

Jarosław Rybak*, Elżbieta Stilger-Szydło*

ROZPOZNANIE PODŁOŻA GRUNTOWEGO PRZY POSADOWIENIACH OBIEKTÓW INFRASTRUKTURY TRANSPORTU LĄDOWEGO

1. Wstęp

Konstrukcje jezdni drogowych i autostradowych posadawiane są często w złożonych i skomplikowanych warunkach geologiczno-inżynierskich, na gruntach słabonośnych, terenach osuwiskowych, czy w zasięgu eksploatacji wpływów górniczych. Istnieje potrzeba prawidłowego rozpoznania podłoża gruntowego, projektowania i wykonania budowli ziemnej z zastosowaniem odpowiednich sposobów wzmocnienia podłoża i zabezpieczenia samej budowli. Skomplikowana natomiast budowa geologiczna dolin rzecznych, głębokie rozmycia dna rzek, duże, skoncentrowane obciążenia pionowe i poziome przekazywane przez podpory mostów na podłożu — stwarzają konieczność stosowania fundamentów głębokich, specjalnych metod wzmocniania podłoża oraz wprowadzania nowych technologii posadowień.

W pracy zwrócono uwagę na specyfikę programowania i wykonywania badań *in situ* rozpoznania podłoża gruntowego przy realizacji posadowień obiektów drogowych i mostowych. Szczególną uwagę zwrócono na błędy w rozpoznaniu podłoża i ich konsekwencje w projektowaniu i realizacji robót budowlanych. Przedstawiono przykłady takich błędów w odniesieniu do projektowania fundamentów palowych.

2. Programowanie badań *in situ* podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych

Stosowanie nowych rozwiązań i technik posadowień obiektów infrastruktury transportu lądowego, często na terenach o niekorzystnych warunkach geotechnicznych, wytyczają

* Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska, Wrocław

kierunki rozwoju eksperymentalnej geotechniki. Ostatnio w kraju i za granicą nastąpił znaczny postęp w kierunku poznania zachowania się gruntów w złożonych sytuacjach projektowych. Jest on przede wynikiem poszukiwania i wprowadzenia nowoczesnych badań *in situ*, umożliwiających interpretacje otrzymywanych wyników w bardzo szerokim zakresie. Z dotychczas stosowanych metod badań *in situ* podłoża gruntowego, największe zastosowanie praktyczne znalazły: sondowania statyczne, dylatometryczne i presjometryczne [9]. Wprowadzane są również rozwiązania stanowiące połączenie wyżej wymienionych metod badań [8]. Istotną rolę przy ustaleniu kategorii geotechnicznej obiektu i określeniu potrzebnego zakresu badań podłoża odgrywa stopień złożoności warunków geologiczno-inżynierskich.

W przypadku inwestycji drogowej, zalecane na etapie badań rozpoznawczych analizy materiałów archiwalnych, wizje lokalne terenu, czy też interpretacje zdjęć lotniczych lub satelitarnych (szczególnie przy wyborze przebiegu trasy dróg klas I i II), można rozszerzyć na obszarach słabiej rozpoznanych o badania: kontrolne ręcznymi sondami penetracyjnymi do głębokości 3,0÷5,0 m; sondami rdzeniowymi do głębokości 10,0 m; obserwacyjne i pomiarowe dotyczące wód gruntowych i powierzchniowych; badania geofizyczne.

Etap badań podstawowych pozwala na: dokonanie wyboru trasy drogi oraz lokalizacji obiektów mostowych i towarzyszących, wybór rozwiązań technicznych budowli i ocenę kosztu inwestycji, określenie parametrów geotechnicznych gruntu podłoża konstrukcji budowli drogowej. Podstawowymi badaniami polowymi są: wyrobiska badawcze oraz badania *in situ*. Wyrobiska badawcze obejmują: wiercenia i sondy penetracyjne, doły próbne, wykopy badawcze. Potrzebna liczba i rozstaw wyrobisk zależy od stopnia złożoności budowy podłoża oraz od klasy drogi. Rodzaj i zakres badań zależy od głębokości położenia warstw gruntu w stosunku do niwelety drogi [15]. Wyniki badań powinny stanowić kompletną ocenę warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych wzdłuż całej trasy projektowanej drogi, uwzględniając przede wszystkim rozpoznanie podłoża na odcinkach wykopów i nasypów oraz występowania osuwisk.

Prace modernizacyjne związane z przebudową istniejących dróg (poszerzenie nawierzchni na skutek powiększenia szerokości korony drogi, dobudowa nowej jezdni) wymagają zaprogramowania identycznego zakresu badań podłoża, jak przy budowie nowych dróg. Przy projektowaniu natomiast wzmocnienia istniejących nawierzchni, poszerzenia nawierzchni w obrębie istniejącej korony, bądź modernizacji nawierzchni, zakres badań polowych i laboratoryjnych gruntów powinien uwzględniać zalecenia [15].

