

Geotechniczne uwarunkowania posadowienia obiektów budowlanych

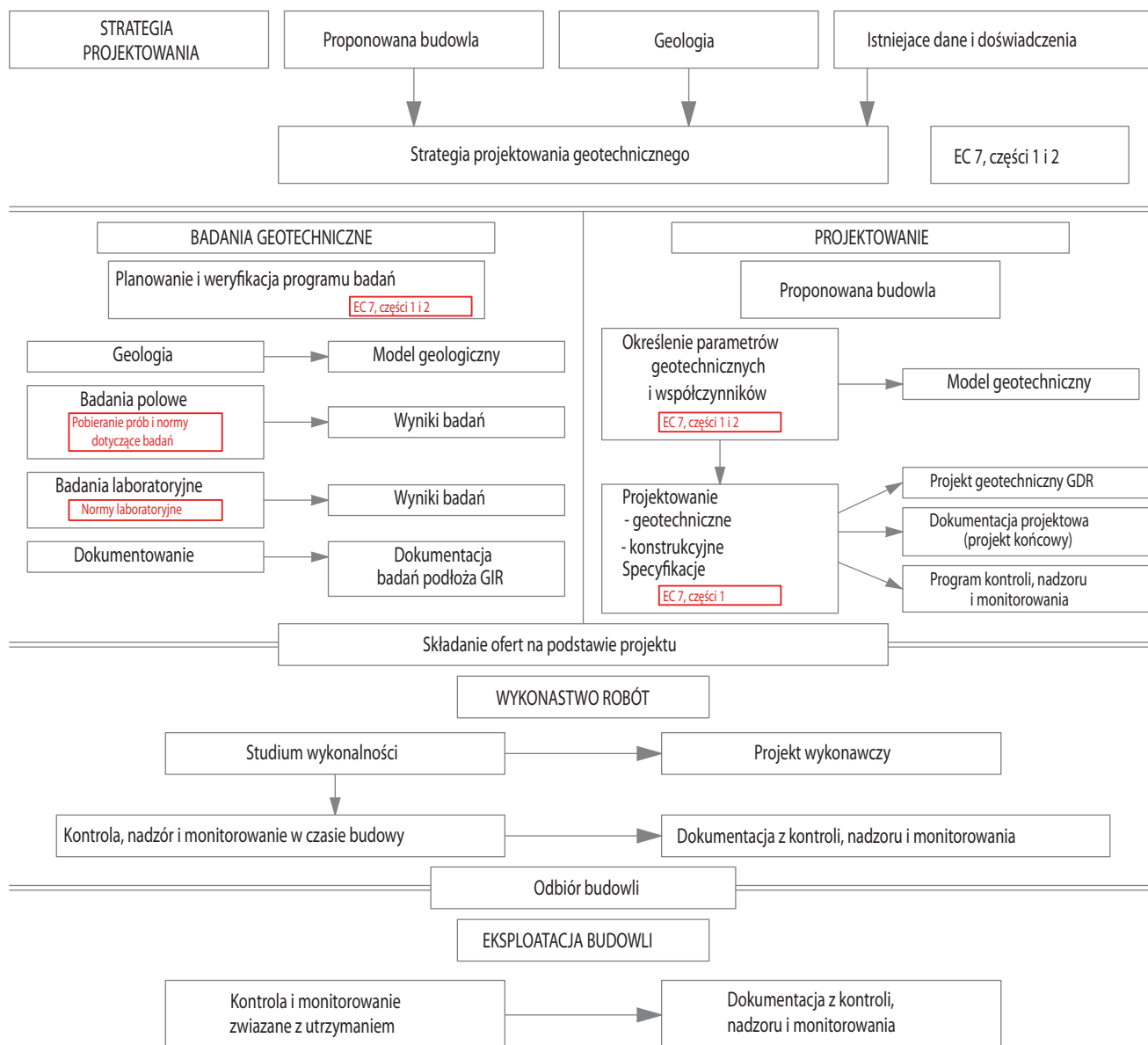
Dr inż. Jerzy Sendkowski, Biuro Budowlane ANKRA sp. z o.o., mgr inż. Anna Tkaczyk, mgr inż. Łukasz Tkaczyk, Biuro Budowlane BAUKO s.c., Kielce

1. Wprowadzenie

Prezentowana praca dotyczy holistycznego spojrzenia na etapy prac badania podłoża podczas rozpoznania

geotechnicznego, projektowania geotechnicznego, wykonawstwa i eksploatacji obiektów budowlanych [1], które to etapy pokazano na rysunku 1.

Na przykładzie wybranych i opisanych kilku przypadków



Rys. 1. Etapy badań podłoża podczas projektowania geotechnicznego, wykonawstwa i eksploatacji obiektów budowlanych [1]

posadowienia geotechnicznego pokazano istotne uwarunkowania geotechniczne, jakie należy wziąć pod uwagę, aby zaprojektowany, wybudowany i eksploatowany obiekt budowlany spełniał warunki nośności, użyteczności oraz niezawodności, niezależnie od wymaganych kategorii konsekwencji zniszczenia.

