

Wybrane problemy geotechniczne na terenach zurbanizowanych na przykładzie Trójmiasta

Dr inż. Grzegorz A. Horodecki

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Realizacja inwestycji budowlanych w terenach zurbanizowanych wiąże się z rozwiązywaniem wielu, niejednokrotnie nietypowych problemów geotechnicznych. Problemy te są związane z trudnymi warunkami w podłożu gruntowym, jak i z oddziaływaniami na zabudowę sąsiednią. Prawidłowe oraz zastosowane w odpowiednim czasie rozwiązania na etapie przygotowania inwestycji oraz jej realizacji pozwalają uniknąć licznych trudności technicznych, ekonomicznych i społecznych oraz zapewniają bezpieczne i bezawaryjne użytkowanie obiektu.

Wśród wybranych problemów geotechnicznych i (w pewnym zakresie) środowiskowych na terenach zurbanizowanych dotyczących projektowanych czy realizowanych nowych obiektów można z pewnym uproszczeniem wyróżnić dwie zasadnicze grupy – jedną związaną z podłożem w interakcji z konstrukcją oraz drugą wynikającą z uwarunkowań zewnętrznych – otoczenia inwestycji. Większość przypadków łączy w sobie w mniejszym lub większym stopniu oba zakresy. W pierwszej grupie można wyróżnić problemy związane zasadniczo z:

- specyficznymi warunkami gruntowymi w podłożu (grunty organiczne, kamienie i otoczaki, grunty zanieczyszczone, istniejące w podłożu stare konstrukcje – ceglane, drewniane lub betonowe);
- wodą gruntową (wysoki poziom wody gruntowej w odniesieniu do głębokości posadowienia, napięcie zwierciadła wody gruntowej, przepływ poziomy wody gruntowej, dolne źródła ciepła, problem zasolenia wody przy odwodnieniu wgłębnym, bardzo wysoki współczynnik filtracji, konieczny drenaż).

Druga grupa problemów dotyczy zagadnień wynikających przede wszystkim z:

- zabudowy sąsiedniej (bliskość zabudowy sąsiedniej, zabudowa zabytkowa, oddziaływania drgań, wykopu i odwodnienia);
- braku miejsca (realizacja obiektu po granicy działki, ograniczony miejscem zakres możliwych do zastosowania technologii).

W podobnym stopniu zakres powyższych problemów z obu grup łączy w sobie zagadnienia posadowienia budowli komunikacyjnych i kubaturowych na gruntach słabonośnych w sąsiedztwie istniejącej zabudowy.

Powyższy podział jest bardzo umowny i wprowadzony jedynie w celu uporządkowania zagadnień. W rzeczywistości powyższe problemy występują najczęściej łącznie w różnych konfiguracjach, co jeszcze bardziej komplikuje uwarunkowania projektowe i realizacyjne.

Odrębną grupę problemów stanowią zagadnienia związane z odbudową, rozbudową, przebudową, rekonstrukcją i wzmacnianiem istniejących – niejednokrotnie wielowiekowych – konstrukcji i budowli.

W artykule omówiono niektóre z powyższych zagadnień na podstawie przykładów zrealizowanych obiektów w Trójmieście.

SPECYFICZNE WARUNKI W PODŁOŻU

W przypadku obiektów z kondygnacjami podziemnymi posadowionymi w podłożu, w którym zalegają grunty organiczne, najczęściej grunty te mogą być usunięte i/lub częściowo wymienione na grunty nośne [29, 30, 37]. Z reguły jest to powiązane z wysokim poziomem wody gruntowej, co wymaga zastosowania odwodnienia wgłębnego.

W terenach zurbanizowanych na obszarach przemysłowych dodatkowy problemem może stanowić – niezależnie od głębokości posadowienia – zanieczyszczenie gruntów wydobywanych z wykopu [30]. Grunty zanieczyszczone stanowią zagrożenie środowiskowe i muszą być transportowane na specjalne składowiska odpadów niebezpiecznych. Stanowi to znaczne utrudnienie, a przede wszystkim zwiększenie kosztów realizacji robót ziemnych w wykopie.

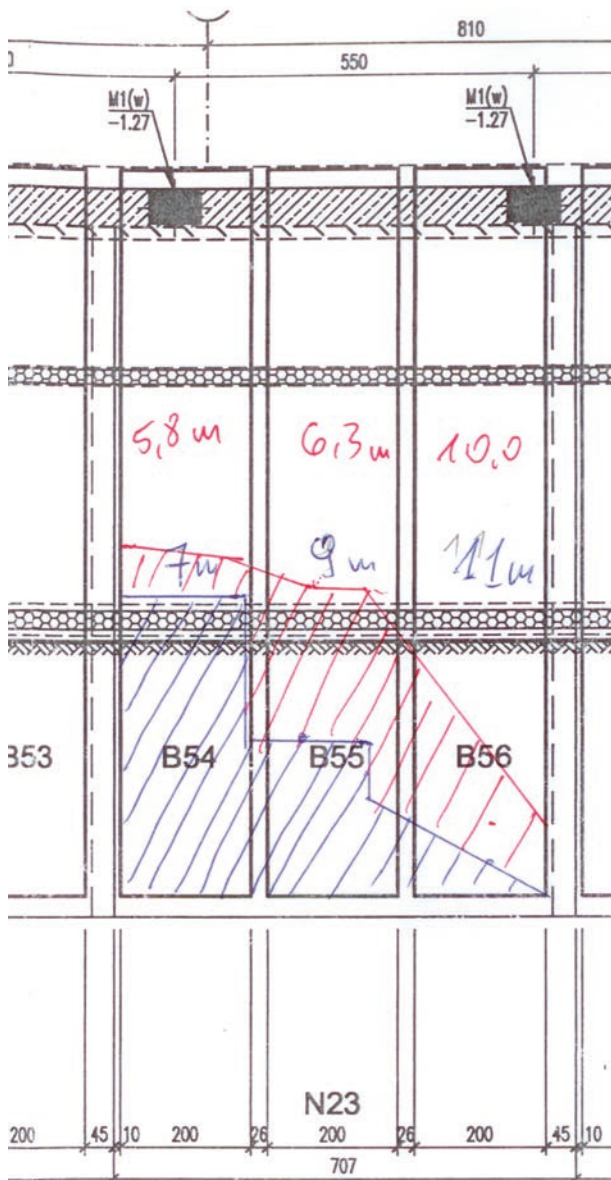
Na terenach wcześniej użytkowanych i zabudowanych w podłożu pozostają często stare konstrukcje po poprzednich obiektach, jak stare fundamenty i podziemne części konstrukcji [5, 14, 15], z reguły niezainwentaryzowane, obejmujące niejednokrotnie elementy zabytkowe, np. ceglane mury, pale drewniane, kaszyce, które nie dość, że stanowią utrudnienie w realizacji wykopu, to wymagają specjalnego traktowania. Podlegają one nadzorowi konserwatorskiemu i nieraz są przyczyną wstrzymania prac budowlanych i wznowienia badań archeologicznych. W strefach zabytkowych miast wymagania konserwatorskie mogą obejmować nie tylko prowadzenie prac pod nadzorem, ale również zachowanie elementów bądź większych fragmentów starych, zabytkowych konstrukcji, przeznaczonych do wbudowania [37] bądź wkomponowania jako całość [22] w nowopowstający obiekt. Wykonanie obudowy wykopu, a zwłaszcza realizacja robót ziemnych w takich warunkach, wymaga specjalnych rozwiązań oraz większego nakładu pracy, czasu i środków.

W przypadku występowania w podłożu fundamentów, konstrukcji podziemnych czy pali z czasów bardziej współczesnych (nie podlegających wymaganiom konserwatorskim) bardzo istotny jest dostęp do dokumentacji archiwalnych z obszaru projektowanego obiektu. Szczególnie utrudnia realizację oraz wymaga dostosowania rozwiązań projektowych również w trakcie realizacji sytuacja, w której brak dokumentacji archiwalnych bądź jest ona niepełna lub fragmentaryczna [1, 29, 30].

