

Od legendy do odkrycia – historyczne i geotechniczne uwarunkowania odkrycia tuneli pod Wzgórzem Zamkowym w Szczecinie

TOMASZ GODLEWSKI^{1,*}, RADOSŁAW MIESZKOWSKI², MACIEJ MAŚLAKOWSKI³

¹ Instytut Techniki Budowlanej, ul. Ksawerów 21, 02-656 Warszawa

² Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

³ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, ul. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa

Streszczenie: W artykule opisano różne badania geotechniczne i geofizyczne, które doprowadziły do odkrycia potencjalnych przyczyn katastrofy historycznego skrzydła Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie. Przeprowadzone badania doprowadziły do odkrycia podziemnego systemu tuneli zbudowanych pod Zamkiem, których istnienie tylko podejrzewano. Tunele zostały zbudowane głównie w czasie II wojny światowej, ale także przed tym okresem. W artykule podsumowano aktualne fakty odkryte w wyniku badań oraz uwarunkowania historyczne i geotechniczne związane z wykonaniem tuneli żelbetowych i murowanych.

Słowa kluczowe: badania geotechniczne, metody geofizyczne, tunele, obiekt zabytkowy

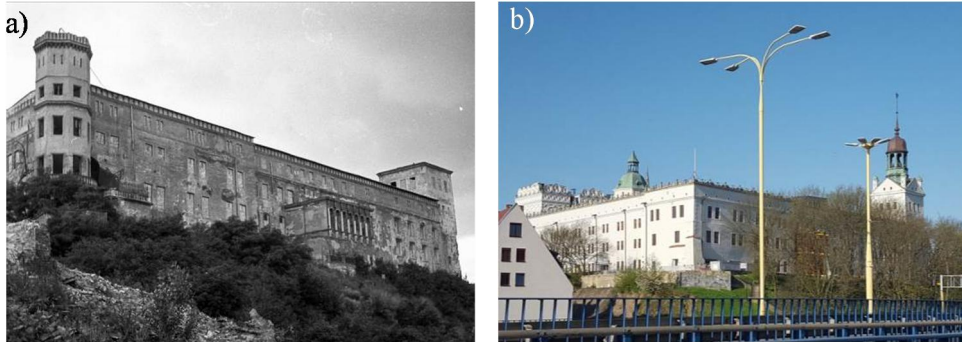
1. Wprowadzenie

Zamek Książąt Pomorskich znajduje się w czołówce najciekawszych miejsc w Szczecinie i jest najlepiej rozpoznawalnym zabytkiem tego miasta (rys. 1b). Jego początki sięgają roku 1346, kiedy to Książę Barnim III rozpoczął budowę niewielkiego zamku i kaplicy św. Ottona Igielska i in., [1]. W połowie XV wieku zamek został powiększony. W latach 1573–1582 książę Jan Fryderyk dokonał generalnej przebudowy późnogotyckiej siedziby w renesansową rezydencję. Skrzydło północne Zamku zostało wzniesione w latach 1575–1577 w miejscu dawnego dworu Barnima III, kolegiaty św. Ottona i średniowiecznego muru obronnego. Zamek był wielokrotnie remontowany i przebudowywany (rys. 1a), a wskutek nalotów pod koniec II Wojny Światowej uległ poważnym uszkodzeniom. Rekonstruowany przez szereg lat po wojnie, został udostępniony zwiedzającym w latach siedemdziesiątych XX w. Ostatnią modernizację skrzydła północnego przeprowadzono w latach 2014–2015 [2].

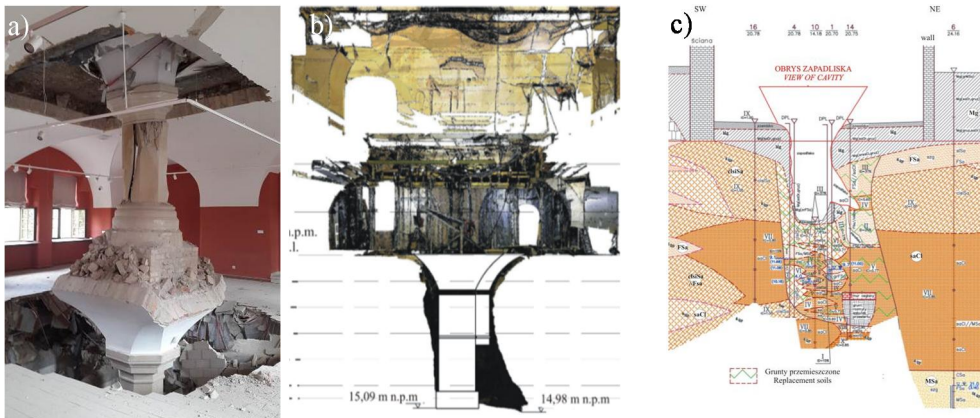
O Zamku stało się głośno po katastrofie, która miała miejsce 11 maja w 2017 r. Katastrofa miała nagły przebieg: trwała parę sekund. Moment ten uchwyciły kamery monitoringu, gdzie na filmie widać nagłe zapadnięcie się konstrukcji słupa. Pomieszczenia, w których doszło do katastrofy zlokalizowane są przy klatce schodowej (i wejściach B i D) północnego skrzydła Zamku, na wschód od niej. W centralnej części każdego z tych pomieszczeń, czyli piwnicy oraz

*Autor do korespondencji: t.godlewski@itb.pl

sal parteru, pierwszego i drugiego piętra znajdował się słup wspierający strop danej kondygnacji. Oględziny przeprowadzone po katastrofie wykazały, że filar, czyli kolejne, podtrzymujące stropy piwnicy i trzech kondygnacji nadziemnych kolumny, spadły niemal o całą kondygnację niżej, nie przewracając się (rys. 2a), a kolumna piwniczna zapadła się pod ziemię (rys. 2b). Najwięcej gruzu spadło do kondygnacji piwnicznej, która została częściowo zasypana i przez pewien czas nie było do niej dostępu. Udokumentowano też gwałtowny spadek dna zapadliska ku zachodowi oraz niszę, zapewne pochodzenia antropogenicznego (rys. 2c).



