

TECHNICZNE I EKONOMICZNE KONSEKWENCJE ROZPOZNANIA GEOTECHNICZNEGO

Grzegorz Dzik¹
Sławomir Krysiak²
Krzysztof Sahajda³

W referacie omawia się techniczne i ekonomiczne konsekwencje rozpoznania geotechnicznego, w kontekście relacji pomiędzy jakością takiego rozpoznania a optymalnym projektowaniem posadowienia obiektu.

Autorzy referatu, na przykładzie zrealizowanych inwestycji, przedstawili zmiany w rozwiązaniach projektowych, jakie nastąpiły po wykonaniu dla danej inwestycji, uzupełniających badań geotechnicznych. Zamieszczono porównanie kosztów posadowienia, zaprojektowanego na podstawie badań geotechnicznych wstępnych oraz po wykonaniu ich uzupełnienia.

1. Wstęp

Jednym z pierwszych etapów większości inwestycji jest wykonanie wstępnego rozpoznania geologicznego pod planowanymi obiektami, celem określenia możliwości i kosztów przyszłego posadowienia.

W tej części kontraktu budowlanego, z reguły, inwestor decyduje o zakresie prac geologicznych a co za tym idzie - kosztach przewidzianych na prace geologiczne. Następnie projektant całej inwestycji wskazuje sposób posadowienia planowanych obiektów.

Kolejnym etapem inwestycji (w dużym uproszczeniu) jest „wejście” na budowę wykonawcy prac fundamentowych. Firmy wykonawcze w oparciu o dostarczone przez inwestora badania geologiczne, projektują we własnym zakresie posadowienie obiektów w sposób dostosowany do oferowanych przez nie technologii. Często już w tym momencie, doświadczony projektant stwierdza niekompletność wykonanych badań. Wynika to z reguły ze zbyt płytkiego rozpoznania gruntu oraz z zastosowania do oceny stanu podłoża tylko wierceń badawczych. Zdarza się, że dopiero w tej części inwestycji inżynier konstruktor omawia wyniki badania podłoża z geotechnikiem celem ustalenia właściwego, dodatkowego zakresu badań geotechnicznych niezbędnych do zaprojektowania posadowienia budowli.

Dla potrzeb niniejszego referatu badania te nazywane są dalej uzupełniającymi badaniami geotechnicznymi lub uzupełniającym rozpoznaniem podłoża.

2. Opis inwestycji

W tej części referatu autorzy przytaczają 2 przykłady zrealizowanych inwestycji, analizując od strony technicznej i ekonomicznej zmiany w rozwiązaniach projektowych posadowienia, które umożliwiło wykonanie uzupełniającego rozpoznania geotechnicznego.

Ze względu na konieczność zachowania poufności (zapisami takimi związane są firmy wykonawcze autorów) nazwy i dokładne lokalizacje inwestycji nie będą ujawniane.

2.1 Inwestycja „A” w miejscowości „B”

Inwestycja obejmuje wykonanie przez firmę AARSLEFF posadowienia konstrukcji stalowej wieży kratowej o wysokości 52m, w ramach rozbudowy zakładu „A” w miejscowości „B”. Obiekt posadowiono na płycie fundamentowej o grubości 1,5 m i wymiarach w planie 15,4x17,4 m. Płyta posiada lokalne pogrubienia m.in. pod szyby windowe. Spód płyty posadowiono na głębokości ok. 1,5

¹ mgr inż., KELLER Polska Sp. z o.o.

² mgr inż., GEOTEKO Projekty i Konsultacje Geotechniczne Sp. z o.o.