2. Posadowienie budynku hali sportowej z basenem

Halę sportową z pływalnią posadowiono na Wyżynie Małopolskiej w dolinie rzeki Czarnej w obrębie jednostki geologicznej zwanej Wałem Środkowym, na wysokości 187,4 do 188,3 m npm. W podłożu zalegają mioceńskie wapienie litotamniowe. Strop osadów trzeciorzędowych w stanie zwartym w postaci zwietrzałych wapieni stwierdzono na głębokości 4,7 do 5,2 m npt. Na osadach trzeciorzędowych zalegają osady rzeczne wykształcone w postaci pyłów o konsystencji plastycznej, pyłów piaszczystych z przewarstwieniami piasków. Strop tej warstwy na występuje na głębokości 1,6 do 4,0 m npt. Powyżej tej warstwy zalegają piaski drobne średnio zagęszczone i piaski przewarstwione pyłami. Miąższość piasków wynosi 0,4 do 1,7 m. Całość terenu przykrywają nasypy (piasek, humus, kamienie) o miąższości 0,8 do 1,9 m.

Spadki terenu w miejscu posadowienia hali sportowej z pływalnią sięgają 3%. Rozpoznanie geotechniczne podłoża i ustalenie warunków gruntowo wodnych przeprowadzono wykonując 14 otworów penetracyjnych do głębokości 5,5 do 6,0 m. W wykonanych otworach stwierdzono poziom wód na głębokość 2,5 do 3,8 m npt. Wahania wód gruntowych wynoszą +/-1 m od zaobserwowanego i zależne są od stanu wód w rzece Czarnej oraz od intensywności opadów atmosferycznych. Parametry geotechniczne podłoża gruntowego ustalono na podstawie badań makroskopowych, wyników badań archiwalnych oraz PN-81/B-03020. Charakterystyczne wartości parametrów geotechnicznych ustalono metodą C.

W dokumentacji badań podłoża gruntowego nazwanej „Badania geologiczne” zalecono projektowaną pływalnię posadzić w wydzielonej warstwie piasków lub w warstwie pyłów, powyżej zwierciadła wód gruntowych. Z uwagi na możliwość uplastycznienia zalecono wykonać podsypkę z pospółki o miąższości min 0,3 m, którą należy zagęścić do $I_s > 0.95$.

Rozpoznanie warunków wodno-gruntowych zlecił Pracownia Architektoniczna w 2006 r., na etapie opracowania projektu budowlanego. „Badania geologiczne” przeprowadził uprawniony geolog i we wnioskach podał warunki posadowienia obiektu hali sportowej. Budowę rozpoczęto w maju 2010 r., a przekazano do użytkowania w październiku 2012 r.

Z zachowanych archiwalnych materiałów z budowy obiektu, wynika, że jedynym dokumentem z zakresu posadowienia geotechnicznego obiektu były omówione

