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

Dr inż. MAREK ŚWIECA, *m.swieca@itb.pl*
Mgr inż. KRZYSZTOF WALCZAK, *k.walczak@itb.pl*
Instytut Techniki Budowlanej

PRZYKŁAD DUŻYCH OSIADAŃ OBIEKTU HANDLOWEGO BEZ KATASTROFY

THE EXAMPLE OF BIG SETTLEMENTS OF TRADE OBJECT WITHOUT FAILURE

Streszczenie Opisany niżej problem dotyczy pawilonu handlowego, zbudowanego na nasypie w obszarze starorzecza doliny Drwęcy. Dokumentacja geotechniczna dokumentowała w podłożu torfy. Nasyp, na którym posadowiono obiekt miał zniwelować osiadanie W trakcie wykonywania robót budowlanych wystąpiły bardzo duże odkształcenia i pęknięcia elementów konstrukcyjnych pawilonu, spowodowane nadmiernym osiadaniem podłoża. Budowę zatrzymano do chwili powstrzymania niekontrolowanych osiadań i wzmocnienia budynku. W niniejszym referacie przeanalizowano przyczyny powstania awarii. W ramach analiz przeprowadzono obliczenia osiadań podłoża gruntowego przy użyciu programu komputerowego „Plaxis 3D". Opisano również metody oraz przebieg prac ratunkowych.

Abstract The problem described below is concerned with the supermarket building situated on the old bed of Drwęca river. In the course of construction works large deformations and fissures were observed, caused by the excessive ground settlement. Until the control of the latter were secured and the building reinforced, the works had been brought to a halt. The article describes the causes of the damage. Analyses of the ground settlement, has been carried out using "Plaxis 3D" program. Remedial methods of preservation works are described.

1. Informacje ogólne o obiekcie

Budowę dużego obiektu handlowego zaplanowano i zrealizowano na niezabudowanym terenie miejskim.

Teren budowy położony był w dolinie rzeki Drwęcy, przepływającej w odległości ok. 300 m. od planowanej inwestycji. Działka o powierzchni ok. 1 ha była ograniczona nasypami drogi krajowej, ulicy miejskiej oraz zabudowaniami stacji benzynowej. Znajdowała się w naturalnej niecce terenowej. Różnica poziomów nasypów i działki dochodziła do 3,0 m.
Działka w połowie przecięta była otwartym kanałem wykorzystywanym do odprowadzenia wód burzowych z nasypu drogi krajowej.

Na działce zaprojektowano budowę pawilonu handlowego, o powierzchni ok. 1700 m^2, wraz z niezbędną infrastrukturą dróg dojazdowych, placów parkingowych, składowiskiem odpadów itp.

BADANIA GEOLOGICZNE wykonane na terenie projektowanej inwestycji wykazały zróżnicowane i wyjątkowo trudne warunki gruntowe.

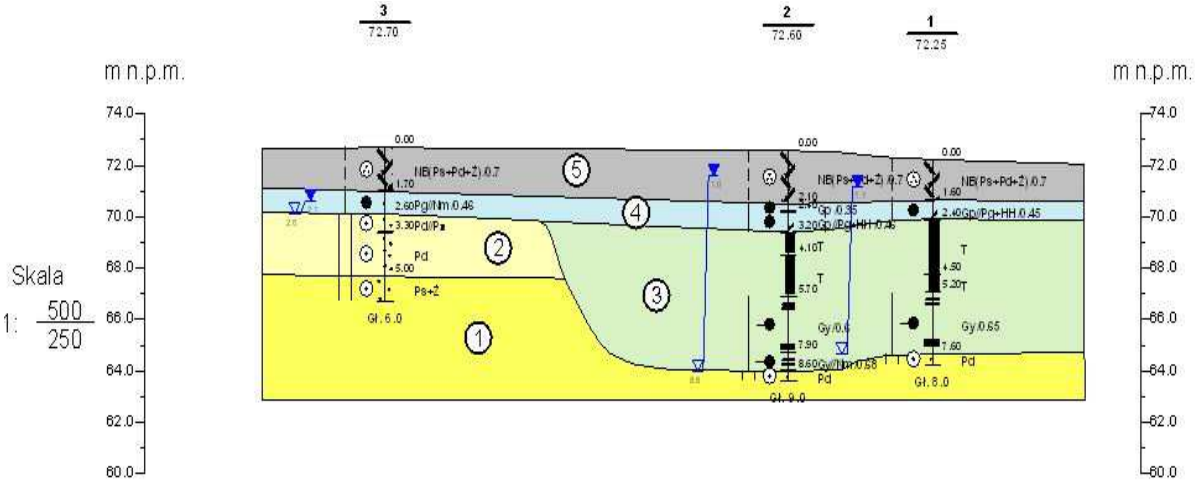
Podłoże stanowiły słabonośne, niespoiste grunty deluwialne, podścielone osadami akumulacji bagienno-jeziornej, w postaci nienośnych i bardzo ściśliwych torfów, namułów organicznych

