

Awaria stalowej ściany kombinowanej podczas budowy nabrzeża portowego

Nie warto oszczędzać na badaniach geotechnicznych

mgr inż. Paweł Kwarciński¹

W artykule opisano awarię na budowie nowego nabrzeża kontenerowego w Stanach Zjednoczonych. Ważnym elementem konstrukcji nabrzeża była kotwiona ściana kombinowana HZ/AZ. W trakcie wykonywania zasypki za ścianą i pogłębiania dna przed nią nastąpiło przemieszczenie poziome ściany o 1,20 m. Doszło również do przemieszczenia ścianki kotwiącej. Awaria wystąpiła jedynie na 35-metrowym odcinku nabrzeża w miejscu, w którym wody rzeki wpadały do morza. Przeprowadzone dochodzenie pokazało, że projekt nabrzeża był wykonany na podstawie danych zaledwie z sześciu otworów badawczych, rozmieszczonych wzdłuż 3,5-kilometrowej inwestycji.

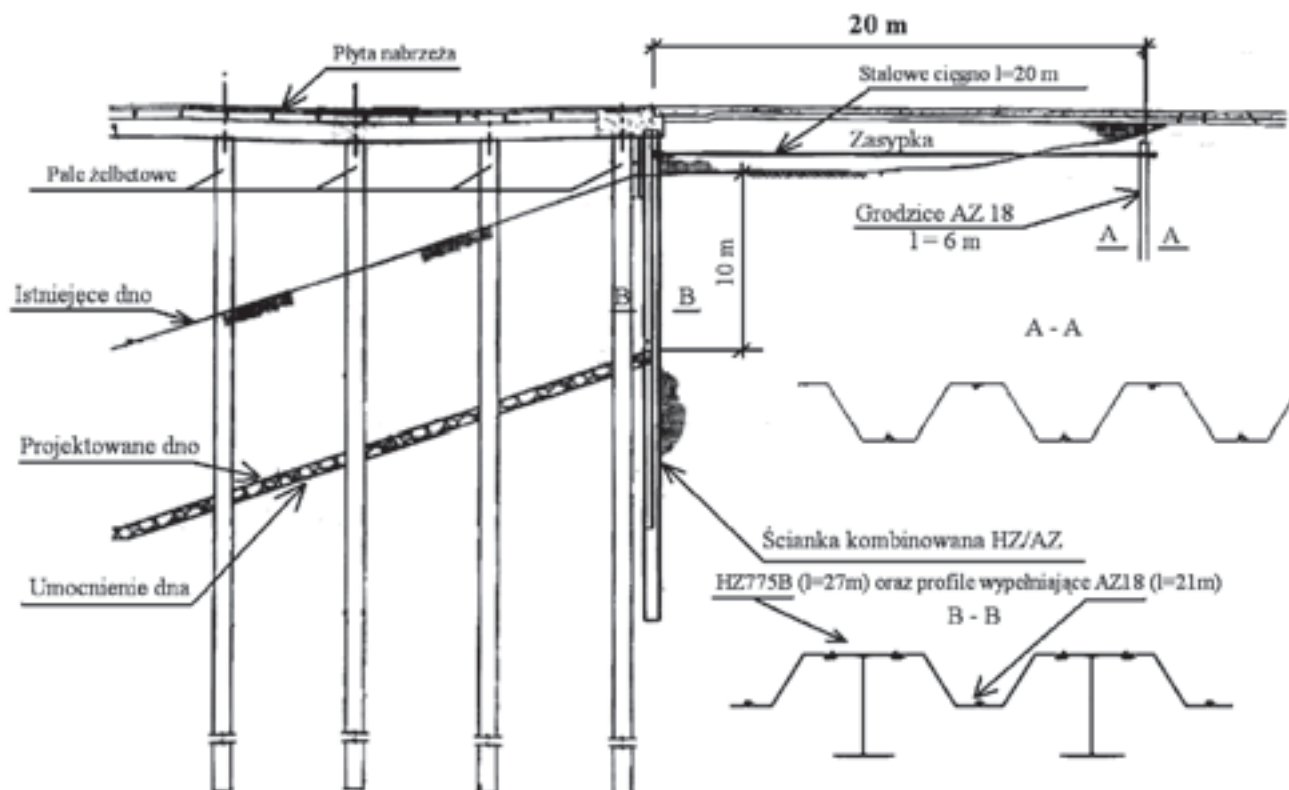
Opis inwestycji

Płyta nabrzeża (w formie pomostu) jest posadowiona na czterech rzędach żelbetowych pali. Od strony lądu pomost ogranicza zakotwiona ściana kombinowana HZ/AZ. Na rycinie 1 przedstawiono przekrój poprzeczny przez nabrzeże.