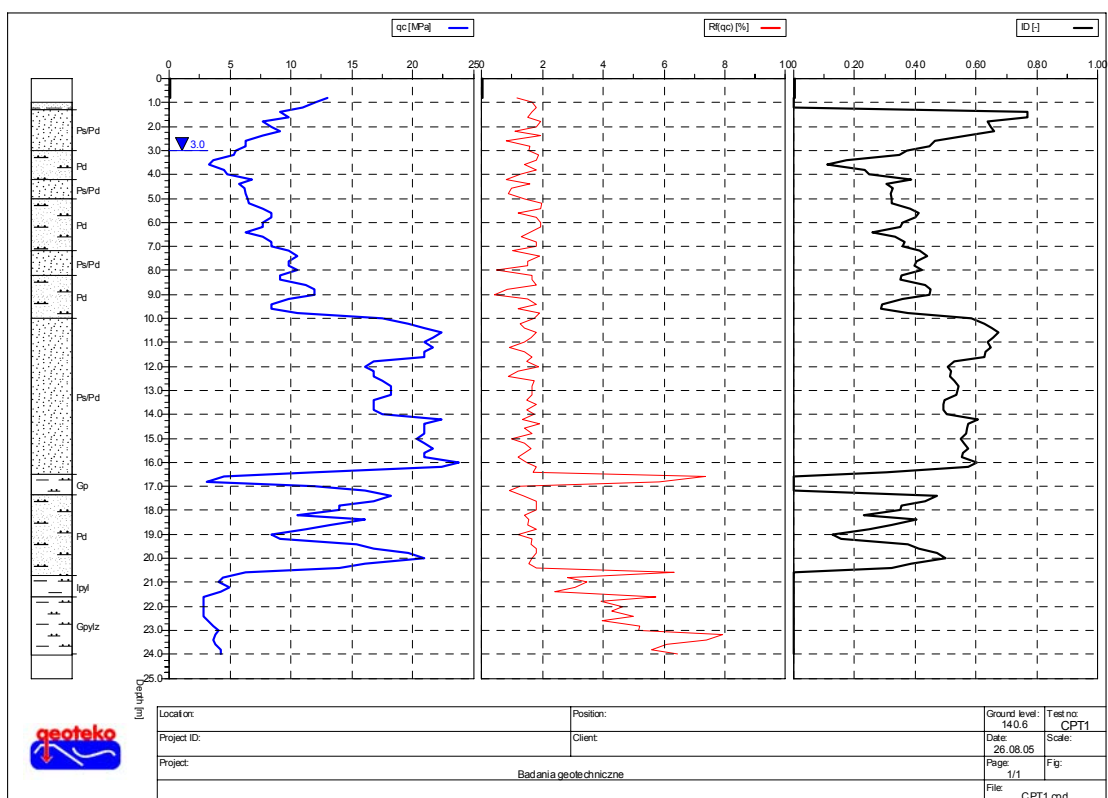
³ mgr inż., AARSLEFF Polska Sp. z o.o.

m poniżej terenu. Ze względu na znaczne obciążenia przekazywane na grunt, jak również odrywanie płyty od podłoża, występujące przy niektórych układach obciążenia, przyjęto posadowienie na palach.

Początkowo wykonano obliczenia na podstawie dokumentacji geologicznej dostarczonej przez inwestora. Wiercenia wykonane w tej dokumentacji sięgały głębokości 9 m. Zgodnie z opisem, w podłożu badanego terenu do głębokości rozpoznania zalegają grunty pochodzenia rzeczno i zastoiskowego. W otworze wskazanym przez zlecającego, jako reprezentatywny dla posadowienia obiektu, do głębokości ok. 8 m nawiercono łą o stopniu plastyczności $IL=0.20$, a poniżej do głębokości 9 m (maks. zasięg wiercenia) piaski drobne średnio zagęszczone o $ID=0.50$. Dla podanych przez inwestora obciążeń pod płytą fundamentową zaproponowano wstępnie 110 szt. pali prefabrykowanych wbijanych 40×40 o długości 19-20 m. Ponieważ nie było żadnych podstaw do przyjęcia zalegania warstwy piasków także na większych głębokościach, przyjęto występowanie łą o $IL=0.05$ (na podstawie innych zbliżonych otworów). Nośność pala o założonej długości wynosiła w tych warunkach 1100-1150 kN i w przybliżeniu odpowiadała nośności wymaganej z punktu widzenia obciążeń. Należy w tym miejscu nadmienić, że pominięte zostały zalecenia normy [3] dotyczące wpływu efektu grupy pali na ich nośność. W przeciwnym razie nośności te kształtowałyby się na poziomie 870-890 kN.

