



Dr n.t. Stanisław ŁUKASIK
Instytut Techniki Budowlanej, s.lukasik@poczta.itb.pl

AWARIA SKARPY GŁĘBOKIEGO WYKOPU BUDYNKU PRZEMYSŁOWEGO

SLOPE FAILURE IN DEEP EXCAVATION FOR INDUSTRIAL BUILDING

Streszczenie Praca przedstawia analizę przyczyn awarii zabezpieczenia skarpy głębokiego wykopu. Omówiony przypadek jest przykładem jak niewłaściwe rozpoznanie budowy geologicznej i brak rzetelnej analizy warunków geotechnicznych może doprowadzić do awarii a nawet katastrofy budowlanej. Innym problemem jest niezgodne ze sztuką inżynierską zaprojektowanie i wykonanie zabezpieczenia ścianą berlińską. Omawiane zadanie geotechniczne zgodnie z prawem zalicza się do 3. kategorii geotechnicznej. Z tego powodu powinno być rozwiązywane indywidualnie przez osoby z dużym doświadczeniem geotechnicznym i wysokimi kwalifikacjami.

Abstract In the study the causes of slope failure in deep excavation have been presented. The considered example shows how improper recognition of geology and lack of reliable analysis of geotechnical conditions may lead to construction failure. The design and execution of excavation protection by berliner wall (soldier pile wall) has been considered as being not in agreement with engineering art. The described geotechnical task is qualified as 3 geotechnical category according to regulations. Because of this it should be solved by individuals with great geotechnical experience and high qualifications.

1. Wstęp

Posadowienie dużego budynku przemysłowego na Śląsku wymagało wykonania wykopu o głębokości od 8 do 10 m. Zaprojektowano go jako otwarty ze skarpami nachylonymi pod kątem 45° (1:1). Górna krawędź jednej ze skarp była oddalona o około 7 m od skraju jezdni, po której się odbywał się ciężki ruch samochodowy. Na etapie głębienia wykopu, skarpe wykopu wzmocniono poprzez zmniejszenie nachylenia, wykonując półkę o szerokości około 2 m w połowie jej wysokości. Powierzchnię skłonu skarpy (powyżej półki) dodatkowo zabezpieczono płytami żelbetowymi MON. Mimo tych zabiegów skarpa okazała się niestateczna i na skarpie powstało osuwisko. Obszar naruszony był dosyć płytki i niezbyt rozległy. Ustalono, że głębokość osuwiska wynosiła 6,0 – 6,5 m a szerokość dochodziła do 20 m. Osuwisko zabezpieczono przyporą ziemną. Przypora musiała być jednak rozebrana dla wykonania fundamentów. Zdecydowano się wtedy podeprzeć skarpe wykopu ścianą berlińską. Mimo widocznych uskoków i powstania osuwiska autorzy projektu i wykonawcy ściany berlińskiej przyjęli do obliczeń „uśrednione warunki geotechniczne” nie sprawdzając przyczyn powstania osuwiska. Jako pale zastosowano dwuteowniki 160 mm o długości 9,5 m osadzone w otworach wiertniczych. Zostały one osadzone 1,50 m poniżej projektowanego dna wykopu w warstwie mułowca/iłowca. Rozstaw pali wynosił 1,5 m. Opinię stanowiły

deski o grubości 50 mm. Zakotwienie pali przewidziano na trzech poziomach gwoździ z pręta stalowego o średnicy 25 mm. Gwoździe zostały zamocowane przez przyspawanie z boku dwuteownika. Rozstaw gwoździ wynosił 1,50 m, a ich długość 10 m na pierwszym poziomie (-1,5 m), 8 m na drugim poziomie (-3,5 m) i 6 m na trzecim poziomie (-5,5 m). Trzeciego poziomu gwoździ nie zdążono wykonać, gdyż nastąpiło zerwanie 3 gwoździ (2 na poziomie drugim i 1 na poziomie pierwszym). Dodatkowym wzmocnieniem był poziomy oczep na wysokości górnego poziomu gwoździ z ceowników 80 – 100 mm ułożonych na płask.