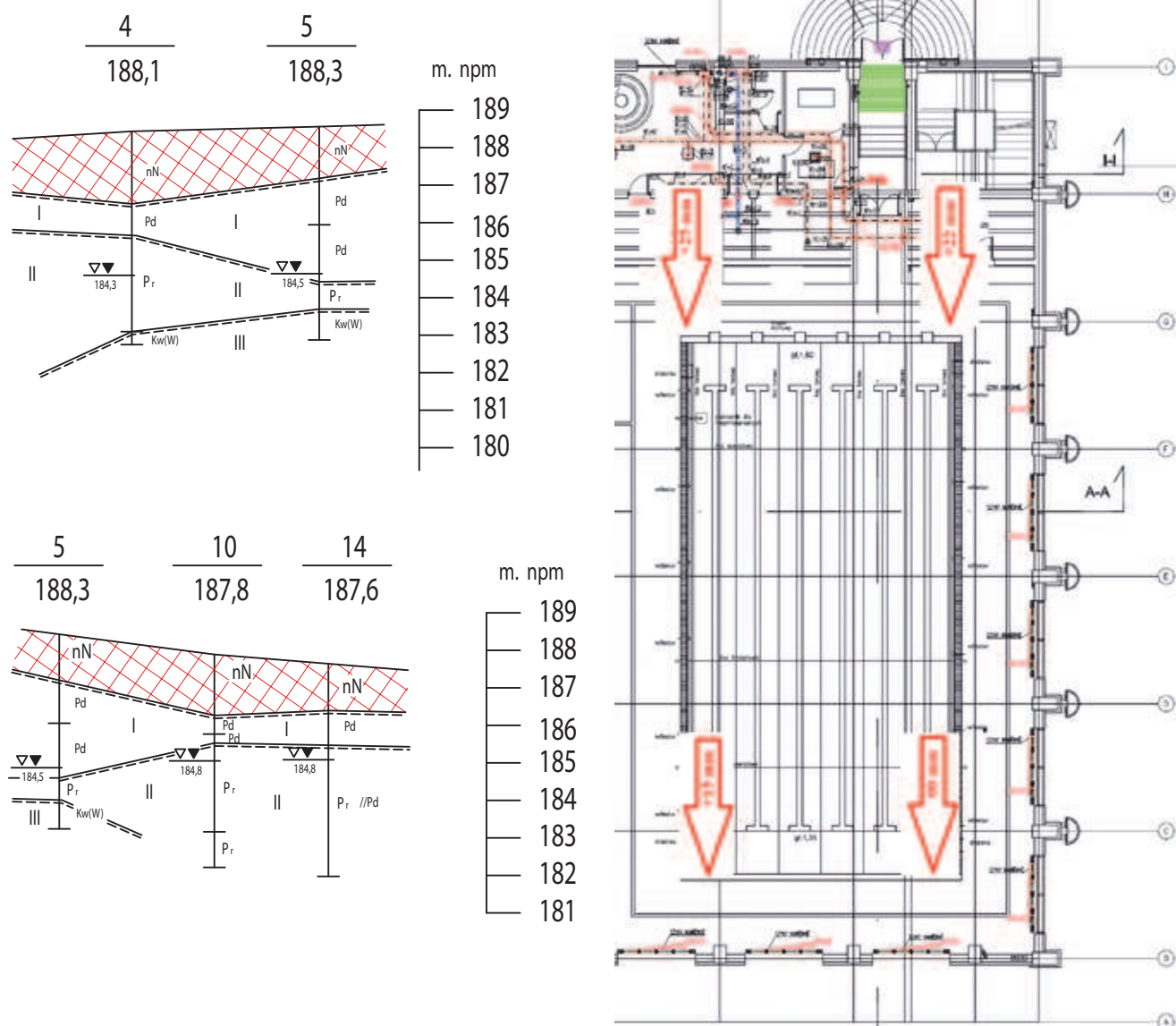
„Badania geotechniczne”. W czasie robót ziemnych wykonawca podjął decyzję o lokalnej wymianie gruntów na pospółkę o grubości warstwy 0,6 m o wskaźniku zagęszczenia $I_s > 0.95$. Nie wykonano badania zagęszczenia wymienianych warstw podłoża, milcząco przyjmując poprawne zagęszczenie.

W wyniku eksploatacji obiektu po ok. 5 latach od rozpoczęcia prac ziemnych zgłoszono zaistnienie osiadania niecki basenowej o 25 mm i jej przechył. To nierównomierne osiadanie o wartości 25 mm okazało się istotną uciążliwością w eksploatacji niecki basenu i zachodzi konieczność interwencji. Po analizie zebranych materiałów stwierdzono niedostateczne rozpoznanie podłoża gruntowego, popełnione błędy w projektowaniu geotechnicznym (brak programu kontroli i monitorowania), brak prognozy osiadania w konkretnych warunkach geotechnicznych, brak kontroli i nadzoru geotechnicznego na etapie budowy, brak sprawozdania z kontroli nadzoru. Obecnie inwestor prowadzi obserwację osiadania niecki basenu i rozważa stosowną interwencję. Na rysunku 2 przedstawiono osiadanie niecki basenu (przechył niecki basenu, jako bryły konstrukcji basenu) w połączeniu z układem warstw geotechnicznych w podłożu, wskazujące na przyczynę powstałej awarii.

3. Posadowienie wieży telefonii komórkowej

Wieżę telefonii komórkowej (rys. 3.) posadowiono w obszarze fliszowych utworów oligocenu (trzeciorzęd). Warstwy podłoża gruntowego zbudowane są z łupków i piaszczystych warstw krośnieńskich. Nad nimi leżą czwartorzędowe zwietrzliny gliniaste oraz pyły na pograniczu glin pylastych. Od powierzchni terenu do głębokości 0,9 m w rejonie fundamentów wieży leżą nasypy niekontrolowane zbudowane z pyłów i gleby. Na okoliczność wychylenia się 40 m wieży o 120 mm wykonano badania podłoża gruntowego i ekspertyzę geotechniczną w rejonie posadowienia wieży antenowej. Wykonano 3 otwory badawcze na głębokość 6 m. Na rys. 3d pokazano profile geotechniczne, a na rys. 3e w tablicy zestawiono wartości parametrów geotechnicznych wydzielonych warstw metodą C wg PN-81/B-03020. Warunki gruntowe zaliczono do warunków złożonych. Wieżę telefonii komórkowej zaliczono do drugiej kategorii geotechnicznej. W wyniku przeprowadzonego rozpoznania stwierdzono:

