

## **ZNISZCZENIE ZBIORNIKA RETENCYJNO- -ODPAROWUJĄCEGO W TRAKCIE BUDOWY A PROBLEMY PROJEKTOWANIA GEOTECHNICZNEGO**

Maciej K. Kumor, Łukasz A. Kumor

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono problemy projektowania geotechnicznego dla przypadku awarii zbiornika retencyjno-odparowującego. Szczególną uwagę zwrócono na jakość rozpoznania warunków gruntowych i rozpoznanie geotechniczne. Dla inwestycji nie przeprowadzono oceny warunków geologiczno-inżynierskich wraz z prognozą wpływu inwestycji i robót geotechnicznych na środowisko. Projekt obiektu wykonano poprawnie na poziomie standardowych rozwiązań. Zniszczenie konstrukcji zbiornika nastąpiło nagle w fazie końcowej realizacji, bezpośrednio przed zakończeniem prac. Brak informacji geologiczno-inżynierskich wykazuje, że geotechniczne warunki posadowienia powinny być w analizowanym przypadku opracowywane ściśle z wymogami Eurokodu 7 i obowiązującymi przepisami, stosownie do charakteru obiektu.

**Słowa kluczowe:** zbiornik retencyjno-odparowujący, podłoże geotechniczne, awaria z przyczyn naturalnych, projektowanie geotechniczne

### **WSTĘP**

Podstawą racjonalnego projektowania posadowienia obiektów, zgodnie z Eurokodem 7 [PN-EN 1997-1i2] oraz dobrą praktyką geotechniczną, jest właściwe rozpoznanie i ustalenie właściwości podłoża. Wymienić należy przede wszystkim: precyzyjne udokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich, opracowanie adekwatnego modelu geotechnicznego podłoża oraz sporządzenie projektu geotechnicznego. Ustalenia w podanym zakresie pozwalają na opracowanie dla konkretnego przypadku geotechnicznych warunków posadowienia. Geotechniczne warunki posadowienia przedstawiane są zwy-

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Maciej K. Kumor, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Katedra Geotechniki, ul. S. Kaliskiego 7, 85-791 Bydgoszcz, e-mail: mkkumor@set.net.pl

Łukasz A. Kumor, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Katedra Geotechniki, ul. S. Kaliskiego 7, 85-791 Bydgoszcz, e-mail: lukasz.kumor@engeo.com.pl

kle w formie opinii geotechnicznej, dokumentacji badań podłoża gruntowego i projektu geotechnicznego.

Zakres badań geotechnicznych w ogólności określany jest na podstawie przewidywanego stopnia skomplikowania warunków gruntowych oraz specyfiki i charakteru obiektu budowlanego lub rodzaju planowanych robót geotechnicznych. Szczegółowy zakres badań geotechnicznych gruntu i stopień rozpoznania ustalany jest w zależności od kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego. Wyniki badań geotechnicznych powinny dać wszelkie niezbędne informacje do przeprowadzenia obliczeń analitycznych i numerycznych dla opracowanego geotechnicznego modelu podłoża. Dla przypadków obiektów zaliczonych do trzeciej kategorii geotechnicznej oraz w złożonych warunkach gruntowych drugiej kategorii wykonuje się również dokumentację geologiczno-inżynierską. Wymagania, jakich oczekuje się od dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, stanowią w skomplikowanych warunkach zasadniczą i podstawową część identyfikacji, obejmującą między innymi:

- rozpoznanie precyzyjne i opis budowy geologicznej, z uwzględnieniem tektoniki, krasu, litologii i genezy warstw,
- ustalenie czynnych i potencjalnych procesów geodynamicznych, a zwłaszcza wietrzenia, deformacji filtracyjnych, pęczania, pęcznienia, osiadania zapadowego, procesów antropogenicznych, ukrytych zjawisk fizykochemicznych,
- opis i ocenę warunków hydrogeologicznych i właściwości fizyczno-chemicznych wody podziemnej, barier i okien hydrogeologicznych,
- przekroje geologiczno-inżynierskie, ocenę warunków geologiczno-inżynierskich wraz z geologiczną prognozą wpływu inwestycji na środowisko biotyczne, szczególnie na istniejący drzewostan, powierzchnię ziemi, w tym: glebę, wody powierzchniowe i podziemne.

W licznych przykładach z praktyki projektowej w przypadku nawet trudnego wykonawstwa nie wykonuje się zwykle bądź świadomie pomija opracowanie projektu geotechnicznego oraz merytoryczne uzasadnienie kategorii geotechnicznej. Z wielu znanych zdarzeń inwestycyjnych problemy te traktuje się jako wymóg czysto formalny, niezbędny do uzyskania odpowiedniej decyzji w urzędzie, a nie jako warunek merytoryczny, determinujący projektowanie i ryzyko inwestycyjne. Nierzadko dopiero awaria lub katastrofa obiektu weryfikuje i obnaża uczestnikom procesu inwestycyjnego brak istotnych informacji, jakie zawierać powinien zaniechany projekt geotechniczny.