Ze względu na niewielką głębokość i ogólnie niską jakość rozpoznania, zalecono wykonanie dodatkowego badania podłoża do głębokości 23-24 m wierceniami i sondowaniami CPT. Ich koszt kształtował się na poziomie 20 tys. złotych. Wykonane zostały przez firmę GEOTEKO Sp. z o.o. [3]

W wyniku badań okazało się, że na głębokości 13-14 m, pod warstwami gruntów, stanowiącymi w pierwotnym rozpoznaniu spąg wiercenia, zalegają zagęszczone i średniozagęszczone piaski, które z punktu widzenia posadowienia na palach mogą stanowić doskonałe podłoże. Dopiero ok. 20-22 m poniżej terenu natrafiono na łą, których parametry sugerowały, że są to grunty trzeciorzędowe (Rys. 1).



Rys. 1. Wynik sondowania statycznego CPT wykonanego w ramach badań uzupełniających.

Projekt posadowienia na palach, po uwzględnieniu dodatkowego rozpoznania, obejmował o ponad 300 mb pali mniej, przy czym już tylko 40% stanowiły pale łączone. Pale o długości powyżej 16 m są w praktyce łączone na budowie z dwóch lub więcej części, co oznacza, że w przypadku propozycji, wg pierwotnych badań, przewidywano wszystkie pale jako łączone. W związku z tym, możliwe było obniżenie kosztu posadowienia o ponad 70 tys. złotych. Ze względu na bardzo duże wartości parametrów sondowania i stosunkowo, w porównaniu z nimi, bezpieczne parametry wiodące piasków zaproponowane do projektowania pali, zdecydowano, zgodnej z normą [3] o kolejności robót.

Tak więc, najpierw wykonane zostały dwa próbne obciążenia statyczne pali, w celu weryfikacji założeń projektowych. Podczas wbijania w grunt pali kotwiących i testowych, na potrzeby próbnego obciążenia, uzyskano bardzo niskie wartości wpędów (czyli bardzo duże ilości uderzeń potrzebne do wprowadzenia pala o określoną wartość przemieszczenia, w tym wypadku 20 cm). Ilości uderzeń mieściły się w przedziale 45-55 uderzeń młotem o masie 6 Mg z wysokości 90 cm. Przyjmując jako punkt odniesienia zależności empiryczne, pozwalające szacować nośność pali na podstawie oporów wbijania, dawało to nośności graniczne na poziomie 3500-4500 kN. Warto podkreślić, że nośność taka uzyskana była przed wprowadzeniem pala na założoną rzędną. W związku z tym zaniechano wprowadzania pali na większą głębokość, gdyż groziło to uszkodzeniem ich głowic. Próbnego obciążenie statyczne, prowadzone powyżej, określonej normą wartości obciążenia, nie pozwoliło osiągnąć, nie tylko nośności granicznej pala ale nawet punktu przegięcia krzywej obciążenie-osiadanie. Nośności obliczeniowe pali uzyskane na podstawie próbnego obciążenia statycznego były o co najmniej 50% wyższe niż wyliczone na podstawie normy [3] z wykorzystaniem parametrów wiodących wyznaczonych podczas sondowań CPT. Pozwoliło na ponowne zmniejszenie zakresu palowania, w tym zarówno na skrócenie pali, jak i na zmniejszenie ich ilości. Całkowicie zrezygnowano z pali o długości większej niż 15 m a ilość pali obniżono o prawie 20%. Ze względu na poufność kontraktu, nie podaje się szczegółów, niemniej w stosunku do początkowego szacunku zmniejszono ilość pali o ponad 700 mb a koszt palowania obniżony został o ponad 150 tys. złotych.

2.1 Inwestycja „B” w Warszawie

Inwestycja obejmuje budowę zespołu budynków mieszkalnych (maksymalnie 18 kondygnacji nadziemnych, 1 kondygnacja podziemna) w Warszawie.

