

ASPEKTY POSADOWIENIA BUDYNKU WIELOKONDYGNACYJNEGO W IŁACH EKSPANSYWNYCH

ŁUKASZ A. KUMOR, e-mail: lukasz.kumor@engeo.com.pl

MACIEJ K. KUMOR

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

ZBIGNIEW MŁYNAREK

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie: Budynek wielokondygnacyjny, który był tematem analizy, zlokalizowano na niskim tarasie, bezpośrednio przy erozyjnym brzegu rzeki Brda. Rozpoznanie geotechniczne wykazało, że warunki gruntowe należy zakwalifikować do skomplikowanych. W podłożu występowały, bowiem ekspansywne iły i anizotropowe warstwy węgla brunatnego oraz laminy pylaste z wodą subartezyjską. Opracowano model geotechniczny podłoża, w którym przyjęto głębokie posadowienie bezpośrednie budynku na płycie fundamentowej na głębokości 4,6 m p.p.t., w warstwie iłów. Wykonawca fundamentów zrealizował inny, własny projekt: posadowienie na wbijanych prefabrykowanych palach żelbetonowych. Płytę założono na głębokości 0,7 m p.p.t. Po wbiciu 76 pali, stwierdzono w trzech rzędach przemieszczenia poziome głowic pali w kierunku rzeki. Przemieszczenia wyniosły początkowo około 20 cm i wzrosły do 50 cm. Analiza geotechniczna wykazała, że przyczyną przemieszczania się pali mogło być wgłębne naruszenie stanu równowagi, w wyniku uaktywnienia się quasi klina odłamu i jego przesunięcia się wraz palami ku korytu rzeki.

Słowa kluczowe: posadowienie w iłach ekspansywnych, pęcznienie iłu, pale wbijane, erozja brzegu, rozpoznanie geotechniczne, skomplikowane warunki posadowienia

1. Wstęp

Wielokondygnacyjny budynek mieszkalny w formie dwóch wież (rys. 1) zaprojektowano na fundamencie płytowym o długości $L = 47$ m i szerokości $B = 29$ m.



Rys. 1. Wizualizacja obiektu zlokalizowanego na niskim tarasie rzeki Brdy

Budynek usytuowany został w śródmieściu, bezpośrednio przy linii wody na niezagospodarowanym, niskim tarasie erozyjnego brzegu rzeki Brda (rys. 1, 2). Obiekt ma część nadziemną mieszkalną i usługową oraz podziemną garażowo-techniczną. Z północnej strony działki granicę zabudowy stanowi linia brzegowa i głębokie koryto rzeki, ze zniszczonym umocnieniem brzegu (rys. 2).



Rys. 2. Widok na niski taras w granicy zabudowy obiektu

Geomorfologicznie teren położony jest w obrębie Kotliny Toruńskiej (315.35), stanowiącej dolinę erozyjną wód pro glacialnych późno plejstocenijskiej deglacjacji łałododu bałtyckiego. Działka znajduje się na głęboko wciętej, holocenijskiej terasie zalewowej. Różnica wysokości zbocza poszczególnych teras wynosi ponad 20 m. Naturalny charakter teras Brdy uległ zatarciu w związku z przekształceniami antropogenicznymi i urbanistycznymi. Współczesna powierzchnia terenu działki została ukształtowana w wyniku prac makroniwelacyjnych, mających na celu załadowanie starorzeczy i podniesienie naturalnej powierzchni terenu. Rzędne terenu zawierają się w przedziale od około 33,0 m n.p.m., w strefie brzegowej Brdy do około 35,7 m n.p.m., w części południowej działki.

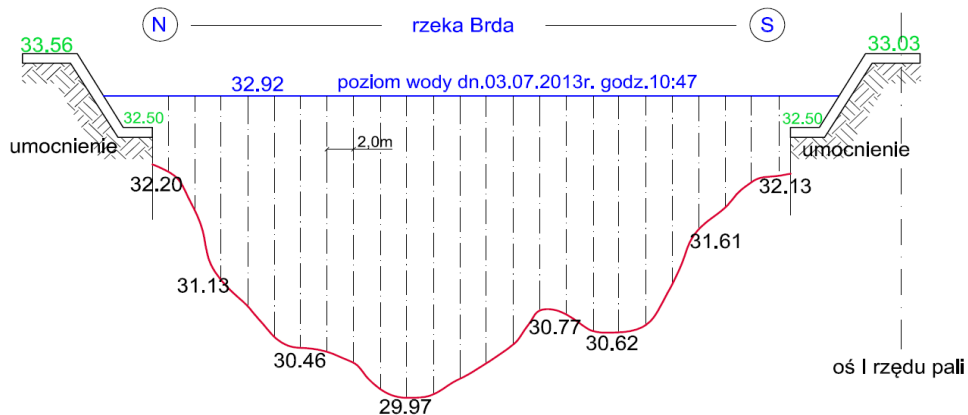
Obszar należy do ujściowego fragmentu rzeki Brdy. Poziom wody zależny jest od stanu Wisły, która w okresach wyżówek wywołuje efekt cofki i spiętrza wody Brdy. Amplituda wahań poziomu wody w rejonie realizowanego obiektu wynosiła około 1,8 m i wahała się pomiędzy średnio niskim stanem (rzędna 32,65 m n.p.m. a najwyższym stanem (przy prawdopodobieństwie wystąpienia $p = 1\%$) 34,43 m n.p.m., (dane wg RZGW).