oraz gytii. Ich miąższość była zmienna i wynosiła od 0,5 do 6,0 m. Poniżej gruntów organicznych znajdowały się drobno- i średnioziarniste, nawodnione piaski – w stanie średniozagęszczonym i zagęszczonym. Charakterystyczny dla obszaru budowy przekrój geologiczny pokazano na rys nr 1. Wyniki sondowań podłoża zamieszczono na rys. nr 2

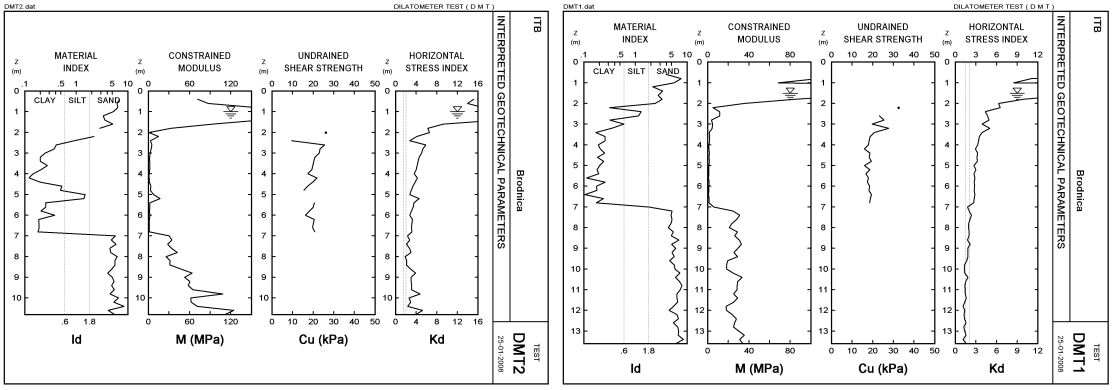
Nienośne grunty organiczne o miąższości większej niż 5 m, występowały pod wschodnią częścią projektowanego pawilonu, wyklinowując pod częścią południowo zachodnią.

Stan ten był bardzo niekorzystny i niebezpieczny z uwagi na możliwość wystąpienia znacznych różnic osiadań realizowanego pawilonu.

W rejonie budowy pawilonu stwierdzono występowanie napiętej wody gruntowej w obrębie piasków podścielających osady organiczne, tj. na głębokości śr. 6 m pod terenem. W okresie badań swobodne zwierciadło stabilizowało się, w zależności od ukształtowania terenu na głębokości od 1,0 do 2,8 m p.p.t.



Rys. 1. Przekrój geologiczny terenu inwestycji



Rys. 2. Wyniki sondowań DMT. Interpretacja wyników sondowań dylatometrem Marchettiego

2. Projekt pawilonu

Budynek pawilonu handlowego oraz obiekty infrastruktury wewnętrznej zostały zaprojektowane w oparciu o wytyczne inwestora (duża sieć handlowa) oraz decyzję o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu.

