XXIV awarie budowlane
XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna
Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009

Dr inż. MIECZYSŁAW M. KANIA, *mieczyslaw.kania@put.poznan.pl*
Politechnika Poznańska, Zakład Geotechniki i Geologii Inżynierskiej
Prof. dr hab. inż. ADAM NIEDZIELSKI, *katgeotech@poczta.onet.pl*
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Geotechniki
Mgr inż. ADAM DUDA, *adam.duda@put.poznan.pl*
Politechnika Poznańska, Zakład Geotechniki i Geologii Inżynierskiej

KATASTROFA KOLEKTORA SANITARNEGO SPOWODOWANA OSUWISKIEM PODCZAS ROBÓT ZIEMNYCH

AN INTERCEPTING SEWER DISASTER CAUSED BY THE LANDSLIDE DURING EARTHWORKS

Streszczenie Wykopy wykonywane w bliskim sąsiedztwie istniejącej infrastruktury podziemnej wymagają szczególnej staranności, począwszy od etapu badań geotechnicznych, poprzez fazę projektową i realizacyjną. W referacie przedstawiono konsekwencje błędów i zaniedbań w tym zakresie, których skutkiem była katastrofa kolektora sanitarnego. Pokazano wyniki dociekań nad bezpośrednimi przyczynami katastrofy.

Abstract Excavations carried out in the vicinity of the existing underground infrastructure, demand particular care, beginning from a phase of geotechnical investigations through a design and execution phase. In the paper have been presented the consequences of errors and neglects, which resulted in the disaster of the sanitary interceptor. The results of research on the immediate causes of the disaster have been shown.

1. Wprowadzenie

Podczas realizacji inwestycji w terenie zurbanizowanym, roboty ziemne i fundamentowe wielokrotnie muszą być prowadzone w bliskim sąsiedztwie istniejącego uzbrojenia podziemnego, w postaci rurociągów kanalizacyjnych lub wodociągowych. Normowe zalecenia [1] postępowania w takich sytuacjach są ogólnikowe, z wymogiem wykonania robót ziemnych w sposób zapewniający bezpieczeństwo urządzeń podziemnych. Jednym z procesów stwarzających potencjalne zagrożenie dla rurociągów podziemnych jest wystąpienie, w podłożu gruntowym z posadowionym w nim rurociągiem, niestabilności o charakterze osuwiskowym. Przykład zdarzenia tego typu opisano w pracy [2]. W praktyce projektowej i wykonawczej nie zawsze poświęca się wystarczającą uwagę kwestiom oddziaływania prac w miejscu inwestycji na infrastrukturę podziemną, zwłaszcza w przypadku, gdy elementy tej infrastruktury znajdują się poza obszarem działki należącej do inwestora. W przypadku rurociągów wodociągowych wypełnionych wodą pod dużym ciśnieniem, skutki mogą być katastrofalnie destrukcyjne dla otoczenia. Natomiast uszkodzenia kolektorów kanalizacyjnych, połączone z ich rozszczelnieniem, mogą stwarzać znaczne zagrożenia ekologiczne dla środowiska.