Rys. 1. Widok wschodniego i północnego skrzydła Zamku z Trasy Zamkowej: a) widok po rekonstrukcji z II wojny światowej [3] i b): współczesny wygląd [4].



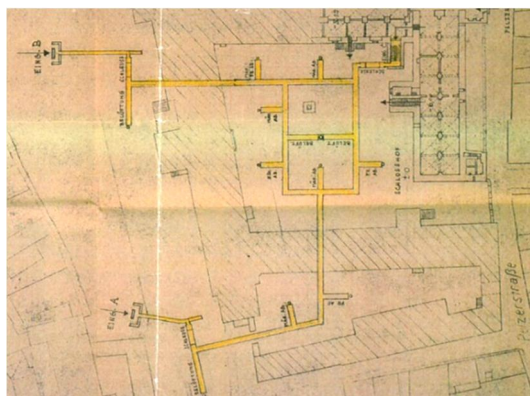
Rys. 2. a) stan filaru po katastrofie [4]; b) symulacja położenia kolumny po katastrofie na podstawie skanowania laserowego [2], c) fragment przekroju geologicznego w miejscu katastrofy kolumny [5].

Poza stratami materialnymi nikomu nic się nie stało, ale wydarzenie to rozpoczęło ponad 3-letnie śledztwo w zakresie ustalenia przyczyn [2, 5, 6] oraz dalsze prace i badania [7, 8, 9] w kierunku określenia czy pozostała części obiektu posadowiona na Wzgórzu Zamkowym jest bezpieczna.

2. Metody badań geotechnicznych i geofizycznych

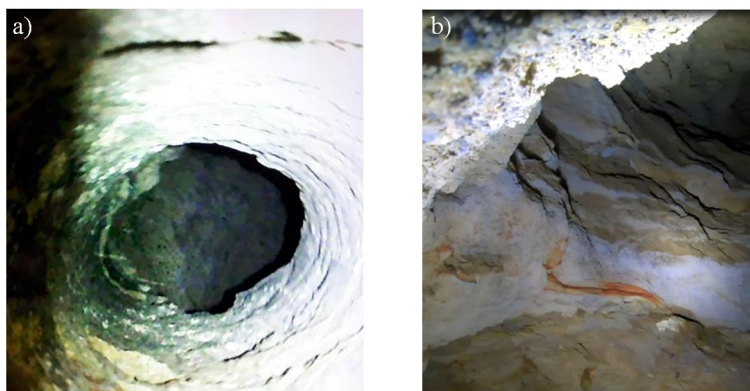
Opisany charakter katastrofy (zapadnięcie się zespołu kolumn na znaczną głębokość) oraz ustalenia ekspertów wskazywały (pomimo licznie już wykonanych badań na Wzgórzu Zamkowym) na możliwość istnienia obiektów lub otwartych przestrzeni w podłożu Zamku [2, 6]. Przypuszczenia te wynikały ze wskazań licznie rejestrowanych anomalii w badaniach

geofizycznych, które były odnoszone do odnalezionych planów budowy schronów z okresu wojny – rys. 3. Pomimo licznych prób (wiercenia) nie udało się potwierdzić w sposób bezpośredni stawianych hipotez. Jednocześnie uwarunkowania historyczne, liczne przebudowy i zmiany w zabudowie Zamku przyczyniały się do niekiedy błędnych tropów.



Rys. 3. Fragment planu z 1943 r. budowy schronu pod Zamkiem wraz z systemem tuneli. Projekt zakładał budowę schronu pod dziedzińcem Zamku na max. 1480 osób, wykonanie tuneli o łącznej długości ~760 m z dwoma wejściami usytuowanymi u podnóża skarpy oraz dodatkowym zejściem z podziemi Zamku [3].

W celu minimalizacji ryzyka prowadzenia dalszych prac związanych z modernizacją Zamku administratorzy obiektu uznali za niezbędne podjęcie dodatkowych badań geotechnicznych i geofizycznych. Pierwsze badania (wiercenia) wykonano w maju 2020 r., realizując zalecenia ekspertyzy [2] odnośnie weryfikacji podłoża na linii pomiędzy miejscem katastrofy, a zapadliskiem na tarasie północnym z lat 70-tych XX w. Ujawniono wtedy pustkę (rys. 4) w profilu wiercenia w przedziale głębokości ok. 12,5 do 16 m p.p.t. [7].



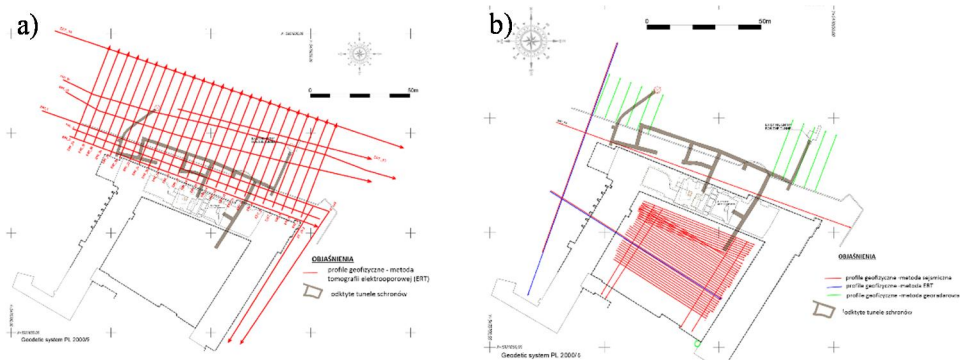
Rys. 4. a) widok pustki w odwiercie, b) widok z wewnątrz ujawnionej pustki po oględzinach kamerą w odwiercie, kamera skierowana w stronę ściany bocznej wskazuje na dużą kawernę na głębokość ok. 13,5 m.p.p.t. – na ścianie widoczna złożona struktura gruntów – naprzemiennie warstwy piaszczysto-gliniaste [8].