Projekt geotechniczny, zgodnie z PN-EN 1997-1:2008 i PN-EN 1997-2:2009, powinien zawierać przede wszystkim:

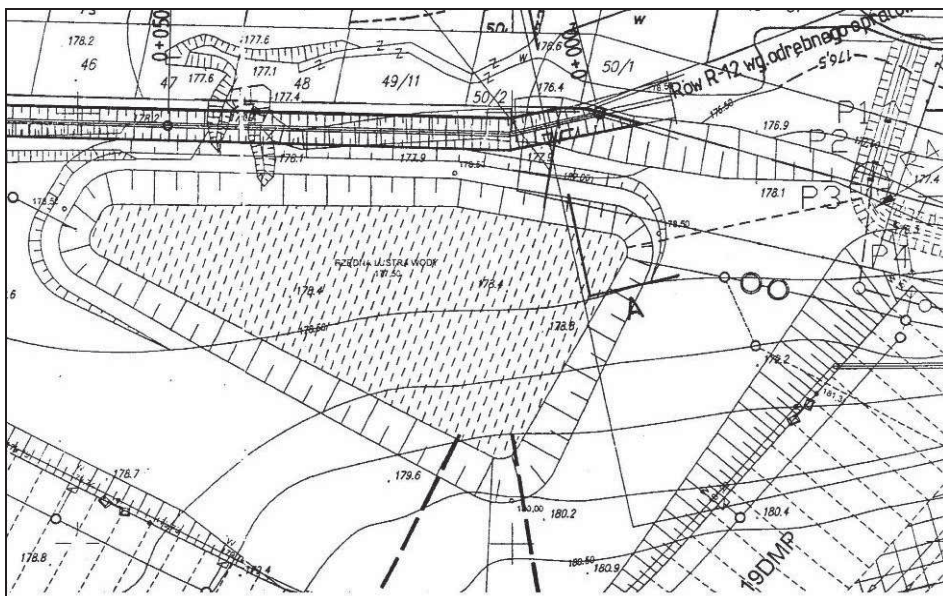
- prognozę zmian właściwości podłoża gruntowego w czasie,
- określenie obliczeniowych parametrów geotechnicznych,
- określenie częściowych współczynników bezpieczeństwa do obliczeń geotechnicznych,
- określenie oddziaływań od gruntu,
- model obliczeniowy podłoża gruntowego,
- określenie szkodliwości oddziaływania wód gruntowych na obiekt budowlany i sposobów przeciwdziałania tym zagrożeniom,
- określenie zakresu niezbędnego monitorowania wybudowanego obiektu budowlanego, obiektów sąsiadujących i otaczającego gruntu, niezbędnego do rozpoznania

zagrożeń mogących wystąpić w trakcie robót budowlanych lub w ich wyniku oraz w czasie użytkowania obiektu budowlanego.

Niniejszy artykuł zwraca szczególną uwagę uczestnikom procesu inwestycyjnego na niewystarczający i nieodpowiadający aktualnym wymaganiom zakres rozpoznania warunków gruntowych oraz brak właściwej prognozy geotechnicznej na przykładzie nietypowego zniszczenia zbiornika retencyjno-odparowującego. Projekt obiektu wykonano poprawnie na krajowym poziomie standardowych rozwiązań w prostych warunkach. Zniszczenie konstrukcji zbiornika nastąpiło w fazie końcowej realizacji, bezpośrednio przed wykonaniem prac zamykających, przede wszystkim z przyczyny naturalnej, tj. naturalnego deszczu oraz wąskiego zakresu prognoz.

## CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

Zbiornik wodny retencyjno-odparowujący z przelewem nadmiarowym zlokalizowany jest na terenie zadania inwestycyjnego „Hala magazynowa nr 1”. Wody z tego zbiornika kierowane są wlotem do pobliskiego rowu otwartego. Szczegóły lokalizacyjne przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Lokalizacja zbiornika retencyjno-odparowującego na działce inwestora

Fig. 1. Location of retention-evaporation reservoir at the investor site

### Rozwiązania techniczne zbiornika retencyjno-odparowującego

Zbiornik jest konstrukcją ziemną, wykopaną w gruncie naturalnym, o kształcie pięcioboku o wymiarach:  $64,0 \times 11,7 \times 41,6 \times 25,6 \times 39,6$  m. Podstawowe parametry zbiornika:

- głębokość zbiornika: 4,5 m,
- nachylenie skarp: 1 : 1,5,
- minimalna rzędna zwierciadła wody: 175,00 m n.p.m.,
- maksymalna rzędna zwierciadła wody: 177,50 m n.p.m.,
- rzędna otaczającego terenu: 179,00–180,00 m n.p.m.

#### Ubezpieczenie skarp i dna zbiornika

Skarpy zbiornika zostały wyprofilowane i ubezpieczone płytami ażurowymi typu „EKO” o wymiarach:  $0,60 \times 0,40 \times 0,10$  m. Płyty układano na geowłókninie możliwie blisko krawędzi skarpy, pas do jej krawędzi wyłożono darnią. Pod geowłókniną rozłożono na skarpach 0,10 m warstwy żwiru.