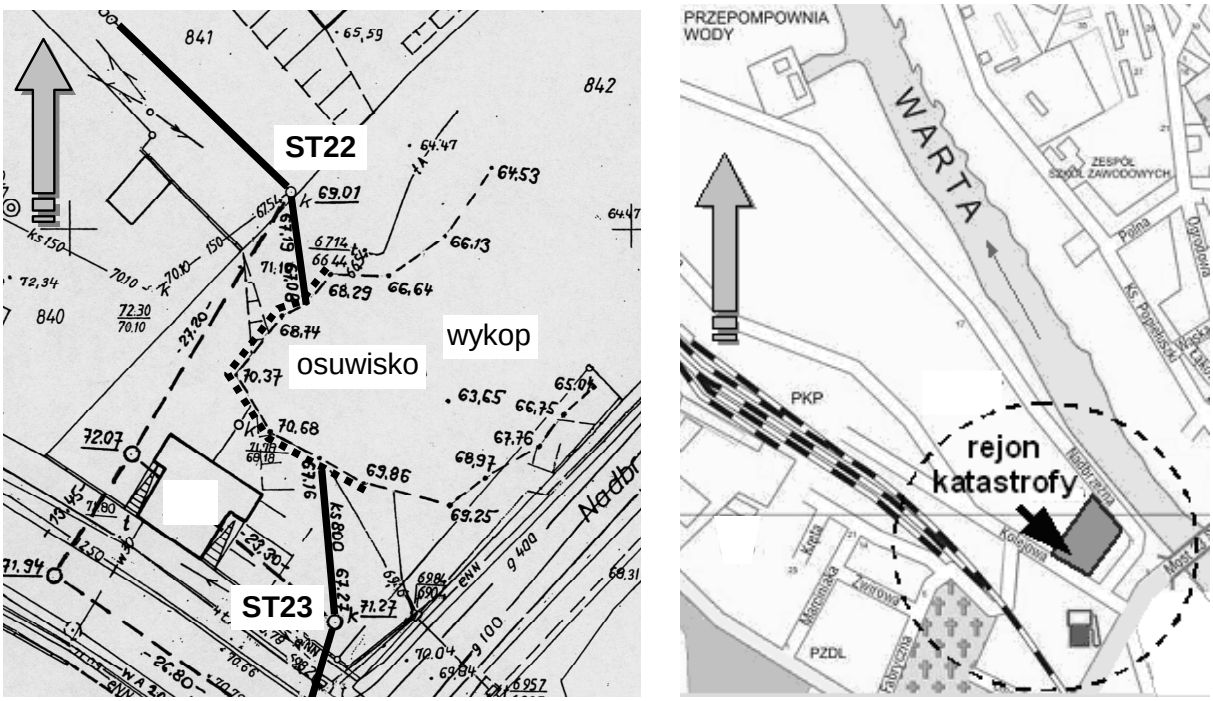
W referacie opisano dociekania nad przyczynami wystąpienia katastrofy zbiorczego kolektora sanitarnego ∅800 mm, transportującego wszystkie ścieki ponad 30-tysięcznego miasta

do pobliskiej oczyszczalni. Katastrofa nastąpiła podczas robót ziemnych dla potrzeb pobliskiej inwestycji budowlanej. Na terenie między kolektorem a rzeką Wartą, zaprojektowano w roku 2008 wzniesienie trzykondygnacyjnego, podpiwniczonego budynku z poziomem posadowienia 63,89 m npm.

2. Opis okoliczności katastrofy kolektora

Rozważany kolektor jest usytuowany na lewobrzeżnym zboczu doliny rzecznej, w średniej odległości ok. 75 m od koryta rzeki Warty, na terenie miasta Śrem. Ogólne usytuowanie miejsca katastrofy kolektora w stosunku do rzeki oraz najbliższych studzienek nr ST22 i ST23 pokazano na rys. 1. Bezpośrednią przyczyną zniszczenia kolektora było lokalne osuwisko (o zasięgu pokazanym na rysunku poniżej pogrubioną linia „kropkowaną"), które rozwinęło się w gwałtowny sposób w powiązaniu z wykonywanym w sąsiedztwie wykopem budowlanym.

Widok osuwiska wraz z fragmentami uszkodzonego kolektora przedstawiono na rys. 2 i 3. Zupełnej destrukcji kolektora na odcinku między wymienionymi studzienkami, towarzyszyło ciągłe wydostawanie się ścieków i powiększające się stopniowo ich rozlewisko w wykopie. W najbardziej krytycznym momencie ścieki dochodziły na odległość ok. 15 m od rzeki, tworząc poważne zagrożenie ekologiczne. Konsekwencją zdarzenia było długotrwałe wstrzymanie dostaw wody w całym mieście oraz wielogodzinna akcja ratunkowa specjalistycznych jednostek Straży Pożarnej, mająca zapobiec skażeniu Warty powyżej ujęcia wody dla miasta.



