

# Znaczenie i błędy rozpoznania podłoża gruntowego przy posadowieniach obiektów infrastruktury transportu lądowego

■ dr inż. Jarosław Rybak, prof. dr hab. inż. Elżbieta Stilger-Szydło, Politechnika Wroclawska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki

Posadowienia konstrukcji jezdni drogowych i autostradowych w złożonych warunkach geologiczno-inżynierskich (na gruntach słabonośnych, terenach osuwiskowych czy w zasięgu eksploatacji wpływów górniczych) są wykonywane często. Stąd potrzeba prawidłowego rozpoznania podłoża gruntowego, projektowania i wykonania budowli ziemnej z zastosowaniem odpowiednich sposobów wzmocnienia podłoża i zabezpieczenia samej budowli.

Skomplikowana 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 wzmocnienia podłoża oraz wprowadzania nowych technologii posadowień.

W artykule 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.

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

Stosowanie nowych rozwiązań i technik posadowień obiektów infrastruktury transportu lądowego, bardzo często na terenach o niekorzystnych warunkach geotechnicznych, wytyczają 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 interpretację 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 badania [8]. Istotną rolę przy ustaleniu kategorii geotechnicznej obiektu i określeniu potrzebnego zakresu badań podłoża

odgrywa stopień złożoności warunków geologiczno-inżynierskich.

### 1.1. Badania podłoża pod projektowane nowe drogi oraz przy planowanej ich modernizacji

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.

Wyniki badań powinny stanowić kompletną ocenę warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych wzdłuż całej trasy projektowanej drogi, uwzględniającą przede wszystkim rozpoznanie podłoża na odcinkach:

- wykopów (ocena trudności w odpajaniu gruntu, stateczności skarp, wykorzystania gruntów do robót ziemnych);
- nasypów (zwłaszcza posadowionych na gruntach ściśliwych i słabonośnych);
- występowania osuwisk i w strefie bezpośredniego oddziaływania obciążeń nawierzchni 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 rodzaj wyrobisk zależy od stopnia złożoności budowy podłoża oraz od klasy drogi. Rodzaj i zakres badań zależny jest

od głębokości położenia warstw gruntu w stosunku do niwelety drogi [15].

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. Natomiast przy projektowaniu wzmocnienia istniejących nawierzchni, poszerzenia nawierzchni w obrębie istniejącej korony bądź modernizacji nawierzchni, zakres badań polowych i laboratoryjnych gruntów powinien uwzględniać zalecenia [15].

### 1.2. 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 glaciotektonicznych, 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 zależna jest od rodzaju budowli i wartości obciążeń przekazywanych na podłożu oraz od warunków gruntowych.

1. 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.

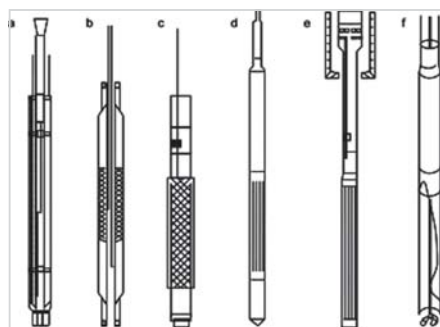
2. Fundamenty głębokie mostów – potrzebną głębokość wierceń można przyjmować jako równą zagłębieniu pali, powiększonemu o co najmniej 3,0 m (orientacyjnie 10,0÷25,0 m poniżej poziomu terenu), a studni lub kesonów – o 5,0 m (15,0÷30,0 m od powierzchni terenu). Otwory powinny jednak być zagłębione co najmniej 6,0 m w warstwę gruntu nośnego. Głębokości te można zmniejszyć, jeśli wiercenia przeprowadza się w warstwach jednorodnych o dużej miąższości (iły plicenińskie, iły krakowieckie itp.).