Dno zbiornika ubezpieczono płytami typu „JOMB” o wymiarach:  $1,00 \times 0,75 \times 0,125$  m, ułożonymi na geowłókninie, pod którą rozłożono 0,10 m warstwy żwiru o frakcji 16–32 mm.

#### Wyloty kanalizacji deszczowej

Do zbiornika retencyjno-odparowującego doprowadzono 3 wyloty kanalizacji deszczowej. W rejonie dopływu skarpe zbiornika oraz fragment dna ubezpieczono za pomocą płyt drogowych o wymiarach:  $3,00 \times 1,00 \times 0,15$  m, na szerokości jednej płyty.

Wykonany zbiornik retencyjno-odparowujący posiada przelew nadmiarowy do rowu.

## WARUNKI HYDROLOGICZNE I METEOROLOGICZNE

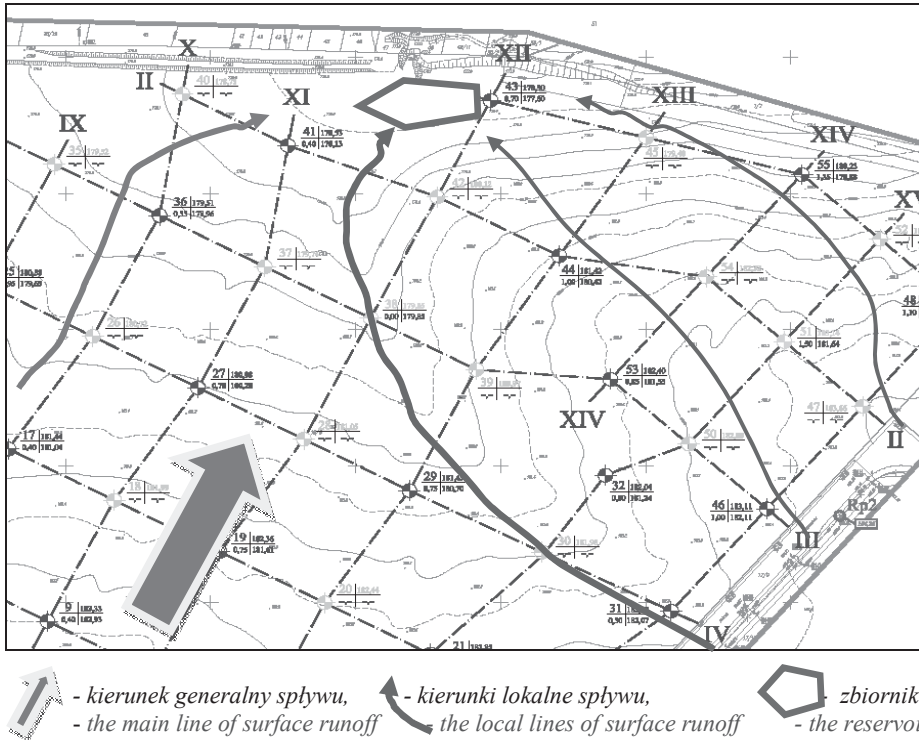
W obrębie działki, na której zlokalizowano zbiornik, rzędne terenu oscylują w granicach od około 178,0 do około 185,2 m n.p.m. Generalnie teren jest nachylony i opada z południa ku północy, w kierunku zbiornika.

Bezpośrednio na północ od zbiornika przepływa (w kierunku wschodnim) bezimieniny, częściowo skanalizowany ciek, prowadzący wody powierzchniowe z lokalnej zlewni w kierunku zalewu. Rów, do którego sprowadzony jest przelew nadmiarowy, przebiega wzdłuż północnej granicy działki 19/6. Stan techniczny rowu i jego przepustowość hydrauliczna były permanentnie złe, zaniedbane. Zlewnia lokalna prawobrzeżna ciekowi wynosi ponad 10 ha.

W granicach działki wydzielić można jeden generalny kierunek spływu wód powierzchniowych (rys. 2) – z południa ku północy i ku wschodowi, oraz cztery lokalne morfologiczne naturalne obniżenia skierowane w rejon lokalizacji zbiornika retencyjno-odparowującego i włączenia przelewu do rowu.

Institut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMI GW-PIB) wykonał ekspertyzę przybliżonych warunków atmosferycznych, jakie w dniu 6 lipca 2012 roku występowały w rejonie awarii zbiornika retencyjno-odparowującego.

Opady w dniu 6 lipca 2012 roku trwały od około godziny 18:50 do około 21:20 – około 2,5 godziny. Były to opady silne i bardzo silne. Po opadach chwilowych o natężeniu rzędu  $101 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  współczynnik wydajności osiągnął wartość 4,0. Dodatkowo bardzo duża zmienność chwilowych natężeń opadu świadczyła o ekstremalnie dużej dynamice zjawiska. Na podstawie analizy wyników radarowych w omawianym rejonie mógł wy-



Rys. 2. Lokalizacja zbiornika, geotechnicznych punktów badawczych i zasadnicze kierunki spływu powierzchniowego

Fig. 2. Location of reservoir and geotechnical research points, the main lines of surface runoff

stać opad o znacznie większym chwilowym natężeniu niż zarejestrowano na obrazach radarowych.