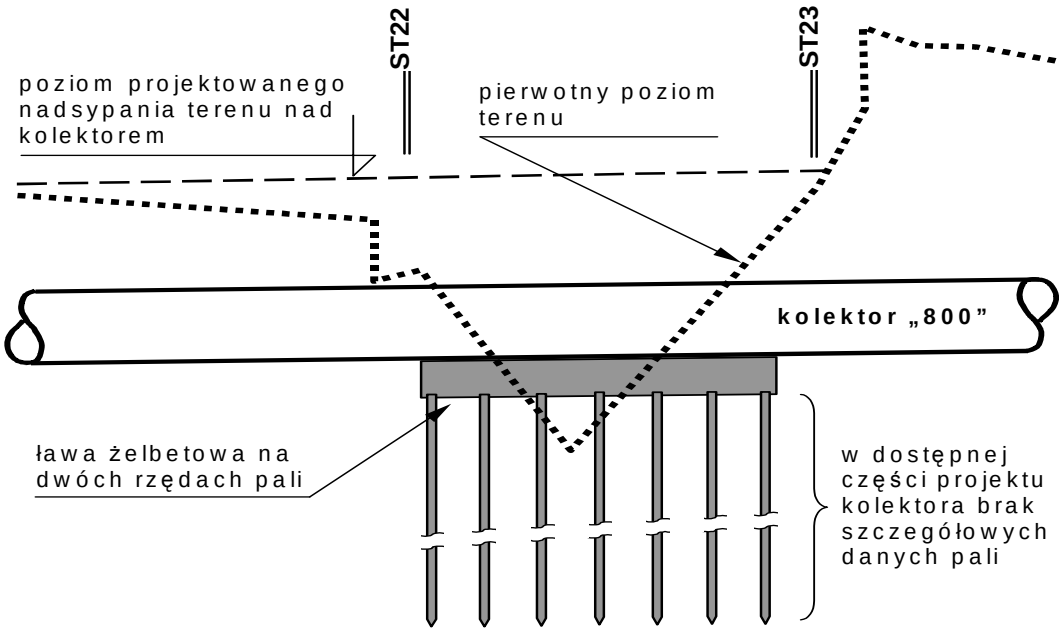
Rys. 1. Szkice sytuacyjne miejsca katastrofy kolektora

Rys. 2. Ogólny widok osuwiska z kolektorem

Rys. 3. Widok zniszczonego kolektora

Kolektor został wybudowany w 1965 roku z kamionkowych rur kielichowych o średnicy wewnętrznej 800 mm i średnicy zewnętrznej 892 mm, ze wzmacniającym rurociąg obetonowaniem. Prowadzone już po wystąpieniu katastrofy dociekania, umożliwiły wykrycie bardzo

istotnej niezgodności między faktycznymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi kolektora, a odpowiednimi propozycjami projektowymi z roku 1965. Ustalono, że powierzchnia terenu w miejscu katastrofy podlegała w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat znacznym przekształceniom. W fazie projektowania kolektora, w obszarze między studzienkami ST22 i ST23 występowało rynnowe obniżenie powierzchni terenu, dochodzące do stropu iłów poznańskich i ukształtowane w warstwie gruntów nasypowych z silnym pochyleniem w stronę rzeki. We wspomnianym projekcie, dla tego newralgicznego odcinka przewidziano posadowienie kolektora na żelbetowej ławie, opartej na dwóch rzędach pali, co pokazano poniżej na szkicu (rys. 4, sporządzony według oryginalnego rysunku projektowego). W rzeczywistości nie stwierdzono obecności żadnych elementów żelbetowej ławy i pali, a zniszczony kolektor był posadowiony bezpośrednio na gruncie.