Odkrycie to dało przyczynek do realizacji kolejnych etapów prac o charakterze poszukiwawczo-weryfikacyjnym. Kolejne badania wykonano w lipcu 2020 r. [8] i wrześniu 2020 r. [9]. Zakres tych badań był ukierunkowanych na wykrycie lub wykluczenie obecności jakichkolwiek rodzajów podziemnych pustek w kontekście wskazanych możliwych przyczyn katastrofy słupa w skrzydle północnym Zamku. Łącznie w ramach badań dla etapu I i II wykonano

30 wierceń i 30 sondowań dynamicznych do maksymalnej głębokości 19,5 m.p.p.t., o łącznym metrażu ~475 mb wierceń i ~345 mb sondowań, głównie sondą DPH. Badania były sytuowane w miejscach stwierdzonych anomalii w badaniach geofizycznych.

W zakresie badań geofizycznych wykonano pomiary elektrooporowe dla 36 profili ERT (rys. 5a), o łącznej długości ponad 3000 mb. Przyjęta metodyka zakładała rozstawy elektrod co 2, 1 i 5 m, w układzie pomiarowym 4' 21 i 2' 21 m, co pozwoliło uzyskać dużą dokładność i prospekcję w przedziale 15–17 m p.p.t. w zależności od długości profili.

W zakresie profilowań sejsmicznych SRT wykonano łącznie 44 profile o sumarycznej długości ok. 2400 mb, głównie na obszarze dziedzińca Zamku (rys. 5b), gdzie pomiary wykonano w układzie równoległych profili co 1 m, przy rozstawie geofonów co 2 m. Pozwoliło to uzyskać prospekcję do ok. 20 m p.p.t. W obszarze dziedzińca Zamku pomiary wykonano w układzie równoległych profili co 1 m. Przyjęto rozstaw geofonów co 2 m. Wzbudzenie sygnału wykonywano młotem o masie 10 kg, co drugi geofon (co 4 m). Zastosowano geofony 10 Hz (rejestrujące częstotliwości >10 Hz). Badania wykonano wg metodyki 2D. Pomiary te były utrudnione z uwagi na drgania pochodzące z ruchu miejskiego. W celu poprawy jakości sygnały zastosowano wielokrotne wzbudzenie fali sejsmicznej (do 15 razy). Z uwagi na konieczność wskazania wejść do tuneli na skarpie wykorzystano również jako badanie pomocnicze płytkie profilowanie georadarem (GPR).



Rys. 5. Szkic położenia profili geofizycznych w obszarze Zamku na tle odkrytych tuneli; a) profile ERT w I etapie badań (wzdłuż tarasu oraz skarpy) [8], b) profile SRT i dodatkowe profile ERT oraz pomiary georadarem (GPR), etap II badań (głównie na dziedzińcu) [9].

Metoda tomografii elektrooporowej (ERT) została opracowana pod koniec XX w. i jest szeroko opisana np. w pracach: Loke i Barker, 1996, Loke i in. 2015, Loke 2016, Mościcki i Antoniuk 1998, Samouelian i inni 2005 oraz Zhadov i Keller 1994, za [8] i za [10]. W metodzie ERT rozkład oporności elektrycznej ośrodka modeluje się blokami w układzie 2D. Modelowanie takie umożliwia określenie zróżnicowania oporności ośrodka w kierunku pionowym i poziomym na powierzchni przekroju wzdłuż linii układu pomiarowego. Efektem końcowym serii pomiarów są rozkłady oporności pozornej w skali głębokości pozornej. Zbiór uzyskanych w ten sposób wyników może następnie być wizualizowany, przetwarzany, oraz interpretowany jakościowo i ilościowo w celu rozpoznania podłoża. Relikty obiektów historycznych zazwyczaj objawiają się w wynikach badań elektrooporowych, jako anomalie o podwyższonych opornościach elektrycznych (rzędu kilkuset, kilku tys. Ωm), np. miększe warstwy osadnicze, rumowiskowe, mury ceglane, nasypy, pustki.

Idea metody sejsmiki refrakcyjnej polega za założeniu, iż fala sejsmiczna rozchodzi się sferycznie w górotworze, od punktu wzbudzenia drgań, następnie dociera do granicy refrakcyjnej, na niej ulega załamaniu i ślizga się po jej powierzchni, a następnie powraca do

powierzchni terenu, gdzie jest rejestrowana przez czujniki (geofony). Aparatura sejsmiczna dokonuje automatycznego zapisu czasu przejścia fali od momentu jej wzbudzenia do momentu zarejestrowania przez geofon.

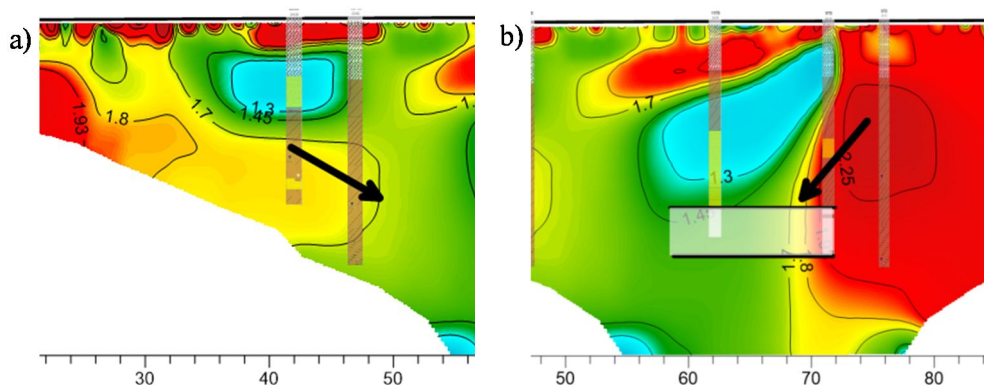
3. Wyniki

3.1. Badania geotechniczne i geofizyczne

Badania geofizyczne (profilowania ERT i SRT) i geotechniczne (wiercenia i sondowania) wykonywane w sposób metodyczny i komplementarny (sukcesywnie profilowania podłoża z jednoczesną weryfikacją wskazywanych anomalii) ujawniły istnienie w podłożu Wzgórza Zamkowego niezainwentaryzowanych dotychczas konstrukcji podziemnych (tuneli, schronów) z okresu niemieckiego miasta Szczecina. W kilku otworach w przedziale głębokości ok. 15,4–17,3 m.p.p.t (na rzędnej ok. 8,4–6,5 m n.p.m.) potwierdzono obecność opisanych konstrukcji. Za pomocą inspekcji kamerą potwierdzono i udokumentowano (zdjęcia i filmy) stan i rodzaj tych konstrukcji.