Ekspert IMiGW-PIB stwierdził, że w rejonie ulicy przylegającej do działki zbiornika, o współrzędnych  $N = X^0 \times '58,7''$ ,  $E = X^0 \times '58,6''$ , okresowo wystąpił opad deszczu, którego współczynnik wydajności osiągnął wartość 4,0, czyli opad deszczu nawalnego.

W wyniku nawalnego opadu nastąpiło rozległe zalanie terenu budowy. Główny strumień wody z lokalnej zlewni skierował się wzdłuż naturalnych obniżek morfologicznych terenu budowy ku wykonanemu zbiornikowi retencyjno-odparowującemu, zlokalizowanemu zgodnie z projektem w najniższej części działki. Woda opadowa płynąca skoncentrowanym strumieniem przelewała się przez koronę zbiornika retencyjnego i w wyniku nawodnienia, rozmycia i erozji doprowadziła do rozległych uszkodzeń jego ścian (z luźno leżącymi betonowymi płytami ażurowymi) oraz najbliższego otoczenia korony zbiornika i rowów odbierających.

## WARUNKI GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Rozpoznanie geologiczno-inżynierskie dla całości inwestycji w formie odpowiedniej dokumentacji wykonano dla założonej II kategorii geotechnicznej, w warunkach gruntowych prostych. Badania polowe zaplanowano w dwudziestu ośmiu punktach, do głębokości maksymalnej 10,0 m p.p.t. Na podstawie analizy budowy geologicznej podłoża gruntowego w podłożu wydzielono dwa pakiety:

- pakiet I, plejstocęńskich piasków wodnolodowcowych, wykształconych w postaci piasków drobnych (lokalnie zapyłonych, zaglinionych) i piasków średnich, zalegających w stanie luźnym i średnio zagęszczonym,
- pakiet II, osadów plejstocęńskich, spoistych i niespoistych osadów akumulacji zlodowacenia środkowopolskiego (zlodowacenia Odry), wykształconych w postaci nieskonsolidowanych glin morenowych o zróżnicowanej litologii – od piasków gliniastych i glin piaszczystych, poprzez gliny piaszczyste, gliny piaszczyste zwięzłe i gliny zwięzłe, do glin pylastych zwięzłych i (lokalnie) ilów; w partiach przystropowych dominują gliny piaszczyste i piaski gliniaste, przewarstwione piaskami drobnymi, z wkładkami i soczewkami piasków i pospólek oraz żwirów śródglinowych.

Woda gruntowa występowała w formie sączeń w stropowych partiach glin morenowych oraz w postaci słabo napiętego zwierciadła w piaszczystych soczewkach, a lokalnie stanowiła zwierciadło swobodne w serii piasków wodnolodowcowych.

Ustabilizowane zwierciadło wody gruntowej w rejonie działki w maju 2010 roku występowało na głębokości od około 0,0 do około 1,50 m p.p.t., tj. na rzędnych około 177,6–183,5 m n.p.m.

Lokalizację punktów badawczych do przedsięwzięcia przedstawiono na rysunku 2. Jak wynika z analizy danych geotechnicznych, rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych było wykonane fragmentarycznie, w stopniu wystarczającym dla obiektów kubaturowych – hal. Nie objęło natomiast ściśle obszaru zrealizowanego zbiornika. Można uznać, że projektując i budując zbiornik, nie doceniono warunków gruntowych dla celów projektowych – dysponowano danymi geotechnicznymi podłoża, których nieuzupełniono na etapie projektu. Rozpoznanie geotechniczne dla całości przedsięwzięcia ujęte w dokumentacji nie objęło podłoża i bezpośredniego otoczenia zbiornika! Najbliższe punkty badań odległe były około 30 m od niecki zbiornika.

## KATEGORIA I WARUNKI GEOTECHNICZNE

Podsumowując warunki gruntowo-wodne na podstawie danych zawartych w formie dokumentacji geotechnicznej na etapie przygotowania całości inwestycji oraz biorąc pod uwagę charakter obiektu, można było przypuszczać, że w rejonie zbiornika wodnego w podłożu zalegają znaczne nieregularne przewarstwienia piasku o dobrych właściwościach filtracyjnych i zmiennym okresowo stopniu nasycenia wodą. Warunki gruntowe były przeważnie proste, o zmiennym poziomie wody gruntowej, zależnym od opadów atmosferycznych. Naturalny układ geotechniczny charakteryzował się połączeniem lokalnym warstw dobrze przepuszczalnych gruntów ze strefą powierzchniową, zasilaną infiltrującymi bezpośrednio wodami atmosferycznymi, dodatkowo zasilanymi spływami z drogi lokalnej, która stanowiła zbieracz deszczówki.

Rozpoznanie geotechniczne w odniesieniu do zbiornika i informacje gruntowo-wodne były niepełne. Nie obejmowały obszaru podłoża zaprojektowanego zbiornika retencyjno-odparowującego (rys. 2). Należy zwrócić uwagę, że w rejonie ścisłej lokalizacji zbiornika w etapie projektowania nie wykonano prawdopodobnie żadnego badania geotechnicznego!