Nieco odmiennie programuje się wiercenia badawcze przy projektowaniu obiektów mostowych. Liczba i usytuowanie podstawowych wierceń badawczych w warunkach geologicznych prostych i złożonych zależy od szerokości mostu i średniej rozpiętości przęseł [11]. Przy skomplikowanej budowie geologicznej, siatkę wierceń podstawowych zagęszcza się lub przewiduje wiercenia pomocnicze. Dotyczy to przede wszystkim: stref zaburzeń glacictonicznych, terenów osuwiskowych, zjawisk krasowych i stref krawędziowych dolin rzecznych, występowania cienkich warstw gruntów o zmiennym układzie, przewarstwień lub soczewek gruntów ściśliwych.

Potrzebna głębokość wierceń badawczych zależy jest od rodzaju budowli i wartości obciążeń przekazywanych na podłoże oraz od warunków gruntowych:

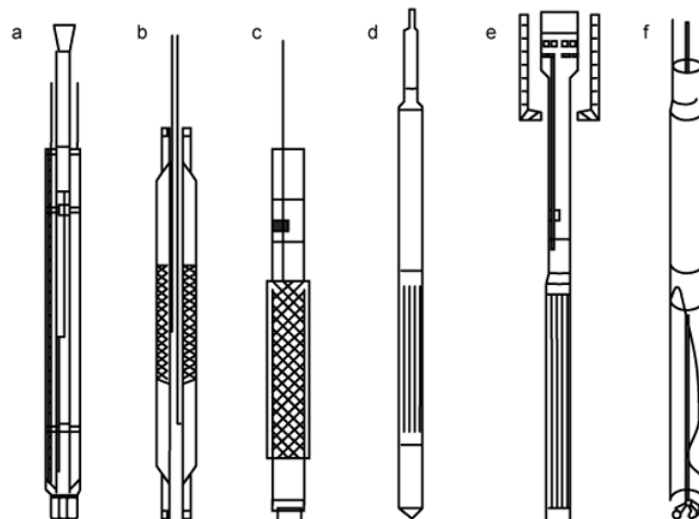
- Fundamenty bezpośrednie mostów — głębokość otworów podstawowych nie powinna być mniejsza od 5,0 m poniżej przewidywanego spodu fundamentu (orientacyjnie 6,0÷8,0 m poniżej poziomu terenu). Możliwe jest płytsze zakończenie otworów, lecz co najmniej 2,0 m poniżej stropu warstwy nośnej. Wiercenia pomocnicze doprowadza się do głębokości równej 1,0÷2,0 m poniżej spągu gruntu o małej nośności.
- Fundamenty głębokie mostów — potrzebną głębokość wierceń można przyjmować równą zagłębieniu pali, powiększonemu o co najmniej 3,0 m (orientacyjnie 10,0÷25,0 m poniżej poziomu terenu), a studni lub kesonów — o 5,0 m (15,0÷30,0 m od powierzchni terenu). Otwory powinny jednak być zagłębione co najmniej 6,0 m w warstwę gruntu nośnego. Głębokości te można zmniejszyć, jeśli wiercenia przeprowadza się w warstwach jednorodnych o dużej miąższości (np. ropy plioceńskie, ropy krakowieckie itp.).
- Konstrukcje oporowe — głębokość wierceń powinna przekraczać możliwą powierzchnię poślizgu oraz osiągać głębokość poniżej spodu fundamentu równą, co najmniej wysokości ściany lub uskoku terenu.

3. Badania odkształcalności gruntów — presjometryczne i dylatometryczne

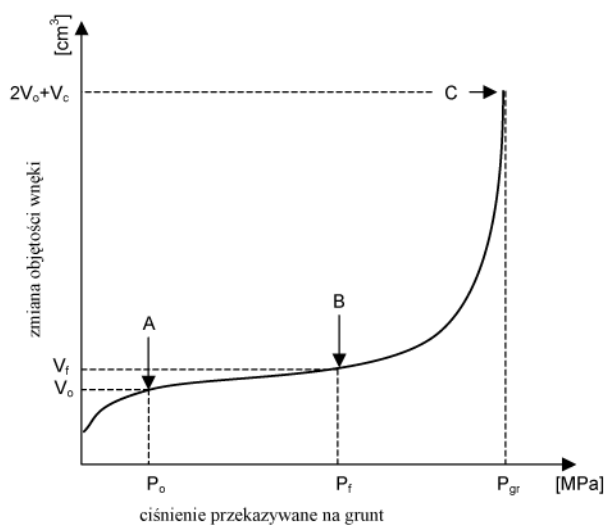
Badanie presjometryczne jest próbnym obciążeniem gruntu na żądanej głębokości, w otworze, za pomocą sondy o kształcie cylindra, rozszerzanej radialnie. Od czasu skonstruowania pierwszego presjometru przez Louisa Mênarda w 1956 roku [7] powstało wiele jego wersji i udoskonaleń. Stosowane obecnie elektroniczne urządzenia pomiarowe w konstrukcji presjometru, sprzężone z mikrokomputerem, pozwalają na dokładny pomiar wartości odkształceń w gruncie i ich postaci oraz na bieżące przetwarzanie otrzymanych danych i dostarczanie wyników badań. Nowe konstrukcje końcówek sond, dostosowane są do różnych sposobów umieszczania ich w gruncie (rys. 1).