Rys. 4. Schemat projektowanego w 1965 r. posadowienia kolektora między studzienkami ST22 i ST23

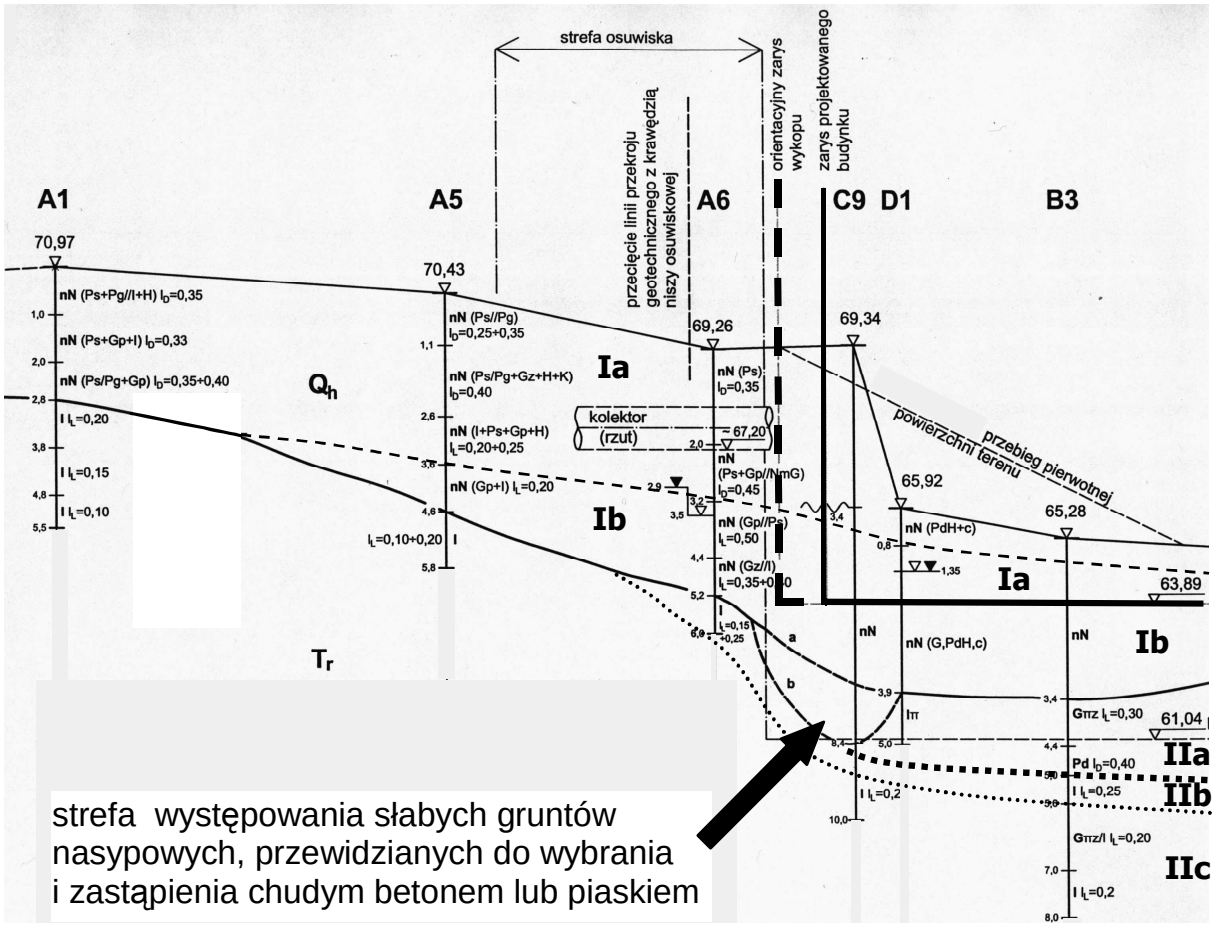
Zbocza na lewym brzegu Warty w Śremie wykazywały w przeszłości liczne symptomy niestabilności. W historycznym już opracowaniu z 1929 roku [3] zidentyfikowanych jest na terenie Śremu szereg miejsc z czynnymi osuwiskami o charakterze strukturalnym. Opisywany tutaj kolektor w roku 1974 uległ poważnemu uszkodzeniu wskutek rozwoju procesów osuwiskowych kilkaset metrów na północ od miejsca obecnej katastrofy [4]. Wcześniej w pobliskim rejonie procesy osuwiskowe na większą skalę wystąpiły na terenie oczyszczalni ścieków [5]. Zdarzenia te były związane z wystąpieniem klasycznych zsuwów strukturalnych – przemieszczenia gruntów nasypowych lub niespoistych następowały po cienkiej warstwie poślizgowej iłu, uplastycznionego przez wody opadowe infiltrujące w podłoże i spływające w stronę koryta rzeki Warty. Także w otoczeniu miejsca obecnego osuwiska występują elementy małej architektury w stanie wskazującym na istnienie pewnych ruchów powierzchni terenu w przeszłości.