- występująca pod fundamentami 0,3 m warstwa żwirów jest niewystarczająca dla stabilności fundamentów,
- występujące pod warstwą 0,3 m żwirów plastyczne i miękkoplastyczne pyły na pograniczu glin pylastych są bardzo wrażliwe na uplastycznienie i upłynnienie,
- pod fundamentami wieży zbiera się woda pochodząca z sąsiedztwa, powoduje ona ciągłe uplastycznienie gruntów i rozszerzanie się strefy uplastycznienia w kierunku pionowym jak i poziomym,

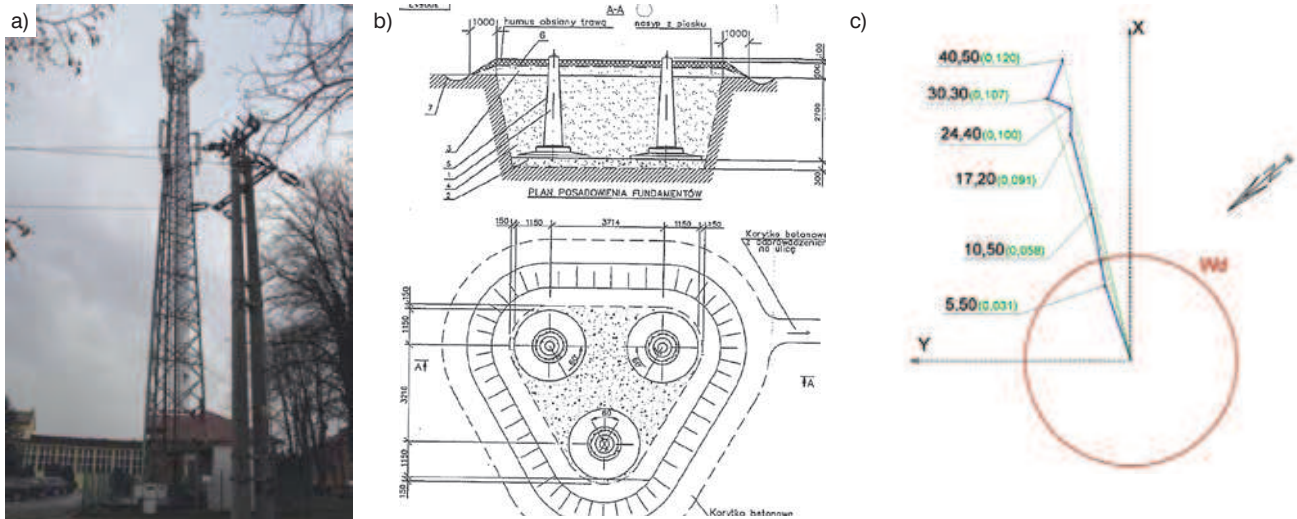


Rys. 2. Układ warstw geotechnicznych w połączeniu z posadowieniem wieży basenu

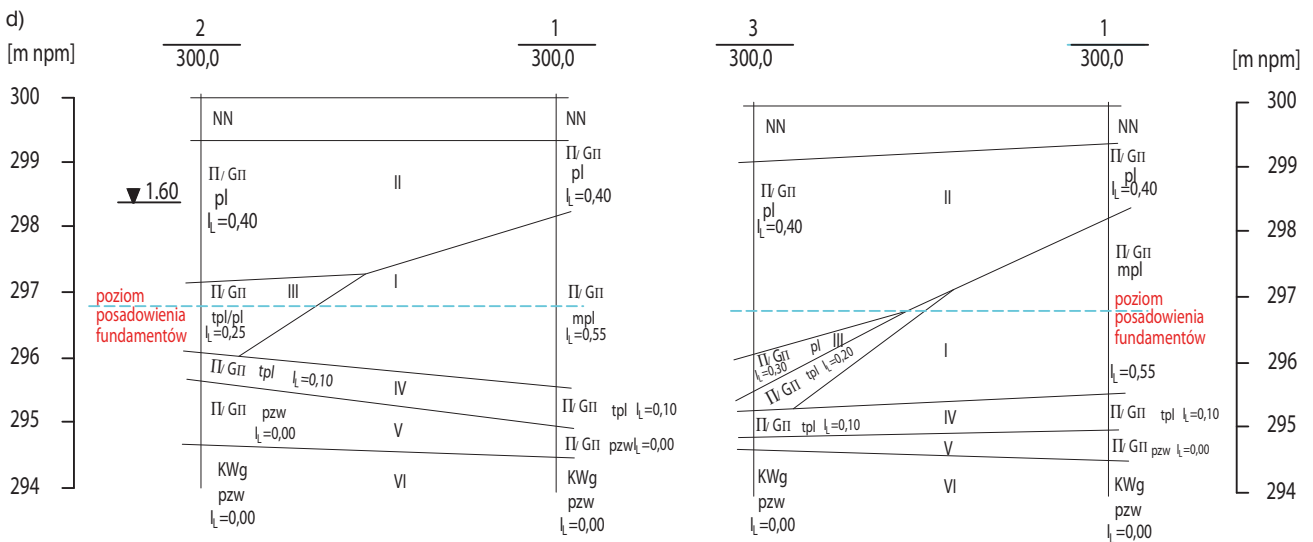
- warstwa pyłów na pograniczu glin pylastych o bardzo niskiej nośności,
- fundamenty wieży będą się znacznie i nierównomiernie osiadać, powodując przechyłanie się wieży,
- głębokość strefy gruntów o niskiej nośności będzie się zwiększać,
- zalecono wzmocnienie podłoża gruntowego poniżej fundamentów wieży,
- zaproponowano zastosowanie pali iniekcyjnych opartych na zwietrzelinie gliniastej VI warstwy geotechnicznej,
- po wzmocnieniu zalecono konieczność wykonania ponownych badań geologicznych,