Standardowe badanie presjometryczne polega na rejestracji zmian średnicy otworu i analizie zależności między stanem naprężenia i odkształcenia w gruncie. Graficzną interpretacją badań jest krzywa presjometryczna, dająca pewien kompleksowy obraz zachowania się gruntu pod wpływem obciążenia (rys. 2). Na jej podstawie można wyznaczyć następujące charakterystyczne parametry: naprężenie graniczne (p_{gr}), naprężenie pełzania p_f , moduł presjometryczny E_M . Presjometr znajduje zastosowanie w większości analiz związanych z problematyką fundamentowania. Prowadzenie nim badań jest zalecane przy projektowaniu posadowień wszystkich rodzajów fundamentów na zróżnicowanym podłożu [14].

Wyniki badań wykorzystuje się przy obliczaniu granicznej nośności i osiadań fundamentów bezpośrednich oraz nośności i przemieszczeń bocznych fundamentów palowych [13, 16].



Rys. 1. Typy sond presjometrycznych [13]: a) presjometr Ménarda trójkomorowy; b) sonda jednokomorowa typu Texam; c) sonda jednokomorowa typu OYO; d) sonda wprowadzana bezpośrednio w grunt z rurą szczelinową i butem stożkowym; e) sonda wciskana w dno otworu wiertniczego butem cylindrycznym; f) samowiercząca sonda presjometryczna



Rys. 2. Klasyczny przebieg krzywej presjometrycznej

Jednym z najpopularniejszych badań *in situ* podłoża gruntowego jest tzw. test dylatometryczny DMT (*the Marchetti Dilatometr Test*). Metodę tę opracował i opatentował we Włoszech Marchetti [6], zaś istotny wkład do jej rozwoju, wraz z próbą usystematyzowania

procedury wyznaczania parametrów gruntowych na podstawie wyników testu DMT, wniósł Schmertmann [10]. Badania dylatometryczne mogą być stosowane do obiektów kategorii geotechnicznej 2 i 3, zwłaszcza do posadowień mostów, ścian oporowych i obudowy głębokich wykopów. Zaleca się stosować je razem z sondą wciskaną.

Dylatometr Marchettiego (DMT) składa się z płaskiej, stalowej płytki penetrometru, która jest wyposażona w elastyczną, kołową membranę umieszczoną na jej powierzchni. Dylatometr jest połączony z jednostką kontrolno-pomiarową przewodem pneumatycznym, którym jest przekazywane ciśnienie gazu na membranę. Badanie polega na wciskaniu w grunt płytowej sondy w kształcie ostrza, której membrana odkształca się pod wpływem działającego ciśnienia gazu. Na danej głębokości dokonywane są pomiary: ciśnienia gazu potrzebnego w początkowej fazie ruchu do uzyskania kontaktu membrany z otaczającym gruntem (p_o); ciśnienia gazu potrzebnego do odkształcenia środka membrany o około 1 mm w stronę gruntu (p_1); ciśnienia gazu po kontrolowanym powrocie membrany do pozycji uzyskanej w pomiarze pierwszym (p_2).

Dylatometr można stosować do: określenia rodzaju i stanu gruntu, ustalenia profilu podłoża i historii naprężenia w gruncie, oszacowania wartości parametrów geotechnicznych (wytrzymałości na ścinanie bez odpływu, współczynnika spoczynkowego parcia bocznego K_o w gruntach niespoistych i spoistych, naprężenia prekonsolidacji, modułów odkształcenia). Na podstawie pomierzonych wartości ciśnienia p_o, p_1, p_2 oraz oszacowanych wartości efektywnego naprężenia pionowego σ'_{vo} i ciśnienia porowego *in situ* — u_o , na głębokości badania wyznacza się następujące dylatometryczne wskaźniki gruntu: wskaźnik materiałowy (I_D), pozwalający na określenie rodzaju i kąta tarcia wewnętrznego gruntu niespoistego; wskaźnik naprężenia poziomego K_D , wykorzystywany do wyznaczenia współczynnika parcia spoczynkowego K_o , współczynnika prekonsolidacji OCR i wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu; moduł dylatometryczny E_D , na podstawie którego można obliczyć wartości modułu ściśliwości M i modułu odkształcenia E ; wskaźnik DMT (charakteryzujący warunki przepływu wody w gruncie). Wymienione parametry, określone w profilu pionowym z zależności empirycznych, powinny być punktowo zweryfikowane poprzez badania laboratoryjne. Dylatometryczne wskaźniki gruntu umożliwiają ocenę nośności i osiadań fundamentów bezpośrednich oraz nośności osiowej i bocznej pali.

4. Metody badań nośności podłoża obiektów w inżynierii transportowej

Wśród badań *in situ* określających parametry odkształcalności podłoża, dominują testy obciążenia podłoża płytami pomiarowymi, w których bada się przemieszczenia płyt. W zależności od charakteru ich obciążenia, możemy mówić o statycznych, udarowych, czy wibracyjnych metodach określania parametrów odkształcalności podłoża. W metodach tych, obciążenia na płytę przykładane są odpowiednio: w sposób statyczny, udarowo za pomocą impulsów pochodzących od spadającego ciężaru, bądź za pomocą wzbudników drgań, wy-

wojących w podłożu drgania o różnej częstotliwości (dokonuje się tu pomiarów prędkości rozchodzenia się fal).