3. Konstrukcje oporowe – głębokość wierceń powinna przekraczać możliwą powierzchnię poślizgu oraz osiągać głębokość poniżej spodu fundamentu równą co najmniej wysokości ściany lub uskoku terenu.

## 2. Badania odkształcalności gruntów

### 2.1. Badania presjometryczne

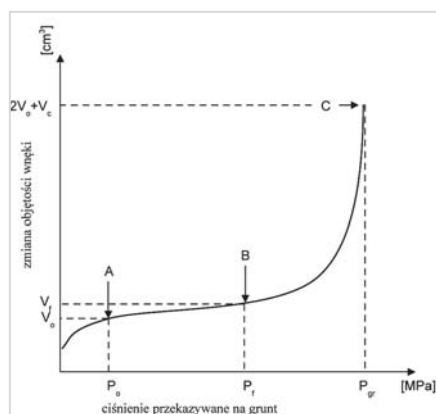
Badanie presjometryczne jest próbnym obciążeniem gruntu na żądanej głębokości, w otworze, za pomocą sondy o kształcie cylindra, rozszerzanej radialnie. Od czasu skonstruowania pierwszego presjometru przez Louisa Ménarda w 1956 r. [7] powstało wiele jego wersji i udoskonaleń. Stosowane obecnie elektroniczne 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. Opracowano nowe konstrukcje końcówek sond, dostosowane do różnych sposobów umieszczania ich w gruncie (ryc. 1).



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

Standardowe badanie presjometryczne polega na rejestracji zmian średnicy otworu i analizie zależności między stanem naprężenia a odkształceniami

w gruncie. Graficzną interpretacją badań jest krzywa presjometryczna, dająca kompleksowy obraz zachowania się gruntu pod wpływem obciążenia (ryc. 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 m.in. przy obliczaniu granicznej nośności i osiadań fundamentów bezpośrednich oraz nośności i przemieszczeń bocznych fundamentów palowych [13, 16].



Ryc. 2. Klasyczny przebieg krzywej presjometrycznej

### 2.2. Badania dylatometryczne

Jednym z najpopularniejszych badań *in situ* podłoża gruntowego jest tzw. test dylatometryczny DMT (*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 II i III, 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, służącym do przekazywania ciśnienia 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 ( $p_0$ ); ciśnienia gazu potrzebnego do odkształcenia środka membrany o ok. 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  $K_0$  w gruntach niespoistych i spoistych, naprężenia prekonsolidacji, modułów odkształcenia). Na podstawie pomierzonych wartości ciśnienia  $p_0$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  oraz oszacowanych wartości efektywnego naprężenia pionowego  $\sigma_{v0}$  i ciśnienia porowego *in situ* –  $u_0$ , 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  $K_0$ , 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.

## 3. 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 pochodzą-

cych od spadającego ciężaru bądź za pomocą wzbudników drgań, wywołujących w podłożu drgania o różnej częstotliwości (dokonuje się tu pomiarów prędkości rozchodzenia się fal).

### 3.1. 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 0,30 m [11], obejmują określenie pierwotnego modułu odkształcenia  $E_1$  i wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  (zwanego również modułem odkształcenia sprężystego) oraz wskaźnika odkształcenia  $I_0$  (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 0,10 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

$$E_1 = \frac{3\Delta p_1 D}{4\Delta s_1} \quad E_2 = \frac{3\Delta p_2 D}{4\Delta s_2} \quad (4.1)$$

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.

### 3.2. 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 (ryc. 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/m<sup>2</sup>.