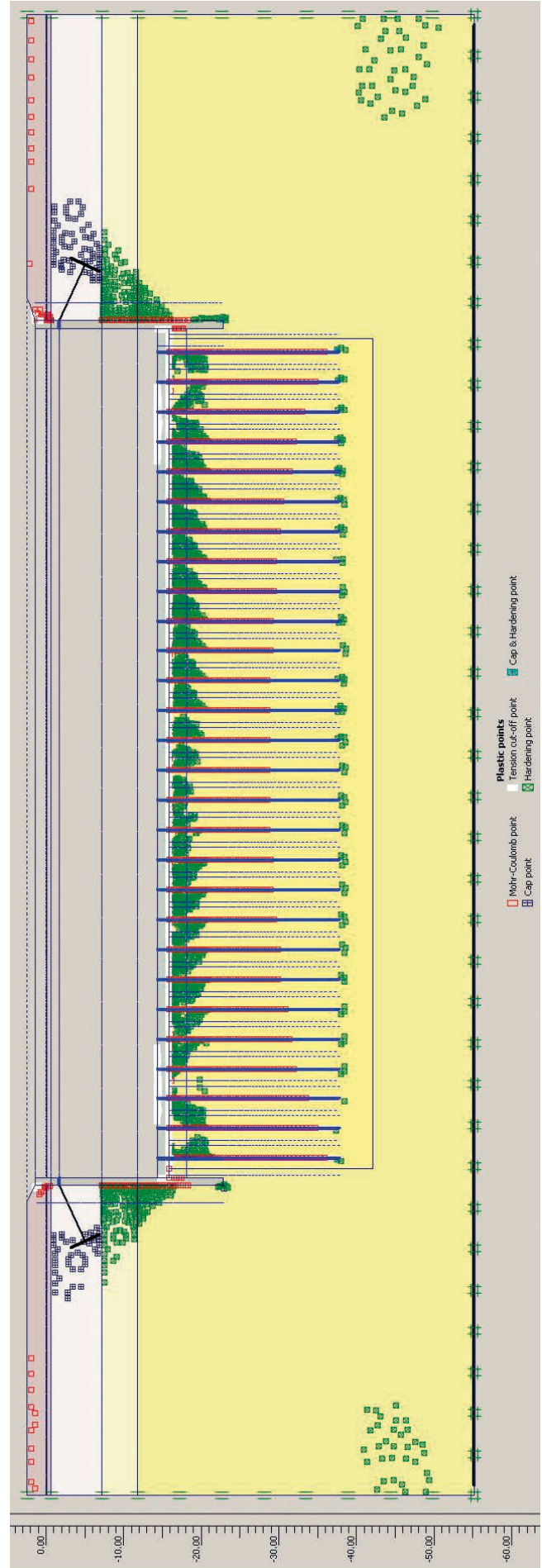
Duże problemy przy realizacji obudów wykopów w każdej lokalizacji, szczególnie w terenach zurbanizowanych może również sprawiać występujący czasami w podłożu, na większej głębokości, kamienny bruk. Przejście przez taką warstwę stanowi dużą trudność nie tylko w przypadku ścianki szczelnej (rys. 1) [19, 24], ale również ściany szczelinowej (rys. 2) [4, 26]. W kon-



Rys. 1. Uszkodzone podstawy ścianki szczelnej wciskanej przy realizacji tunelu w Sopocie [24]



Rys. 2. Brak możliwości wykonania dolnej części ściany szczelinowej ze względu na występujące w podłożu glazy [4]



Rys. 3. Analiza pracy korka betonowego – uplastycznienie w gruncie i materiale korka betonowego (Muzeum II Wojny Światowej) [15]

sekwencji ścianki szczelne „rozchodzą” się, tracąc szczelność (szczególnie przy hydraulicznej metodzie pograżania). Próby przebijania się przez takie warstwy w obu technologiach powodują istotne drgania w podłożu oddziałujące na zabudowę sąsiednią.

WODA GRUNTOWA

Posadowienie nowych obiektów znacznie poniżej poziomu wody gruntowej wymaga zastosowania odwodnienia wgłębnego [20 ÷ 23, 26, 30, 37] albo stosowania przesłon przeciwfiltracyjnych [6, 33, 34], korka betonowanego podwodnie [15, 16] lub stosowania innych technik, jak np. zamrażanie.

Odcięcie dopływu wody do wykopu z wykorzystaniem naturalnych warstw mało przepuszczalnych zalegających poniżej [13, 20 ÷ 24, 30, 37] nie zawsze jest rozwiązaniem wystarczającym ze względu na spełnienie warunku na wypór. W takiej sytuacji rozwiązaniem może być zastosowanie odwodnienia odciażającego czynnego (z pompowaniem z głębszych warstw) [20 ÷ 24, 30, 37] lub biernego (na samowylew) [16].

Są sytuacje, gdy odwodnienie wgłębne wykopu nie jest możliwe ze względów technicznych. Sytuacja taka występuje w przypadku, kiedy współczynnik filtracji w podłożu jest tak wysoki, że ilość potencjalnie pompowanej wody przekracza możliwości odbioru [6], bądź jest po prostu zbyt duża [15, 16] lub oddziaływanie takiego odwodnienia na zabudowę sąsiednią jest nieakceptowalne [33], a brak jest naturalnych przesłon w podłożu. Gdy ograniczenie dopływu wody uzyskane w takich przypadkach poprzez przesłonę przeciwfiltracyjną lub korek betonowany podwodnie nie zapewnia spełnienia warunku na wypór, rozwiązanie może stanowić odwodnienie odciażające czynne lub biernie [15], jak w przypadku przesłon naturalnych albo zakotwienie korka lub przesłony przeciwfiltracyjnej [34], bądź też połączenie obu z tych rozwiązań [15].

Występowanie wyraźnego przepływu wody gruntowej, jak np. w dolnym tarasie Trójmiasta – czasami o zmiennych kierunkach – stwarza konieczność stosowania specjalnych rozwiązań na etapie budowy, a przede wszystkim docelowo. Rozwiązania takie powinny zapewniać zachowanie niezmiennych warunków

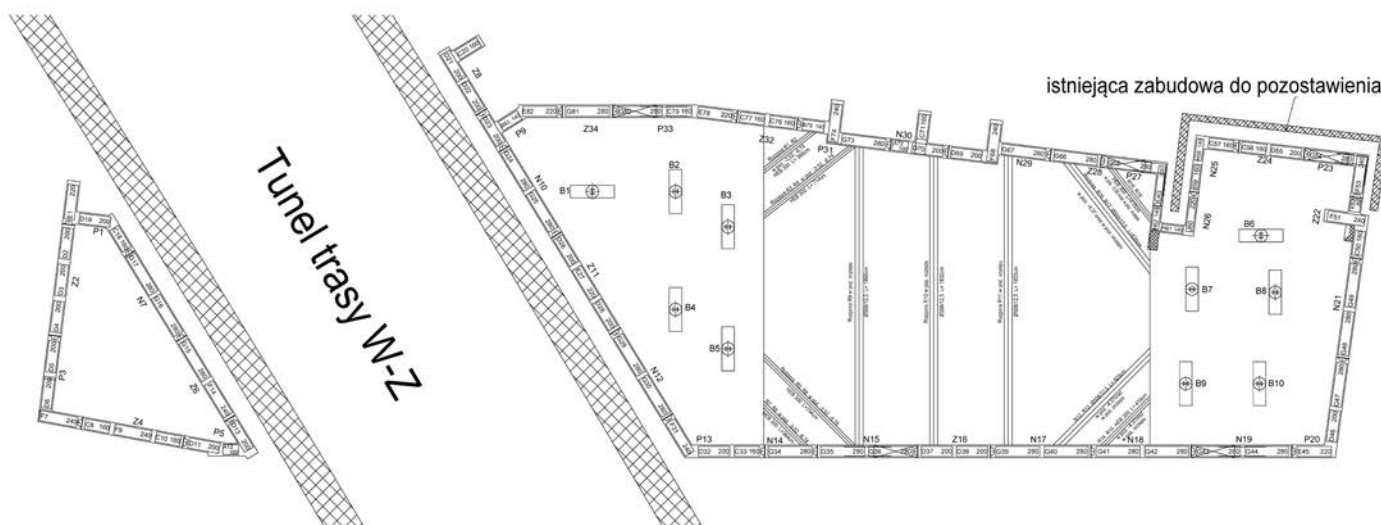
przepływu wód gruntowych, szczególnie w sytuacjach, gdy mogłoby to mieć wpływ na warunki użytkowania zabudowy i roślinności w sąsiedztwie.

W przypadku odwodnień wgłębnych związanych z realizacją wykopów głębokich zlokalizowanych w terenach nadmorskich w bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej o znacznym obniżeniu poziomu wody gruntowej, dużej wydajności i trwających dłuższy okres czasu, ze względu na specyfikę tego obszaru [12] występuje ryzyko zasolenia wód gruntowych. Wymaga to dostosowania rozwiązań mających na celu uzyskania suchego wykopu oraz bieżącego monitoringu [13, 20 ÷ 24, 30].