- zalecono wieżę antenową szybko zabezpieczyć przed przechyłaniem.

Wieżę wybudowano w 1992 r. Nie dotarto do pierwotnych badań wodno-gruntowych na podstawie, których opracowano projekt posadowienia wieży. Na tego typu wieżach zawieszane są zwykle systemy anteny kilku operatorów, którzy wprowadzając nowe technologie telekomunikacyjne często modyfikują te systemy, a które to w następstwie powodują konieczność wzmocnienia wieży i uzyskanie pozwolenia na przebudowę, modernizację wieży. W 2007 roku zaszła konieczność



Rys. 3. Dane charakterystyczne posadowienia wieży telefonii komórkowej: a) widok wieży, b) szkic posadowienia, c) stałe wychylenie wieży od pionu – 120 mm



Rys. 3d. Przekroje geotechniczne

e)

WARTOŚCI PARAMETRÓW GEOTECHNICZNYCH																
TEMAT: Wieża antenowa																
OBJAŚNIENIA GEOLOGICZNE		PARAMETRY GEOTECHNICZNE wg PN-81/B-03020														
Profil stratygraficzno-litologiczny	Opis litologiczno-geologiczno-stratygraficzny	Nr warstwy geotechnicznej	Symbol gruntu wg PN-74/B-02480	Symbol geologicznej konsolidacji gruntu	Stopień zagęszczenia D	Stopień plastyczności λ	Wilgotność naturalna W_n [%]	Gęstość objętościowa d [ton ³]	Spójność c_u [kPa]	Kąt tarcza wewnętrznego f [°]	Edymetryczny moduł ściśliwości (płomkowej) M_0 [kPa]	Edymetryczny moduł ściśliwości (włómej) M [kPa]	Moduł odkształcenia pierwotnego E_0 [kPa]	Moduł odkształcenia wtórnego E [kPa]	Wytrzymałość osiowa σ_{1f} [kPa]	Oper dynamiczny gruntu q_d [MPa]
CZWARTOZĘD	Pyły na pograniczu glin pylistych	I	II / GII	C		0,55	28	1,95	8	9			10 000			
	Pyły na pograniczu glin pylistych	II	II / GII	C		0,40	26	2,00	10	11			14 000			
	Pyły na pograniczu glin pylistych	III	II / GII	C		0,30	24	2,00	12	13			17 000			
	Pyły na pograniczu glin pylistych	IV	II / GII	C		0,10	21	2,05	20	16			25 000			
	Pyły na pograniczu glin pylistych	V	II / GII	C		0,00	18	2,10	30	18			34 000			
	Zwietrzalina gliniasta	VI	KWg	C		0,00	11	2,25	35	19			40 000			

Rys. 3e. Wartości parametrów geotechnicznych wg PN-81/B-03020

wzmocnienia wieży w związku z wprowadzeniem nowego operatora telekomunikacyjnego. Na tę okoliczność sporządzono ekspertyzę geotechniczną wieży. Ekspertyzę zlecił nowy operator, na wniosek właściciela wieży. Wykonał ją uprawniony geolog, ustalając warunki wodno-gruntowe i fizykomechaniczne stosownie do rozporządzenia MSWiA nr 839 z 1998 r. Zalecił wzmocnienie podłoża gruntowego poniżej fundamentów wieży, biorąc pod uwagę „przechylenie się wieży”. Tego wzmocnienia podłoża gruntowego nie wykonano. Wykonano wzmocnienie wieży i wykonano płytę balastową na poziomie terenu o masie 57 t. W 2005 r. przeprowadzono przegląd kontrolny i pomierzono wychylenie się wierzchołka wieży. Nie stwierdzono powiększania się wychylenia. Kolejna modernizacja antenowa w 2012 r. i wejście w życie wymagań EC7 spowodowała obawy właściciela, co do bezpieczeństwa wieży posadowionej w bezpośredniej bliskości Szkoły Podstawowej i Gimnazjum i Urzędu Gminy. Właściciel wieży dbając o bezpieczeństwo ludzi i mienia zalecił dostosowanie wieży do 3 kategorii niezawodności. Zredukowano stosownie obciążenie na wieży (jeden z operatorów zszedł z wieży), a wzmocnienie wieży stosownie uzupełniono, uzyskując stosowne pozwolenie na przebudowę i modernizację. Na tę okoliczność potrzebna była opinii geotechniczna, którą przeprowadził geotechnik.

