gdyż plan powykonawczy lokalizacji pali CFA różnił się od przyjętego do wykonania iniekcji uszczelniającej oraz do realizacji dalszego uszczelnienia. Ponadto plan ten był niezgodny z złączonymi w tym samym dokumencie pomiarami geodezyjnymi. Odchyłki wykonawcze były tak znaczne, że przerwy pomiędzy palami sięgały 45 cm przy średnicy pala 50 cm. Równie duże wątpliwości budziła inwentaryzacja geodezyjna pali, według której niektóre pale zachodziły na siebie w tak dużym zakresie, że nie byłoby możliwe ich zazbrojenie, a z dokumentacji powykonawczej pali wynika, że wszystkie pale były zbrojone (przynajmniej w górnej części). Prowadzi to do wniosku, że inwentaryzacja geodezyjna była niewiarygodna.



Rys. 4. Zrealizowana palisada [1]

Nie wykonano wszystkich pali stanowiących usztywnienie ścian. Nie jest jasne skąd się wzięły w palisadzie pale pojedyncze „uzupełniające” o średnicy 400 mm (rys. 4). Wykonane iniekcje cementowe pomimo zastosowania dodatku szkła wodnego, przy tak znacznych przerwach nie zagwarantowały szczelności obudowy. Pierwsza próba wykonania wykopu wewnątrz

obudowy pod wodą spowodowała gwałtowne przemieszczenie się gruntu spoza wykopu do jego wnętrza poprzez palisadę w efekcie czego poza obudową powstało zapadlisko (rys. 1).

Dokumentacja powykonawcza pali była niespójna i nieściśła. Podana w niej informacja o „ok. 20” palach niedogłębionych do projektowanej rzędnej była niezgodna z rysunkiem, z inwentaryzacją pali oraz z tabelą zbiorczą. Z zestawień tabelarycznych wynikało, że pali faktycznie krótszych było 3 szt. a kolejne 20 szt. pali miało długość projektową, a jedynie zbrojenie zostało skrócone, prawdopodobnie z braku możliwości jego zainstalowania. Przyczyną niedogłębienia zbrojenia nie mógł być „bruk kamienny” – jak wynikało z wyjaśnień wykonawcy – gdyż świder wierzący o większej średnicy niż zbrojenie zagłębił się na projektową głębokość i pal został w całości zabetonowany. Trudności z pełnym zagłębieniem zbrojenia mogły być spowodowane innymi przyczynami np. zbyt szybko wiążącym betonem, co mogło wynikać ze zbyt długiego czasu, jaki upływał od wyprodukowania betonu do chwili zakończenia jego wbudowania. Czas ten osiągał nawet 7,5 godziny (metryka dostawy betonu z adnotacjami: „przestój 6 godzin” oraz „na polecenie kierownika budowy dolano 100 l wody”). Duże wątpliwości budziła również jakość betonu, jaki został wbudowany w niektóre pale po długich przestojach.

6. Przyjęte i zrealizowane działania naprawcze

W zaistniałej sytuacji, pod względem technicznym, rozpatrywano dwa możliwe rozwiązania dotyczące obudowy wykopu:

- a) uszczelnienie istniejącej palisady,
- b) wykonanie wewnątrz (ze względu na brak miejsca zewnątrz) dodatkowej, niezależnej obudowy (np. ścianki szczelnej).

Ze względu na utratę przestrzeni docelowej wewnątrz wykopu w wariantcie b) przyjęto wariant a) obejmujący uszczelnienie istniejącej palisady w technologii jet-grouting. Pozwoliło to na wypełnienie wszystkich przerw i nieszczelności zwiększając jednocześnie stabilność obudowy.

Wykonanie uszczelnienia dna w obu przypadkach możliwe było w postaci pierwotnej – jako korka betonowego wykonywanego w technologii betonowania podwodnego lub w postaci ekranu w technologii jet-grouting.