Odrębnym problemem dotyczącym obszarów z występującymi w podłożu w układzie nieregularnym gruntami spójnymi i niespójnymi (np. obszar Trójmiasta położony na górnym tarasie i styku z dolnym) związanym z wodą gruntową jest konieczność stosowania drenaży opaskowych wokół budynków [7, 18], szczególnie zlokalizowanych na skarpach. Niejednokrotnie inwestorzy – developerzy ze względów oszczędnościowych lekceważą ten problem, pomijając go w ogóle w rozwiązaniach budynków mieszkalnych, co skutkuje długotrwałymi problemami na etapie eksploatacji, kończącymi się nieraz procesami sądowymi. Koszt realizacji drenażu na takim etapie przekracza wielokrotnie koszt prawidłowego rozwiązania na etapie budowy.

BRAK MIEJSCA I BLISKOŚĆ ZABUDOWY

W terenach zurbanizowanych – ze względu na koszt gruntów inwestycyjnych – powszechną praktyką stosowaną przez inwestorów jest maksymalne wykorzystanie posiadanej działki. Oznacza to przyjęcie części podziemnej obiektu po granicy działki [3, 28, 37]. Wymaga to od projektanta zastosowania specjalnych rozwiązań, a od wykonawcy bardzo dużej dokładności w trakcie realizacji obudowy wykopu, stanowiącej jednocześnie docelowe ściany kondygnacji podziemnych. Dodatkowo utrudnienie stanowi często zabudowa bądź infrastruktura komunikacyjna w bezpośrednim sąsiedztwie lub pod działką inwestycyjną, jak to miało miejsce przy realizacji budynku biurowo-usługowego przy ul. Senatorskiej w Warszawie [5, 27], pod którym przebiega tunel trasy W-Z (rys. 4).



Rys. 4. Rzut ścian szczelinowych. Budynek biurowo-usługowy przy ul. Senatorskiej w Warszawie [27]

Innym przykładem takiej sytuacji może być obudowa wykopu części podziemnej Nowego Centrum Sopotu (w tym nowego dworca kolejowego), realizowana w bezpośrednim sąsiedztwie czynnych torów kolejowych z bardzo ograniczoną przestrzenią do wykorzystania [3]. Ponieważ przyjęto dość nietypowe rozwiązanie części podziemnej zakładające brak przenoszenia sił poziomych z obudowy na docelową konstrukcję, jako docelową ścianę części podziemnej przyjęto palisadę kotwioną kotwami stałymi i oddylatowaną od konstrukcji obiektu. Ze względu na ograniczone miejsce rozwiązanie stanowiła dwupoziomowo kotwiona palisada z pali CFA z kleszczami w górnym poziomie w postaci czterech profilów HEB (rys. 5) z podkuciem pali w miejscu ich osadzenia [3, 28].

Problemy związane na sąsiedztwie zabudowy (często zabawkowej) wiążą się z wpływem takich czynników, jak: – drgania generowane w trakcie różnego rodzaju prac na budowie: pograżanie ścianek szczelnych [np. 20, 14, 29], rozbijanie starych istniejących elementów metodami inwazyjnymi [14], zagęszczanie warstw gruntów (pod obiekty, zasypy wokół budynków, warstwy nasypów komunikacyjnych, warstwy konstrukcyjne nawierzchni [14]); – odwodnienie wykopu; – oddziaływanie wykopu.

Rozwiązaniem powyższych problemów jest dostosowanie technologii do konkretnych warunków: – stosowanie metody hydraulicznej do wciskania ścianki szczelnej w sytuacjach

tego wymagających [20 ÷ 24, 30]; – stosowanie metod bezinwazyjnych do kruszenia starych elementów z wykopu [14, 29]; – zagęszczanie metodami wytwarzającymi drgania o mniejszym zakresie i szkodliwości lub statycznymi [14]; – projektowanie odwodnień (w przypadku wykopów głębokich, studnie wewnętrzne obudowy) tak, aby oddziaływanie leja depresji było najmniejsze i nie powodowało negatywnych skutków w zabudowie sąsiedniej [20 ÷ 24, 38]; – projektowanie wykopów głębokich tak aby zminimalizować oddziaływanie na zabudowę sąsiednią [np. 20 ÷ 24, 26, 37].

Problem oddziaływań wykopów głębokich szeroko omówiono w [11].

Występowanie w podłożu gruntów organicznych wymaga – w przypadku posadowienia obiektów kubaturowych bez kondygnacji podziemnych bądź obiektów komunikacyjnych – odpowiedniego rozwiązania. Problemy w takiej sytuacji wiążą się z: – zagrożeniem zabudowy w wyniku wymiany gruntu (wykopy); – zmianą warunków filtracyjnych podłoża w wyniku wymiany gruntu; – generowanymi drganiami przy wzmacnianiu podłoża (np. zagęszczanie dynamiczne DC, wymiana dynamiczna DR, mikrowybuchy) lub wykonywanie pali (np. prefabrykowane [2], Franki, Vibro-Fundex),

Możliwe rozwiązania to: – w przypadku negatywnego oddziaływania stosowanie pali w technologiach niegenerujących drgań [2]; – stosowanie metod wzmocnienia nie wytwarzających drgań lub stosowanie metod alternatywnych posadowienia na gruntach słabonośnych np. odciążenie podłoża [31], maty geosyntetyczne [17].

WYBRANE PRZYKŁADY ZREALIZOWANYCH ROZWIĄZAŃ PROBLEMÓW GEOTECHNICZNYCH

Europejskie Centrum Solidarności

Europejskie Centrum Solidarności stanowi budynek o zmiennej liczbie kondygnacji nadziemnych i jednej podziemnej. Bryła obiektu składa się z dwu zasadniczych części: niższej – południowej i wyższej – północnej. Obiekt posadowiono bezpośrednio na gruncie, na rzędnej -3,1 m n.p.m., lokalnie (w przegłębieniach) na rzędnej -4,0 m n.p.m. Skrzynię fundamentową wykonano w technologii „białej wanny”.

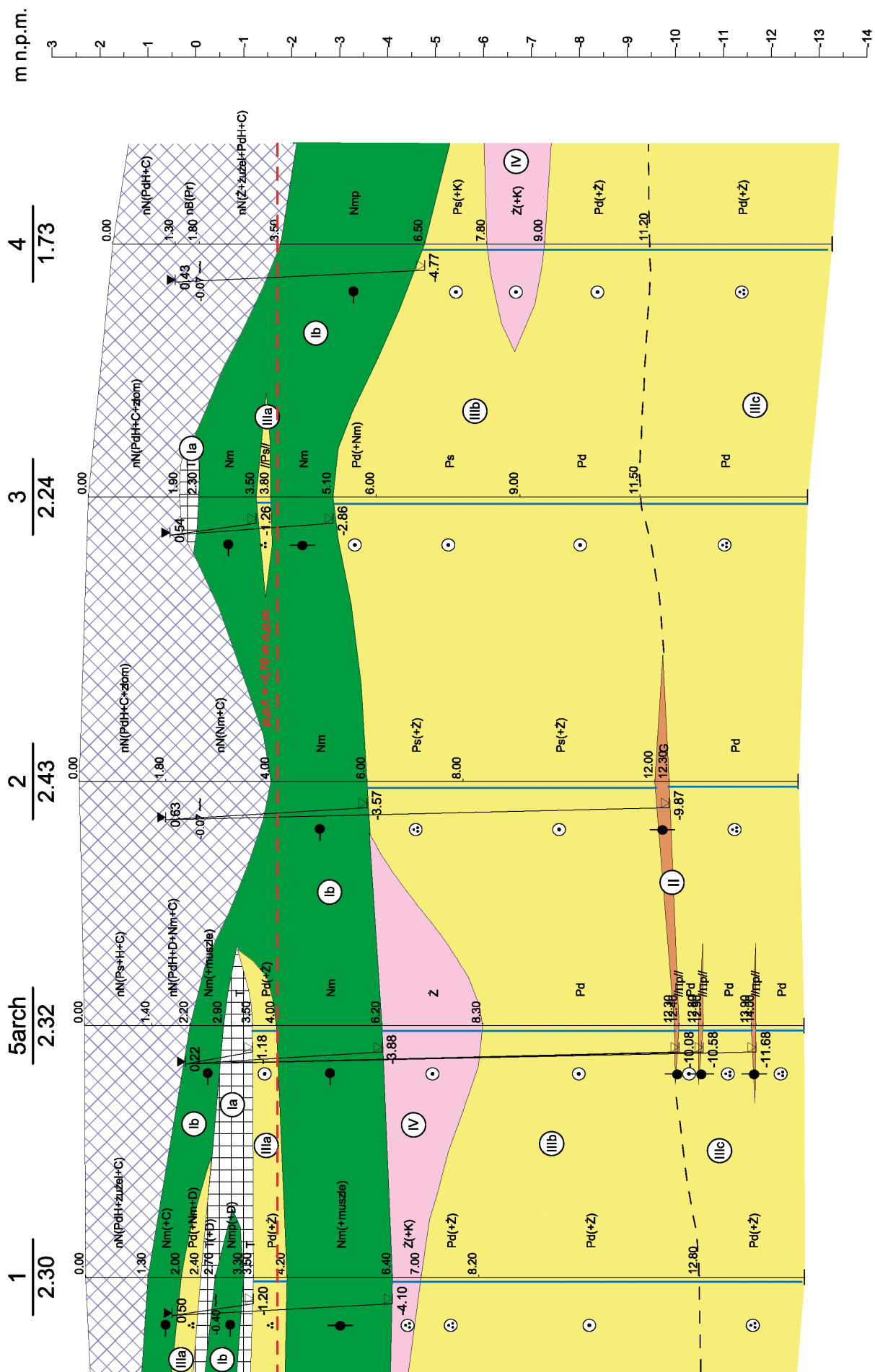
W podłożu od powierzchni terenu występowały nasypy gruzowo-mineralno-organiczne o miąższości 1,3 ÷ 4,0 m zbudowane z piasków drobnych, piasków drobnych próchnicznych z domieszkami żużla, namulów oraz gruzu ceglanego i betonowego [8]. Poniżej nasypów do głębokości 4,7 ÷ 6,5 m zalegały organiczne utwory aluwialno-bagienne w postaci torfów i namulów. Utwory organiczne były przewarstwione utworami piaszczystymi, tj. piaskami drobnymi, piaskami średnimi i utworami frakcji grubszej, tj. żwirami i pospółkami. Głębsze podłoże gruntowe jest zbudowane z piasków drobnych i średnich, które na większości terenu zawierają domieszki żwirów lub kamieni oraz pospółki z domieszkami kamieni i otoczków. Na głębokości około 10,0 ÷ 18,0 m p.p.t. występują przewarstwienia o niewielkiej miąższości w postaci pyłów piaszczystych, glin pylastych oraz piasków gliniastych. Charakterystyczny przekrój geotechniczny przedstawiono na rys. 7.