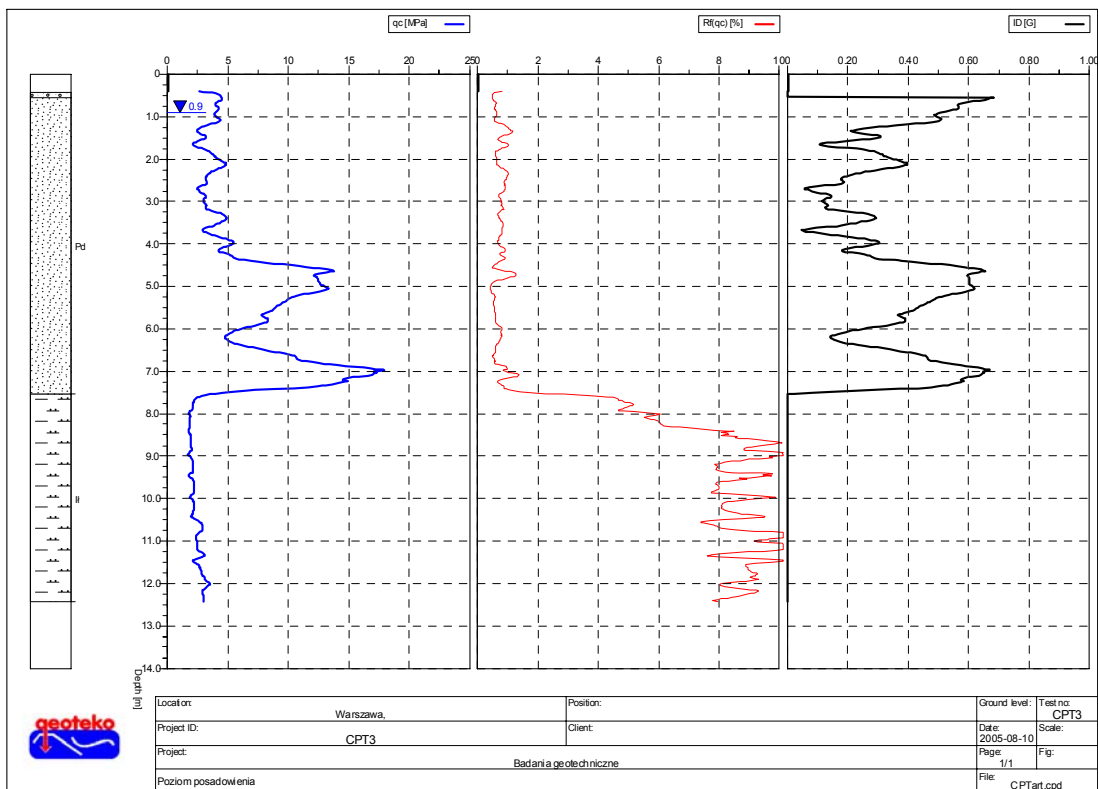
Podstawą przygotowania projektów dla tej inwestycji była dokumentacja geologiczno-inżynierska wykonana w bardzo podstawowym zakresie na zlecenie inwestora. W celu rozpoznania podłoża wykonano otwory wiertnicze z pobraniem prób gruntu i optycznym określeniem jego stanu i rodzaju, oraz dodatkowo wykonano kilka sondowań dynamicznych sondą lekką. Na podstawie wykonanych prac terenowych oraz zdobytych tą drogą informacji o budowie podłoża, dobrano metodą „B” wg. normy [3] podstawowe parametry geotechniczne do celów projektowych. Dokumentacja geologiczno-inżynierska wskazywała, że pod warstwą nasypów piaszczysto-gruzowych do głębokości maksymalnie 3,5 m znajdują się piaski i żwiry rzeczne, których w większości otworów nie przewiercono, jedynie w kilku otworach osiągnięto strop ilów trzeciorzędowych. Piaski charakteryzowały się dużą zmiennością stanu zagęszczenia. Średni ich stopień określono na $I_D = 0.4$, co odpowiada stanowi średnio zagęszczonemu. W takich warunkach gruntowych, autorzy dokumentacji geologiczno – inżynierskiej uznali, że możliwe jest posadowienie bezpośrednie budynków.

Po przystąpieniu do realizacji inwestycji i wstępnym przygotowaniu podłoża w wykopie, generalny wykonawca budynków przystąpił bardzo energicznie do wylewania pierwszych stref płyty fundamentowej, nie czekając na odbiór geotechniczny podłoża. Podczas odbioru dalszych stref pod płytę fundamentową, wykonane płytkie sondowania sondą lekką do głębokości 4 m p.p. fundamentowania wykazały, że stopień zagęszczenia spadał poniżej $I_D=0.33$. Na tej podstawie Inspektor Nadzoru wstrzymał prace fundamentowe i zażądał wykonania dodatkowych, uzupełniających badań geotechnicznych.