Wobec powyższych podjęto dodatkowo przeprowadzenie monitoringu wieży (okresowe pomiary geodezyjne). Z aktualnie przeprowadzonych obserwacji i pomiarów wyciągnięto spostrzeżenie. W stanie bliskim bezwietrznemu (0,2 m/s) pod obciążeniem aktualną konfiguracją antenową (niesymetryczne obciążenie) wychylenie punktów wieży na poziomie 40,50 m wynosi 120 mm, wychylenie wieży jest niezmiennie, wg PN B-03204 dopuszczalny przechył wieży w stanie granicznym użytkowości nie powinien być większy niż $h/200$, czyli $40,50 \text{ m}/200 = 0,203 \text{ m}$, wg PN-EN 1993-3-2 przechył wieży w stanie granicznym użytkowości nie powinien być większy niż $h/100$ (załącznik krajowy), czyli $40,50 \text{ m}/100 = 0,406 \text{ m}$, zatem przedmiotowa wieża spełnia te wymogi. Na etapie interwencji błędnie utożsamiono imperfekcje wykonania i montażu wieży z przemieszczeniami wierzchołka wieży pod niesymetrycznym obciążeniem.

4. Zespół budynków biurowych

Zespół budynków biurowych (rys.4) posadowiono poza krawędzią wychodni uskoku Baildońskiego w obszarze nieaktywnym. Teren projektowanej inwestycji nie jest obecnie i nie będzie w przyszłości objęty wpływami eksploatacji górniczej. Według opracowanej mapy przydatności terenu pogórniczego obszaru górniczego „Katowice I” kopalni „Katowice – Kleofas” do zabudowy teren ten zakwalifikowano do kategorii „A” i nie wymaga stosowania zabezpieczeń profilaktycznych.

Warunki gruntowe zaliczono do warunków złożonych. Zespół budynków biurowych zaliczono do drugiej kategorii geotechnicznej. Dla planowanego przedsięwzięcia wykonano dokumentację geologiczno-inżynierską w dwóch etapach, w 2006 r. i 2007 r. Ponadto w 2008 r. i 2009 r. opracowano szereg ekspertyz i opinii geotechnicznych, sporządzonych przez uznanych geotechników na zlecenie inwestora. Budowa zespołu budynków biurowych prowadzona etapami trwa obecnie (budynek C i D).

W wyniku przeprowadzonego rozpoznania geotechnicznego poprzez wykonanie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej stwierdzono występowanie gruntów w wydzielonych warstwach:

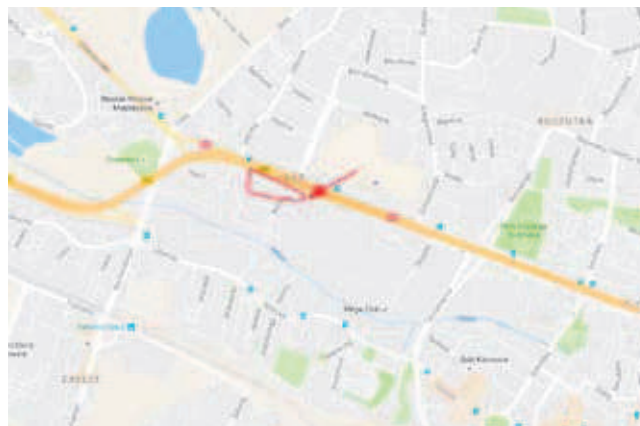
- warstwa nN – nasypy niebudowlane będące mieszaniną piasku, gliny, gruzu ceglanego i betonowego,
- warstwa Ia – piaski pylaste oraz drobne w stanie średnio zagęszczonym, $I_D = 0,55$,
- warstwa Ib – piaski pylaste oraz drobne w stanie zagęszczonym, $I_D = 0,84$,
- warstwa IIa – piaski średnie i grube w stanie średnio zagęszczonym, $I_D = 0,56$,
- warstwa IIb – piaski średnie i grube ze żwirem w stanie zagęszczonym, $I_D = 0,85$,
- warstwa III – pospółki i żwiry w stanie zagęszczonym, $I_D = 0,75$,
- warstwa C1a – gliny i gliny piaszczyste w stanie twardoplastycznym, $I_L = 0,15$,
- warstwa C1b – gliny w stanie plastycznym, $I_L = 0,30$,
- warstwa C2a – gliny pylaste w stanie półzwałnym, $I_L < 0,0$,
- warstwa C2b – gliny pylaste w stanie twardoplastycznym, $I_L = 0,17$,
- warstwa C3a – pyły i pyły piaszczyste w stanie półzwałnym, $I_L < 0,0$,
- warstwa C3b – pyły i pyły piaszczyste w stanie twardoplastycznym, $I_L = 0,11$,
- warstwa C3c – pyły i pyły piaszczyste w stanie plastycznym, $I_L = 0,34$,
- warstwa C4 – piaski gliniaste w stanie plastycznym, $I_L = 0,43$,
- warstwa C5 – gliny związane i gliny pylaste związane w stanie twardoplastycznym, $I_L = 0,16$,
- warstwa C6a – namuły gliniaste w stanie miękkoplastycznym, $I_L = 0,52-0,86$,
- warstwa C6b – torfy w stanie od pół zwałnego do twardoplastycznym, $I_L = 0,0-0,12$,
- warstwa D1 – ility i ility pylaste w stanie półzwałnym, $I_L < 0,0$,
- warstwa D2 – ility w stanie twardoplastycznym, $I_L = 0,06$.