Rys. 5. Budowa Nowego Centrum Sopotu. Kleszcze górnego poziomu



Rys. 6. Budowa Nowego Centrum Sopotu. Wykop – I faza



Rys. 7. Budowa ECS w Gdańsku. Przekrój geotechniczny (zaznaczony wstępny poziom posadowienia) [8]

W przypadku ECS jednym z problemów było zaleganie w podłożu gruntów organicznych oraz – ze względu na lokalizację na terenie dawnej Stoczni Gdańskiej – silne zanieczyszczenie gruntów i występowanie pod powierzchnią terenu starych konstrukcji.

Zawartość metali ciężkich (Zn, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu i Hg) w warstwie do głębokości 0,3 m p.p.t. przekraczała wartości dopuszczalne w zakresie pierwiastków [8]: ołów, cynk, miedź i rtęć; w warstwie 2,0 ÷ 2,5 m p.p.t.: przekroczenia wartości dopuszczalnych dotyczyły ołowiu i cynku. Zawartość oleju mineralnego (suma węglowodorów alifatycznych C12 – C35) znacznie przekraczała wartości dopuszczalne do głębokości 0,3 m p.p.t. oraz w mniejszym stopniu w warstwach o głębokości 2,0 ÷ 2,5 m p.p.t. Zawartość węglowodorów aromatycznych BTEX przekraczała wartości dopuszczalne na części obszaru w zakresie głębokości do 0,3 m p.p.t. oraz lokalnie w zakresie głębokości 2,0 ÷ 2,5 m p.p.t. Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych WWA przekraczała wartości dopuszczalne na głębokości do 0,3 m p.p.t.: na części obszaru zaś na głębokości 2,0 ÷ 2,5 m p.p.t. lokalnie w znacznym zakresie. W związku z powyższym wierzchnie warstwy gruntów wywożono na odpowiednie składowisko.

Ze względu na zaleganie w podłożu gruntów organicznych rozważano początkowo posadowienie obiektu na palach lub podłożu wzmocnionym (na rzędnej -1,7 m n.p.m.). Ponieważ miąższość gruntów słabonośnych pozostających po usunięciu gruntu pod kondygnację podziemną była niewielka (głębokość zalegania gruntów słabonośnych wynosiła około 5 ÷ 6 m, lokalnie do 8 m) zdecydowano zwiększyć wysokości części podziemnej poprzez obniżenie poziomu posadowienia oraz wykonać lokalną wymianę gruntu. Pozwoliło to na bezpośrednie posadowienie obiektu na płycie. O ile zanieczyszczenie podłoża było stosunkowo dobrze rozpoznane na etapie projektowania i nie stanowiło zaskoczenia, to konstrukcje podziemne, jak liczne pale żelbetowe i drewniane (palisada z pali drewnianych w poprzek wykopu) oraz kanał Drewnicy przebiegający w poprzek wykopu obudowany żelbetowymi brusami były dodatkowym utrudnieniem w wykonawstwie. Kolejnym czynnikiem utrudniającym realizację była instalacja dolnego źródła ciepła, która wiązała się z wykonaniem 110 odwiertów do głębokości 90 m (od powierzchni terenu) pomiędzy 42 studniami odwadniającymi wykop o powierzchni 1 ha.

W projekcie [30] przyjęto realizację obiektu w wykopie zabezpieczonym ścianką szczelną. Z dwóch naprzeciwległych

stron ścianka miała być tracona (ze względu na brak miejsca, wynikający z granicy działki z jednej strony i lokalizacji historycznego muru przy pomniku Solidarności z drugiej strony), w pozostałych odzyskiwalna. W celu uniknięcia zaburzenia przepływu wody gruntowej oraz biorąc pod uwagę docelowe funkcjonowanie pomp ciepła na etapie realizacji dopuszczono zamianę jedynie części obudowy wykopu ze ścianki szczelnej na ścianę szczelinową (w zakresie ścianki szczelnej traconej).

W podłożu w obszarze wykopu występujące nieciągłe przewarstwienie w postaci gruntów spoistych ograniczało w pewnym zakresie dopływ wody z dolnych warstw do wykopu. W rzeczywistości budowa podłoża była bardziej zróżnicowana niż wynikałoby to z dokumentacji geologicznej i hydrogeologicznej, o czym świadczyły skrajnie różne (od wartości 0,25 do 16 m³/h) wydatki w poszczególnych studniach. Wykonanie na etapie realizacji około 110 odwiertów pod dolne źródła ciepła do głębokości około 90 m spowodowało napływ większej ilości wody z głębszych warstw poprzez przebicia wzdłuż sond ciepła. Konieczne okazało się wykonanie dodatkowych czterech studni do głębokości 20 ÷ 22 m w celu przechwycenia wody z głębszych warstw i uniemożliwienia jej wypływu w dnie wykopu i degradacji podłoża. Napływ wody z dolnych warstw zwiększył wydatek sumaryczny z około 200 do 600 m³/h. W trakcie zwiększonego pompowania zachodziła obawa zasolenia wody. Choć wykonane badania wykazały zwiększoną zawartość chlorków, mieściła się ona w zakresie wartości dopuszczalnych i występujących w przeszłości w tym miejscu.

Inne nietypowe zjawisko zaobserwowano przy wyciąganiu ścianki szczelnej. Przy wyciąganiu hydraulicznym adhezja między ścianką a głębiej zalegającym gruntem była tak duża, że powodowała wyciąganie wraz z profilami bryły gruntu o szerokości (łącznie z obu stron) sięgającej 1 m, co powodowało zapadanie się gruntu wokół ścianki. Zmiana metody na wibracyjną oraz wyciąganie w różnej kolejności pozwoliły na wyciągnięcie pozostałej ścianki.