Uzupełniające badania geotechniczne na obiekcie wykonała firma Geoteko Sp. z o.o. [3], która zaproponowała że podstawowe parametry geotechniczne podłoża zostaną określone na podstawie sondowań sondą statyczną CPT.

Wykonano 12 sondowań statycznych CPT i 5 otworów wiertniczych. Pozwoliły one na ocenę stanu gruntów niespoistych oraz na określenie występowania stropu ilów trzeciorzędowych. Wyniki badań kontrolnych potwierdziły występowanie w podłożu bardzo luźnych piasków. Za szczególnie niekorzystny uznano fakt, iż piaski luźne (warstwa o miąższości ok. 8.0 m) znajdują się bezpośrednio w poziomie posadowienia najwyższej (18 kondygnacyjnej części budynku). Należy jednocześnie zaznaczyć, że zwierciadło wody gruntowej znajdowało się na poziomie zbliżonym do rzędnej posadowienia budynku.

GEOTEKO, po analizie wyników badań, podkreśliło wyjątkowo niekorzystny układ warstw gruntów. Luźne piaski znajdowały się pod tą częścią projektowanej płyty fundamentowej, pod którą będą występować najwyższe obciążenia (18 kondygnacji) podczas, gdy w miejscach o znacznie niższych obciążeniach (8 kondygnacji) znajdowały się zagęszczone piaski (Rys. 2 – wynik sondowania statycznego CPT w rejonie występowania luźnych piasków). GEOTEKO w swoim raporcie wskazało również na realne zagrożenie możliwością upłynięcia piasków, co mogłoby doprowadzić do katastrofy budowlanej.



Rys. 2 Wynik sondowania statycznego CPT w rejonie występowania piasków w stanie luźnym.

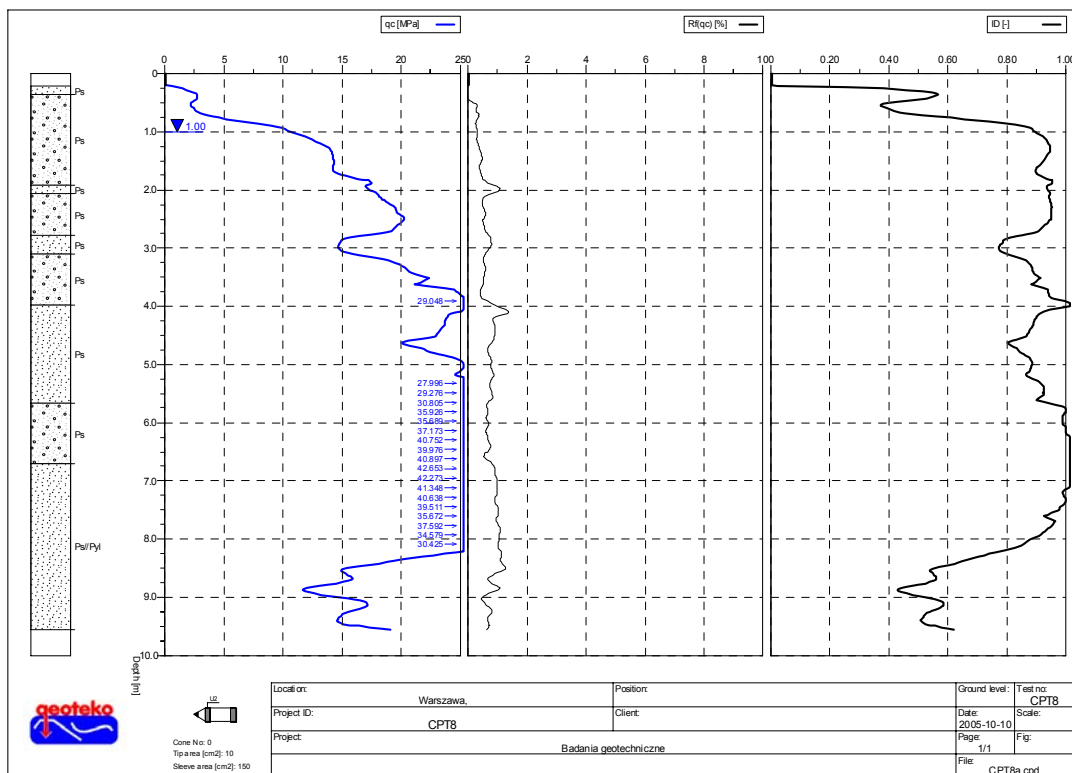
Inwestor na podstawie opinii przedstawionej przez prof. Wojciecha Wolskiego zdecydował o przerwaniu prac fundamentowych i wykonaniu wzmocnienia podłoża.