Rys. 1. Konstrukcja ściany berlińskiej po awarii. Różne sposoby mocowania oczepu i gwoździ

2. Charakterystyka warunków geologicznych

Teren, na którym prowadzona jest budowa znajduje się na obszarze pogórnym zlikwidowanej kopalni gdzie eksploatację górnictwem pokładów węgla zakończono na początku XX wieku. Eksploatacja pokładu do głębokości około 230 m, którego wychodnie stwierdzono w wykopie pod budynek prowadzona była w latach 1895 – 1911.

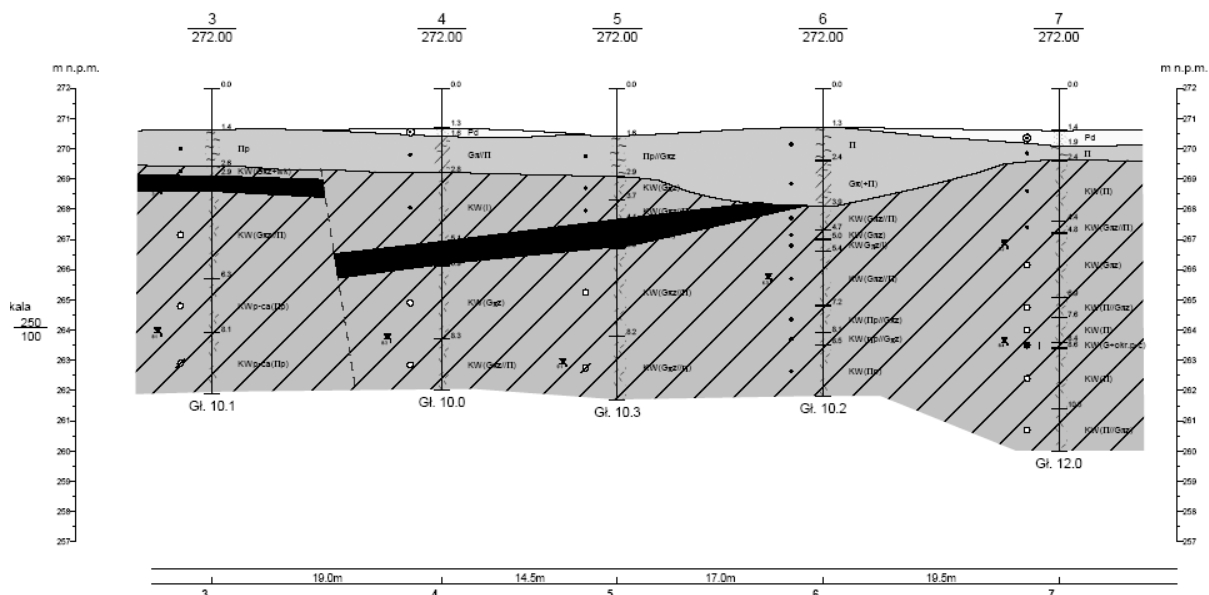
Granica płytkiej eksploatacji (prowadzonej do głębokości 100 m) występuje na północ od omawianego terenu w odległości około 350 m.

Warstwy karbonu zapadają w kierunku południowo - zachodnim (SSW), pod kątem $10^{\circ} \div 20^{\circ}$. Szerokość strefy dyslokacyjnej wynosi, co najmniej 60 m. Budowa geologiczna podłoża jest skomplikowana z uwagi na występujące tu zaburzenia związane z tektoniką nieciągłą.

Profil geologiczny podłoża tworzą:

- nasypy niebudowlane,
- utwory plejstoceńskie,

- utwory zwietrzelinowe skał karbońskich,
 - węgiel kamienny,
 - utwory karbońskie,
- Budowę geologiczną rejonu skarpy przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przekrój geologiczny wzdłuż omawianej skarpy

Wyraźnie widoczne nieciągłości warstw węgla, wskazują, że obszar jest zaangażowany tektonicznie. Wykonanie głębokiego wykopu (otwartego) powoduje odciążenie i wywołuje przemieszczenia. Przy niekorzystnym układzie upadu warstw oraz drgań wywołanych ruchem samochodowym należało szczególnie starannie analizować stateczność skarp. W podłożu analizowanego terenu stwierdzono jeden poziom wód gruntowych związanych z przypowierzchniową serią piasków zalegających pod warstwą nasypów oraz lokalnie w soczewkach gruntów spoistych. Ten czwartorzędowy poziom wód gruntowych charakteryzuje się zwierciadłem swobodnym i zasilany jest poprzez infiltrację z wód opadowych. Poziom ten w zależności od miejsca występowania stabilizuje się na głębokości od 0,3 do 3,6 m. Zwierciadło wody tego poziomu występujące w soczewkach gruntów niespoistych, charakteryzuje się zwierciadłem napiętym i stabilizuje się na głębokości od 0,8 do 3,6 m.