2. Rozpoznanie budowy podłoża

Najważniejszym elementem w projektowaniu i realizacji posadowienia wysokich budowli na łałach ekspansywnych w aktywnej dolinie erozyjnej jest wysoka jakość identyfikacji fizycznych i mechanicznych cech gruntów, obejmująca również wrażliwość na działanie zmian naturalnych oraz wpływ antropopresji. Czynniki te kształtują łącznie nowe warunki geotechniczne i środowiskowe.

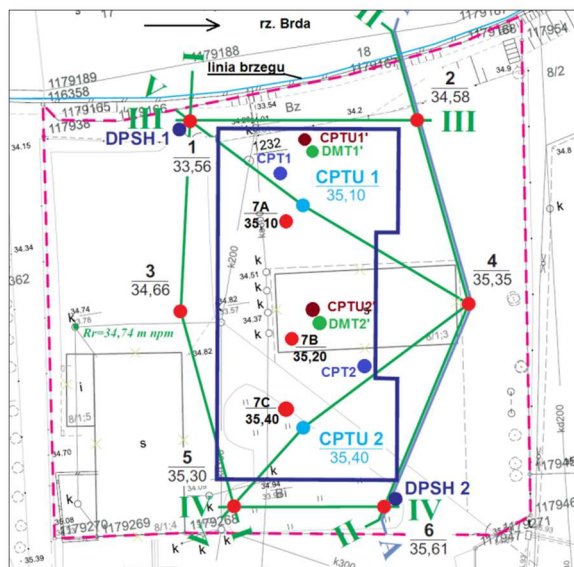
Badania geotechniczne podłoża i rozpoznanie geologiczno-inżynierskie w omawianym przypadku zostały wykonane w pełnym wymaganym zakresie rozpoznania, stosownie do obiektów trzeciej kategorii geotechnicznej – warunki gruntowe skomplikowane. W materiałach wyjściowych, tj.: koncepcji budowlanej, opinii geotechnicznej i w projekcie robót geologicznych zwrócono szczególną uwagę na odpowiedni zakres analiz laboratoryjnych, badań

polowych i ich jakość. Uwzględniono właściwości ekspansywne ilów neogeńskich, rozprzestrzenienie warstwy węgla brunatnego oraz złożony piezometryczny charakter poziomów wody gruntowej. Przeprowadzono pogłębioną analizę wyników archiwalnych badań terenowych, literatury, materiałów faktograficznych, map geologicznych i przewidywanej głębokości oddziaływania projektowanej inwestycji. W wyniku tej analizy scharakteryzowano genezę i warunki ułożenia oraz występowania utworów czwartorzędowych (holoceńskich) oraz neogeńskich (miocenńskich i pliocenńskich). Badania hipsometryczne w rzece wykazały aktywne i silnie rozwinięte procesy korytowe erozji wgłębnej i bocznej w rejonie zabudowywanego brzegu niskiego tarasu rzeki (rys. 3).



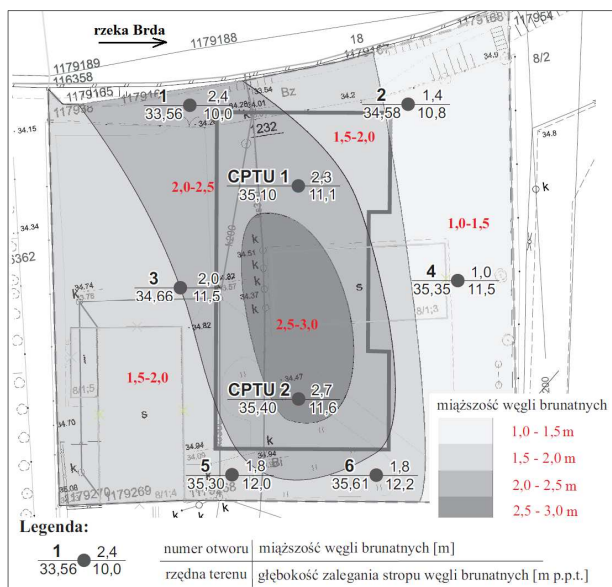
Rys. 3. Konfiguracja dna rzeki Brda w bezpośrednim sąsiedztwie lokalizacji obiektu, wg GEOLIT

W przypadku rozpoznania geologiczno-inżynierskiego uszczegółowiono budowę geologiczną (rys. 4).