Przedsięwzięcie – zbiornik retencyjno-odparowujący z przelewem nadmiarowym – można było zakwalifikować do II kategorii geotechnicznej w złożonych warunkach gruntowych, przy braku występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych.

W takim przypadku, zgodnie z obowiązującymi przepisami i zasadami, należy wykonać dokumentację geologiczno-inżynierską, której wnioski powinny rozpoznać i zdefiniować między innymi niekorzystne zjawiska geologiczne obejmujące na przykład: procesy sufozyjne i kurzawkowe oraz erozję w obszarach dolin, w tym z powodu deszczu nawalnego. Efekty ich oddziaływania zostały potwierdzone w przyczynach awarii.

## WYKONAWSTWO ROBÓT

Projekt wykonawczy zbiornika wodnego rozsączająco-odparowującego wykonano zgodnie z opracowanymi, wymaganymi dokumentami:

- operatem wodnoprawnym na wykonanie urządzeń wodnych,
- pozwoleniem wodnoprawnym na wykonanie zbiornika ziemnego rozsączająco-odparowującego z przelewem nadmiarowym ścieków opadowych do rowu oraz wylotu kanalizacji deszczowej do „rowu od Hodowlanej”,
- projektem wykonawczym konserwacji i remontu rowu R-12 na działce.

Przebieg istotnych prac realizacji zbiornika oraz stan podłoża przedstawiono poniżej w odniesieniu do prac przygotowawczych z geotechniki pod posadowienie zbiornika i zrealizowanego harmonogramu prac:

10.05: Rozpoczęcie prac ziemnych przy budowie zbiornika. Wykop suchy.

Od 10.06 do 04.07: Układanie płyt EKO, JOMB, zakończenie prac przy układaniu płyt ażurowych. Formowanie zabezpieczeń roboczych wokół zbiornika. Wykop suchy.

Od 01.07 do 05.07: Układanie darniny i formowanie zabezpieczeń roboczych wokół zbiornika. Wykop suchy.

06.07: Deszcz nawalny w rejonie. Zbiornik zalany do wysokości odpływu, woda zawiera zawieszinę z częściami spławianymi gruntów działki (rys. 3).

07.07: Dokumentowanie zniszczeń i stanu awarii zbiornika. Rejestracja skutków destrukcji stanu gruntów i przeprowadzonych prac ziemnych związanych z wykonywaniem zabezpieczeń.

Rozpoczęcie odpompowania zbiornika i odsłonięcie dna, inwentaryzacja uszkodzeń, prace zabezpieczające, badawcze i eksperckie, naprawa zbiornika.

Do momentu powstania awarii wykonano ponad 98% całości z kosztorysowanych prac objętych projektem wykonawczym oraz robót ziemnych i budowlanych. Pozostało do wykonania końcowe klinowanie i tzw. zamulanie płyt betonowych okładziny ochronnej zbiornika (stanowiące nie więcej niż 1–2% robót).



Rys. 3. Widok zbiornika dzień po deszczu nawalnym, przed odpompowaniem wody

Fig. 3. Reservoir one day after rainfall, before dewatering

## BADANIA I OCENA WARUNKÓW GEOTECHNICZNYCH PO AWARII

Badania geotechniczne podłoża wykonano bezpośrednio po awarii zbiornika wodnego, w dniu 7 lipca 2012 roku, w koronie, skarpie i niecce zbiornika, zgodnie z wynikami analizy i zasadniczymi danymi odnośnie do skutków awarii.

Na skarpie południowej w strefie największych uszkodzeń wykonano szurf badawczy do podstawy dna zbiornika, po odpompowaniu wody.

Od powierzchni górnego naziomu do głębokości 2,80 m stwierdzono występowanie gruntów niespoistych dobrze przepuszczalnych, tj. piasków średnich ze żwirami, oraz lamin gliniastych w stanie plastycznym, z obfitymi sączeniami wody (rys. 4).

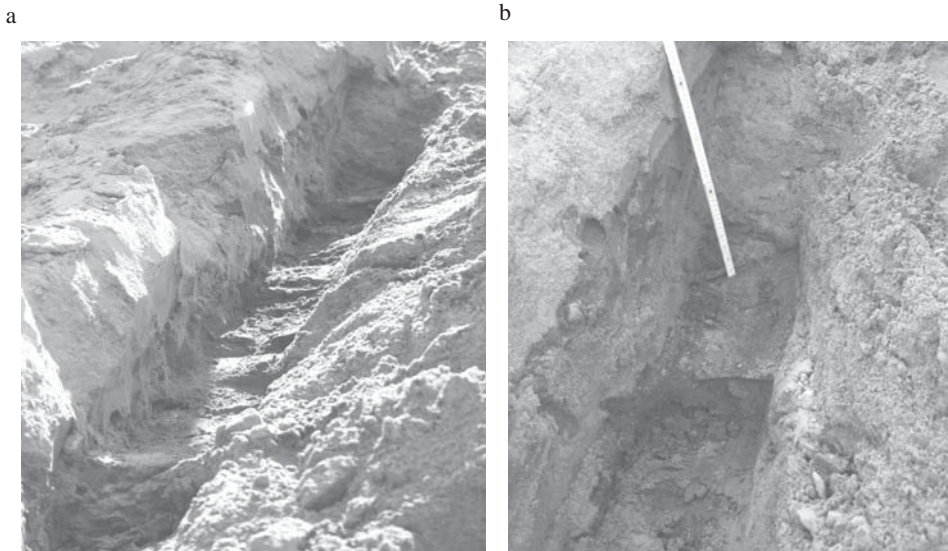
Utwory nasypowe, niespoiste wbudowano w trakcie końcowych robót ziemnych na obiekcie w górną strefę przypoверхniową terenu otaczającego zbiornik. Budowa i warunki geotechniczne, jakie występują w miejscu awarii, zostały zilustrowane na przekroju geotechnicznym (rys. 5) oraz na rysunku 4. W obrębie utworów piaszczystych na skarpach zbiornika, 7 dni po awarii, stwierdzono wypływającą wodę bezpośrednio po stropie glin (rys. 4)