3. Warunki geotechniczne

Informacje o budowie podłoża gruntowego w miejscu wystąpienia katastrofy kolektora oraz w jego otoczeniu uzyskano z dostępnych zasobów archiwalnych oraz z dodatkowych badań wykonanych specjalnie dla potrzeb analizy przyczyn katastrofy [6]. Należy tutaj podkreślić, że na etapie projektowania budynku wznoszonego obok kolektora i zaliczonego

przez projektanta do II kategorii geotechnicznej, nie wykonano żadnego rozpoznania geotechnicznego na zboczu między budynkiem a kolektorem. O zakresie dokumentowania geotechnicznego decydował jednak inwestor, limitując nakłady finansowe na ten cel.

Budowa geologiczna rejonu badań jest zróżnicowana. W głębszych partiach podłoża występują osady miopliocenskie w postaci twardoplastycznych iłów serii poznańskiej (iłów, iłów pylastych, a czasami glin pylastych zwięzłych). Rzeźba stropu warstw trzeciorzędowych (**Tr**) jest bardzo urozmaicona, z licznymi sfałdowaniami i wyraźnym pochyleniem w kierunku rzeki. Lokalne obniżenia stropu warstwy iłów są wypełnione osadami czwartorzędowej (**Qp**) akumulacji lodowcowej zlodowacenia północno-polskiego w fazie leszczyńskiej. Lokalnie są to plejstoceńskie gliny zwałowe, a w niektórych miejscach fluwioglacjalne piaski i żwiry. W partiach terenu położonych bliżej osi doliny Warty, wyerodowanej głęboko w osadach trzeciorzędowych, na iłach poznańskich spoczywają bezpośrednio grunty nasypowe (**Qh**). Nasypy niebudowlane mają bardzo zróżnicowany skład, z przewagą gruntów piaszczysto-gliniastych, z domieszkami gruzu ceglanego oraz z lokalnymi przewarstwieniami namułów organicznych. Wydzielenia litologiczne poszczególnych warstw, dokonane pod kątem ich przynależności do wyżej wymienionych formacji geologicznych, pokazano na rysunku 5. Zaznaczono też zasięgi przewidywanych robót ziemnych i rzutowane na płaszczyznę położenie kolektora. Szczególnego podkreślenia wymaga obecność w podłożu (tuż poniżej kolektora) lokalnego zagłębienia stropu warstwy spoistych osadów trzeciorzędowych, wypełnionego gruntami nasypowymi.



Rys. 5. Przekrój geotechniczny przez rejon katastrofy kolektora

Dla wydzielonych na rysunku warstw geotechnicznych ustalono wielkości podstawowych parametrów geotechnicznych, zestawione w tablicy 1.

Tablica 1. Zestawienie parametrów geotechnicznych wydzielonych warstw podłoża gruntowego

Symbol warstwy	Rodzaj gruntu w warstwie	Ciężar objętościowy $\gamma^{(n)}$ [kN/m3]	Kąt tarcia wewnętrznego $\Phi_u^{(n)}$ [°]	Spójność $c_u^{(n)}$ [kPa]
IA	nN	17.0	32.0	0.0
IB	nN	21.0	12.5	12.0
IIA	Gπz, Iπ	19.0	13.0	13.0
IIB	Gπz / I	18.5	9.5	46.5
IIC	I	20.0	10.5	49.0

Parametry geotechniczne warstw wyznaczono z normowych zależności korelacyjnych, na podstawie badań in-situ stopnia zagęszczenia i stopnia plastyczności (gruntów nasypowych – metodą sondowań dynamicznych sondą typu SDL [6], iłów poznańskich – na podstawie archiwalnych wyników sondowania sondą statyczną typu CPT).