Rys. 4. Lokalizacja obiektu na tarasie rzeki i miejsc badawczych

Wyniki tych badań zidentyfikowały zasadnicze procesy geodynamiczne, cechy ekspansywne, poziomy i charakter wody gruntowej, morfologię stropu węgla brunatnego (rys. 5) i ładu ekspansywnego, a także chemizm środowiska i lokalne stosunki hydrologiczne.



Rys. 5. Izohipsy stropu węgla brunatnego podłoża gruntowego

3. Warunki geotechniczne podłoża

Na podstawie przeprowadzonych badań i materiałów archiwalnych można stwierdzić, że na model geologiczny podłoża składają się osady kilku formacji geologicznych. W strefie przypowierzchniowej występują osady czwartorzędowe, reprezentowane przez antropogeniczne nasypy niekontrolowane. Drugą formację budują osady plejstoceny, pochodzenia fluwialnego, o uziarnieniu piasków drobnych/średnich i grubych oraz żwirów i warstwy bruku rzeczno. Głębszą strefę podłoża stanowią ły poznańskie, które sięgają głębokości 19,0 m p.p.t. Warstwa łów wspiera się na stropie węgla brunatnych, które rozciągają się horyzontalnie na piaskach rzecznych.

Wobec złożonej budowy podłoża, celem ustalenia modelu geotechnicznego podłoża i parametrów mechanicznych poszczególnych warstw gruntów, wykonano dodatkowe badania in-situ, w tym sondowania statyczne CPTU i badania dylatometryczne. Położenie gruntów podłoża w systemach klasyfikacyjnych tych badań potwierdziło genezę osadów, która wynikała z modelu geologicznego podłoża, a także przynależność do poszczególnych formacji geologicznych. Z diagramów zamieszczonych na rys. 6 i 7 jednoznacznie wynika, że tylko piaski strefy przypowierzchniowej, powstałe w wyniku akumulacji rzecznej kwalifikują się do gruntów normalnie konsolidowanych, natomiast pozostałe osady, tj. ły, piaski wodnolodowcowe występujące pod warstwą węgla brunatnego – do osadów prekonsolidowanych. Położenie gruntów w obydwu systemach bardzo dobrze uzasadnia genezę gruntów, która wynika z modelu geologicznego.

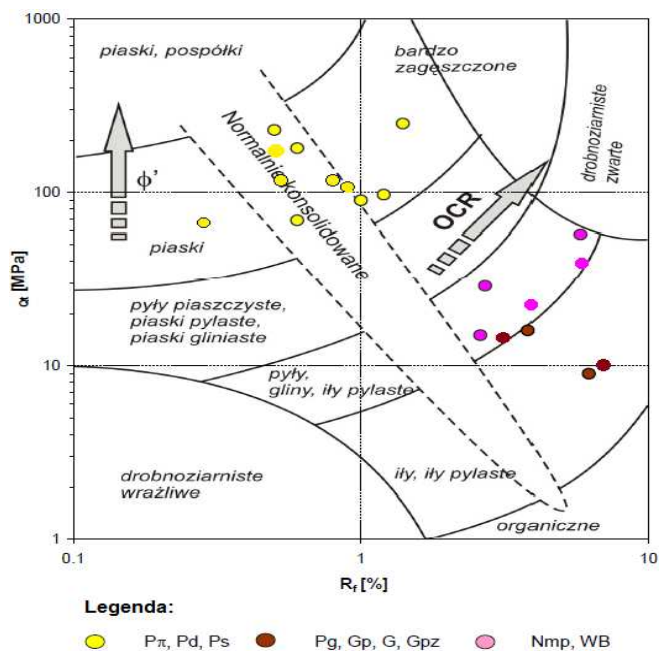
Z charakterystyk badań CPTU i DMT wyznaczono parametry wytrzymałości na ścinanie gruntów spoistych i niespoistych, w tym wytrzymałość na ścinanie bez odpływu s_u , parametry coulombowskie wyrażone w naprężeniach efektywnych ϕ' , c' oraz moduły ścisłości

pierwotnej, które odpowiadają modułowi edometrycznemu M_0 . Parametry wyznaczono według procedur podanych w pracach Lunne i inni (1997) i Młynarka (2007). Przykładowe liczbowe wartości tych parametrów zostały pokazane w tab. 1.