W badanym podłożu występuje również drugi poziom wodny - poziom karboński, związany głównie z ławicami piaskowców. Wody tego poziomu mają generalnie charakter zwierciadła swobodnego i stabilizują się na głębokości od 1,4 do 6,7 m. Poziom ten zasilany jest wodami pochodzenia opadowego infiltrującymi z pierwszego poziomu wodonośnego (neogeńskiego).

3. Charakterystyka warstw geotechnicznych

W zakresie oddziaływań wykopów i obiektów główny udział w budowie podłoża mają trzy warstwy geotechniczne. Według dokumentacji geotechnicznej ich charakterystyka jest następująca:

Warstwa gruntów plejstocénskich — grunty różne litologicznie od pyłów i glin piaszczystych po gliny pylaste zwięzłe Są to grunty w stanie twardoplastycznym, dla których

przyjęto stopień plastyczności $I_L = 0,12$.

Oznaczone dla tej warstwy wartości charakterystyczne parametrów geotechnicznych wynoszą :

$$\gamma = 20,5 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 3 - 4 \text{ kPa}$$

$$\phi = 29^0 - 32^0$$

Warstwa zwietrzelin karbońskich - grunty zwietrzelinowe utworów karbońskich z domieszkami okruchów iłowca, piaskowca i wkładek węgla. Grunty te o konsystencji półzwałowej i twaroplastycznej, o średnim stopniu plastyczności $I_L = 0,05$ zalegają ciągłą warstwą, o grubości od 0,4 m do 10,0m.

Wartości charakterystyczne parametrów geotechnicznych:

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 0 - 4 \text{ kPa}$$

$$\phi = 31^0 - 36^0$$

Warstwa gruntów skalistych - to skały karbońskie, charakteryzujące się dość jednorodnym wykształceniem litologicznym. Tworzą ją mułowce, iłowce, lokalnie zawierające laminy węgla oraz piaskowce drobno i średnioziarniste, słabozwięzłe. Skały te określa się jako miękkie.

Wśród gruntów karbońskich przeważający udział w budowie mają grunty skaliste, wykształcone w postaci słabozwięzłych piaskowców, mułowców i iłowców. Są to grunty o dobrej nośności i niewielkiej odkształcalności, nadające się do bezpośredniego posadowienia. W ich stropie zalegają grunty zwietrzelinowe o zróżnicowanej miąższości od 0,4 m do 10,0 m. Zwietrzeliny przybierają postać wzajemnie przewarstwiających się glin, glin pylastych i pyłów piaszczystych, glin pylastych zwięzłych i iłów oraz lokalnie piasków drobnych i pylastych z domieszkami glin i pyłów. Grunty zaliczone do tych warstw charakteryzujące się dość dobrą nośnością i małą ściśliwością, stanowią dość dobre podłoże budowlane i nadają się do bezpośredniego posadowienia. Wśród warstw karbońskich występują pokłady węgla kamiennego. Węgiel (skała miękka) jest bardzo podatny na spękania i powstawanie w nim luster tektonicznych.