Zaprojektowany budynek był niepodpiwniczony, jednokondygnacyjny ze ścianami nośnymi w układzie podłużnym Posiadał konstrukcję mieszaną, z żelbetowym szkieletem i wypełnieniami murowanymi. Żelbetowy szkielet stanowiły:

– ławy fundamentowe pod ścianami nośnymi, o szerokości 50–70 cm i wysokości 40 cm, z lokalnymi poszerzeniami (stopami) do 1,10–1,8 m pod słupami.
– słupy o przekroju 25×25 cm
– rygle i nadproża w osiach ścian nośnych.

Wszystkie elementy żelbetowego szkieletu miały być wykonane na budowie, monolitycznie, z betonu B-20 i stali A-0 i A-III.

Ściany fundamentowe zaprojektowano z bloczków żwirobetonowych, a ściany parteru (zewnętrzne i wewnętrzne) z pustaków szczelinowych „poroton". Dach stanowiły drewniane dźwigary kratowe, oparte na ryglach żelbetowego szkieletu i pokryte dachówką ceramiczną lub blachodachówką.

Wielowarstwowa posadzka wewnątrz pawilonu miała być wykonana z betonu B-20, zbrojonego siatką stalową 15×15 cm, przykryta płytkami gres na wylewce z fibrobetonu gr.10 cm. Łączna grubość wszystkich warstw płyty posadzkowej wynosiła 75 cm.

Ze względu na znaczne różnice pomiędzy istniejącym a projektowanym poziomem terenu, na całym obszarze planowanej inwestycji wykonano nasyp budowlany o grubości 2,2–2,8 m. Nasyp miał być uformowany z gruntów gruboziarnistych o kontrolowanym uziarnieniu (żwir, tłuczeń, piasek gruby) i zagęszczony mechanicznie do $I_D > 0,7$.

Fundamenty pawilonu miały być posadowione bezpośrednio, na nasypie. Minimalna miąższość nasypu pod fundamentami miała wynosić 2,0 m.

3. Przebieg prac budowlanych

Roboty budowlane rozpoczęto w połowie czerwca 2007 r. Nasyp formowano z dowożonego piasku i żwiru na terenie oczyszczonym z drzew i krzewów. (Rys nr 3) Zagęszczenie kontrolowano w trakcie formowania. Stwierdzony stopień zagęszczenia nasypu I_D wynosił od 0,62 do 0,73.

Rys. 3. Teren przed budową (zdjęcie wyk.)

Rys. 4. Wykonanie nasypu dociążającego (zdj. wyk.)

Uzbrojenie podziemne terenu oraz roboty fundamentowe realizowano równolegle z robotami ziemnymi (rys nr 4). Budowę ław i ścian fundamentowych ukończono w połowie sierpnia 2007. Do końca września wykonano konstrukcje nadziemne pawilonu, wylano posadzkę wewnątrz hali oraz płyty parkingów od północy i wschodu.

W październiku zamontowano drewniane dźwigary konstrukcji dachu i rozpoczęto prace wykończeniowe wewnątrz hali. W połowie miesiąca, po stwierdzeniu gwałtownie postępują-

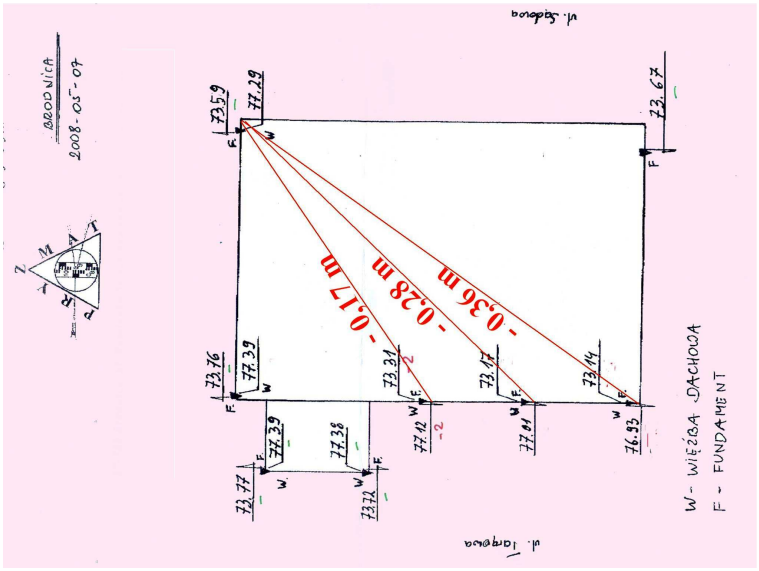
cych osiadań płyty posadzkowej oraz towarzyszących im pęknięć ścian i fundamentów (rys. nr 5 i nr 6) roboty przerwano.