Zadaniem ściany kombinowanej jest przejście obciążeń poziomych od parcia gruntu, wywołanego 12-metrowym uskokiem. Ściana ta składa się z głównych profili HZ775B o wysokości 775 mm i długości 27 m oraz z profili wypełniających AZ18 o długości 21 m. Zakotwienie zostało zrealizowane poprzez połączenie ścianki kotwiącej z 6-metrowych profili AZ18 ze ścianą

kombinowaną przy użyciu stalowych cięgien. Odległość między ścianą kombinowaną a kotwiącą wynosi 20 m.

Prace budowlane przebiegały w następującej kolejności. Po oczyszczeniu i przygotowaniu placu budowy przystąpiono do pograżania 27-metrowych profili HZ775B. Zgodnie z zaleceniami, w trakcie pograżania wykorzystano specjalne kleszcze, którymi była sztywne, przestrzenne, stalowa rama z prowadnicami dla profili HZ na dwóch poziomach. Zadaniem kleszczy jest zapewnienie odpowiedniej pionowości ścianki i odległości pomiędzy pograżanymi profilami HZ. Początkowo profile HZ pograżano wibromłotem, a gdy zachodziła konieczność, dobijano je przy użyciu młota. W następnym etapie, już wyłącznie przy użyciu wibromłota, pograżano pomiędzy profilami HZ profile wypełniające AZ. Cała ścianka kombinowana była pograżana od strony morza z pływających platform. Po wykonaniu fragmentu nabrzeża inne ekipy przystępowały do pograżania ścianek kotwiących i montażu cięgien. Następnie wykonywano zasypkę z gruntów sypkich pomiędzy ścianą kombinowaną i kotwiącą. W dalszej kolejności przystępowano do prac głębiarskich, których celem było obniżenie dna przy ścianie kombinowanej o 10 m. Po pogłębieniu i umocnieniu dna należało wybudować płytę nabrzeża, jednak wcześniej doszło do awarii budowlanej.



Ryc. 1. Przekrój poprzeczny przez nabrzeże

¹ Arcelor Commercial Long Polska Sp. z o.o.; e-mail: pawel.kwarciński@arcelor.com.

Przebieg awarii

W chwili awarii wykonano już ok. 200 mb ściany kombinowanej nabrzeża wraz z jego zakotwieniem, zasypką i pogłębieniem dna. Po wykonaniu zasypki, na kolejnym odcinku ściany nabrzeża doszło do większych niż zwykle na tym etapie prac przemieszczeń korony ściany. Nie przekraczały one jednak wartości dopuszczalnych. Wykonawca przystąpił więc do kolejnego etapu prac, czyli do pogłębiania dna o 10 m przed ścianą nabrzeża. Pod koniec tych prac ściana kombinowana zaczęła się znacznie przemieszczać. Doszło także do obrotu ścianki. Wraz ze ścianą główną przemieściła się ścianka kotwiąca. W trakcie awarii nie doszło w żadnym miejscu do zerwania ciągów.

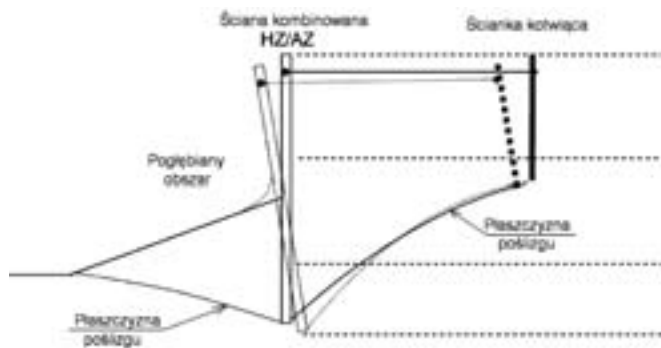
Awaria miała miejsce na odcinku nabrzeża o długości ok. 35 m. Przeprowadzone pomiary wykazały, że maksymalne przemieszczenia korony ścianki wyniosły 1,20 m od osi teoretycznej ściany. Na rycinie 2 pokazane jest to odchylenie.



Ryc. 2. Widoczne odchylenie ściany kombinowanej od jej osi o 1,20 m

Przyczyny awarii

Powodem dużych odkształceń ściany kombinowanej i kotwiącej była utrata stateczności ogólnej. Mechanizm awarii wraz z płaszczyzną poślizgu został przedstawiony na rycinie 3. Projekt nabrzeża był taki sam, jak na wcześniej wykonanym bezawaryjnym 200-metrowym odcinku. Dlaczego więc doszło do awarii na tym fragmencie? Jeśli projekt nabrzeża i sposób jego budowy był do momentu awarii identyczny, to najbardziej prawdopodobną przyczyną były błędnie przyjęte do obliczeń parametry gruntowe.