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



Ryc. 3. Widok lekkiego ugięciomierza dynamicznego

$$E_d = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\sigma}{s} \quad (4.1)$$

gdzie:

$E_d$  – dynamiczny moduł odkształcenia [MPa]

$\sigma$  – średnia wartość obciążenia pod płytą [0,1 MN/m<sup>2</sup>]

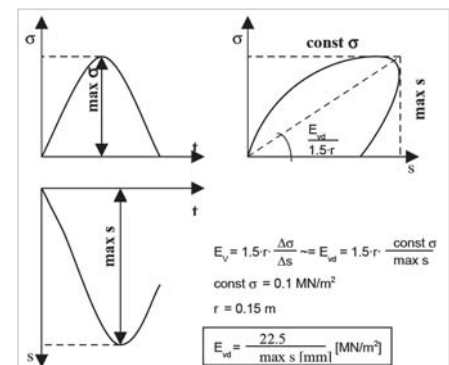
$s$  – amplituda osiadania [mm]

$r$  – promień siły obciążającej [150 mm].

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

$$E_2 \approx 600 \ln \frac{300}{300 - E_d} \quad (4.2)$$

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



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

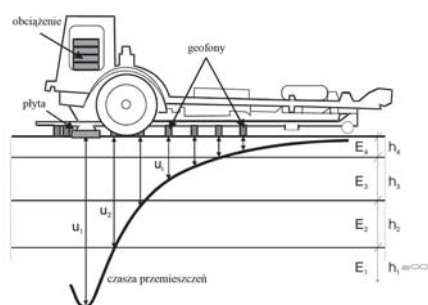
Lekka sonda dynamiczna ZFG-02 umożliwia szybki pomiar nośności gruntu, może być stosowana do kontroli procesu zagęszczania niezwiązanych warstw nośnych i szybkiej lokalizacji słabszych miejsc tych warstw.

### 3.3. Ocena nośności podłoża i nawierzchni konstrukcji jezdni drogowych 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 jednoosiowej 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 odległo-

ściach od osi obciążenia. Zbiór takich przemieszczeń wyznaczony na danym stanowisku pomiarowym tworzy tzw. „czasę przemieszczeń” (ryc. 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.

W wyniku identyfikacji [12] uzyskuje się wartości modułów ( $E_i$ ) poszczególnych warstw o grubości 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.



Ryc. 5. Schemat badania ugięć za pomocą ugięciomierza FWD

#### 4. Badania podłoża przy projektowaniu fundamentów palowych

Obszerny komentarz do wagi i znaczenia prac geotechnicznych podano w pracy [2]. Tryb zlecenia rozpoznania podłoża gruntowego (z reguły przez inwestora, architekta lub biuro konstrukcyjne w ramach opracowywanego projektu) niesie niebezpieczeństwo wyboru najtańszego wykonawcy badań. Należy podkreślić, że (poza konstruktorem) osoba zlecająca badanie nie ma wiedzy pozwalającej na poprawne zdefiniowanie zamówienia. Zakres badań 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 II. Zakres badań podłoża determinuje norma [18], stawiając wymagania odnośnie do pograżenia podstawy pała w grunty nośne, pograżenia podstawy pała w warstwie, w której wyznaczono nośność podstawy,

oraz minimalnych odległości od stropu i spągu warstwy, w której pał jest zakończony.

Ustalenie pełnego zakresu rozpoznania nie jest możliwe bez wyboru technologii palowej i wstępnego 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 obiektu i jego realizacji. Warto też zwrócić uwagę na badania podłoża gruntowego i formowanych nasypów w trakcie budowy (monitoring geotechniczny).

##### 4.1. Problemy z dokumentacją

Zasadnicze mankamenty wielu dokumentacji geotechnicznych wynikają z błędów popełnianych już 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 przecenieniami geotechnicznymi,
- wykonywania dużej liczby płytkich otworów (np. pod fundamenty palowe),
- rozplanowania otworów na rzucie projektowanych podpór (pominięcie w badaniach terenu poza obrysem fundamentu miejsc ewentualnych podpór tymczasowych),
- pomijania w badaniach gruntów nienośnych, bez podania szczegółowego opisu i nieustalenia ich parametrów geotechnicznych.