Przerwa w pracach trwała do maja 2008. Podjęto wtedy decyzję o ratowaniu budynku. Wykonane w maju 2008 r. geodezyjne pomiary wysokościowe wykazały znaczące różnice poziomów posadzki wewnątrz hali, więźby dachowej oraz ścian fundamentowych (Rys nr 7).

Różnice te dla punktów położonych w przeciwległych narożnikach hali wynosiły 36 cm.

Rys. 5. Pęknięcie ściany zewnętrznej pawilonu

Rys. 6. Pęknięcie ściany fundamentowej przy słupie



Rys. 7. Wyniki pomiarów geodezyjnych w poziomie posadzki i więźby dachowej przed rozpoczęciem prac ratunkowych

4. Prace ratunkowe

Ratowania obiektu podjął się Zakład Geotechniki i Fundamentowania Instytutu Techniki Budowlanej, który opracował i zrealizował projekt wzmocnień i zabezpieczeń.

Zakładał on zatrzymanie osiadań fundamentów i posadzki hali przez podparcie mikropalami, oraz wzmocnienie spękanych ław i ścian fundamentowych stalowymi i żelbetowymi belkami. Znaczne (widoczne) odkształcenia i spękania żelbetowych konstrukcji ław i oczepów wymagały dostosowania konstrukcji wzmacniającej do lokalnych uszkodzeń i deformacji. Wzmocnienie

posadowienia fundamentów oraz posadzki zaprojektowano i wykonano z użyciem mikropali wciskanych o średnicy 140 mm, wypełnionych betonem i iniektowanych zaczynem cementowym. Mikropale wykonane były ze stalowych rur R-35 140/4 mm., podzielonych na segmenty. Poszczególne segmenty łączone były prefabrykowanymi nakładkami, które spawano na budowie w trakcie montażu mikropali. Ochronę antykorozyjną zewnętrznego płaszcza rur w gruncie zapewniała powłoka iniekcyjna z zaczynu cementowego. Iniekcję mikropali wykonywano po zakończeniu wciskania i zabetonowaniu wnętrza rur.

Do wciskania mikropali wykorzystano urządzenie, zaprojektowane specjalnie do tego celu i przygotowane w Zakładzie Geotechniki i Fundamentowania (rys. nr 8).Składało się z pary siłowników hydraulicznych, połączonych stalową konstrukcją ramową zamocowaną na samojezdnej maszynie budowlanej (samochód skrzyniowy z HDS). Maszyna swobodnie poruszała się zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz hali. Dzięki balastom dokładanym przy pomocy własnego dźwigu, umożliwiła wciskanie mikropali siłą 250 kN

Rys. 8. Wciskanie mikropali wewnątrz pawilonu

Rys. 9. Wciskanie mikropali przy ścianach

Opory wciskania były na bieżąco rejestrowane przez aparaturę pomiarową. Pozwoliło to na bezpośrednią, ocenę nośności każdego mikropala. W miejscach trudnodostępnych przy wciskaniu korzystano z konstrukcji złożonej z belki oporowej oraz stalowych kotwi śrubowych, wklejanych w fundamenty (rys nr 9). Hydrauliczny siłownik o udźwigu 250 kN, w zestawie z pompą o ciśnieniu roboczym 720 bar umożliwiał zarówno wciskanie mikropali, jak i kontrolę nośności przy próbnym obciążeniu.