Tabela 1. Parametry geotechniczne gruntów podłoża z badań CPTU i DMT (Młynarek 2014)

WG CPTU i DMT – PUNKT 1								
Przelot	Rodzaj	q_c	I_L/I_D	Φ'	C'	S_u	M_0 CPTU	M_0 DMT
m	gruntu	[MPa]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]
0,0–0,6	nN	9,4	0,66	35,00	-	-	42,0	-
0,6–2,2	nN	4,0	0,40	31,50	-	-	18,0	65,0/75,0
2,2–3,3	Pr	2,8	0,27	31,30	-	-	12,0	36,0
3,3–4,4	Ps	5,9	0,52	33,10	-	-	26,0/42,0	36,0/38,0
4,4–4,9	Nmp	0,9	-	-	-	44,0	4,0	5,2
4,9–7,1	I	1,1	0,17	16,30	16,0	53,0	8,0	8,9/10,5
7,1–7,4	Ps	8,0	0,55	33,40	-	-	35,0	38,0/51,0
7,4–10,4	I	1,0	0,20	15,00	15,0	46,0	7,0	6,0/6,2
10,4–11,6	WB	2,9	-	-	-	130,0	6,0	55,0
11,6–12,6	WB	4,9	-	-	-	235,0	11,0	84,0
12,6–15,3	Pd	14,0	0,64	34,30	-	-	68,0	97,0
15,3–15,7	Ps	33,9	0,95	38,20	-	-	185,0	156

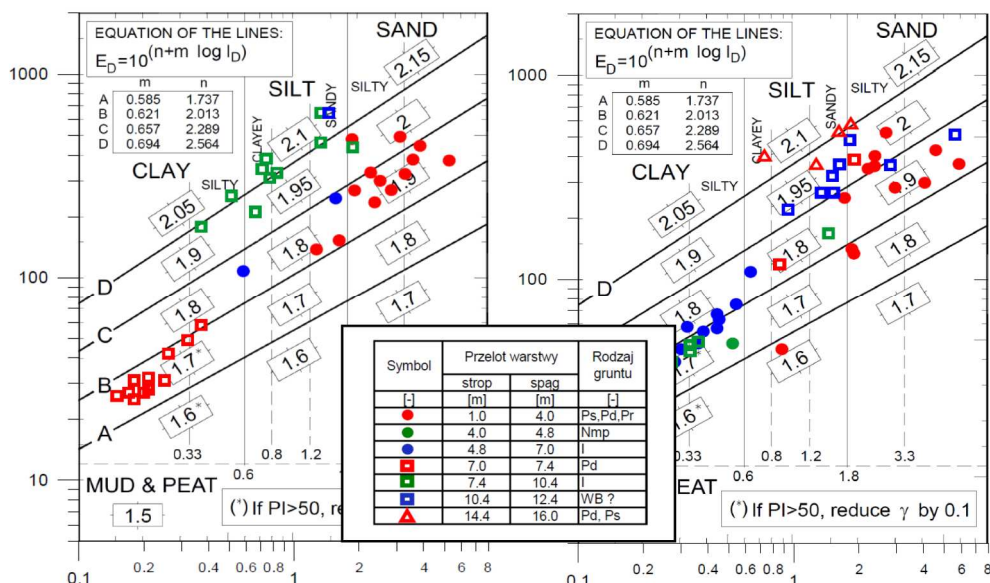
q_c – opór stożka z badania CPTU, I_L – stopień plastyczności, I_D – stopień zagęszczenia



Rys. 6. Położenie gruntów w systemie klasyfikacyjnym CPTU wg Robertsona (1990), Młynarek (2014)

Sondowania statyczne, badania dylatometryczne i wiercenia badawcze dały podstawę do wydzielenia w podłożu kilku warstw geotechnicznych, które umożliwiły ocenę modelu wytrzymałościowo-odkształceniowego podłoża.

Warstwa I w podłożu zbudowana jest z holocenów mokrych i nawodnionych nasypów niebudowlanych o miąższości 1,5–1,8 m o stopniu zagęszczenia $I_D = 0,35$.



Rys. 7. Grunty podłoża budowlanego wg systemu klasyfikacji DMT, Młynarek (2014)

Warstwę II stanowią plejstoceńskie osady akumulacji fluwialnej, w której wydzielono 3 warstwy geotechniczne:

Warstwę IIa budują namuły gliniaste w stanie plastycznym i miękkoplastycznym, namuły, gliny próchniczne oraz średnio rozłożone torfy. Miąższość tej warstwy wynosi 0,3–2,5 m.