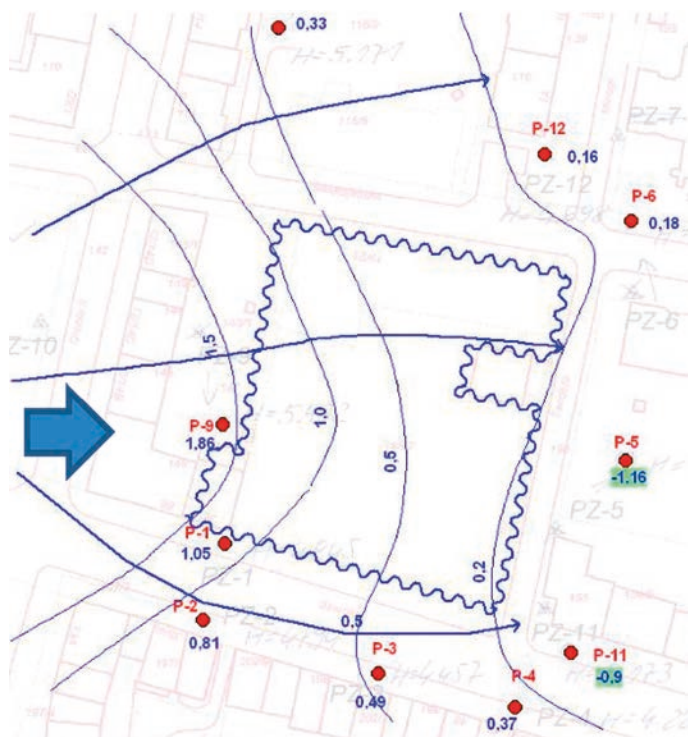
Kwartal Kamienic

Zespół Mieszkalno-Usługowy Kwartal Kamienic zaprojektowano i zrealizowano jako całkowicie podpiwniczony budynek o 4½ kondygnacjach nadziemnych. Część podziemną stanowią dwie kondygnacje garażowe. Obiekt posadowiony jest bezpośrednio na gruncie na rzędnej -2,24 m n.p.m., lokalnie w przegłębieniach (-3,79 m n.p.m.).

W podłożu od powierzchni występowały nasypy niekontrolowane gruzowo-mineralno-organiczne o miąższości 2,60 ÷ 4,50 m, z zawartością gruzu ceglanego >50% [9]. W podłożu stwierdzono także występowanie na różnych głębokościach pozostałości przedwojennej zabudowy: starych fundamentów, posadzek lub murów. Poniżej nasypów zalegały warstwy torfów oraz namulów z soczewkami gruntów niespoistych o miąższości 1,9 ÷ 2,9 m. Głębsze podłoże jest zbudowane z piasków drobnych i średnich oraz pospółek i żwirów. W obrębie warstwy żwirowej natrafiono na kamienie różnej wielkości oraz głązy. Na głębokości około 11,5 ÷ 13,0 m p.p.t. występuje przewarstwienie pyłów piaszczystych o miąższości około 0,2 ÷ 0,9 m. Ustabilizowane zwierciadło wód gruntowych stwierdzono na głębokości 1,35 ÷ 1,67 m n.p.m. Charakterystyczny przekrój geotechniczny przedstawiono na rys. 9.



Rys. 8. Budowa ECS w Gdańsku. Widok wykopu – widoczne żelbetowe elementy do usunięcia oraz sondy gruntowych pomp ciepła



Rys. 10. Schemat hydroizohips przed rozpoczęciem odwodnienia po wykonaniu obudowy ze ścian szczelinowych (obrys ścian oznaczony według projektu pierwotnego) [38]. Strzałka oznacza kierunek splotu wód podziemnych

– odcinającej dopływ z dołu. Usunięcie gruntów organicznych wraz z elementami starej zabudowy, w tym znacznej liczby pali drewnianych, stanowiło kolejne utrudnienie prac. Ze względu na niewielkie oddziaływanie nie wzmocniano budynków sąsiednich. Wykonano jedynie wzmocnienie w postaci mikropali pod niewielką część nowego budynku przewieszoną poza obrys ścian szczelinowych stykającą się ze starą zabudową, gdzie wykonanie wykopu nie było możliwe ze względu na istniejącą infrastrukturę podziemną niemożliwą do przełożenia (brak miejsca). Część płyty fundamentowej w obszarze docelowo nieobciążonym zakotwiono ze względu na wypór wody.

Pomimo niewielkich wymiarów wykopu (62×52 m) zaobserwowano wyraźny wpływ obudowy stanowiącej przeszkodę dla spływających wód na układ zwierciadła wody. Według danych z dokumentacji geologiczno-inżynierskiej i hydrogeologicznej poziom wody gruntowej kształtował się na rzędnych od $0,49 \div 0,83$ m n.p.m. do $1,35 \div 1,67$ m n.p.m. w zależności od czasu badań, jednakże różnice w momencie pomiarów na tym terenie były rzędu $0,32 \div 0,34$ m. Po wykonaniu ścian szczelinowych przed rozpoczęciem odwodnienia poziom wody gruntowej od strony napływu wyraźnie wzrósł, zaś po stronie odpływu obniżył się (rys. 10). Różnica wartości po obu stronach wynosiła ponad 3 m – prawie dziesięciokrotnie więcej niż różnice obserwowane przed wprowadzeniem zakłócenia przepływu w postaci ścian szczelinowych.



Rys. 11. Widok na Centrum Haffnera w trakcie realizacji (fot. NDI S.A.)

Centrum Haffnera

Centrum Haffnera (wcześniej o nazwie Centrum Sopotu) obejmuje sześć zlokalizowanych w niewielkiej odległości obiektów zaprojektowanych i zrealizowanych w ramach jednej inwestycji:

Dom Zdrojowy – zlokalizowany w bezpośrednim sąsiedztwie mola, w miejscu historycznego, spalonego w czasie II Wojny Światowej „Domu Kuracyjnego”. Wszystkie obiekty wybudowane w tym miejscu po wojnie przeznaczono do rozbioru. Zachowano dwa obiekty zabytkowe: Rotunda (jedna ściana) i Muszla Koncertowa. Budynek składa się z czterech kondygnacji naziemnych przeznaczonych na usługi hotelowe, gastronomiczne, rozrywkowe, kulturalne i mieszczące sale konferencyjne oraz części podziemnej przeznaczonej przede wszystkim na parking.

Hotel Sheraton – budynek sześciokondygnacyjny zlokalizowany w bliskim sąsiedztwie mola w miejscu istniejącego niegdyś hotelu na terenie wykorzystywanym wcześniej jako parking. Obiekt stanowi przedłużenie Domu Zdrojowego, z którym jest połączony za pomocą dwukondygnacyjnego łącznika. Budynek jest częściowo podpiwniczony. W najbliższym sąsiedztwie hotelu znajdują się dwa obiekty.

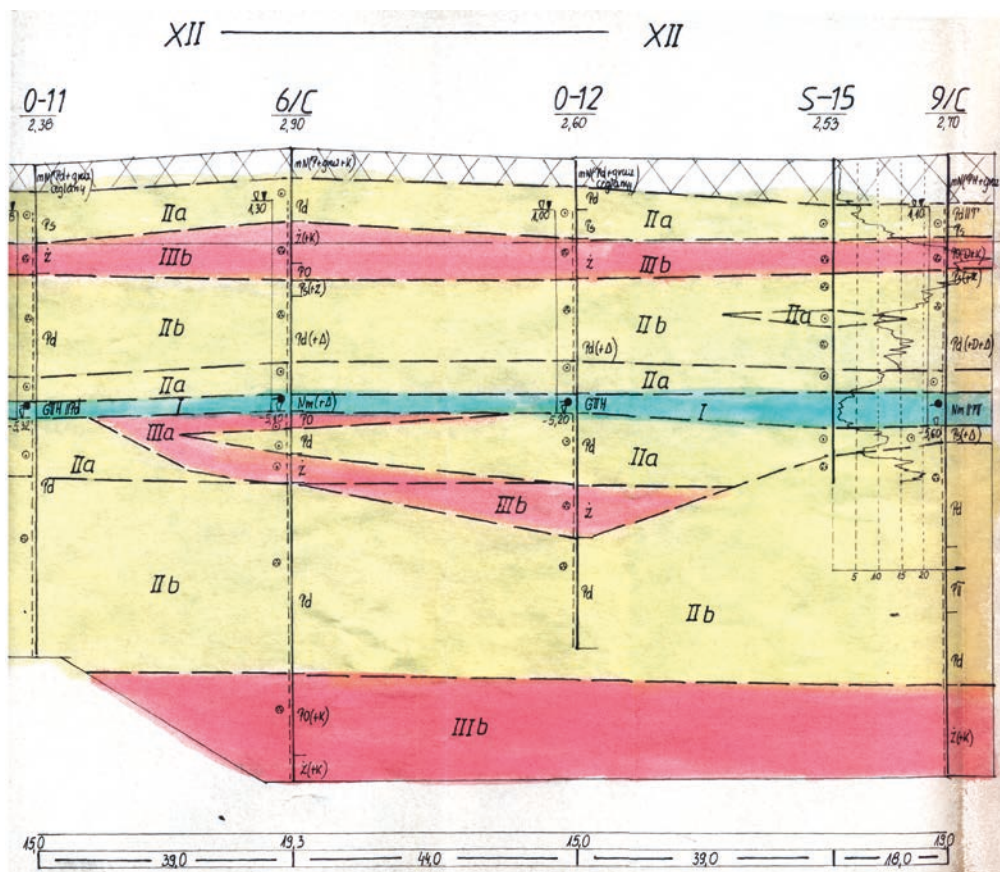
Centrum Handlowo-Usługowe z multikinem – budynek zlokalizowano na działce pomiędzy ulicami: Bohaterów Monte Cassino, Królowej Jadwigi, Morskiej i Powstańców Warszawy. Budynek ma jedną kondygnację podziemną przeznaczoną na parking oraz pomieszczenia techniczne i zróżnicowaną wysokość naziemną. Zlokalizowane w nim jest multikino oraz różnego rodzaju usługi i pomieszczenia biurowe. W sąsiedztwie budynku handlowo-usługowego znajduje się dziesięć obiektów.