Podparcie fundamentów słupów zostało zrealizowane przez mikropale, o nośności 250 kN, wciskanie przez otwory wywiercone rdzeniowo w stopach. Liczba mikropali montowanych w stopach wynikała z przyjętych obciążeń i wynosiła od 2 do 3 szt. (rys. nr 10). Długość mikropali wynikała z oporów wciskania i wynosiła 4,5–15 m.

Fundamenty wzmocniono żelbetowymi ryglami rozmieszczonymi po obu stronach ścian i monolitycznie połączonymi z ławami i stopami w miejscach pęknięć (Rys nr 11).

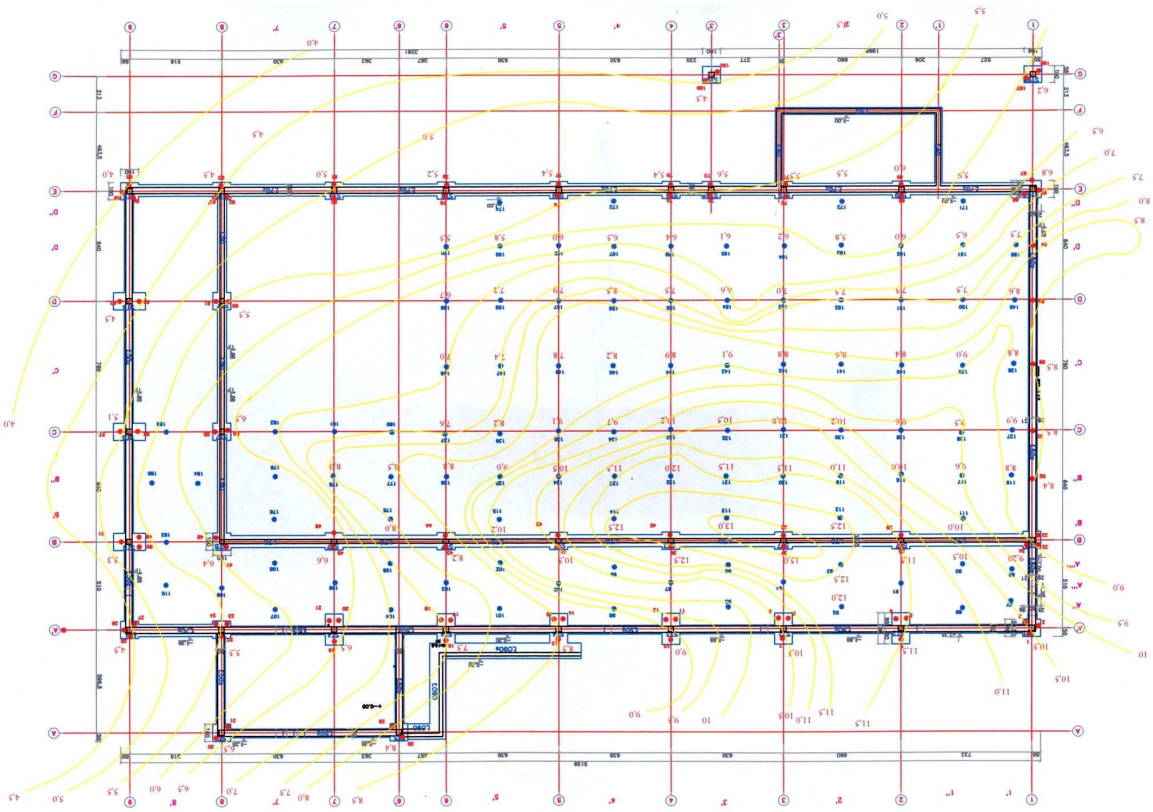
W trakcie remontu zdecydowano także o dodatkowym wzmocnieniu południowo-wschodniej ściany zewnętrznej stalowymi belkami z profili C220, które łączyły przęsła ścian fundamentowych pomiędzy stopami. Belki montowane były parami po obu stronach ścian i skręcane łącznikami śrubowymi.