Warstwa IIb – obejmuje nawodnione piaski średnie z przewarstwieniami piasków grubych pospółek i namułów oraz domieszkami torfu, żwiru a także bruk rzeczny otoczaki i kamienie. Osady te są w stanie luźnym i średnio zagęszczonym ($I_D = 0,20$ – $0,50$). Miąższość gruntów warstwy IIb jest zróżnicowana i wynosi od 0,3 do 2,7 m.

Warstwa IIc zbudowana jest z pospółek, bruku rzecznoego, otoczków i kamieni, w stanie średnio zagęszczonym ($I_D = 0,40$). Miąższość pospółek osiąga 1,2 m.

Do warstwy III zaliczono serię ilów poznańskich w stanie twardoplastycznym (I_L od 0,04 do 0,28) oraz na pograniczu plastycznego, ze znacznym udziałem węgla brunatnego w spągowej części. Miąższość warstwy wynosi od 5,4 do 8,0 m p.p.t. Są to utwory ekspansywne o wartości ciśnienia pęcznienia $p_c = 135$ do 405 kPa.

Warstwę IV stanowią węgle brunatne o zawartość części organicznych $I_{om} = 69,3$ do 71,8%. Strop tej warstwy zalega na głębokości 10,0–12,2 m p.p.t., a miąższość kształtuje się w przedziale 1,0–2,7 m.

Warstwa V zbudowana jest z nawodnionych mioceńskich utworów piaszczystych facji burowęglowej.

Litologicznie są to piaski średnie i piaski drobne z pyłem węglowym (lokalnie piaski gliniaste) w stanie zagęszczonych ($I_D \sim 0,8$). Strop warstwy V, zalega pod węglami brunatnymi warstwy IV na głębokości 12,2–14,3 m p.p.t.

4. Charakterystyka wytrzymałościowa podłoża

Istotne znaczenie w wyznaczeniu parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych gruntów posiada historia obciążenia podłoża. Ocena prekonsolidacji podłoża, którą uzyskano z badań CPTU i DMT jest wysoce zgodna z historią geologiczną i genezą osadów, które

występują w podłożu, bowiem w dominującej części grunty lokują się w systemie klasyfikacyjnym CPTU (rys. 6) w strefie osadów prekonsolidowanych.

Na podstawie wyznaczonej wartości wytrzymałości na ścinanie bez odplywu S_u , warstwę iltów, zgodnie z normą ISO 14668-2 można zakwalifikować do gruntów o średniej wytrzymałości na ścinanie, natomiast warstwy węgla brunatnego do gruntów o średniej i dużej wytrzymałości na ścinanie ($S_u > 75$ kPa).

Ważnym parametrem w koncepcji posadowienia projektowanego budynku była sztywność podłoża. Wartości modułu ścisłości M_0 , które wyznaczono z badań CPTU i DMT dla jednorodnej warstwy iltu były wysoce zgodne lub bardzo zbliżone (np. CPTU – 1 $M_0^{\text{CPTU}} = 7,0$ MPa; $M_0^{\text{DMT}} = 6,0$ MPa, w przedziale głębokości 7,4–10,4 m p.p.t. oraz CPTU – 2 $M_0^{\text{CPTU}} = 9,0$ MPa; $M_0^{\text{DMT}} = 8,9$ MPa w przedziale głębokości 4,2–8,2 m p.p.t.).

W przypadku warstw węgla brunatnego wpływ na sztywność posiada anizotropowa struktura tych osadów. W dostępnej literaturze nie znaleziono prac, które dokumentowałyby metodykę wyznaczania modułu ścisłości z charakterystyk penetracji z uwzględnieniem efektu anizotropowości. Z tego powodu do wyznaczenia wartości modułu M_0 wykorzystano dwie formuły: Sanglerat'a i Mayne'a (Lunne i inni, 1997). W przypadku wzoru Sanglerata współczynnik empiryczny dla obliczenia modułu M_0 przyjęto jak dla prekonsolidowanych torfów. Obliczone wartości M_0 z tego wzoru należy uznać jako prawdopodobnie dolne i konserwatywne oszacowanie modułu M_0 . Obliczone wartości modułu z tych wzorów znajdują się w tab. 1. Moduł uzyskany z badania CPTU określają wartości modułu w przypadku pionowego obciążenia podłoża, natomiast wartości modułu M_0 uzyskane z badania DMT są wyznaczane na podstawie horyzontalnie zadawanych ciśnień p_0 i p_1 . Wartości M_0 z badania DMT były więc znacznie wyższe od wartości M_0 z badania CPTU. W przypadku wykorzystania wzoru Mayne do oceny modułu M_0 uzyskano wskaźnik proporcjonalności pomiędzy modułami z badań CPTU i DMT od 1,5 do 2,0. Fakt ten potwierdza w istotny sposób anizotropowość warstwy węgla brunatnego i dużą poziomą sztywność tej warstwy. Dużą sztywność warstw węgla brunatnego potwierdzają także wysokie wartości wytrzymałości na ścinanie bez odplywu, które wyznaczono z charakterystyk penetracji (tab. 1).