4.1. Badania odkształcalności podłoża nawierzchni drogowych

Obciążenia powierzchniowej warstwy podłoża płytą wykonuje się w ramach badań kontrolnych robót ziemnych. Badania *in situ* za pomocą aparatury VSS — stalowej płyty o średnicy 0,3 m [11], obejmują określenie pierwotnego modułu odkształcenia E_1 i wtórnego modułu odkształcenia E_2 (zwanego również modułem odkształcenia sprężystego) oraz wskaźnika odkształcenia I_o (stosunku E_2/E_1). Realizuje się dwa cykle obciążenia płyty. Wstępnego obciążenia podłoża dokonuje się naciskiem 0,02 MPa, bez pomiaru osiadań. Następnie zwiększa się nacisk do 0,05 MPa, a później stopniami po 0,05 MPa do wymaganej wartości końcowej, utrzymując je do umownej stabilizacji osiadań. W następnej kolejności realizuje się całkowite odciążenie stopniami po 0,1 MPa i ponowne obciążenie do 0,05 MPa, postępując w sposób analogiczny do poprzedniego, lecz doprowadzając obciążenie do nacisku o stopień mniejszego, niż w pierwotnym obciążeniu. Stopnie obciążenia (co 0,05 MPa) realizowane są do 0,25 MPa na podłożu gruntowym lub nasypie oraz do 0,35 MPa na podłożu ulepszonym. Moduły odkształcenia określa się z zależności:

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{3\Delta p_1 D}{4\Delta s_1}, \\ E_2 &= \frac{3\Delta p_2 D}{4\Delta s_2}, \end{aligned} \tag{1}$$

gdzie:

- E_1 — pierwotny moduł odkształcenia [MPa];
- E_2 — wtórny moduł odkształcenia [MPa];
- $\Delta p_{1,2}$ — różnica obciążeń w pierwszym i drugim cyklu obciążenia w zakresie 0,05÷0,15 MPa w przypadku podłoża gruntowego oraz w zakresie 0,15÷0,25 MPa przy podłożu ulepszonym;
- $\Delta s_{1,2}$ — przyrost przemieszczeń odpowiednio w 1 i 2 cyklu obciążenia, odpowiadający podanemu zakresowi obciążeń;
- D — średnica płyty pomiarowej.

4.2. Badania płytą obciążaną dynamicznie

Badanie to stanowi alternatywę bądź uzupełnienie badania statycznego przyrządem VSS. W Polsce stosowana jest Lekka Sonda Dynamiczna ZFG 02 (*Light Drop-Weight Tester ZFG 02*). Część mechaniczna lekkiego ugięciomierza dynamicznego składa się z ruchomego ciężarka osadzonego na prowadnicy oraz okrągłej płyty obciążeniowej (rys. 3). Płyta przyrządu, wykonana ze stali ocynkowanej i zaopatrzona w dwa uchwyty, ma średnicę 300 mm

oraz masę 15,0 kg. Masa ciężarka opadającego na płytę wynosi 10,0 kg, a maksymalne obciążenie udarowe — 7,07 kN. Czas działania obciążenia na płytę (t_s) wynosi 16÷20 ms, a średnia wartość obciążenia wywołanego pod płytą — 0,1 MN/m².



Rys. 3. Widok lekkiego ugięciomierza dynamicznego

Zasada działania tego urządzenia polega na wywołaniu udarowego obciążenia gruntu poprzez opuszczenie ruchomego obciążnika wzdłuż prowadnicy. Przyspieszenie płyty mierzone jest przez wbudowany w nią czujnik przemieszczeń. Podczas badania dokonywany jest pomiar maksymalnych przemieszczeń w środku płyty, wywołanych spadającym ciężarem na płytę pomiarową. Przemieszczenia rejestrowane są automatycznie przez urządzenie rejestrujące i przeliczane na moduły. Każda seria badań w danym punkcie pomiarowym składa się z trzech kolejnych uderzeń. Po przełączeniu przyrządu w tryb kalibracji istnieje możliwość odczytu maksymalnej prędkości osiadania płyty obciążeniowej (v) i sprawdzenia działania czujnika przemieszczeń.

Na podstawie pionowej amplitudy osiadania płyty dynamicznej s , zmierzonej podczas działania obciążenia udarowego, oblicza się tzw. dynamiczny moduł odkształcenia.

$$E_d = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\sigma}{s}, \quad (2)$$

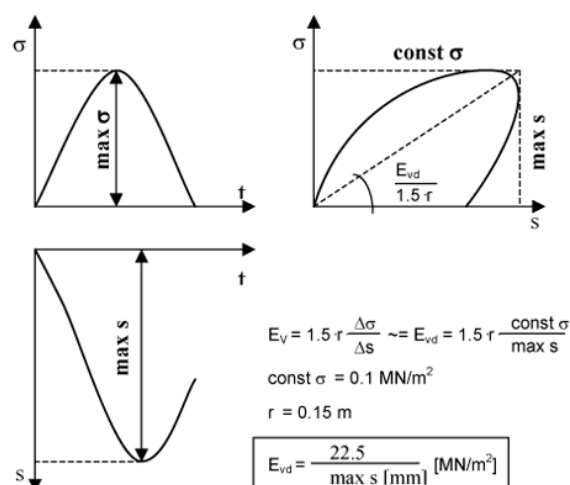
gdzie:

- E_d — dynamiczny moduł odkształcenia [MPa],
- σ — średnia wartość obciążenia pod płytą [0,1 MN/m²],
- s — amplituda osiadania [mm],
- r — promień siły obciążającej [150 mm].