Tunel pod ulicą Bohaterów Monte Cassino (tzw. deptak) – konstrukcja półdłukowa ciężka o długości około 180 m wraz z rampami zjazdowymi, w tym 70 m samego tunelu, posadowiony na głębokości $-3,2 \div -3,7$ m n.p.m. Pod płytą fundamentową przejście potoku Bohaterów Monte Cassino syfonem $2 \times \phi = 1000$ mm posadowionym na rzędnej $-3,8$ m n.p.m.

Budynek parkingowo-biurowy – pięciokondygnacyjny obiekt zlokalizowany naprzeciw Grand Hotelu – składa się z trzech zasadniczych części: niższej – garażowej oraz dwóch nadbudowanych części wyższych przeznaczonych na cele biurowe. W sąsiedztwie budynku znajduje się bezpośrednio 10 obiektów, z czego jeden budynek bezpośrednio przyległy.

Budynek mieszkalny – trzykondygnacyjny obiekt posadowiony na płycie z użytkowanym poddaszem jest zlokalizowany w pobliżu Centrum Handlowego w ciągu istniejącej wcześniej zabudowy mieszkaniowej w miejscu wyburzonego budynku dwukondygnacyjnego. Podziemną kondygnację stanowi parking, na parterze zlokalizowano część usługową, resztę przeznaczono na mieszkania. W bezpośrednim sąsiedztwie budynku znajdują się dwa obiekty, w bliskim sąsiedztwie znajdują się cztery budynki.

Budowa podłoża jest charakterystyczna dla Sopotu (rys. 12). Do głębokości 20,0 m p.p.t. zalegają piaski o zróżnicowanym uziarnieniu oraz lokalnie żwiry i pospółki. Kompleks piaszczysto-żwirowy przedzielony jest warstwą glin pylastych próchnicznych o miąższości $0,3 \div 0,8$ m, na głębokości około $6,0 \div 8,5$ m p.p.t. Na powierzchni terenu występują nasypy nie budowlane piaszczyste z gruzem o miąższości od 0,6 do 1,8 m. Wody podziemne w obrębie czwartorzędowego tarasu nadmorskiego tworzą jedno piętro wodonośne lokalnie rozdzielone



Rys. 12. Budowa Centrum Haffnera w Sopocie. Charakterystyczny przekrój geotechniczny [10]

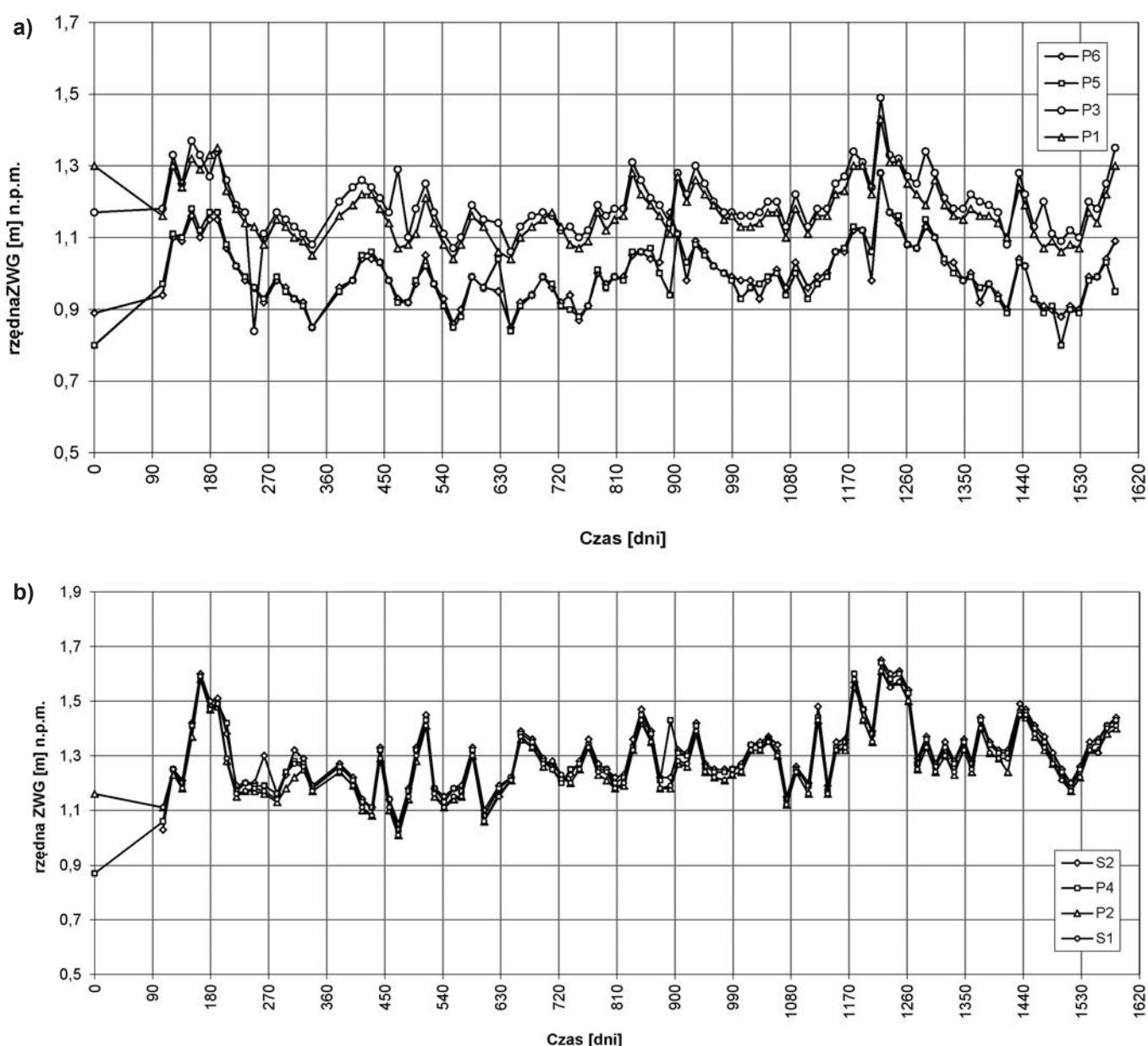
na dwa poziomy wodonośne. Warstwę rozdzielającą stanowią gliny pylaste. Pierwszy poziom wodonośny ma charakter swobodny, drugi charakteryzuje się warunkami naporowymi. Swobodne zwierciadło wody gruntowej stabilizuje się na rzędnych $0,66 \div 1,07$ m n.p.m. Poziom wody gruntowej podlega znacznym naturalnym wahaniom oraz stosunkowo szybko reaguje na intensywniejsze opady atmosferyczne oraz spiętrzenia sztormowe wody w Zatoce Gdańskiej (rys. 13).

Inwestycja pn. Centrum Haffnera stanowi ilustrację problemów związanych przede wszystkim z wodą gruntową oraz oddziaływaniem wykopów i ich odwodnienia na siebie i na sąsiednią i starą zabudowę sąsiednią.