Zestawienie parametrów geotechnicznych wydzielonych warstw gruntów podano w tabeli 1.

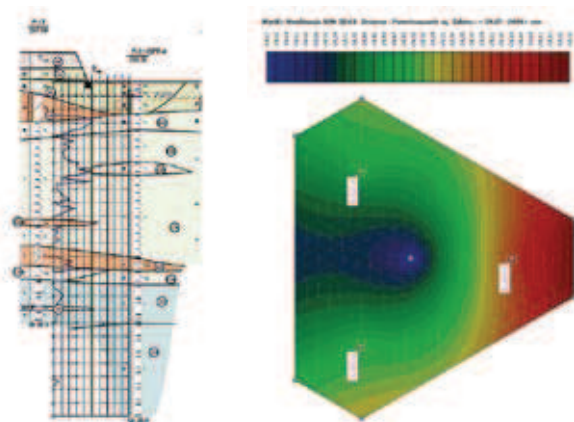
Dla bezpieczeństwa wprowadzono zabezpieczenia konstrukcyjne budynków poprzez:



Rys. 4a. Widok zespołu budynków biurowych

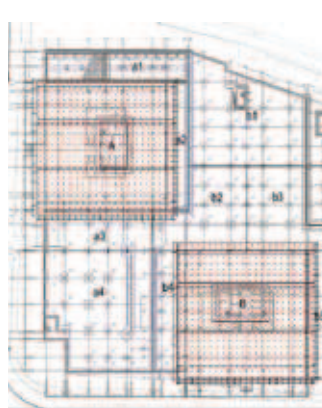


Rys. 4b Mapa lokalizacyjna

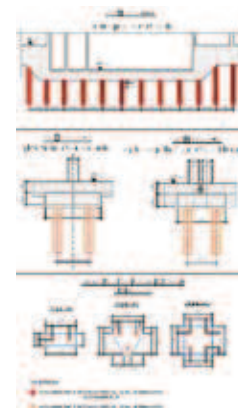


Rys. 4c. Przekrój geotechniczny w rejonie wzmocnionego podłoża gruntowego kolumnami przemieszczeniowymi CMC

Rys. 4d. Mapa przemieszczeń pod fundamentem posadowionym na podłożu wzmocnionym kolumnami przemieszczeniowymi CMC



Rys. 4e. Zarys posadowienia segmentów A i B zespołu budynków na siatce kolumn CMC



Rys. 4f. Posadowienie słupów na podłożu wzmocnionym kolumnami CMC

- podział budynku na segmenty – jak na terenach górniczych,
- posadowienie na sztywnym płytowym fundamencie stanowiącym konstrukcją odporną na lokalne zmiany warunków gruntowych,
- płyty centrujące pomiędzy płytami fundamentowymi poszczególnych segmentów,
- wieńce w poziomach stropów,
- przy konstruowaniu zbrojenia stosowanie zasad zbrojenia jak dla obiektów na szkodach górniczych,

Na podstawie rozpoznania geotechnicznego warunki gruntowe dla posadowienia Zespołu Budynków Biurowych oceniono jako niekorzystne. W związku z tym Zespół Budynków Biurowych posadowiono na wzmocnionym podłożu gruntowym za pomocą kolumn CMC. Wykonano stosowny projekt wykonawczy wzmocnienia za pomocą kolumn CMC. Kolumny CMC wykonano, stosując mieszankę betonową na kruszywie naturalnym do 16 mm. Stosowano beton klasy C16/20. Prowadzony jest nadzór geotechniczny nad realizacją