Ryc. 3. Mechanizm awarii

W trakcie sprawdzania obliczeń nabrzeża to przypuszczenie okazało się słuszne. Awaria wystąpiła w miejscu, w którym znajdowało się ujście rzeki (ryc. 4). Trudno w to uwierzyć, ale na przyszłym placu budowy wykonano jedynie sześć otworów badawczych, co daje jeden otwór badawczy na ok. 600 m nabrzeża. Inwestor ze względu na „wysokie koszty” badań geotechnicznych nie zgodził się na wykonanie większej ich liczby. Niestety, żaden z tych otworów nie został wykonany w miejscu dawnego ujścia rzek, pomimo że takie miejsce aż „prosi się” o bardziej kompleksowe zbadanie. Projektant, mając tak marnie informacje, podjął się ryzyka wykonania projektu.



Ryc. 4. Na fotografii lotniczej miejsca awarii widoczne jest ujście rzeki do morza

Po zaleconych dodatkowych badaniach geotechnicznych okazało się, że w miejscach, w których projektant spodziewał się piasków, znajdowały się głównie warstwy gruntów spoistych w stanie plastycznym i miękkoplastycznym.

Główną przyczyną awarii była zatem chęć zaoszczędzenia pieniędzy przez inwestora, który nie zgodził się na dodatkowe odwierty badawcze, chociaż stanowiłyby one jedynie ułamek procenta wartości całej inwestycji. Ale odpowiedzialność leży także po stronie projektanta, który za mało stanowczo domagał się owych badań. Powinien uznać za niewystarczające wartości parametrów gruntowych do sprawdzenia nośności ścianki w miejscu przyszłej awarii.

Jak mogło dojść do tego, że projektant nie uwzględnił faktu występowania wzdłuż projektowanej ściany nabrzeża ujścia rzeki? Mógł przecież, nie posiadając parametrów gruntu z tego obszaru, przyjąć znacznie większe współczynniki bezpieczeństwa. Możliwe więc, że nie miał w tym zakresie odpowiedniego doświadczenia. Prawdopodobne jest także, chociaż w tę wersję trudno jest uwierzyć, że nie wiedział o tym zagrożeniu, gdyż nie dokonał wizji lokalnej w miejscu przyszłej inwestycji lub też nie posiadał odpowiednich map i zdjęć lotniczych. Najprawdopodobniej nigdy nie poznamy odpowiedzi na pytanie, jaka była świadomość projektanta o istniejącym zagrożeniu awarią.

Sposób naprawy

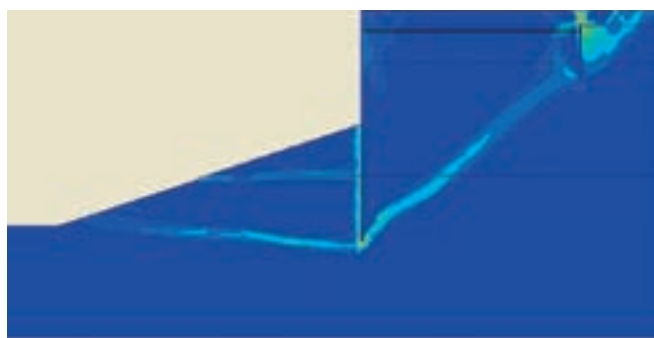
Działania podjęte w celu naprawy nabrzeża można podzielić na dwa rodzaje. Pierwszy to działania doraźne, których celem było niedopuszczenie do dalszego narastania odkształceń ściany kombinowanej oraz umożliwienie przyszłej naprawy. Drugi rodzaj to działania naprawcze, których celem była ostateczna i trwała naprawa nabrzeża tak, aby było one dopuszczone do użytkowania i mogło spełniać wszystkie założone w projekcie funkcje.

Zaraz po zaistnieniu awarii podjęto następujące działania doraźne: wyciągnięto częściowo grodzice wypełniające AZ18, znajdujące się pomiędzy profilami głównymi HZ775B, dzięki czemu zmniejszyło się parcie gruntu i wody na ścianę kombinowaną; zza ściany nabrzeża wybrano koparką 5 m gruntu w celu zmniejszenia jego parcia na ścianę; dokonano miejscowo-

wej wymiany gruntu przy ścianie kotwiącej; wykonano pionowy drenaż w nasyconych gruntach spoistych celem polepszenia ich parametrów wytrzymałościowych i wreszcie wzmocniono ściankę kotwiącą z profili AZ18 o długości 6 m, pogrążając przy nich dodatkowe grodzice o długości 15 m.