Otrzymane rozkłady oporności el. gruntów są bardzo zaburzone. Wynika to z obecności w podłożu: infrastruktury technicznej (kable elektryczne), miększej (kilkumetrowej) warstwy niejednorodnych nasypów oraz obiektów podziemnych (żelbetowych tuneli pełniących funkcję schronów).

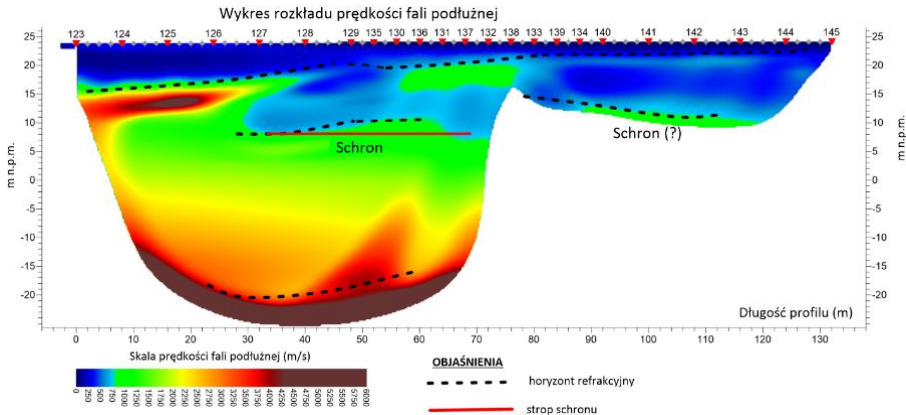
Na profilu ERT_3 zidentyfikowano wyraźną, pionową granicę rozdzielającą strefę niskich (<50 Ωm) i wysokich (>200 Ωm) oporności elektrycznych na długości 70-tego metra (rys. 6a). Wykonane w tym miejscu wiercenie (9ITB) wykazało na głębokości ok. 15,4–17,3 m p.p.t. pustkę w gruncie. Po wprowadzeniu kamery do otworu stwierdzono, iż nawiercona kawerna jest fragmentem żelbetowych tuneli – schronów niemieckich z czasów II wojny światowej. Podobne do opisanej wcześniej granicy między anomaliami nawiercono jeszcze na profilu ERT_3, na długości 50-tego metra. Wykonane w tym miejscu wiercenie (12ITB) wykazało obecność zawalonego korytarza schronu (rys. 6b). Zostało to również potwierdzone w profilowaniu SRT (rys. 7).



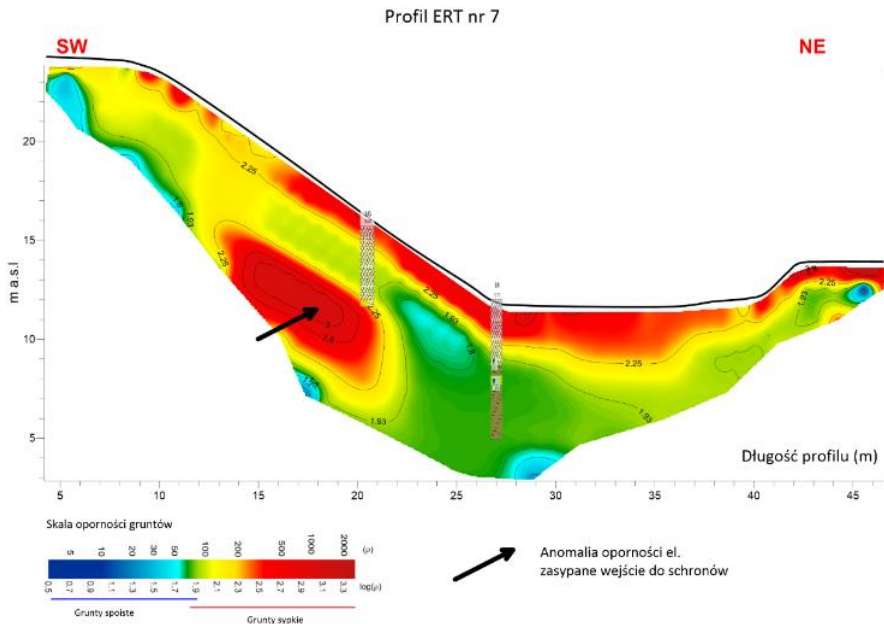
Rys. 6. Fragment profilu ERT_3 wzdłuż tarasu: a) anomalia od zasypanego schronu, b) anomalia z nanie-sionym zarysem tunelu/schronu [8 i 9].

W obszarze skarpy wykonano 28 profili ERT (25 po skłonie skarpy, 3 wzdłuż skarpy). Zmienność oporności elektrycznej jest tu bardzo szeroka: od kilkudziesięciu Ωm do ponad 500 Ωm . Wizualizację rozkładu oporności elektrycznej przygotowano w formie przekrojów 2D oraz modeli 3D. Na przekrojach 2D wyróżniono kilka anomalii o bardzo wysokich opornościach, które mogły wskazywać na obecność podziemnego schronu pod skarpą. Duża oporność strefy przypowierzchniowej może wskazywać też na znaczny udział nasypów ceglanych budujących skarpy w tych

miejscach. Wskazano anomalię elektrooporową, która jest wywołana działaniem podziemnego schronu. Na tej wysokości (w rzucie) otworem wiertniczym 9ITB na tarasie stwierdzono podziemną konstrukcję tunelu (rys. 8). Zestawienie wszystkich profili elektrooporowych pozwoliło na opracowanie obrazu trójwymiarowego w obrębie skarpy. Wizualizację 3D (rys. 9) pozwoliły na wydzielenie w obszarze podnóża skarpy dwóch wyraźnych anomali elektrooporowych, które najprawdopodobniej są wywołane obecnością zasypanych dwóch wyjść ze schronu lub zgodnie z zachowaną dokumentacją szybów wentylacyjnych.