Wykorzystuje się przybliżoną zależność wtórnego modułu odkształcenia E_2 od modułu dynamicznego E_d :

$$E_2 \approx 600 \ln \frac{300}{300 - E_d}. \quad (3)$$

Przyjmując stałość obciążenia pod płytą, można określić zależność między dynamicznym modułem odkształcenia oraz amplitudą osiadania (rys. 4).



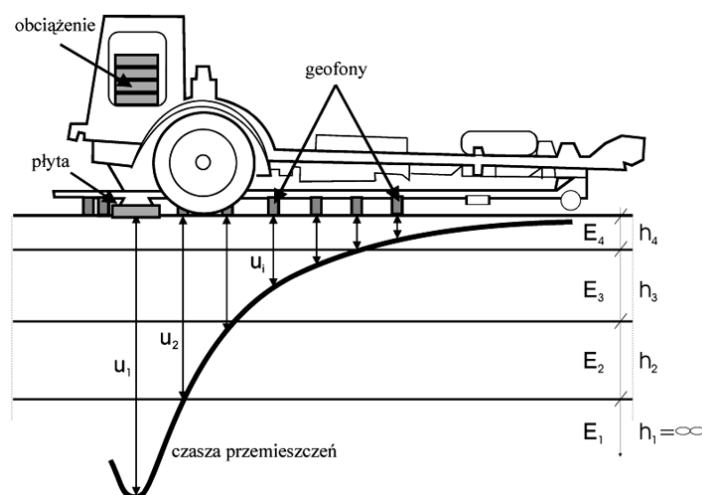
Rys. 4. Wyznaczenie zależności pomiędzy dynamicznym modułem odkształcenia a amplitudą osiadania $E_d = E_d(s)$

Lekka sonda dynamiczna ZFG-02 umożliwia szybki pomiar nośności gruntu, może być stosowana do kontroli procesu zagęszczania niezwiązanych warstw nośnych i szybkiej lokalizacji słabszych miejsc tych warstw.

4.3. Ocena nośności podłoża za pomocą aparatury FWD

Ugięciomierz typu FWD (*Falling Weight Deflectometer*) służy do pomiarów ugięć nawierzchni utwardzonej i nieutwardzonej. Urządzenie wywołuje impuls siłowy za pomocą spadającego ciężaru na płytę pomiarową, poprzez specjalnie zaprojektowany układ sprężyn. W skład aparatury wchodzi: ugięciomierz dynamiczny, program do zbierania i sterowania wynikami badań oraz programy służące do analizy zebranych danych. Urządzenie FWD, zamontowane na 1-osiowej przyczepie, jest wyposażone w system jednomasowego ciężaru oraz buforu, który bezpośrednio przesyła pełną energię jednomasowego ciężaru do płyty obciążającej. Zakres generowanych obciążeń wynosi od 7 do min 120 kN. Podczas impulsu obciążenia mierzone są przemieszczenia nawierzchni, w osi obciążenia oraz w dowolnych odległościach od osi obciążenia. Zbiór takich przemieszczeń wyznaczony na danym stano-

wisku pomiarowym tworzy tzw. „czaszę przemieszczeń” (rys. 5), która może być wykorzystana do identyfikacji modułów warstw i podłoża konstrukcji nawierzchni oraz oceny stanu naprężenia i odkształcenia w konstrukcji, a na tej podstawie do oceny jej nośności.



Rys. 5. Schemat badania ugięć za pomocą ugięciomierza FWD

W wyniku identyfikacji [12] uzyskuje się wartości modułów (E_i) poszczególnych warstw przyjętych na podstawie identyfikacji wgłębnej (odwiertów) oraz podłoża gruntowego. Przyjęty do obliczeń identyfikacyjnych model obliczeniowy konstrukcji nawierzchni składa się z warstw, zidentyfikowanych w konstrukcji podczas odwiertów.

5. Wymagania odnośnie do badań podłoża do zaprojektowania pali

Obszerny komentarz do wagi i rangi prac geotechnicznych podano w pracy [2]. Tryb zlecenia rozpoznania podłoża gruntowego (z reguły przez biuro konstrukcyjne w ramach opracowywanego projektu) niesie niebezpieczeństwo wyboru najtańszego wykonawcy badań. Ich zakres uwarunkowany możliwościami najtańszego wykonawcy (sprzęt do wierceń i badań *in situ*, baza laboratoryjna) nie odpowiada wtedy potrzebom rozwiązywanych problemów geotechnicznych. Szczegółowość badań geotechnicznych powinna wynikać z celów, jakim mają służyć. Zakres rozpoznania regulowało rozporządzenie MSWiA (1998), wprowadzające pojęcie kategorii geotechnicznej. W obiektach mostowych jest to najczęściej kategoria druga. Zakres badań podłoża determinuje w pewnym sensie norma [18], poprzez stawiane wymagania odnośnie do: pograżenia podstawy pala w grunty nośne, pograżenia podstawy pala w warstwie, w której wyznaczono nośność podstawy oraz minimalnych odległości od stropu i spągu warstwy, w której pal jest zakończony. Ustalenie pełnego zakresu rozpoznania nie jest możliwe bez wyboru technologii palowej i obliczenia długości

pali. Dlatego też, prace związane z rozpoznaniem podłoża prowadzi się etapowo. Badania wstępne mają na celu określenie sposobu posadowienia. Gdy konieczne jest posadowienie pośrednie, należy określić długości pali (choćby ekstrapolując wyniki badań w głąb). Kluczowe są badania szczegółowe do zaprojektowania posadowienia konstrukcji mostu i jego realizacji. Warto też zwrócić uwagę na badania podłoża gruntowego i formowanych nasypów w trakcie budowy (monitoring geotechniczny).