4. Analiza stateczności skarp

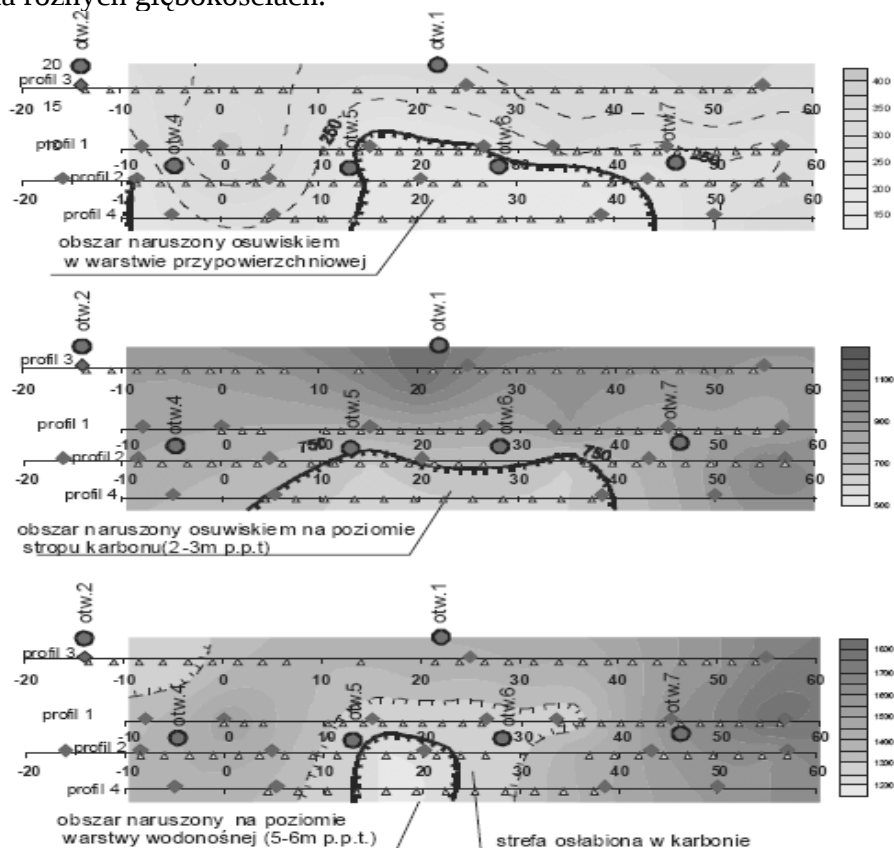
Projekt wykonawczy obiektu przewidywał zabezpieczenie skarpy jedynie poprzez jej odpowiednie nachylenie. Rozwiązanie to oparto na danych geologicznych pochodzących z otworów znajdujących się 20 – 30 m od krawędzi skarpy. Profile otworów sugerowały, że w rejonie skarpy pod niewielkim nadkładem nasypów antropogenicznych i gruntów neogeńskich występują piaskowce i mułowce karbońskie.

Powstanie osuwiska powinno być sygnałem do ponownej analizy warunków geotechnicznych w rejonie skarpy. Nowych badań nie wykonano, a po usypaniu przypory i zasypaniu niszy osuwiskowej wykonano ścianę berlińską. Jeżeli powstanie osuwiska nie było wystarczającym sygnałem do analizy warunków geotechnicznych to, co nim mogło być?

Niedostosowanie rozmieszczenia i liczby badań do skomplikowania budowy geologicznej powoduje, że wyniki wierceń nie zawsze wystarczająco dokładnie pozwalają określić budowę geologiczną podłoża. Dokładniej budowę geologiczną rejonu skarpy wzdłuż ulicy rozpoznano dopiero po awarii ściany berlińskiej. Wykonano w tym celu 7 otworów, – z czego 5 przed krawędzią jezdni oraz dwa po jej północnej stronie. Z badań uzupełniających wynika, że skarpe budują utwory plejstoceny o miąższości 2,5 - 4,0 m, pod którymi zalegają karbońskie utwory zwietrzelinowe. Wśród osadów karbonu występuje prawie 1 metrowej grubości warstwa węgla. Pokład węgla jest nachylony w kierunku wykopu. We

wcześniejszych wierceniach węgla w tym rejonie nie stwierdzono.

Badania sejsmiczne wykonane po awarii ścianki berlińskiej wykazały, że podłoże gruntowe w miejscu powstałego osuwiska zostało naruszone do głębokości około 6 m ppt. Wartość ta jest zbliżona do głębokości powierzchni poślizgu obserwowanej po powstaniu osuwiska. Na rysunku 3 przedstawiono wyniki profilowania sejsmicznego metodą płytkiej refrakcji. Zaznaczono na nim również wyinterpretowane strefy naruszenia podłoża przez osuwisko na różnych głębokościach.