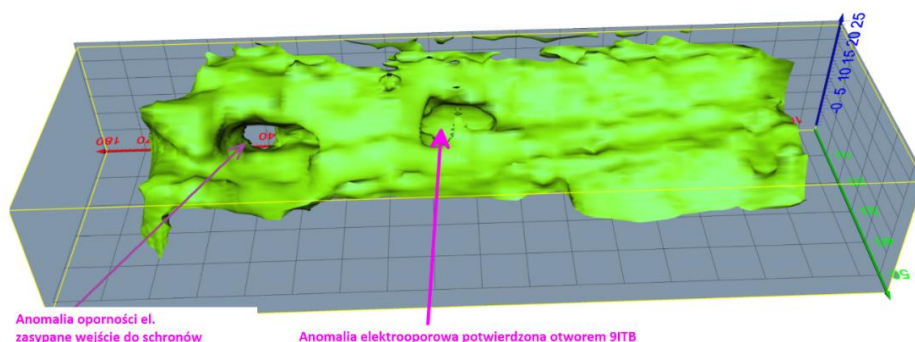


Rys. 7. Profil SRT_D3, wzdłuż tarasu północnego – kierunek zachód-wschód [9].



Rys. 8. Profil ERT_7, ok. 17 m na zachód od schodów w północno-wschodnim rogu tarasu. [8].

Wskazane na rys. 9 dwie anomalie z lewej strony występują ok. 12–17 m na zachód od schodów wybudowanych w NE rogu tarasu. Późniejsze badania wykazały istnienie zasypanego wyjścia ze schronów w tym miejscu. Natomiast wskazana anomalia w środku skarpy koreluje się z podziemnym schronem/tunelem, który został rozpoznany otworem 9ITB.



Rys. 9. Przykład wizualizacji 3D wyników badań geofizycznych (przestrzenne przedstawienie oporu dla wartości 140 Wm), dla profilu wzdłuż północnego zbocza skarpy, który opisuje anomalie wskazujące przebieg tuneli oraz jednego z wyjść ze schronu po wschodniej stronie stoku [8].

3.2. Inspekcja tuneli

Szczegółowy opis tych odkryć wraz z dokumentacją stwierdzonych tuneli zawierają sprawozdania z badań [8 i 9]. Większość podziemnych korytarzy wykonano metodą górniczą w konstrukcji z prefabrykowanych płyt i belek żelbetowych, o wysokości ok. 1,9 m i szerokości ok. 1,5 m (lokalnie występują poszerzenia i zwężenia tuneli). Analizując rodzaj konstrukcji (przez analogię do znanych tego typu obiektów w Szczecinie) uznano je za niemieckie tunele z czasów II wojny światowej, pełniące funkcję schronów (rys. 10).



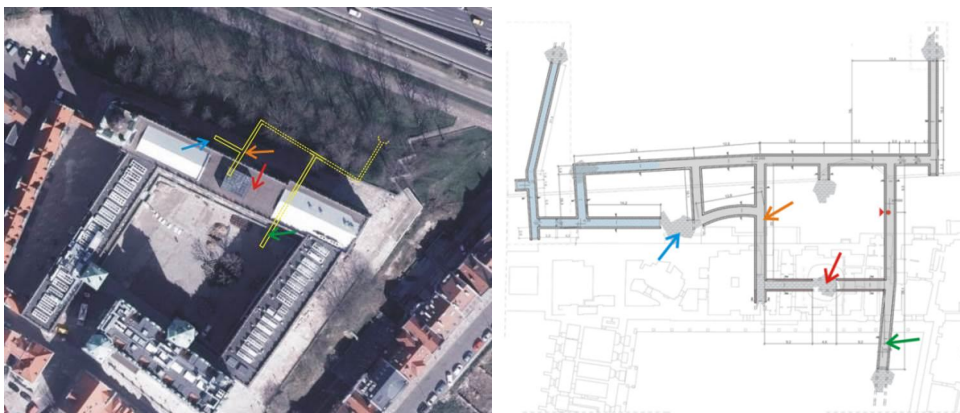
Rys. 10. Z lewej widok śluzy pod zachodnią częścią północną skarpy – widoczna woda na dnie tunelu oraz ślady historycznych lub okresowych poziomów jej występowania. Z prawej widok na tunel biegnący wzdłuż północnego zbocza skarpy – widoczny poziom maksymalnego zatopienia tunelu [9].

W miejscu potwierdzenia po raz pierwszy istnienia sieci tuneli (otwór 9 ITB – pomarańczowa strzałka na rys. 11) szczegółowa inspekcja kamerą wykazała istnienie rozwidlenia, od którego odchodzą trzy korytarze w kierunkach wzajemnie prostopadłych (północ, zachód, południe). Tym samym wykazano, że odkryta wcześniej kawerna w rejonie lokalizacja zapadliska z lat

70-tych XX w. (niebieska strzałka na rys. 11) jest ściśle powiązana z przebiegiem w sąsiedztwie opisanych tuneli.

Obiekty te w podłożu Wzgórza Zamkowego z uwagi na charakter konstrukcji (stosowanie obudowy wypełniającej z cegieł, po wykonaniu konstrukcji żelbetowej – strefa gruntu naruszonego wokół) oraz uwarunkowania związane z ich realizacją (liczne nieszczelności, szczególnie na etapach nieukończonych, zapadliska na przodkach) stanowią miejsca drenażu i uprzywilejowanego przepływu wód gruntowych. Uwarunkowania te prowadzą (co potwierdzono licznymi inspekcjami) do powstawania lokalnych pustek i kawern erozyjnych w różnych miejscach i na różną skalę, wzdłuż konstrukcji tuneli.