Sposób wykonania rygli i stalowych belek ilustruje rys. nr 12.

Rys. 10. Przygotowania do palowania

Rys. 11. Żelbetowe rygle w miejscach pęknięć fundamentów

Rys. 12. Dodatkowe wzmocnienie ściany



Rys. 13. Rozmieszczenie mikropali pod fundamentami i posadzką pawilonu

Wzmocnienie posadzki wykonano za pomocą mikropali wciskanych o nośności 100 kN, rozmieszczonych w siatce 315×380 cm.

Prace zostały wykonane w okresie od czerwca do sierpnia 2008.

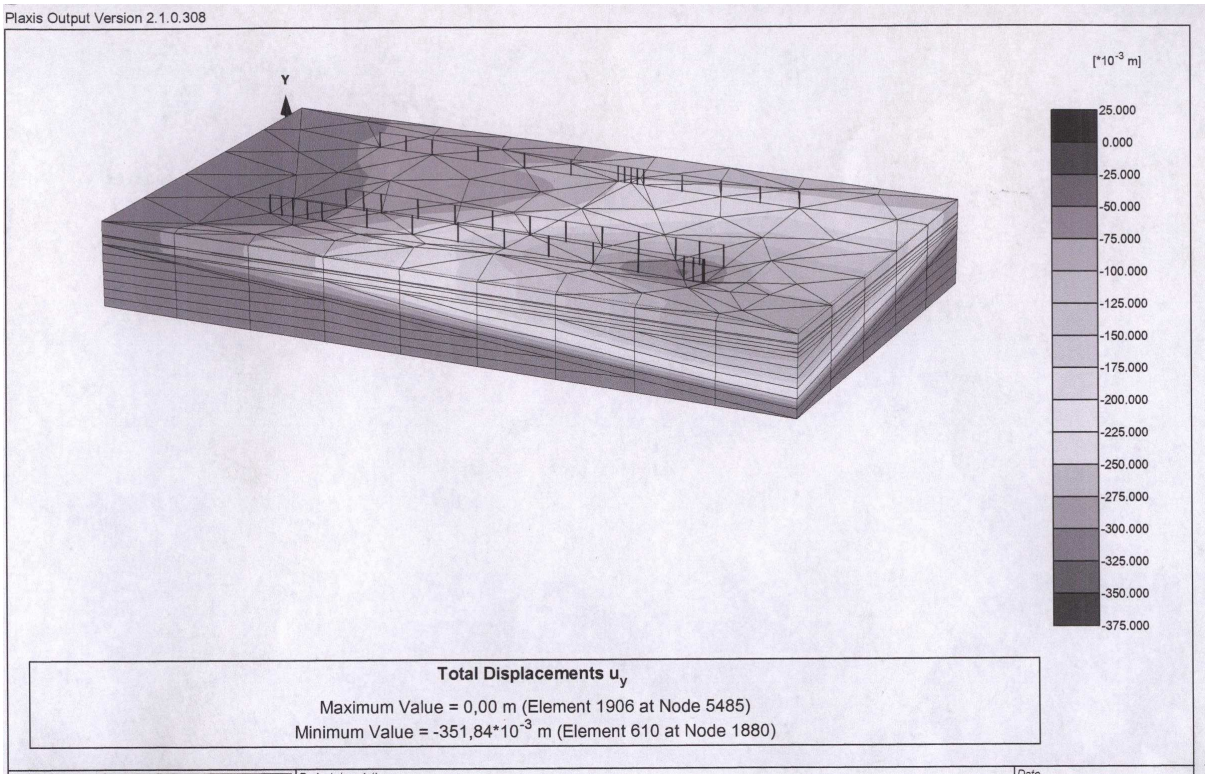
Ogółem wykonano w tym czasie 191 szt. mikropali długości od 4,5 do 15 m. Rozmieszczenie mikropali oraz ich długości pokazano na rysunku nr 13. Po zakończeniu prac rozpoczęto obserwacje geodezyjne punktów pomiarowych, zamontowanych na słupach i posadzce wewnątrz hali. Dwie serie pomiarów, wykonanych do września 2008, nie wykazały żadnych osiadań.