Rys. 3. Wyniki profilowania sejsmicznego – zasięg i głębokość osuwiska

Wykorzystując nowe dane o budowie geologicznej podłoża w rejonie skarpy przeprowadzono obliczenia stateczności. Wyniki obliczeń potwierdzają obserwacje terenowe zarówno, co kształtu jak i zasięgu powierzchni poślizgu. Porównanie przebiegu poślizgu w terenie z kształtem i zasięgiem powierzchni obliczeniowej pozwala na stwierdzenie, warstwą poślizgową był węgiel kamienny. W wyniku obliczeń ustalono, że już przy kącie tarcia wewnętrznego $\phi = 10^\circ$ i spójności $c = 5$ kPa współczynnik stanu równowagi (F) jest mniejszy od 1.

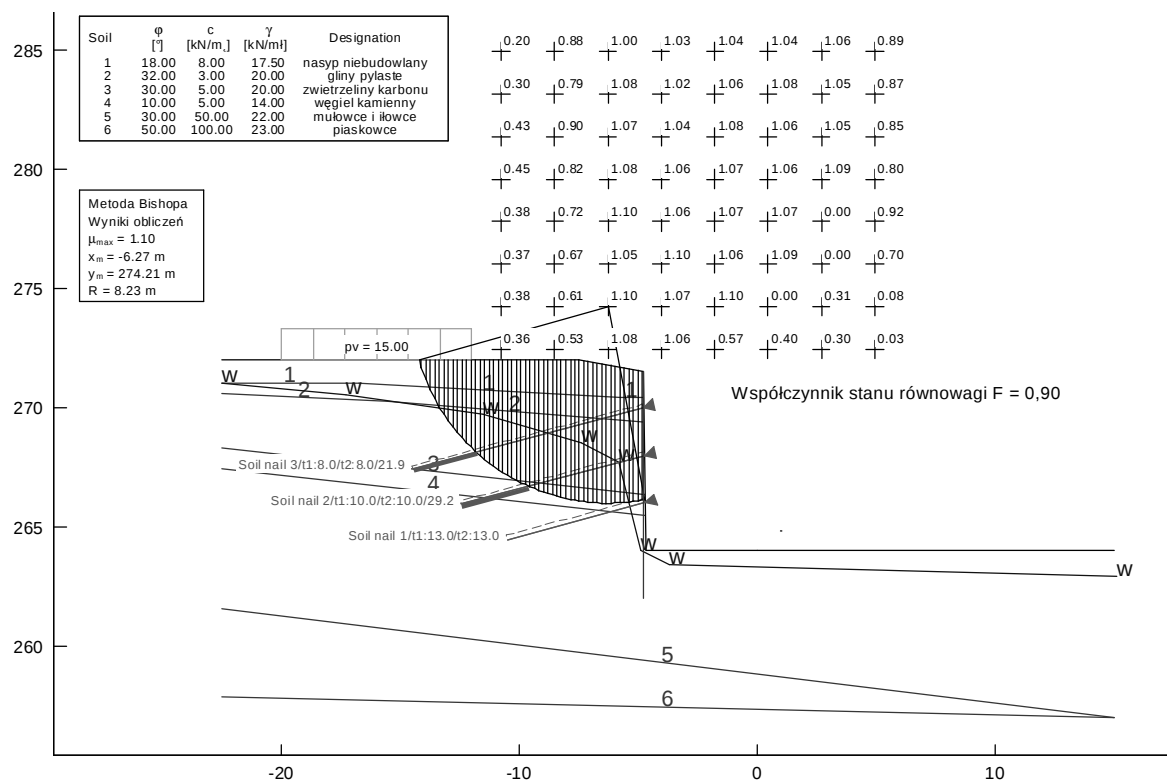
W niniejszym tekście współczynnik stanu równowagi (F) oznacza stosunek sił utrzymujących do sił zsuwających w skarpie. Odwrotność wartości F określa się jako wskaźnik stanu równowagi ($\mu_{\max}$).

W strefach spękań tektonicznych a w szczególności na powierzchniach luster tektonicznych wartości parametrów geotechnicznych spadają praktycznie do zera. Dodatkowym elementem sprzyjającym powstaniu osuwiska jest obecność wody gruntowej. Wystarczyły niewielkie opady, aby powierzchnie nieciągłości nasyciły się wodą stanowiącą smar znakomicie ułatwiający poślizg między warstwami.