Badania wykonane w obrębie dziedzińca [9] ukierunkowano na potwierdzenie lub wykluczenia istnienia konstrukcji wg planów historycznych (schron na blisko 1,5 tys. osób – rys. 3). Analiza wyników rozkładu prędkości fal sejsmicznych na głębokości ok. 16 m p.p.t. (przybliżona głębokość położenia tunelu, który został wykryty wcześniejszymi wierceniami) pozwoliła wyróżnić dwie liniowe strefy obniżonych prędkości, zbliżone do hipotetycznych tuneli wrysowanych w archiwalnych planach niemieckich. Weryfikacja tych stref wierceniami oraz sondowaniami dynamicznymi (DPM, DPSH) wykazała, iż anomalie te wynikają z niejednorodności litologicznej gruntów rodzimych (obecność silnie zawodnionych warstw piaszczystych o niższym zagęszczeniu). Tym samym poza fragmentem w rejonie otworu 16ITB (strzałka zielona na rys. 11) nie potwierdzono istnienia innych konstrukcji podziemnych w podłożu pod dziedzińcami. Dodatkowe badania na dziedzińcu potwierdziły również wcześniejsze ustalenia wskazujące na złożony charakter występowaniem pierwszego poziomu wód gruntowych w obrębie Wzgórza Zamkowego (soczewy piaszczyste na różnych głębokościach, z wodą o zwierciadle napiętym), które mogą rzutować na analizę przyczyn katastrofy.



Rys. 11. Z lewej widok z góry na Zamek Książąt Pomorskich – wskazany (na żółto) zarys potwierdzonej i prawdopodobnej obecności podziemnych tuneli w rejonie tarasu i stoku, na podstawie przeprowadzonych badań z początku 2020 r. [8, 9] obok (z prawej) ustalona inwentaryzacja tuneli na podstawie bezpośredniej eksploracji pod koniec 2020 r. [11] – czerwona strzałka wskazuje miejsce katastrofy i zawalenia się stropu w ceglany tunelu. Pozostałe strzałki są wyjaśnione w tekście.

4. Dyskusja – uwarunkowania geologiczne i historyczne

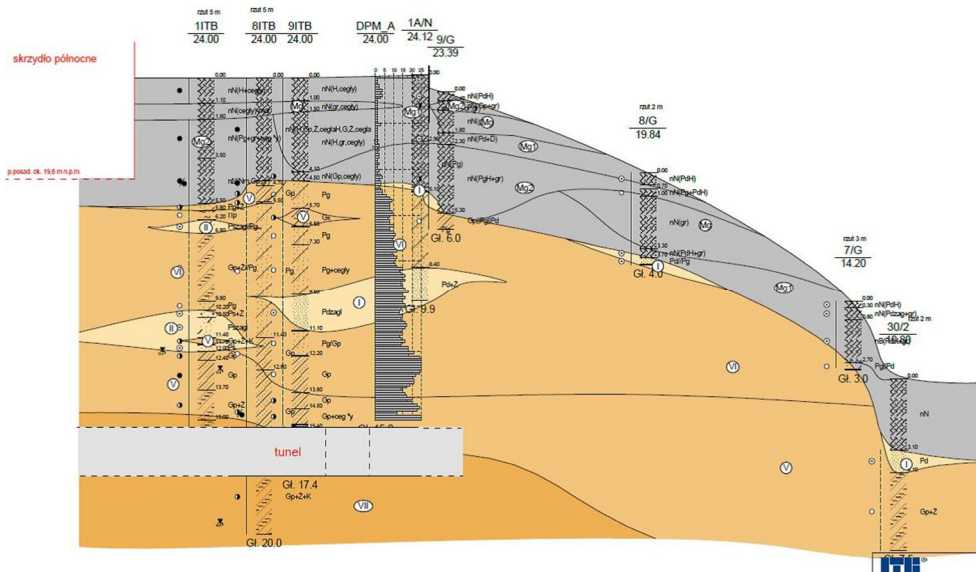
Pod względem morfologicznym analizowany teren leży na obszarze Wzniesień Szczecińskich tj. w obrębie falistej wysoczyzny morenowej, ograniczonej skarpami o charakterze erozyjnym, w bezpośrednim sąsiedztwie Doliny Dolnej Odry. Naturalna krawędź skarpy uległa istotnym przekształceniom antropogenicznym w związku ze stwierdzonym osadnictwem w tym miejscu

i budową Zamku [1, 12]. Powierzchnia terenu została nadbudowana warstwą nasypów, a powierzchnia skarpy podcięta poprzez budowę kamienic i oficyn. Skarpa od strony skrzydła północnego, o znacznym nachyleniu, ze stropem na rzędnej około 24,0 m n.p.m. opiera się o parów dawnej fosy miejskiej, której dno znajduje się obecnie na rzędnej od ok. 10,0 m n.p.m. przy ul. Panieńskiej do 17,3 m n.p.m. przy zachodniej części [12]. Skarpa, jak wskazują dotychczasowe liczne badania geologiczne i archeologiczne w swej górnej strefie (obszar tarasu i korony skarpy), jest nasypem (głównie średniowiecznym) o miąższości ok. 3–6 m, opartym na gruncie rodzimym. Na skłonie skarpy dominują powojenne nasypy gruzowo-ziemne, usypane w formie naprzemianległych warstw ułożonych konsekwentnie do nachylenia skarpy, miąższości tych nasypów sięga miejscami 5–6 m w części północnej i 7–8 m w części wschodniej (z uwagi na pozostałości starej zabudowy). W związku z trwającym w tym rejonie od ok. IX w. osadnictwem, a w szczególności wskutek budowy w XIII w. w miejscu dawnego grodu pierwszego murowanego zamku, oraz z powstaniem murowanych domów mieszkalnych wzdłuż ul. Panieńskiej (XIII –XV w.), naturalna krawędź doliny uległa daleko idącym przekształceniom antropogenicznym. Przekształcenia te polegały z jednej strony na nadbudowaniu naturalnej powierzchni terenu grubą pokrywą nasypów, z drugiej strony na wkopaniu w zbocze tylnych części oficyn i budynków gospodarczych na zapleczu domów przy ul. Panieńskiej [1]. Kolejne zmiany ukształtowania terenu miały miejsce po 1945 r., po zburzeniu ruin domów przy ul. Panieńskiej, a następnie w ostatnich latach, w związku z budową nowych kamienic na fundamentach dawnej zabudowy, oraz z uporządkowaniem terenu na ich zapleczu. W ramach tych robót wzdłuż podnóża skarpy, w pewnym oddaleniu od jej podstawy, wykonano żelbetowy mur oporowy, obecnie całkowicie pokryty gruntem – obecnie brak szczegółowych danych na temat lokalizacji tego muru.