Oczywiście, aby przystąpić do działań naprawczych, trzeba było zaprojektować nową, mocniejszą konstrukcję nabrzeża. Podjęto zatem prace nad znalezieniem najbardziej optymalnego rozwiązania. W pierwszej kolejności przystąpiono do stworzenia modelu MES ścianki kombinowanej wraz z zakotwieniem.

Do modelu MES wprowadzono dane z przeprowadzonych dodatkowych badań gruntu. Obliczone MES-owskim numerycznym programem komputerowym wyniki naprężeń i przemieszczeń zgadzały się z zaobserwowanymi w trakcie awarii. Było to dowodem na to, iż dobrze wykalibrowano model nabrzeża i ośrodka gruntowego. Na rycinie 5 widać wyraźnie powierzchnię poślizgu w gruncie.



Ryc. 5. Model MES nabrzeża w miejscu wystąpienia awarii

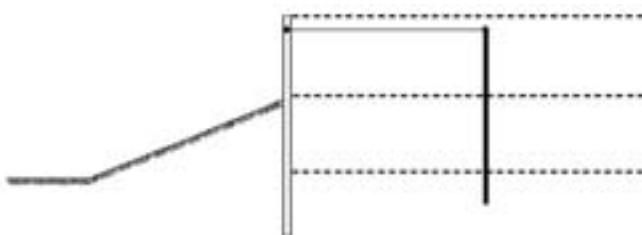
Posiadając dobry model MES nabrzeża można było przystąpić do poszukiwania możliwych sposobów trwałej naprawy. Zaproponowano pięć rozwiązań:

a) zakotwienie ściany kombinowanej w palowym koźle kotwiącym (ryc. 6), wykonanym z pali żelbetowych lub z profili stalowych typu HP (specjalne profile do zastosowań geoinżynierskich o takich samych grubościach ścianek pótek i średniców) – w tym rozwiązaniu wykorzystuje się już wcześniej użyte elementy ściany kombinowanej i te same ściągi;

b) pierwotne rozwiązanie, ale z dłuższymi i mocniejszymi grodzicami ścianki kotwiącej, z dłuższymi ściągami kotwiącymi oraz z dłuższą i głębiej pogrążoną ścianką kombinowaną (ryc. 7) – w tym rozwiązaniu należałoby wydłużyć wszystkie istniejące elementy przez dospawanie nowych fragmentów profili;

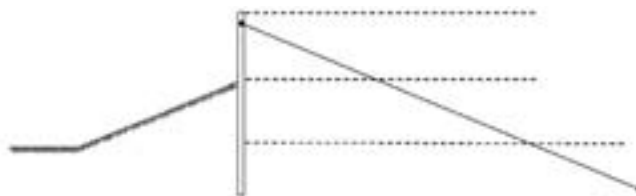


Ryc. 6. Zakotwienie w ramie kozłowej



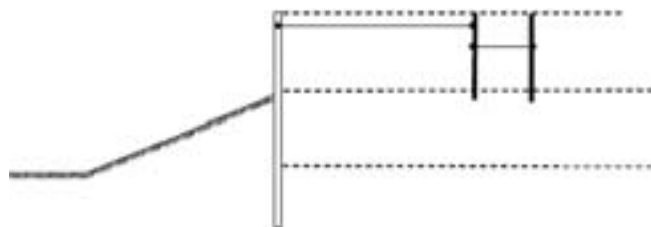
Ryc. 7. Wydłużenie profili ściany kombinowanej i kotwiącej

c) wykonanie kotew gruntowych (ryc. 8) – bardzo drogie rozwiązanie, gdyż kotwy musiałyby mieć ok. 70 m długości, aby buława znajdowała się w gruntach nośnych, istniałaby też konieczność wykonywania obciążeń próbnych, sprawdzających nośność pionową ścianki kombinowanej, kolejną wadą tego rozwiązania byłaby konieczność wykonywania kotwi od strony wody z barki lub platformy pływającej;