5. Podsumowanie

Przyczyną zagrożenia dla nowo wznoszonego obiektu był błąd w założeniach, popełniony w fazie projektowania inwestycji. Projekt fundamentów przewidywał posadowienie pawilonu na nasypie uformowanym na gruncie rodzimym bez usuwania warstw nienośnych. Nasyp miał w założeniu stworzyć warstwę rozkładającą równomiernie obciążenie z pawilonu na słabe grunty rodzime. Nasyp rozłożył wprawdzie skoncentrowane obciążenie od fundamentów pawilonu, ale, ze względu na krótki okres od momentu wykonania nasypu do wykonania obiektu, nie zdążył skonsolidować podłoża.

Osiadania, spowodowane konsolidacją warstw (torfu, namułu), pod obciążeniem nasypu i pawilonu postępowały równolegle z budową pawilonu.

W fazie projektowania źle oszacowano wielkość osiadań słabego podłoża wywołanych obciążeniem nasypem. Obliczenia wykazały, że na wielkość osiadań podłoża decydujący wpływ miały właśnie obciążenia od nasypu. Osiadania generowane przez konstrukcję budynku i obciążenia użytkowe (eksploatacyjne) były znacznie mniejsze. Analiza osiadań wykonana przy zastosowaniu programu „Plaxis 3D" wykazała zgodność jej wyników z pomierzonymi osiadaniami, co także potwierdziło przydatność zaawansowanego programu trójwymiarowego do prognozowania wielkości i przebiegu osiadań w czasie.



Rys. 14. Analiza osiadań wykonana przy zastosowaniu programu „Plaxis 3D"

Realizacja projektu ratunkowego tj. oparcie fundamentów i posadzki pawilonu na, znajdujących się na głębokości 4–9 m, warstwach nośnych zatrzymała osiadania tych elementów konstrukcyjnych. Nie wstrzymała jednak procesu konsolidacji gruntów organicznych pod nasypem.

Projekt zabezpieczenia przed osiadaniem płyt parkingowych i placów manewrowych czeka jeszcze na realizację.

W istniejących warunkach geologicznych, najlepszym, z technicznego punktu widzenia i najszybszym rozwiązaniem byłoby wykonanie palowania całego obszaru budowy przed uformowaniem nasypu. Na palach należało wykonać głowice poszerzające, a nasyp zbroić geotekstyliami. Takie rozwiązanie pozwoliłoby na posadowienie bezpośrednie fundamentów pawilonu na nasypie, oraz nie wprowadziłoby utrudnień w budowie urządzeń infrastruktury podziemnej ani naziemnej.

Tańszym rozwiązaniem byłoby również dokonanie konsolidacji gruntów podłoża przed podjęciem robót budowlanych, np. przez przeciążenie podłoża w obszarze budowy nasypem o znacznej miąższości. Po zakończeniu osiadań nadmiar ziemi mógłby być wykorzystany do uformowania nasypów poza obszarem objętym budową. Proces konsolidacji można było przyspieszyć, wprowadzając w podłoże pionowe geodreny.

Doświadczenie z budowy pawilonu handlowego dowodzi, że najdroższym i najbardziej czasochłonnym rozwiązaniem był przyjęty wariant pozornie najtańszy i najszybszy.

Przykład budowy pawilonu jest odzwierciedleniem mądrości, że „chytry 2 razy traci”

Literatura

1. Dokumentacja projektowa, dokumentacje geologiczne oraz ekspertyzy techniczne wykonane w trakcie trwania robót budowlanych, doświadczenia i obserwacje własne z okresu realizacji prac ratunkowych