Wykonane badania nie potwierdziły realizacji całego planowanego układu tuneli wg archiwalnych planów niemieckich. Można zakładać, że plany z jakichś powodów (m.in. niekorzystne warunki w podłożu lub postępujący ze wschodu front), nie zostały zrealizowane w pełni. Ujawnione w trakcie inwentaryzacji ustalenia wskazują na możliwe przesłanki, które „zaskoczyły” budowniczych tuneli i mogły również istotnie przyczynić się do powstania i rozwoju analizowanej katastrofy. W zakresie opisanych wcześniej ustaleń należy wskazać uwarunkowania geologiczne (gruntowo-wodne), związane z genezą i obecną sytuacją podłoża budującego Wzgórze Zamkowe (rys. 12).

Pod warstwą wielowiekowych nasypów (o miąższości 6–8 m) podłoże to zbudowane jest z plejstocénskich utworów glacialnych i głębiej wodnolodowcowych. Osady morenowe wykształcone są w postaci piasków gliniastych i glin piaszczystych z domieszką żwirów i z przewarstwieniami pyłów. Utwory morenowe przeważnie występują w stanie twaroplastycznym i półzwarłym do zwartego. W obrębie opisanego kompleksu utworów glacialnych (glin) występują liczne przewarstwienia i soczewki piaszczysto-żwirowe, o strukturze wskazującej na silne zaburzenia w skali mikro i makro, o charakterze glacictektonicznym (rys. 4b). Te uwarunkowania (w zakresie obserwowanej struktury gruntu) sprawiają, że warstwy te są bardziej predysponowane do opisanego wg Kamińskiego i in. [2] prawdopodobnego charakteru i mechanizmu zniszczenia gruntów. Osady budujące Wzgórze Zamkowe mają też liczne przewarstwienia piasków pylastych i pyłów, wrażliwych na zjawiska upłynnienia w przypadku zmiany warunków wodnych.

Opisana sytuacja miała miejsce w trakcie drążenia tuneli, w sytuacji, kiedy w trakcie prac natrafiono na przewarstwienie (soczewkę) nawodnionych piasków na trasie tunelu pod dziedzińcem. Widoczny nieukończony przodek (rys. 13a) to efekt „włania się” piasku z wodą do wnętrza tunelu, i pomimo próby budowy tymczasowej obudowy nie udało się zatrzymać zjawiska. Obecnie woda nadal przesącza się w tym miejscu.



Rys. 12. Fragment przekroju geotechnicznego z zaznaczonym położeniem tunelu w podłożu tarasu i skarpy północnej Zamku [9].

Przeprowadzona inwentaryzacja tuneli (rys. 13a), poza próba „ominięcia” problemu na dziedzińcu – o czym świadczą liczne ujawnione korytarze boczne, stwierdziła występowanie starszych konstrukcji zlokalizowanych pod skrzydłem północnym Zamku (rys. 13b).



Rys. 13. a) widok przodka niedokończonego tunelu pod dziedzińcem (za zieloną strzałką wg rys. 11 – widać stożek napływowy z zawodnionego piasku, zjawisko to miało charakter nagły o czym świadczy zasięg stropu już wykonanego w stosunku do położenia prowizorycznej obudowy (na pierwszym planie, b) widok na wschód w kierunku owalnego ceglanego tunelu wzdłuż skrzydła północnego – w głębi widoczne zawalenie znajdujące się bezpośrednio pod miejscem katastrofy, na ścianach widoczne wybrzuszenia i deformacje ścian tunelu, dno tunelu zalane (fot.: T. Godlewski).

Bezpośrednio w miejscu wystąpienia katastrofy odnaleziono owalny tunel o konstrukcji tradycyjnej (z cegieł na zaprawie wapienno-piaskowej), z widocznym zapadliskiem będącym efektem katastrofy. Tunel jest częściowo zalany, widoczne są ślady nacieków świeżych i długotrwałych (makarony na stropie). Cegły są miejscami zmurzałe, a na ścianach tunelu można wskazać wybrzuszenia i deformacje. Odkrycie to wskazuje w sposób bezpośredni na

charakter katastrofy (zapadlisko), ujawniając miejsce przemieszczenia się gruntu spod słupa. Obecność tunelu ceglanoego i jego wrażliwość na zmiany uwarunkowań środowiskowych (w zakresie wilgotności) wskazuje na przebieg zjawiska, czyli powstanie zapadliska na skutek utraty nośności konstrukcji tunelu. W toku dalszych analiz należy ustalić czynnik inicjujący widoczne skutki.

5. Wnioski

Przeszłość historyczna budowli ma kluczowy wpływ na zmienność uwarunkowań geotechnicznych [13, 14]. Warunki te zmieniają się wraz ze zmianą ustroju konstrukcyjnego, zmianą funkcji czy jedynie elementów architektonicznych (modnych w danym okresie użytkowania). Warunki wodno-gruntowe zmieniają się również z uwagi na przyrastające tzw. warstwy kulturowe (historyczne) czyli nasypy gromadzące się wokół, które mogą osiągać nawet kilka metrów. Grunty te powodują zmianę przepływu wód opadowych (nowe kierunki spływu), często powodują nierównomierne osiadanie. Zabytki doznają też licznych uszkodzeń wynikających z historii (pożary, dewastacje wojenne, bombardowania). Wymienione wyżej przyczyny (przebudowy, modernizacje i zniszczenia), wywołują charakterystyczne skutki w zakresie obecnego stanu konstrukcji i możliwości ich dalszego użytkowania. W przedmiotowym obiekcie działania wojenne, w tym realizacja projektów budowy podziemnych schronów, dodatkowo negatywnie wpłynęły na konstrukcję, doprowadzając w rezultacie do katastrofy. Ta jednak stała się przyczynkiem do weryfikacji legend i przypuszczeń odnośnie istnienia budowli podziemnych, co udało się potwierdzić wykorzystując dobrze zaplanowane badania geofizyczne i geotechniczne.