Zasadnicze mankamenty dokumentacji geotechnicznych wynikają z błędów popełnianych na etapie programowania badań oraz przy ich realizacji. Niewłaściwie zaprogramowane badania prowadzą do:

- ograniczenia do minimum zakresu prac terenowych, co skutkuje nadinterpretacją uzyskanych informacji i przeoczeniami geotechnicznymi;
- wykonywania dużej liczby płytkich otworów (na przykład pod fundamenty palowe);
- złego rozplanowania otworów na rzucie projektowanych podpór (pominięcie w badaniach terenu poza obrysem fundamentu — miejsc ewentualnych zakotwień gruntowych);
- pomijania w badaniach gruntów nienośnych, bez podania szczegółowego opisu i nie ustalenia ich parametrów geotechnicznych.

Błędy w realizacji badań terenowych, to z reguły:

- niewłaściwy sposób wykonania otworów badawczych, wykonywanie wierceń bez orurowania, co daje zafałszowany obraz stosunków wodnych i stanu gruntów (zwłaszcza spoistych);
- kurczowe trzymanie się ustalonego umową zakresu robót, co często ogranicza możliwość precyzyjnego określenia zasięgu gruntów słabych (w planie i z głębokością);
- kończenie wierceń w gruntach nienośnych, co czyni badania nieprzydatnymi do projektowania, bądź prowadzi do znacznego przewymiarowania elementów posadowienia;
- kończenie wierceń na głębokościach, które pozwalają na obliczenie nośności pojedynczego pala, a nie pozwalają na obliczenie osiadań grup palowych.

Błędy powstałe na etapie badań laboratoryjnych i prac kameralnych wynikają z:

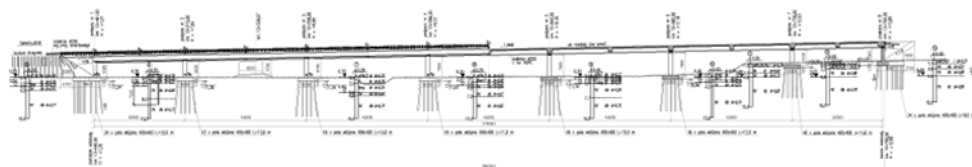
- wykonywania badań laboratoryjnych, które nie odpowiadają potrzebom norm;
- nie wykonywania badań granicy skurczalności w gruntach w stanie półzwartym, co uniemożliwia właściwe projektowanie według normy [18];
- pomijania wyznaczania cech gruntów nienośnych (nasypów, namulów, torfów), co uniemożliwia projektowanie ich wzmacniania i obliczanie parć przy projektowaniu zabezpieczeń wykopów;
- nie stosowania zaawansowanych metod badawczych;
- braku możliwości bezpośredniego wykorzystania wyników badań dylatometrycznych, presjometrycznych i badań sondą statyczną CPT (na przykład przy projektowaniu fundamentów palowych);

- unikanie nowoczesnych metod badań podłoża, na konto stosowania zależności korelacyjnych;
- niewłaściwe pobieranie i ograniczanie liczby próbek do badań laboratoryjnych.

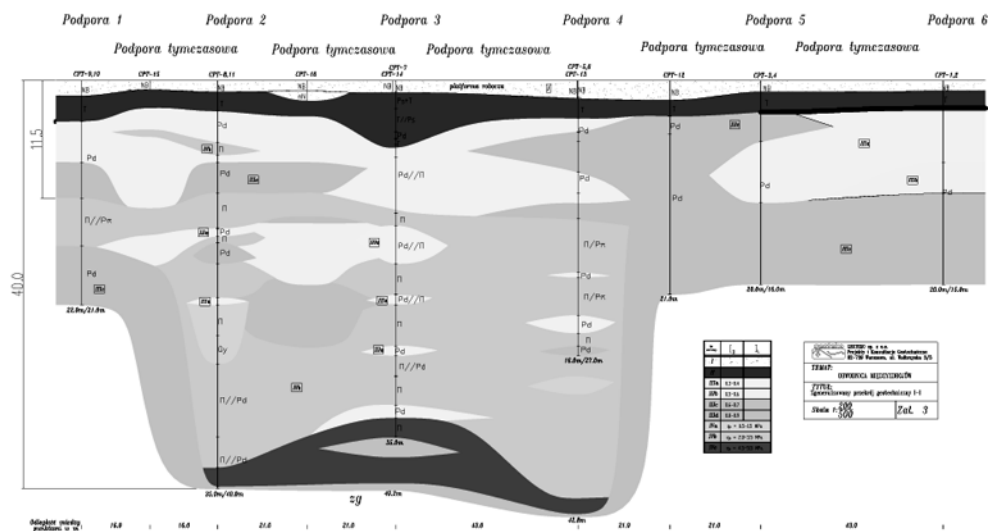
Poniżej przedstawiono przykłady sytuacji, w których źle wykonana dokumentacja geotechniczna mogła doprowadzić do istotnych komplikacji w projektowaniu oraz w wykonawstwie.