W celu oceny stosunków wodnych przeprowadzono kompleksową analizę ukształtowania stropu warstwy nieprzepuszczalnej, obszernych archiwalnych danych hydrogeologicznych z lat 1954–2008 oraz wyników systematycznych pomiarów zwierciadła wody gruntowej, prowadzonych od 1999 r. w piezometrach na terenie sąsiedniej stacji paliw (rys. 1). W wyniku tych dociekań stwierdzono, że zasilanie wód pierwszego poziomu wodonośnego przez wody spływające z wyższych partii terenu po stropie warstwy gruntów spoistych, odbywa się w sposób nie dający zewnętrznych objawów na zboczu z kolektorem.

Spływ zaskórnych wód gruntowych w tym rejonie ukierunkowany jest na północny-wschód oraz na północny-zachód, w stronę koryta Warty. Wynika to z budowy podłoża poza terenem katastrofy kolektora, związanej ze specyficzną rzeźbą stropu warstw słabo przepuszczalnych oraz z obecnością pasm warstwy gruntów piaszczystych, mających charakter drenujący wody gruntowe pierwszego poziomu.

4. Geneza katastrofy i ocena stateczności zbocza w kolejnych fazach robót ziemnych

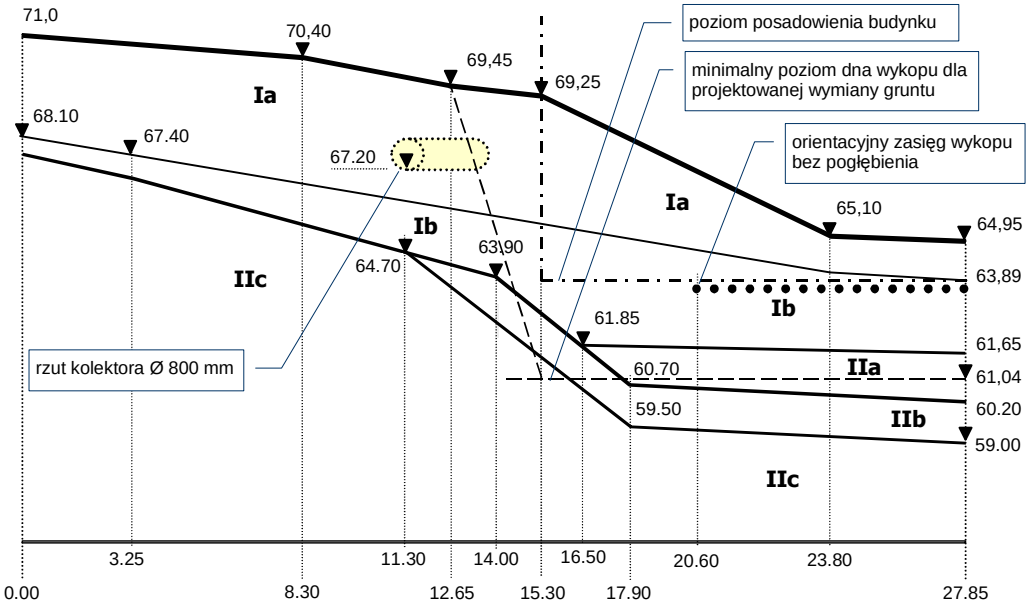
W projekcie posadowienia budynku z uwagi na występowanie słabych gruntów nasypowych i organicznych, zalecono wymianę tych gruntów na chudy beton lub dobrze zagęszczony piasek (rys. 5). Zasięg planowanej maksymalnej wymiany gruntu jest największy w sąsiedztwie kolektora i wynosi -2.85 m poniżej poziomu posadowienia budynku, z uwzględnieniem widocznego na rys. 5 lokalnego obniżenia stropu warstwy gruntów rodzimych do rzędnej 61.04 m npm.