Wyniki obliczeń skarpy niezabezpieczonej wykazują małą wartość współczynnika stanu równowagi – od 0,71 do 0,86 w zależności od położenia zwierciadła wody.

Skarpa w kształcie przed podparciem - przy istniejących warunkach geotechnicznych jest

niestateczna. Osuwisko, które powstało nie powinno być zaskoczeniem. Zabezpieczenie skarpy za pomocą ściany berlińskiej według pierwszego projektu praktycznie nie poprawiło stateczności. Współczynnik stanu równowagi uwzględniający 3 rzędów gwoździ wynosi 0,9 przy założeniu, że poziom wody gruntowej został dostatecznie obniżony. Przykład obliczeń przedstawiono na rysunku 4. Obliczenia stateczności całej skarpy podpartej ścianą berlińską wskazują, że ściana po wykonaniu dwóch poziomów zakotwień znajdowała się w stanie równowagi chwiejnej przy $F = 1,04$.



Rys. 4. Wyniki obliczeń stateczności skarpy zabezpieczonej ścianą berlińską

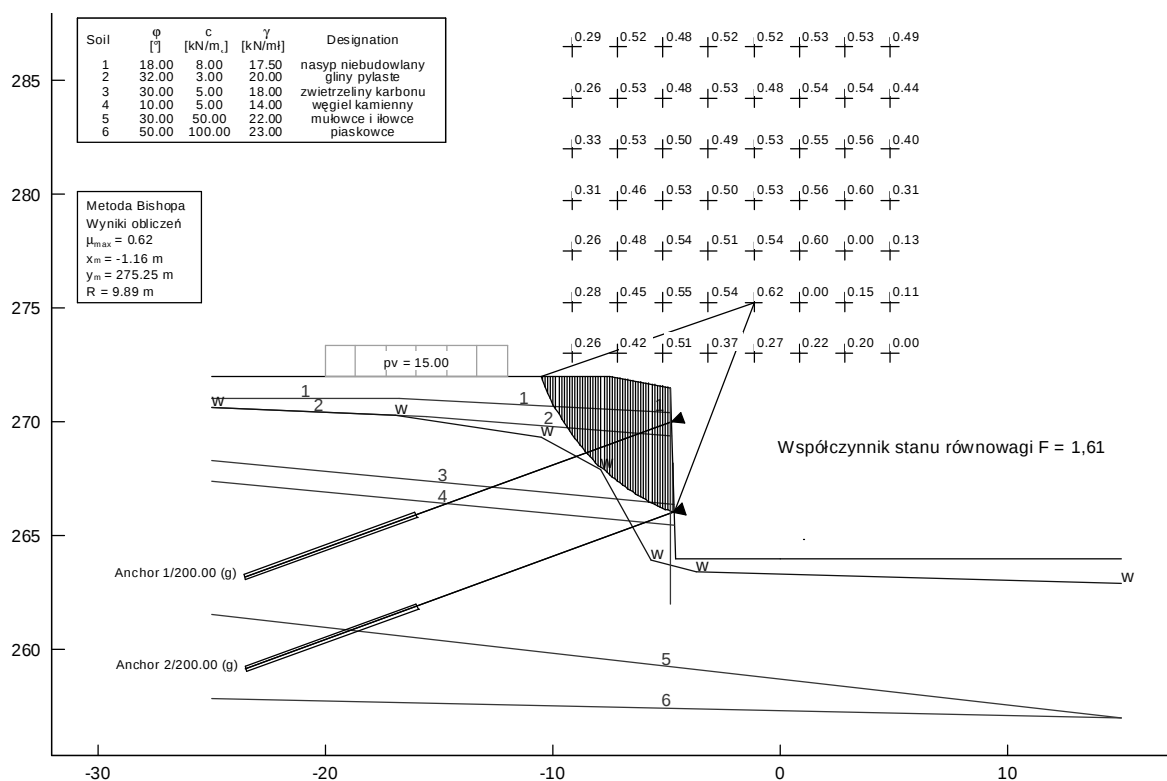
Wykonane zabezpieczenie okazało się niewystarczające. Część pali uległa odkształceniom i cała ściana ulegała systematycznym przemieszczeniom w kierunku wykopu. Stało się oczywiste, że warunki geotechniczne muszą być inne niż przyjęto w projekcie zabezpieczenia wykopu a wykonana obudowa nie była w stanie przenieść parcia gruntu.