Nasuwa się też wniosek ogólny. Zabytkowe obiekty budowlane wznoszone były w czasach, kiedy budownictwo w zasadzie było „tylko” sztuką, a nie nauką [4]. W ich konstrukcji i w związkach pomiędzy obiektem, a podłożem mogą kryć się „niespodzianki”, które nie zawsze udaje się do końca rozpoznać, szczególnie w sytuacji złożonych uwarunkowań geologicznych i historycznych (gdzie nawarstwienia kulturowe, zniszczenia wojenne czy kolejne przebudowy dodatkowo komplikują taką ocenę). Jakakolwiek ingerencja (przebudowa, remont) w stan takiego obiektu, niesie za sobą ryzyko zainicjowania procesu, który wcześniej nie wystąpił i pozwolił mu przetrwać setki czy tysiące lat. Jednocześnie brak działań związanych z konserwacją obiektów zabytkowych prowadzi do ich stopniowej dewastacji (i w końcu zniszczenia), dlatego prace te są niezbędne, należy tylko pamiętać o konieczności prowadzenia rozszerzonych badań i analiz (geotechnicznych i konstrukcyjnych) w nawiązaniu do często burzliwej historii obiektu (i krążących legend).

Literatura

1. Igielska B., Kochanowska J., Pencarski K., Rybkiewicz J., Zdero R. (red.), Dworaczek M., Gut P., Gwiazdowska M., Koutny-Giedrys M., Łopuch M., Łopuch W., Ochendowska-Grzelak B.: Karty z dziejów Zamku Książęcego w Szczecinie, Zamek Książąt Pomorskich w Szczecinie, Tom I, 280 stron, Szczecin 2020.
2. Kamiński S. M., Nowaczyk S., Rzeźniczak J.: Ekspertyza techniczna dotycząca ustalenia przyczyn katastrofy budowlanej, jaka miała miejsce w dniu 11. maja 2017 r. w budynku Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie oraz jej oddziaływania na skrzydło północne Zamku Książąt Pomorskich, Szczecin 2019.
3. Archiwum Państwowe w Szczecinie, Zespół ANB, sygnatura II/3569;
4. Tarnawski M., Godlewski T.: Analiza przyczyn katastrofy budowlanej na Zamku w Szczecinie w świetle dotychczasowych ustaleń, Przegląd Geologiczny, vol. 69, nr 12/2021, 884–898.
5. Ober M.: Opinia geotechniczna do ekspertyzy na temat przyczyn katastrofy budowlanej z dnia 11 maja 2017 r. w pomieszczeniach usytuowanych po wschodniej stronie klatki schodowej – wejście

- B skrzydła północnego Zamku Książąt Pomorskich przy ul. Korsarzy 34 w Szczecinie, Szczecin 2019.
6. Lasocki M., Ostrowski Sz., Pacanowski G.: Sprawozdanie z badań geofizycznych w celu identyfikacji przyczyn katastrofy w NE skrzydle Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie, PIG-PIB, Warszawa 2018.
 7. Godlewski T., Łukasik S., Kaczyński Ł., Bogusz W., Jaśkiewicz K.: Opinia techniczna w zakresie geotechnicznych warunków posadowienia skrzydła północnego Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie po katastrofie budowlanej z dn. 11.05.2017 r., ITB Warszawa 2019.
 8. Godlewski T., Jaśkiewicz K., Niemyjska M., Mieszkowski R.: Sprawozdanie z badań geofizycznych i geotechnicznych podłoża skarp dotyczących kompleksowego zagospodarowania i modernizacji Tarasów Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie w kontekście geotechnicznych warunków posadowienia, ITB Warszawa, etap I, lipiec 2020.
 9. Godlewski T., Jaśkiewicz K., Niemyjska M., Mieszkowski R.: Sprawozdanie z badań geofizycznych i geotechnicznych podłoża w celu realizacji zadania pn.: Modernizacja i remont dziedzińców Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie oraz zadania pn.: Kompleksowe zagospodarowanie tarasów Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie w kontekście geotechnicznych warunków posadowienia, ITB Warszawa, etap II, wrzesień 2020.
 10. Kaczmarek Ł., Mieszkowski R., Kołpaczyński M., Pacanowski G.: Application of electrical resistivity tomography (ERT) In the investigation of Quaternary landslide zone, based on the selected regions of Płock slope, *Studia Quaternaria*, vol. 31, no. 2/2014.
 11. Sokołowski D., Olbrychowski Sz.: Inwentaryzacja tunelu podziemnego Zamku Książąt Pomorskich, ARIKARA, Szczecin 2020.
 12. Cnotliwy E.: Archeologia Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie. Muzeum Narodowe w Szczecinie, Szczecin 2014.
 13. Skempton A. W.: A History of Soil Properties, 1717–1927. Proceedings of XI International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Golden Jubilee Volume, A. A. Balkema, 95–121/1985.
 14. Maślakowski M.: Analysis of foundation and structural damages of the historic Oporów Castle, *Inżynieria i Budownictwo*, R 62, nr 6/2006, 313–314.

From legend to discovery – historical and geotechnical conditions related to the discovery of tunnels under the Castle Hill in Szczecin

Abstract: In the article, various geotechnical and geophysical surveys are described, which led to a discovery of potential causes of a structural failure at historical Castle of Dukes of Pomerania in Szczecin. The investigation resulted in discovery of an underground tunnel system constructed under the Castle, which existence was only suspected. The tunnels were constructed primarily during II World War but also before that period. The article summarizes facts discovered due to investigation as well as historical and geological background related to the execution of the reinforced concrete and masonry tunnels.

Key words: geotechnical research, geophysical methods, tunnels, historical object