Roboty ziemne w strefie najgłębszej wymiany gruntu wykonywane były za pomocą koparki podsiębiernej i jak ustalono, w dniu katastrofy prace te były prowadzone do momentu osiągnięcia stropu warstwy iłów. Po około dwóch godzinach od zakończenia pracy koparki, nastąpiło samoczynne osunięcie się części skarpy wykopu i zniszczenie kolektora sanitarnego na odcinku o długości około 18 m.

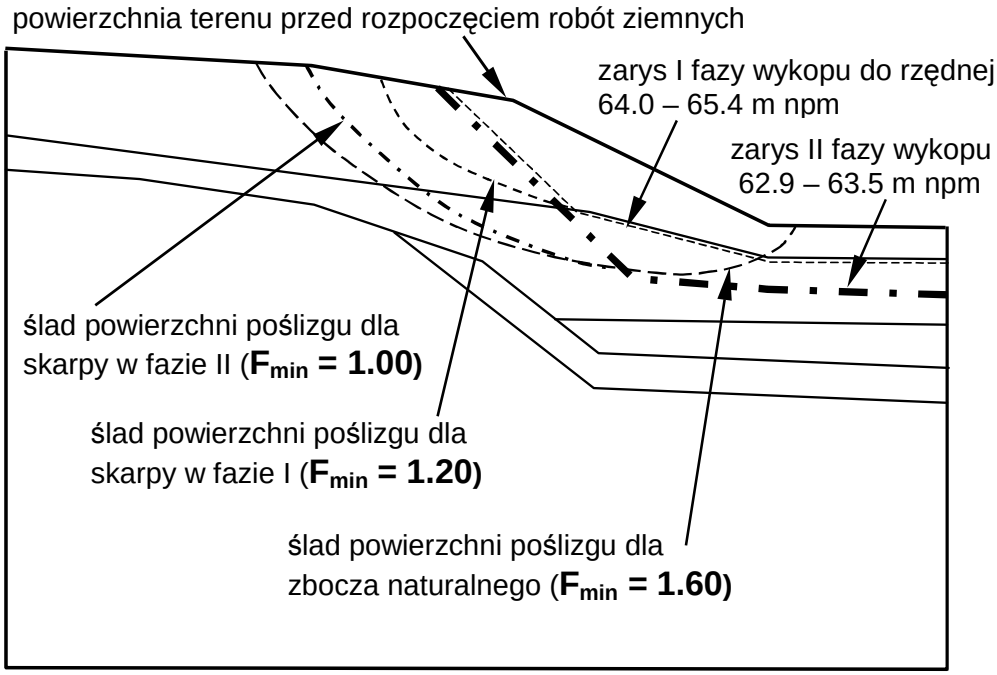
Po ustabilizowaniu się procesów przemieszczeń mas ziemnych dokonano geodezyjnej inwentaryzacji powstałej niszy osuwiskowej oraz szczegółowych oględzin jej skarp. W powstałych skarpach wykopu nie zauważono śladów sączenia wody. Stwierdzono także, że powierzchnia poślizgu wytworzyła się w warstwach nasypów, a strop warstwy iłów położony

jest znacznie niżej. Potwierdziło to wcześniejsze ustalenia na temat stosunków wodnych terenu i pozwoliło na wykluczenie tezy o strukturalnym charakterze osuwiska.

W celu odtworzenia przebiegu katastrofy wykonano numeryczną symulację procesu utraty stateczności skarpy w stanie płaskim, w miarę postępu robót ziemnych w sąsiedztwie kolektora. Rozważano schemat obliczeniowy budowy podłoża pokazany na rysunku 6.