5. Zabezpieczenie skarpy po awarii skarpy berlińskiej

Po szczegółowej analizie warunków geotechnicznych wykonanych przez ITB ustalono, że optymalnym rozwiązaniem będzie budowa nowej ściany berlińskiej. Nowa obudowa skarpy została wykonana bezpośrednio przed istniejącą ścianką berlińską jako zakotwiona konstrukcja podpierająca. Pale ścianki berlińskiej zostały wykonane z dwuteowników IPE360 o długości 11 m. Rozstaw pali 2,50 m. Przestrzeń między palami nowej a opinką starej ściany berlińskiej rozparto klinami drewnianymi oraz wypełniono gruntem.

Odległość między starą ścianą a nowo wykonaną wynikała z technicznych możliwości wykonania odwiertu pod pale IPE360. Pale nowe wykonano pomiędzy istniejącymi IPE160. Rzeczywisty rozstaw był dopasowany do istniejącego, który wahał się od 120 do 160 cm. Opinkę drewnianą stanowiły drewniane bale o grubości 10 cm. Obliczenia stateczności

skarpy podpartej z użyciem dwóch rzędów kotew zgodnie z projektem ITB przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Wyniki obliczeń stateczności skarpy podpartej nową ścianą berlińską

Kotwienie pali wykonano za pomocą kotwi systemowych o długości 20 m. Część wolna 12 m a buława 8 m. Kąt nachylenia kotew wynosi 20° w stosunku do poziomu. Wymagana Przyjęto również założenie, że kotwy nowej ściany muszą być zamocowane poza zasięgiem osuwiska i strefy rozluźnionej. Cała konstrukcja (obudowa) stanowi tymczasowe zabezpieczenie wykopu do czasu wykonania kondygnacji podziemnych i zasypek.

Z uwagi na powstałe przemieszczenia skarpy za istniejącą obudową do projektu nowej ściany przyjęto parametry zredukowane.

Dla właściwej pracy nowej ściany berlińskiej konieczne było obniżenie zwierciadła wody do poziomu poniżej dna wykopu.

Dla zapewnienia prawidłowej redystrybucji naprężeń pomiędzy poszczególnymi palami każdy poziom kotwienia był wzmocniony belkami oczepowymi. Oczip składał z dwóch ceowników 220.

Zabezpieczenie skarpy ścianą berlińską pozwoliło na realizację budowy.

7. Podsumowanie

Rozpoznanie budowy geologicznej i warunków geotechnicznych podłoża w problemach stateczności skarp musi być staranne. Problemy stateczności należą do 3. kategorii geotechnicznej. Zadania w tej kategorii powinny realizować nie przypadkowe osoby, ale z dużym doświadczeniem geotechnicznym. Omówiony przykład wykazuje jak ważną rolę spełnia właściwe rozpoznanie warunków geologiczno – inżynierskich i geotechnicznych. Należy podkreślić, że skarpa wykopu znajdowała się bardzo blisko drogi o dużym natężeniu ciężkiego ruchu samochodowego.

Brak współpracy między nadzorem geotechnicznym a projektantami spowodował nieprawidłowe określenie stateczności skarpy, powstanie osuwiska a konsekwencji błędne zaprojektowanie pierwszej ściany berlińskiej i kolejną awarię. Fakt, że nie doszło do katastrofy budowlanej należy przypisać wyłącznie zbiegowi okoliczności.

W trakcie wykonywania wykopów należy bezwzględnie sprawdzać zgodność rzeczywistych warunków geotechnicznych z określonymi w dokumentacji. Za przyczynę pierwszej awarii skarpy i powstania osuwiska należy uznać brak wiarygodnych danych geologicznych i geotechnicznych ze strefy oddziaływania skarpy wykopu a konsekwencji zły projekt zabezpieczenia skarpy wykopu. Druga awaria była skutkiem błędów projektowych i wykonawczych.

Wykonanie projektu zabezpieczenia ścianą berlińską a następnie jego realizacja bez analizy przyczyn powstania osuwiska było błędem merytorycznym.

Literatura

1. Dokumentacje i ekspertyzy wykonane przed rozpoczęciem budowy oraz powstałe w trakcie zabezpieczania skarpy wykopu.