## SKUTKI AWARII I STAN ZBIORNIKA

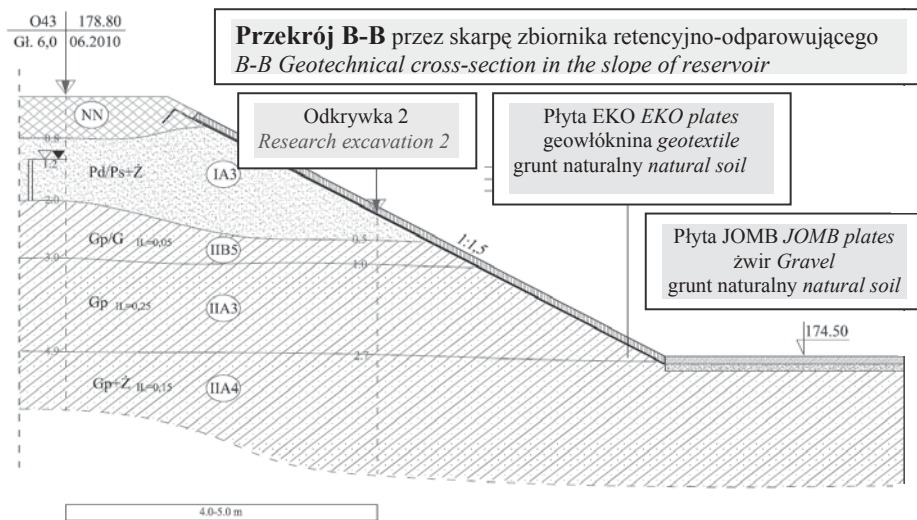
W wyniku skoncentrowanego oddziaływania opadu nawalnego nastąpiły szkody, charakteryzujące awarię i całkowite techniczne zniszczenie konstrukcji zbiornika, tj.:

- zsuniecie się i rozklinowanie betonowych elementów ochronnych (płyt ażurowych) skarp zbiornika retencyjnego na długości około 80 m.b. i wysokości 8,25 m,
- rozmycie ciągle gruntów naturalnych i skarp nasypu od strony ulicy na powierzchni 30 m.b. × 1 m (wysokości) nasyp z gliny + humus,
- zerwanie geowłókniny separacyjnej,





Rys. 4. Wykop: a – szurf badawczy skarpy zbiornika, b – widoczna warstwa piasków z sączeniami  
 Fig. 4. Research: a – excavation in slope reservoir, b – visible layer of sand with groundwater



Rys. 5. Charakterystyczny przekrój geotechniczny przez zniszczoną skarpe południową zbiornika wodnego określony po awarii  
 Fig. 5. Characteristic geotechnical cross-section in the damaged southern slope of reservoir after failure

- całkowite wypłukanie piasków podsypki na skarpach zbiornika,
- zamulenie całkowite strefy dna zbiornika,
- naruszenie stateczności płyty dennej po stronie awarii skarp,
- obsunięcie elementów ażurowych typu „EKO” (lekkich, o wymiarach:  $0,60 \times 0,40 \times 0,10$  m) praktycznie na całym obwodzie skarp zbiornika,
- przemieszczenie i uszkodzenie płyt typu „JOMB” (ciężkich),
- rozmycie oraz zniszczenie rowów drenażu i rowu odbierającego,
- zniszczenie geowłókniny na większości powierzchni zbiornika.