przedmiotowego zadania inwestycyjnego. Prowadzony jest monitoring osiadania każdego z czterech budynków. Na rysunku 4 pokazano widok zespołu budynków, miejsce lokalizacji, wybrany przekrój geotechniczny w rejonie wmacnianego podłoża gruntowego, zarys posadowienia segmentów A i B zespołu budynków na siatce kolumn CMC, posadowienie wybranych słupów i fundamentu płytowego na podłożu wzmocnionym kolumnami CMC, mapę przemieszczeń pod fundamentem posadowionym na wzmocnionym podłożu oraz wybrane wyniki z monitoringu osiadań Zespołu Budynków Biurowych. Prognozowane maksymalne przemieszczenie pod Zespołem Budynków Biurowych szacowano na 65 mm. Przemieszczenie szacowane stanem SGU dla budynków powyżej 11 kondygnacji wynosiło 80 mm. Maksymalne przemieszczenie z monitoringu pokazane na rysunku 4g wynosiło 48 mm. Przy realizacji omawianej inwestycji prowadzony jest stały nadzór geotechniczny i monitoring. Omawiany przypadek, dotyczy dużej inwestycji. Inwestor z zespołem projektantów (na etapie nadzoru autorskiego)



Rys. 4g. Wynik z monitoringu osiadania reperów założonych na poszczególnych budynkach

zastosował się do wymagań EC7 już w czasie trwania budowy, poprzez ustalenie dopuszczalnych granic zachowania się konstrukcji poszczególnych budynków (budowanych etapowo), poprzez proces kontroli oraz program monitorowania. Opracował procedury reakcji na wykonane pomiary oraz posiada plan działań interwencyjnych.

5. Podsumowanie

Na opisanych przypadkach posadowienia obiektów budowlanych o różnorodnych uwarunkowaniach wynikających z warunków gruntowych i kategorii geotechnicznych obiektów budowlanych wykazano potrzebę postępowania wg schematu podanego na rysunku 1, tj. badania podłoża gruntowego zarówno podczas projektowania geotechnicznego, wykonawstwa i eksploatacji obiektów budowlanych.

W dwóch pierwszych przypadkach zachodziła pilna potrzeba przeprowadzania dodatkowego rozpoznania i podjęcia działań interwencyjnych, których inwestor się nie spodziewał, nie przewidział i na które nie był przygotowany. W pierwszym nie podjęto dalszych prac rozpoznania podłoża gruntowego. W drugim ponownie przeanalizowano uzyskane wcześniej informacje z przeprowadzonego badania w 2007 r. i sporządzono aktualną opinię geotechniczną opracowaną przez geotechnika z uprawnieniami. W projektowaniu rozpoznania pod omawiane inwestycje, w badaniach, w dokumentowaniu warunków posadowienia zabrakło współpracy projektanta, geotechnika i geologa.

Spotyka się opinie geotechniczne i projekty geotechniczne sporządzane po 25.04.2012 r., przez geologów, co jest naganne, a ponadto niezgodne z aktualnie obowiązującymi przepisami i wiedzą techniczną w tym zakresie [3,4].

Zatem „projektowanie geotechniczne” to rozwiązywanie zadań współpracy obiektu z podłożem gruntowym na wszystkich etapach budowy. Z analizy rysunku 1 wynika, że lewa strona to rozpoznanie geotechniczne podłoża gruntowego (które omówiono w pracy [3], [5]), a prawa strona to projektowanie geotechniczne, interpretacja danych, sprawdzanie wg ustalonych przez EN-1997-1 procedur na wszystkich etapach budowy, jak również podczas utrzymania obiektów.

Przez pryzmat omawianych przypadków posadowienia obiektów budowlanych na pierwszy plan wysuwa się wymagany udział geotechnika w trakcie trwania procesu budowlanego, począwszy od prac związanych z rozpoznaniem geotechnicznym terenu, poprzez proces budowy, zakończenia, a w wielu uzasadnionych przypadkach również przez cały okres eksploatacji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 1997-1 Projektowanie geotechniczne, Część 1, Zasady ogólne
- [2] PN-EN 1997-2 Projektowanie geotechniczne, Część 2, Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego
- [3] L. Wysokiński, W. Kotlicki, T. Godlewski, Projektowanie geotechniczne wg Eurokodu 7, Poradnik, ITB, Warszawa, 2011
- [4] Z. Grabowski, Inżynier geotechnik – współuczestnik procesu budowlanego, Inżynier Budownictwa 18.04 2013
- [5] J. Sendkowski, A. Tkaczyk, Ł. Tkaczyk, Rozpoznanie jako podstawa projektowania geotechnicznego, XIII Konferencja Naukowo Techniczna, Warsztat Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego, Kielce 2014 r.

Za publikację w miesięczniku „Przegląd Budowlany”
uzyskuje się 5 punktów
zgodnie z komunikatem MNiSW
 z dnia 23.12.2015 roku, wykaz B, pozycja 1381.

Serdecznie zapraszamy autorów do publikowania w Przeglądzie Budowlanym.