Błędy w realizacji badań terenowych dotyczą:

- niewłaściwego sposobu wykonania otworów badawczych, wykonywania wierceń bez orurowania, co daje zafałszowany obraz stosunków wodnych i stanu gruntów (zwłaszcza spoiстых),
- kurczowego trzymania się ustalonego umową zakresu robót, co często ogranicza możliwość precyzyjnego określenia zasięgu gruntów słabych (w planie i z głębokością),
- kończenia wierceń w gruntach nienośnych, co czyni badania nieprzydatnymi do projektowania, bądź prowadzi do znacznego przewymiarowania elementów posadowienia,
- kończenia wierceń na głębokościach, które pozwalają na obliczenie nośności pojedynczego pała, 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,
- niewykonywania badań granicy skurczalności w gruntach w stanie półzwartym, co uniemożliwia właściwe projektowanie według normy [18],
- pomijania wyznaczania cech gruntów nienośnych (nasypów, namułów, torfów), co uniemożliwia projektowanie ich wzmacniania oraz obliczanie parć przy projektowaniu zabezpieczeń wykopów,
- niestosowania zaawansowanych metod badawczych,
- braku możliwości bezpośredniego wykorzystania wyników badań dylatometrycznych, presjometrycznych i badań sondą statyczną CPT (np. przy projektowaniu fundamentów palowych),
- unikania nowoczesnych metod badań podłoża na rzecz stosowania zależności korelacyjnych;
- niewłaściwego pobierania i ograniczania liczby próbek do badań laboratoryjnych.