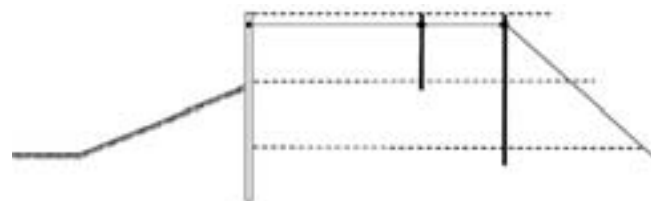
Ryc. 8. Wykonanie kotew gruntowych

d) zakotwienie ściany kombinowanej w skrzyni z grodzic (ryc. 9) – wadą tego rozwiązania byłaby konieczność wymiany gruntu w otoczeniu skrzyni i pod nią, tak aby nie doszło do poślizgu jej podstawy;



Ryc. 9. Zakotwienie ściany kombinowanej w skrzyni z grodzic

e) pierwotne rozwiązanie, ale z dodatkowym rzędem pali, które przejmą część sił poziomych działających na ścianę kombinowaną (ryc. 10) – rozwiązanie wymagające dodatkowych obciążeń próbnych pali i wykonania ukośnych kotew.



Ryc. 10. Wykonanie dodatkowego rzędu pali za ścianką kotwiącą

Ostatecznie zdecydowano się na pierwsze rozwiązanie, polegające na zakotwieniu ściany kombinowanej w palowym koźle kotwiącym (ryc. 6). Zalecono równocześnie częściową wymianę gruntu. Wyrwane pale HZ, grodzice wypełniające AZ18 i ściągi wykorzystano ponownie. Przemieszczenia w trakcie awarii nie spowodowały uszkodzeń profili, więc po oczyszczeniu pogrążono je ponownie. Brak uszkodzeń był wynikiem sprężystości stali, zastosowania profili z gatunku stali S430GP (granica plastyczności 430 MPa) oraz małej nośności gruntu (duża część przemieszczenia korony w trakcie awarii była wynikiem obrotu, a nie ugięcia).

Ostateczne wnioski

Opisana awaria budowlana jest kolejnym dowodem na to, iż nie warto oszczędzać na badaniach geotechnicznych. Posiadając dobre rozpoznanie warunków gruntowych w miejscu inwestycji, zyskuje się dwie rzeczy. Po pierwsze, zaprojektowana konstrukcja będzie w zdecydowanej większości przypadków



tańsza w wykonaniu. Po drugie, uniknie się podobnych do opisanej sytuacji.

Jednak duża część odpowiedzialności spada także na projektanta, który jeżeli już wyraził zgodę na zaprojektowanie nabrzeża, to mógł bardziej stanowczo żądać wykonania dodatkowych badań geotechnicznych. Chodzi tu głównie o brak badań w miejscu tak krytycznym dla inwestycji, jak ujście rzeki. Projektant

powinien potraktować brak danych gruntowych z miejsca przyszej awarii jako silną kartę przetargową w negocjacjach z inwestorem, dotyczących sfinansowania dodatkowego rozpoznania warunków gruntowych. Jednak, jak już wspomniano, istnieje pewne prawdopodobieństwo, że na skutek niewiedzy projektanta, będącej wynikiem jego niedostatecznego doświadczenia lub nieprzeprowadzenia przez niego wizytacji terenu inwestycji, nie wiedział on o istniejących zagrożeniach. Zabrakło także jego zainteresowania postępowaniem prac na budowie. Powinien starać się uzyskiwać bieżące informacje o oporach w trakcie pograżania, mogły wtedy dokonać zmian w projekcie, co z kolei mogłoby zapobiec awarii.

Awaria ta pokazuje także zalety płynące z zastosowania stalowych elementów konstrukcyjnych. Dzięki dużej sprężystości i wytrzymałości (zastosowano stal w gatunku S430GP) nie doszło w trakcie awarii do mechanicznych uszkodzeń elementów ściany kombinowanej i kotwiącej. Wszystkie profile po wyrwaniu i oczyszczeniu wykorzystano ponownie przy naprawie nabrzeża.



V Międzynarodowe Targi

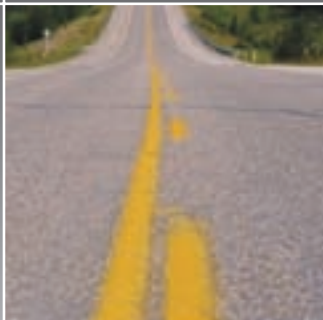
Infrastruktura

2007

17-19 października

Pałac Kultury i Nauki
Warszawa

Pod Honorowym
Patronatem
Jerzego Polaczka,
Ministra Transportu



INFRA
struktura

Solidny
fundament
biznesu



www.infrastruktura.info

Organizator:
Międzynarodowe Targi Polska Sp. z o.o.
tel. 022 529 39 00, e-mail: infrastruktura@mpolska.com.pl

MTPolska