Na rysunkach 6, 7 i 8 przedstawiono charakterystyczne skutki zniszczenia zbiornika retencyjno-odparowującego i destrukcji gruntów podłoża w wyniku erozji wód nawałnego deszczu, zarejestrowane po odpompowaniu wody.

a



b



Rys. 6. Przykład zniszczeń (awarii) ścian zbiornika: a – wschodniej, b – południowej  
 Fig. 6. Example of slope failure: a – eastern, b – southern

## GEOTECHNICZNA ANALIZA AWARII ZBIORNIKA

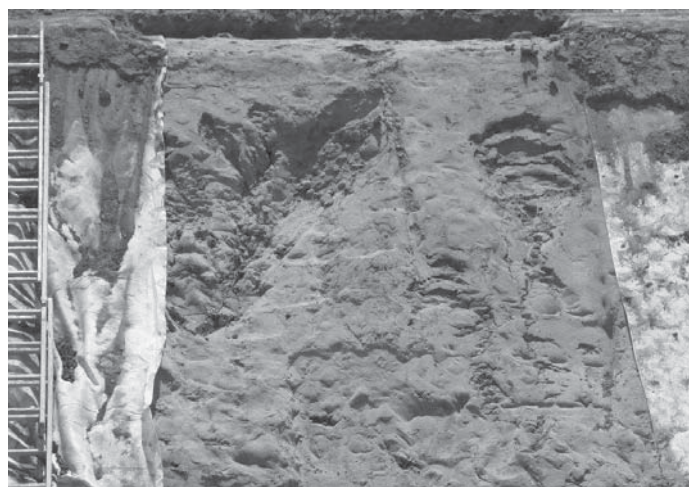
Generalną przyczyną awarii konstrukcji zbiornika retencyjno-odparowującego było niedostosowanie rozwiązania konstrukcyjnego do stanu nawałnego deszczu na etapie realizacyjnym. Zespół przyczyn można podzielić na kilka grup związanych ze stadiami realizacji inwestycji. Zaliczyć do nich można między innymi:

1. Zależne od człowieka, w tym:
  - przygotowanie i opracowanie projektu,
  - rozpoznanie geotechniczne i projekt geotechniczny,
  - realizacja przedsięwzięcia.



Rys. 7. Widok zniszczeń zbiornika – spływ gruntu wraz z płytami, naruszenie geowłókniny, stożki napływowe na dnie zbiornika (stan po odpompowaniu wody, 24.07.2012)

Fig. 7. View of slope failure – runoff from land and plates, violation of geotextile, alluvial fans on the bottom of the reservoir (after dewatering, 24.07.2012)



Rys. 8. Widok erozyjnej destrukcji skarpy zbiornika i wyłobień z lokalnymi spływami i usuwiskami gruntu (stan po odpompowaniu wody, 24.07.2012)

Fig. 8. View of erosive destruction of reservoir embankment and grooves with local soil runoff and pumping out the water (after dewatering, 24.07.2012)

2. Naturalne, niezależne od człowieka, w tym:

- warunki gruntowo-wodne,
- warunki klimatyczne,
- sytuacja hydrologiczna,
- faza realizacyjna robót budowlanych,
- nadzwyczajne zagrożenia,

3. Inne, nie merytoryczne lub administracyjne, nieprzewidywalne.

Biorąc pod uwagę zaistniałą awarię i techniczne zniszczenie zbiornika retencyjno-odparowującego, należy stwierdzić, że szczególną rolę w powstaniu awarii odegrały przede wszystkim lokalne warunki geotechniczne w powiązaniu z nawalnym opadem deszczu oraz końcowym etapem prac budowlanych, zgodnych z harmonogramem.

Zasadnicze elementy, które powinny być rozpoznane w sposób szczególny do bezpiecznej realizacji obiektów ziemnych, zaliczane są do niezależnych od czynnika ludzkiego (warunki naturalne podłoża związane z genezą, warunkami geologiczno-inżynierskimi i hydrogeologicznymi). Stopień rozpoznania budowy geologicznej podłoża oraz wnioski geologiczno-inżynierskie nie były dla tej inwestycji wystarczające i nie odzwierciedlały złożonych i zróżnicowanych warunków dla głębokiego posadowienia w przypadku nadzwyczajnego opadu atmosferycznego.

W tym zakresie brak jest dla inżynierów w krajowej literaturze, praktyce projektowej i wykonawczej specjalistycznej wiedzy i procedur oceny ryzyka geotechnicznego.

W świetle przytoczonych czynników, które mogły doprowadzić do awarii, pojawia się zasadniczy problem merytoryczny, który generuje pytanie: czy wiedza o oddziaływaniach poszczególnych czynników hydrogeologiczno-inżynierskich jest dostępna powszechnie dla projektantów i wykonawców posadowień podobnych zbiorników w złożonych i skomplikowanych warunkach geotechnicznych?

Z danych geotechnicznych analizowanych dla przypadków awariowanych obiektów realizowanych na terenach niskich tarasów, na przykład Brdy lub Warty, Wisły w Warszawie oraz dolin rzecznych we Wrocławiu, wynika, że nie są to elementy powszechnie znane, a praktycznie rzadko publikowane, chociażby w celach edukacyjnych środowiska.

Należy stwierdzić, że do większości awarii dochodzi wszędzie tam, gdzie brakuje rzetelnych badań geotechnicznych i precyzyjnego rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich oraz właściwego modelu geotechnicznego podłoża.

Podstawę dla przygotowania projektu posadowienia zbiorników o podobnej funkcji w takich warunkach powinna stanowić wysokiej jakości dokumentacja geotechniczna. Wprawdzie tego typu kryterium sformułowane jest w Eurocodzie 7 [PN-EN 1997-1 i 2], jednak możliwości wykonywania w Polsce dokumentacji geologiczno-inżynierskiej lub dokumentacji geotechnicznej powodują często mało precyzyjną i niejednoznaczną ocenę budowy podłoża, co przy uproszczeniach projektowo-inwestorskich prowadzić może do awarii budowlanej.