Strefę osłabienia podłoża stanowi warstwa namulów organicznych. Wytrzymałość na ścinanie bez odplywu kwalifikuje tą warstwę do gruntów na pograniczu małej i średniej wytrzymałości na ścinanie (S_u w przedziale od 42 do 44 kPa), natomiast wartości modułu ścisłości uzyskane z badań CPTU i DMT wynosiły około 5,0 MPa. Fakt ten oznacza, że warstwa ta charakteryzuje się małą sztywnością. Bardzo sztywne i o dużej wytrzymałości podłoże stanowi warstwa piasków wodnolodowcowych, która zalega pod warstwą węgla brunatnego (rys. 8, tab. 1). Dla przyjęcia koncepcji posadowienia przyjęto, że model wytrzymałościowo-odkształceniowy podłoża, w odróżnieniu od modelu stratygraficznego, jest złożony. Model ten charakteryzuje przestrzenna zmienność sztywności podłoża ze strefami osłabienia.

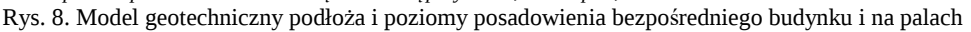
Układ wydzielonych w podłożu warstw geotechnicznych pokazano na rys. 8.

5. Koncepcje posadowienia obiektu

5.1. Projekt podstawowy posadowienia bezpośredniego

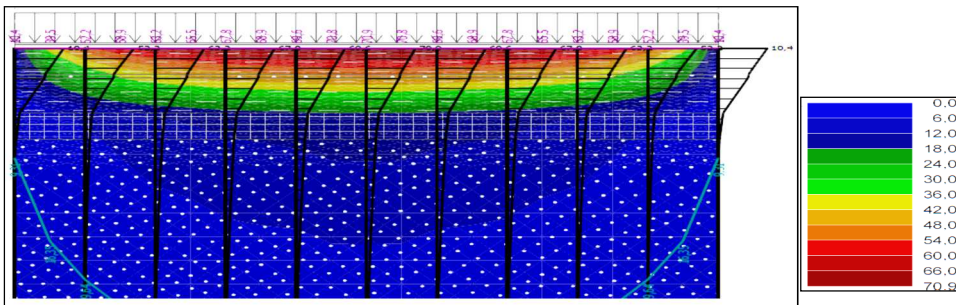
W przygotowaniu koncepcji posadowienia obiektu, oprócz złożonego modelu geotechnicznego podłoża, uwzględniono czynniki, które decydują o zakresie zmian parametrów iltów i węgla brunatnego, do których zaliczają się stosunki wodne i charakter obciążeń (efekt pęcznienia, tiksotropia, erozja wewnętrzna).

Antropopresja wpływa w istotny sposób na wrażliwe środowisko gruntowe, determinując adekwatność prognozy geotechnicznej w fazie użytkowania.



Rys. 8. Model geotechniczny podłoża i poziomy posadowienia bezpośredniego budynku i na palach

W tym kontekście zaproponowano posadowienie budynku, jako bezpośrednie – głębokie na płycie fundamentowej w jednorodnej warstwie ekspansywnych iłów neogeńskich, która stanowi warstwę nr III, na głębokości $D = 4,90$ m p.p.t. (rys. 8).

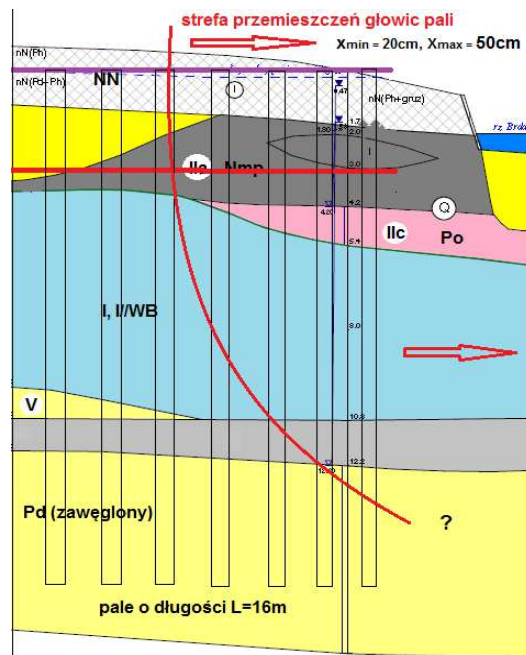


Wykonane symulacje, w różnych przypadkach obciążenia, wykazały spełnienie warunku I stanu granicznego oraz pozwoliły oszacować, że osiadanie całkowite wyniesie nie więcej niż $s = 70,9 \text{ mm}$, tj.: $s = 70,9 \text{ mm} < s_{dop.} = 100 \text{ mm}$ (rys. 9).