Przeoczenia geotechniczne: Obwodnica Międzyzdrojów

W przypadku posadowień obiektów inżynierskich rozpoznaniu powinno podlegać podłoże każdej podpory. Ograniczanie zakresu badań prowadzi do interpolowania wyników badań podłoża między odległymi otworami. Jest to szczególnie niebezpieczne w przypadku posadowienia mostów w sąsiedztwie cieków wodnych, gdzie zmienność podłoża w planie jest znaczna. Schemat podpór palowych obwodnicy Międzyzdrojów (rys. 6) uwzględnia pale o maksymalnej długości 15 m. Rzeczywiste warunki geotechniczne w rejonie podpór 2 do 4 (występowanie miękkoplastycznych pyłów do głębokości około 40 m poniżej terenu (rys. 7)) wymusiły przedłużenie pali (pale segmentowe ze złączami stalowymi) do ponad 42 m.



Rys. 6. Schemat podpór palowych



Rys. 7. Przekrój geotechniczny

Odmienny problem napotkano przy budowie Autostrady A-2. Pale zaprojektowane jako 12-metrowe po pograżeniu na około 7 m poniżej terenu napotykały na podłoże skalne. Podpory miały oczywiście wymaganą nośność, ale obciążenie blisko połowę długości z zakontraktowanych pali.

Zaniżone parametry gruntu

Innym problemem jest wykazywanie gruntów znacząco słabszych, niż ma to miejsce w rzeczywistości. Zaprojektowane pale charakteryzują się wówczas zbyt dużą nośnością, co samo w sobie nie jest problemem, ale może prowadzić do utrudnień wykonawstwa, zwłaszcza w przypadku zastosowania pali przemieszczeniowych (na przykład prefabrykowanych wbijanych). Poniżej przedstawiono przykład grupy palowej (rys. 8) na budowie Autostrady A-1 (wiadukt WA-51), gdzie przzerwano wbijanie części pali po osiągnięciu oporów wbijania przekraczających znacznie wymagane nośności.

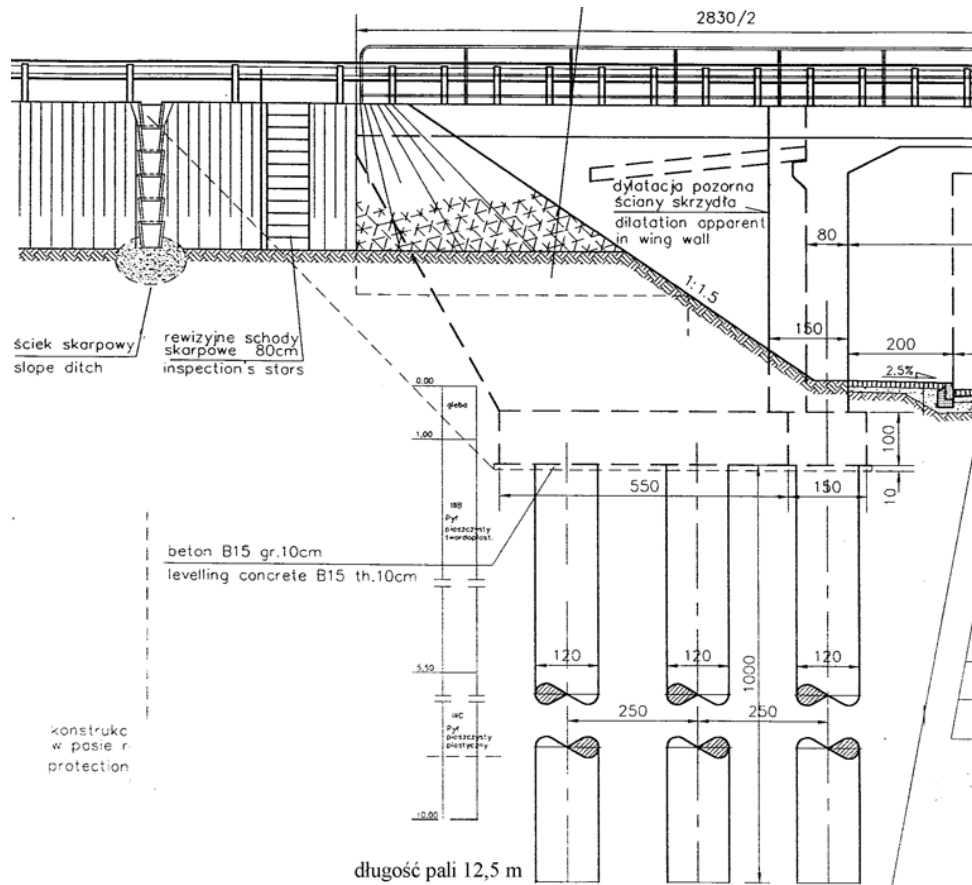


Rys. 8. Posadowienie podpór wiaduktu — problemy z pograżaniem pali

Pale wbijane dają możliwość szacowania ich nośności na podstawie oporów wbijania, więc teoretycznie takie „nie dobite” pale można obciążyć bez ryzyka niedostatecznej nośności na wciskanie. Gdy jednak układ palowy wymaga pograżenia ze względu na siły poziome lub wyciągające, to konieczne jest wstępne rozwiercanie otworów, co znacznie komplikuje roboty.