## WNIOSKI

1. Omawiana awaria zbiornika retencyjno-odparowującego nastąpiła w wyniku splotu szeregu przyczyn, w tym szczególnie nawalnego opadu i rozległego podtopienia terenu budowy. Główny strumień wody skierował się wzdłuż naturalnych obniżen morfologicznych terenu budowy (rys. 3), ku zbiornikowi retencyjno-odparowującemu, zlokalizowanemu zgodnie z projektem w najniższej części działki. Skoncentrowany strumień dokonał destrukcji i rozmycia gruntów, doprowadzając do rozległych uszkodzeń i awarii ścian (z luźno leżącymi betonowymi płytami ażurowymi) oraz degradację najbliższego otoczenia korony zbiornika i rowów odbierających.

2. Generalną przyczyną awarii konstrukcji zbiornika retencyjno-odparowującego było niedostosowanie rozwiązania konstrukcyjnego do nadzwyczajnego stanu losowego, tj. nawalnego deszczu, na końcowym etapie realizacji.

3. Zasadniczymi elementami, które powinny być rozpoznane w sposób szczególnie do bezpiecznej realizacji obiektów ziemnych w każdym przypadku, są niezależne od czynnika ludzkiego ustalenia warunków naturalnych podłoża, związane z genezą, warunkami geologiczno-inżynierskimi i hydrogeologicznymi oraz meteorologicznymi.

4. Brak jest w krajowej praktyce, niezbędnej dla inżynierów, specjalistycznej wiedzy i procedur oceny ryzyka geotechnicznego, których nieuwzględnianie może prowadzić nawet w prostszych warunkach lokalizacyjnych do awarii. Należy stwierdzić, że do większości znanych awarii obiektów budowlanych dochodzi wszędzie tam, gdzie brakuje rzetelnych badań geotechnicznych i precyzyjnego rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich oraz projektu geotechnicznego zawierającego wiarygodny model geotechniczny podłoża.

5. Podstawę dla przygotowania projektu posadowienia podobnych obiektów w warunkach złożonych i skomplikowanych powinna stanowić wysokiej jakości dokumentacja geotechniczna. Tego typu kryterium sformułowane jest w Eurocodzie 7 [PN-EN 1997-1 i 2], jednak rzetelność wykonywania w Polsce dokumentacji geologiczno-inżynierskiej lub dokumentacji geotechnicznej dostarcza często mało precyzyjnej i niejednoznacznej oceny budowy podłoża, co w konsekwencji skutkuje awariami budowlanymi.

## PIŚMIENNICTWO

- Dokumentacja geotechniczna określająca warunki gruntowo-wodne dla projektu i budowy zespołu hal magazynowych, 2011. Materiały archiwalne autorów w wersji elektronicznej. PI-G, Bydgoszcz.
- Instrukcja ITB nr 304, 1991. Posadowienie obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy. ITB, Warszawa.
- Kumor M.K. i in., 2012. Ekspertyza techniczna w sprawie zniszczenia zbiornika retencyjno-odparowującego. Maszynopis. PI-G, Bydgoszcz.
- PN-EN 1997-1:2008. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1 – Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2:2009. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2 – Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne. Oznaczenia i klasyfikowanie gruntów. Część 1 – Oznaczenie i opis.
- PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne. Oznaczenia i klasyfikowanie gruntów. Część 2 – Zasady klasyfikowania.
- Projekt wykonawczy zbiornika wodnego rozsączająco-odparowującego z przelewem nadmiarowym z wylotem do rowu R-12 dla inwestycji polegającej na budowie zespołu hal magazynowych, 2011.
- Przystański J., 1984. Wykopy fundamentowe i odwodnienia gruntu. Wydaw. Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej. Dz.U. nr 291, poz. 1714.
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych. Dz.U. poz. 463.

Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. nr 163, poz. 981.  
Wójcikowski R., 2012. Ekspertyza przybliżonych warunków atmosferycznych. IMGW-PIB,  
Warszawa.

## **FAILURE OF THE RETENTION RESERVOIR DURING THE CONSTRUCTION AND SOME GEOTECHNICAL PROBLEMS OF DESIGN**

**Abstract.** The papers describe some problems of geotechnical design for example of the reservoir failure. Particular attention has been paid to the geotechnical problems of subsoil and identifies of the geotechnical parameters. For project no assessment of engineering-geological conditions and forecasts the impact of investment and geotechnical works on the environment. The project design was performed correctly at the begins solutions. The damage of the reservoir structure has started suddenly in the final stage of implementation, immediately prior to completion of the works. No the geological and engineering informations indicates that geotechnical foundation conditions must be developed due to the requirements of Eurocode 7, and special geotechnical regulations.

**Key words:** retention and evaporation reservoir, soil geotechnical failure of natural causes, geotechnical design

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 22.07.2013