W przyjętej koncepcji posadowienia nie zaproponowano posadowienia na palach, w obawie przed spadkiem nośności na poboczniczy pali, $\Delta N_s = 34\%$ w iłach ekspansywnych oraz problematyczne zagłębianie pali w warstwie bruku morenowego, zawierającego głązy i otoczaki (warstwa IIc i IIb). Przed wykonaniem podbetonu zalecono wymianę kationów w iłach ekspansywnych na całej powierzchni dna rzeczywistego wykopu, obniżając w ten sposób wysoki potencjał pęcznienia gruntu.

5.2. Posadowienie na palach wg projektu wykonawcy

Wykonawca fundamentów zrealizował inny, własny projekt posadowienia budynku na 230 palach wbijanych, prefabrykowanych – żelbetowych (rys. 10). Przyjęto wierzch płyty fundamentowej na poziomie terenu około 0,75 m (rys. 7). Pale o długości 16 m zakończono w podiłowej warstwie zagęszczonych piasków miocénskich. Zastosowano pale o przekroju kwadratowym 40,0×40,0 cm.



Rys. 10. Szkic zrealizowanego posadowienia na wbijanych palach prefabrykowanych – żelbetowych

Po wbiciu 73 pali w pierwszych trzech rzędach, najbliższych do linii rzeki, stwierdzono poziome przemieszczenia wszystkich głowic pali w poziomie płyty fundamentowej (rys. 11).

Geodezyjne pomiary przemieszczeń wykazały, że przemieszczenia poziome wystąpiły (współrzędna x na rys. 10) wyłącznie w kierunku rzeki (rys. 10 i 11). W strefie przybrzeżnej wyniosły około 20 cm po pierwszej dobie od zagłębienia pali. Po trzech dobach przemieszczenia osiągnęły wartość 50 cm. Przemieszczenia głowic pali w kierunku równoległym do brzegu rzeki były znacząco niższe i wyniosły od 1 do 8 cm. Wartość zmierzonych przemieszczeń osi pali w płaszczyźnie poziomej uznano za dopuszczalne.

Przemieszczenia dopuszczalne osi pala zależą, jak wiadomo, od założonych w projekcie ograniczeń, wynikających z użytkowania fundamentu. Jeżeli projekt nie postanawia inaczej, wówczas można przyjmować przemieszczenie dopuszczalne równe w kierunku obydwu osi $x = y = 1$ cm.

Odkrywki sprawdzające przemieszczenie pali w najbliższym rzędzie, bezpośrednio przy brzegu rzeki, wykazały równomiernie wzrastające z głębokością odchylenie poboczniczy pala od pionu i „ucieczkę” trzonu pali (podstawy) w kierunku dna koryta rzeki. Nie stwierdzono natomiast pęknięć lub przełamań trzonu pali.

po wykonaniu pierwszych 60 pali w trzech rzędach. Pozostałe 170 pali wykazało przemieszczenia w obydwu kierunkach nie większe niż od 1 do 3 cm.

Przyczyną powstałych przemieszczeń było najprawdopodobniej lokalne naruszenie stanu równowagi statycznej i dynamicznej zróżnicowanego podłoża gruntowego w strefie przykorytowej nabrzeża rzeki, w wyniku dynamicznego wbicia pali żelbetowych o sumarycznej objętości około $V = 97 \text{ m}^3$. W aktywnej strefie współpracy pali z podłożem znalazły się grunty o cechach materiału sztywnego i anizotropowego o zmiennej wytrzymałości na ścinanie bez odpływu i zmiennej sztywności. W takich warunkach doszło do powstania lokalnej sytuacji geotechnicznej w której prekonsolidowany ośrodek ilasty i węgiel brunatny nie miały możliwości dyssypacji ciśnienia porowego i rozwoju procesu konsolidacji filtracyjnej. Zatem, wymuszony objętością wbitych pali przyrost aktywnego masywu o dodatkowej objętości $\Delta V = 11\%$ w odniesieniu do pierwotnej objętości podłoża gruntowego, mógł wygenerować powstanie wewnętrznego klina odłamu, wzdłuż powierzchni genetycznych nieciągłości oraz w strefie głowicy pali i w konsekwencji poziomych przemieszczeń pali.