Zbyt płytkie otwory — projektowanie przez ekstrapolację

Przykładem projektowania przez ekstrapolację jest projekt przyczółka mostu (rys. 9). Podstawy zaprojektowanych pali występują o kilka metrów głębiej niż wykonane wiercenia badawcze. Pechowo, w podłożu zamiast pyłów zalegały ropy, a w głębszych warstwach — soczewki nawodnionych piasków (woda naporowa).



Rys. 9. Posadowienie pośrednie przyczółka mostowego

Po dowieczeniu się do tych niezinventaryzowanych soczewek nastąpiło wdarcie się wody wraz z gruntem do rury, rozluźnienie gruntu w obrębie projektowanej podstawy i w konsekwencji — konieczność przedłużania pali o kilka metrów.

Projektowanie pali i zakotwień gruntowych przez ekstrapolację warunków gruntowych prowadzi zatem do:

- nawiercenia nawodnionych warstw lub soczewek i rozluźnienia gruntu w otoczeniu pala (w przypadku pali wierconych),
- braku możliwości wbicia na projektowaną głębokość bądź nie uzyskania wymaganej projektem nośności (w przypadku pali prefabrykowanych),
- nie uzyskania wymaganej nośności (w przypadku zakotwień gruntowych).

Konieczność wykonywania dodatkowych badań kontrolnych, przed i w trakcie realizacji budowy, traktowana jest przez inwestorów jako próba naciągania na dodatkowe koszty

lub próba uzasadnienia opóźnienia w cyklu projektowania lub realizacji budowy. Projektant konstrukcji nie ma jednak innej możliwości (a często wystarczających kwalifikacji) do weryfikacji dostarczonych badań.

LITERATURA

- [1] *Baguelin F., Jézéquel J.F., Shields D.H.*: Badania presjometryczne a fundamentowanie. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne, 1984
- [2] *Brzosko R., Janusz D.*: Budowa tak dobra jak jej fundamenty. *Geoinżynieria i Tunelowanie*, 2, 2004
- [3] *Clarke B.G.*: Pressuremeters in Geotechnical Design. Glasgow, Blackie, 1995
- [4] *Clough G.W., Briaud J.L., Hughes J.M.O.*: The development of pressuremeter testing. Proc. of the Third Int. Symp. on Pressuremeters. British Geotechnical Society, Oxford University, 1990
- [5] *Gambin M., Frank R.A.*: The present design rules for foundation based on Ménard PMT results. Proc. 4th Int. Symposium on Pressuremeter. Canada, 1995, Sherbrooke
- [6] *Marchetti S.*: In Situ Test by Flat Dilatometer. *Journal of the Geotech. Eng. Div. ASCE*. 1980, vol. 106, No. GT3, s. 299–321
- [7] *Ménard L., Rousseau J.*: L'évaluation des tassements, tendances nouvelles. *Sols–Soils*. Paris, 1962, No. 1
- [8] *Młynarek Z., Niedzielski A., Gogolik S.*: Przykład wykorzystania metody CPTU do zaprojektowania posadowienia fundamentu na słabym podłożu [w:] *Problemy geotechniczne obszarów przymorskich*. Mat. XII KKMGiF, Cz. Ib. Szczecin – Międzyzdroje, 2000, s. 109–115
- [9] *Robertson P.K., Lunne T.*: Geo-environmental applications of penetration testing. Proc. of the Inter. Conf. on Geotechnical Site Characterization. Balkema, 1998
- [10] *Schmertmann J.H.*: Suggested Method for Performing the Flat Dilatometer Test. *Geotechnical Testing Journal*. 1986, vol. 9, GTJODJ
- [11] *Stilger-Szydło E.*: Posadowienia budowli infrastruktury transportu lądowego. Teoria — Projektowanie — Realizacja. Wrocław, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2005
- [12] *Szydło A.*: Statyczna identyfikacja parametrów modeli nawierzchni lotniskowych. Monografia nr 17, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1995
- [13] *Tejchman A., Krasieński A.*: Zastosowanie presjometru w badaniach gruntu i projektowaniu fundamentów. *Inżynieria Morska i Geotechnika*. 1992, 4, s. 163–170
- [14] Pr EN 1997-1:2002 Eurocode 7: Geotechnical design —Part 1: General rules
- [15] Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych, Część 1 i 2. GDDP, Warszawa, 1998
- [16] Instrukcja ITB 231/1980 Wytyczne badań presjometrycznych. Warszawa, 1980
- [17] ZTVT-StB 95. Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Strassenbau. Ausgabe 1995
- [18] PN-83/B-02482 Fundamenty budowli. Nośność pali i fundamentów palowych