Na podstawie analizy obliczeń oraz wytycznych nadzoru inwestorskiego i geotechnicznego, kierownictwo budowy ustaliło, w trybie awaryjnym, że w rejonie budynków, gdzie jeszcze nie wylano płyty fundamentowej, podłoże zostanie wzmocnione metodą wibroflotacji, natomiast pod już wykonaną płytą fundamentową zostanie wykonana iniekcja wysokociśnieniowa Jet-grouting.

Projekt wykonawczy wzmocnienia oraz prace wzmocnieniowe wykonała firma KELLER Polska Sp. z o.o. specjalizująca się w tego typu pracach. W celu dogęszczenia luźnych i średnio zagęszczonych piasków zastosowała klasyczną wibroflotację wspomaganą płuczką wodną. Drgające wibratory przy udziale płuczki były pograżane w grunt do głębokości od 8.0 do 17.0 m. Po

osiągnięciu głębokości, zmniejszono dopływ płuczki i prowadzono dogęszczenie gruntu wykonując ruch posuwisto zwrotny z określonym postępem pionowym. Strefa oddziaływania vibracji zależała od parametrów technicznych użytych wibratorów, rodzaju gruntu i przyjętych rozstawów. Przyrost zagęszczenia i kontrolę procesu zagęszczenia w trakcie wibroflotacji określano po zwiększonym poborze prądu przez wibrator oraz po osiadaniu platformy roboczej dochodzącym do 80 cm! Dodatkowo wokół wibratorów tworzyły się leje na skutek osiadania gruntu, które wypełniano dodatkowym materiałem niespoistym dowiezionym z zewnątrz. Łącznie wykonano 270 punktów wibroflotacji o długości 3076 mb na powierzchni 3300 m².

Kontrolę powykonawczą zagęszczenia obszaru wzmocnionego metodą wibroflotacji wykonała spółka GEOTEKO, za pomocą 18 sondowań statycznych CPT, badając podłoże m.in. w tych samych profilach co przed wibroflotacją w celu porównania zmian stopnia zagęszczenia (Rys. 3). Po wykonaniu wibroflotacji nie stwierdzono w rejonie wzmocnienia gruntów w stanie luźnym, natomiast we wszystkich badanych profilach stopień zagęszczenia wzrósł do $I_D > 0.6$. [3]



Rys. 3 Wynik sondowania statycznego CPT po wykonaniu wzmocnienia do głębokości 8.0m

Strefę pustek i słabych gruntów, występujących pod wykonaną płytą fundamentową, firma KELLER Polska Sp. z o.o. wzmocniła za pomocą iniekcji strumieniowej Soilcrete (Jet-grouting). Iniekcja strumieniowa Soilcrete-D miała za zadanie wykonać w gruncie zeskalone kolumny cementowo-gruntowe o średnicy 2.0 m. Wykonanie kolumn, o gabarytach dostosowanych do wymogów projektowych, odbywało się przez wprowadzenie w podłoże rury wiertniczej zakończonej tzw. monitorem. Z dyszy monitora wydostawał się pod bardzo dużym ciśnieniem, rzędu 400 atmosfer, strumień zaczynu otulony sprężonym powietrzem. Dzięki wysokiej energii strumienia dochodziło do rozluźnienia struktury gruntu i przy udziale turbulencji zaczynu cementowy mieszał się z gruntem i doprowadzając do zeskalenia gruntu. Kontrolując w precyzyjny sposób ruchy rury wiertniczej (prędkość podciągania i obrót) uzyskiwano pożądany kształt i zasięg zeskalenia. Wykonywanie kolumn pod fundamentem odbywało się bez wstrząsów. Natomiast przy zachowaniu odpowiedniego nadciśnienia hydrostatycznego metoda Soilcrete zapewniała bardzo dobre podlanie i podparcie płyty fundamentowej. Ograniczało to do minimum osiadania powstające przy przejmowaniu obciążenia od płyty na kolumny Soilcrete. Łącznie wykonano 46 kolumn o średnicy trzonu 2.0 m i średnicy stopy 2,5 m i 8 półkolumn o promieniu 1.2 m, sumaryczna długość wszystkich kolumn 335 mb. Wykonane,