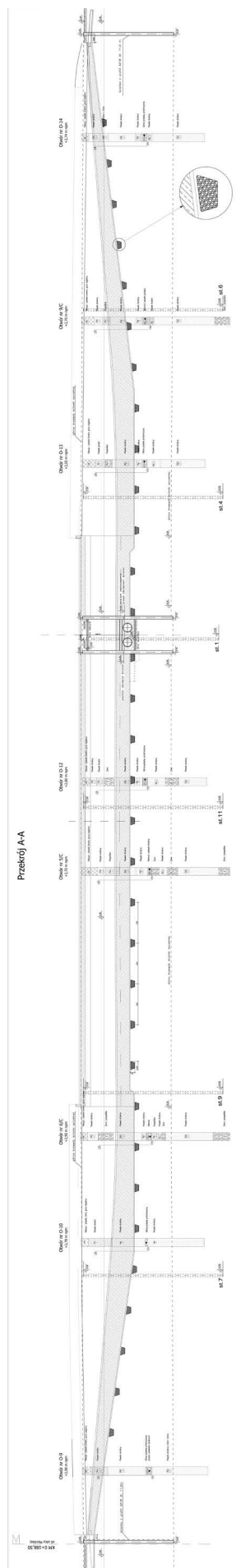
Ze względu na specyficzną budowę podłoża na obszarze dolnego tarasu w bliskim sąsiedztwie linii brzegowej – dwie warstwy wodonośne, z czego górna o miąższości około $6 \div 8$ m – w których następuje przepływ zazwyczaj w kierunku Zatoki Gdańskiej, w okresach spiętrzenia sztormowego następuje popiętrzenie wody i lokalnie ruch wody w kierunku przeciwnym.

Dotyczy to szczególnie tunelu oraz Domu Zdrojowego i hotelu Sheraton. Zamknięcie górnej warstwy na znacznym obszarze poprzez pozostawianą obudowę wykopów lub zmniejszenie w istotnym zakresie powierzchni przepływu spowodowane częściami podziemnymi budowanych obiektów, zwłaszcza tunelu, spowodowałoby istotną zmianę warunków przepływu i podpiętrzenie wody w różnym stopniu, na znacznym obszarze zabudowy, skutkujące pojawianiem się wody w piwnicach istniejących domów. Ten aspekt możliwego oddziaływania wywołał na etapie przygotowania inwestycji społeczne protesty. W celu uniknięcia negatywnych zmian w warunkach przepływu wód gruntowych wyeliminowano całkowicie zastosowanie trwałej obudowy wykopów, stosując wyłącznie tymczasowe ścianki szczelne, natomiast pod każdym obiektem wykonano specjalne drenaże rekompensujące zmniejszoną przez część podziemną powierzchnię przepływu (rys. 14).

Wszystkie wykopy pod poszczególne obiekty Centrum Haffnera [20 ÷ 24] poza budynkiem mieszkalnym [25] odwadniano



Rys. 13. Wahania poziomu wody gruntowej w Sopocie w miejscu inwestycji mierzone w dwóch węzłach hydrogeologicznych w latach 2001-2005
a) I poziom wodonośny, b) II poziom wodonośny



Rys. 14. Specjalnie zaprojektowane drenaże pod tunelem [24]



Rys. 15. Podchwycona ściana Rotundy – element pozostawiony do włączenia w nową konstrukcję Domu Zdrojowego [22]

studniami zlokalizowanymi wewnątrz wykopów odwodniającymi górną warstwę wodonośną (odciętą wokół ścianką szczelną) oraz obniżającymi ciśnienie w dolnej warstwie w stopniu zapewniającym bezpieczeństwo dna wykopu ze względu na wypór. W celu ograniczenia negatywnego wpływu odwodnienia na zabudowę sąsiednią całą inwestycję podzielono na etapy, grupując odwadnianie w tym samym czasie wykopu tak, aby sumaryczny wydatek w danym etapie nie przekraczał założonej wartości maksymalnej. Uwzględniono w tym zarówno wielkość odwodnienia (powierzchnia wykopu, poziom obniżenia, czas trwania oraz wydatek), jak i odległość pomiędzy wykopami.

Stara zabudowa dolnego Sopotu zlokalizowana w bezpośrednim sąsiedztwie inwestycji w dużej części składa się z obiektów budowanych w przeszłości jako letniskowe (niejednokrotnie na fundamentach w postaci luźno ułożonych kamieni), a później przebudowywanych i dostosowywanych do stałego zamieszkania. Jest bardzo wrażliwa na wszelkiego rodzaju oddziaływania budowlane. Z tego względu oraz z powodu przewidywanej, kolejnej inwestycji, obejmującej przebudowę całej infrastruktury podziemnej w tym obszarze, wzmocniono podłoże pod fundamentami (metodą strefowej iniekcji niskociśnieniowej) praktycznie wszystkich budynków w strefie oddziaływania inwestycji. Ponadto w celu uniknięcia generowania drgań w podłożu do pogrążania ścianek szczelnych stosowano prasę hydrauliczną.

Pozostawienie elementów zabytkowych miało miejsce w zakresie obiektu Domu Zdrojowego. Decyzją konserwatora w pierwotnym stanie postawiono tylną ścianę Rotundy. Wymagało to zaprojektowania i wykonania specjalnej konstrukcji zabezpieczającej i podtrzymującej ścianę (rys. 15), gdyż poziom posadowienia nowej części podziemnej był znacznie niższy niż fundamenty Rotundy. Konstrukcję podtrzymującą stanowiły mikropale z belkami łączącymi pod fundamentami.

Dodatkowym ciekawym elementem rozwiązania problemu geotechnicznego było połączenie części podziemnych Hotelu Sheraton z Domem Zdrojowym wykonywanymi w różnych etapach realizacji inwestycji [22, 23]. Ze względu na fakt, że połączenie znajduje się poniżej poziomu wody gruntowej, wymagało to wykonania części wspólnej – śluzy, która umożliwiła szczelne połączenie obu części w suchym wykopie.

PODSUMOWANIE

Zrealizowane w ostatnich latach w Polsce obiekty budowlane wymagały wielokrotnie rozwiązania znacznie bardziej złożonych problemów geotechnicznych niż w latach wcześniejszych. Jest to efekt coraz częstszego wykorzystywania do celów budownictwa terenów zurbanizowanych o dużo trudniejszych warunkach posadowienia, możliwy dzięki szybkiemu rozwojowi technologii fundamentowania i związanym z tym rosnącym znaczeniem geotechniki w inwestycjach budowlanych.

Przedstawione w artykule wybrane problemy geotechniczne i środowiskowe spotykane współcześnie w terenach zurbanizowanych, z ilustracją na przykładach z realizacji niektórych z nich, nie stanowią katalogu zamkniętego. Projekty i realizacje konkretnych inwestycji w trudnych warunkach gruntowych w terenie miejskim lub przemysłowym dalej będą stanowiły wyzwanie dla geotechników, wymagające rozwiązania wielu złożonych problemów, mając z jednej strony coraz większą wiedzę, lepsze narzędzia projektowe oraz zwiększające się możliwości specjalistycznych technologii, a z drugiej strony rosnące oczekiwania dotyczące niższych kosztów rozwiązań, krótszego czasu projektowania i realizacji, mniejszego (a nawet pomijalnego) wpływu na otoczenie i środowisko przy coraz wyższej jakości. Wraz ze złożonością problemów geotechnicznych wymagających rozwiązania rośnie też ich ryzyko, dlatego stałym elementem projektowania i wykonawstwa specjalistycznych robót budowlanych powinna stać się analiza ryzyka [35], szczególnie w dużych inwestycjach w terenach zurbanizowanych.

LITERATURA

1. Bolt A., Horodecki G.: Budowa Pomorskiej Kolei Metropolitarnej. Geotechniczny nadzór inwestorski. Gdańsk, 2013-2014.
2. Bolt A., Horodecki G.: Nadzór naukowo – techniczny nad realizacją wzmocnienia podłoża drogi ekspresowej S7 odcinek Gdańsk – Koszwały, Obwodnica Południowa Miasta Gdańska. Prace prowadzone dla GDDKiA O/ Gdańsk 2010-2012.
3. Budowa budynków biurowo-handlowo-usługowych w obrębie ul. Dworcowej, Podjazd, Chopina, Kościuszki w Sopocie. Opiniowanie projektów wykonawczych. Geokspert sp. z o.o. Gdańsk, 2013.
4. Budowa budynków biurowych przy ulicy Arkońskiej 6 w Gdańsku. Nadzór geotechniczny. Geokspert sp. z o.o. Gdańsk, 2008-2009.
5. Budowa budynku biurowo-usługowego z garażem podziemnym wraz z przebudową i nadbudową istniejącego budynku przy ul. Senatorskiej 1 w Warszawie. Nadzór geotechniczny. Geokspert sp. z o.o. Gdańsk, 2013-2014.
6. Budowa budynku mieszkalno-usługowego z garażem podziemnym w Gdyni, Plac Kaszubski 19/21. Nadzór geotechniczny. Geokspert sp. z o.o. Gdańsk, 2009.
7. Budynki mieszkalne wielorodzinne na osiedlu „CZTERY PORY ROKU” BORKOWO, gm. Pruszcz Gdański. Projekty wykonawcze drenażów opaskowych. Geokspert sp. z o.o. Gdańsk, 2010-2012.
8. Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla ustalenia warunków geologiczno-inżynierskich dla projektu Europejskiego Centrum Solidarności wraz z oceną stanu środowiska gruntowego na terenie „Młodego Miasta” w GDAŃSKU województwo pomorskie. Fundament sp. z o.o. Gdańsk, lipiec 2008.

9. Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla projektowanego zespołu usługowo-mieszkaniowego na działkach nr 148/1 i 148/2, obręb 89 przy ulicy Świętojańskiej, Szerokiej i Tandeta w GDAŃSKU województwo pomorskie. Fundament sp. z o.o. Gdańsk, czerwiec 2007.
10. Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla inwestycji „Zagospodarowanie Centrum Sopotu” w Sopocie, woj. pomorskie. Geoprojekt-Gdańsk, wrzesień 2001.
11. Horodecki G.A.: Oddziaływania środowiskowe wykopów głębokich w terenach zurbanizowanych. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 3/2006.
12. Kozerski B. (red.): Gdański system wodonośny. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk, 2007.
13. Magia Morza. Centrum uzdrowskowie z hotelem przy ul. Bitwy pod Płowcami 59 w Sopocie obudowa i odwodnienie tymczasowe wykopu obiektowego. Raport końcowy. Geokspert sp. z o.o. Gdańsk, marzec 2011.
14. Nadzór geotechniczny nad realizacją robót fundamentowych, ziemnych i drogowych obiektu CITY FORUM II – Krewetka w zakresie oceny wpływu prac wywołujących drgania na stan zespołu klasztorowego i budynków sąsiednich. Geosyntex sp. z o.o. Gdynia, 2000-2002.
15. Opinia dotycząca konstrukcji korka betonowego niecki fundamentowej Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku. Geosyntex sp. z o.o. Gdynia, listopad 2013.
16. Opinia dotycząca projektu konstrukcji Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku. Geokspert sp. z o.o. Gdańsk, kwiecień 2012.
17. Opinia dotycząca uwarunkowań hydrologicznych i warunków geotechnicznych podłoża. Przebudowa ulic: Łąkowa, Wróbla i ulic przyległych w obrębie Dolnego Miasta w Gdańsku. Geokspert sp. z o.o. Gdańsk, lipiec 2010.
18. Opinia geotechniczna dotycząca wpływu warunków gruntowo-wodnych podłoża na aktualny stan budynku i możliwości jego naprawy. Budynek Zespołu Kształcenia i Wychowania nr 1 w Pelplinie. Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej. Gdańsk, październik 2011.
19. Projekt budowlany odwodnienia i obudowy wykopu obiektowego pod wannę szczelną w ciągu Al. Jerozolimskich w Warszawie wraz z określeniem wpływu odwodnienia na środowisko. Modernizacja Al. Jerozolimskich w Warszawie węzeł Łopuszańska - Kleszczowa. Geokspert sp. z o.o. Gdańsk, kwiecień 2009.
20. Projekt odwodnienia oraz obudowy wykopu obiektowego pod budynek biurowo-parkingowy w Sopocie przy ul. Majkowskiego i Powstańców Warszawy wraz z określeniem wpływu na środowisko. Geosyntex sp. z o.o. Gdynia, styczeń 2002.
21. Projekt odwodnienia oraz obudowy wykopu obiektowego pod budynek Centrum Handlowo usługowego w Sopocie przy ul. Powstańców Warszawy wraz z określeniem wpływu na środowisko. Geosyntex sp. z o.o. Gdynia, styczeń 2002.
22. Projekt odwodnienia oraz obudowy wykopu obiektowego pod budynek Domu Zdrojowego w Sopocie przy ul. Powstańców Warszawy wraz z określeniem wpływu na środowisko. Geosyntex sp. z o.o. Gdynia, styczeń 2002.
23. Projekt odwodnienia oraz obudowy wykopu obiektowego pod hotel w Sopocie przy ul. Grunwaldzkiej wraz z określeniem wpływu na środowisko. Geosyntex sp. z o.o. Gdynia, styczeń 2002.
24. Projekt odwodnienia oraz obudowy wykopu obiektowego pod Tunel pod ulicą Grunwaldzką i Powstańców Warszawy w Sopocie wraz z określeniem wpływu na środowisko. Geosyntex sp. z o.o. Gdynia, październik 2002/(aktualizacja) grudzień 2003.
25. Projekt odwodnienia oraz zabezpieczenia wykopu obiektowego pod budynek mieszkalny w Sopocie na skrzyżowaniu ulic Morskiej i Królowej Jadwigi wraz z określeniem wpływu na środowisko. Geosyntex sp. z o.o. Gdynia, styczeń 2002.

26. Projekt odwodnienia wykopu obiektowego pod budynek Centrum Kwiatkowskiego w Gdyni. Geosyntex sp. z o.o. Gdynia, styczeń 2003.
27. Projekt wykonawczy ścian szczelinowych na budowie budynku biurowo-usługowego przy ul. Senatorskiej w Warszawie. Soletanche sp. z o.o. Warszawa, 2013.
28. Projekt wykonawczy muru oporowego na odcinku I – IV. Budowa budynków biurowo-handlowo-usługowych w obrębie ul. Dworcowej, Podjazd, Chopina, Kościuszki w Sopocie. Stabilizator Fundamenty sp. z o.o. Gdańsk, lipiec 2013.
29. Projekt wykonawczy odwodnienia i obudowy wykopu obiektowego Budynek „B” Centrum Nanotechnologii, Centrum Nauczania Matematyki i Kształcenia na Odległość oraz parking podziemny w Gdańsku przy ul. Siedlickiej wraz z określeniem wpływu odwodnienia na środowisko. Geoekspert sp. z o.o. Gdańsk, lipiec 2012.
30. Projekt wykonawczy odwodnienia oraz obudowy wykopu obiektowego pod budynek Europejskiego Centrum Solidarności w Gdańsku wraz z określeniem wpływu na środowisko. Geoekspert sp. z o.o. Gdańsk, kwiecień 2009.
31. Projekt wykonawczy wzmocnienia podłoża gruntowego przebudowanej ulicy Poznańskiej w Słupsku. Politechnika Gdańska, Wydział Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska, Gdańsk 2004.
32. Przebudowa ronda Marsa w Warszawie. Obliczenia drenażu warstwowego obniżającego zwierciadło wód gruntowych w rejonie dojść do tuneli T-11, OT-12, OT-13, T-15. Geoekspert sp. z o.o. Gdańsk, czerwiec 2010.
33. Przesłona przeciwfiltacyjna w technologii jet-grouting. Droga ekspresowa S-8 odc. B km 7+690 ÷ 8+130 oraz bocznicą kolejową. Projekt Wykonawczo-Technologiczny. Geoekspert sp. z o.o. Gdańsk, lipiec 2008.
34. Topolnicki B., Buca R.: Parametry eksploatacyjne i konstrukcyjne wybranego tunelu drogowego wraz założoną technologią i bezpieczeństwem realizacji tunelu. Inżynieria i Budownictwo, nr 1/2013.
35. Topolnicki M.: Ryzyko związane ze wzmacnianiem gruntu kolumnami o różnej sztywności. Inżynieria i Budownictwo, nr 4/2013.
36. Zadroga B., Olańczuk-Neuman K.: Ochrona i rekultywacja podłoża gruntowego. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk, 2001.
37. Zespół mieszkalno-usługowy KWARTAŁ KAMIENIC przy ul. Szerokiej, Świętojańskiej i Tandeta w Gdańsku. Projekt wykonawczy odwodnienia i obudowy wykopu obiektowego wraz z określeniem wpływu na środowisko. Geoekspert sp. z o.o. Gdańsk, luty 2010.
38. Zespół mieszkaniowo-usługowy KWARTAŁ KAMIENIC przy ul. Szerokiej, Świętojańskiej i Tandeta w Gdańsku. Projekt odwodnienia oraz obudowy wykopu pod obiekt wraz z określeniem wpływu na środowisko. Odwodnienia wykopu – likwidacja studni. Geoekspert sp. z o.o. Gdańsk, marzec 2011.

PODZIĘKOWANIE: Autor dziękuje firmom Geosyntex sp. z o.o. oraz Geoekspert sp. z o.o. za umożliwienie publikacji. Współautorami (poza autorem artykułu) części opracowań wykonanych przez firmę Geosyntex są: E. Dembicki, A. Bolt, A. Kryczalło, M. Cudny, R. Duszyński; w przypadku firmy Geoekspert: A. Bolt, W. Sterpejkowicz-Wersocki.