Rys. 6. Przekrój obliczeniowy zbocza



Rys. 7. Schematy geometryczne dla numerycznej symulacji kolejnych faz robót ziemnych i odpowiadające im rezultaty obliczeń stateczności

Analizę przeprowadzono dla trzech kolejnych stanów geometrycznych wykopu, pokazanych schematycznie na rys 7. Wyróżniono stan naturalny zbocza – przed rozpoczęciem robót ziemnych, a następnie fazę I i fazę II robót ziemnych, o założonym zasięgu do maksymalnie 62,9–63.5 m npm. Dla kolejnych rozważanych schematów geometrii skarp uzyskano obraz

wpływu postępu robót ziemnych na zmianę współczynnika stateczności, aż do momentu wystąpienia stanu granicznego stateczności skarpy. Zagrożenie utratą stateczności skarpy w płaskim stanie odkształceń, charakteryzujące się wielkością współczynnika stateczności $F_{min} = 1.00$, nastąpiło przed obliczeniowym pogłębieniem wykopu do projektowanej rzędnej ok. 61.0 m npm. Ponadto wykazano dobrą zgodność zasięgu śladu obliczeniowej powierzchni poślizgu z pomierzonym rzeczywistym jej położeniem w terenie.

5. Wnioski

Bezpośrednią przyczyną wystąpienia osuwiska i katastrofy kolektora było niewłaściwe wykonywanie wykopów pod nowy budynek. Wykonane analizy obliczeniowe potwierdziły wniosek o takiej właśnie przyczynie. Na całościowy obraz trybu powstania katastrofy składa się jednak bardziej złożony splot decyzji i zdarzeń (w kolejności występowania):

a) Inwestor, minimalizując koszty dokumentowania geotechnicznego, w sposób zasadniczy ograniczył zakres rozpoznania bardzo istotnych uwarunkowań realizacji robót ziemnych i fundamentowych inwestycji. W szczególności nie zostały zbadane warunki geotechniczne w zboczu między budynkiem i kolektorem oraz nie zweryfikowano informacji o sposobie posadowienia kolektora. Odstępstwo od projektowanego w 1965 r. posadowienia na palach, okazało się po 43 latach od podjęcia tej decyzji, bardzo kosztowne w skutkach.
b) Obiekt został zaliczony do II kategorii geotechnicznej, podczas gdy przewidywane wykonanie głębokich wykopów w sąsiedztwie ważnego uzbrojenia podziemnego i ruchliwej ulicy nakazywałoby zastosowanie bezpieczniejszej III kategorii geotechnicznej.
c) W projekcie budynku nie było oddzielnego projektu robót ziemnych, uwzględniającego również bliskość głównego kolektora sanitarnego w mieście i przewidującego wbudowanie odpowiednich zabezpieczeń skarp wykopu i kolektora. Proces decyzyjny w tym zakresie przerzucono na fazę wykonawstwa.
d) Na budowie nie było nadzoru geotechnicznego, mimo wyraźnych i jednoznacznych zaleceń zamieszczonych w projekcie.

Literatura

1. Polska Norma PN-B-06050. Geotechnika. Roboty ziemne. Wymagania ogólne, PKN, Warszawa, styczeń 1999
2. Borowczak P., Florkiewicz A., Kania M.: Awaria kolektora sanitarnego wywołana osuwiskiem strukturalnym, XXII Konf. Naukowo-Techniczna „Awarie budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje 17–20 maja 2005, Wyd. Politechniki Szczecińskiej, s. 529–536
3. Chudziński B.: Obsuwiska i t.p. zjawiska pokrewne w dolinie środkowej i dolnej Warty, w: Badania Geograficzne nad Polską Północno-Zachodnią, z. 4–5, Wydawnictwo Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Poznańskiego, Poznań, 1929
4. Przystański J.: Opinia techniczna w sprawie przyczyn uszkodzenia kolektora sanitarnego w Śremie... na odcinku między studzienkami nr 19 i 20, Poznań, wrzesień 1974
5. Praca zbiorowa pod kierunkiem J. Przystańskiego: Opinia techniczna w sprawie stateczności zbocza znajdującego się na terenie oczyszczalni ścieków w Śremie, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Poznańskiej, Poznań 1971
6. Praca zbiorowa pod kierunkiem A. Niedzielskiego: Badania geotechniczne na terenie katastrofy kolektora sanitarnego Ø800... w Śremie, Katedra Geotechniki, Akademia Rolnicza w Poznaniu, Poznań, kwiecień 2008