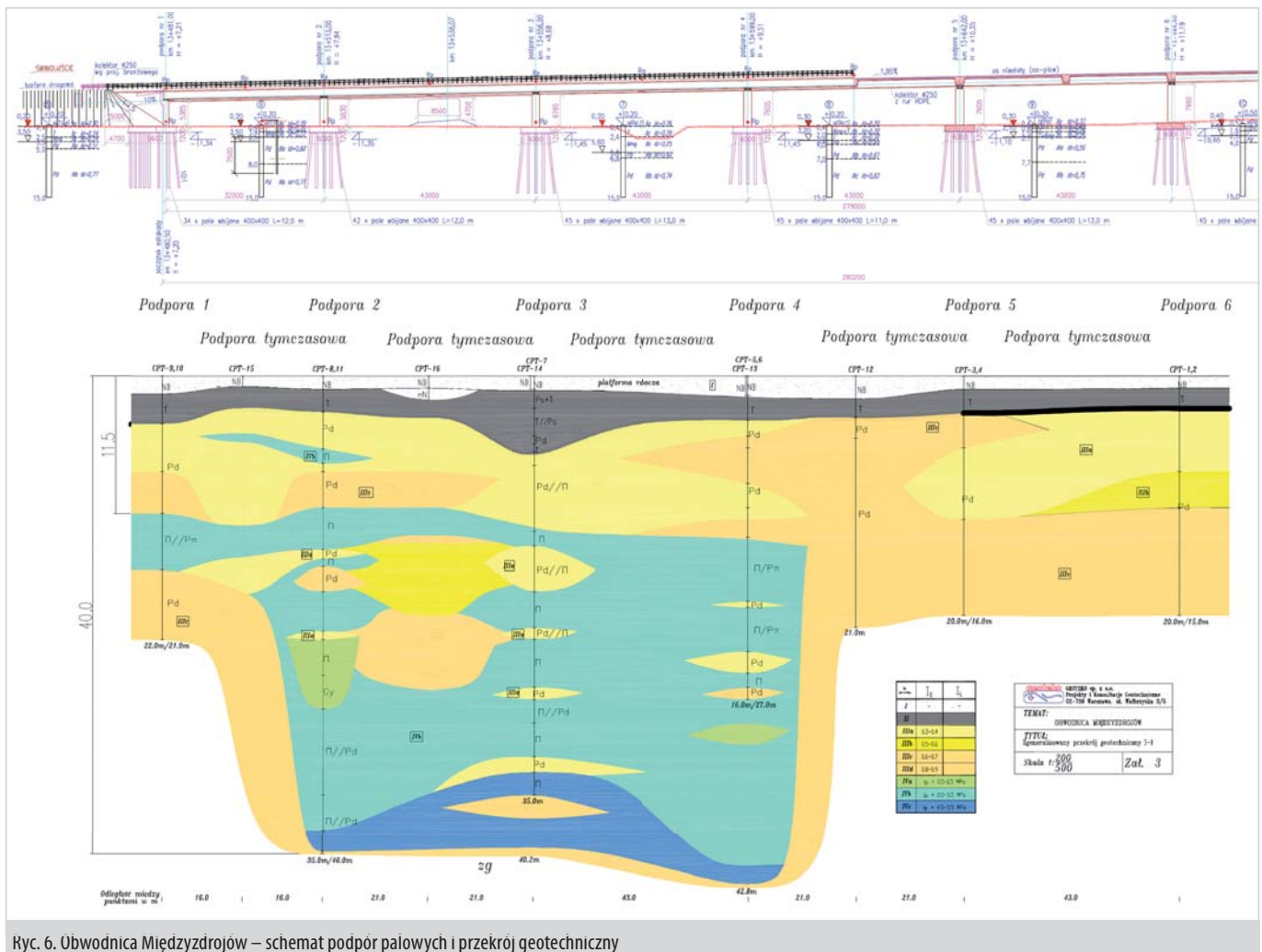
##### 4.2. Konsekwencje złych badań

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

**Przeoczenia geotechniczne** gruntów „słabych” lub „mocnych”

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 (ryc. 6) uwzględnia pale o maksymalnej długości 15 m. Rzeczywiste warunki geotechniczne w rejonie podpór 2 do 4 (występowanie miękkoplastycznych pyłów do głębokości ok. 40 m poniżej terenu) wymusiły przedłużenie pali (pale segmentowe ze złączami stalowymi) do ponad 42 m.

Odmienny problem napotkano przy budowie autostrady A2. Pale, zaprojektowane jako 12-metrowe, po pograżeniu na ok. 7 m poniżej terenu napotykały na podłoże skalne. Podpory miały oczywiście wymaganą nośność, ale obciążenie blisko połowę długości z zakontraktowanych pali.



Ryc. 6. Obwodnica Międzyzdrojów – schemat podpór palowych i przekrój geotechniczny



Ryc. 7. Trudności z pograżaniem pali



Ryc. 8. Wstępne rozwiercanie otworów

### Zaniżone parametry gruntu – problemy wykonawcze

Odrębnym 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 (np. prefabrykowanych wbijanych). Poniżej przedstawiono przykład grupy palowej (ryc. 7) na budowie autostrady A1 (wiadukt WA-51), gdzie przerwano wbijanie części pali po osiągnięciu oporów wbijania przekraczających znacznie wymagane nośności.

Pale przemieszczeniowe dają możliwość szacowania ich nośności na podstawie oporów pograżania (wbijania), więc teoretycznie takie pale („niedobite” lub skrócone) można zaakceptować bez ryzyka niedostatecznej nośności na wciskanie. Gdy jednak układ palowy wymaga pograżenia na określoną głębokość ze względu na siły poziome lub wyciągające, to konieczne jest wstępne rozwiercanie otworów (ryc. 8). Taki zabieg komplikuje jednak znacznie roboty palowe.

Kolejnym problemem w aspekcie rozpoznania podłoża jest możliwość wbicia dużych grup palowych (ryc. 9), szczególnie gdy przestrzeń gruntowa wokół pali wygradzona jest ścianką szczelną (ryc. 10). Każde niedoszacowanie parametrów „na korzyść bezpieczeństwa” może wtedy utrudnić bądź wręcz uniemożliwić wykonanie robót palowych w zakresie przewidzianym projektem.