przez GEOTEKO, kontrolne sondowania statyczne CPT potwierdziły również dogęszczenie gruntu pomiędzy kolumnami [3].

Zakładając, że badania geotechniczne wykonane przed rozpoczęciem inwestycji prawidłowo oceniły by stan występujących w podłożu gruntów oraz, gdyby decyzja o konieczności wzmocnienia podłoża zapadła przed wykonaniem płyty fundamentowej, pozwoliło by to na uniknięcie dużych dodatkowych kosztów związanych zarówno ze wzmocnieniem podłoża jak i z wymuszonym przestojem całej budowy. Koszt wzmocnienia podłoża metodą wibroflotacji pod obiektem przy założeniu, że nie rozpoczęto jeszcze robót fundamentowych oszacować można na ok. 450.000,- złotych. Niestety, rzeczywistość zmusiła Inwestora do wydania dużo większej sumy dla ratowania i wzmocnienia podłoża pod już istniejącymi elementami płyty fundamentowej i konstrukcji obiektu. Sumaryczny koszt wykonanych prac metodą wibroflotacji i jet-groutingu wyniósł ok. 780.000,- złotych, nie licząc dodatkowych kosztów generowanych przestojem i ograniczeniem prac generalnego wykonawcy.

3. Podsumowanie

W artykule przedstawiono związek pomiędzy projektowaniem posadowienia obiektu a jakością rozpoznania geotechnicznego. Przedstawiono zarówno ekonomiczny, jak i techniczny aspekt tego problemu. Pokazano, że oszczędności, które mogą wystąpić dzięki dobremu rozpoznaniu geotechnicznemu mogą być ogromne i znacząco wpływać na ostateczny koszt inwestycji. Jednocześnie, niekompletne rozpoznanie geotechniczne, prowadzi, z reguły, do zwiększenia kosztów inwestycji a w skrajnych przypadkach może doprowadzić do katastrofy budowlanej.

Ścisły związek pomiędzy jakością rozpoznania geotechnicznego a kosztami posadowienia obiektu, nakłada na geotechników i geologów obowiązek szukania najlepszych (a nie najtańszych) metod badawczych i dokumentowania w ścisłej współpracy z projektantem - konstruktorem.

Takie rozpoznanie geotechniczne powinno w sposób wyczerpujący informować inwestora o możliwych, ekonomicznie i technicznie najbardziej korzystnych, sposobach posadowienia projektowanych obiektów.

4. Literatura

- [1] Barański T., Krysiak S.: Uzupełniające badania geotechniczne na budowie wieży produkcyjnej w miejscowości X, GEOTEKO Serwis, Warszawa 2005.
- [2] PN-81/B-03020 Grunty Budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [3] PN-83/B-02482 Fundamenty Budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych.
- [4] Wolski W, Krysiak S., Fołtyn P.: Uzupełniające badania geotechniczne na działce przy ulicy X w Warszawie, GEOTEKO, Warszawa 2005.
- [5] Wolski W, Krysiak S.: Kontrolne badania geotechniczne (po wykonaniu wibroflotacji) na działce położonej przy ulicy X w Warszawie, GEOTEKO, Warszawa 2005.
- [6] Wolski W, Krysiak S.: Dodatkowe badania geotechniczne na działce położonej przy ulicy X w Warszawie, GEOTEKO, 2005.