Ponieważ zastosowanie korka betonowego mogło wiązać się z problemem szczelności styku pomiędzy obudową a korkiem (przerwy wewnętrzne pomiędzy palami) oraz ze względów na ujednoczenie technologii, przyjęto rozwiązanie obejmujące wypełnienie tych wewnętrznych luk w technologii jet-grouting łączenie z ekranem poziomym i uzyskanie szczelnego połączenia z obudową.

Szczególną trudność w zaprojektowaniu i zrealizowaniu uszczelnienia (i wzmocnienia ze względu na brak bądź niewłaściwe położenie wielu pali) ścian oraz dna, stanowiła niewiarygodna – co zostało potwierdzone na etapie realizacji wykopu – inwentaryzacja wykonanych pali.

Wybrana do realizacji z zastosowaniem kryterium ceny firma specjalistyczna wykonała uszczelnienie zewnętrzne obudowy. Stwierdzone błędy w projekcie technologicznym przesłony oraz brak jasno określonych tolerancji wykonawczych nie dawały gwarancji skuteczności wykonania przesłony przeciwfiltracyjnej zarówno ze względu na stateczność dna jak i jego szczelność. Z tego względu zdecydowano się na wybór kolejnego specjalistycznego wykonawcy do realizacji przesłony przeciwfiltracyjnej w technologii jet-grouting. Wykonawca ten [2] wykonał kolejny projekt technologiczny przesłony wraz z jasnym określeniem tolerancji wykonawczych oraz systemem kontroli jakości, a następnie zrealizował zgodnie z nim prace.

Wykonana przesłona była praktycznie nieprzepuszczalna – ilości wody reszkowej przesączającej się do wykopu (poprzez palisadę) były pomijalne.

Dodatkowy problem realizacyjny stanowiła konieczność skuwania części pali wchodzących w światło docelowych ścian wewnętrznych. Prace te prowadzono metodą ręczną po wykonaniu płyty dennej obiektu.

Do czasu zrównoważenia wykopu przez ciężar konstrukcji budynku pozostawiono w dnie studzienkę zabezpieczającą przed powstaniem nadciśnienia. Po zrównoważeniu wykopu studzienkę zlikwidowano.

7. Monitoring

W trakcie realizacji inwestycji prowadzono monitoring obejmujący geodezyjne pomiary przemieszczeń pionowych budynków sąsiednich oraz pomiary położenia zwierciadła wody gruntowej na zewnątrz wykopu. Mierzone wartości przemieszczeń nie przekroczyły wartości dopuszczalnych, a prowadzone prace nie miały wpływu na poziom wody gruntowej wokół wykopu.

8. Podsumowanie

Rzadko zdarza się, aby awaria czy katastrofa była spowodowana wyłącznie jedną przyczyną. Najczęściej jest to zbieg wielu niekorzystnych czynników w postaci błędów oraz nieprzewidywanych niekorzystnych zjawisk. Podobnie w omawianym przypadku ciąg wielu błędów projektowych i wykonawczych obudowy wykopu skutkowało powstaniem stanu przedawaryjnego. Podstawowymi przyczynami było przyjęcie w projekcie palisady „na styk” oraz skrajnie niedokładne jej wykonanie. Jedynie adekwatna i podjęta w odpowiednim czasie decyzja kierownictwa budowy zapobiegła możliwej awarii. Niemniej konsekwencje powstałej sytuacji stanowiły znaczne opóźnienie prac oraz podniesienie kosztów inwestycji związane z kosztami prac naprawczych. Należy podkreślić, że również w trakcie prac naprawczych, w przypadku realizacji przesłony przeciwfiltracyjnej w wersji (najtańszej) oferowanej przez pierwszą firmę specjalistyczną istniało zagrożenie powstaniem kolejnego stanu przed awaryjnego, bądź nawet awarią.

Literatura

1. Materiały archiwalne (dokumentacje geologiczne, hydrogeologiczne, geotechniczne, projektowe, powykonawcze, wyniki pomiarów i obserwacji, ekspertyzy).
2. Materiały archiwalne (dokumentacje projektowa i powykonawcza) ZRI H. Chrobok & H. Chrobok s.j.