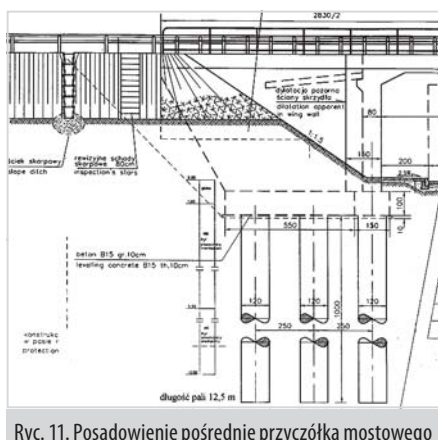
Ryc. 9. Grupa palowa



Ryc. 10. Pale w ograniczonej przestrzeni

### Zbyt płytkie otwory – projektowanie przez ekstrapolację

Przykładem projektowania przez ekstrapolację jest projekt przyczółka mostu (ryc. 11). Podstawy pali zaprojektowano o kilka metrów głębiej niż wykonane wiercenia badawcze. Pechowo, w podłożu zamiast pyłów zalegały ility, a w głębszych warstwach – soczewki nawodnionych piasków (woda naporowa). 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 przedłużenia pali o kilka metrów.



Ryc. 11. Posadowienie pośrednie przyczółka mostowego

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

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

### 5. Podsumowanie

Przedsiębiorstwa geotechniczne i geologiczne dysponują aktualnie nowoczesnym sprzętem badawczym, nieodbiegającym od standardów światowych. Można również zaobserwować stały postęp w kształceniu kadr i jakości wykonywanych badań. Problemem jest jednak komunikacja między zamawiającym badania (najczęściej projektantem) a wykonawcą badań podłoża.

Konieczność wykonywania dodatkowych badań kontrolnych, przed i w trakcie realizacji budowy, traktowana jest niestety 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.

Paradoksalnie, ciężar wykonywania uzupełniających badań geotechnicznych przejmują dziś wykonawcy robót budowlanych, zwłaszcza palowych. Wydaje się, że przynajmniej w odniesieniu do robót palowych, coraz większą rolę odgrywać będzie automatyczna rejestracja wykonywanych prac. Metryki pali (przede wszystkim pali przemieszczeniowych) stanowią podstawową informację o zgodności warunków geotechnicznych z założonymi w projekcie, a w szczególności o szacowanej na podstawie oporów pograżania nośności odnoszonej do wymagań projektu.

### Literatura

1. Baguelin F., Jézéquel J.F., Shields D.H.: *Badania presjometryczne a fundamentowanie*. Warszawa 1984.
2. Brzosko R., Janusz D.: *Budowa tak dobra jak jej fundamenty*. „Geoinżynieria i Tunelowanie” 2004, nr 2.
3. Clarke B.G.: *Pressuremeters in Geotechnical Design*. Glasgow 1995.
4. Clough G.W., Briaud J.L., Hughes J.M.O.: *The Development of Pres-*

*suremeter 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 Eesults*. Proc. 4<sup>th</sup> Int. Symposium on Pressuremeter. Sherbrooke 1995.
6. Marchetti S.: *In Situ Test by Flat Dilatometer*. „Journal of the Geotech. Eng” 1980, Vol. 106, No. GT3, pp. 299–321.
7. Ménard L., Rousseau J.: *L'Evaluation des tassements, tendances nouvelles*. „Sols-Soils” 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. I b. 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.
11. Stilger-Szydło E.: *Posadowienia budowli infrastruktury transportu lądowego. Teoria – Projektowanie – Realizacja*. Wrocław 2005.
12. Szydło A.: *Statyczna identyfikacja parametrów modeli nawierzchni lotniskowych*. Monografia nr 17, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1995.
13. Tejchman A., Krasiński A.: *Zastosowanie presjometru w badaniach gruntu i projektowaniu fundamentów*. „Inżynieria Morska i Geotechnika” 1992, t. 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*. Cz. 1, 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*.
19. Archiwum – AARSLEFF Sp. z o.o.