Przedstawiony przykład awarii pozwala stwierdzić, że w złożonych warunkach gruntowych, pomimo dobrego geotechnicznego i geologiczno-inżynierskiego rozpoznania podłoża, należy przeanalizować projekt geotechniczny i wykonawczy w zespole interdyscyplinarnym. Dotyczy to szczególnie podłoży, które wykazują często *niestandardowe* właściwości fizyko-mechaniczne, np.:

- zróżnicowane genetycznie i litologicznie grunty spoiste lub organiczne, z efektem prekonsolidacji, o cechach ekspansywnych, zapadowe i tiksotropowe, o wysokiej Anizotropii poszczególnych warstw gruntów w kontekście wytrzymałości i sztywności oraz podłoże podatne na erozję wewnętrzną,
- zróżnicowana w szerokich granicach sztywność i wytrzymałość bez odpływu poszczególnych warstw podłoża.

Za bardzo istotne dla przyjęcia właściwej koncepcji posadowienia obiektu w takich warunkach należy także uznać wykorzystanie danych dotyczących wiedzy o lokalnym środowisku geologicznym, w tym: genezy gruntów oraz podatności gruntów występujących w podłożu na charakter dynamicznych i zmiennych obciążeń.

Literatura

1. Gwizdała K., Kumor Ł., Kumor M.: Wybrane problemy wykonawstwa pali w złożonych warunkach geotechnicznych podłoża ekspansywnego tarasu niskiego rzeki Brdy w Bydgoszczy. XV Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Inżynierii Geotechnicznej Bydgoszcz 2009.
2. Kumor M.: Iły ekspansywne podłoża budowlanego Bydgoszczy. Wybrane problemy geotechniczne, monografia, wyd. UTP Bydgoszcz 2016, s. 233.
3. Kumor M., Kumor Ł., Lorkowski J.: Ekspertyza geotechniczna w sprawie posadowienia w ilach ekspansywnych obiektu wielokondygnacyjnego, PIG Bydgoszcz 2015.
4. Lunne T., P.K. Robertson P., Powell J.: Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, Blackie Academic and Professional, London 1997.
5. Marchetti S., Monaco P., Totani G. & Calabrese M. "The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations" A Report by the ISSMGE Committee TC16. Proc. IN SITU 2001, Intl. Conf. On In situ Measurement of Soil Properties, Bali, Indonesia, May 2001, 41 pp.
6. Mayne P.: In-situ test calibration for evaluating soil parameters. In-situ testing. Singapore Workshop, 2006, p. 1–56.
7. Młynarek Z.: Badania geotechniczne uzupełniające, HEBO Poznań 2014.
8. Młynarek Z., Gogolik S., Sanglerat G.: Interrelationship between deformation moduli from CPTU and SDMT tests for overconsolidated soils. Proc. of 18th ICSMGE, Paris: 583–586, 2013.
9. Młynarek Z.: Site investigation and mapping in urban area. Proc. of the XIVth European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Madrid 2007. Vol. I Millpress.

10. Niedzielski A., Kumor M.: Geotechniczne problemy posadowień na gruntach ekspansywnych w Polsce, XV Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Inżynierii Geotechnicznej Bydgoszcz 2009.
11. Sandven R., Senneset K., Janbu N.: Interpretation of piezocone tests in cohesive soils. The First International Symposium on Penetration Testing, Orlando, USA, 1988.
12. Dokumentacja geologiczno-inżynierska określająca warunki geologiczno-inżynierskie dla projektu i budowy budynku biurowo-usługowego, Geolit 2013.
13. Ustalenia i wnioski konstrukcyjne, Biuro Inżynierskie, BIP Bydgoszcz 2014.

ASPECTS OF FOUNDATION OF THE MULTI-STORY BUILDING ON THE EXPANSIVE CLAY SOILS

Abstract: The multi-story building is located on the low terrace, right next to the erosive bank of the Brda River. The bearing layer of the subsoil is made up of expansive clays, covered by alluvial deposits with cobbles and pebbles. The geotechnical recognition indicated complex ground conditions. The subsoil included expansiveness clays and the anisotropic layers and silty laminas with sub artesian water. The geotechnical model of the subsoil was determined, assuming shallow foundation of the building on foundation slab in the layer of clay, at the depth of 4,6 m below the surface level. Nonetheless, the contractor of the foundations performed his own, different project: deep foundation on prefabricated concrete piles. The slab was placed at the depth of 0,7 m. After driving the first 76 piles, horizontal displacements towards the river in first three rows of the piles' caps were observed. The shifts increased from initial 20 to 50 cm. Geotechnical analysis revealed that the reason for the displacements may be the disturbance of equilibrium, caused by activation of quasi soil wedge and its displacement along with the piles towards the direction of the river.

Keywords: foundation on expansive clays, swelling of the clays, prefabricated concrete piles, bank erosion, geotechnical recognition, difficult conditions of foundation